

СПРАВОЧНИК технолога- машиностроителя

В двух томах

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Дальский А.М.

(Председатель и главный редактор)

Суслов А.Г.

(зам. Председателя редсовета)

Жесткова И.Н.

(зам. главного редактора)

Безъязычный В.Ф.

Васильев А.С.

Горленко О.А.

Ильицкий В.Б.

Покровский В.П.

Румянцева О.Н.

Стародубов В.С.

Смелянский В.М.



МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ" 2003
"ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ-1"

СПРАВОЧНИК технолога- машиностроителя

Том 1

Под редакцией

А.М. Дальского, А.Г. Косиловой,

Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова

Пятое издание, исправленное



МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ" 2003
"ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ-1"

Авторы тома: А. М. Дальский, А. Г. Суслов, А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, Ю. Д. Амиров, А. С. Абдыжапаров, Б. М. Базров, С. И. Богомолов, В. Б. Борисов, Е. И. Борисов, А. С. Васильев, В. Н. Васильев, Л. И. Волчкевич, И. В. Гайгал, А. А. Гусев, О. М. Деев, Е. А. Заставный, А. С. Калашников, М. А. Калинин, М. М. Калинин, Н. М. Капустин, П. Г. Кацев, В. Л. Киселев, В. Г. Ковалев, А. И. Кондаков, Л. А. Колесников, П. М. Кузнецов, Б. Н. Леонов, Г. Н. Мельников, А. И. Мещеряков, К. Р. Мещеряков, В. В. Надуваев, М. С. Наерман, Е. Ф. Никадимов, А. Н. Новиков, Ш. Н. Нуридинов, П. Н. Орлов, М. М. Пичикян, Е. А. Попов, Э. В. Рыжов, Л. К. Сизенов, В. С. Стародубов, С. О. Сухарев, М. Ф. Сухов, А. Г. Схиртладзе, В. П. Федоров, Е. Н. Фролов, Ю. Л. Фрумин, Л. Б. Цейтлин, М. Г. Шеметов.

В справочнике использованы стандарты, действующие на 1 июля 2003 г.

Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т.

С74 Т. 1 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслора. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение–1, 2003 г. 912 с., ил.

Во 1-м томе приведены сведения по точности изготовления и качеству поверхностей деталей машин, рекомендации по выбору заготовок, припуски на механическую обработку, сведения по разработке различных технологических процессов изготовления деталей; обработке заготовок на станках, по обеспечению качества и точности обработки на станках с ЧПУ, в гибких производственных системах, на автоматических линиях и т.д.

Пятое издание (4-е изд. 1985 г.) переработано в соответствии с действующими стандартами, дополнено главой по обеспечению технологичности изделий, значительно переработаны и расширены главы по точности изготовления деталей, заготовкам деталей, назначению припусков, разработке технологических процессов изготовления деталей, обработке на станках и т.д.

Для инженерно-технических работников всех отраслей машиностроения, может быть полезен преподавателям и студентам вузов.

УДК 621.906 – 529 (03)

ББК 34.5

6П5.4

ISBN 5–217–03083–6 (общ.)

ISBN 5–217–03084–4 (Т. 1)

ISBN 5–94275–013–0 (общ.)

ISBN 5–94275–014–9 (Т. 1)

© Издательство "Машиностроение", 1985 г.

© Издательство "Машиностроение–1", 2003 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1.

ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

(Р. К. Мещеряков, А. М. Дальский)	9
Показатели точности деталей машин	9
Таблицы точности обработки (В. С. Стародубов)	12
Расчеты точности обработки	24
Анализ и определение элементарных погрешностей обработки (В. С. Стародубов)	32
Суммирование элементарных погрешностей обработки (А. С. Васильев)	111
Технологическая наследственность (А. М. Дальский)	124
Вероятностно-статистические методы анализа точности обработки (Л. К. Сизенов)	129
Суммирование элементарных погрешностей обработки при их взаимном влиянии (А. С. Васильев)	140

Глава 2.

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

(А. Г. Суслов, Э. В. Рыжов)	144
Параметры качества поверхностного слоя	144
Выбор и назначение параметров качества рабочих поверхностей деталей	150
Технологическое обеспечение эксплуатационного качества	157
Технологическое наследование параметров качества поверхностного слоя деталей (А. Г. Суслов, А. С. Васильев, С. О. Сухарев)	183
Обеспечение качества поверхностного слоя деталей при изготовлении	186
Надежность технологического обеспечения параметров качества поверхностного слоя (В. П. Федоров)	192
Список литературы	203

Глава 3.

ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

(А.И. Кондаков)	204
Общие сведения о заготовках	204
Отливки (М. А. Калинин)	205
Технологические характеристики	206
Нормы точности отливок	219

Допуски размеров, формы, расположения поверхностей и массы отливок	228
Контроль и обозначение точности отливок	231
Кованые и штампованные заготовки (Е. А. Попов, В. Г. Ковалев)	241
Ковка	243
Горячая штамповка	245
Точность штампованных заготовок	254
Холодная штамповка	270
Заготовки из проката (М. М. Калинин)	288
Сварные и комбинированные заготовки	296
Заготовки, получаемые методом порошковой металлургии	304
Заготовки из конструкционной керамики	316
Выбор заготовок	318

Глава 4.

ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

(М. А. Калинин, В. Л. Киселев)	322
Понятие о припуске и методе его определения	322
Расчетные формулы	322
Правила расчета припусков на обработку	323
Порядок определения предельных промежуточных размеров по технологическим переходам и окончательных размеров заготовки	326
Нормативные материалы для расчета припусков	327
Заготовки из проката	327
Отливки	329
Поковки, изготавливаемые ковкой и штамповкой	333
Детали, получаемые электроэрозийной обработкой	337
Детали, получаемые механической обработкой	338
Методика расчета припусков на обработку	339
Примеры расчета припусков и предельных размеров	341
Назначение общих припусков на механическую обработку	345

Глава 5.	
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	
(А. Г. Косилова, А. М. Дальский)	372
Виды технологических процессов	372
Основные требования к разработке технологических процессов	374
Исходная информация для разработки технологических процессов	375
Этапы разработки технологических процессов	375
Применение технологических процессов	391
Разработка высокопроизводительных операций (А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков)	393
Проектирование многоинструментальных наладок (А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков)	400
Разработка групповых технологических процессов (Г. Н. Мельников)	403
Разработка модульных технологических процессов (Б. М. Базров)	417
Построение чертежа детали в модульном исполнении	422
Разработка модулей технологического процесса (МТИ) изготовления МП, МПИ	423
Автоматизация проектирования технологических процессов механооборочного производства (Н. М. Канустин, П. М. Кузнецов)	427
Методы проектирования	427
Характеристики и основные принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП)	428
Структурный синтез	431
Математические модели	436
Параметрическая оптимизация	440
Развитие систем САПР ТП	443
Список литературы	443
Глава 6.	
ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ	
(Л. Б. Цейтлин, А. Г. Суллов)	445
Обработка на токарных станках (Р. К. Мещеряков, Б. И. Леонов)	445
Обработка на токарно-карусельных станках (М. Ф. Сухов, А. С. Васильев)	460
Обработка на токарно-револьверных станках (Ю. Л. Фрумин)	467
Обработка на одношпиндельных токарно-многолезцовых полуавтоматах (Л. Б. Цейтлин)	476
Обработка на одношпиндельных и многошпиндельных горизонтальных автоматах и полуавтоматах (Л. Б. Цейтлин)	485
Обработка на многошпиндельных вертикальных токарных полуавтоматах (Л. Б. Цейтлин)	496
Обработка на вертикально-и радиально-сверлильных станках (Ю. Л. Фрумин)	512
Обработка на расточных станках (А. Г. Схиртладзе)	529
Обработка на горизонтально-расточных станках	529
Обработка на координатно-расточных станках	541
Обработка на фрезерных станках (Ю. Л. Фрумин)	547
Обработка на строгальных станках (В. В. Надуваев)	560
Обработка на долбежных станках (Е. Н. Фролов)	564
Обработка на протяжных станках (Л. Г. Кацев)	567
Прецизионное точение (Л. Б. Цейтлин)	573
Обработка на шлифовальных и хонинговальных станках (М. С. Наерман)	587
Обработка на шлифовальных станках	587
Круглое наружное шлифование	587
Бесцентровое круглое шлифование	605
Шлифование отверстий	617
Плоское шлифование	623
Отделочная обработка абразивным инструментом	629
Тонкое шлифование	629
Хонингование	631
Суперфиниширование	639
Полирование	643
Доводка (П. Н. Орлов)	647
Обработка на зубообрабатывающих станках (А. С. Калашиников)	656
Зубофрезерование	656

Зубодолбление	659	Обработка координированных отверстий на агрегатных станках (В. Б. Борисов)	727
Зубозакругление	661	Обработка отверстий при плавающем соединении инструмента со шпинделем станка (О. М. Деев)	731
Зубошвингование	664	Растачивание отверстий на агрегатных станках без направления инструмента (А. А. Гусев, М. М. Пичилян)	735
Холодное накатывание зубьев	667	Обработка деталей на агрегатных станках с делительным поворотным столом (Ш. Н. Нуридинов)	739
Зубохонингование	668		
Зубошлифование	669		
Нарезание конических зубчатых и червячных колес	671		
Обработка на электрофизических и электрохимических станках (Е. А. Заставный)	681		
Глава 7.			
ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ			
(А. Г. Косилова, А. М. Дальский)	690		
Особенности технологических процессов изготовления деталей	690		
Преимущества и область применения агрегатных станков	690		
Адаптация агрегатных операций к серийному производству	692		
Составляющие погрешности обработки в технологических системах агрегатных станков	695		
Разработка технологических процессов	697		
Анализ технических требований к технологичности конструкций	697		
Требования к заготовкам для обработки на АС и АЛ (А. С. Абдыжапаров)	698		
Последовательность технологических разработок	700		
Проектирование наладок для агрегатных станков и автоматических линий (Ю. Л. Фрумин)	701		
Размерная настройка технологически процессов	704		
Установка заготовок для обработки на агрегатных станках и автоматических линиях (Л. А. Колесников)	707		
Обработка плоских поверхностей корпусных деталей на агрегатно-фрезерных станках и автоматических линиях (С. И. Богомалов)	712		
Обработка отверстий на агрегатных станках жестко закрепленным инструментом с направлением (Е. Ф. Никадимов)	720		
Глава 8.			
ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ И В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ			
(Р. К. Мещеряков, В. С. Стародубов, В. Н. Васильев)	743		
Применение гибких производственных систем при механической обработке деталей (В. Н. Васильев, Р. К. Мещеряков)	743		
Основные понятия	743		
Примеры структур гибких производственных систем механической обработки деталей и их характеристики	747		
Требования к технологичности конструкции деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мещеряков, И. В. Гайгал)	753		
Обработка на токарных станках с ЧПУ (Р. К. Мещеряков, В. С. Стародубов)	757		
Обработка на токарно-карусельных станках с ЧПУ (М. Ф. Сухов)	773		
Обработка на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ (Р. К. Мещеряков, И. В. Гайгал, К. Р. Мещеряков)	779		
Система координат станка с ЧПУ, детали, инструменты	779		
Типовые и постоянные циклы обработки элементов деталей	782		
Расчет координатных отверстий	783		
Последовательность выполнения переходов обработки деталей	791		
Инструментальная оснастка станков с ЧПУ (Р. К. Мещеряков, А. И. Мещеряков)	801		

Точность обработки деталей на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мецераков, К. Р. Мецераков, В. С. Стародубов)	805	Глава 9.	
Основные положения	805	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ (Ю. Д. Амиров)	865
Элементарные погрешности обработки деталей	806	Технологичность конструкции изделия (ТКИ). Основные сведения	865
Погрешность линейного позиционирования станков с ЧПУ	807	Определение ТКИ	865
Методы наладки станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы (Р. К. Мецераков, Е. И. Барисов)	808	Классификация и номенклатура показателей ТКИ	865
Повышение точности обработки деталей на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мецераков, В. С. Стародубов)	812	Основные расчетные зависимости	869
Производительность станков с ЧПУ и гибких производственных систем (Л. И. Волчкевич, Р. К. Мецераков)	819	Методы и приемы отработки конструкции изделия на технологичность	869
Особенности нормирования операций, выполняемых на станках с ЧПУ (Р. К. Мецераков, А. Н. Новиков, М. Г. Шеметов)	827	Требования к обеспечению технологичности конструкции изделия	869
Эффективность обработки деталей на станках с ЧПУ и в гибких производственных системах (Р. К. Мецераков, В. Н. Васильев)	845	Применение прогрессивных материалов и технологий	869
Основные требования к эксплуатации станков с ЧПУ, обеспечивающие их эффективное использование	845	Обеспечение технологичности конструкции детали	874
Коэффициент загрузки станка	850	Обеспечение технологичности конструкции соединения и сборочной единицы	876
Определение числа условно-высвобождаемых рабочих при внедрении станков с ЧПУ	851	Организация обеспечения технологичности конструкции изделия	878
Многостаночное обслуживание станков с ЧПУ	852	Основные показатели технологичности конструкции изделия	884
Расчет экономической эффективности внедрения станков с ЧПУ	857	Общие положения	884
Проблемы, возникающие при создании гибких производственных систем высокого уровня (В. Н. Васильев)	861	Трудоемкость изделия	885
		Материалоёмкость изделия	887
		Энергоёмкость изделия	889
		Технологическая себестоимость изделия	891
		Технологический контроль конструкторской документации	893
		Особенности технологического контроля	893
		Порядок проведения технологического контроля	894
		Связь технологического контроля с нормоконтролем	896
		Оформление и учет результатов технологического контроля	897
		Список литературы	901
		ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	902
		Замеченные опечатки	911

Глава

1

ТОЧНОСТЬ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ДЕТАЛЕЙ МАШИНПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Под точностью деталей машин понимают степень соответствия параметров изготовленной детали данным чертежа или ее прототипу. Различают точность, достигаемую при изготовлении деталей и точность машины или соединения, достигаемые при сборке. Точность является важнейшим показателем качества продукции. Понятие точности распространяется на все показатели качества как деталей, так и машин в целом. Чаще всего имеют дело с точностью геометрических параметров.

Точность геометрических параметров представляется точностью размеров, формы и взаимного расположения поверхностей детали. Поскольку абсолютных значений показателей качества достичь нельзя, оценивают значение погрешностей параметров. *Допустимая погрешность*, т.е. *допуск* представляет собой разность между наибольшим и наименьшим предельным значением параметра качества, например размера.

Под *погрешностью обработки* понимают отклонение полученного при обработке значения геометрического или другого параметра от заданного.

Абсолютную погрешность выражают в единицах рассматриваемого параметра:

$$\Delta X = X_d - X_n,$$

где X_d и X_n — соответственно действительное (полученное) и номинальное значения параметра. При несимметричном расположении поля допуска относительно номинального значения вместо номинального значения параметра принимают его среднее значение. Отношение абсолютной погрешности к заданному значению параметра называют *относительной погрешностью*: $\Delta X / X_n$ или $\Delta X / X_n \cdot 100\%$. Количественно точность характеризуется обратной величиной модуля относительной погрешности $|\Delta X / X_n|^{-1}$.

Функциональные допуски устанавливают исходя из допустимых отклонений эксплуатационных показателей машины или детали.

Конструкторские допуски устанавливают на основе анализа работы машины с учетом затрат на ее изготовление и последующую эксплуатацию.

Допуски на промежуточные значения параметров в ходе технологических процессов (например размера, формы и др.) называют *технологическими*. К ним относятся и допуски, назначаемые для последних (финишных) переходов технологических процессов. Технологические допуски конкретной детали, соединения или машины должны быть меньше конструкторских или равны им. В противном случае технологический процесс должен быть пересмотрен.

Точность размеров различных поверхностей деталей должна соответствовать допускам. Так, возникающие отклонения диаметров шеек валов, глубины отверстий и их диаметров, различных углов и т.п. могут колебаться лишь в соответствии со значениями допусков. По назначению размеры относят к различным группам. *Координирующие размеры* используют для определения взаимного расположения поверхностей деталей, а также осей. Координирующие размеры часто увязывают между собой различные поверхности деталей.

Сборочные размеры определяют положение одних элементов машин относительно других. Иногда вводят технологические размеры, которые оказываются необходимыми при изготовлении деталей и их контроле.

Точность форм оценивается отклонением реальных поверхностей деталей от геометрических. Так, отклонение от круглости цилиндрической детали в данном ее сечении оценивается отклонением реальной поверхности от прилегающей окружности. Аналогично оценивается отклонение от цилиндричности, плоскостности и др.

Точность деталей оценивается также отклонениями расположения их поверхностей, то

есть отклонениями реального расположения поверхностей от номинального. Каждое из отклонений расположения поверхностей имеет свое точное определение и методику оценки.

Иногда для практики оказывается удобным указывать отклонения формы и взаимного расположения в процентах от допуска на размеры.

Каждому методу обработки при изготовлении деталей соответствует определенная допустимая точность. В свою очередь можно по достигаемой точности определить метод обработки.

Допуски и основные отклонения системы допусков и посадок для размеров регламентируются ГОСТ 25346-89; допуски формы и

расположения поверхностей деталей – ГОСТ 24643-81.

В табл. 1 – 3 приведены допуски формы цилиндрических и плоских поверхностей и значения параметра шероховатости Ra в зависимости от квалитетов допусков размеров и уровней относительной геометрической точности. При отсутствии указаний о допускаемых отклонениях формы и расположения поверхностей эти отклонения ограничиваются полем допуска на размер. Однако на всех переходах механической обработки отклонения формы и расположения поверхностей рекомендуется ограничивать некоторой частью допуска размера, с тем чтобы исключить возможность появления брака по размеру.

1. Допуски (мкм) формы цилиндрических поверхностей (цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения) в зависимости от квалитета допуска размера

Квалитеты допуска размера при уровне относительной геометрической точности			Интервал номинальных размеров, мм												Степень точности по ГОСТ 24643-81
			До 3	Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500	
A	B	C													
		4	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	1
	4	5	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	2
4	5	6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	3
5	6	7	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	4
6	7	8	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	5
7	8	9	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	6
8	9	10	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	7
9	10	11	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	8
10	11	12	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	9
11	12		20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	10
12			30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	11

Примечания: 1. Под номинальным размером понимают номинальный диаметр поверхности.

2. Допуски цилиндричности, круглости и профиля продольного сечения (сокращенно "допуски геометрии"), соответствующие уровням: А – нормальной, В – повышенной, С – высокой относительной геометрической точности, составляют примерно 30, 20 и 12 % допуска размера. Допуски формы ограничивают отклонения радиуса, а допуски размера – отклонения диаметра поверхности.

3. Допуски геометрии, для которых используется менее 12 % допуска размера, характеризуют особо высокую геометрическую точность поверхности.

4. Допуски геометрии назначают в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера. Исключения составляют случаи, когда истолкование предельных размеров отличается от установленного ГОСТ 25346-82, например, для поверхностей, несопрягаемых или легко деформируемых элементов. В этих случаях числовое значение допуска геометрии может превышать допуск размера.

2. Допуски (мкм) прямолинейности, плоскостности и параллельности плоскостей в зависимости от квалитета допуска размера

Квалитеты допуска размера при уровне относительной геометрической точности			Интервал номинальных размеров, мм													
			До 3	Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600	Св. 1600 до 2000	Св. 2000 до 2500
A	B	C														
		4	0,8	1	1,2	1,6	1,6	2-2,5	3	4	5	8	8	10	12	12
		5	1	1,6	2	2	2,5	3-4	5	6	8	10	10	12	16	20
4		4	1,2	1,6	2	2,5	2,5	3-4	5	6	8	12	12	16	20	20
		2	2,5	3	4	4	6	8	10	12	20	20	25	30	30	
	4	5	1,6	2-2,5	2,5-3	3	4	5-6	6-8	8-10	10-12	12-16	16	20	25	25-30
5	6	7	2,5	3-4	4-5	5	6	8-10	10-12	12-16	16-20	20-25	25	30	40	40-50
6	7	8	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	60-80
7	8	9	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120
8	9	10	10	12	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200
9	10	11	16	20	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300
10	11	12	25	30	40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500
11	12		40	50	60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800
12			60	80	100	120	160	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200

Примечание. Под номинальным размером понимают размер наибольшей стороны плоской поверхности.

3. Параметр шероховатости поверхности Ra (мкм) детали в зависимости от квалитета допуска размера и уровня относительной геометрической точности

Уровни относительной геометрической точности при номинальных размерах, мм				Квалитеты допуска размера											
				3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 и 13	14 и 15	16 и 17
До 18 до 50	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500												
C				-	-	-	-	-	-	0,8	0,8	1,6	-	-	-
-B	C-	-C		0,05	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4	1,6	1,6	1,6-3,2	6,3	12,5	25
		B	C	0,1	0,2	0,2	0,4	0,8	0,8	3,2	3,2	3,2	6,3	12,5	25
A-		-B		0,1	0,2	0,2-0,4	0,4	0,8	0,8-1,6	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5-25	25-30
*				0,2	0,4	0,4	0,8	1,6	1,6	3,2	3,2	6,3	12,5	12,5	25
	-A	B-		0,2	0,4	0,4	0,8	1,6	1,6	6,3-3,2	6,3	6,3-12,5	25	25-50	50-100

Продолжение табл. 3

Уровни относительной геометрической точности при номинальных размерах, мм				Квалитеты допуска размера											
До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 и 13	14 и 15	16 и 17
	*			0,4	0,8	0,8	1,6	3,2	3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	25	50
		A-	-A	0,2-0,4	0,4-0,8	0,8	0,8-1,6	1,6-3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	25	50	100
		*-	*-	0,4-0,8	0,8-1,6	1,6	1,6-3,2	3,2	6,3	6,3	12,5	25	50	100	100

Примечания: 1. В таблице установлены наиболее грубые пределы (наибольшие допускаемые) параметры R_a .

Приняты следующие соотношения для уровней относительной точности: $R_a \leq 0,05IT$ ($R_z \leq 0,2IT$) – для уровня А (нормальный); $R_a \leq 0,025IT$ ($R_z \leq 0,1IT$) – для уровня В (повышенной); $R_a \leq 0,012IT$ ($R_z \leq 0,05IT$) – для уровня С (высокой), где IT – допуск соответствующего размера.

2. Для особо высокой относительной геометрической точности (допуски формы составляют менее 25 % допуска размера) $R_a < 0,15T_F$ ($R_z < 0,6T_F$), где T_F – допуск формы.

3. При заданных допусках биения T_c (радиального, торцового, в заданном направлении, полного радиального, полного торцового биения) рекомендуется назначать $R_a \leq 0,1T_c$ ($R_z \leq 0,4T_c$).

4. Знак * означает, что рассматривается случай, когда допуски формы не указаны на чертеже, т.е. допуски формы ограничиваются полем допуска размера.

5. Знак (-) перед или после обозначения уровня относительной точности означает, что следует назначать величину R_a , указанную в таблице относительно знака (-). Например, по 11-му качеству для -В и -С принимают $R_a = 3,2$ мкм; для С- принимают $R_a = 1,6$ мкм.

ТАБЛИЦЫ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Особенности выполнения отдельных операций не позволяют дать заключение о точности обработки по аналогии с другими операциями, так как между ними не бывает всестороннего сходства. В частности, отличаются размеры и форма обрабатываемых заготовок, состояние станков, режимы обработки и другие технологические факторы. Хотя таблицы дают лишь общее представление о возможной точности обработки, они необходимы как справочные данные при проектировании технологических процессов.

Приводимые таблицы содержат ориентировочные данные по точности для различных методов обработки, полученные систематизацией непосредственных наблюдений в производственных условиях.

В табл. 4 и 5 приведены данные о точности и поверхностном слое при обработке наружных цилиндрических поверхностей и отверстий, а в табл. 6 – данные о точности расположения осей отверстий при растачивании.

Каждому методу обработки соответствует определенный диапазон квалитетов допусков размеров, степеней точности формы, параметров шероховатости R_a и глубины дефектного слоя. Для черновых переходов обработки это в первую очередь связано с точностью исходной заготовки, для чистовых – с точностью выполнения предшествующих переходов обработки и с условиями осуществления данного перехода.

Точность на каждом последующем переходе обработки данной элементарной поверхности обычно повышается на черновых переходах на один – три квалитета или одну – три степени точности, на чистовых – на один – два квалитета точности размера или одну – две степени точности формы обрабатываемой поверхности. Для деталей из чугуна, цветных сплавов размеры обрабатываемых поверхностей выдерживают на один квалитет, а отклонения формы – на одну степень точности выше, чем для деталей из стали, обрабатываемых в аналогичных условиях.

4. Точность и параметры поверхностного слоя при обработке наружных цилиндрических поверхностей

Обработка	Шероховатость поверхности R_a , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм														
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500			
Обтачивание: черновое получистовое или однокрайное чистовое	50 – 6,3	120 – 60	14	-	220	180	330	390	460	540	630	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
	25 – 1,6	50 – 20	13	220	150	270	330	390	460	540	630	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
	6,3 – 0,4	30 – 20	12	220	150	270	330	390	460	540	630	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
Обтачивание тонкое	1,6 – 0,2	10 – 5	9	36	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	170	185	210
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	6,3 – 0,4	20	9	36	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	170	185	210
	3,2 – 0,2	15 – 5	8	22	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	105	115	130
	1,6 – 0,1	5	7	15	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	70	77	85
Притирка, суперфинишрование	0,8 – 0,1	5 – 3	6	9	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	45	50	55

Продолжение табл. 4

Обработка	Шероховатость поверхности R_a , мкм	Глубина дефектного слоя, мкм	Качество допуска	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм															
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500				
Обтачивание, алмазное выглаживание	0,8-0,05	-	10 9 8 7 6 5	48 30 18 12 8 5	58 36 22 15 9 6	70 43 27 18 11 8	84 52 33 21 13 9	100 62 39 25 16 11	120 74 46 30 19 13	140 87 57 35 22 15	160 100 63 40 25 18	185 115 72 46 29 20	210 130 81 52 32 23	230 140 89 57 36 25	250 155 97 63 40 27				
Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах поверхности, мм																	
		Св. 3 до 10														Св. 18 до 30		Св. 30 до 50	
Обтачивание: черновое	11-12-13 10-11-12 9-10-11	-	25-40-60 16-25-40	30-50-80 20-30-50	30-50-80 20-30-50	40-60-100 25-40-60	40-60-100 25-40-60	80-120-200 50-80-120 30-50-80											
получистовое или однократное чистовое	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8 5-6-7	25-40-60 16-25-40 10-16-25 6-10-16 4-6-10 2,5-4-6	30-50-80 20-30-50 12-20-30 8-12-20 5-8-12 3-5-8	30-50-80 20-30-50 12-20-30 8-12-20 5-8-12 3-5-8	40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25 6-10-16 4-6-10	40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25 6-10-16 4-6-10	80-120-200 50-80-120 30-50-80												
тонкое	6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5	4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3	5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5												

Продолжение табл. 4

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах поверхности, мм							
		Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50				
Шлифование: предварительное чистовое	6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5	4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5				
тонкое	3-4-5 2-3-4	1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	1,2-2-3 0,8-1,2-2	1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	2-3-5 1,2-2-3				
Притирка, суперфини- ширование	2-3-4 1-2-3	0,6-1,0-1,6 0,4-0,6-1,0	0,8-1,2-2 0,5-0,8-1,2	1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	1,2-2-3 0,8-1,2-2				
Обтачивание, алмазное выглаживание	7-8-9 6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5 2-3-4	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3 0,8-1,2-2	10-16-25 6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	12-20-30 8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3				
Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах поверхности, мм							
		Св. 50 до 120		Св. 120 до 250		Св. 250 до 400		Св. 400 до 500	
Обтачивание: черновое	11-12-13 10-11-12 9-10-11	100-160-240 60-100-160 40-60-100	120-200-300 80-120-200 50-80-120	160-240-400 100-160-240 60-100-160	200-300-500 120-200-300 80-120-200				
получистовое или однократное чистовое	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8 5-6-7	60-100-160 40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25 6-10-16	80-120-200 50-80-120 30-50-80 20-30-50 12-20-30 8-12-20	100-160-240 60-100-160 40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25	120-200-300 80-120-200 60-100-160 40-60-100 25-40-60 16-25-40				

Продолжение табл. 4

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах поверхности, мм			
		Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 500
Обтачивание: тонкое	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
Шлифование: предварительное	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
тонкое	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	1-2-3	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4	2-3-5
Притирка, суперфинишование	7-8-9	16-25-40	20-30-50	25-40-60	30-50-80
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	20-30-50
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	12-20-30
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	8-12-20
Обкатывание, алмазное выглаживание	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	5-8-12
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	3-5-8
	1-2-3	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4	2-3-5

Примечания: 1. Приведенные в таблице данные относятся к деталям из стали. Для деталей из чугуна или цветных сплавов допуски на размер и допуски формы можно принимать соответственно на один квартал и одну степень точнее.

2. Допуски на размер и допуски формы действительны для поверхностей с $l/d < 2$. При $l/d = 2 \dots 10$ допуски принимать соответственно на один-два квартала и одну-две степени точности формы грубее.

3. Допуски формы (цилиндричности, круглости и профили продольного сечения - сокращенно "допуски геометрии") указаны для уровней С - В - А (С - высокой, В - повышенной и А - нормальной) относительной геометрической точности.

4. Указанные в таблице значения параметра R_a примерно соответствуют уровням А - С относительной геометрической точности, причем $R_z = 4R_a$.

5. Точность и параметры поверхностного слоя при обработке отверстий

Обработка	Шероховатость поверхности R_a , мкм	Глубина дефектного слоя, мкм	Качество допуска	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм														
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500			
Сверление и рассверливание	25-0,8	70-15	13	-	-	270	330	390	460	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			12	-	-	180	210	250	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Зенкерование: черновое	25-6,3	50-20	13	-	-	270	330	390	460	540	-	-	-	-	-	-	-	-
			12	-	-	180	210	250	300	350	-	-	-	-	-	-	-	-
	25-0,4	50-20	13	-	-	270	330	390	460	540	-	-	-	-	-	-	-	-
			12	-	-	180	210	250	300	350	-	-	-	-	-	-	-	-
однократное литого или пролитого отверстия; чистовое после чернового или сверления	12,5-0,8	25-15	11	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	-	-	-	-
			10	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	-	-	-	-
	6,3-0,4	15-5	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	-	-	-	-
			8	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	-	-	-	-
Развертывание: нормальное	3,2-0,1	10-5	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	-	-	-	-
			5	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	-	-	-	-

Продолжение табл. 5

Обработка	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного слоя, мкм	Качество допуска	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм												
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
Протягивание: черновое литого или прошитого отверстия чистовое после чернового или после сверления	12,5 - 0,8	25 - 10	11 10	-	-	-	-	160	190	220	250	-	-	-	-	-
	6,3 - 0,2	10 - 5	9 8 7 6	-	43	52	62	74	87	100	100	140	160	-	-	-
	25 - 1,6	50 - 20	13	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970	
Растачивание: черновое чистовое тонкое	6,3 - 0,4	25 - 10	9	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	
	3,2 - 0,2	20 - 5	7	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	
	1,6 - 0,1	10 - 5	5	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	6,3 - 0,4	25 - 10	9	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	
	3,2 - 0,2	20 - 5	6	18	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97	
	1,6 - 0,1	10 - 5	5	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	

Продолжение табл. 5

Обработка	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Глубина дефектного слоя, мкм	Качество допуска	Технологические допуски (мкм) на размер при номинальных диаметрах отверстий, мм												
				Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
Притирка, хонингование	1,6 - 0,1	5 - 3	5 4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
	6,3 - 0,1	-	10	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250		
	10 - 11 - 12	10 - 11 - 12	9	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155		
Раскатывание, калибрование, алмазное выглаживание	8 - 9 - 10	8 - 9 - 10	8	22	27	33	39	46	57	63	72	81	89	97		
	7 - 8 - 9	7 - 8 - 9	7	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63		
	6 - 7 - 8	6 - 7 - 8	6	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40		
Сверление и рассверливание	10 - 11 - 12	10 - 11 - 12	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27		
	9 - 10 - 11	9 - 10 - 11	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20		
	8 - 9 - 10	8 - 9 - 10	10	10 - 16 - 25	30 - 50 - 80	40 - 60 - 100	50 - 80 - 120	60 - 100 - 160	80 - 120 - 200	100 - 160 - 250	120 - 200 - 300	150 - 250 - 400	200 - 300 - 500	250 - 400 - 600	300 - 500 - 800	400 - 600 - 1000
Зенкерование: черновое одноократное литого или прошитого отверстия; чистовое после чернового или сверления	10 - 11 - 12	10 - 11 - 12	5	4 - 6 - 10	5 - 8 - 12	6 - 10 - 16	8 - 12 - 20	10 - 16 - 25	12 - 20 - 30	15 - 22 - 30	18 - 25 - 35	23 - 32 - 40	25 - 32 - 40	30 - 36 - 40	36 - 40 - 45	
	9 - 10 - 11	9 - 10 - 11	4	3 - 5 - 8	4 - 6 - 10	5 - 8 - 12	6 - 10 - 16	8 - 12 - 20	10 - 16 - 25	12 - 20 - 30	15 - 22 - 30	18 - 25 - 35	23 - 32 - 40	25 - 32 - 40	30 - 36 - 40	
	8 - 9 - 10	8 - 9 - 10	10	10 - 16 - 25	30 - 50 - 80	40 - 60 - 100	50 - 80 - 120	60 - 100 - 160	80 - 120 - 200	100 - 160 - 250	120 - 200 - 300	150 - 250 - 400	200 - 300 - 500	250 - 400 - 600	300 - 500 - 800	400 - 600 - 1000

Продолжение табл. 5

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм			
		Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
Развертывание: нормальное точное тонкое	8-9-10 7-8-9	10-16-25 6-10-16	12-20-30 8-12-20	16-25-40 10-16-25	20-30-50 12-20-30
	6-7-8 5-6-7 4-5-6	4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	5-8-12 3-5-8 2-3-5	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6	8-12-20 5-8-12 3-5-8
	3-4-5 2-3-4	1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	1,2-2-3 0,8-1,2-2	1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	2-3-5 1,2-2-3
Протягивание: черновое литого или прошитого от- верстия чистовое после чернового или по- сле сверления	8-9-10 7-8-9	-	-	-	20-30-50 12-20-30
	6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5	-	5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3	6-10-25 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4	8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5
	10-11-12 9-10-11 8-9-10	25-40-60 16-25-40 10-16-25	30-50-80 20-30-50 12-20-30	40-60-100 25-40-60 16-25-40	50-80-120 30-50-80 20-30-50
Растачивание: черновое чистовое тонкое	7-8-9 6-7-8 5-6-7	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6	8-12-20 5-8-12 3-5-8	10-16-25 6-10-16 4-6-10	12-20-30 8-12-20 5-8-12
	4-5-6 3-4-5 2-3-4	1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	2-3-5 1,2-2-3 0,8-1,2-2	2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	3-5-8 2-3-5 1,2-2-3
	10-11-12 9-10-11 8-9-10	25-40-60 16-25-40 10-16-25	30-50-80 20-30-50 12-20-30	40-60-100 25-40-60 16-25-40	50-80-120 30-50-80 20-30-50

Продолжение табл. 5

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм			
		Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	6-7-8 5-6-7	-	5-8-12 3-5-8	6-10-16 4-6-10	8-12-20 5-8-12
	4-5-6 3-4-5	-	2-3-5 1,2-2-3	2,5-4-6 1,6-2,5-4	3-5-8 2-3-5
	2-3-4	-	0,8-1,2-2	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3
Притирка, хонингова- ние	2-3-4 1-2-3	0,6-1,0-1,6 0,4-0,6-1,0	0,8-1,2-2 0,5-0,8-1,2	1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	1,2-2-3 0,8-1,2-2
	7-8-9 6-7-8 5-6-7 4-5-6 3-4-5 2-3-4	6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5 0,6-1,0-1,6	8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3 0,8-1,2-2	10-16-25 6-10-16 4-6-10 2,5-4-6 1,6-2,5-4 1,0-1,6-2,5	12-20-30 8-12-20 5-8-12 3-5-8 2-3-5 1,2-2-3
	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8	60-100-160 40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25	-	-	-
Сверление и рассверли- вание	10-11-12 9-10-11 8-9-10 7-8-9 6-7-8	60-100-160 40-60-100 25-40-60 16-25-40 10-16-25	-	-	-
	10-11-12 9-10-11	60-100-160 40-60-100	-	-	-
Зенкерование: черновое	10-11-12 9-10-11	60-100-160 40-60-100	-	-	-
	10-11-12 9-10-11	60-100-160 40-60-100	-	-	-

Продолжение табл. 5

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм		
		Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400
Зенкерование: однократное литого или прошитого отверстия чистовое после черновото или сверления	10-11-12	60-100-160	-	-
	9-10-11	40-60-100	-	-
Развертывание: нормальное точное тонкое	8-9-10	25-40-60	30-50-80	40-60-100
	7-8-9	16-25-40	20-30-50	25-40-60
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40
	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16
Протягивание: черновое литого или прошитого отверстия чистовое после чернового или после сверления	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6
	8-9-10	25-40-60	30-50-80	-
	7-8-9	16-25-40	20-30-50	-
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	-
Расгачивание черновое	5-6-7	6-10-16	8-12-20	-
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	-
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	-
	10-11-12	60-100-160	80-120-200	120-200-300
9-10-11	40-60-100	50-80-120	60-100-160	
8-9-10	25-40-60	30-50-80	40-60-100	

Продолжение табл. 5

Обработка	Степень точности формы по ГОСТ 24643-81	Допуски формы (мкм) при номинальных диаметрах отверстий, мм		
		Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 400
Расгачивание: чистовое тонкое	7-8-9	16-25-40	20-30-50	25-40-60
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40
Шлифование: предварительное чистовое тонкое	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16
	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6
	6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40
Притирка, хонингование	5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25
	4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16
Расгачивание, калибрование, алмазное выглаживание	3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6
	2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6
	1-2-3	1,0-1,6-2,5	1,2-2-3	1,6-2,5-4
	7-8-9	16-25-40	20-30-50	25-40-60
6-7-8	10-16-25	12-20-30	16-25-40	
5-6-7	6-10-16	8-12-20	10-16-25	
4-5-6	4-6-10	5-8-12	6-10-16	
3-4-5	2,5-4-6	3-5-8	4-6-10	
2-3-4	1,6-2,5-4	2-3-5	2,5-4-6	

Примечание. См. приложения к табл. 4.

6. Точность расположения осей отверстий при растачивании

Станки	Методы координации инструмента	Отклонение межосевого расстояния, мкм
Токарные	Перемещением салазок на угольнике	100 – 300
Горизонтально-расточные	По шкале с нониусом	200 – 400
	По концевым мерам	50 – 100
	По индикаторному упору	40 – 80
	По кондуктору	50 – 100
	При программном управлении установкой координат	25 – 60
Координатно-расточные	По оптическим приборам	4 – 20
Алмазно-расточные	–	10 – 50
Агрегатно-расточные многошпиндельные	С направлением борштанг	25 – 70
	Без направления инструмента ¹	50 – 100

¹ При вылете инструмента $l \leq (3 \dots 4)d$.

Обработка отверстий осевым режущим инструментом часто выполняется на многошпиндельных станках, на которых условия обеспечения точности отличаются от условий одноинструментной последовательной обработки на универсальных сверлильных станках.

При одновременном сверлении отверстий с $l \leq 5d$ обеспечивается точность диаметральных размеров 13-го качества; при зенкерованиях – 8 – 11-го качества; при развертывании – 7-го качества.

На точность отверстий при зенкерованиях влияет, выполняется ли оно после сверления или для отверстий, полученных в отливках или поковках.

В табл. 7 – 9 приведены допуски расположения осей отверстий, обеспечиваемые на агрегатных многошпиндельных станках.

В табл. 10 приведены диаметры сверл для отверстий под нарезание резьбы.

Повышению точности при зенкерованиях и развертывании способствует: работа с минимальным вылетом конца инструмента за торец втулки; увеличение длины направляющей втулки; уменьшение зазора в сопряжении втулка – инструмент (при развертывании – до 5 – 12 мкм для отверстий диаметром до 25 мм); применение схемы направления по поясам на

цилиндрической поверхности вспомогательного инструмента вместо схемы направления по режущей части; применение плавающего соединения инструмента со шпинделем станка. При наиболее благоприятных условиях после развертывания можно обеспечить точность расположения оси отверстия от баз 0,04 мм, а межосевое расстояние – $\pm 0,035$ мм.

РАСЧЕТЫ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Способы обеспечения заданной точности. При изготовлении деталей сравнительно малыми партиями оправдывает себя *метод пробных ходов и измерений*. Он состоит в том, что заготовку выверяют на станке, закрепляют, и совершая последовательно ряд пробных ходов режущего инструмента или заготовки, каждый раз с помощью измерительных средств определяют степень приближения параметров точности (например, размеров) обрабатываемых поверхностей заготовки к размерам готовой детали. Метод позволяет добиться весьма высокой точности деталей, однако производительность оказывается, как правило, низкой, поскольку большое число рабочих ходов, проверка и измерения могут потребовать больших затрат времени.

7. Допуски (мм) расположения осей отверстий после сверления

Параметр	Диаметр отверстия, мм	Материал детали			
		Чугун и алюминий		Сталь	
		Сверло по ГОСТ 885-77			
		общего назначения	точного исполнения	общего назначения	точного исполнения
Смещение оси отверстия относительно: оси кондукторной втулки	До 6	0,13	0,12	0,18	0,17
	Св. 6 до 10	0,13	0,11	0,18	0,16
	» 10 » 18	0,15	0,13	0,20	0,18
	» 18 » 30	0,20	0,18	0,28	0,26
	» 30 » 50	0,27	0,25	0,38	0,36
технологических баз ¹	До 6	0,17	0,15	0,23	0,21
	Св. 6 до 10	0,17	0,15	0,22	0,20
	» 10 » 18	0,18	0,17	0,25	0,23
	» 18 » 30	0,25	0,23	0,34	0,32
	» 30 » 50	0,32	0,30	0,46	0,44
Расстояние между осями двух отверстий, обработанных одновременно на одной позиции	До 6	$\pm 0,23$	$\pm 0,20$	$\pm 0,31$	$\pm 0,29$
	Св. 6 до 10	$\pm 0,23$	$\pm 0,20$	$\pm 0,31$	$\pm 0,28$
	» 10 » 18	$\pm 0,25$	$\pm 0,23$	$\pm 0,34$	$\pm 0,31$
	» 18 » 30	$\pm 0,35$	$\pm 0,32$	$\pm 0,48$	$\pm 0,45$
	» 30 » 40	$\pm 0,45$	$\pm 0,42$	$\pm 0,65$	$\pm 0,61$

¹ Без учета погрешности базирования заготовок.

Примечание. При сверлении отверстий комбинированными сверлами табличные значения смещения осей должны быть увеличены: при $l = (2 \dots 3)d$ – в 1,8 раза; при $l > 3d$ – в 2,5 ... 2,8 раза.

8. Допуски (мм) расположения осей отверстий после зенкерования

Параметр	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Материал детали					
		Чугун		Алюминий		Сталь	
		Крепление инструмента					
		жесткое	плавающее	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее
Смещение обрабатываемого отверстия относительно: оси отверстия втулки	До 12	0,10	0,08	0,11	0,09	0,10	0,12
	Св. 12 до 18	0,09	0,08	0,11	0,10	0,12	0,12
	» 18 » 30	0,12	0,10	0,15	0,12	0,17	0,13
	» 30 » 50	0,14	0,13	0,18	0,14	0,20	0,16
	» 50 » 60	–	0,06	–	0,07	–	0,07
	» 60 » 80	–	0,07	–	0,07	–	0,07

Продолжение табл. 8

Параметр	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Материал детали					
		Чугун		Алюминий		Сталь	
		Крепление инструмента					
		жесткое	плавающее	жесткое	плавающее	жесткое	плавающее
технологических баз ¹	До 12	0,12	0,10	0,14	0,12	0,15	0,13
	Св. 12 до 18	0,12	0,11	0,14	0,13	0,15	0,13
	» 18 » 30	0,16	0,14	0,19	0,15	0,21	0,17
	» 30 » 50	0,18	0,16	0,22	0,18	0,25	0,19
	» 50 » 60	—	0,09	—	0,10	—	0,10
	» 60 » 80	—	0,10	—	0,10	—	0,10
Расстояние между осями двух одновременно обработанных на одной позиции автоматической линии отверстий	До 12	0,16	0,14	0,19	0,16	0,21	0,17
	Св. 12 до 18	0,16	0,15	0,19	0,17	0,20	0,18
	» 18 » 30	0,21	0,19	0,26	0,21	0,29	0,23
	» 30 » 50	0,24	0,22	0,30	0,25	0,34	0,26
	» 50 » 60	—	0,11	—	0,12	—	0,13
	» 60 » 80	—	0,13	—	0,13	—	0,13

¹ Без учета погрешности базирования заготовки.

9. Допуски (мм) расположения осей отверстий после развертывания

Параметр	Диаметр отверстия, мм	Точность кондукторной втулки	
		повышенная	высокая
Смещение оси обрабатываемого отверстия относительно: оси постоянной кондукторной втулки	До 18	0,042	0,038
	Св. 18 до 30	0,047	0,045
	» 30 » 50	0,052	0,049
	» 50 » 80	0,018	0,016
технологических баз ¹	До 18	0,070	0,066
	Св. 18 до 30	0,074	0,072
	» 30 » 50	0,079	0,076
	» 50 » 80	0,053	0,052
Расстояние между осями двух отверстий, обработанных одновременно на одной позиции автоматической линии	До 18	0,070	0,067
	Св. 18 до 30	0,076	0,069
	» 30 » 50	0,092	0,087
	» 50 » 80	0,039	0,036

¹ Без учета погрешности базирования заготовки.

П р и м е ч а н и е . При сверлении и развертывании отверстия комбинированным инструментом точность расположения осей отверстий соответствует точности зенкерования (см. табл. 8).

10. Рекомендуемый диаметр сверл для отверстий под нарезание резьбы (по рекомендуемому приложению к ГОСТ 19257-73)

Размеры, мм											
Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы P	Диаметр сверла		Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы P	Диаметр сверла		Номинальный диаметр резьбы	Шаг резьбы P	Диаметр сверла	
		*1	*2			*1	*2			*1	*2
1,0	0,2	0,80	0,82	4,5	0,5	4,00	—	11	0,5	10,50	10,60
	0,25	0,75	0,80		0,75	3,75	3,90		0,75	10,25	10,30
1,1	0,2	0,90	0,92	5,0	0,5	4,50	4,60	12	1,0	10,00	10,10
	0,25	0,85	0,90		0,8	4,20	4,30		1,5	9,50	9,70
1,2	0,2	1,00	1,05	5,5	0,5	5,00	5,10	14	0,5	11,50	—
	0,25	0,95	1,00		0,5	5,50	5,60		0,75	11,25	11,30
1,4	0,2	1,00	1,25	6,0	0,75	5,25	5,30	15	1,0	11,00	11,10
	0,3	1,10	1,15		1,00	5,00	5,10		1,25	10,80	10,90
1,6	0,2	1,40	1,45	7,0	0,5	6,50	6,60	16	1,5	10,50	10,70
	0,35	1,25	1,30		0,75	6,25	6,30		1,75	10,20	10,40
1,8	0,2	1,60	1,65	8,0	1,00	6,00	6,10	17-52	0,5	13,50	—
	0,35	1,45	1,50		0,5	7,50	7,60		0,75	13,25	13,30
2,0	0,25	1,75	1,80	9,0	0,75	7,25	7,30	18	1,0	13,00	13,10
	0,4	1,60	1,65		1,0	7,00	7,10		1,25	12,80	—
2,2	0,25	1,95	2,00	10,0	1,25	6,80	6,90	19	1,5	12,50	12,70
	0,45	1,75	1,80		0,5	8,50	8,60		2,0	12,00	12,20
2,5	0,35	2,15	2,20	11,0	0,75	8,25	8,30	20	1,0	14,00	—
	0,45	2,05	2,10		1,0	8,00	8,10		1,5	13,50	13,70
3,0	0,35	2,65	2,70	12,0	1,25	7,80	7,90	21	0,5	15,50	—
	0,5	2,50	2,60		0,5	9,50	9,60		0,75	15,25	—
3,5	0,35	3,15	3,20	13,0	0,75	9,25	9,30	22	1,0	15,00	—
	0,6	2,90	2,95		1,0	9,00	9,10		1,5	14,50	—
4,0	0,5	3,50	3,60	14,0	1,25	8,80	8,90	23	2,0	14,00	14,20
	0,7	3,30	3,40		1,5	8,50	8,70		P	(d - P)	—

¹ Обработка отверстий в заготовках из серого чугуна — по ГОСТ 1412-85; из сталей — по ГОСТ 380-94; ГОСТ 1050-88; ГОСТ 4543-71; ГОСТ 10702-78; ГОСТ 5632-72 (кроме сплавов на никелевой основе); ГОСТ 20072-74; из алюминиевых литейных сплавов — по ГОСТ 2685-75; из меди — по ГОСТ 859-78.

² Обработка отверстий в заготовках из материалов повышенной вязкости: сплавов магния — по ГОСТ 804-93; алюминиевых — по ГОСТ 4784-97; латуни — по ГОСТ 15527-70; титановых сплавов, сталей и сплавов высоколегированных, коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных (на никелевой основе) — по ГОСТ 5632-72 и ГОСТ 20072-74.

Метод обработки на *предварительно настроенных станках* используют при сравнительно большом количестве обрабатываемых заготовок. В этом случае заготовки не выверяют, а закрепляют, как правило, в приспособлениях, которые определяют положение заготовок относительно оборудования и инструмента. Инструмент или заготовка совершают один ход, в результате которого технологическая система обеспечивает все необходимые точностные показатели детали. Производительность в этом случае повышается, а точностные показатели детали зависят от состояния технологической системы.

При использовании обоих методов стараются минимизировать действие субъективных факторов, что обеспечивает автоматизация технологических процессов. К методам обработки на предварительно настроенных станках относят методы изготовления деталей на автоматическом оборудовании (станки с ЧПУ, гибкие системы и т.п.), оборудовании с автоматическим контролем. В этих случаях допуски могут быть существенно уменьшены. В общем случае отклонения размеров не превышают 2 ... 40 мкм, а отклонения формы – 5 ... 20 мкм.

Различают два способа обеспечения заданной точности заготовок. При *единичном* (индивидуальном) производстве точность каждой отдельной заготовки зависит от условий, определяемых информацией оператора (свободная ковка на молотах, формовка единичной заготовки при литье и др.). Способ используют для изготовления небольших партий или уникальных заготовок. При *автоматическом* способе точность заготовок определяется погрешностями регулировок, наладки соответствующего оборудования, точностью инструментов (литье под давлением, штамповка и др.).

Способы достижения точности размеров заготовок и деталей при механической обработке тесно связаны между собой. Заготовки, полученные единичным способом, обычно устанавливают на станках с помощью выверки. Положение инструмента также обеспечивают единичным способом. Обработка на автоматическом оборудовании (автоматических линиях, автоматах, станках с ЧПУ, в том числе встроенных в гибкие производственные модули и системы) проводится способом партионной наладки технологической системы. В этом случае необходимо иметь более точные заготовки вне зависимости от программы выпуска изделий.

Эти особенности обеспечения точности учитывают при определении элементарных погрешностей установок заготовок для обработки, наладки технологических систем и т.п., а также при определении суммарной погрешности обработки.

Модель. Для изучения и выявления закономерностей процессов изготовления деталей часто прибегают к их исследованию с помощью моделей, отражающих основные свойства объектов моделирования. Изучение свойств объекта моделирования с помощью анализа аналогичных свойств его модели представляет собой процесс моделирования. Различают физические и математические методы моделирования.

Физическое моделирование предназначено для исследования натурных моделей подобия, воспроизводящих объект моделирования в меньшем масштабе.

Математическое моделирование основано на том, что реальные процессы в объекте моделирования описывают определенными математическими соотношениями, устанавливающими связь между входными и выходными воздействиями. Математическое моделирование, сохраняя основные черты протекающих явлений, основано на упрощении и схематизации. Математические модели являются моделями неполной аналогии.

Для успешного использования модели необходимо, чтобы она количественно и качественно верно описывала свойства объекта моделирования, т.е. она должна быть адекватна.

В зависимости от метода получения математических соотношений различают модели: статистические, основанные на описании физических и химических явлений, и смешанные.

Модели смешанного типа для решения технологических задач строят на основании описания физических процессов в объекте моделирования, однако ряд коэффициентов определяют экспериментально.

Расчет погрешности изготовления детали по данному параметру (размеру, отклонениям формы, расположения и т. п.) состоит из трех этапов. На первом этапе проводят схематизацию реальной операции. Далее выполняют теоретический анализ операции, в результате которого устанавливают зависимости для расчета элементарных и суммарной погрешностей. На третьем этапе экспериментально проверяют полученные соотношения.

Анализ точности с полным учетом всех факторов затруднен, поэтому при схематизации операции (выборе расчетной схемы модели) обосновывают возможность учета факторов, которые наиболее заметно влияют на рассматриваемый параметр точности обработки.

Так, при расчете погрешности базирования обычно пренебрегают отклонениями формы поверхности заготовок, служащей базой. Такая схематизация часто оправдана, но не для всех операций. Например, при обработке валов, устанавливаемых в лонете, погрешности формы поверхности, используемой в качестве базы, копируются на обработанном профиле детали, поэтому расчетная схема здесь должна быть иной.

При оценке отклонений размера цилиндрической поверхности, возникающей из-за упругих деформаций технологической системы, ограничиваются анализом влияния постоянной (в пределах одного оборота) составляющей силы резания; для объяснения механизма возникновения отклонений формы и расположения обработанного профиля и их оценки необходим анализ системы в динамике. Таким образом, вид рассматриваемого параметра точности может решительным образом сказаться на модели процесса.

При анализе точности обработки технологическую систему обычно рассматривают как линейную *динамическую систему*. Это позволяет получить явные решения в замкнутой форме. Термин "динамическая система" указывает на то, что процессы в этой системе протекают во времени. Динамическая система может быть нелинейной, но поскольку исследуется точность обработки, при которой смещения невелики, то систему можно рассматривать как линейную.

Внешние возмущения, действующие на входе в систему или в элементы системы, называют входными переменными, сигналами или функциями. На выходе наблюдают выходные переменные, сигналы или функции. При работе системы каждой комбинации входных функций [вектору $x(t)$] соответствует определенная и единственная комбинация выходных функций [вектор $y(t)$]. Закон, по которому $x(t)$ соответствует $y(t)$, называют оператором; обозначим его через A :

$$y(t) = Ax(t).$$

Система линейна, если линеен ее оператор. Оператор A называют линейным, если при

любых числах n, c_1, \dots, c_n и любых функциях $x_1(t), \dots, x_n(t)$ справедливо равенство

$$A \left\{ \sum_{r=1}^n c_r x_r(t) \right\} = \sum_{r=1}^n c_r Ax_r(t),$$

которое отражает свойства однородности и независимости действия факторов (наложимости воздействий, суперпозиции, аддитивности). Понятие однородности означает, что реакция системы на любой сигнал, умноженный на некоторую постоянную, равна этой постоянной, умноженной на реакцию системы на входной сигнал.

В соответствии со свойством суперпозиции реакция системы (перемещения, напряжения и деформации) на сумму входных сигналов (сил или тепловых воздействий) не зависит от порядка приложения сил или тепловых полей и равна сумме реакций на каждый отдельно взятый входной сигнал. При этом подразумевают, что модуль упругости E и температурный коэффициент линейного расширения α не зависят от напряжения и температуры.

Упрощение расчетной схемы, рассмотрение ее как линейной с присущим ей свойством суперпозиции открывают широкие возможности для упрощения расчетов динамических систем. Возможность рассмотрения технологической системы как линейной позволяет разработать наглядную и логичную теорию точности, основанную на дифференцированном анализе простейших элементов технологического процесса или операции. При этом полностью раскрывается физическая сущность этих элементов. Обязательным условием является возможность описания этих элементов аналитически.

Действующее на технологическую систему воздействие в большинстве случаев имеет четко выраженный период колебаний T . Так, произвольно заданное внешнее силовое воздействие $P(t)$ (или тепловое) представляют совокупностью некоторых однотипных составляющих; далее определяют эффект действия одной из составляющих. Общий эффект от действия силы $P(t)$ образуется как соответствующая сумма частных.

Применяют различные варианты разложения силового воздействия. Чаще всего силу представляют в виде конечной суммы гармонических составляющих (применяют разложение в ряд Фурье):

$$P(t) = P_0 + \sum_{k=1}^n P_k \cos(k\varphi + \varphi_k).$$

Теория точности построена на разумном сочетании дифференцированного подхода к изучению отдельных типовых простейших элементов и обязательного комплексного охвата всех сторон, всех операций и переходов обработки, транспортирования заготовок при обработке, контроля заготовок и деталей. Требование комплексности важно при анализе комплексно автоматизированных производств (автоматических линий, гибких производственных систем).

Требование комплексности реализуется в нескольких направлениях: учетом совокупности основных факторов, расчетом всех параметров качества детали (изделия), необходимостью расчета процесса как единой последовательности переходов и операций (предполагая обязательное сохранение и учет эффекта действия и результатов предшествующих этапов обработки), учетом возможности обработки многих партий деталей, использованием многих экземпляров оборудования, приспособлений, инструмента, решением вопросов точности, производительности и экономичности.

При изготовлении деталей на станке осуществляются несколько рабочих процессов (резание, трение), воздействующих на упругую систему, вызывая смещение деталей, образующих подвижное соединение, в котором протекает рабочий процесс. Но наблюдается и обратное воздействие. Например, при смещениях инструмента и заготовки изменяется глубина и сила резания. Это заставляет рассматривать динамическую систему как замкнутую с отрицательной обратной связью.

В замкнутой системе силы резания являются внутренними воздействиями. Периодические силы возникают из-за погрешностей зубчатых передач, неуравновешенности вращающихся деталей, передаваемых фундаменту станка от другого оборудования, и т.п.; внешние воздействия на процесс резания связаны с переменностью сечения срезаемого слоя, скорости резания при обтачивании торцов и т.п.

Введение понятия о замкнутости системы является основным при анализе виброустойчивости и других вопросов. В ряде случаев наличие обратной связи не учитывают и тогда силы резания считают внешним силовым фактором.

Применяемые при анализе математические методы зависят от вида системы. Систему,

которая на одно и то же входное воздействие всегда отвечает определенным выходным воздействием, называют *детерминированной*. В том случае, когда свойства оператора системы не зависят от времени, оператор и систему называют *стационарными*. В стационарной системе при любом сдвиге во времени входного возмущения без изменения его формы выходное воздействие претерпевает такой же сдвиг во времени без изменения своей формы. Если при одном входном воздействии выходное воздействие различно, систему называют *недетерминированной*; если это выходное воздействие подчиняется явно выраженным статистическим (вероятностным) закономерностям, то систему называют *стохастической*.

Цель расчета. При расчетах точности обработки можно:

оценить возможное рассеяние заданного параметра (вычислить суммарную погрешность обработки);

установить долю элементарных погрешностей, разработать мероприятия, снижающие влияние доминирующих погрешностей на точность обработки (принимая, например, другие варианты базирования, закрепления деталей; вместо многорезцово-обработки нежестких деталей вводят обработку на гидрокопировальных станках и т.п.);

регламентировать продолжительность обработки деталей до принудительной подрегулировки или смены режущего инструмента, наиболее изнашивающихся деталей приспособления и т.п.

Наиболее сложно вычислить суммарную погрешность обработки. Это объясняется недостаточным количеством данных по элементарным погрешностям обработки, отсутствием частных методик по расчету технологических процессов на точность. Поэтому технологу в некоторых случаях приходится самостоятельно разрабатывать план, анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований. Обычно ограничиваются решением двух последних задач, так как уже это дает большой эффект в повышении точности обработки, особенно для автоматизированного производства. Для операций, выполняемых на токарных, расточных и других станках, расчет может быть выполнен в полном объеме.

Наибольшее распространение получили два метода расчета точности обработки. *Первый метод* предполагает использование значений элементарных погрешностей обра-

ботки, характерных для данного технологического процесса. Каждая погрешность характеризуется числовым значением с учетом рассеяния. Суммирование элементарных погрешностей характеризует ожидаемую точность обработки.

Второй метод основан на использовании законов математической статистики и теории вероятностей. Элементарные погрешности выступают как случайные и систематические величины, комбинируются при изготовлении каждой детали в различных сочетаниях. Метод позволяет судить о суммарной погрешности, то есть точности обработки без детального анализа элементарных погрешностей.

Основные элементарные погрешности обработки. При изготовлении детали кроме необходимого для формирования поверхности движения системы возникают добавочные относительные смещения детали (заготовки) и инструмента с номинальной траектории. В результате обработанная поверхность будет иметь размер, форму и расположение, отличные от заданных.

Смещения отсчитывают от определенной базы – так называемой *поверхности отсчета* – в установленном направлении. Обычно систему отсчета связывают с номинальной обрабатываемой поверхностью. Для удобства за поверхность отсчета можно принимать и иную поверхность, эквидистантно расположенную относительно номинальной. Например, при анализе погрешностей обработки поверхностей вращения за поверхность отсчета принимают идеально расположенную ось детали.

Появление дополнительных смещений элементов технологической системы связано с действием на систему различных тепловых, силовых и иных факторов. Элементарные погрешности обработки характеризуют смещения одного или нескольких элементов технологической системы под влиянием одного или нескольких факторов.

Различают следующие *основные погрешности*:

$\Delta \epsilon_y$ – установки заготовок в приспособлении с учетом колебания размеров баз, контактных деформаций установочных баз заготовки и приспособления, точности изготовления и износа приспособления;

Δ_y – колебания упругих деформаций технологической системы под влиянием нестациональности нагрузок (сил резания, сил инерции

и др.), действующих в системе переменной жесткости;

Δ_n – наладки технологической системы на выдерживаемый размер с учетом точностной характеристики применяемого метода наладки;

Δ_n – в результате размерного износа режущего инструмента;

$\Sigma \Delta_{ст}$ – технологической системы, связанные с геометрическими погрешностями станков динамическими погрешностями, деформациями заготовок под действием различных сил;

$\Sigma \Delta_r$ – колебания упругих объемных и контактных деформаций элементов технологической системы вследствие их нагрева при резании, трения подвижных элементов системы, изменения температуры в цехе.

Такое представление об элементарных погрешностях является условным и обосновано главным образом удобством их расчета. В некоторых случаях можно определять отдельно погрешности, влияющие на точность обработки. Погрешность измерения в общем случае учитывают в составе погрешности наладки, но при значительном влиянии на общую погрешность ее также рассматривают отдельно.

На суммарную погрешность обработки могут влиять также остаточные напряжения от предшествующей обработки или присущие данной операции факторы (например, скорость и продолжительность съема материала при чистовых и отделочных операциях).

При изготовлении партии конкретных деталей погрешности имеют рассеяние, характеризующее определенным законом рассеяния. В технологии машиностроения чаще всего встречается *нормальное распределение* (закон Гаусса). Этот закон характеризует технологические процессы, у которых все случайные величины, определяющие конечный результат, слабо влияют друг на друга, а действие каждой случайной величины сравнительно мало по сравнению с их суммарным действием.

Уравнение кривой нормального распределения:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение; e – основание натурального логарифма; a – значение абсциссы, при котором ордината y достигает максимума.

Этот закон удовлетворительно описывает рассеяние размеров деталей на предварительно настроенных станках и ряда других параметров.

В большинстве случаев закон оказывается справедливым при механической обработке заготовок по 8, 9 и 10-му качествам.

Распределение параметров заготовок может происходить также по закону **равной вероятности**. В ходе обработки параметр заготовки (например, размер) линейно изменяется за определенное время от "а" до "b". Примером может являться одинаковый износ режущего инструмента за одинаковые промежутки времени. Когда это явление оказывается доминирующим среди других одновременно действующих причин, среднее арифметическое изменение размера

$$\bar{L} = \frac{(a+b)}{2},$$

а среднее квадратическое

$$\sigma = \frac{b-a}{2\sqrt{3}}.$$

Закон распространяется на распределение размеров деталей по 5 и 6-му качествам при изготовлении по методу пробных ходов и измерений.

В случае, когда в ходе технологического процесса параметр точности обработки изменяется сначала медленно, а затем с ростом числа заготовок ускоренно, распределение соответствует **закону треугольника** (закону Симпсона). На практике такое положение соответствует интенсивному износу режущего инструмента в первый период его стойкости и увеличению сил резания в конце периода стойкости. Закон проявляется при обработке заготовок по 8-му и 7-му качествам (редко по 6-му).

Когда в ходе технологического процесса случайными оказываются существенно положительные параметрами, распределение подчиняется **закону эксцентриситета** (закону Релея). К таким параметрам относятся эксцентricность, непараллельность, перпендикулярность, биение, разностенность и некоторые другие.

Уравнение кривой, соответствующей закону Релея

$$y = \frac{R^2}{\sigma_0^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma_0^2}},$$

где $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ – радиус вектор, являющийся случайной величиной; σ_0 – среднее квадратическое отклонение значений координат x и y , также являющихся случайными величинами.

В ходе обработки действует, как правило, одновременно несколько законов распределения. Значения случайных величин определяют по результатам измерений.

АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ

Погрешности обработки Δy , возникающие в результате смещения элементов технологической системы под действием сил. Под воздействием постоянной составляющей силы резания P_0 элементы технологической системы смещаются из исходного (ненагруженного) состояния; возникающие при этом силы упругости стремятся вернуть систему в исходное состояние. Смещение (отжатие) элемента технологической системы в направлении выдерживаемого размера и сила упругости находятся в определенном соответствии. В простейшем случае способность линейной упругой системы или элемента сопротивляться приложенной статической нагрузке характеризует жесткость упругой системы или ее элемента.

Жесткость определяют как отношение составляющей силы P_{y0} , направленной по нормали к обработанной поверхности, к смещению y в том же направлении (кН/м; Н/мм):

$$j = \frac{P_{y0}}{y(P_0)}.$$

Подразумевают, что на систему одновременно с P_{y0} действуют и другие составляющие (P_{x0}, P_{z0}) силы резания P_0 . Смещение зависит от силы P_0 , т.е. $y(P_0)$.

Упругие свойства сложных элементов технологических систем, состоящих из нескольких деталей, невозможно определить одним коэффициентом жесткости, так как зависимость между силой и отжатием (упругая характеристика) – нелинейная. Но при расчетах точности обычно нелинейную характеристику на рабочем диапазоне силы резания заменяют линейной и принимают

$$j = \frac{\Delta P_{y0}}{\Delta y(P_0)}.$$

Жесткость, упругую характеристику элементов и системы в целом определяют расчетом (для простых деталей) или экспериментально (для сложных узлов). Так как жесткость узла зависит от направления и точки приложения силы, то исследования проводят в условиях, наиболее полно моделирующих реальные условия последующей обработки: к узлу прикладывают силу, по величине и направлению совпадающую с постоянной составляющей силы резания, возникающей при обработке; назначают определенный вылет резца, положение пиноли задней бабки. Нагружение обычно производят на неработающем станке и получают характеристику статической жесткости, которая, однако, не совпадает с действительной жесткостью станка в работе.

По аналогии со статической жесткостью j способность системы или элемента сопротивляться приложенной постоянной составляющей силы резания P_{y0} при данной частоте вращения шпинделя n характеризуют квазистатической жесткостью

$$j_{k \text{ ст}}(n) = \frac{P_{y0}}{y(P_0, n)}.$$

Динамической жесткостью называют отношение гармонической составляющей силы $P_{yk} \cos k\omega t$ к вызываемому ею смещению $y(P_k, n)$:

$$j_{\text{дин}} = \frac{P_{yk} \cos k\omega t}{y(P_k, n)},$$

где ω – угловая скорость, частота гармонической составляющей силы резания при $k = 1$, вызванная изменением силы в результате смещения (эксцентриситета) обрабатываемого профиля.

Угловая (круговая) частота (рад/с) $\omega = 2\pi/\tau = 2\pi\nu$, где τ – период колебаний, с, промежуток времени между двумя последующими максимальными отклонениями; ν – частота колебаний (число колебаний в 1 с, Гц) – величина, обратная периоду колебаний τ : $\nu = 1/\tau$.

Смещение элемента системы иногда оценивают угловым перемещением в радианах. В соответствии с этим меняют и единицу измерения жесткости.

В технологических расчетах часто пользуются податливостью, определяемой для статических условий как отжатие, вызываемое силой, равной единице, т.е. как величиной обратной жесткости

$$W = \frac{1}{j} = y/P_y.$$

Аналогично устанавливают понятие квазистатической $W_{\text{кст}}$ и динамической $W_{\text{дин}}$ податливости.

Основным недостатком описанного выше понятия жесткости является отсутствие в аналитических зависимостях составляющих сил P_x и P_z .

Таким образом, анализ технологической системы как линейной системы с одной степенью свободы не позволяет выявить параметры, достаточно полно характеризующие упругую систему.

Из-за большой трудоемкости и сложности расчетов часто связь между входом и выходом системы устанавливают на основании экспериментальных исследований. Нахождение такой связи на основании экспериментальных данных называется **идентификацией** и служит для определения математической модели объекта.

При ориентировочных расчетах точности обычно используют величины j и w , которые определяют свойства статической нагруженной, неработающей системы. Величины, характеризующие статическую жесткость j и податливость w металлорежущих станков, приведены в табл. 11.

Колебание отжатий системы

$$\Delta y = y_{\text{max}} - y_{\text{min}} = W_{\text{max}} P_{y \text{ max}} - W_{\text{min}} P_{y \text{ min}},$$

где $W_{\text{max}}, W_{\text{min}}$ – наибольшая и наименьшая податливости системы; $P_{y \text{ max}}, P_{y \text{ min}}$ – максимальное и минимальное значения составляющей силы резания, совпадающей с направлением выдерживаемого размера.

11. Нормы точности и жесткости металлорежущих станков под нагрузкой

Жесткость станков проверяют при указанных в стандарте условиях испытания.

Смещение (перемещение) определяют как среднее арифметическое результатов двух измерений. Второе измерение проводят после отвода суппорта в исходное положение, подвода в положение измерения и поворота шпинделя.

Автоматы токарно-револьверные одношпиндельные прутковые (ГОСТ 18100-80)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм					
		До 10	Св. 10 до 16	Св. 16 до 25	Св. 25 до 40	Св. 40 до 65	
Допустимое смещение относительно оправки, закрепленной в шпинделе, мкм: переднего поперечного суппорта	Н	300	340	400	500	630	
	П	190	210	250	310	400	
заднего поперечного суппорта	Н	400	450	530	670	840	
	П	250	280	320	420	530	
револьверной головки	Н	100	120	150	190	240	
	П	60	80	100	120	150	
Нагружающая сила, Н: переднего и заднего поперечных суппортов	Н	2000	2800	4000	5600	8000	
	П	1600	2240	3200	4480	6400	
револьверной головки	Н	700	1000	1400	2000	2800	
	П	560	800	1120	1600	2240	

Автоматы токарные многошпиндельные прутковые горизонтальные (ГОСТ 43-85)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм										
		До 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 65	Св. 65 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160
Постоянство относительного смещения под нагрузкой поперечного суппорта и оправки, закрепленной в рабочем шпинделе, мкм	Н	-	-	20	30	30	30	30	30	50	50	80
	П	-	-	12	20	20	20	20	30	30	30	50

Продолжение табл. 11

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм											
		До 16	Св. 16 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 65	Св. 65 до 80	Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	
Смещение под нагрузкой каждого поперечного суппорта относительно оправки, закрепленной на шпинделе, имеющей наименьшую жесткость, для суппортов, которые под действием силы резания: прижимаются к направляющим, мкм	Н	40	50	60	70	80	80	100	120	140	160	200	250
	П	25	30	40	45	50	60	80	90	100	120	160	200
отжимаются от направляющих, мкм	Н	70	90	110	130	150	180	220	250	290	360	450	
	П	45	55	70	80	95	110	140	160	180	220	280	
Нагружающая сила, кН	Н	2,4	3,0	3,75	4,75	6,0	7,5	9,5	11,8	15,0	19,0	24,0	
	П	1,9	2,4	3,0	3,75	4,75	6,0	7,5	9,5	11,8	15,0	19,0	

Станки токарно-револьверные (ГОСТ 17-70)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм					
		До 12	12-18	18-25	25-32	32-50	50-65
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм: при зажимной и подающей трубах при переднем зажиме	Н	12	18	25	40	65	100
	П	-	-	32	50	80	125
Наибольшее перемещение относительно оправки, мкм: системы шпиндель-поперечный суппорт сила, Н	Н	-	-	220	260	310	370
	П	-	-	3920	5490	7840	10980
система шпиндель-револьверная головка сила, Н	Н	60	70	80	90	110	130
	П	690	980	1370	1960	2740	3920

Данная таблица относится к станкам классов точности Н и П с вертикальной, горизонтальной и наклонной осями вращения револьверной головки.

Станки токарно-карусельные (ГОСТ 44-93, ИСО 3655-86)

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм	Прилагаемая сила P, кН	Относительное перемещение под нагрузкой планшайбы и оправки, закрепленной в резцедержателе верхнего суппорта для станков классов точности Н, П, мм
До 800	15,0	0,5
Св. 800 » 1000	18,0	0,56
» 1000 » 1250	21,2	0,63
» 1250 » 1600	25,0	0,71
» 1600 » 2000	30,0	0,80
» 2000 » 2500	35,5	0,90
» 2500 » 3150	42,5	1,0
» 3150 » 4000	50,0	1,1
» 4000 » 5000	60,0	1,2
» 5000 » 6300	71,0	1,4
» 6300 » 8000	85,0	1,6
» 8000 » 10000	100,0	1,8

Примечания: 1. В случае проверки левого суппорта последний нагружается силой P, направленной к суппорту от оси планшайбы.
2. Для суппорта с резольверной головкой проверка проводится в одной позиции резольверной головки.

Станки токарные многорезцовые и многорезцово-копировальные полуавтоматические (ОСТ 2Н72-9-87)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм				
		160	200	250	320	400
Смещение под нагрузкой продольного суппорта относительно оправки, закрепленной в шпинделе или переходной втулке, мкм То же, относительно оправки, закрепленной в пиноли, мкм	Н	160	220	320	450	630
	П	100	140	200	280	400
Смещение под нагрузкой поперечного суппорта относительно оправки, закрепленной в шпинделе или переходной втулке, мкм Нагружающая сила, Н	Н	200	300	450	670	1000
	П	120	200	280	400	630
	Н	300	450	670	1000	1500
	П	200	280	400	630	1000
	Н	6000	10 000	16 000	26 000	40 000
	П	5000	8000	12 000	20 000	30 000

Станки токарные многошпиндельные вертикальные патронные полуавтоматические (ГОСТ 6820-75 в ред. 1986 г.)

Параметр	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм		
	До 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630
Смещение под нагрузкой одного из суппортов относительно оправки, закрепляемой поочередно в каждом шпинделе, мкм	50	60	80
Смещение под нагрузкой относительно оправки, закрепленной на шпинделе, имеем наименьшую жесткость, мкм: каждого продольного суппорта каждого поперечного суппорта Нагружающая сила, Н	180 260	220 320	260 380
	10 000	14 000	20 000

Полуавтоматы токарные многошпиндельные горизонтальные патронные (ГОСТ 6819-84)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр патрона, мм				
		До 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200	Св. 200 до 250
Постоянство относительного смещения под нагрузкой поперечного суппорта и оправки, закрепленной в рабочем шпинделе, мкм	Н	40	60	80	100	120
	П	25	40	50	60	80
Смещение (мкм) под нагрузкой каждого поперечного суппорта относительно оправки, закрепленной на шпинделе, имеем наименьшую жесткость, для суппортов, которые под действием силы резания прижимаются к направляющим отжимаются от направляющих	Н	110	120	150	180	210
	П	70	80	100	110	130
Нагружающая сила, кН	Н	4,65	5,98	7,35	9,30	11,5
	П	3,72	4,65	5,98	7,35	9,3

Станки радиально-сверлильные (ГОСТ 98-83Е)

Параметр	Класс точности	Наибольший условный диаметр сверления, мм						
		25	32	40	50	63	80	
Допустимое перемещение при проверке отклонения от перпендикулярности шпинделя к рабочей поверхности фундаментальной плиты (тумбы, столы - плиты) в продольной и поперечной плоскостях станка, мм	Н	3,0						
	П	2,0						
Нагружающая сила, кН	Н, П	6000	8000	11 200	15 000	19 000	25 000	33 500

Перемещение измеряют на расстоянии от оси шпинделя 500 мм. Для станков исполнения 4 по ГОСТ 1222-80 допустимое перемещение увеличивают в 1,6 раза.

Станки фрезерные вертикальные с крестовым столом (ГОСТ 9726-89Е)

Параметр	Класс точности	Ширина стола, мм						
		250	320	400	500	630		
Наибольшее допустимое перемещение под нагрузкой стола относительно оправки, закрепленной в шпинделе (мкм) в направлении: горизонтальном	Н	280	320	360	400	450	560	
	П	180	200	220	250	280	360	
вертикальном	Н	320	360	400	450	500	630	
	П	200	220	250	280	320	400	
Нагружающая сила, кН	Н	5,0	8,0	12,5	20,0	25,0	31,5	42,5
	П	4,0	6,3	10,0	16,0	20,0	25,0	33,5

Для станков класса точности В номенклатуру показателей жесткости с допусками, равными допускам для станков класса точности П, устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем. В технически обоснованных случаях допускается уменьшение нагружающей силы.

Станки фрезерные консольные (ГОСТ 17734-88Е)

Параметр	Класс точности	Ширина стола, мм	
		200	320
Наибольшее допускаемое перемещение под нагрузкой стола относительно оправки, закрепленной в шпинделе, мм	Н	0,32	0,40
	П	0,20	0,32
Нагружающая сила, кН	Н	5,0	8,0
	П	4,0	6,3

Для широкоуниверсальных станков нормы жесткости указанного класса точности относятся только к основному шпинделю. Для универсальных станков с поворотным столом допуск может быть увеличен в 1,12 раза.

Станки продольно-фрезерные (ГОСТ 18101-85 в ред. 1990 г.)

Параметр	Класс точности	Ширина рабочей поверхности стола, мм											
		До 400	Св. 400 до 500	Св. 500 до 630	Св. 630 до 800	Св. 800 до 1000	Св. 1000 до 1250	Св. 1250 до 1600	Св. 1600 до 2000	Св. 2000 до 2500	Св. 2500 до 3150	Св. 3150 до 4000	
Наибольшее допустимое перемещение стола под нагрузкой относительно оправки, закрепленной в шпинделе (мм): вертикальном	Н	0,24	0,24	0,24	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,48	0,53	0,60	0,67
	П	0,15	0,15	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42
горизонтальном: в горизонтальном направлении, мм	Н	0,19	0,21	0,24	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,48	0,53	0,60	0,67
	П	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,48	0,53
в вертикальном направлении, мм	Н	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,30	0,34
	П	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26
Нагружающая сила, кН	Н	120	160	200	250	320	410	510	650	820	1020	1300	1600
	П	100	130	160	200	260	330	410	520	650	800	1000	1300

Примечание. Для обрабатываемых центров и модулей нагружающая сила может быть уменьшена, но не более чем в 1,6 раза, а значения соответствующих перемещений в 1,3 раза.

Продолжение табл. 11

Станки долбежные (ГОСТ 26-75 *)

Параметр	Наибольший номинальный ход долбика, мм						
	100	200	320	500	710	1000	1400
Наибольшее перемещение под нагрузкой оправки, закрепленной вместо реза на долбике относительно стола, мм	0,22	0,28	0,36	0,45	0,56	0,71	0,90
Нагружающая сила, кН	3,48	6,56	10,4	14,7	20,77	29,4	41,65

Примечание. Для станков с механическим приводом облегченной конструкции с наибольшим номинальным ходом долбика 320 мм испытательную нагрузку уменьшают до 6,56 кН и допускаемое перемещение до 0,22 мм.

Станки поперечно-строгальные

Параметр	Наибольший ход полузна, мм					
	200	320	500	700	1000	1000
Наибольшее перемещение (мкм) системы полузна – стол в направлении вертикальном	400	500	630	750	900	900
горизонтальной подачи стола	600	750	950	1120	1320	1320
Нагружающая сила, кН	3,92	6,17	9,8	13,72	19,6	19,6

Станки продольно-строгальные (ГОСТ 35-85)

Параметр	Класс точности	Наибольшая ширина обрабатываемой заготовки, мм						
		630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Наибольшее перемещение для двухстоечных станков под нагрузкой оправки, закрепленной в резцедержателе вертикального суппорта, относительно стола (мм) в направлении: горизонтальном	Н П	0,70 0,42	0,80 0,50	1,00 0,63	1,10 0,67	1,40 0,85	1,60 1,00	2,00 1,20
вертикальном	Н П	0,28 0,18	0,33 0,20	0,40 0,25	0,45 0,28	0,56 0,36	0,63 0,38	0,80 0,50
Нагружающая сила, кН	Н П	20,0 16,0	25,0 20,0	33,0 25,5	40,0 32,0	50,0 40,0	63,0 50,5	80,0 63,0

Примечание. Для одностоечных станков наибольшие допустимые перемещения увеличиваются на 15 % по сравнению с двухстоечными того же размера.

Продолжение табл. 11

Полуавтоматы протяжные горизонтальные (ГОСТ 16015-91Е) класса точности Н

Параметр	Номинальная тяговая сила, кН					
	40	63	100	160	250	400
Наибольшее угловое перемещение (мкм) под нагрузкой оси испытательной оправки относительно рабочей поверхности планшайбы в вертикальной плоскости			75	190		470
Нагружающая сила, кН			52	76		94

Полуавтоматы протяжные вертикальные (ГОСТ 16025-91Е)

Перемещение	Номинальная тяговая сила, кН					
	40	63	100	160	250	400
Полуавтоматы для внутреннего протягивания						
Наибольшее допустимое угловое под нагрузкой оси испытательной оправки относительно рабочей поверхности планшайбы в продольной плоскости полуавтомата (мкм) на длине 200 мм	28	38	45	54	68	76
Нагружающая сила, кН	30	48	75	120	190	300
Полуавтоматы для наружного протягивания						
Относительное под нагрузкой стола и рабочих салазок, определяемое по допустимым показаниям приборов, мкм	70 / 90	100 / 115	135 / 160	190 / 220	255 / 300	340 / 410
Нагружающая сила, кН	30	48	75	120	190	300

Примечания: 1. Стандарт распространяется на полуавтоматы класса точности Н. Полуавтоматы класса точности П с номинальной тяговой силой до 100 кН изготавливают по согласованной с заказчиком номенклатуре проверок точности с допусками, в 1,6 раза меньшими допусками, указанными в стандарте для полуавтоматов класса точности Н.

2. В числителе – одного прибора, в знаменателе – другого.

Продолжение табл. 11

Станки круглошлифовальные (ГОСТ 11654-90)

Параметр	Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм						
	100	125, 140, 160	200	250, 280, 320	400	500, 630	800
Наибольшее допустимое перемещение (мм) системы шпиндель шлифовальной бабки – шпиндель передней бабки (или шпиндель задней бабки) станков:							
с поворотной шлифовальной и передней бабками	0,03 (60)*	0,04 (90)	0,05 (140)	0,06 (210)	0,07 (320)	0,08 (480)	–
с неповоротными бабками	0,04 (140)*	0,05 (210)	0,06 (320)	0,07 (480)	0,08 (720)	0,1 (1050)	0,12 (1600)

* В скобках указана нагружающая сила, Н.

Перемещения относятся к станкам класса точности П и В. Для станков класса точности А и С нагружение проводят силами, соответствующими в 1,25 и 1,6 раза меньшими; при этом перемещения меньше в 1,6 и 2,5 раза.

Станки круглошлифовальные бесцентровые (ГОСТ 13510-93)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм						
		16	32	63	125	250	500	1000
Номинальная высота кругов, мм	–	63	100	160	250	320	500	600; 800
Наибольшее допустимое относительное перемещение под нагрузкой шпинделей шлифовального и ведущего кругов, мкм	П	–	–	–	50	80	80	100
	В	12	18	25	32	50	50	–
	А	8	12	16	20	32	–	–
Нагружающая сила, Н	П	–	–	–	980	1960	–	3920
	В	117	196	392	785	1570	–	–
	А	98	157	314	635	1270	–	–

Продолжение табл. 11

Станки плоскошлифовальные класса точности В (А) с крестовым столом и горизонтальным шпинделем (ГОСТ 273-90)

Параметр	Наибольшая ширина устанавливаемой заготовки, мм	
	До 160	Св. 160 до 200
Допустимое перемещение под нагрузкой стола относительно оправки, закрепленной на шпинделе, мкм	40 (25)	50 (30)
Нагружающая сила, Н	245 (196)	392 (314)

Примечание. На плоскошлифовальных станках с гидродинамическими подшипниками и на станках класса точности С проверка жесткости не проводится.

Станки плоскошлифовальные с прямоугольным столом класса точности В (ГОСТ 13135-90)

Параметр	Наибольшая ширина обрабатываемой заготовки, мм						
	320	400	500	630	800	1000	1250
Относительное перемещение под нагрузкой, мм: стола и диска, закрепленного на шпинделе (для станков с горизонтальным шпинделем)	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18
вертикальное перемещение торца планшайбы круга и рабочей поверхности стола (для станков с вертикальным шпинделем)	–	–	–	–	0,14	0,16	0,18
Относительное угловое перемещение под нагрузкой торца планшайбы круга и рабочей поверхности стола (мм) на длине 100 мм (для станков с вертикальным шпинделем)	–	–	–	–	0,06	0,05	0,04
Нагружающая сила, Н	1000	1300	1800	2400	2900	4200	5600

В случае установки шлифовальных бабок одинаковых размеров на двухсторонние продольно-шлифовальные станки разных размеров параметры нагружения и допуски определяют для них по станку меньшего размера. Жесткость дополнительных бабок, которые могут быть установлены на двухсторонних станках, данным стандартом не регламентируется. Для станков индивидуального производства проверка проводится в соответствии с ГОСТ 7599-82. Для серийно выпускаемых станков проверка проводится выборочно, но не менее чем 10 % выпуска.

Продолжение табл. 11

Станки плоскошлифовальные с круглым подвижным столом и вертикальным шпинделем (ГОСТ 27-88Е)

Параметр	Диаметр магнитного стола, мм	
	До 500	Св. 500 до 1000
Наибольшее угловое перемещение под нагрузкой системы торца планшайбы круга – стол (мкм) на 100 мм длины	50	40
		30
Наибольшее вертикальное смещение под нагрузкой системы торца планшайбы – стол, мкм	50	80
		100
Нагружающая сила, Н	2450	3528
		4900

Данная таблица для станков класса точности П. Для станков класса точности В силу уменьшают в 1,25 раза, перемещения – в 1,6 раза по сравнению с табличными данными.

Станки шлицешлифовальные (ГОСТ 30051-93)

Параметр	Наибольший диаметр устанавливаемой детали, мм	
	200	320
Наибольшее допустимое перемещение под нагрузкой испытательного диска, закрепленного на шлифовальном шпинделе, относительно испытательной оправки, установленной в центрах, мкм	25	30
		40
Нагружающая сила, Н	200	310
		470

Данные таблицы относятся к станкам общего назначения класса точности В.

Продолжение табл. 11

Станки резьбошлифовальные (ГОСТ 8716-81 в ред. 1989 г.)

Параметр	Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм		
	80	125	200
Наибольшее допустимое перемещение (мкм) под нагрузкой испытательной оправки, закрепленной на шлифовальном шпинделе, относительно оправки, установленной в конусе: шпинделя передней бабки пиноли задней бабки			320
	60 80	70 90	80 100 110
Нагружающая сила, Н	160	250	400
			600

ГОСТ распространяется на универсальные резьбошлифовальные станки классов точности В и А, работающие узким (одноточным) кругом. В таблице приведены данные для класса точности В. Станки класса точности А по согласованию с потребителем изготавливают с допусками, равными 0,5 от указанных в таблице для станков класса точности В соответствующих размеров.

Станки зуборезные для конических колес с прямыми зубьями (ГОСТ 9153-83Е)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемых зубчатых колес, мм			
		Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800
Наибольшее допустимое перемещение под нагрузкой инструмента относительно изделия в направлении осей X и Y (для станков, в которых установка бабки изделия проводится под углом 45°), мкм	Н	–	–	–	–
	П	100	140	200	280
	В	70	100	140	200
	А	50	–	–	–
Нагружающая сила, Н	Н	–	–	–	–
	П	1700	2500	3750	5800
	В	1250	2000	3000	4650
	А	1000	–	–	–
					10 600
					8500
					–
					–

Станки зуборезные для конических колес с круговыми зубьями (ГОСТ 9152-83Е)

Параметр	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемых зубчатых колес, мм			
		Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800 Св. 800 до 1600
Наибольшее допустимое перемещение под нагрузкой инструмента относительно изделия в направлении осей X (Y) для станков с бабкой изделия, устанавливаемого под углом 45°, мкм	Н	—	—	—	250 (350)
	П	65 (90)	80 (110)	100 (140)	160 (220)
	В	45 (65)	56 (80)	—	—
Нагружающая сила, Н	Н	—	—	—	14 400
	П	2400	4250	6000	11 500
	В	1920	3400	—	—

Станки зубошевальные (ГОСТ 13281-93)

Параметр	Наибольший диаметр заготовки (мм), устанавливаемой на станках с расположением оси заготовки			
	горизонтальным		вертикальным	
	125	320	800	1250
Наибольшее допустимое относительное перемещение под нагрузкой шпинделя шевра и испытательной оправки, мкм	40	50	80* (100)	120 (160)
	—	—	—	—
Нагружающая сила, Н	1470	2450	4410	6664

* При поджиме оправки верхним центром (без поджима оправки верхним центром).

Примечание. Данная таблица относится к станкам класса точности В и А, работающих с шевром, предназначенным для обработки цилиндрических прямозубых и косозубых колес внешнего зацепления.

При обработке партии заготовок сила P_y изменяется вследствие непостоянства механических свойств материала и глубины резания (припусков на обработку). При обработке отдельной заготовки изменение сил связано с неравномерным (несимметричным) распределением припуска по противоположным участкам обрабатываемой поверхности в поперечном и продольном сечениях. Силы изменяют свое значение также в связи с износом и затуплением инструмента и под влиянием других факторов.

Погрешности установки заготовок для обработки. Требуемое положение заготовки в рабочей зоне станка достигается в процессе ее установки. Процесс установки включает базирование и закрепление.

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

Закрепление – приложение сил и пар сил к изделию для обеспечения постоянства и неизменности его положения, достигнутого при базировании. Фактическое положение заготовки отличается от требуемого.

Отклонение в положении заготовки, возникающее при базировании, называют *погрешностью базирования* $\Delta\epsilon_6$; при закреплении – *погрешностью закрепления* $\Delta\epsilon_3$; при установке – *погрешностью установки* $\Delta\epsilon_y$; причем $\Delta\epsilon_y = f(\Delta\epsilon_6, \Delta\epsilon_3)$.

Применяют: 1) установку в приспособлении без выверки (это наиболее часто применяемый способ установки заготовок в серийном и массовом производстве при обработке их партиями с одной наладки); в случае использования нескольких приспособлений в погрешность установки включают обычно и погрешность приспособления $\Delta\epsilon_{пр}$: $\Delta\epsilon_y = f(\Delta\epsilon_6, \Delta\epsilon_3, \Delta\epsilon_{пр})$;

2) установку в приспособлении с выверкой положения каждой заготовки по разметочным рискам или непосредственно по поверхностям заготовки; в этом случае возникает погрешность установки-выверки $\Delta\epsilon_{y,в}$, включающая, как правило, и погрешность закрепления (см. табл. 16);

3) установку на станках с ЧПУ по определенным поверхностям заготовки; при этом оценивают фактическое положение заготовки в рабочей зоне станка, вносят коррекцию в программу обработки; таким образом, в этом слу-

чае требования к точности установки заготовки в приспособлении более низкие, чем при первых двух вариантах установки.

В последнем случае погрешность установки $\Delta\epsilon_{y,п}$ зависит от точности измерения заготовки и определения ее положения и от оставшейся некомпенсированной погрешности положения заготовки в рабочей зоне станка.

Для ориентации предмета производства (заготовки при изготовлении детали или сборочной единицы при сборке изделия) определенные поверхности его соединяются с поверхностями деталей технологической оснастки или изделия. Поверхности, принадлежащие заготовке или изделию и используемые при базировании, называются *базами*. Базы используют для определения положения: детали или сборочной единицы в изделии – *конструкторская база*; заготовок или изделия при изготовлении или ремонте – *технологическая база*; средств измерения при контроле расположения поверхностей заготовки или элементов изделия – *измерительная база*.

Для полной ориентации предмета производства обычно используют несколько баз. Так, положение заготовки или детали призматической формы полностью определяется совокупностью трех баз, образующих комплект баз – систему координат этого предмета. При анализе базирования предмет производства рассматривается как жесткое тело. Упрощенно считают, что контакт соприкасающихся тел происходит в *опорных точках* – точках, символизирующих каждую из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат. Схему расположения опорных точек на базах называют *схемой базирования*.

Для обеспечения ориентированного положения и полной неподвижности предмета в выбранной системе координат на него необходимо наложить шесть двусторонних геометрических связей, т.е. на схеме базирования указывают шесть опорных точек (правило шести точек). База заготовки, имеющим призматическую форму, присвоены специальные названия.

Базу, используемую для наложения на заготовку (изделие) связей и лишующую ее трех степеней свободы (перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг двух других осей), называют *установочной*; она обеспечивается тремя опорными точками на плоскости призматического тела.

Базу, лишаящую заготовку двух степеней свободы (перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой), называют *направляющей*; она обеспечивается двумя опорными точками.

Базу, лишаящую заготовку одной степени свободы (перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси), называют *опорной*; она обеспечивается одной опорной точкой.

Базу, лишаящую заготовку (изделие) четырех степеней свободы (перемещения и поворота вокруг двух координатных осей), называют *двойной направляющей*; она обеспечивается четырьмя опорными точками.

Базу, лишаящую заготовку двух степеней свободы (перемещения вдоль двух координатных осей), называют *двойной опорной*; она обеспечивается двумя опорными точками.

На различных стадиях создания изделия требования к базированию и к базам могут различаться. В частности, при выполнении переходов обработки заготовка может не лишаться всех степеней свободы. Тогда на схеме базирования неиспользуемые связи, опорные точки и базы не указывают. В этом случае упрощается конструкция системы установочных элементов приспособлений. Аналогично, если в соответствии со служебным назначением изделие должно иметь определенное число степеней свободы, то соответствующее число связей снимается.

Технологическая база в большинстве случаев при обработке неподвижна относительно установочных элементов приспособления. В некоторых случаях (обработка с установкой в центры, использование люнетов и т.п.) соединение технологическая база заготовки – база установочных элементов приспособления является подвижным. Погрешность установки в этих случаях является переменной во времени величиной $\Delta \epsilon_y(t)$.

Погрешность установки характеризует отклонение положения конкретной поверхности предмета производства. Так, $\Delta \epsilon_y$ при расчетах точности обработки определяется обусловленным отклонением в положении обработанной поверхности, а при расчетах составляющих припуска – отклонением в положении обрабатываемой поверхности заготовки. Во избежание ошибок целесообразно указывать обозначение размера [например, $\Delta \epsilon_y(h)$] или поверхности [например, $\Delta \epsilon_y(2)$, где 2 – обозначение поверхности на эскизе обработки], к которым относится погрешность.

Погрешность установки и обуславливающие ее погрешности базирования, закрепления и приспособления определяют в выбранной системе координат. При этом для призматических тел целесообразно координатные плоскости системы $O_1X_1Y_1Z_1$ строить на идеализированных базах тела таким образом, чтобы плоскость $X_1O_1Y_1$ совпадала с основной, $X_1O_1Z_1$ – с направляющей и $Y_1O_1Z_1$ – с опорной базами. Начало системы координат в этом случае совпадает с общей точкой комплекта баз. Обычно при таком расположении баз выдерживается размер в направлении оси Z_1 и за начало отсчета принимается плоскость $X_1O_1Y_1$, а за начало системы координат – точка O_1 .

В других случаях, в зависимости от характера и условий решаемой задачи, координатные плоскости системы $O_1X_1Y_1Z_1$ проводят через точки контакта реальных поверхностей, центры, оси поверхностей и плоскости симметрии тел. Так, при анализе погрешности базирования заготовок на призме начало системы координат целесообразно на эскизе совмещать с точкой пересечения линий граней призмы (общей точкой баз приспособления), а ось Z_1 проводить через эту точку и центр заготовки; при установке в центрах одну ось системы проводят через вершины центров, а другую – по радиусу, направленному к резу.

Погрешности установки, базирования, закрепления, приспособления в общем случае включают систематические и случайные составляющие погрешности. Обычно систематические погрешности компенсируют при настройке технологической системы, поэтому под погрешностями $\Delta \epsilon_y$, $\Delta \epsilon_6$, $\Delta \epsilon_3$, $\Delta \epsilon_{np}$ понимают предельные случайные отклонения поверхностей (на расчетных схемах – центров, осей поверхностей) от требуемого (идеализированного) положения.

Погрешность установки заготовки в приспособлениях $\Delta \epsilon_y$ вычисляют с учетом погрешностей: $\Delta \epsilon_6$ базирования, $\Delta \epsilon_3$ закрепления заготовок, $\Delta \epsilon_{np}$ изготовления и износа опорных элементов приспособлений. Погрешность установки определяют как предельное поле рассеяния положений измерительной поверхности относительно поверхности отсчета в направлении выдерживаемого размера.

Так как указанные выше погрешности являются случайными величинами, то

$$\Delta \epsilon_y = \sqrt{(\Delta \epsilon_6)^2 + (\Delta \epsilon_3)^2 + (\Delta \epsilon_{np})^2}$$

$$\Delta \epsilon_y = \sqrt{(\Delta \epsilon_6)^2 + (\Delta \epsilon_3)^2}$$

Погрешность приспособления не связана с процессом установки заготовок в приспособлениях; поэтому часто ее учитывают при расчетах точности отдельно. Тогда

При укрупненных расчетах точности обработки погрешность $\Delta \epsilon_y$, соответствующую последней формуле, можно определить по табл. 12 – 18.

12. Погрешность установки заготовок в патронах и на оправках без выверки

Тип патрона или оправки	Квалитет базы заготовки	Погрешность установки, мкм, для направления	
		радиального	осевого
Цанговые оправки при диаметре установочной поверхности, мм: до 50 св. 50 до 200	7 – 9	10 – 35 20 – 60	20 50
Трехкулачковые патроны с незакаленными кулачками или разрезными втулками при диаметрах до 120 мм	При зазоре до закрепления погрешность 0,02 – 0,10 мм	10 – 30	10 – 120
Двухкулачковые патроны при диаметре детали 200 мм: с винтами с рейками	11 – 13	100 – 200 20 – 60	50 – 100 15 – 40
Цилиндрические оправки с гайками (установка на оправку с зазором)	8 – 11	В пределах допуска зазора	10
Конусные оправки при отверстии длиной не менее 1,5d	7	30	Определяется размерами деталей и оправок
Патроны и оправки с упругими втулками и гидропластмассой при l: до 0,5d св. 3,0d	7 – 9	3 – 10 10 – 20	– –
Патроны и оправки с пластинчатыми (тарельчатыми) пружинами	7 – 11	10 – 20	–
Патроны и оправки с упругими втулками и роликами, опирающимися на тела, имеющие форму гиперболоида вращения	7 – 8	3 – 8	–
Мембранные патроны Патроны и оправки с упругими элементами гофрированного типа	7 – 9 5 – 7	3 – 5 2 – 5	– –

Примечания: 1. Применение пневматических и гидравлических силовых узлов позволяет уменьшить погрешность установки на 20 ... 40 %.

2. Погрешности установки заготовок в цанговом и трехкулачковом патронах см. табл. 13.

3. Обработку с использованием термически необработанных кулачков и втулок применяют при партии деталей 80 ... 120 шт.

13. Погрешность (мкм) установки заготовок в цанговом и трехкулачковом патронах без выверки

Вид образца-заготовки	Направление смещения заготовки	Диаметр базы, мм										
		Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260	Св. 260 до 500		
Установка в цанговом патроне												
Шлифованная контрольная оправка, установленная в новом патроне	Радиальное на расстоянии от торца, мм	15-20	15-40	20-45	25-50	30-75	-	-	-	-	-	-
	Радиальное Осевое	25 50 30	50 60 40	75-100 70 50	100 90 60	150-200 100 70	-	-	-	-	-	-
Прутки калиброванные	Радиальное	100	120	150	200	300	450	650	-	-	-	
	Осевое	70	80	100	130	200	300	420	-	-	-	
Установка в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне												
Прутки горячекатаные: повышенной точности	Радиальное	-	200	220	280	400	500	800	-	-	-	
	Осевое	-	130	150	190	250	350	520	-	-	-	
Едиичная заготовка: с шлифованной базой	Радиальное	-	20	-	-	30	40	-	-	-	50	
	Осевое	-	10	-	-	15	25	-	-	-	30	
с чисто обработанной базой	Радиальное	-	50	-	-	80	100	-	-	-	120	
	Осевое	-	30	-	-	50	80	-	-	-	100	
Отливка, полученная литьем: по выплавляемой модели или в оболочковую форму; предварительно обработанная поверхность	Радиальное	-	100	-	-	150	200	-	-	-	250	
	Осевое	-	50	-	-	80	100	-	-	-	120	
в постоянную форму; заготовка, штампованная на кривошипном прессе	Радиальное	-	200	-	-	300	400	-	-	-	500	
	Осевое	-	80	-	-	100	120	-	-	-	150	

Примечания: 1. При установке в цанговых патронах единичных заготовок вместо прутковых погрешность установки в осевом направлении увеличивается на 10-30 мкм.

2. При неподвижной цанге смещение в осевом направлении минимально (5-20 мкм).

3. Подкатем деталей при закреплении в патронах погрешность установки можно уменьшить на 20-30 %.

4. В патронах с пневматическими и гидравлическими силовыми узлами погрешность установки уменьшается на 20-40 % по сравнению с указанными в таблице.

14. Погрешность (мкм) установка заготовок на постоянные опоры

Базы заготовки	Наибольший размер заготовки по нормали к обработанной поверхности, мм											
	Постоянные опоры						Пластинные опорные					
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120
Установка в приспособлении с винтовыми или эксцентриковыми зажимами												
Шлифованная	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Чисто обработанная, полученная литьем под давлением	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Предварительно обработанная, полученная литьем по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	-	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Полученная литьем: в постоянную форму	-	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
в песчаную форму машинной формовки по металлическим моделям	-	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Установка в приспособлении с пневматическим приводом												
Шлифованная	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
	55	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
Чисто обработанная, полученная литьем под давлением	65	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Предварительно обработанная, полученная литьем по выплавляемым моделям или в оболочковые формы	-	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Полученная литьем: в постоянную форму	-	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
в песчаную форму машинной формовки по металлическим моделям	-	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180

15. Погрешность установки заготовок размером до 60 мм в тисках

Тиски	Метод установки	Смещение заготовок, мкм
Винтовые	На подкладке в свободном состоянии	100 – 200
	На подкладке с постукиванием при зажиме	50 – 80
Эксцентриковые	С подкладкой	40 – 100
	Без подкладки	30 – 50

Примечание. При соблюдении постоянства силы зажима погрешность снижается на 30 – 50 %.

В процессе установки заготовок для обработки с выверкой возникает погрешность установки – выверки $\Delta\epsilon_{y-в}$. Она учитывает неточности выверки по разметочным рискам или непосредственно по поверхностям заготовки. Погрешность $\Delta\epsilon_{y-в}$ может охватывать и погрешность закрепления. В табл. 16 и 17 эта погрешность дана как одна величина.

Погрешность базирования $\Delta\epsilon_6$ определяют соответствующими геометрическими расчетами или анализом размерных цепей, что обеспечивает в ряде случаев более простое решение задачи. Так, при сверлении по кондуктору отверстий в заготовках, установленных на призме (рис. 1), выдерживаем размер

$$h = H - \frac{D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right),$$

где D – диаметр базы.

Принимая расстояние до оси кондукторной втулки $H = \text{const}$, получим

$$\Delta\epsilon_6(h) = \frac{\Delta D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right),$$

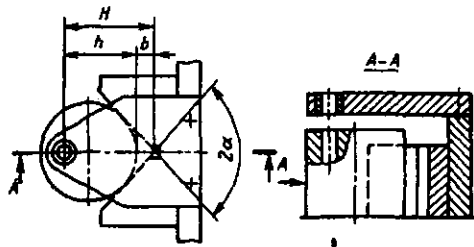


Рис. 1. Схема сверления заготовок, установленных на призме

где ΔD – поле рассеяния размера D , равное примерно допуску TD на этот размер.

В общем случае погрешность базирования следует определять исходя из пространственной схемы расположения детали. Однако такой анализ весьма сложен. Поэтому для упрощения расчетов (см. рис. 1) ограничиваются рассмотрением смещений только в одной плоскости (плоская схема расчета).

Часто при расчетах $\Delta\epsilon_6$ учитывают только отклонения размеров заготовок. На практике погрешность базирования определяют как разность предельных положений измерительной базы относительно инструмента, настроенного на размер. Если при этом технологическая база совпадает с измерительной, то $\Delta\epsilon_6 \approx 0$. Для других схем погрешность базирования может быть определена по табл. 18.

Основные принципы базирования заготовок. 1. При высоких требованиях к точности обработки необходимо выбирать такую схему базирования, которая обеспечивает наименьшую погрешность установки.

2. Для повышения точности деталей и сборных узлов необходимо применять принцип совмещения баз – совмещать технологическую, измерительную и сборочную базы.

3. Целесообразно соблюдать принцип постоянства базы. При перемене баз в ходе технологического процесса точность обработки снижается из-за погрешности взаимного расположения и применявшихся ранее технологических баз.

Для установки заготовок на первой операции технологического процесса используют черные (необработанные) поверхности, применяемые в качестве технологических баз.

16. Погрешность (мм) установки заготовок на станках с выверкой по цилиндрической поверхности

Способ установки	Метод выверки	Погрешность установки заготовок
На центрах и регулируемых крестовинах	С двух концов в вертикальной и горизонтальной плоскостях и на биение	Мелких $\frac{0,5-1,0}{0,02-0,04}$; средних $\frac{1,0-1,5}{0,03-0,06}$; крупных $\frac{2,0-3,0}{0,05-0,08}$
В четырехкулачковом патроне и на заднем центре	Со стороны патрона по высоте и на биение	
В четырехкулачковом патроне и неподвижном лонете	С двух концов в двух плоскостях и на биение	
В четырехкулачковом патроне	По наружному или внутреннему диаметру и торцу	
На угольнике, по разметке	По диаметру и торцу	

Примечание. Погрешности, указанные в числителе, относятся к выверке иглой по необработанной (большие значения) или грубо обработанной (меньшие значения) поверхности. В знаменателе приведены погрешности выверки с помощью индикатора по поверхности, обработанной чистовым точением.

17. Погрешность (мм) установки заготовок на столе с выверкой по плоской поверхности

Метод выверки	Наибольший размер поверхности, м			
	До 1	Св. 1 до 3	Св. 3 до 6	Св. 6
По разметке иглой	0,5	1	2	3
По предварительно обработанной поверхности индикатором	0,15	0,2	0,4	0,6
По чисто обработанной поверхности индикатором	0,05	0,08	0,10	0,15

Эти поверхности используют однократно, при первой установке, так как повторная установка на необработанную поверхность может привести к значительным погрешностям во взаимном расположении обработанных при этих установках поверхностей. Для заготовок, полученных точным литьем и штамповкой, это правило не является обязательным.

Выбранная черная база должна обеспечивать равномерное распределение припуска при

дальнейшей обработке и наиболее точное взаимное расположение обработанных и необработанных поверхностей деталей.

На первых операциях технологического процесса обрабатывают базы (обычно это основные плоские поверхности, отверстия детали). В тех случаях, когда поверхности заготовки не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к базам, и по своим размерам, формам или расположению не могут обеспечить

18. Погрешность базирования при обработке деталей в приспособлениях

№ схемы	Базирование	Схема установки	Выдерживаемый размер	Погрешность базирования $\Delta \epsilon_6$
1	По двум плоским поверхностям Обработка уступа		A	0
			B	$Thtg\alpha$ при $\alpha \neq 90^\circ$ 0 при $\alpha = 90^\circ$
			C	TH
			K	TE
2	По наружной цилиндрической поверхности В призме при обработке плоской поверхности паза		H ₁	$0,5TD \left(\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} - 1 \right)$ при $\beta = \alpha \dots 90^\circ$
			H ₂	$0,5TD \left(1 - \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} \right)$ при $\beta = 0 \dots \alpha$
			H ₃	$0,5TD \left(\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} + 1 \right)$
			H ₃	$0,5TD \frac{\sin\beta}{\sin\alpha}$, где TD - допуск на наружный диаметр заготовки
3	По наружной цилиндрической поверхности В призме при обработке плоской поверхности паза при $\beta = 90^\circ$		H ₁	$0,5TD \left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1 \right)$
			H ₂	$0,5TD \left(\frac{1}{\sin\alpha} + 1 \right)$
			H ₃	$0,5TD \frac{1}{\sin\alpha}$
4	То же, при $\beta = 0$		H ₁	0,5TD
			H ₂	0,5TD
			H ₃	0
5	В призме при обработке плоской поверхности или паза		l	0,5TD
			H ₁	0
			H ₂	TD

Продолжение табл. 18

№ схемы	Базирование	Схема установки	Выдерживаемый размер	Погрешность базирования $\Delta \epsilon_6$
6	То же, при $2\alpha = 180^\circ$ и зажиме призмой		H ₁	0
			H ₂	TD
			H ₃	0,5TD
7	То же, но призма выполнена со сферическими опорами		H ₁	$A - 0,5TD$
			H ₂	$A + 0,5TD$
			H ₃	A
				$A = \sqrt{(r + 0,5D_{\min} + 0,5TD)^2 - 0,5L^2} - \sqrt{(r + 0,5D_{\min})^2 - 0,25L^2}$, где L - расстояние между центрами опор
8	В призме при сверлении отверстий по кондуктору		h	$0,5TD \left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1 \right)$ при $h > 0,5D$
				$0,5TD \frac{1}{\sin\alpha}$ при $h = 0,5D$
				$0,5TD \left(\frac{1}{\sin\alpha} + 1 \right)$ при $h < 0,5D$
9	То же, при $2\alpha = 180^\circ$ и зажиме призмой		h	0,5TD при любом h
10	То же, но при использовании самоцентрирующихся призм		e	e - эксцентриситет оси отверстий относительно наружной поверхности e = 0
11	По отверстию На палец установочный цилиндрический (оправку) с зазором при обработке плоской поверхности или паза		H ₁ ; H ₂	$0,5TD + 2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$
			H ₃	$2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$
			H ₄	$\delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$

Продолжение табл. 18

№ схемы	Базирование	Схема установки	Выдерживаемый размер	Погрешность базирования $\Delta \epsilon_6$
12	То же, но с односторонним прижатием заготовки		$H_1; H_2$	$0,5TD + 2e + 0,5\delta_2$
			H_3	$2e + 0,5\delta_1 + 0,5\delta_2$
			H_4	$0,5\delta_1 + 0,5\delta_2$
13	На палец (оправку) с натягом или на разжимную оправку		$H_1; H_2$	$0,5TD + 2e$
			H_3	$2e$
			H_4	0
14	На палец (оправку) с зазором. Торце заготовки перпендикулярен оси базового отверстия		$H_1; H_2$	$0,5TD + 2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta - 2l \operatorname{tg} \alpha$
15	То же, но с односторонним прижатием заготовки		$H_1; H_2$	$0,5TD + 2e + 0,5\delta_2 + l \operatorname{tg} \alpha$
16	На палец (оправку) без зазора. Торце заготовки перпендикулярен оси базового отверстия		L_1	$\delta_l + 2r \operatorname{tg} \gamma$
17	По центровым гнездам На жесткий передний центр		L_1	$\delta_L + \Delta_u$
			$L_2; L_3$	$\Delta_u = \frac{\delta_d}{\operatorname{tg} \alpha}$
			L_4	0

Продолжение табл. 18

№ схемы	Базирование	Схема установки	Выдерживаемый размер	Погрешность базирования $\Delta \epsilon_6$
18	То же, но с использованием плавающего переднего центра		L_1	δ_L
			$L_2; L_3; L_4$	0
19	По двум отверстиям На пальцах при обработке верхней поверхности		h_1	$2\Delta + \delta_1 + \delta_2$
			h_2	$(2\Delta + \delta_1 + \delta_2) \left(\frac{2l_1 + l}{l} \right)$

Примечания: 1. На схемах 10 – 16 и 19: H_3 – размер от обрабатываемой поверхности до оси наружной поверхности; H_4 – то же, до оси отверстия; e – эксцентриситет наружной поверхности относительно отверстия; δ_1 – допуск на диаметр отверстия; δ_2 – допуск на диаметр пальца; Δ – минимальный радиальный зазор посадки заготовки на палец; δ_l – допуск на длину заготовки.

2. Погрешность базирования в схемах 11 – 16 включает погрешность приспособления $\Delta \epsilon_{пр}$.

3. На схеме 17: δ_d – допуск на диаметр центрального отверстия; α – половина угла центрального отверстия; Δ_u – погрешность глубины центрального отверстия (просадка центра). При угле центра $2\alpha = 60^\circ$ просадку центров Δ_u можно принимать:

Наибольший диаметр центрального отверстия, мм	1; 2; 2,5	4; 5; 6	7; 5; 10	12,5; 15	20; 30
Δ_u , мм	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25

устойчивой установки, на заготовке создают искусственные базы (центровые отверстия, платки, выточки или отверстия). Условные обозначения опор приведены в табл. 19 и 20, а примеры их применения – в табл. 21.

При неоднократном базировании заготовок происходит изнашивание и смятие поверхностей заготовок, используемых в качестве баз. Смещения заготовки, связанные с этим явлением, учитывают при расчете погрешности установки $\Delta \epsilon_y$.

Погрешность закрепления $\Delta \epsilon_z$ возникает при закреплении заготовок в приспособлениях в связи с изменением контактных деформаций стыка заготовка – опоры приспособления. Погрешность закрепления – это предельное поле рассеяния положений установочной поверхно-

сти относительно поверхности отсчета в направлении выдерживаемого размера.

Упругие деформации детали из-за сил закрепления учитывают при расчете особо.

Смещение вследствие контактных деформаций стыка заготовка – опоры приспособления вычисляют по эмпирическим зависимостям типа $\epsilon_z = CQ^n \cos \alpha$, где C – коэффициент, характеризующий условия контакта, материал и твердость поверхности заготовок, используемой в качестве баз (значения C приведены в табл. 22); Q – сила, действующая на опору; α – угол между направлением выдерживаемого размера и направлением наибольшего смещения.

19. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения (ГОСТ 3.1107-81)

Продолжение табл. 19


Установочные устройства

Наименование	Обозначения на видах			Наименование	Обозначения на видах					
	спереди, сзади	сверху	снизу		спереди, сзади, сверху, снизу	слева	справа			
Опоры и зажимы										
Неподвижная	Опоры			Центр: неподвижный		Без обозначения				
				вращающийся		То же				
				плавающий		»				
				Оправка: цилиндрическая		∨	∨			
				шариковая (роликовая)		∨	∨			
Плавающая				Патрон поводковый		I	I			
Регулируемая				<p>Примечания: 1. Допускается подвижную плавающую и регулируемые опоры на видах сверху и снизу обозначать как неподвижную опору.</p> <p>2. Установочно-зажимные устройства следует обозначать как сочетание обозначений установочных устройств и зажимов.</p> <p>3. Цанговые оправки (патроны) следует обозначать ∨.</p> <p>4. Для двойных зажимов длина плеча устанавливается разработчиком в зависимости от расстояния между точками приложения сил. Допускается упрощенное обозначение.</p> <p>5. Обозначение опор и установочных устройств, кроме центров, допускается наносить на выносных линиях соответствующих поверхностей.</p> <p>6. Обозначение обратных центров следует выполнять в зеркальном изображении.</p>						
Зажимы										
Одиночный										
Двойной										

20. Обозначения формы рабочей поверхности опор, зажимов и установочных устройств (ГОСТ 3.1107-81)

Форма рабочей поверхности	Обозначение на всех видах
Плоская	
Сферическая	
Цилиндрическая (шариковая)	
Призматическая	
Коническая	
Ромбическая	
Трехгранная	

Примечания: 1. Обозначение форм рабочих поверхностей наносит слева от обозначения опоры, зажима и установочного устройства.
2. Рельеф рабочих поверхностей (рифленая, резьбовая, шлицевая и т.д.) обозначают



21. Примеры нанесения обозначений опор, зажимов и установочных устройств на схемах (ГОСТ 3.1107-81)

Наименование	Примеры нанесения обозначений
Обозначение опор, зажимов и установочных устройств	
Центр: неподвижный (гладкий)	
рифленый	
плавающий	
вращающийся	
обратный вращающийся с рифленой поверхностью	
Патрон поводковый	
Люнет: подвижный	
неподвижный	
Оправка: цилиндрическая	
коническая, роликовая	
резьбовая, цилиндрическая с наружной резьбой:	
шлицевая	
цанговая	

Продолжение табл. 21

Наименование	Примеры нанесения обозначений
Опора регулируемая со сферической выпуклой рабочей поверхностью	
Зажим пневматический с цилиндрической рифленой рабочей поверхностью	
Примеры схем установок изделий	
В тисках с призматическими губками и пневматическим зажимом	
В кондукторе с центрированием на цилиндрический палец, с упором на три неподвижные опоры и с применением устройства двойного зажима, имеющего сферические рабочие поверхности	
В трехлачковом патроне с механическим устройством зажима, с упором в торец, с поджимом вращающимся центром и с креплением в подвижном люнете	
На конической оправке с гидропластовым устройством зажима, с упором в торец на рифленую поверхность и с поджимом вращающимся центром	

Примечания: 1. Устройства зажима обозначают: пневматическое – Р; гидравлическое – Н; электрическое – Е; магнитное – М; электромагнитное – ЕМ; прочие – без обозначений. 2. Обозначение видов устройств зажимов наносят слева от обозначения зажима. 3. Для гидропластовых оправок допускается обозначение . 4. Число точек приложения силы записывают справа от обозначения зажима. 5. На схемах, имеющих несколько проекций, допускается на отдельных проекциях не указывать обозначения опор, зажимов и т.д. 6. Допускается несколько одноименных опор обозначать количеством их справа. 7. Допускаются отклонения от размеров графических обозначений, указанных в таблице.

Погрешность закрепления

$$\Delta \varepsilon_3 = \bar{C} \bar{Q}_n \cos \alpha \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{\bar{C}}\right)^2 + \left(\frac{n \Delta Q}{\bar{Q}}\right)^2},$$

где \bar{C} и \bar{Q} – средние значения параметров; ΔC и ΔQ – предельное рассеяние значений C и Q .

Учитывая при расчетах только колебания твердости ΔHB и шероховатости ΔRz поверхности заготовок, используемой в качестве базы, определяют

$$\Delta C = \sqrt{(K_{HB} p HB^{p-1} \Delta HB)^2 + (K_{Rz} \Delta Rz)^2}.$$

Коэффициенты K_{HB} и K_{Rz} определяют по табл. 22. Показатель степени p при установке на опоры и пластины принимают $p = 1$; на призму $p = -1$.

Погрешность приспособлений $\Delta \varepsilon_{пр}$ возникает в результате неточности изготовления приспособления и его изнашивания при эксплуатации.

Погрешность изготовления приспособления зависит в основном от точности изготовления деталей приспособления. В общем случае эта погрешность не должна превышать 1/3 – 1/10 доли допуска на соответствующий обрабатываемый размер детали (см. т. 2, гл. 2).

При эксплуатации приспособлений элементы для установки и направления режущего инструмента изнашиваются.

Погрешности обработки, возникающие вследствие геометрических неточностей станка. Отклонения размеров, формы и расположения обработанных поверхностей от заданных возникают также вследствие геометрических неточностей станка. Так, при точении консольно закрепленной заготовки в результате отклонения от параллельности оси шпинделя направляющим станины в горизонтальной плоскости получается конусообразность

$$\Delta_{кон} = \frac{c_m l_m}{l},$$

где c_m – допустимое отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим станины в плоскости выдерживаемого размера на длине l , мм; l_m – длина обработанной поверхности, мм.

22. Данные для расчета контактных деформаций (мкм) стыка заготовка – опора приспособления

Установка на постоянные опоры и опорные пластины

$$\varepsilon_3 = \left[(K_{Rz} Rz + K_{HB} HB) + C_1 \right] \left(\frac{Q}{19,8} \right)^n \frac{1}{F^m}$$

Тип опоры	Эскиз	Материал заготовки	K_{Rz}	K_{HB}	C_1	n	m
Опора со сферической головкой по ГОСТ 13441-68		Сталь	0	-0,003	$0,67 + \frac{6,23}{r}$	0,8	0
		Чугун	0	-0,008	$2,70 + \frac{9,23}{r}$	0,6	0
Опора с насеченной головкой по ГОСТ 13442-68		Сталь	0	-0,004	$0,38 + 0,034D$	0,6	0
		Чугун	0	-0,0008	$1,76 - 0,03D$	0,6	0
Опора с плоской головкой по ГОСТ 13440-68		Сталь	0,004	-0,0016	$0,40 + 0,012F$	0,7	0,7
Пластины опорные по ГОСТ 4743-68		Чугун	0,016	-0,0045	$0,776 + 0,053F$	0,6	0,6

Установка на призму

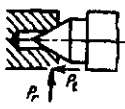
$$\varepsilon_3 = \left[\left(K_{Rz} Rz + \frac{K_{HB}}{HB} \right) + C_1 \right] \left(\frac{Q}{19,61} \right)^m$$

Призма с углом $2\alpha = 90^\circ$		-	0,005	15	$0,086 + \frac{8,4}{D_{пр}}$	0,7	-
-------------------------------------	--	---	-------	----	------------------------------	-----	---

Продолжение табл. 22

Установка заготовки из стали 45 на центры при давлении в месте контакта не более 8000 кПа

$$\varepsilon_3 = C \left(\frac{P}{9,8} \right)^{0,5}$$

Эскиз стыка	Направле- ние смещения	Коэффициент C при диаметре центрального гнезда, мм											
		1	2	2,5	4	5	6	7,5	10	12,5	15	20	30
	Радиальное	15,7	11,8	8,6	5,8	3,8	3,2	2,9	2,1	1,7	1,4	1,0	0,7
	Осевое	12,1	8,6	6,6	4,1	2,9	2,5	2,2	1,6	1,3	1,1	0,8	0,55

Обозначения: HV – твердость материала заготовки по Бринеллю; Q – сила, действующая по нормали к опоре, Н; F – площадь контакта опоры с заготовкой, см²; l – длина образующей, по которой происходит контакт, см; Rz – параметр шероховатости поверхности заготовки, мкм; P – составляющая силы резания, в направлении которой определяют смещение, Н; r – радиус сферической головки, мм.

При обработке плоских поверхностей на вертикально-фрезерных станках вследствие непараллельности рабочей поверхности стола его продольным направляющим возникает отклонение от параллельности обработанной и установочной поверхностей:

$$\Delta h = \frac{c_\phi l_\phi}{L},$$

где Δh – приращение высоты обработанной поверхности; c_ϕ – отклонение от параллельности рабочей поверхности стола его продольным направляющим на длине L , мм; l_ϕ – длина обработанной поверхности, мм.

Отклонение от перпендикулярности оси шпинделя вертикально-фрезерного станка к поверхности стола в продольном направлении вызовет при обработке плоской поверхности вогнутость в сечении, перпендикулярном к направлению подачи.

Оба указанных отклонения создают погрешности формы обработанной поверхности и, следовательно, погрешность выдерживаемого размера; указанные погрешности при односторонней обработке создают также отклонения относительно баз и торцовых поверхностей обработанной заготовки. Наиболее точно рас-

чет ожидаемых погрешностей можно выполнить на основе экспериментальных данных.

В станкостроении при изготовлении новых станков принято назначать характеристики точности не более 0,7 от соответствующих величин по ГОСТам на нормы точности, поэтому при проектных расчетах ожидаемую погрешность можно вычислять исходя из норм точности по ГОСТам.

При работе станка под нагрузкой влияние его геометрических погрешностей может частично компенсироваться. Например, расчет вогнутости плоской поверхности при обработке на вертикально-фрезерном станке даст завышенный результат, так как эта погрешность компенсируется отжатием фрезерной головки и изменением угла наклона шпинделя в процессе фрезерования.

Допустимые отклонения деталей, обрабатываемых на различных станках, приведены в табл. 23. Данные получены с учетом геометрических погрешностей станка и смещения узлов станка под действием сил резания.

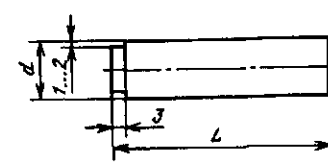
К показателям, характеризующим точность образцов-изделий, относятся точность геометрической формы и расположения обработанных поверхностей, постоянство размеров партии деталей, шероховатость обработанных поверхностей.

23. Отклонения размеров, формы и расположения поверхностей специальных образцов-изделий, обрабатываемых при проверке точности металлорежущих станков в работе

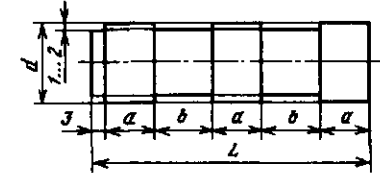
1. Общие технические требования к образцам-изделиям по ГОСТ 25443-82.
2. Форма образцов-изделий должна соответствовать основному назначению станка. Размеры образцов-изделий устанавливаются в соответствии с типоразмерами станков.
3. Поверхности образцов-изделий, используемые как технологические или контрольные базы, должны быть обработаны окончательно.
4. Тип, материал, размеры и требования к режущему инструменту, а также режимы и последовательность чистовой обработки образца-изделия, место его расположения и крепления на станке должны соответствовать указанным в эксплуатационных документах на станок.

Автоматы токарно-револьверные одношпиндельные прутковые (ГОСТ 18100-80 в ред. 1990 г.)

Образцы-изделия (эск. 1 и 2) – из автоматной стали с $\sigma_b = 450 \dots 550$ МПа или другого хорошо обрабатываемого пруткового материала. Изготавливают не менее 10 образцов-изделий из калиброванного прутка круглого сечения с допуском диаметра не грубее 8-го качества. Пруток наибольшего диаметра и длины, поданный на упор револьверной головки, обтачивают по диаметру d инструментом головки.



Эск. 1



Эск. 2

Размеры, мм

Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, D	Эскиз	d	L	a , не менее	b
До 20	1	$D - (1 \dots 2)$	40 ... 60	–	–
Св. 20 до 40	2		70 ... 100	15	$\frac{L - 3a - 3}{2}$
Св. 40 до 65			80 ... 120		

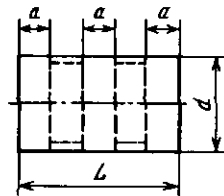
Допустимое отклонение, мкм	Класс точности	Наибольший диаметр прутка, мм		
		До 20	Св. 20 до 40	Св. 40 до 65
От круглости	Н	6	8	10
	П	4	5	6
Профиля продольного сечения	Н	6	8	10
	П	4	5	6
Постоянства диаметра в партии n образцов	Н	20	25	30
	П	12	16	20
Постоянства длины L в партии n образцов, отрезанных ¹ от прутка, поданного:	Н	60	80	100
		П	40	50
на упор револьверной головки	Н	20	25	25
		П	12	16

¹ Инструментом заднего поперечного суппорта.

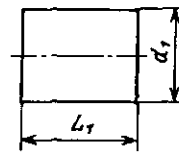
Продолжение табл. 23

Автоматы токарные многошпиндельные горизонтальные прутковые
(ГОСТ 43–85 в ред. 1990 г.)

Образцы-изделия из автоматной стали $\sigma_b = 450 \dots 550$ МПа или другого хорошо обрабатываемого пруткового материала. Обрабатывают две партии образцов-изделий (см. эск. 1 и 2) не менее 3 шт. на каждом шпинделе. Обработку ведут в любых рабочих позициях. Диаметр d обрабатывают проходным резцом, укрепленным на продольном суппорте; диаметр d_1 обрабатывают фасонным резцом, укрепленным в поперечном суппорте. У образцов, изготовленных в соответствии с эск. 1, после обработки подрезают передний торец, а затем проводят отрезание образца. У образцов, изготовленных в соответствии с эск. 2, отрезание проводят без подрезки торца.



Эск. 1



Эск. 2

$$d \geq 0,5D_{\text{наиб}}, \quad d_1 \geq 0,5D_{\text{наиб}}, \quad L \geq D_{\text{наиб}}, \\ L_1 \geq d_1 \text{ (но не менее 20 мм)},$$

где $D_{\text{наиб}}$ – наибольший диаметр обрабатываемого изделия, $a \geq 20$ мм

Допустимое отклонение образцов-изделий	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм			
		До 32	Св. 32 до 65	Св. 65 до 125	Св. 125 до 160
От круглости, мкм	Н	5	8	10	12
	П	4	5	7	8
Профиля продольного сечения, мкм	Н	10	14	16	16
	П	6	8	10	10
Постоянства диаметров в пределах одной партии, мкм	Н	50	65	80	80
	П	32	40	50	50
Постоянства длины в пределах одной партии, мкм: изготовленных в соответствии с эск. 1	Н	65	80	120	120
	П	40	50	80	80
изготовленных в соответствии с эск. 2	Н	300	500	800	800
	П	200	300	500	500

Примечания: 1. При проверке круглости и профиля продольного сечения контролируют не менее одного образца-изделия, обработанного на каждом шпинделе, в первом случае – в одном поперечном и во втором – в одном продольном сечении.

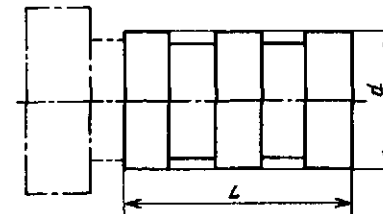
2. Проверку постоянства диаметров образцов-изделий проводят для каждой из обеих партий обработанных на всех шпинделях образцов-изделий.

3. Измерение длин L и L_1 проводят на всей партии соответствующих обработанных образцов-изделий.

Продолжение табл. 23

Полуавтоматы токарные многошпиндельные горизонтальные патронные
(ГОСТ 6819–84 в ред. 1990 г.)

Образцы-изделия из стали с $\sigma_b = 500 \dots 600$ МПа, серого чугуна или другого хорошо обрабатываемого пруткового материала.



$$d \geq 0,4D_{\text{нб}}, \quad L > 2d \text{ (но не более 200 мм)}, \\ \text{где } D_{\text{нб}} \text{ – наибольший диаметр патрона.}$$

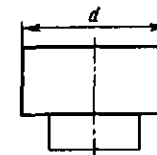
Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр патрона, мм		
		До 125	Св. 125 до 200	Св. 200
От круглости, мкм	Н	8	10	12
	П	5	6	8
Профиля продольного сечения, мкм	Н	12	16	20
	П	8	10	12
Постоянства диаметров партии образцов-изделий, мкм	Н	50	65	80
	П	32	40	50
От плоскостности подрезанной торцевой поверхности, мкм	Н	16	20	25
	П	10	12	16

Примечания: 1. Обрабатывают не менее трех образцов-изделий на каждом шпинделе. Обработку ведут в любых рабочих позициях, диаметр d протачивают с продольного суппорта.

2. При проверке плоскостности подрезанной торцевой поверхности выпуклость не допускается.

Станки токарные многошпиндельные вертикальные патронные полуавтоматические
(ГОСТ 6820–75 в ред. 1986 г.)

Образцы-изделия – из стали или чугуна.



$$d \geq 0,5D_{\text{нб}}, \\ \text{где } D_{\text{нб}} \text{ – наибольший диаметр обрабатываемого изделия;} \\ d \text{ – диаметр образца.}$$

Допустимое отклонение	Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм		
	До 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630
Постоянства диаметров, мкм: обработанных образцов со всех шпинделей в поперечном сечении	80	100	120
	25	30	40
в продольном сечении	30	40	50
	$L^* = 100$	$L^* = 100$	$L^* = 150$
плоскости торцевой поверхности образца, мкм	20	25	30

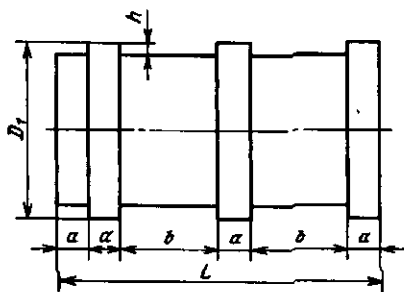
Примечания: 1. L^* – длина обработанной части образца-изделия, мм.

2. На диаметре образца-изделия выпуклость не допускается.

Продолжение табл. 23

Станки токарно-револьверные (ГОСТ 17-70 в ред. 1980 г.)

Образцы-изделия – из среднеуглеродистой стали с $\sigma_s \geq 450$ МПа. Точность станков проверяют при обработке двух видов образцов-изделий.

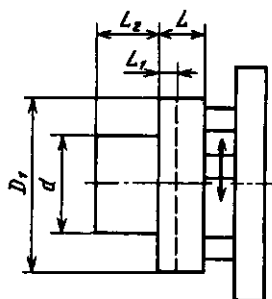


Эск. 1

$D_1 \approx d$,
 где d – наибольший диаметр прутка;
 $L = 3d$, но не более 300 мм;
 $a = 12 \dots 15$ мм;
 $b = \frac{L - 4a}{2}$; $h = 3 \dots 5$ мм.

Для прутка диаметром менее 20 мм допускается цилиндрический образец.

Точность формы наружной цилиндрической поверхности образца	Класс точности	Наибольший диаметр прутка d и изделия, устанавливаемого над станиной, (D), мм			
		До 12 (До 200)	Св. 12 до 32 (Св. 200 до 320)	Св. 32 до 80 (Св. 320 до 500)	Св. 80 до 200 (Св. 500 до 800)
Допустимое отклонение постоянства диаметра обработанной поверхности в сечении, мкм: поперечном	Н	8	10	12	16
	П	5	6	8	10
любом	Н	12	16	20	25
	П	8	10	12	16



Эск. 2

$D_1 \approx \frac{1}{2} D_{\max}$, но не более 300 мм,
 где D_{\max} – наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной, $d = 0,75D$.

Диаметр прутка, мм	L	L_1	L_2
До 12	20	10	40
Св. 12 до 32	30	10	50
Св. 32 до 80	50	15	60
Св. 80 до 200	80	15	80

Продолжение табл. 23

Допускаемое отклонение прямолинейности торцевой поверхности образца 1° , мкм

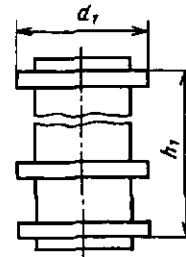
Станки с осью револьверной головки	Класс точности	Наибольший диаметр прутка d и изделия, устанавливаемого над станиной, (D), мм			
		До 12 (До 200)	Св. 12 до 32 (Св. 200 до 320)	Св. 32 до 80 (Св. 320 до 500)	Св. 80 до 200 (Св. 500 до 800)
Вертикальной	Н	10/100*	12/150	16/200	20/300
	П	6/100	8/150	10/200	12/300
Горизонтальной	Н	10/100	12/120	16/150	20/185
	П	6/100	8/120	10/150	12/185

* После чистовой обточки резцами, закрепленными в резцовой головке поперечного суппорта и в револьверной головке (при наличии рабочей поперечной подачи).

Примечания: 1. 100* – на диаметре 100 мм.
 2. Допускается только вогнутость обработанной поверхности.

Станки токарно-карусельные (ГОСТ 44-93)

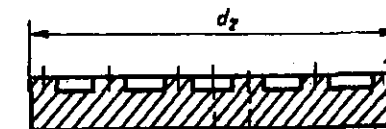
Материал образцов-изделий – чугун, допускается применение стальных образцов. Проверка точности производится при обработке трех видов образцов-изделий.



Эск. 1

$d_1 \geq 0,25D$, но не более 2000 мм,
 $1500 \text{ мм} > h_1 \geq 0,75L$

Размер d_1 должен обеспечить возможность обработки верхними, а для станков с $D \leq 1600$ мм и боковыми суппортами



Эск. 2

$d_2 \geq 0,75D$, но не более 5000 мм

Допускается обрабатывать кольцевые пояски непосредственно на поверхности планшайбы

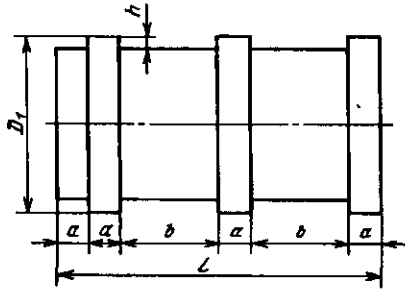
Допустимые отклонения на образцах-изделиях, мкм

Номер эскиза	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки D , мм					
		До 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000	Св. 4000 до 6300	Св. 6300 до 10000	Св. 10000
Эск. 1: от круглости	Н	8	10	12	15	20	25
	П	5	6	8	10	12	15
профиля продольного сечения	Н	15	20	25	25	25	25
	П	10	12	15	15	15	15
Эск. 2: от плоскостности торцевой поверхности	Н	30	40	50	60	60	–
	П	20	25	30	40	40	–

Продолжение табл. 23

Станки токарно-револьверные (ГОСТ 17-70 в ред. 1980 г.)

Образцы-изделия – из среднеуглеродистой стали с $\sigma_s \geq 450$ МПа. Точность станков проверяют при обработке двух видов образцов-изделий.



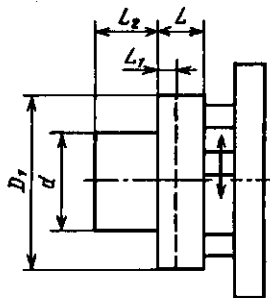
Эск. 1

$$D_1 \approx d,$$

где d – наибольший диаметр прутка;
 $L = 3d$, но не более 300 мм;
 $a = 12 \dots 15$ мм;
 $b = \frac{L - 4a}{2}$; $h = 3 \dots 5$ мм.

* Для прутка диаметром менее 20 мм допускается цилиндрический образец.

Точность формы наружной цилиндрической поверхности образца	Класс точности	Наибольший диаметр прутка d и изделия, устанавливаемого над станиной, (D), мм			
		До 12 (До 200)	Св. 12 до 32 (Св. 200 до 320)	Св. 32 до 80 (Св. 320 до 500)	Св. 80 до 200 (Св. 500 до 800)
Допустимое отклонение постоянства диаметра обработанной поверхности в сечении, мкм: поперечном	Н	8	10	12	16
	П	5	6	8	10
любом	Н	12	16	20	25
	П	8	10	12	16



Эск. 2

$$D_1 \approx \frac{1}{2} D_{\max}, \text{ но не более 300 мм,}$$

где D_{\max} – наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной, $d = 0,75D$.

Диаметр прутка, мм	L	L_1	L_2
До 12	20	10	40
Св. 12 до 32	30	10	50
Св. 32 до 80	50	15	60
Св. 80 до 200	80	15	80

Продолжение табл. 23

Допускаемое отклонение прямолинейности торцевой поверхности образца $1''$, мкм

Станки с осью револьверной головки	Класс точности	Наибольший диаметр прутка d и изделия, устанавливаемого над станиной, (D), мм			
		До 12 (До 200)	Св. 12 до 32 (Св. 200 до 320)	Св. 32 до 80 (Св. 320 до 500)	Св. 80 до 200 (Св. 500 до 800)
Вертикальной	Н	10/100*	12/150	16/200	20/300
	П	6/100	8/150	10/200	12/300
Горизонтальной	Н	10/100	12/120	16/150	20/185
	П	6/100	8/120	10/150	12/185

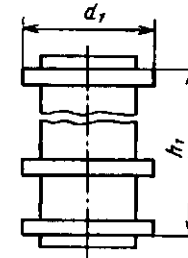
* После чистовой отточки резами, закрепленными в резцовой головке поперечного суппорта и в револьверной головке (при наличии рабочей поперечной подачи).

Примечания: 1. 100* – на диаметре 100 мм.

2. Допускается только вогнутость обработанной поверхности.

Станки токарно-карусельные (ГОСТ 44-93)

Материал образцов-изделий – чугун, допускается применение стальных образцов. Проверка точности производится при обработке трех видов образцов-изделий.

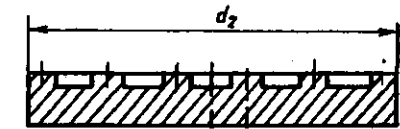


Эск. 1

$$d_1 \geq 0,25D, \text{ но не более 2000 мм,}$$

$$1500 \text{ мм} > h_1 \geq 0,75L$$

Размер d_1 должен обеспечить возможность обработки верхними, а для станков с $D \leq 1600$ мм и боковыми суппортами



Эск. 2

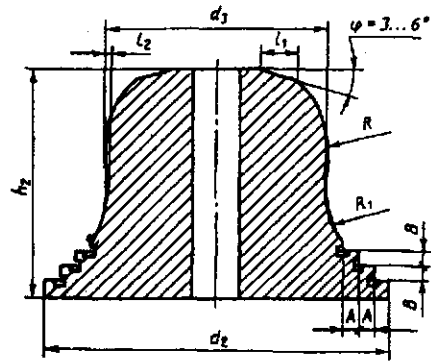
$$d_2 \geq 0,75D, \text{ но не более 5000 мм}$$

Допускается обрабатывать кольцевые пояски непосредственно на поверхности планшайбы

Допустимые отклонения на образцах-изделиях, мкм

Номер эскиза	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки D , мм					
		До 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000	Св. 4000 до 6300	Св. 6300 до 10000	Св. 10000
Эск. 1: от круглости	Н	8	10	12	15	20	25
	П	5	6	8	10	12	15
профиля продольного сечения	Н	15	20	25	25	25	25
	П	10	12	15	15	15	15
Эск. 2: от плоскостности торцевой поверхности	Н	30	40	50	60	60	–
	П	20	25	30	40	40	–

Продолжение табл. 23



Эск. 3

$$3000 \geq d_2 \geq 0,3D$$

$$2500 \geq d_3 \geq 0,25D$$

$$1000 \geq h_2 \geq 0,5L$$

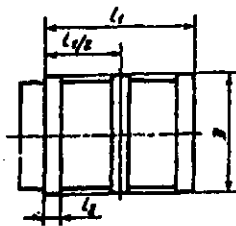
$$100 \geq A = B \geq 0,1h_2 \quad l_1 \geq 30 \text{ мм}; \quad l_2 \geq 20 \text{ мм}$$

1. Размеры R и R_1 устанавливаются в технических условиях на станок.
2. Для станков с позиционной системой ЧПУ и станков с УЦПУ обрабатываются только цилиндрические и плоские поверхности с получением размеров A и B .

Допустимое отклонение для образца-изделия, обрабатываемого на станках	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки D , мм	
		До 3200	Св. 3200
С ЧПУ, постоянства размеров, мкм: A	Н	30	40
	П	20	30
B	Н	50	50
	П	30	30
С контурными устройствами ЧПУ, профиля фасонной поверхности (φ, R, R_1), мкм	Н	60	80
	П	40	50

Станки токарно-винторезные и токарные (ГОСТ 18097-93, ИСО 1708-8-89)

Образцы-изделия изготавливаются из автоматной стали или чугуна. Для станков классов точности П, В и А допускается использовать латунь, бронзу или алюминиевые сплавы. Проверка точности станков производится при обработке трех видов образцов-изделий (эск. 1-3).



Эск. 1

$$D \geq \frac{D_a}{8}, \quad l_1 \approx 0,5 D_a, \text{ но не более } 500 \text{ мм};$$

$$l_2 \leq 20 \text{ мм, количество поясков - три при } l > 50 \text{ мм или два при } l \leq 50 \text{ мм};$$

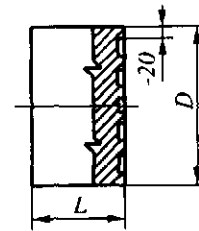
$$D_a - \text{наибольший диаметр заготовки}$$

Допускаемое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр заготовки D_a , мм	
		До 800	Св. 800
Постоянства диаметра в поперечном сечении, мкм	Н	10	20
	П	7	7
От круглости, мкм	В	2	5
	А	1	6

Продолжение табл. 23

Допустимое отклонение	Класс точности	Длина образца-изделия, мм		
		100	200	300
Постоянства диаметров в продольном сечении, мкм	Н	-	-	40
	П	-	12	20
	В	6	8	12
	А	4	6	-

Примечания: 1. Большой диаметр должен располагаться вблизи передней бабки.
2. Разность диаметров двух соседних поясков (за исключением случаев, когда их всего два) не должна превышать 75 % полученной разности диаметров наружных поясков.



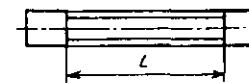
Эск. 2

$$D \geq 0,5 D_a, \quad L \approx \frac{D_a}{8}$$

Обрабатываемая поверхность, как правило, разделяется на две или три концентрические поверхности, одна из которых центральная.

Допустимое отклонение	Класс точности	Диаметр заготовки-образца D , мм			
		100	200	300	500
От прямолинейности торцевой поверхности, мкм	Н	10	15	25	40
	П	6	10	15	-
	В	4	6	10	-
	А	3	4	-	-

Примечания: 1. Измерения проводят в двух взаимно перпендикулярных диаметральных сечениях.
2. Допускается только вогнутость.



Эск. 3

$$L \approx 300 \quad (D_a > 250 \text{ мм})$$

DC - наибольшее расстояние между центрами передней и задней бабок.

Диаметр и шаг резьбы должны быть возможно близкими к диаметру и шагу резьбы ходового винта. Резьба может начинаться с любой точки ходового винта. Тип резьбы - однозаходная треугольная, допускается трапециевидная.

Накопленная погрешность шага резьбы, мкм

Длина измерения, мм	Допуск, мкм, для стоек классов точности						
	Н			П	В	А	
	$DC \leq 2000 \text{ мм}$	$2000 \text{ мм} < DC \leq 3000 \text{ мм}$	$DC > 3000 \text{ мм}$			$D_a \leq 250 \text{ мм}$	$250 \text{ мм} < D_a \leq 500 \text{ мм}$
50	-	-	-	-	-	10	-
300	40	45	50	30	20	-	20

Продолжение табл. 23

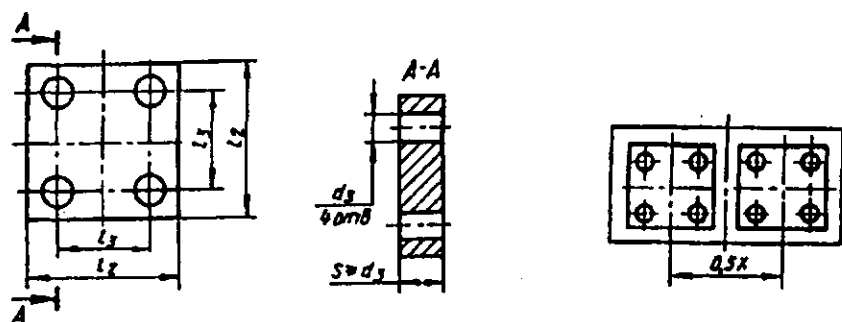
Станки координатно-расточные и координатно-шлифовальные (ГОСТ 18098-94)

Образцы-изделия – из чугуна с $\sigma_b = 200 \dots 250$ МПа, стали с $\sigma_b = 350 \dots 450$ МПа, цветных металлов и сплавов с $\sigma_b = 120 \dots 240$ МПа.

Образец-изделие устанавливают в средней части станка симметрично средней линии стола.

Допуски при проверках точности образцов-изделий станков класса точности С не должны превышать значений, указанных нижеприведенных в таблицах (для образцов-изделий станков класса точности А допуски увеличивают в 1,6 раза).

1. Точность обработки образцов-изделий на станках с ручным управлением (с цифровой индикацией и предварительным набором координат без точной установки рабочего органа в автоматическом режиме).



Эск. 1

Эск. 2

Размеры, мм

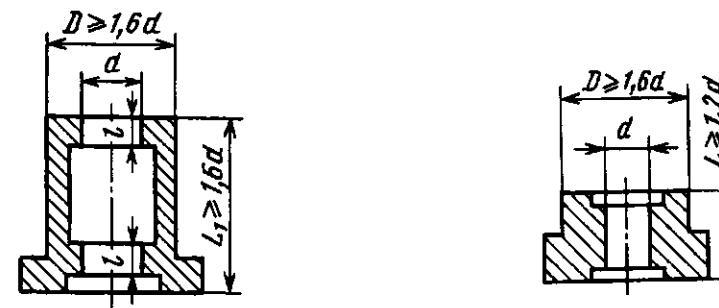
Ширина стола	l_2	l_3	d_3
До 500	125	80	12 – 20
Св. 500 до 1250	160	100	20 – 30
Св. 1250	200	125	30 – 40

При наибольшем перемещении стола $l_{\text{наиб}} \geq 800$ мм рекомендуется использовать два образца-изделия (эск. 1), симметрично расположенных вдоль оси X на расстоянии между осями образцов-изделий, равном 0,5 перемещения по оси X (эск. 2).

Допустимое отклонение	Ширина стола, мм		
	До 500	Св. 500 до 1250	Св. 1250
Межосевых расстояний отверстий после чистовой обработки, мкм	4	5	6

Примечание. В образце-изделии проводят чистовое растачивание (шлифование) отверстий (эск. 1, 2).

Продолжение табл. 23



Эск. 3

Эск. 4

Размер, мм	Конец шпинделя КРС по ГОСТ 30064				Диаметр шейки планетарного шпинделя КШС в передней опоре, мм	
	с конусом 7 : 24		с конусом Морзе		До 63	Св. 63
	30	40; 45; 50	0; 1; 2	3		
d (эск. 3)	20 ... 40	40 ... 120	20 ... 40	40 ... 120	–	–
l	5 ... 10	10 ... 30	5 ... 10	10 ... 30	–	–
d (эск. 4)	–	–	–	–	20 ... 40	40 ... 120

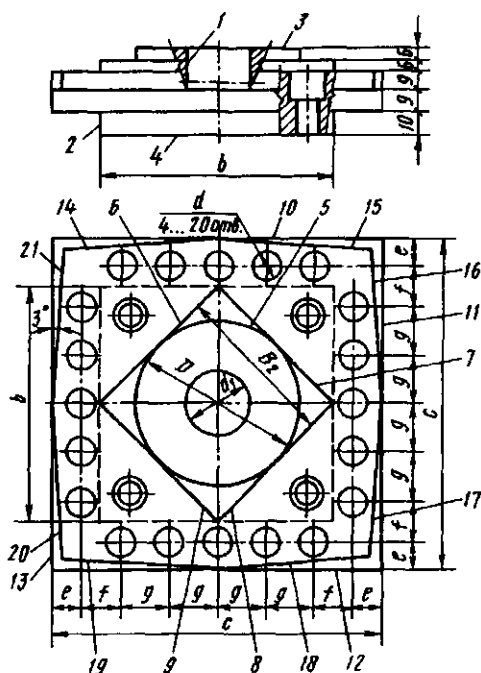
Параметр	Допуск, мкм	Конец шпинделя КРС по ГОСТ 30064		Диаметр шейки планетарного шпинделя КШС в передней опоре, мм
		с конусом 7 : 24	с конусом Морзе	
Допустимое отклонение:				
от круглости	1,6	30	0; 1; 2	До 63
постоянства диаметра в любом продольном сечении	3,0			
от круглости	2,0	40; 45; 50	3	Св. 63
постоянства диаметра в любом продольном сечении	4,0			

Примечания: 1. В образцах-изделиях на эск. 3 (для координатно-расточных станков) и на эск. 4 (для координатно-шлифовальных станков) проводят чистовое растачивание (шлифование) отверстий.

2. Для станков класса точности А допускается вместо проверки круглости проводить проверку постоянства диаметра в поперечном сечении с увеличением допускаемых отклонений в 2 раза.

Продолжение табл. 23

2. Точность обработки образца-изделия на станках, оснащенных устройствами ЧПУ.



Эск. 5

Примечания:

1. Четыре обязательных отверстия диаметром d располагают на осях симметрии квадрата со стороной c , дополнительные отверстия выбираются произвольно из указанных на эск. 5.

2. Допускается увеличение размеров по высоте обрабатываемых поверхностей образца и расстояний их от базы и между собой.

Размеры, мм

Ширина стола, мм	b	c	$D - B_2$	d	d_1	e	f	g
До 800	113	160	80	12 ... 16	30	14,5	15,5	25
Св. 800	226	320	160	16 ... 25	50	30	30	50

Условия обработки образца-изделия по эск. 5 на станках с контурными устройствами ЧПУ.

Поверхности 3, 5, 6 - 9, 10 - 21 должны быть предварительно обработаны до получения окончательной формы образца-изделия с припуском на чистовую обработку (для КШС предварительно обрабатываются также отверстия d и d_1).

Поверхность 4 обработана окончательно.

Образец-изделие закрепляют в середине стола, причем поверхность 12 выверяют параллельно траектории продольного перемещения стола.

Для станков с наибольшим перемещением стола $l_{\text{наиб}} \geq 800$ мм рекомендуется использовать два образца-изделия, которые должны закрепляться на расстоянии между осями их симметрии, равном 0,5 наибольшего рабочего перемещения l по оси X , и симметрично относительно средних сечений рабочей поверхности стола.

Продолжение табл. 23

Обработку образца-изделия проводят в следующей последовательности:

- сверление, рассверливание и предварительное растачивание (для КШС - предварительное шлифование ранее обработанного с припуском) отверстия d_1 ;
- чистовое фрезерование (шлифование):
 - поверхности 3 "круга" в три прохода с обеспечением ширины фрезерования (шлифования) (полос), примерно равной 0,3 диаметра D поверхности 3, и с перекрытием между проходами не более 15 мм;
 - поверхности 5 "круга";
 - поверхностей 6 ... 9 "ромба";
 - поверхностей 10 ... 13 "квадрата";
 - наклонных поверхностей 14 ... 21 (угол наклона 3°);
- сверление, рассверливание (при необходимости) и растачивание (для КШС - шлифование предварительно обработанных) отверстий d ;
- работа на холостом ходу с периодическим включением перемещения рабочих органов и непрерывным вращением шпинделя с частотой вращения, равной половине максимальной частоты вращения, в течение не менее одного часа (с учетом времени обработки) (для КШС - планетарного шпинделя и шлифовального шпинделя со средней частотой вращения из комплекта шлифовальных шпинделей, поставляемого со станком);
- чистовое растачивание (шлифование) отверстия d_1 .

Тип, материал, размеры и требования к режущему инструменту, а также режимы чистовой обработки образца-изделия, должны соответствовать установленным в эксплуатационных документах на станок. На станках с позиционными устройствами ЧПУ обрабатывают образцы с расширением допусков при их обработке в 1,25 раза по сравнению с указанными для образца на эск. 1.

Допускаемое отклонение на образцах-изделиях, мкм

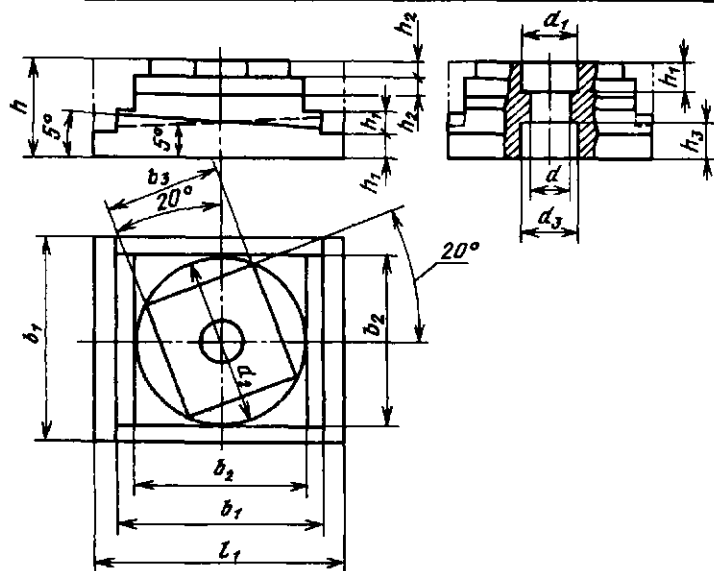
Отклонение (см. эск. 5)	Ширина стола, мм	
	До 800	Св. 800
От прямолинейности поверхностей:		
торца 3	4	5
боковых сторон 6 - 21	5	6
От параллельности поверхности 3 относительно поверхности 4 в продольном и поперечном сечениях	4	5
Положения наклонных поверхностей 14 - 21	6	10
От круглости:		
отверстия d_1	2	2
поверхности 5	8	10
Постоянства диаметра в продольном сечении отверстия d_1	2,5	4,0
От соосности отверстия d_1 с поверхностью 5	6	10
Межосевых расстояний между отверстиями в одном ряду:		
соседними	4	5
любыми двумя	6	8

Примечания: 1. Проверку расточенного (шлифованного) отверстия проводят в двух сечениях на расстоянии, равном приблизительно 5 мм от его торцов; проверку наружной фрезерованной (шлифованной) поверхности проводят в среднем (или близком к нему) сечении по высоте.

2. Для станков класса точности А допускается проводить проверку постоянства диаметра в поперечном сечении с увеличением допускаемых отклонений в 2 раза.

Продолжение табл. 23

3. Точность обработки образца-изделия на станках, оснащенных устройством ЧПУ.

Эск. 6
Размеры, мм

Ширина стола	b_1	$b_2 = d_2$	b_3	l_1	h	$h_1 = h_3$	h_2	d	d_1	d_3
До 800	200	160	77,782	250	100	25	15	60	65	70
Св. 800	260	220	155,563	320	120	30	20	95	100	100

Примечания: 1. Штриховой линией показаны контуры заготовки, несовпадающие с контурами окончательно обработанного образца-изделия;

2. Отверстие $d_3 \times h_3$ должно быть предварительно выполнено в заготовке.

3. Допускается выполнение на образце-изделии крепежных отверстий (пазов).

4. На образце для КШС при необходимости на обрабатываемых поверхностях предварительно выполняют канавки для выхода инструмента.

5. Для станков, не имеющих по оси Z перемещений в следящем режиме, поверхность под углом 5° не обрабатывается.

Обработку на координатно-расточных станках проводят по контрольной программе в следующем порядке:

- чистовое растачивание отверстия d_1 ;
- чистовое фрезерование:
 - торцовой поверхности повернутого под углом 20° параллелепипеда в три прохода с обеспечением ширины фрезерования (полос) примерно равной 0,3 стороны торцовой поверхности и с перекрытием между проходами не более 15 мм;
 - боковых поверхностей повернутого параллелепипеда со стороной b_3 ;
 - наружной цилиндрической поверхности диаметром d_2 ;

Продолжение табл. 23

– двух боковых поверхностей параллелепипеда со стороной b_2 и поверхностей, параллельных основанию образца-изделия;

– двух боковых поверхностей параллелепипеда со стороной b_2 и поверхностей, наклонных под углом 5° к основанию образца-изделия;

• работа на холостом ходу с периодическим включением перемещений рабочих органов и непрерывным вращением шпинделя с частотой вращения, равной половине максимальной частоты вращения, в течение не менее 1 ч (с учетом времени обработки);

• чистовое растачивание отверстия d_1 .

На координатно-шлифовальных станках на данном образце-изделии обрабатывают последовательно только отверстие d_1 , боковые поверхности повернутого параллелепипеда со стороной b_3 , наружную цилиндрическую поверхность d_2 и отверстие d .

Допускаемые отклонения на образцах-изделиях (эск. 6), мкм

Отклонение	Ширина стола, мм	
	До 800	Св. 800
Торцовой поверхности повернутого параллелепипеда: от плоскостности:		
общая	4	5
перепад между полосами от переходов инструмента	3	4
от параллельности основанию	4	5
Боковых поверхностей повернутого параллелепипеда:		
от прямолинейности	5	6
от перпендикулярности	6	8
Положения поверхности, наклонной под углом 5°	6	8
От круглости наружной цилиндрической поверхности при контурной обработке	8	10
От соосности отверстий d_1 и d	6	8

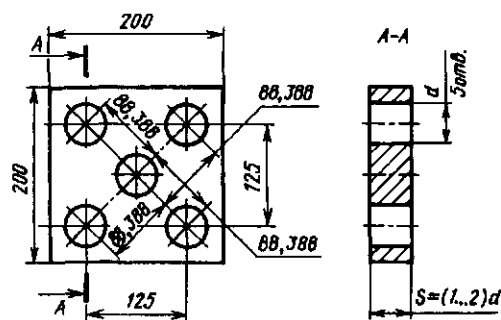
Примечание: Приведенные данные не распространяются на станки класса точности А.

4. Шероховатость поверхности образца-изделия из стали (56,5 HRC) должна быть не более $Ra 0,16$.

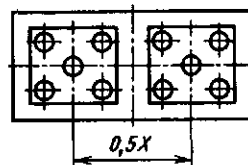
Продолжение табл. 23

Станки радиально-сверлильные (ГОСТ 98–83) с ЧПУ

Образцы-изделия – из чугуна, стали, алюминиевого сплава.
Поверхности, используемые как технологические, должны быть окончательно обработаны.



Эск. 1



Эск. 2

Для станков с отношением перемещений X и Y более 1,6 рекомендуется использовать два образца-изделия (эск. 2), расположенных вдоль оси X на расстоянии между осями симметрии образцов-изделий, равном $0,5$ перемещения X .

Обработку образца-изделия производят по контрольной программе в следующем порядке: сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание отверстия d .

Допуск диаметра просверленного отверстия не должен превышать: Н12 – для станков класса точности Н; Н11 – для станков класса точности П.

При необходимости для измерения после сверления на станке производят развертывание отверстий.

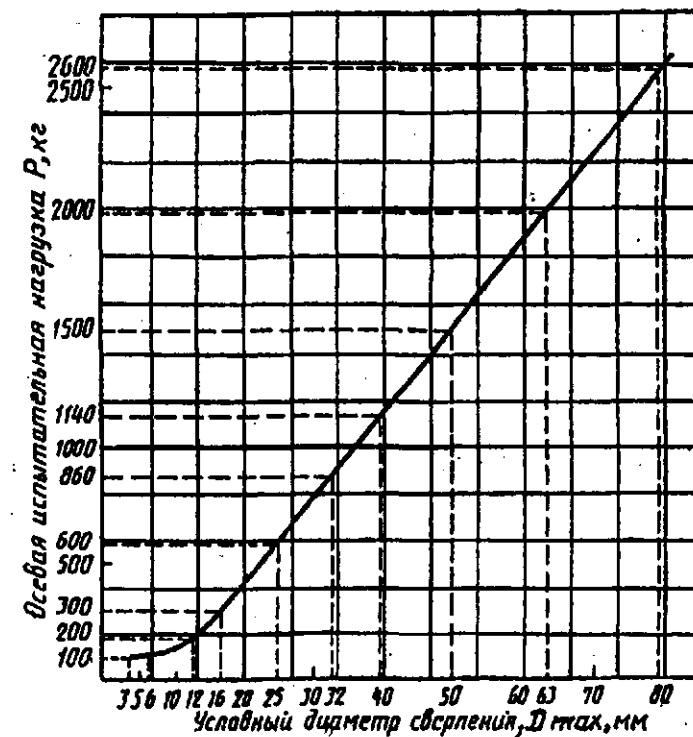
Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольшая длина перемещения, мм			
		До 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000
Межосевых расстояний, мкм	Н	60	80	100	120
	П	40	50	60	80

Примечание. Для станков с отношением продольного и поперечного перемещений не более 1,6 допуски межосевых расстояний устанавливают по наибольшему из указанных перемещений; для станков с отношением указанных перемещений более 1,6 допуски устанавливают в 1,6 раза больше, чем для меньших из этих перемещений.

Продолжение табл. 23

Станки вертикально-сверлильные (ГОСТ 370–93Е)

Зависимость осевой испытательной нагрузки от условного максимального диаметра сверления приведена на графике.



Параметр	Класс точности	Исполнение станка на колонне	
		призматической	круглой
Допускаемое перемещение оси шпинделя к рабочей поверхности стола, стола-плиты или плиты под действием осевой статической нагрузки*	Н	1,0/1000	2,0/1000
	П	0,6/1000	1,2/1000

* В вертикальной плоскости симметрии и в плоскости, перпендикулярной к вертикальной плоскости симметрии, проходящей через ось шпинделя, мм.

Допускаемые перемещения определяют как разность показаний приборов для измерения длин на расстоянии L между приборами и пересчитывают пропорционально на длину 1000 мм.

Продолжение табл. 23

Станки круглошлифовальные (ГОСТ 11654-90)

Проверка точности станков проводится при обработке образцов-изделий четырех видов.

1. Обработка в центрах.

Образец-изделие валик (эск. 1) размерами $l/d \leq 10$ закрепляют (без люнета) между центрами и обрабатывают его цилиндрическую поверхность.

Размеры образца, мм



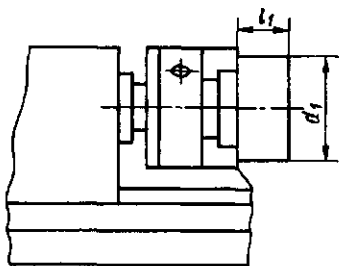
Эск. 1

Наибольшая длина шлифования, L_0	l	$d_{\text{наим}}$
До 315	160	16
Св. 315 » 630	315	32
» 630 » 1600	630	63
» 1600 » 3000	1000	100
» 3000	1500	150

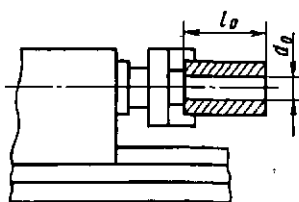
2. Обработка в патроне.

2.1. Образец-валик (или диск) цилиндрической формы (эск. 2) с размерами $d_1 = \frac{D}{4}$,

$l_1 \leq (0,25 \dots 0,5)d_1$, где D – наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, закрепляют в патроне (или в отверстии шпинделя) и обрабатывают его наружную цилиндрическую поверхность.



Эск. 2



Эск. 3

Для станков с длиной шлифования $L \leq 1500$ мм – $d_{\text{наим}} \leq 40$ мм и $d_{\text{наиб}} = 100$ мм; для станков с длиной шлифования $L > 1500$ мм – $d_{\text{наим}} = 100$ мм и $d_{\text{наиб}} = 400$ мм.

2.2. Образец-втулку цилиндрической формы (эск. 3) с основными размерами $d_0 \geq 1/2 d_{\text{наиб}}$ и $l_0 = (1 \dots 1,5)d_0$, где $d_{\text{наиб}}$ – наибольший диаметр отверстия, шлифуемого на станке (d_0 и l_0 – соответственно диаметр и длина отверстия образца), закрепляют в патроне и шлифуют внутреннюю цилиндрическую поверхность.

2.3. Образец-диск диаметром $d \geq D/2$, где D – наибольший диаметр заготовки, закрепляют в патроне и обрабатывают торцовую поверхность.

Допускается обработка не менее трех отдельных кольцевых поясков (на периферии, в середине и у центра).

Продолжение табл. 23

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм				
		в центрах			в патроне	
		До 200	Св. 200 до 400	Св. 400	До 400	Св. 400 (для $d_1 = 100$)
От круглости образцов-изделий на эск. 1 – 3, мкм	П	1,6	2,5	3,0	2,5	2,5
	В	1,0	1,6	2,5	1,6	1,6
	А	0,6	1,0	1,6	1,0	1,0
	С	0,4	0,6	1,0	0,6	0,6

Допустимое отклонение	Класс точности	Длина l образца-изделия, мм				
		≤ 160	315	630	1000	1500
Постоянства диаметра в продольном сечении образца-валика (эск. 1), мкм	П	3	5	8	10	15
	В	3	4	6	8	12
	А	2	3	4	6	10
	С	1	2	3	4	8

Допускаемое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр заготовки, мм		
		До 200	Св. 200 до 400	Св. 400
От плоскостности торцовой поверхности образца-диска, мкм	П	6	8	10
	В	5	6	8
	А	4	5	6
	С	3	4	5

Примечание. Выпуклость не допускается.

Поверхности образцов-изделий	Шероховатость обработанной поверхности Ra , мкм, не более, для станков классов точности			
	П	В	А	С
Цилиндрическая наружная	0,32	0,16	0,08	0,04
Цилиндрическая внутренняя	0,63	0,32	0,16	0,08
Плоская торцовая	1,25	0,63	0,32	0,16

Продолжение табл. 23

Станки круглошлифовальные бесцентровые (ГОСТ 13510-93)

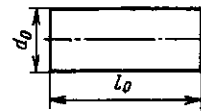
Перед чистовой обработкой для проверки станка образцы-изделия должны быть обработаны с допусками, увеличенными в 1,6 раза, а шероховатость Ra – в 2 раза по сравнению с указанными в таблицах.

Для проверки точности станков шлифуют партию образцов-изделий с режимами для окончательной обработки:

10 шт. методом врезного шлифования и 15 шт. методом сквозного шлифования – для станков, работающих обоими методами;

25 шт. – для станков, работающих только одним из методов.

Измерения проводят на пяти последних экземплярах из указанных ранее партий образцов-изделий.



Эск. 1

Размеры образцов-изделий:

$$1/3 D_{\text{наиб}} < d_0 < 1/2 D_{\text{наиб}}; l_0 > 0,6H,$$

где $D_{\text{наиб}}$ – наибольший диаметр шлифования на станке; H – наибольшая высота кругов.

Образцы-изделия диаметром $d_0 > 50$ мм могут быть полыми.

При шлифовании методом врезания на станках с высотой круга $H > 250$ мм на образце-изделии допускается кольцевая канавка.

Материал образцов-изделий: сталь термически обработанная, 51 ... 58 HRC.

Допустимое отклонение образцов-изделий	Класс точности	Диаметр образца-изделия, мм						
		16	32	63	125	250	250	400
		Наибольшая высота кругов, мм						
		63	100	160 320	250 500	320	600 800	800
Постоянства диаметра, мкм: размера d_0 при врезном шлифовании	П	–	–	–	12	12	16	16
	В	5	5	6	8	8	10	10
	А	3	3	4	5	5	6	6
цилиндрической поверхности в продольном сечении	П	1,2	2	$\frac{3}{5}$	$\frac{4}{6}$	8	$\frac{10}{10}$	12
	В	0,8	1,2	$\frac{2}{3}$	$\frac{2,5}{4}$	5	$\frac{6}{6}$	8
	А	0,5	0,8	$\frac{1,2}{2}$	$\frac{1,6}{2,5}$	3	$\frac{4}{4}$	5
От круглости цилиндрической поверхности, мкм	П	–	–	–	$\frac{2,0}{2,5}$	2,5	$\frac{3,0}{3,0}$	5,0
	В	0,8	1,0	$\frac{1,0}{1,2}$	$\frac{1,2}{1,6}$	1,6	$\frac{2,0}{2,0}$	3,0
	А	0,5	0,6	$\frac{0,6}{0,8}$	$\frac{0,8}{1,0}$	1,0	$\frac{1,2}{1,2}$	1,6
Шероховатость Ra шлифованной цилиндрической поверхности, не более	П	–	–	–	$\frac{0,32}{0,32}$	0,63	$\frac{0,63}{0,63}$	0,63
	В	0,16	0,16	0,16	$\frac{0,16}{0,16}$	0,32	$\frac{0,32}{0,32}$	0,32
	А	0,08	0,08	0,08	$\frac{0,08}{0,08}$	0,16	$\frac{0,16}{0,16}$	0,16

Продолжение табл. 23

Станки внутришлифовальные (ГОСТ 25-90)

Материал образцов-изделий – сталь термически обработанная, 60 ± 5 HRC.

Условия чистового шлифования образцов-изделий перед их проверкой – по техническим условиям на конкретные модели станков, в которых должны быть указаны:

форма и размеры поверхностей для закрепления образца-изделия;

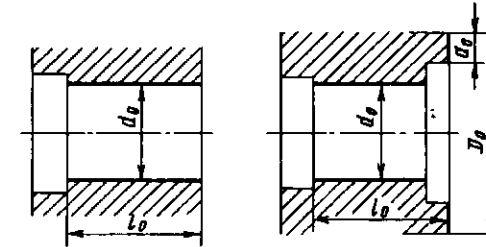
способ установки и закрепления образца-изделия;

тип и размеры шлифовального круга;

частота вращения шпинделя бабки изделия;

скорость вращения шлифовального круга;

скорость перемещения рабочего стола.



Эск. 1

$$d_0 = (0,45 \dots 0,5) d$$

$$D_0 = (0,9 \dots 1,0) d$$

Здесь d – наибольший диаметр шлифуемого отверстия.

Наибольший диаметр D устанавливаемой заготовки, мм	l_0 , мм	d_0 , мм
200	$(0,9 \dots 1,0) d$	–
Св. 200 до 400	$(0,6 \dots 0,7) d$	≈ 15
» 400 » 800	$(0,45 \dots 0,5) d$	≈ 25
» 800 » 1600	$(0,45 \dots 0,5) d$	≈ 50

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр D устанавливаемой заготовки, мм			
		200	Св. 200 до 400	Св. 400 до 800	Св. 800 до 1600
Постоянства диаметра в продольном сечении, мкм	П	4,0	5,0	6,0	8,0
	В	3,0	3,0	4,0	6,0
	А	2,0	2,0	3,0	4,0
От круглости, мкм	П	1,6	2,0	3,0	4,0
	В	1,0	1,6	2,5	3,0
	А	0,6	1,0	1,6	2,5
От плоскостности торцовой поверхности	П	5	6	8	10
	В	3	4	5	6
	А	2	3	3	4

* Для станков со специальным устройством для торцевого шлифования.

Примечания: 1. Для станков класса точности П всех размеров, а также классов точности В и А с наибольшим диаметром устанавливаемой заготовки св. 400 мм вместо измерения отклонения от круглости может быть произведено измерение постоянства диаметров в поперечном сечении с увеличением в 1,6 раза допускаемых отклонений.

2. Выпуклость на торцовой поверхности не допускается.

Продолжение табл. 23

Шероховатость Ra поверхности	Класс точности		
	П	В	А
Цилиндрической внутренней, мкм	0,63	0,32	0,16
Плоской торцевой*, мкм	1,25	0,63	0,32

* Для станков со специальным устройством для торцевого шлифования.

Станки плоскошлифовальные с прямоугольным столом (ГОСТ 13135-90)

Контроль точности обработки образцов-изделий производится для плоскошлифовальных станков с прямоугольным столом: 1) горизонтальным шпинделем классов точности В и А с шириной стола до 1000 мм; 2) вертикальным шпинделем класса точности В с шириной стола до 1000 мм; 3) на продольношлифовальных станках двухстоечных для направляющих классов точности В и А с шириной стола до 3150 мм.

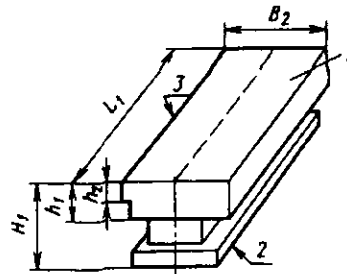
Образцы-изделия (эск. 1, 2 и 9) – из стальных отливок или закаленной стали с $\sigma_s = (550 \dots 650) \text{ Н/мм}^2$ или из серого чугуна $\sigma_s = (200 \dots 280) \text{ Н/мм}^2$.

Образцы-изделия (эск. 5 и 6) из закаленной стали с твердостью $(60 \pm 3) \text{ HRC}$.

Разность твердости обрабатываемых образцов-изделий не должна превышать 4 HRC.

Образцы-изделия для контроля точности одностоечных плоскошлифовальных станков с прямоугольным столом:

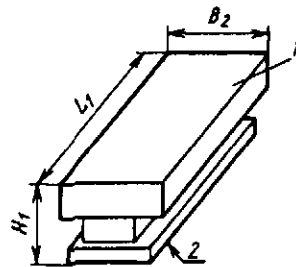
а) с горизонтальным шпинделем



Эск. 1

$L_1 \geq 0,6L$, но не более 710 мм; $B_2 \geq 0,6B_1$, но не более 300 мм; $H_1 \geq 0,3H$, но не более 200 мм; $h_1 \approx 0,4H_1$, $h_2 \approx 0,5h_1$, где L – длина стола; B_1 – ширина стола; H – наибольшая высота шлифования

б) с вертикальным шпинделем



Эск. 2

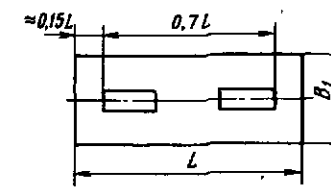
$L_1 \geq 0,6L$, но не более 360 мм; $B_2 \geq 0,6B_1$, но не более 360 мм, где L – длина стола; B_1 – ширина стола; H – наибольшая высота шлифования

Продолжение табл. 23

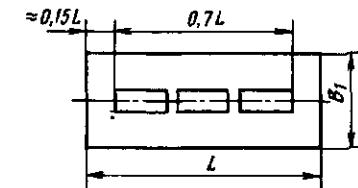
Количество и расположение данных образцов-изделий на рабочей поверхности стола должно соответствовать для станков с длиной стола L : до 1600 мм – один образец-изделие, расположенный в середине стола в продольном направлении;

свыше 1600 мм до 2500 мм – два образца-изделия, расположенных в середине стола в продольном направлении в соответствии с эск. 3;

свыше 2500 мм – три образца-изделия, расположенных в середине стола в продольном направлении в соответствии с эск. 4.



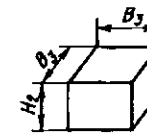
Эск. 3



Эск. 4

Поверхность 1 образца-изделия на эск. 1 обрабатывают периферией шлифовального круга. Поверхности 1 образца-изделия на эск. 2 и поверхность 3 образца-изделия на эск. 1 обрабатывают торцом круга, при этом в комплекте станков должны быть приборы правки круга по торцу.

Образец-изделие для контроля точности одностоечных плоскошлифовальных станков с прямоугольным столом (с горизонтальным и вертикальным шпинделем).

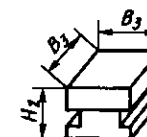


Эск. 5

Длина стола L , мм	B_3 , мм	H_2 , мм, не менее
До 1000	50	40
Св. 1000 » 2500	60	
» 2500	80	60

Примечание. Вместо образцов-изделий по эск. 5 допускается применение цилиндрических образцов-изделий с диаметром B_3 и высотой H_2 .

Образец-изделие для контроля точности двухстоечных плоскошлифовальных станков с прямоугольным столом.

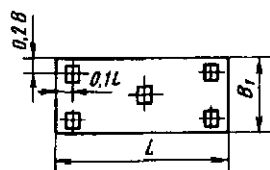


Эск. 6

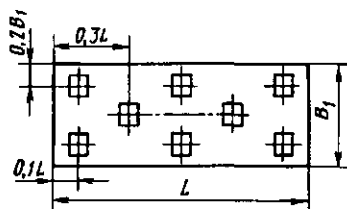
Длина стола L , мм	B_3 , мм	H_2 , мм, не менее
Св. 2500 до 4000	80	60
Св. 4000 » 16000	100	80

Продолжение табл. 23

Количество и расположение образцов-изделий по эск. 5 и 6 на рабочей поверхности стола должно соответствовать для станков с длиной стола L :
до 4000 мм в соответствии со схемой на эск. 7;
свыше 4000 мм в соответствии со схемой на эск. 8.

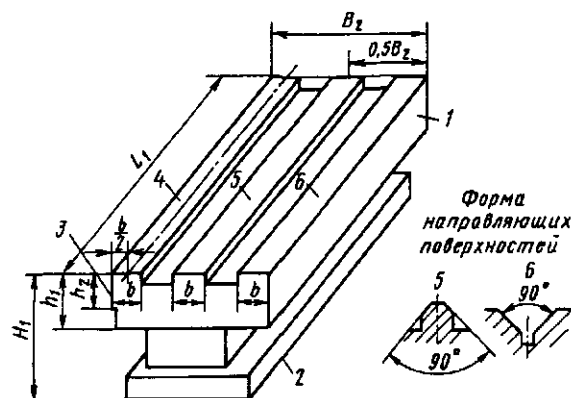


Эск. 7



Эск. 8

Образец-изделие для контроля точности продольношлифовальных станков двухсторонних для направляющих.



Эск. 9

$L_1 \geq 0,6L$, но не более 1250 мм; $B_2 \geq 0,6B$, но не более 500 мм;
 $b \geq 0,15B_2$, но не менее 40 мм; $H_1 \geq 0,3H$, но не более 500 мм;
 $h_1 \approx 0,4H_1$, но не менее 200 мм; $h_2 \approx 0,5h_1$, но не менее 100 мм;
где L – длина стола; B – наибольшая ширина обрабатываемой заготовки;
 H – наибольшая высота обрабатываемой заготовки

Поверхности 3, 4, 5 и 6 данного образца-изделия обрабатывают периферией шлифовального круга.

Продолжение табл. 23

Допускаемое отклонение на образцах-изделиях, мкм

Отклонение	Класс точности	Допускаемое отклонение, мкм							
		До 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600			
От прямолинейности (плоскостности) поверхностей 1 (см. эск. 1 и 2)	В	3	4	5	6	–			
	А	2	3	3	4	–			
От прямолинейности поверхностей 3 (см. эск. 1) и 3, 4, 5 и 6 (см. эск. 9) в продольном направлении	В	2,5	3	4	5	6			
	А	1,5	2	2,5	3	4			
От параллельности поверхностей 1 относительно 2 в продольном и поперечном сечениях (см. эск. 1 и 2)	В	4	5	6	8	10			
	А	2,5	3	4	5	6			
От перпендикулярности поверхностей 1 и 3 (см. эск. 1) и поверхностей 4 и 3 (см. эск. 9)	Длина измерения, мм								
	В	50	100	200					
		6	8	10					
	А	4	5	6					
От параллельности поверхностей 5 и 6 относительно 4 в вертикальной плоскости (см. эск. 9)	Длина измерения, мм								
	В	До 1000		Св. 1000 до 1600					
		8		10					
	А	5		6					
Постоянства высоты H_2 (см. эск. 5 и 6)	Длина стола L , мм								
	В	До 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500	Св. 2500 до 4000	Св. 4000 до 6300	Св. 6300 до 10000	Св. 10000 до 16000
		6	8	10	12	16	20	25	30
	А	4	5	6	8	10	12	16	20
	Шероховатость	Класс точности	Шлифование						
			периферией круга			торцом круга			
	Ra , мкм	В	0,32			0,63			
		А	0,16			0,32			

Продолжение табл. 23

Станки плоскошлифовальные с крестовым столом и горизонтальным шпинделем
(ГОСТ 273-90)

Материал образцов-изделий при их ширине B_1 :
до 100 мм – улучшенная сталь с σ_b от 750 до 850 Н/мм² или закаленная сталь с твердостью 50 ... 60 HRC;
свыше 100 мм стальные отливки с σ_b от 550 до 650 Н/мм² или серый чугун с $\sigma_b = 200 \dots 280$ Н/мм².

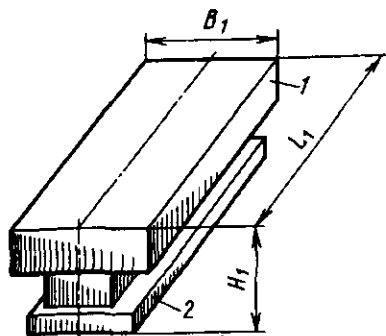
Количество и расположение образцов-изделий на рабочей поверхности стола должно соответствовать для станков с длиной стола L :

до 1000 мм – один образец-изделие, расположенный в середине стола в продольном направлении;

свыше 1000 мм до 1600 мм – два образца-изделия, расположенных один за другим в середине стола в продольном направлении.

Поверхность 1 образца-изделия обрабатывают периферией шлифовального круга.

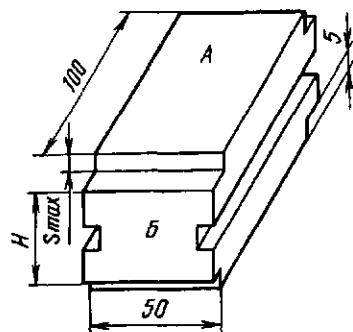
Проверка точности станков производится при обработке двух видов образцов-изделий.



Эск. 1

$L_1 \geq 0,6L$, но не более 400 мм;
 $B_1 \geq 0,6B$, но не более 150 мм;
 $H_1 \geq (0,2 \dots 0,3)H$, но не более 120 мм;
где L – длина стола; B – ширина стола;
 H – наибольшая высота шлифования

У стального или чугунного угольника с размерами, указанными на эск. 2 и в таблице шлифуют грани A и B . Грань A шлифуют периферией круга при поперечной подаче стола; грань B – торцом круга, при вертикальной подаче шлифовальной бабки или при поперечной подаче стола.



Эск. 2

Продолжение табл. 23

Допускаемое отклонение на образцах-изделиях, мкм

Отклонение	Класс точности	Длина измерения, мм			
		До 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000
От прямолинейности поверхности 1 (см. эск. 1), мкм	B	3	4	5	6
	A	2	2,5	3	4
	C	1,5	2	2	2,5
От параллельности поверхностей 1 и 2 в продольном и поперечном сечениях (см. эск. 1), мкм	B	4	5	6	8
	A	2,5	3	4	5
	C	2	2	2,5	3

Отклонение	Класс точности	Диаметр наружного базировочного конуса по ГОСТ 2323, мм		
		До 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 80
		Высота H , мм		
Перпендикулярности плоскостей A и B на длине измерения 80 мм (см. эск. 2), мкм	B	6	6	6
	A	4	4	4
	C	4	4	4

Шероховатость	Класс точности	Шлифование	
		периферией круга	торцом круга
R_a , мкм, не более	B	0,16	0,63
	A	0,08	0,32
	C	0,04	0,20

Продолжение табл. 23

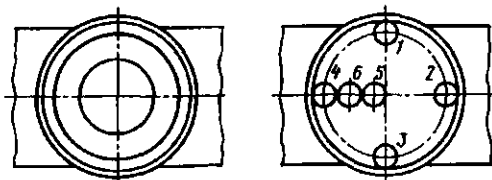
Станки плоскошлифовальные с круглым выдвижным столом и вертикальным шпинделем (ГОСТ 27-88)

Для проверки станка в работе берут образец-кольцо наружным диаметром не менее 0,8 диаметра рабочей поверхности стола и внутренним диаметром не более 0,6 диаметра рабочей поверхности стола и высотой не менее 0,25 наибольшей высоты обрабатываемого изделия.

Допускается проверку параллельности обработанной поверхности проводить на шести образцах размерами: диаметр примерно 0,15 диаметра рабочей поверхности стола и высота не менее 0,1 наибольшей высоты обрабатываемого изделия.

Четыре образца (1, 2, 3 и 4) устанавливают на столе по его периферии на равных расстояниях один от другого, образец 5 – возможно ближе к центру, 6 – по диаметру стола, равному 0,5 диаметра стола.

Перед установкой на станок образцы предварительно подвергают чистовой обработке основания и полустиковой обработке других поверхностей, подлежащих обработке на проверяемом станке.



Эск. 1

Материал образцов-изделий – сталь 45 по ГОСТ 1050 твердостью 42 ... 52 HRC.

Точность образцов-изделий:

- плоскостность обработанных поверхностей (выпуклость не допускается);
- параллельность верхней обработанной поверхности его основанию.

Допустимые отклонения	Класс точности	Диаметр стола, мм		
		До 500	Св. 500 до 1000	Св. 1000 до 1600
Плоскостности и параллельности поверхностей, мкм	П	8	10	14
	В	5	6	8
Шероховатость	Класс точности			
	П	В		
Обработанной поверхности образцов-изделий, Ra, мкм, не более		1,0	0,5	

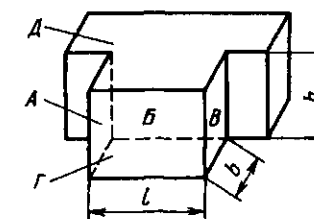
Продолжение табл. 23

Станки профишлифовальные (ГОСТ 9735-87)

Для проверок применяют стальные закаленные образцы-изделия твердостью в пределах 41,5 ... 51,5 HRC, формы и размеры которых даны на эск. 1 – 3.

Перед установкой образцов-изделий на станок проводят чистовое шлифование их базовых поверхностей, служащих для установки и крепления на станке, и предварительное шлифование поверхностей, подлежащих проверке. При этом шероховатость базовых поверхностей должна быть не грубее Ra 1,25; поверхностей, подлежащих последующей чистовой обработке и проверке, должна быть не грубее Ra 2,5.

Форма и размеры образца-изделия для всех станков



Эск. 1

Наибольшая длина обрабатываемой поверхности, мм	Размеры образца-изделия (предельные отклонения ± 5), мм		
	l	b	h
До 160	65	30	40
Св. 160 до 250	100	50	65
» 250 » 400	160	50	65
» 400 » 630	250	50	65

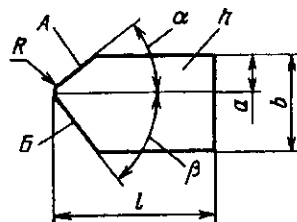
Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольшая длина обрабатываемой поверхности, мм			
		До 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630
От плоскостности обработанной поверхности B, мкм	П	6	8	10	12
	В	4	5	6	8
	А	2,5	–	–	–
Постоянства линейных размеров, мкм	П	10	12	16	20
	В	6	8	10	12
	А	4	–	–	–

Продолжение табл. 23

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольшая длина обрабатываемой поверхности, мм	
		До 160	Св. 160
Перпендикулярности вертикальных поверхностей <i>A</i> , <i>B</i> и <i>B</i> к основанию <i>Г</i> , мкм	П	8	10
	В	5	6
	А	3	—
Перпендикулярности поверхностей <i>A</i> к <i>B</i> и <i>B</i> к <i>B</i> , мкм	П	20°	25**
	В	12°	16**
	А	8°	—

* На длине измерения $b_1 = 25$ мм; ** На длине измерения $b_1 = 45$ мм.

Формы и размеры образца-изделия для станков с ЧПУ



Эск. 2

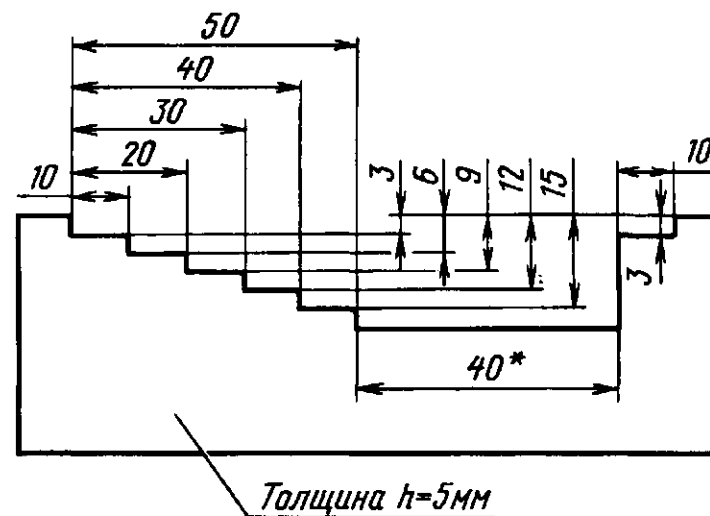
Наибольшая длина обрабатываемой поверхности, мм	<i>l</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>h</i>	<i>R</i>	α	β
	мм						
До 250	100	65	25	5	8	40°	50°
Св. 250 до 630	160	100	35	10			

Допустимое отклонение	Класс точности	
	П	В
Размера <i>R</i> , мкм	15	10
Углов α и β	3'	2'

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольшая длина обрабатываемой поверхности, мм	
		До 250	Св. 250 до 630
От прямолинейности поверхностей <i>A</i> и <i>B</i> , мкм	П	16	25
	В	10	20

Продолжение табл. 23

Формы и размеры образца-изделия для станков с ЧПУ



Толщина $h=5$ мм

* Размер для справок.

Эск. 3

Точность линейных размеров образца-изделия.

Допуски, мкм, всех обозначенных на эск. 3 линейных размеров, должны составлять для станков класса точности:

- П ± 16
- В ± 10
- А ± 6

Неуказанные предельные отклонения размеров: $H14, h14, \pm \frac{t_2}{2}$.

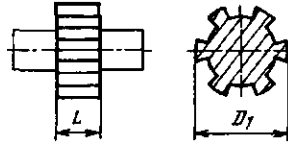
Шероховатость обработанных поверхностей всех образцов-изделий Ra , мкм, не более, для станков класса точности:

- П 0,63
- В 0,40
- А 0,25

Продолжение табл. 23

Станки шлифшлифовальные (ГОСТ 30051-93)

На станке шлифуется образец-изделие: шлицевый валик с размерами в двух вариантах: первый – $D_1 \geq 0,125D$, $L = 8D_1$ и второй – $D_1 \geq 0,25D$, $L \geq 0,1D$, где D – наибольший диаметр устанавливаемого изделия, мм.



Эск. 1

Допустимое отклонение	Наибольший диаметр D устанавливаемого изделия, мм		
	До 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500
Параллельности боковых поверхностей зубьев, мкм	5	6	8
Положения профилей соседних зубьев	20"	16"	12"
Положения профилей зубьев по всей окружности	60"	50"	40"

Шероховатость поверхности зубьев образца шлицевого валика диаметром до 500 мм, обработанного абразивным кругом, не должна превышать $Ra 0,63$.

Станки зубодолбежные вертикальные для цилиндрических колес (ГОСТ 658-89)

На станке нарезают (при чистовом режиме) зуборезным долбяком соответствующего класса точности образец-изделие (прямозубое цилиндрическое колесо) с параметрами, указанными в таблице.

Размеры, мм

Наибольший диаметр D обрабатываемого колеса	Делительный диаметр d образца-изделия, не менее	Модуль m образца-изделия, не менее	Ширина b зубчатого венца образца-изделия	
			$\geq 0,1d$	\leq
До 500	0,5D	0,75 $m_{нб}$	$\geq 0,1d$	≤ 100
Св. 500 до 2000		0,6 $m_{нб}$	$\geq 0,1d$	≤ 160

Примечания: 1. Контроль точности направления зуба допускается проводить на образце-изделии меньшего диаметра, чем указано в таблице. При этом наименьшая ширина зубчатого венца определяется по таблице, где диаметр d образца-изделия соответствует данным таблицы с учетом величины наибольшего диаметра обрабатываемого колеса.

2. Число зубьев образца-изделия должно быть не равно и не кратно числу зубьев делительного колеса станка.

Материал образца-изделия: среднеуглеродистая сталь ($\sigma = 600 \dots 750 \text{ Н/мм}^2$) или серый чугун (170 ... 241 НВ).

Продолжение табл. 23

Измерение точности положения профилей соседних зубьев и профилей зубьев по всей окружности.

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм							
		До 80	Св. 80 до 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
Разности соседних окружных шагов	Н	80	65	50	32	25	20	16	12
	П	50	40	32	20	16	12	10	8
	В	32	25	20	12	10	8	6	5
Накопленной погрешности окружного шага	Н	200	160	125	100	80	65	50	40
	П	125	100	80	65	50	40	32	25
	В	80	65	50	40	32	25	20	16

Примечание. Допускаемые отклонения, приведенные в таблице, заданы в угловых секундах. Для пересчета угловых секунд в микрометры следует пользоваться формулой

$$\Delta = \frac{d\Delta_1}{412,5},$$

где Δ – отклонение, мкм; Δ_1 – отклонение, угловые секунды; d – значение делительного диаметра, мм.

Допустимое отклонение	Класс точности	Ширина зубчатого венца образца-изделия, мм		
		До 40	Св. 40 до 100	Св. 100 до 160
Направления зуба, мкм	Н	12	16	20
	П	10	12	16
	В	8	10	12

Примечания: 1. Отклонение направления зуба определяют как наибольшее расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными делительными линиями зуба, между которыми размещается действительная делительная линия зуба, соответствующая рабочей ширине венца.

2. Под действительной линией зуба понимается линия пересечения действительной боковой поверхности зуба зубчатого колеса делительным цилиндром, ось которого совпадает с рабочей осью.

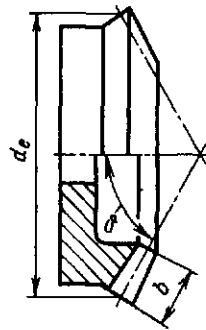
Продолжение табл. 23

Станки зуборезные для конических колес с прямыми зубьями (ГОСТ 9153-83)

На станке нарезают на чистовом режиме образец-изделие в виде конического колеса, материал которого – среднеуглеродистая сталь 170 ... 210 НВ.

Допускается материал образцов-изделий диаметром св. 400 мм – чугун 170 ... 210 НВ.

Число нарезаемых зубьев образца-изделия не должно быть кратным числу зубьев делительного колеса бабки изделия.



$$d_e = (0,5 \dots 0,75) D; b = (0,12 \dots 0,18) d_e;$$

$$m_{te} = (0,6 \dots 0,75) m_{tmax}; \delta = 55 \dots 75^\circ,$$

где D – наибольший диаметр обрабатываемых зубчатых колес; d_e – внешний делительный диаметр; b – ширина зубчатого венца; δ – угол делительного конуса; m_{tmax} – наибольший окружной внешний модуль обрабатываемых зубчатых колес; m_{te} – модуль окружной внешний.

Измерение точности положения профилей соседних зубьев (отклонение шага) и точности положения профилей зубьев на всей окружности (накопленная погрешность шага), шероховатость обработанной поверхности зуба.

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемых зубчатых колес, мм					
		До 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1600
Шага	Н	–	–	–	–	–	25"
	П	1'05"	40"	32"	25"	20"	16"
	В	40"	25"	20"	16"	12"	10"
	А	25"	16"	12"	10"	–	–
Накопленной погрешности шага	Н	–	–	–	–	–	1'05"
	П	2'40"	1'40"	1'20"	1'05"	50"	40"
	В	1'40"	1'05"	50"	40"	32"	25"
	А	1'05"	40"	32"	25"	–	–
Шероховатость обработанной поверхности зуба, мкм, не более	Н	–	–	–	–	–	Rz 20
	П	Ra 2,0	Ra 2,0	Ra 2,0	Ra 2,0	Ra 2,5	Ra 2,5
	В	Ra 1,25	Ra 1,25	Ra 1,25	Ra 1,25	Ra 1,6	Ra 1,6
	А	Ra 1,00	–	–	–	–	–

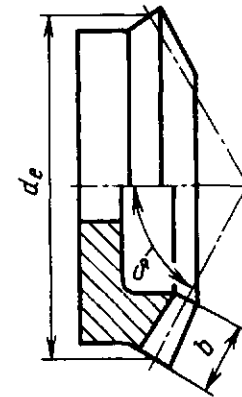
Продолжение табл. 23

Станки зуборезные для конических колес с круговыми зубьями (ГОСТ 9152-83)

На станке нарезают на чистовом режиме образец-изделие в виде конического колеса, материал которого – среднеуглеродистая сталь (170 ... 210 НВ).

Допустимый материал образцов-изделий диаметром св. 400 мм – чугун (170 ... 210 НВ).

Число нарезаемых зубьев образца-изделия не должно быть кратным числу зубьев делительного колеса бабки изделия.



$$d_e = (0,5 \dots 0,75) D; b = (0,12 \dots 0,18) d_e;$$

$$m_n = (0,6 \dots 0,75) m_{nmax}; \delta = 55 \dots 75^\circ;$$

$$\beta_n = 35^\circ,$$

где D – наибольший диаметр обрабатываемых зубчатых колес; d_e – внешний делительный диаметр; b – ширина зубчатого венца; δ – угол делительного конуса; β_n – угол наклона средней линии зуба; m_{nmax} – наибольший нормальный средний модуль обрабатываемых зубчатых колес; m_n – модуль нормальный средний.

Измерение точности положения профилей соседних зубьев и точности положения профилей зубьев на всей окружности, шероховатость обработанной поверхности зуба.

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемых зубчатых колес, мм					
		До 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1600
Шага	Н	–	–	–	–	–	25"
	П	1'05"	40"	32"	25"	20"	16"
	В	40"	25"	20"	16"	12"	10"
	А	25"	–	–	–	–	–
Накопленной погрешности шага	Н	–	–	–	–	–	1'05"
	П	2'40"	1'40"	1'20"	1'05"	50"	40"
	В	1'40"	1'05"	50"	40"	32"	25"
	А	1'05"	–	–	–	–	–
Шероховатость обработанной поверхности зуба, мкм, не более	Н	–	–	–	–	–	Rz 20
	П	Ra 2,0	Ra 2,0	Ra 2,0	Ra 2,0	Ra 2,5	Ra 2,5
	В	Ra 1,25	Ra 1,25	Ra 1,25	Ra 1,25	Ra 1,6	Ra 1,6
	А	Ra 1,00	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 23

Станки зубошлифовальные для конических колес (ГОСТ 13142-90)

На станке шлифуют на чистовых режимах боковые поверхности зубьев образца – стального конического колеса. Твердость шлифуемых поверхностей 47 ... 61 HRC.

Размеры образца-изделия:

$$d_{ae} = (0,5 \dots 0,75) D; \quad b = (0,12 \dots 0,18) d_{ae};$$

$$m_n = (0,6 \dots 0,75) m_{nmax}; \quad \delta = 55 \dots 75^\circ; \quad \beta_n = 35^\circ$$

(для конических колес с круговыми зубьями),

где D – наибольший диаметр обрабатываемых зубчатых колес; d_{ae} – внешний делительный диаметр; m_n – наибольший средний нормальный модуль; m_{nmax} – наибольший нормальный средний модуль обрабатываемых на станке зубчатых колес; b – наибольшая ширина зубчатого венца; δ – наименьший угол делительного конуса; β_n – средний угол наклона линии зуба.

Число зубьев образца-изделия не должно быть кратным передаточному числу делительной передачи бабки изделия.

Измерение точности положения профилей соседних зубьев, точности положений профилей зубьев на всей окружности и шероховатость обработанной поверхности.

Допустимое отклонение	Класс точности	Наибольший диаметр обрабатываемого колеса, мм				
		До 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320 до 500	Св. 500 до 800
Разности соседних окружных шагов	В	32"	24"	18"	14"	10"
	А	20"	16"	12"	8"	6"
Накопленной погрешности окружного шага	В	80"	60"	45"	34"	25"
	А	50"	36"	28"	20"	16"
Шероховатость обработанной поверхности	Наибольшее значение при наибольшем диаметре обрабатываемого зубчатого колеса до 800 мм для станков класса точности В – $Ra 1,0$, класса точности А – $Ra 0,63$.					

Продолжение табл. 23

Станки резбошлифовальные (ГОСТ 8716-81 в ред. 1987 г.)

1. Измерение точности наружной цилиндрической резьбы, шлифованной на образец-изделии. Для этого шлифуют образец-изделие из инструментальной стали диаметром от 40 до 80 мм для станков с наибольшим диаметром заготовки до 320 мм вкл. и диаметром от 80 до 100 мм для станков с наибольшим диаметром заготовки св. 320 мм.

Образец-изделие должен быть шлифован по наружному диаметру и иметь предварительно нарезанную однозаходную резьбу. Шаг резьбы равен 5 мм, угол профиля 60° , длина нарезанной части должна быть равна наибольшей длине резьбы, шлифуемой на проверяемом станке.

Допустимое отклонение резьбы	Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм			
	До 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 320	Св. 320
По шагу, мкм, на длине, мм:				
25	2	3	4	5
200	4	5	6	8
400	–	8	9	10
1000	–	–	14	16
2000	–	–	20	20
По подъему винтовой линии (периодическая ошибка шага), мкм	2	3	4	5
По среднему диаметру: в продольном сечении, мкм	5 на всей длине образца	6	8 на длине 500 мм на любом участке длины образца	8
в поперечном сечении, мкм	3	4	5	5
по половине угла профиля	5'			
Шероховатость шлифованной поверхности резьбы	Не грубее $Ra 0,63$			

2. Измерение точности элементов образца типа резьбовой фрезы с затылованной резьбой (только для станков с механизмом затылования). Шлифуют образец-изделие типа резьбовой фрезы с 8 канавками, диаметром от 63 до 100 мм, шагом 5 мм и длиной нарезанной части от 40 до 50 мм. Спад затылка 2 мм.

Допустимое отклонение	Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки, мм	
	До 125	Св. 125 до 320
Осевого шага кольцевых канавок, мкм	10	10
Деления от зуба к зубу по окружности фрезы, мкм	± 5	± 10
Равномерности затылования отдельных зубьев, мкм	± 10	± 15
Шероховатость затылованной поверхности	Не грубее $Ra 0,63$	Не грубее $Ra 0,63$

Продолжение табл. 23

3. Измерение прямолинейности образующей среднего конуса конической резьбы (для станков с механизмом конусного шлифования).

Шлифуют образец-изделие из инструментальной стали диаметром от 20 до 60 мм и длиной от 30 до 50 мм с гладкой прошлифованной конусной (1 : 16) поверхностью и нарезанной резьбой с шагом до 3 мм.

Допуск для всех значений наибольшего диаметра устанавливаемой заготовки . . . 8 мкм.

4. Измерение точности осевого шага между соседними профилями прошлифованной многозаходной резьбы (только для станков со встроенным автоматическим устройством).

Образец-изделие из инструментальной стали диаметром 50 мм должен быть прошлифован по наружному диаметру и иметь предварительно нарезанную четырехзаходную резьбу. Шаг резьбы равен 5 мм, ход – 20 мм, угол профиля 60°, длина нарезанной части – 50 мм.

Допуск для всех значений наибольшего диаметра устанавливаемой заготовки . . . ± 8 мкм.

Станки зубошевнговальные (ГОСТ 13281–93)

На станке шевингуют образец-изделие – цилиндрическое прямозубое колесо из среднеуглеродистой стали с параметрами:

$$D_{\text{обр}} = (0,5 \dots 1,0) D; m \approx 0,75 m_{\text{наиб}}; \text{твердость} - 200 \text{ НВ},$$

где D – наибольший диаметр зубчатого колеса; $m_{\text{наиб}}$ – наибольший модуль зубчатого колеса;

$D_{\text{обр}}$ и m – соответственно диаметр и модуль зубчатого венца образца-изделия.

После обработки шевером класса АА по ГОСТ 8570 или ГОСТ 10222 образец проверяют при помощи универсальных измерительных средств.

Число зубьев шевера не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Точность положения профилей соседних зубьев

При наибольшем диаметре обрабатываемого зубчатого колеса до 1250 мм отклонение должно быть на 30 % меньше, чем до шевингования образца.

Шероховатость обработанной поверхности зуба

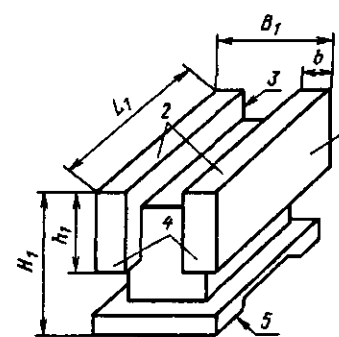
Параметр шероховатости Ra при наибольшем диаметре обрабатываемого зубчатого колеса до 1250 мм должен быть на одно числовое значение выше, чем до шевингования образца и не должен превышать 0,63 мкм.

Продолжение табл. 23

Станки фрезерные консольные (ГОСТ 17734–88)

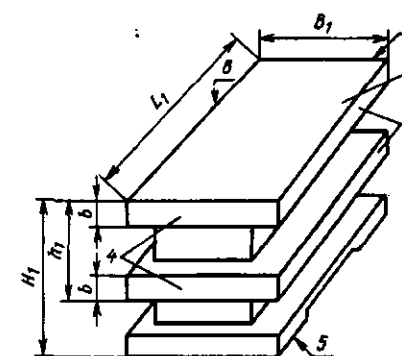
1. Образцы-изделия изготовляют из чугуна с временным сопротивлением разрыву σ_b от 200 до 250 Н/мм² или стали с σ_b от 350 до 450 Н/мм².

Образец-изделие для станков с горизонтальным фрезерным шпинделем



Эск. 1

Образец-изделие для станков с вертикальным фрезерным шпинделем



Эск. 2

$$L_1 \geq 0,5 L_{\text{max}}, \text{ но не более } 450 \text{ мм};$$

$$B_1 \geq 0,5 B_{\text{max}}, \text{ но не более } 160 \text{ мм};$$

$$h_1 \geq 0,5 H_{\text{max}}, \text{ но не более } 120 \text{ мм};$$

$$b \geq 16 \text{ мм}; H_1 = h_1 + (60 \dots 80) \text{ мм},$$

где L_{max} – наибольшее продольное перемещение стола; B_{max} – наибольшее поперечное перемещение стола; H_{max} – наибольшее расстояние от торцевой поверхности фрезерного шпинделя до стола станка (у станков с вертикальным шпинделем), либо от оси фрезерного шпинделя до стола станка (у станков с горизонтальным шпинделем).

Поверхности 1 должны быть обработаны за два прохода с перекрытием 10 – 15 мм.

Продолжение табл. 23

Допустимое отклонение, мкм						
Отклонение	Класс точности	Длина измерения, мм				
		До 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400
От прямолинейности поверхностей 1 и 2	Н	12	16	20	25	30
	П	8	10	12	16	20
От параллельности поверхностей 2 и 5 (см. эск. 1) и поверхностей 1 и 5 (см. эск. 2) в продольном и поперечном сечениях	Н	12	16	20	25	30
	П	8	10	12	16	20
От перпендикулярности поверхности 1 к 2 и 4, поверхности 2 к 3 и 4	На расстоянии измерения 100 мм для станков класса точности: Н – 20 мкм; П – 12 мкм					

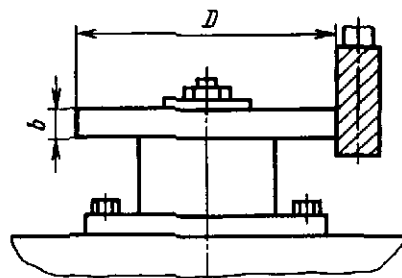
Примечание. Измерения прямолинейности поверхности 1 проводят в продольном и поперечном сечениях, поверхности 2 – в продольном.

Расстояние между точками измерения $t \approx 0,1L_1$, но не менее 80 мм; $b \approx 0,33B_1$. За длину измерения для прямоугольных образцов-изделий принимают длину наибольшей стороны.

2. Для проверки точности станка при контурном фрезеровании используют образец-изделие (эск. 3) в виде диска диаметром D и толщиной $b = (0,05 \dots 0,1)D$. Материал: алюминиевый сплав, серый чугун или сталь. Образец предварительно обработан.

Образец закрепляют в средней части стола и обрабатывают цилиндрическую поверхность на чистовых режимах резания при помощи концевых фрез.

Допускается оценивать точность формы постоянством диаметра. В этом случае допуск увеличивают в два раза по сравнению с указанными в таблице.



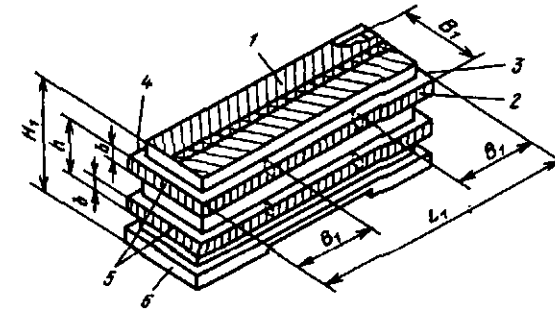
Эск. 3

Допустимое отклонение	Класс точности	Ширина стола, мм	
		До 200	Св. 200
		Диаметр образца-изделия D , не менее, мм	
От круглости, мкм	Н	80	100
	П	50	65

Продолжение табл. 23

Станки фрезерные вертикальные с крестовым столом (ГОСТ 9726–89)

Образец-изделие (эск. 1) обрабатывают на станках с ручным и числовым программным управлением.



Эск. 1

Размеры чугунного образца-изделия принимают равными $B_1 \geq 0,5B$, но не более 250 мм; $L_1 \geq 0,5L$, но не более 1000 мм; $h \geq 0,3H$, но не более 120 мм; $H_1 = h + (50 \dots 80 \text{ мм})$, $b = 16 \text{ мм}$.

Допускаемые отклонения размеров от номинального значения $\pm 10\%$.

B, L, H – соответственно ширина рабочей поверхности стола, продольный ход стола и наибольшее расстояние от рабочей поверхности стола до торца шпинделя.

Поверхности 2 и 4 образца могут быть прерывистыми.

Обработку поверхности 1 проводят торцовыми фрезами, не менее чем за два прохода с перекрытием не более 10 мм.

При обработке вертикальных поверхностей каждую полосу обрабатывают отдельно с перестановкой шпиндельной бабки по вертикали.

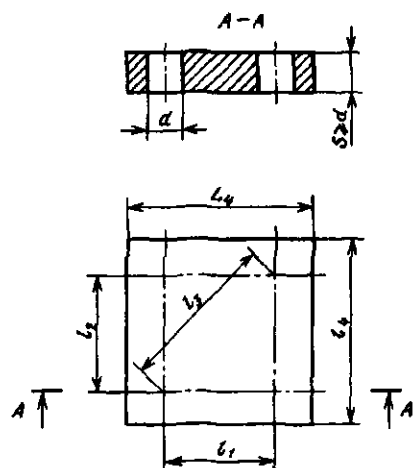
Допустимое отклонение, мкм

Отклонение	Класс точности	Длина измерения, мм					
		До 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000
От прямолинейности поверхностей 1, 2 и 4	Н	8	10	12	16	20	25
	П	5	6	8	10	12	16
От параллельности поверхности 1 относительно 6 и поверхности 4 относительно 2	Н	10	12	16	20	25	30
	П	6	8	10	12	16	20
От перпендикулярности поверхности 1 к 3, 4 и 5, поверхностей 3 к 4 и 4 к 5	На длине измерения 100 мм для станков класса точности: Н – 16 мкм; П – 10 мкм						

Примечание. Допуск на отклонение от взаимной параллельности поверхностей 4 и 2 принимают с уменьшением в 1,26 раза от значений, указанных в таблице.

Продолжение табл. 23

Образец-изделие (эск. 2) для измерения точности межосевых расстояний отверстий (для станков с числовым программным управлением, за исключением копировальных станков) изготавливают в виде пластины прямоугольной формы. Материал: серый чугун или сталь.



Эск. 2

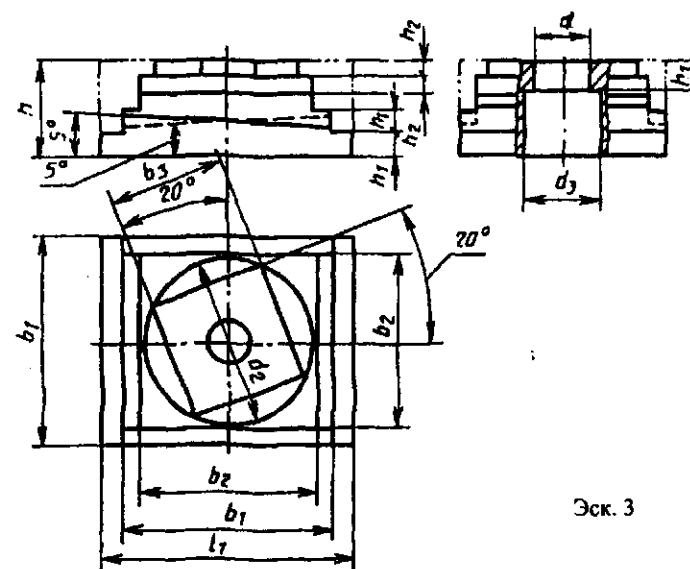
Размеры, мм

Ширина стола	l_1	l_2	l_3	l_4	d
До 400	80	84	116	145	20 ... 30
Св. 400 до 1000	100	105	145	175	30 ... 40

Допускаемое отклонение	Класс точности	Межосевое расстояние, мм	
		До 125	Св. 125 до 200
Межосевых расстояний, мкм	Н	50	65
	П	30	40

Образец-изделие (эск. 3) для измерения точности обработки на станках, оснащенных устройством контурного числового программного управления (за исключением копировальных станков) изготавливается из чугуна, стали или алюминиевого сплава.

Продолжение табл. 23



Эск. 3

Размеры, мм

Ширина стола	b_1	$b_2 = d_2$	b_3	l_1	h	h_1	h_2	d	d_2
До 400	140	110	78	180	100	25	15	65	70
Св. 400 до 1000	260	220	155	320	120	30	20	100	100
Допускаемые отклонения размеров от номинального значения $\pm 15\%$.									

- Примечания: 1. Отверстие d_3 должно быть предварительно выполнено в заготовке.
 2. Для станков, не имеющих по оси Z перемещений в следящем режиме, поверхность под углом 5° не обрабатывается.
 3. Допускается выполнение на образце-изделии крепежных отверстий (пазов).

Обработку образца-изделия проводят по контрольной программе в следующем порядке:
 черновое фрезерование до получения окончательной формы образца-изделия с припуском на чистовую обработку;
 сверление, рассверливание и предварительное растачивание (расфрезеровка) отверстия d ;
 чистовое растачивание отверстия d ;
 чистовое фрезерование торцовой поверхности повернутого под углом 20° параллелепипеда в три прохода с обеспечением ширины фрезерования (полос) примерно равной $0,3$ стороны торцовой поверхности;
 чистовое фрезерование: боковых поверхностей повернутого параллелепипеда;
 наружной цилиндрической поверхности диаметром d_2 ;
 чистовое фрезерование двух боковых поверхностей параллелепипеда со стороны b_2 и поверхностей: параллельных основанию образца-изделия;
 наклонных под углом 5° к основанию образца-изделия.

Продолжение табл. 23

Допускаемое отклонение, мкм			
Отклонение	Класс точности	Ширина стола, мм	
		До 400	Св. 400 до 1000
От круглости отверстия	Н	16	20
	П	10	12
Постоянства диаметра отверстия	Н	25	30
	П	16	20
От прямолинейности боковых поверхностей повернутого параллелепипеда	Н	25	30
	П	16	20
От перпендикулярности боковых поверхностей повернутого параллелепипеда	Н	40	50
	П	25	30
Положения наклонной под углом 5° поверхности	Н	40	50
	П	25	30
От круглости наружной цилиндрической поверхности	Н	50	65
	П	30	40

Станки продольно-фрезерные (ГОСТ 18101-85 в ред. 1990 г.)

1. Образец-изделие (эск. 1) для измерения точности формы и взаимного расположения поверхностей, обработанных фрезерованием, изготавливают из серого чугуна.

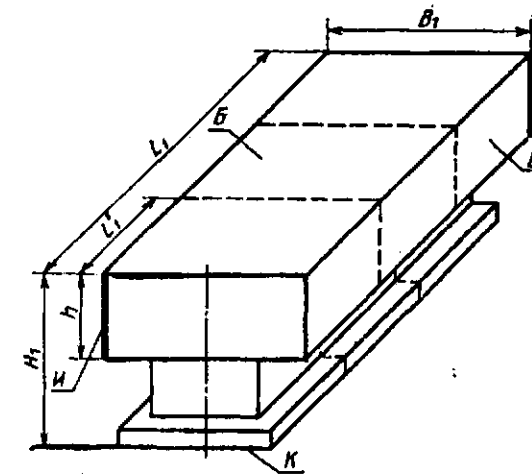
При использовании образца-изделия с $B_1 \geq 1250$ мм допускается в центре поверхности образца B делать выборку. В этом случае ширина обрабатываемых полок должна составлять $(0,15 \dots 0,30) B_1$.

При ширине стола до 1250 мм у станков, имеющих правую и левую горизонтальные бабки, проводят одновременную обработку поверхностей E и I , ползун при этом выдвинут не более чем на половину длины хода.

На станках с вертикальными и горизонтальными бабками фрезерование проводят при их последовательном применении. Допускается одновременная обработка двух или трех поверхностей.

Окончательную обработку поверхностей B , E и I проводят на чистовых режимах резания торцовыми фрезами не менее чем за два прохода с перекрытием, примерно равным 5 ... 10 мм.

Продолжение табл. 23



Эск. 1

Размеры чугунного образца-изделия принимают равными: $B_1 = (0,3 \dots 0,5) B$; $L_1 = (0,6 \dots 0,8) L$; $H_1 = (0,3 \dots 0,5) H$, но не более 1000 мм; $L'_1 \geq 0,1 L_1 \geq 1000$ мм; $h = (0,4 \dots 0,5) H_1$; где B , L и H – соответственно ширина и длина рабочей поверхности стола, наибольшее расстояние от рабочей поверхности стола до торца шпинделя вертикальной бабки.

Допускаемое отклонение, мкм

Отклонение	Класс точности	Длина измерения, мм						
		До 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500
Прямолинейности поверхностей B , E и I	Н	6	8	10	12	16	20	25
	П	4	5	6	8	10	12	16
Параллельности поверхности B основанию K и боковых поверхностей E и I	Н	8	10	12	16	25	30	40
	П	5	6	8	10	16	20	25

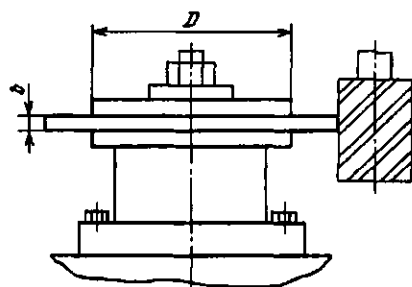
Отклонение	Класс точности	Длина измерения, мм					
		Св. 2500 до 4000	Св. 4000 до 6300	Св. 6300 до 8000	Св. 8000 до 10000	Св. 10000 до 16000	Св. 16000 до 25000
Прямолинейности поверхностей B , E и I	Н	30	30	40	50	60	80
	П	20	25	30	40	–	–
Параллельности поверхности B основанию K и боковых поверхностей E и I	Н	50	60	70	80	120	160
	П	30	40	50	60	80	100

Примечание. Для станков с подвижной поперечиной допустимое отклонение увеличивают в 1,25 раза.

Продолжение табл. 23

Допустимое отклонение	Класс точности	Размер короткой поверхности образца-изделия, мм				
		До 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400
		Расстояние измерения L , мм				
		100	100	200	300	500
От перпендикулярности поверхностей E и H к поверхности B , мкм	Н	12	16	20	30	40
	П	8	10	12	20	25

2. Образец-изделие (эск. 2) для измерения круглости наружной цилиндрической поверхности при контурном фрезеровании партии образцов-изделий (для станков с числовым программным управлением) в виде диска диаметром D и шириной обрабатываемой части b . Материал: алюминиевый сплав, допускается серый чугун или сталь. Размер партии – три образца.

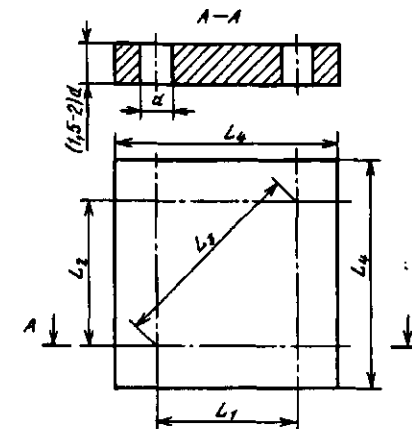


Эск. 2

Допустимое отклонение	Класс точности	Ширина стола, мм		
		До 630	Св. 630 до 1600	Св. 1600 до 6300
		Ширина образца, мм		
		6	8	10
От круглости, мкм	Н	50	60	80
	П	30	40	50

Продолжение табл. 23

3. Образец-изделие (эск. 3) для измерения точности межосевых расстояний отверстий (для продольных фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением) в виде пластины прямоугольной формы. Материал: серый чугун или сталь.



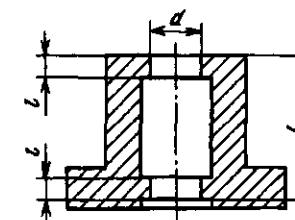
Эск. 3

Размеры, мм

Ширина стола	L_1	L_2	L_3	L_4	d
До 630	80	84	116	145	10 ... 16
Св. 630 » 1600	100	105	145	175	15 ... 25
» 1600 » 6300	200	210	290	350	25 ... 40

Допустимое отклонение	Класс точности	Межосевое расстояние, мм		
		До 125	Св. 125 до 200	Св. 200 до 300
Межосевых расстояний отверстий, мкм	Н	65	80	100
	П	40	50	65

4. Образец-изделие (эск. 4) для измерения точности геометрической формы отверстия, расточенного на станке (для продольных фрезерно-расточных станков) из серого чугуна или стали.



Эск. 4

Применяют образец-изделие диаметром $d = (0,08 \dots 0,16) B$, но не более 200 мм, длиной $L = (1,2 \dots 1,5) d$ и шириной поясков $l = (0,2 \dots 0,3) d$.

Продолжение табл. 23

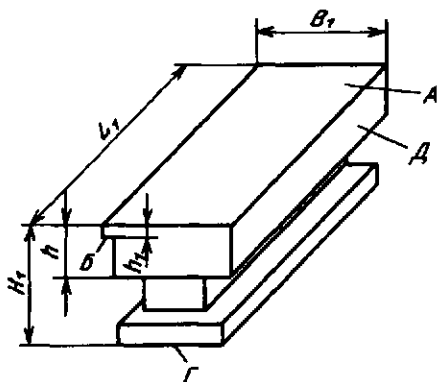
Допустимое отклонение	Класс точности	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	
		До 120	Св. 120 до 200
От круглости, мкм	Н	12	16
	П	8	10
Профиля продольного сечения, мкм	Н	20	30
	П	16	20

Станки продольно-строгальные (ГОСТ 35–85)

Проверка точности станка проводится при обработке чугунного образца-изделия.

Поверхность *Г* образца-изделия должна быть обработана окончательно, поверхности *А*, *Б*, *Д*, подлежащие обработке, – предварительно.

Образец для обработки поверхностей *А* и *Б* укрепляют в средней части стола в продольном направлении. Обработку этих поверхностей осуществляют одним суппортом, установленном на поперечине. Обработку поверхности *Д* производят боковым суппортом.



Размеры чугунного образца-изделия принимают равными:

$$B_1 \geq 0,3 B; L_1 \geq 0,6 L; H_1 \geq 0,3 H, \text{ но не более } 600 \text{ мм}; h \geq 0,45 H_1; h_1 \geq 0,15 h,$$

где *B*, *H*, *L* – соответственно, наибольшая ширина и высота обрабатываемого изделия и длина стола.

Продолжение табл. 23

Допустимое отклонение	Класс точности	Длина измерения, мм				
		До 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600	Св. 1600 до 2500
От прямолинейности поверхностей <i>А</i> , <i>Б</i> и <i>Д</i> , мкм	Н	12	16	16	25	30
	П	8	10	12	16	20
От параллельности верхней поверхности <i>А</i> к основанию, мкм	Н	16	20	25	30	30
	П	10	12	16	20	25

Допустимое отклонение	Класс точности	Длина измерения, мм				
		Св. 2500 до 4000	Св. 4000 до 6300	Св. 6300 до 8000	Св. 8000 до 10000	Св. 10000 до 16000
От прямолинейности поверхностей <i>А</i> , <i>Б</i> и <i>Д</i> , мкм	Н	40	50	60	70	80
	П	25	30	40	50	60
От параллельности верхней поверхности <i>А</i> к основанию, мкм	Н	40	40	50	50	80
	П	25	30	40	45	60

Допустимое отклонение	Класс точности	Размер образца-изделия <i>h</i> , мм			
		До 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400
		Расстояние измерения, мм			
		100	100	200	300
		Длина поворотной поверочной линейки, мм			
		120	160	250	400
		Минимальная длина прикладываемой поверхности длинного плеча углового держателя, мм			
		200	300	400	630

От перпендикулярности боковой поверхности <i>Д</i> к верхней поверхности <i>А</i> , мкм	Н	12	16	20	30
	П	8	10	12	20

Продолжение табл. 23

Станки долбежные (ГОСТ 26–75)

Проверка точности станка проводится при обработке образца-изделия из чугуна или стали высотой не менее 0,6 наибольшей длины перемещения долбяка и с размерами обрабатываемой части образца не менее указанных в таблице.

Станки с длиной перемещения долбяка, мм	Размеры обрабатываемой части образца, мм, не менее
До 200	50 × 50
Св. 200 » 500	150 × 150
» 500 » 800	300 × 300
» 800	500 × 500

Перед установкой образца на станке предварительно производят чистовую обработку его основания и получистовую боковых поверхностей (предварительная обработка может быть произведена на этом же станке).

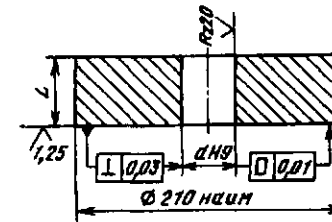
Окончательную обработку образца производят последовательно с одного установа.

Допустимое отклонение	Длина перемещения долбяка, мм			
	До 200	Св. 200 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800
От плоскостности обработанных поверхностей образца, мкм	16	25	30	50
От перпендикулярности боковой поверхности образца основанию, мкм	16	25	30	50
От перпендикулярности боковых поверхностей образца между собой, мкм	16	25	30	50

Продолжение табл. 23

Полуавтоматы протяжные горизонтальные (ГОСТ 16015–91)

Проверка точности станка в работе проводится при обработке образца-изделия из стали с σ_s не ниже 450 ... 550 МПа или чугуна.



$$\frac{L}{d} > 1,5; \quad d \geq 0,5d_{\text{наиб}},$$

где $d_{\text{наиб}}$ – наибольший диаметр обрабатываемого отверстия на полуавтомате

Допустимое торцовое биение опорной поверхности образца-изделия относительно оси протянутого отверстия на диаметре 200 мм – 60 мкм.

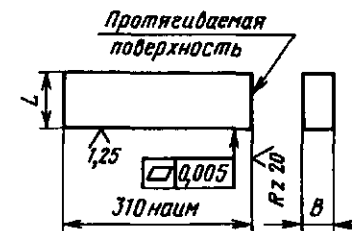
Полуавтоматы протяжные вертикальные (ГОСТ 16025–91)

Проверка точности полуавтоматов проводится при обработке образцов-изделий из стали с σ_s не ниже 450 ... 550 МПа или чугуна, подготовленных под обработку в соответствии с требованиями, показанными на эскизах образцов-изделий.

Полуавтоматы для внутреннего протягивания (см. эскиз выше)

Допустимое торцовое биение опорной поверхности образца-изделия относительно оси протянутого отверстия на диаметре 200 мм – 50 мкм.

Полуавтоматы для наружного протягивания



$$\frac{L}{B} > 1,5; \quad P_z > 0,3P_{\text{ном}},$$

где P_z – сила резания на участке работы черновых зубьев протяжки; $P_{\text{ном}}$ – номинальное тяговое усилие полуавтомата

Допустимое отклонение перпендикулярности протянутой поверхности к опорной поверхности образца-изделия на длине 300 мм – 40 мкм.

Погрешность наладки (настройки) технологической системы на размер. Под наладкой (ГОСТ 3.1109-82) технологической системы понимается приведение ее в рабочее состояние, пригодное для использования при выполнении технологической операции, процесса.

Наладка в общем случае включает согласованную установку режущего инструмента, рабочих органов станка, приспособления в положение, которое с учетом явлений, происходящих при обработке, обеспечивает получение заданного размера с установленным допуском на изготовление. Эти элементы наладки часто называют настройкой (регулированием) технологической системы, станка на размер; кроме этих элементов в наладку входит установка заданного режима обработки путем смены шестерен, установка в необходимое положение органов управления частотой вращения шпинделя и движением подачи (настройка кинематики), установка инструмента в инструментальные магазины и револьверные головки станков, введение управляющей программы в устройство ЧПУ станка.

Взаимное положение элементов технологической системы определяется "установочным размером". При каждом регулировании системы или смене инструмента невозможно обеспечить одно и то же его положение. Поле рассеяния положений инструмента при наладке называют погрешностью наладки станка на размер и обозначают Δ_n . Ориентировочно погрешность Δ_n можно принять равной разности между предельными значениями установочного размера. При расчете погрешность наладки можно принимать по табл. 24. Точное значение Δ_n определяется расчетом.

В общем случае Δ_n зависит от погрешности регулирования Δ_p положения инструмента (по лимбу, эталону, жесткому упору и т.п.) и погрешности измерения размера детали $\Delta_{изм}$.

Для поверхностей вращения с учетом того, что Δ_n и Δ_p относятся к радиусу, $\Delta_{изм}$ — к диаметру, получим

$$\Delta_n = \sqrt{(K_p \Delta_p)^2 + \left(K_n \frac{\Delta_{изм}}{2}\right)^2};$$

24. Средние допустимые погрешности наладки (мкм) для лезвийных инструментов

Выдерживаемые размеры, мм	Обработка			
	черновая ¹	чистовая	тонкая	однократная
До 30	40-100	10	5	20
Св. 30 до 80	60-150	20	6	25
» 80 » 180	80-200	30	7	30
» 180 » 360	100-250	40	8	40
» 360 » 500	120-300	50	10	50

¹ Меньшие значения принимают при обработке точных заготовок (12-14-го качества); большие значения — при обработке грубых заготовок (15-го качества и грубее).

для плоских поверхностей

$$\Delta_n = \sqrt{(K_p \Delta_p)^2 + (K_n \Delta_{изм})^2}.$$

Коэффициенты $K_p = 1,14 \dots 1,73$ и $K_n = 1$ учитывают отклонение закона распределения элементарных величин Δ_p и $\Delta_{изм}$ от нормального закона распределения. Слагаемые погрешности Δ_n определяют по формулам и данным, приведенным в табл. 25 и 26.

В тех случаях, когда применяют осевые инструменты (сверла, зенкеры, развертки, протяжки, пазовые фрезы), погрешности наладки зависят от действительных размеров устанавливаемых инструментов и определяются допусками на изготовление инструментов. Колебания размеров инструментов при каждой их смене влияют на точность обработки аналогично влиянию погрешности Δ_n наладки станка на выдерживаемый размер.

Погрешность измерения (ГОСТ 16263-70) — отклонение результата измерений (значения, найденного измерением) от истинного значения. Установленные ГОСТ 8.051-81 (табл. 27) пределы допустимых погрешностей измерения являются наибольшими допустимыми погрешностями измерения (без учета знака); они включают случайные и неучтенные систематические погрешности измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т.д.

25. Основные формулы для расчета погрешности Δ_p

Метод работы	Установка реза на размер	Суммирование по максимуму-минимуму	Вероятностное суммирование
По лимбу станка	По пробной проточке	$\Delta_p = \Delta_n$	$\Delta_p = \Delta_n$
По упору	По лимбу	$\Delta_p = \Delta_n + \Delta_y$	$\Delta_p = \sqrt{(K_n \Delta_n)^2 + (K_y \Delta_y)^2}$
	По эталону и шупу	$\Delta_p = \Delta_z + \Delta_y$	$\Delta_p = \sqrt{(K_z \Delta_z)^2 + (K_y \Delta_y)^2}$

Примечания: 1. Погрешность установки инструмента: Δ_n — по лимбу; Δ_y — по упору; Δ_z — по эталону и шупу.

2. Значения коэффициентов при расчетах можно принимать: $K_n = 1$; $K_y = K_z = 1,14 \dots 1,73$.

26. Погрешность регулирования (установки) реза при наладке на размер в поперечном направлении

Метод регулирования положения реза	Δ_p , мкм
По лимбу с ценой деления, мм:	
0,01	5-10
0,02	10-15
0,03	10-30
0,05	15-30
0,1-0,5	30-70
По индикаторному упору с ценой деления прибора, мм:	
0,01	10-15
0,002	3-5
0,001	1-2
По жесткому упору	20-50 (может быть в пределах 10-130)
По эталону:	
резец закрепляют винтами резцедержателя после касания его с эталоном	100-130
резец, закрепленный в резцедержателе, подводят к эталону винтом поперечной подачи	20-30
то же, но с контролем положения реза с помощью бумажного шупа	10-20
то же, но с контролем положения реза с помощью металлического шупа	7-10

Продолжение табл. 26

Метод регулирования положения реза	Δ_p , мкм
Установка взаимозаменяемого режущего инструмента со смежной:	
реза, установленного на размер вне станка с помощью индикатора или миниметра	20-30
блока с резами, установленными на размер вне станка	10-50
режущей пластинки (или путем поворота круглой пластинки)	25

Примечания: 1. Погрешность установки эталона не должна превышать 10-20 мкм.
2. Для диаметральных размеров учитывают удвоенную погрешность ($2\Delta_p$).

Допустимые погрешности измерения δ составляют от 20 (для грубых качеств) до 35% допуска на изготовление изделия.

Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 нормируемого предела допустимой погрешности измерения. В соответствии с рекомендацией ИСО случайная погрешность измерения принята с доверительной вероятностью 0,954, т.е. равной $\pm 2\delta$.

Влияние погрешности измерения может привести к тому, что часть проверенных изделий будет отнесена к годным, хотя истинные значения их размеров находятся за пределами поля допуска (неправильно приняты), а часть

27. Допустимые погрешности измерения δ (мкм) линейных размеров (диаметров, длин) в зависимости от допусков и качеств точности размеров (ГОСТ 8.051–81)

Качества	Погрешности	Номинальные размеры, мм													
		Св. 1 до 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
2	IT	1,2	1,5	1,5	2,0	2,5	2,5	3,0	4,0	5,0	7,0	8,0	9,0	10,0	
	δ	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8	1,0	1,4	1,7	2,4	2,8	3,0	3,5	
3	IT	2,0	2,5	2,5	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	13,0	15,0	
	δ	0,7	0,8	0,8	1,0	1,4	1,4	1,7	2,0	2,8	3,5	4,0	4,5	5,0	
4	IT	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
	δ	1	1,4	1,4	1,7	2,0	2,4	2,8	3,5	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0	
5	IT	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27	
	δ	1,4	1,4	2,0	2,8	3,0	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0	
6	IT	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40	
	δ	1,8	2,5	2,5	3,0	4,0	4,5	5,5	6,0	7,0	9,0	10,0	10,0	12,0	
7	IT	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63	
	δ	3,0	3,5	4,5	5,5	6,0	7,0	9	10,0	12,0	13,0	15,0	17,0	19,0	
8	IT	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97	
	δ	3,5	4,5	5,5	7,0	8,0	10,0	12,0	13,0	16,0	18,0	20,0	20,0	25,0	
9	IT	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155	
	δ	6	7	9	10	13	15	18	20	25	25	30	35	35	
10	IT	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250	
	δ	8	10	12	14	15	20	20	25	30	35	40	45	50	
11	IT	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400	
	δ	12	15	18	20	25	30	40	40	50	60	60	70	80	
12	IT	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630	
	δ	20	20	30	35	40	50	60	70	80	90	100	100	120	
13	IT	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970	
	δ	30	35	40	50	70	80	90	100	120	140	150	170	200	
14	IT	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550	
	δ	50	60	70	80	100	120	150	170	200	200	250	250	300	
15	IT	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500	
	δ	80	100	100	150	150	200	250	250	300	350	450	450	500	
16	IT	700	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000	
	δ	120	150	200	200	250	300	400	400	500	600	600	700	800	

Примечания: 1. Допустимая погрешность измерения включает случайные и неучтенные систематические погрешности измерения и является наибольшей допустимой погрешностью измерения, учитывающей влияние погрешности измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т.д. Случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 δ и принимается с доверительной вероятностью 0,954 ($\pm 2\sigma$).

2. При допусках на изготовление, не соответствующих значениям, указанным в таблице, δ выбирают по ближайшему меньшему значению допуска для соответствующего номинального размера.

3. Приемочные границы устанавливают совпадающими с предельными отклонениями проверяемого размера. Допускается границы устанавливать смещенными от предельных отклонений размера (уменьшения допуска), т.е. вводить производственный допуск.

годных изделий будет забракована (неправильно забракованные). Поэтому значения размеров, по которым проводят приемку изделий – приемочные границы – устанавливают совпадающими с предельными отклонениями проверяемого размера (предпочтительный способ) или смещенными от предельных отклонений размера (уменьшения допуска), т.е. вводят производственный допуск.

В первом случае учитывают, что конструкторский допуск T_k охватывает предельные допустимые погрешности изготовления $\Delta_{изг}$ (включая и погрешность измерения) и прочие допустимые погрешности

$$T_k = \Delta_{изг} + \Delta_{пр},$$

где $\Delta_{пр}$ – прочие погрешности (изменение размеров под влиянием силовых, температурных деформаций, старения и других погрешностей, возникающих в работающем механизме или при его хранении).

Введение производственного допуска оговаривается в технических требованиях на изделие. Смещение предельного отклонения размера не должно превышать половины нормируемого предела допустимой погрешности измерения. При неизвестной точности технологического процесса смещение принимают равным половине предела допустимой погрешности измерения.

Требования к нормальным условиям выполнения, измерения линейных размеров в пределах 1 – 500 мм и измерений углов с длинной меньшей стороны до 500 мм установлены ГОСТ 8.050. Приняты следующие нормальные значения основных влияющих величин: температура окружающей среды 20 °С; атмосферное давление 101324,72 Па (720 мм рт. ст.); относительная влажность окружающего воздуха 58 % (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па); ускорение свободного падения 9,8 м/с; направление измерения линейных размеров у наружных поверхностей – вертикальное, в остальных случаях – горизонтальное; положение плоскости измерения углов – горизонтальное.

Пределы нормальной области значений влияющих величин устанавливают в зависимости от допусков и диапазона измеряемых размеров. Нормальной областью значений влияющих величин при линейных измерениях является область, при обеспечении которой

выход действительного значения инструментальной погрешности (погрешности среднего измерения) за пределы допустимой основной погрешности средств измерения не превышает величин, установленных стандартом (примерно 0,1T, где T – допуск измеряемой линейной величины).

Под пределом допустимой основной погрешности средства измерения понимают (ГОСТ 16263 наибольшую (без учета знака) погрешность средства измерений, используемых в нормальных условиях, при которой оно может быть принято годным и допущено к применению).

Погрешности обработки, вызываемые размерным износом инструмента. Размерный износ инструмента измеряют в направлении нормали к обрабатываемой поверхности и суммируют с другими погрешностями.

Линейная зависимость размерного износа инструмента от длины пути резания на основном участке позволяет принять за характеристику размерного износа относительный (удельный) износ на 1000 м пути резания (u_0 , в мкм/км). Длина пути резания при точении одной заготовки (м)

$$L_A = vt_0 \quad \text{или} \quad L_A = \frac{\pi D l_A}{1000 s},$$

где v – скорость резания, м/мин; t_0 – время резания; D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; l_A – длина обрабатываемой поверхности, мм; s – подача, мм/об.

Длина пути резания L_N для партии заготовок N , обрабатываемых в период между подналадками станка, и длина L_T пути резания за период стойкости T резца соответственно будут:

$$L_N = L_A N; \quad L_T = vT.$$

Для того, чтобы учесть более интенсивное начальное изнашивание на первом участке кривой, условно принято увеличивать полученную расчетом длину пути резания на $L_N = 1000$ м. Тогда полная длина пути резания для партии деталей

$$L = L_N + L_N.$$

Приняв по нормативным или экспериментальным данным относительный размерный износ u_0 резца для данных условий выполнения операции, определяют учитываемый в суммарной погрешности размерный износ

$$\Delta u = \frac{L}{1000} u_0.$$

Ориентировочные значения относительного размерного износа резцов приведены в табл. 28.

На размерный износ влияют материал режущего инструмента, конструкция, геометрия и состояние лезвия, режимы обработки, жесткость системы и другие факторы. Например, зависимость радиального (размерного) износа от времени работы T (мин), скорости резания v (м/мин) для обработки деталей из стали 45 резцом с пластиной из твердого сплава Т15К6 может быть выражена формулой

$$u = 107 \cdot 10^{-6} T^{0,87} v^{2,12}.$$

Однако в достаточной степени обобщенных зависимостей размерного износа инструмента от указанных факторов пока нет. Поэтому часто, определяя размерный износ для обрабатываемой партии деталей, исходят из ориентировочных значений относительного износа или задаются допустимым для данного вида обработки размерным износом инструмента (табл. 29).

28. Относительный износ (мкм/км) резцов при чистовом точении

Материал режущего инструмента	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун 375 ... 400 НВ
T60K6	0,7-4	0,7-4	-	-
T30K4	3-4	4-6	-	-
T15K6	5-7	9-10	-	-
T5K10	8	12-13	-	-
BK9	-	65	-	-
BK8	-	17-25	13-14	-
BK6	-	-	14	-
BK4	-	25-30	-	-
BK3	-	9-10	6	16

Примечание. Данные получены при следующих условиях:

сталь углеродистая, $\sigma_s = 500 \dots 600$ МПа при скоростях резания 100–400 м/мин;

сталь легированная, $\sigma_s = 920 \dots 1100$ МПа при скоростях резания 100–200 м/мин;

серый чугун, 187 ... 207 НВ при скоростях резания 50–150 м/мин; данные для закаленного чугуна 375 ... 400 НВ относятся к тонкому растачиванию.

29. Допустимый размерный износ (мкм) инструмента при обработке партии заготовок

Выдерживаемый размер, мкм	Обработка			
	черновая	чистовая	тонкая	однократная
До 30	30–80	15	2	20
Св. 30 до 80	45–120	20	3	25
» 80 » 180	60–150	30	6	30
» 180 » 360	75–200	40	10	40
» 360 » 500	90–250	50	15	50

Влияние температурных деформаций на точность обработки. Теплота, образующаяся при резании, трении сопряженных деталей станков, а также внешнее тепловое воздействие приводят к упругой деформации технологической системы, появлению погрешностей обработки $\sum \Delta_T$.

Теплота в процессе резания образуется в результате внутреннего трения между частицами обрабатываемого материала в процессе деформации ($Q_{\text{деф}}$), внешнего трения стружки о переднюю поверхность инструмента ($Q_{\text{п.тр}}$) и поверхности резания, обработанной поверхности о задние поверхности инструмента ($Q_{\text{з.тр}}$), отрыва стружки, диспергирования ($Q_{\text{дисп}}$):

$$Q = Q_{\text{деф}} + Q_{\text{п.тр}} + Q_{\text{з.тр}} + Q_{\text{дисп}}.$$

Так как механическая работа почти полностью переходит в теплоту,

$$Q = \frac{R}{E} = \frac{P_z v}{E},$$

где Q – количество теплоты; R – работа резания ($R = P_z v$); v – скорость резания; E – механический эквивалент теплоты.

Распределение теплоты резания между стружкой, заготовкой, инструментом зависит от метода, условий обработки, материала детали и инструмента. Так, при обработке точением материалов с высокой теплопроводностью (углеродистые стали) распределение теплоты таково: в стружку 60–90%; в инструмент

3–5%. При такой же обработке материалов с низкой теплопроводностью (жаропрочные, титановые сплавы) 35–45% всей теплоты резания переносится в деталь, 20–40% – в резец.

Наибольшее количество теплоты переходит в заготовку при шлифовании (до 60–85%) и сверлении (до 60%).

Для обработки заготовок на станках характерен одновременный перенос теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением (сложный теплообмен). Изучение сложного теплообмена встречает известные трудности, которые на практике до сих пор удовлетворительно не решены. При исследовании устанавливают температурное поле (совокупность значений температуры θ в данный момент времени t для всех точек изучаемого пространства) $\theta = (x, y, z, t)$, где x, y, z – координаты точки. Температурное поле является случайным для данного станка. Если температура тела есть функция координат и времени, то температурное поле будет нестационарным,

т.е. зависящим от времени $\left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \neq 0\right)$. Такое

поле соответствует неустановившемуся тепловому режиму теплопроводности, характерному для заготовки и станка в начальный период работы. Однако через некоторый промежуток времени происходит стабилизация теплообмена – температура точек станка есть функция только координат точек и не изменяется с

течением времени $\left(\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0\right)$; температурное

поле станка будет стационарным.

Средние значения деформаций, связанных со стационарными процессами, могут быть учтены при построении процесса и тем самым будет повышена точность обработки.

Расчет температурных полей сложных объектов обычно упрощают. Разработана приближенная методика определения температурных деформаций деталей станков. Однако надежные данные по температурным полям, деформациям станков можно получить при экспериментальном исследовании. Только в простейших случаях, например при равномерном нагреве простой детали, можно вычислить изменение размера детали:

$$\Delta L = \alpha L \Delta \theta_d,$$

где L – размер детали; α – коэффициент линейного расширения материала детали; $\Delta \theta_d$ – изменение температуры детали.

Так, при шлифовании с охлаждением $\theta_d = (\theta_{\text{ж}} + 1,5) \pm 1$, где $\theta_{\text{ж}}$ – температура охлаждающей жидкости.

Обычно при обработке вследствие неравномерного нагрева происходит изменение размеров, формы и расположения поверхностей. Так, температура в различных точках станка различается на 10–60 °С, и это вызывает смещение и перекося оси шпинделя относительно оси детали.

Температура и температурные деформации станка в значительной степени определяются конструкцией узлов, фактическими зазорами и натягами в подшипниках, методом подачи и объемом смазочного материала.

При испытании станков на точность проверяют стабильность взаимного расположения рабочих органов под тепловой нагрузкой. Для круглошлифовальных станков линейное смещение оси шпинделя шлифовального круга относительно оси передней и задней бабок в результате нагрева на холостом ходу в течение 60 мин допускается 32–63 мкм соответственно для станков с наибольшим устанавливаемым диаметром 100–800 мм, а угловое смещение 4 мкм на длине 100 мм. Указанные отклонения относятся к станкам класса П. Для станков классов В и А отклонения меньше в 1,6 и 2,5 раза соответственно.

Температурные деформации вызывают не только смещение узлов станка, но и изменение жесткости станков. Так, после нагрева бесцентрово-шлифовальных станков жесткость узлов увеличилась в 1,5 раза, отклонение формы – в 1,5 раза.

Температурные деформации могут быть существенно уменьшены:

1) обеспечением постоянства температурного поля в зоне установки станка: поддержанием в цехе определенного температурного режима (табл. 30), установкой прецизионных станков в специальных термоконстантных помещениях;

2) уменьшением неравномерного нагрева станков в результате: а) вынесения внутренних источников теплоты (электродвигателей, гидродвигов) за пределы станка; б) применения систем для поддержания определенной температуры смазочного масла; СОЖ; в) искусственного нагрева отдельных частей станка;

30. Температурный режим в механических цехах

Назначение термоконстантных участков	Класс точности станка, на котором производится обработка	Допустимые отклонения δ (°C) температур от 20 °C при размере обрабатываемых поверхностей, мм		
		$D = 100$	$D = 500$	$D = 1000$
Финишная обработка деталей типа валов и втулок и точных отверстий в шпиндельных коробках с целью получения заданной посадки для узлов, определяющих высокую точность изготовления	В А, С	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
		$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
Финишная обработка делительных зубчатых колес и дисков для получения заданного угла наклона профиля	В А, С	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	—
		$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	—
Финишная обработка ходовых винтов для получения заданных отклонений по шагу	В А, С	$L = 1000$	$L = 2000$	$L = 4000$
		$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$
Нанесение делений на линейных штриховых мерах (металлических и стеклянных) для получения заданного размера	В А, С	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$	$\pm 0,25$
		$\pm 0,25$	$\pm 0,1^*$	$\pm 0,05^*$

* Работа выполняется на полуавтоматических делительных машинах, установленных в специальных кабинках. Оператор в процессе деления в кабине не присутствует.

3) уменьшением влияния температурных деформаций путем выбора материалов деталей и оптимальных направлений (не совпадающих с направлением выдерживаемого размера) температурных деформаций, применения устройств для компенсации температурных смещений;

4) эксплуатационными мероприятиями: правильной установкой станков, своевременным регулированием подшипниковых узлов, обработкой точных деталей после достижения станком стационарного теплового состояния (после длительного останова, на холостом ходу в течение 20 – 30 мин).

При простейших расчетах учитывают удлинение реза при установившемся тепловом состоянии:

$$\Delta L_p = C \frac{L_p}{F} \sigma_s (ts)^{0,75} \sqrt{v} K_T,$$

где C – постоянная (при $t \leq 1,5$ мм; $s \leq 0,2$ мм/об; $v = 100 \dots 200$ м/мин $C = 4,5$); L_p – вылет реза; F – площадь поперечного сечения реза, мм²; $K_T = \frac{t_0}{t_{шт}}$ – коэффициент,

учитывающий охлаждение реза из-за перерывов в работе.

Температура резания при токарной обработке может быть вычислена по следующим приближенным соотношениям:

для деталей из стали ($\sigma_s = 770$ МПа; $\delta = 22\%$)

$$\theta = 166,5 v^{0,4} t^{0,105} s^{0,2};$$

для деталей из чугуна

$$\theta = 138 v^{0,36} t^{0,09} s^{0,133}.$$

При шлифовании различают температуру: мгновенную θ_m , развивающуюся непосредственно в зоне микрорезания шлифующим зерном и являющуюся высокой (от 1000 °C до температуры плавления обрабатываемого материала) и кратковременной; контактную θ_k (среднюю в зоне шлифования) в зоне контакта круга с заготовкой (~ 200 – 1100 °C); среднюю θ_c на поверхности шлифуемой заготовки (~ 20 – 350 °C).

Местная температура при трении может достигать 250 – 1000 °C. Средняя температура в коробках скоростей и других подобных узлах 65 – 80 °C.

Полную погрешность обработки, связанную с температурными деформациями, обычно определить не удастся. Для операций с жесткими допусками на обработку приблизительно принимают

$$\sum \Delta_T = 0,1 \dots 0,4 \Delta_{\Sigma},$$

причем для обработки лезвийным инструментом

$$\sum \Delta_T = 0,1 \dots 0,15 \Delta_{\Sigma},$$

при шлифовании $\sum \Delta_T$ составляет до 30 – 40 % суммарной погрешности Δ_{Σ} .

Методы оценки надежности технологических систем по параметрам качества изготавливаемой продукции (ГОСТ 27.202–83) включают и методы оценки показателей надежности технологических операций и процессов, а также средств технологического оснащения по точности. Контроль точности технологических систем проводят по альтернативному (при разработке технологических процессов на этапе технологической подготовки производства и при управлении технологическими процессами) или количественному (при определении периодичности подналадок технологического оборудования, выбора методов и планов статистического регулирования технологических процессов и операций и т.д.) признаку.

При контроле по количественному признаку определяют значения показателей точности, основными из которых являются:

коэффициент точности (по контролируемому параметру X)

$$K_T = \omega / T,$$

где ω – поле рассеяния (или размах R) значений контролируемого параметра за установленную наработку технологической системы, определяемое с доверительной вероятностью γ по выражению $\omega = I(\gamma)S$, здесь $I(\gamma)$ – коэффициент, зависящий от закона распределения параметра X и значения γ ; S – среднее квадратическое отклонение параметра X ; T – допуск параметра X .

Размах R определяют как разность максимального и минимального значений параметра в объединенной выборке, состоящей из серии мгновенных выборок $\omega \approx R = X_{\max} - X_{\min}$.

Коэффициент мгновенного рассеяния (по контролируемому параметру)

$$K_p(t) = \omega(t) / T,$$

где $\omega(t)$ – поле рассеяния параметра в момент времени t .

Коэффициент смещения (контролируемого параметра)

$$K_c = \bar{\Delta}(t) / T,$$

где $\bar{\Delta}(t)$ – среднее значение отклонения параметра относительно середины поля допуска в момент времени t :

$$\bar{\Delta}(t) = |\bar{X}(t) - X_0|,$$

здесь $\bar{X}(t)$ – среднее значение параметра; X_0 – значение параметра, соответствующее середине поля допуска (при симметричном поле допуска значение X_0 совпадает с номинальным значением $X_{ном}$).

Коэффициент запаса точности (по контролируемому параметру)

$$K_s = 0,5 - K_c(t) - 0,5 K_p(t).$$

Для обеспечения надежности технологической системы по параметрам точности необходимо в любой момент времени (в пределах установленной наработки) выполнить условие $K_T \leq K_{T,0} < 1$; $K_s(t) > 0$, где $K_{T,0}$ – нормативное (предельное, технически обоснованное) значение K_T .

В условиях единичного и мелкосерийного производства, когда число одноименных дета-

лей не позволяет применить указанные выше коэффициенты, контроль точности технологической системы можно выполнить по альтернативному признаку, используя метод приведенных отклонений (по справочному приложению к ГОСТ 27.202-83). В одну выборку включают детали, характеризующиеся конструктивным подобием и общностью технологического процесса обработки.

Точность технологической операции считается удовлетворительной при выполнении одного из следующих условий:

$$0 \leq \Delta_{пр i} = \frac{\Delta_{д i} - \Delta_{н i}}{T_i} \leq 1;$$

$$0 \leq \Delta_{пр i} = \frac{\Delta_{в i} - \Delta_{д i}}{T_i} \leq 1;$$

$$-1 \leq \Delta_{пр i} = \frac{2(\Delta_{д i} - \Delta_{о i})}{T_i}$$

– при расчете приведенных отклонений размера соответственно относительно нижнего $\Delta_{н i}$, верхнего $\Delta_{в i}$ предельных отклонений и координаты середины поля допуска $\Delta_{о i}$;

$$0 \leq \Delta_{пр i} = \frac{\Delta_{\phi, д i}}{T_{\phi i}} \leq 1 \text{ – при расчете приведенных отклонений для параметров формы и расположения для всех деталей } i = 1 \dots n, \text{ объединенных в выборку. Здесь } \Delta_{д i} \text{ и } \Delta_{\phi, д i} \text{ – действительные отклонения размера и формы (расположения) } i\text{-й детали; } T_i \text{ и } T_{\phi i} \text{ – допуск размера и формы (расположения) } i\text{-й детали.}$$

В одну выборку включают по несколько экземпляров разных деталей. Проверку условий проводят по каждому значению $\Delta_{пр i}$.

Показатели надежности технологических систем кроме рассмотренных показателей точности включают показатели выполнения заданий по качеству (параметрам качества продукции), по технологической дисциплине и комплексные показатели.

Оценку выполнения заданий по параметрам качества изготавливаемой продукции проводят для технологических процессов (операций), влияющих на качество продукции, и по которым получены неудовлетворительные результаты оценок по точности и технологической

дисциплине. При оценке используют показатели вероятности выполнения задания по одному или нескольким (n) параметрам качества изготовленной в момент времени t продукции $P_{1, \dots, n}(t) = P\{X_{н i} \leq X_i(t) \leq X_{в i}\}$ при $i = 1, \dots, n$.

Комплексные показатели оценки надежности технологических систем по параметрам качества изготавливаемой продукции включают показатели надежности технологических систем по критериям дефектности, возвратов продукции, брака. Вероятность соблюдения норматива проверяют (обычно регистрационным методом) по указанным показателям.

СУММИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ

Задачу о суммировании решают особо для каждого случая обработки. Сумма элементарных погрешностей может быть принята за ожидаемую точность обработки. Если каждая из элементарных погрешностей представляется звеном размерной цепи, то ожидаемую точность Δ_{Σ} представляют как замыкающее звено цепи и суммирование элементарных погрешностей производят алгебраически:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta \epsilon_y + \Delta_y + \Delta_n + \Delta_n + \sum_{\Delta_{\alpha}} + \sum_{\Delta_{\tau}}. \quad (1)$$

Обозначения слагаемых погрешностей см. на с. 31.

Задачу целесообразно решать методом "максимум – минимум". Все элементарные погрешности относятся к направлению выдерживаемого размера.

Значение $\sum_{\Delta_{\phi}}$ определяют с учетом взаимной компенсации погрешностей технологической системы. Эта величина связана с действием различных причин – геометрических погрешностей станков, динамических погрешностей, деформаций заготовок, под действием различных сил. При обработке тел вращения Δ_{Σ} для диаметральных размеров определяют без учета $\Delta \epsilon_y$, равно как и для случая двухсторонней обработки элементов изделий набором инструментов.

Расчет значений Δ_{Σ} по представленной формуле является достаточно простым, однако точность расчета оказывается низкой и результаты, как правило, завышенными.

Более точным является другой метод расчета, когда каждую элементарную погрешность можно представить вектором, модуль которого характеризует поле рассеяния погрешности или (что менее точно) разность предельных значений погрешностей. Тогда значение ожидаемой точности следует определять в векторной форме:

$$\bar{\Delta}_{\Sigma} = \bar{\Delta} \epsilon_y + \bar{\Delta}_y + \bar{\Delta}_n + \bar{\Delta}_n + \bar{\Sigma}_{\Delta_{\phi}} + \bar{\Sigma}_{\Delta_{\tau}}.$$

Этот метод суммирования применяют на практике в исключительных случаях, поскольку необходимо знать направление, в котором проявляется данная погрешность, что часто вызывает трудности.

Если каждый вектор спроектировать на направление выдерживаемого размера, то задача сложения несколько упростится, так как технологу предстоит иметь дело с коллинеарными векторами:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta \epsilon_{y_0} + \Delta_{y_0} + \Delta_{n_0} + \Delta_{n_0} + \sum_{\Delta_{\phi_0}} + \sum_{\Delta_{\tau_0}},$$

где индекс "ноль" означает проекцию вектора первичной погрешности. Эта формула по своей сути близка к формуле (1).

Недостатки предложенных выше методов суммирования можно существенно ослабить, если учесть вероятностную природу элементарных погрешностей. Суммирование таких погрешностей проводят по закону квадратного корня

$$\Delta_{\Sigma} = p \sqrt{\lambda_1 \Delta_{\epsilon}^2 + \lambda_2 \Delta_y^2 + \lambda_3 \Delta_n^2 + \lambda_4 \Delta_n^2 + \lambda_5 \sum_{\Delta_{\tau}}^2},$$

где p – коэффициент, определяющий процент риска получения брака при обработке; $\lambda_1 - \lambda_5$ – коэффициенты, определяющие законы распределения каждой из элементарных погрешностей.

Риск возникает в связи с тем, что нельзя утверждать с полной определенностью, что рассеяние данной элементарной погрешности соответствует данному закону распределения.

При $p = 1$ вероятность брака составляет 32 %, при $p = 2$ она снижается до 4,5 %, а при $p = 3$ – до 0,27 %.

Для закона нормального распределения (закона Гаусса) $\lambda = \frac{1}{9}$;

для распределения Симпсона $\lambda = \frac{1}{6}$;

для закона равной вероятности, а также для случаев, когда о законе ничего не известно

(либо мало известно) $\lambda = \frac{1}{3}$.

Из практики известно, что

$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{9}$ поскольку соответствующие погрешности подчиняются закону Гаусса,

$\lambda_4 = \frac{1}{3}$ поскольку распределение соответствует

закону равной вероятности, $\lambda_5 = \frac{1}{3}$ по-

скольку закон распределения $\sum_{\Delta_{\tau}}$ мало известен. Величина $\sum_{\Delta_{\phi}}$, как правило, не является случайной и под знаком корня не суммируется. При $p = 3$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\epsilon_y}^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_n^2 + 3\sum_{\Delta_{\tau}}^2 + \sum_{\Delta_{\phi}}^2}.$$

Значения элементарных погрешностей, суммируемых под знаком корня, представляют собой поля рассеяния этих величин.

Приведенные формулы получили наибольшее распространение. Их основное достоинство в том, что по отдельным элементарным погрешностям, определенным расчетом еще до разработки технологического процесса, можно методом суммирования определить ожидаемую точность параметра.

Исследования точности методами математической статистики и теории вероятностей требуют наличия исходной информации, получаемой измерениями, регистрацией значений параметров уже действующего технологического процесса. Вместе с тем, соответствующие методы анализа элементарных погрешностей в ряде случаев позволяют получить важные дополнительные сведения при исследовании точности обработки.

Примем, что исследуемый параметр детали Y представляет собой функцию нескольких переменных X_n : $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$. Для идеальных условий соответственно имеем

$$Y_0 = f(X_{10}, \dots, X_{10}, \dots, X_{n0}).$$

В реальных условиях значения параметров отличаются от идеальных (номинальных) на абсолютную погрешность $\Delta_i = (X - X_0)_i$. Выходной параметр также может иметь некоторую погрешность.

При расчете линейных систем предполагается, что отклонения параметров малы и взаимно независимы. Произведениями погрешностей пренебрегаем. Функцию $Y = f(X_i)$ в окрестностях номинальных значений параметров разложим в ряд Тейлора. Ограничиваясь учетом только погрешности в первой степени, получим выражение для расчета абсолютной погрешности выходного параметра Y :

$$\Delta Y = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)_{\bar{X}_i} \Delta_i.$$

Индексы при частных производных \bar{X}_i показывают, что значения производных при X_i равны среднему значению \bar{X}_i или математическому ожиданию MX_i (идеальному, номинальному значению).

Отношение $\partial f / \partial X_i = S_i$ называют абсолютной чувствительностью функции цепи к изменению параметра, или коэффициентом влияния, передаточным отношением.

При расчете наихудшего случая элементарные погрешности суммируют по методу максимума-минимума:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \right|_{\bar{X}_i} |\Delta_i|.$$

Приведенное выражение удобно для расчета, когда все параметры имеют одинаковые единицы измерения. При разных единицах измерения параметров целесообразно пользоваться относительными погрешностями:

$$\frac{\Delta_{\Sigma}}{Y} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{\bar{X}_i}{Y} \right|_{\bar{X}_i} \left| \frac{\Delta_i}{\bar{X}_i} \right|.$$

Повышение точности обработки может быть достигнуто повышением точности каждого параметра и сокращением числа входных параметров, влияющих на отклонение выходного параметра; уменьшением чувствительности системы к входным воздействиям и условиям обработки; применением автоматической

системы компенсации всех или доминирующих входных параметров.

Рассмотренный метод расчета не учитывает реальных комбинаций параметров, поэтому он даст завышенное в 1,5 – 10 раз значение погрешности выходного параметра.

При вероятностном методе расчета отклонения ΔY , Δ_i рассматривают как случайные величины.

Для любого числа параметров $i = n$ систематическая погрешность, равная математическому ожиданию $M(Y) = m_{\Sigma}$, определяется по соотношению

$$m_{\Sigma} = E(Y) + 0,5\alpha T(Y) = \sum_{i=1}^n S_i [E(\Delta_i) + 0,5\alpha_i T(\Delta_i)],$$

где T – допуск; α – коэффициент относительной асимметрии; E – координата середины заданного поля допуска.

Если между погрешностями, рассматриваемыми попарно, например между Δ_j и Δ_l , существует стохастическая (вероятностная) связь с коэффициентом корреляции r_{jl} , то суммарная погрешность обработки

$$\Delta_{\Sigma} \approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i S_i T_i)^2 + 2 \sum_{j \neq l}^m K_j K_l T_j T_l S_j S_l r_{jl}},$$

где m – число попарно стохастически связанных параметров.

Формула действительна для определения абсолютной и относительной суммарной погрешностей.

Коэффициент относительного рассеяния, характеризующий отношение поля рассеяния погрешности при нормальном законе распределения к действительному полю рассеяния, обозначим K_i , где i – индекс элементарной погрешности.

Для нормального закона распределения $K_i = 1$; для закона равной вероятности $K_i = 1,73$; при композиции закона равной вероятности и нормального закона $K_i = 1,2 \dots 1,5$ ($K_i = 1,2$ при $l/6\sigma = 1$, где l – приращение размера вследствие переменной систематической погрешности; σ – среднее квадратическое

отклонение; $K_i = 1,5$ при $l/6\sigma = 3$); для законов Симпсона $K_i = 1,22$; Релея $K_i = 1,097$ и Максвелла $K_i = 1,13$.

Элементарные погрешности, изменяющиеся во времени t , являются случайными функциями времени (например, погрешность, связанная с износом инструмента). Тогда

$$\Delta_{\Sigma} \approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n [K_i(t) S_i T_i(t)]^2 + \dots + 2 \sum_{j \neq l}^m K_j(t) K_l(t) S_j S_l T_j(t) T_l(t) r_{jl}(t)}.$$

Более точный результат может быть получен при применении аппарата случайных функций.

Часто при расчетах $S_i = 1$; если погрешности независимы и не зависят от времени,

$$\Delta_{\Sigma} \approx \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i T_i)^2}.$$

Иногда суммарную погрешность определяют смешанным методом расчета. Принимают, что некоторые параметры изменяются детерминированно, поэтому суммирование их выполняют по методу максимума-минимума; для других учитываемых факторов применяют вероятностное суммирование.

Некоторые погрешности, например погрешности результата измерения, погрешности линейного позиционирования станков с ЧПУ и других, рассчитывают с учетом неисключенных систематических и случайных погрешностей. Методику определения суммарной погрешности устанавливает ГОСТ 8.207–76. Группу результатов прямых измерений с многократными наблюдениями подвергают статистической обработке: исключают грубые погрешности и известные систематические погрешности; вычисляют среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения \bar{A} ; вычисляют оценку среднего квадратического отклонения $\sigma(\bar{A})$ результата измерения:

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}},$$

где X_i – i -й результат наблюдения; $i = 1 \dots n$.

Далее проверяют гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению (уровень значимости q принимают 10 – 2 %). При числе результатов наблюдений $n > 50$ проверку ведут по критерию χ^2 Пирсона или ω^2 Мизеса – Смирнова; при $50 > n > 15$ – по составному критерию (ГОСТ 8.207–76); при $n \leq 15$ проверку не делают. Излагаемую методику можно применять, если заранее известно, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению.

Эффективным способом вычисления суммарной погрешности является статистическое моделирование, при котором используют ЭВМ (методы Монте-Карло). При этом методе определяют псевдослучайные значения факторов и с помощью ЭВМ погрешность выходного параметра. Статистические свойства системы оценивают путем многократного построения процесса. Метод допускает произвольное распределение параметров. Метод Монте-Карло применяют для систем массового производства; он может быть легко запрограммирован, но при этом требуется относительно большое время счета.

Аналитическое представление реальной поверхности позволяет более четко выявить законы суммирования отклонений размера и формы поверхности. Различают номинальные геометрические поверхности, имеющие предписанные чертежом формы и размеры, без каких бы то ни было неровностей и отклонений, и действительные (реальные) поверхности деталей. Понимая под профилем линию пересечения поверхности плоскостью, ориентированной определенным образом, различают также номинальный и действительный профили детали.

При исследовании точности изготовления с номинальной цилиндрической поверхностью широко используют методы спектральной теории неровностей и других геометрических параметров.

Введем понятие о *текущем размере* как о радиусе-векторе, равном расстоянию от точки

на реальном профиле до геометрического центра номинального профиля детали. Очевидно, что в общем случае радиус-вектор R зависит от угловой координаты φ точки и координаты z , направленной вдоль оси:

$$R = F(\varphi, z).$$

Если номинальный радиус поверхности обозначить как R_0 , то функция $f(\varphi, z)$, обозначающая погрешность (абсолютная погрешность ΔR), в общем случае (при $0 \leq z \leq l$, где l – длина поверхности) характеризует отклонение от цилиндричности

$$f(\varphi, z) = R - R_0 = \Delta R,$$

а в поперечном сечении (при $z = z_1$) – отклонение от круглости

$$f(\varphi) = R - R_0 = \Delta R.$$

Функцию погрешности поперечного сечения приближенно можно представить в виде ряда Фурье с конечным числом членов $k = n$:

$$f(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n (a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi)$$

или

$$f(\varphi) \approx \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^n c_k (\cos k\varphi + \varphi_k),$$

где a_k, b_k, c_k – коэффициенты ряда Фурье; k – порядковый номер составляющей гармоники.

Контуры поперечного сечения удовлетворяют условию замкнутости; период равен 2π :

$$f(\varphi + 2\pi) = f(\varphi).$$

Коэффициенты ряда Фурье:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) \cos k\varphi d\varphi;$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) \sin k\varphi d\varphi.$$

Между амплитудой k -й гармоники c_k и коэффициентами a_k и b_k , а также начальной фазой φ_k существуют зависимости:

$$a_k = c_k \cos \varphi_k; \quad b_k = c_k \sin \varphi_k;$$

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad \operatorname{tg} \varphi_k = b_k / a_k;$$

$$c_0 = a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\varphi) d\varphi.$$

Члены разложения имеют явный физический смысл. Нулевой член, т.е. величина $c_0/2$, равен среднему значению функции на период $T = 2\pi$. Эта величина характеризует отклонение собственно размера, являясь постоянной (независимой от угловой координаты φ) составляющей текущего размера. Первый член разложения $c_1 \cos(\varphi + \varphi_1)$ характеризует отклонение расположения реального и номинального профилей (эксцентриситет с амплитудой c_1 и фазой φ_1).

Следующие члены ряда Фурье характеризуют: $c_2 \cos(2\varphi + \varphi_2)$ – овальность; $c_3 \cos(3\varphi + \varphi_3)$ – огранку с трехвершинным профилем и т.п.

Таким образом, члены ряда при $k = 1 \dots p$ характеризует спектр отклонений формы детали в поперечном сечении: последующие члены ряда – волнистость и при достаточно больших значениях k – шероховатость поверхности. Аналогичный метод может быть применен к профилю цилиндрической детали.

Изложенная методика позволяет проанализировать отклонения собственно размера (ΔR или $2\Delta R = \Delta D$), формы и т.д., рассматриваемые как систематические отклонения. Методику можно использовать при рассмотрении детерминированных систем. Однако в общем случае амплитуды и фазы отклонений являются случайными величинами.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ

Проблему точности в машиностроении связывают с результатами изучения физических причин отказов, порождающих погрешности, и определениями условий и следствий, приводящих к отказам. Изменение свойств изделий (их материалов, форм, структуры, размеров и т.д.) в ходе производственного процесса наиболее полно объясняют с помощью явления технологической наследственности.

Технологической наследственностью называют явление переноса свойств объектов от предшествующих технологических операций к последующим. Сохранение же этих свойств у деталей машин называют технологическим наследованием. Явление позволяет сравнительно полно связать состояние заготовки (или даже ее материала) с ее состоянием в любой момент времени вплоть до превращения заготовки в деталь.

Носителями наследственной информации являются собственно материал детали, а также ее поверхность с многообразием параметров, характеризующих состояние этих поверхностей. Носители информации активно участвуют в технологических процессах, проходя через различные операции, в ходе которых они могут менять свои свойства частично или полностью. Типичной операцией, задерживающей или исключаяющей передачу наследственных свойств, является термическая обработка.

Как положительные свойства детали (высокая износостойкость, точность формы и размеров, качество поверхностного слоя и др.), так и свойства отрицательные (коробление, пониженная твердость отдельных участков, погрешности формы и др.) необходимо объяснять не с позиции последней, финишной технологической операции, а рассматривать всю предысторию создания детали. Например, осповидный износ на шейках валов часто объясняют не особенностями шлифовальной операции, а специфическими условиями проведения токарной, заготовительной операций. Точечные дефекты на полированной поверхности некоторых деталей объясняются не особенностями полирования, а специфическими включениями и свойствами материала деталей. Форма корпусных деталей или деталей типа валов, изменяющаяся во времени (уже в период эксплуатации изделий), определяется особенностями проведения заготовительных операций на этапе литья и штамповки. Чем выше точность детали, тем больше оснований к отыскыванию причин погрешностей и отказов на основе явления технологической наследственности.

Если установлена наследственная природа свойств деталей, следует принять соответствующие коррективы технологических процессов для предотвращения наследственного переноса вредных свойств и, наоборот, создания благоприятных условий для передачи полезных свойств.

В ходе технологических процессов наследуются практически все свойства материалов и поверхностных слоев заготовок. Важное значение имеет технологическое наследование конструктивных форм. Если, например, производить протягивание отверстий заготовок, наружная поверхность которых имеет конструктивные элементы в виде буртов, приливов, канавок и пр., то отверстия получат отклонение от цилиндричности, но так, что форма каждой образующей отверстия не будет прямолинейной, а будет четко связана с расположением данного конструктивного элемента. Природа такой погрешности связана с переменной жесткостью детали в каждом ее поперечном сечении. Отклонения формы возникнут, например, при шлифовании цилиндрических поверхностей деталей, имеющих такие конструктивные элементы как продольные канавки, лыски, рейки и пр. Жесткость таких деталей оказывается переменной по углу поворота их при обработке, так как изменяется момент инерции сечения заготовки по отношению к постоянно действующей силе. К наследованию конструктивных форм относятся случаи деформирования деталей при их нагревании в ходе технологических процессов.

В значительной степени наследуются свойства и, в частности, формы технологических баз. Например, центровые отверстия, как базы, имеют на конических поверхностях волны, которые почти всегда образуются при зацентровывании. При обработке заготовок, установленных такими базами на неподвижные центры шлифовальных станков, жесткость по углу поворота всей технологической системы изменяется, и на обрабатываемой поверхности также возникают волны, количество которых равно количеству волн на центровом отверстии. Специфические отклонения формы и размеров наблюдаются и при установке заготовок на другие технологические базы приспособлений.

Зажимные устройства на металлорежущих станках активно участвуют в ходе технологического наследования. Так, отклонения формы растачиваемых отверстий и характер самой погрешности вполне соответствуют числу зажимных элементов (кулачков) патронов.

В ходе механической обработки резанием наследуются многие свойства заготовок. Отклонения размеров могут быть учтены при настройке режущих инструментов. Отклонения же формы наследственного характера устра-

няются с трудом. Часто отклонения от круглости в виде овальности полностью переносятся на готовое изделие. При низкой жесткости системы проявляется частный случай наследования – *котирование*.

Решение проблемы технологического наследования всегда связано с отыскиванием таких условий, при соблюдении которых не возникает наследственного переноса вредных свойств от предшествующих операций к последующим. В качестве примера рассмотрим случай суперфиниширования цилиндрических заготовок после их предварительного шлифования на бесцентрово-шлифовальных станках.

Если такие заготовки после шлифования имеют 18 выступов (волн), то суперфиниш тремя брусками исправляет волнистость через короткое время. Если же после бесцентрового шлифования возникли три волны, то такие наследственные волны усугубляются так, что при тех же условиях суперфиниширования и через то же короткое время все детали оказываются бракованными. Зная указанные наследственные погрешности и условия их переноса, необходимо заранее сделать соответствующие коррективы в технологических процессах.

Решение о влиянии данной наследственной погрешности на служебные свойства изделия принимается особо в каждом конкретном случае. Однако учитывают, что отдельные наследственные погрешности могут проявляться не сразу по окончании технологического процесса, а через некоторое время. Последнее относится прежде всего к технологическому наследованию напряжений в материалах заготовки. Та часть напряжений, которая остается после проведения соответствующих термических операций, оказывается достаточной для резкого снижения точностных показателей изделий (искривление осей валов, овализация колец подшипников качения, отклонения от плоскостности корпусных деталей и пр.).

Установление качественных характеристик технологического наследования помогает определить этап технологического или производственного процесса, на котором возникает соответствующее свойство детали. При этом технолог принимает решение о корректировке технологического процесса. Количественные же характеристики позволяют определить насколько велико влияние технологического наследования данного свойства на качественные показатели детали или изделия.

Процесс наследования с успехом может быть представлен и как детерминированный и как вероятностный. Элементы системы и связи между этими элементами достаточно полно описываются с помощью *теории графов*. Особенностью графов должно быть условие их ориентированности и ацикличности. Если ребро графа имеет стрелку, то это означает передачу свойств, а отсутствие стрелки такую передачу отрицает.

Элементарный граф представлен на рис. 2. Вершина A_1 представляет собой совокупность свойств заготовки, а вершина A_2 – те свойства, которые создаются на определенной операции обработки заготовки. Ориентированные ребра A_1C и A_2C показывают наследование свойства в процессе обработки. Таким образом, возникает объект C со свойствами, характерными для A_1 и A_2 .

С точки зрения технологического обеспечения качества наибольший интерес представляют такие параметры заготовок деталей как точность размера, формы и расположения поверхностей. Поэтому для большей наглядности механизм технологического наследования представляют графами по рис. 3.

Комплекс свойств A_1 заготовки представляется конкретными ее свойствами $B, C, D \dots N$, каждое из которых претерпевает изменение в ходе технологического процесса. Пусть C – отклонение формы заготовки. Проходом через ряд технологических операций (точение, термообработка, шлифование ...) отклонение формы характеризуется величиной C_4 . Это отклонение будет одним из параметров, определяющих качество F готовой детали. Аналогично изменяются и другие свойства – $B, D \dots N$. Так как рассматриваемые графы ориентированные, общее число исследуемых свойств, интересующих технолога, определяют одной из сумм:

$$M = \rho(A_1) + \rho(A_2) + \dots + \rho^*(A_2) + \dots + \rho^*(A_n),$$

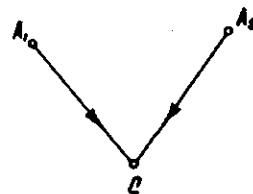


Рис. 2. Элементарный граф технологического наследования

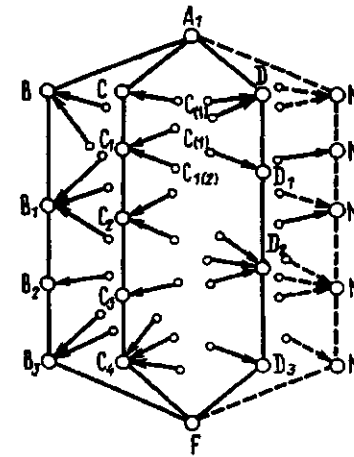


Рис. 3. Развернутый граф технологического наследования

где $\rho(A_1) \dots \rho(A_n)$ – число ребер, выходящих из вершин $A_1 \dots A_n$ графа; $\rho^*(A_1) \dots \rho^*(A_n)$ – число ребер, входящих в эти вершины; n – число вершин графа.

Технологическая последовательность изготовления ряда деталей может быть дополнена этапом эксплуатации детали в машине. Тогда становится возможным оценивать наследственную связь параметров, характеризующих надежность эксплуатируемой детали с аналогичными параметрами любой операции технологического процесса. Более того последний этап может быть разбит на определенные периоды времени.

Для количественной оценки явлений технологического наследования вводят обозначения. Каждое ребро графа характеризуется передачей ребра K . Свойство X_0 , выраженное любой вершиной графа, изменяется в ходе технологического процесса и характеризуется величиной X_1 . Поэтому $X_1 = (1/K)X_0$. Отсюда следует, что передача представляет собой коэффициент, показывающий изменение свойства. Так $K_1 = T_i/T_{i+n}$ – коэффициент, показывающий изменение точности размеров, где T – допуск на размер; i – номер текущей операции или перехода; n – число операций или переходов сверх i , после проведения которых количественно определяют величину данного свойства.

Аналогичны коэффициенты: изменения формы сечения заготовки или детали $K_2 = \Delta_i/\Delta_{i+n}$ (где Δ – отклонение формы); шероховатости $K_3 = Ra_i/Ra_{i+n}$ (Ra – среднее арифметическое отклонение профиля); напряжений $K_4 = \sigma_i/\sigma_{i+n}$ (σ – напряжения в поверхностных слоях); твердости $K_5 = (HB)_i/(HB)_{i+n}$ (HB – твердость материала); волнистости $K_6 = h_i/h_{i+n}$ (h – высота волны); структуры поверхностных слоев $K_7 = (HW)_i/(HW)_{i+n}$.

Таким образом, приведенные параметры характеризуются простыми дробями, у которых числитель указывает на количественное выражение величины, отражающей данное свойство до проведения соответствующей операции, а знаменатель – после приведения.

Индекс каждой передачи представляет собой трехзначную цифру. Все свойства заготовок или деталей нумеруют равно как и операции технологического процесса. На первом месте в обозначении ставят характеристику определенного свойства заготовки или детали (например, точность, волнистость и др.), на втором – наименование (номер) предыдущей операции, включая заготовительную, на третьем – наименование (номер) последующей операции, на которой проявляется наследуемое свойство. Выражение передачи $K_{107} = 500/10$, означает, что точность (1) заготовки (0) наследуется на детали, поступающей на сборку (7). Точность заготовки характеризуется допуском 500 мкм, а погрешность готовой детали 10 мкм. Определение коэффициентов передачи имеет, естественно, смысл в том случае, когда наследственная связь точно установлена. Нумерация свойств, операций, переходов вводится технологом по своему усмотрению.

Вероятностная модель содержит характеристики случайного изменения свойств обрабатываемой заготовки и характеристики рассеяния погрешностей ее обработки как внутри одной партии, так и в совокупности нескольких партий. Погрешности обработки на отдельно взятом переходе могут быть представлены в виде последовательности случайных величин $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – заданных функций распре-

ления $f(\alpha) = P(\alpha < \delta)$, где δ – некоторое предварительное значение α .

Представление механизма технологического наследования становится более удобным с помощью систем уравнений. Это тем более оправдано, что можно использовать ЭВМ, так как число параметров, участвующих в процессе технологического наследования, во многих случаях оказывается очень большим. Допустим, что нумерация свойств заготовок и деталей соответствует данным табл. 31, которая отражает мнение технолога. Для более сложных случаев технологического наследования индексы передачи могут состоять из четырех цифр. Так, передача K_{2014} означает, что форма (2) сечения заготовки (0) на операции (1) определяется напряжениями поверхностных слоев (4).

Система уравнений, отражающая изменение формы поперечного сечения конкретной детали:

$$X_{21} = \frac{1}{K_{201}} X_{20} + \left[\frac{1}{K_{2014}} X_{40} \right];$$

$$X_{22} = \frac{1}{K_{212}} X_{21};$$

$$X_{23} = \frac{1}{K_{223}} X_{22} + \left[\frac{1}{K_{2234}} X_{42} \right];$$

$$X_{24} = \frac{1}{K_{234}} X_{23};$$

$$X_{25} = \frac{1}{K_{245}} X_{24} + \frac{1}{K_{215}} X_{21};$$

$$X_{26} = \frac{1}{K_{256}} X_{25};$$

$$X_{27} = \frac{1}{K_{267}} X_{26} + \frac{1}{K_{237}} X_{23} + \frac{1}{K_{207}} X_{20} +$$

$$+ \left[\frac{1}{K_{2574}} X_{45} \right];$$

$$X_{28} = \frac{1}{K_{278}} X_{27} + \left[\frac{1}{K_{2784}} X_{47} \right].$$

Решение таких уравнений не представляет труда. Необходимо только сделать ряд постановок. Значительно большие трудности возникают с получением соответствующей информации, то есть с определением коэффициентов наследования. Тем не менее затраты труда технологов вполне окупаются, так как именно выявление наследственных связей и обладание сведениями о них составляют многие секреты машиностроительных фирм. Так, причину оваллизации отверстий внутренних

31. Пример нумерации свойств заготовок и операций

Первое место цифры индекса		Второе место цифры индекса	
Свойство	Место	Операция или переход	Место
Точность размера	1	Заготовительная	0
Точность формы сечения	2	Черновая обработка	1
Шероховатость	3	Чистовая обработка	2
Напряжение поверхностных слоев	4	Термическая обработка	3
Структура основного материала	5	Предварительная обработка абразивным инструментом	4
Волнистость	6	Окончательная обработка абразивным инструментом	5
Структура поверхностных слоев	7	Складское хранение	6
		Сборка	7
		Эксплуатация детали в машине	8

колец подшипников качения при их складском хранении в течение одного года удалось объяснить особенностями проведения заготовительной операции с помощью горизонтально-ковочных машин.

При выявлении наследственных технологических явлений не следует рассматривать все связи и факторы, необходимо сосредоточить внимание на главных, определяющих факторах. Однако следует учитывать, что при исключении из анализа факторов, кажущихся второстепенными, иногда полнота картины может нарушиться.

Наследственная информация может представлять собой массив данных, которые отражают производственный опыт, результаты исследований, мнения специалистов-экспертов.

Факторы расставляют в порядке значимости и им присваивают соответствующие номера. Обработка массива позволяет облегчить решение ряда технологических задач, к которым относятся: выбор оптимальных значений технологических факторов в соответствии с заданным изменением величины наследуемого свойства, прогнозирование параметров наследуемого свойства готовой детали по его значениям у заготовки, выбор заготовки, обеспечивающей заданное качество изделия.

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

В процессе изготовления деталей машин качество их и, в частности, точность размеров зависят от большего числа технологических факторов, влияющих в различной степени на точность обработки. Зависимости эти носят вероятностный (стохастический) характер. В теории вероятности и математической статистики разработаны методы, с помощью которых можно объективно оценить точностные характеристики реальных технологических процессов.

Вероятностно-статистические методы используют для оценки точности технологических процессов, определения уровня настройки станков, оценки стабильности технологических процессов, определения ожидаемой доли брака, установления зависимости между точностными характеристиками смежных операций и решения других задач.

Определение поля рассеяния, коэффициентов относительной асимметрии и относительного рассеяния погрешности обработки. Поле рассеяния размеров x (рис. 4) называется такой интервал $m_x - \Delta_1 \leq x \leq m_x + \Delta_2$ значений x , при котором вероятность P появления детали с размером x , меньшим чем $m_x - \Delta_1$ или больше чем $m_x + \Delta_2$, практически пренебрежимо мала, т.е. имеет место условие

$$P(x < m_x - \Delta_1) = P(x > m_x + \Delta_2) = q/2, \quad (1)$$

где Δ_1 и Δ_2 – расстояния соответственно от нижней и верхней границ поля рассеяния до среднего значения m_x ; q – вероятность выхода размеров за границы поля рассеяния (обычно принимают $q = 0,0027$).

Вводя в (1) выражения для дифференциального $f(x)$ или интегрального $F(x)$ законов распределения, получим

$$\int_{-\infty}^{m_x - \Delta_1} f(x) dx = \int_{m_x + \Delta_2}^{\infty} f(x) dx = q/2; \quad (2)$$

$$F(m_x - \Delta_1) = 1 - F(m_x + \Delta_2) = q/2.$$

Половина поля рассеяния

$$\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2)/2. \quad (3)$$

Для симметричных законов распределений $\Delta_1 = \Delta_2 = \Delta$.

Для закона распределения случайной величины x , область возможных значений которой не ограничена ни слева, ни справа, нижняя и верхняя границы поля рассеяния могут быть найдены, если известен интегральный закон распределения $F(z)$ нормированной случайной величины

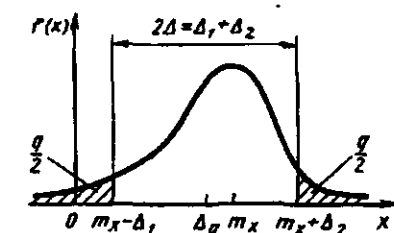


Рис. 4. Поле рассеяния размеров партий деталей

$$Z = (x - m_x) / \sigma_x,$$

для которой $m_z = 0$ и $\sigma_z = 1$. В данном случае m_x, m_z – средние значения случайных величин X и Z ; σ_x, σ_z – средние квадратические отклонения тех же величин. С учетом нормированного закона распределения $F(z)$ уравнение (2) принимает вид

$$F(z_1) = q/2; \tag{4}$$

$$F(z_2) = 1 - q/2.$$

Нижний Z_1 и верхний Z_2 квантили, отвечающие уровням вероятности $q/2$ и $1 - q/2$,

$$Z_1 = \Delta_1 / \sigma_x; \quad Z_2 = \Delta_2 / \sigma_x. \tag{5}$$

Для заданного уровня вероятности $q = 0,0027$ значения квантилей Z_1 и Z_2 определяются из (4). Если значения квантилей Z_1 и Z_2 известны, то по (5) величины Δ_1 и Δ_2 могут быть определены в долях среднего квадратического отклонения σ_x :

$$\Delta_1 = Z_1 \sigma_x; \quad \Delta_2 = Z_2 \sigma_x. \tag{6}$$

На основании (3) с учетом (6) поле рассеяния погрешности размеров, выраженное в долях σ_x ,

$$2\Delta = (Z_2 - Z_1) \sigma_x. \tag{7}$$

Для сопоставления рассеяния при данном законе распределения с рассеянием при нормальном распределении применяют коэффициент относительного рассеяния

$$K = 3\sigma_x / \Delta = 6\sigma_x / (\Delta_1 + \Delta_2). \tag{8}$$

Для закона Гаусса $K = 1$. Для одномодальных распределений, более островершинных, чем гауссовское (коэффициент эксцесса $\gamma_2 > 0$), $K < 1$. Для одномодальных распределений, более плосковершинных, чем гауссовское ($\gamma_2 < 0$), значения $K > 1$.

Несимметричность распределения отклонений случайной величины относительно середины Δ_0 поля рассеяния размеров характеризует коэффициент относительной асимметрии

$$\alpha = (m_x - \Delta_0) / \Delta. \tag{9}$$

Так как

$$\Delta_0 = m_x + \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{2},$$

то (9) примет вид

$$\alpha = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{2\Delta} = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\Delta_1 + \Delta_2}. \tag{10}$$

Для симметричных распределений $\alpha = 0$. Для одномодальных распределений, имеющих положительный коэффициент асимметрии γ_1 , среднее значение смещено к левой границе поля рассеяния (рис. 5, а). В этом случае $\Delta_2 > \Delta_1$ и согласно (10) имеем $\alpha < 0$. Для одномодальных распределений, имеющих отрицательный коэффициент асимметрии γ_1 , центр группирования смещен к правой границе поля рассеяния. При этом условии $\Delta_2 < \Delta_1$ и, применяя (10), получаем $\alpha > 0$ (рис. 5, б).

Подставляя (6) и (7) в (8) и (10), получим окончательные выражения для коэффициентов относительного рассеяния и относительной асимметрии:

$$K = \frac{6}{Z_2 - Z_1}; \quad \alpha = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 - Z_2}. \tag{11}$$

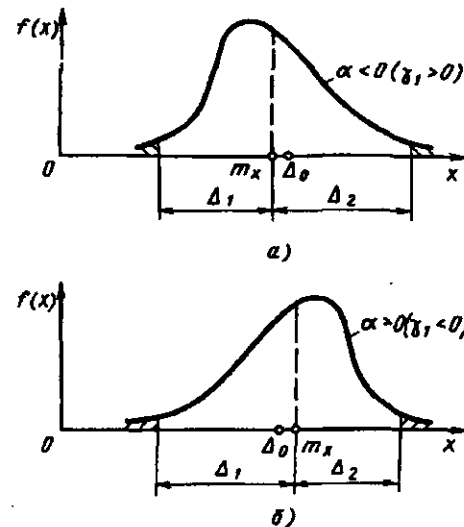


Рис. 5. Кривые распределения погрешности размеров с положительным (а) и отрицательным (б) значениями коэффициентов относительной асимметрии α

Определим поле рассеяния 2Δ и коэффициенты K и α для закона распределения случайной величины X , область возможных значений которой ограничена слева и справа ($a = x_{\text{наим}} \leq x \leq x_{\text{наиб}} = b$). В этом случае границы поля рассеяния принимают равными a и b , т.е.

$$m_x - \Delta_1 = a; \quad m_x + \Delta_2 = b. \tag{12}$$

При этих условиях вместо поля рассеяния пользуются ширитой распределения $L = 2l$ или $2\Delta = L = 2l = b - a$, где l – параметр закона распределения.

Применяя (8) и (10) и учитывая (12), получим

$$K = \frac{6\sigma_x}{b-a} = \frac{3\sigma_x}{l}; \tag{13}$$

$$\alpha = \frac{2m_x - a - b}{b-a} = \frac{m_x - a - b}{l}.$$

Зависимость вероятного брака деталей от коэффициентов точности и настроенности технологических процессов. Точность геометрических параметров детали обычно задает конструктор; она количественно определяется полем допуска согласно чертежам или техническим условиям.

Поле допуска определяется интервалом значений размера x от $x_0 - \delta$ до $x_0 + \delta$, где x_0 – координата середины поля допуска; δ – половина поля допуска (рис. 6). Технологическая точность количественно определяется законом распределения суммарной погрешности обработки.

Если задано поле допуска и известен закон распределения $f(x)$ погрешности размера x , то доля вероятного брака

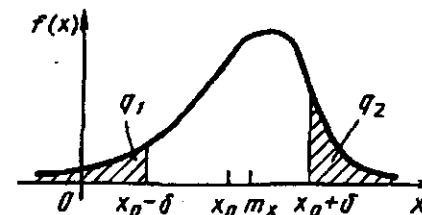


Рис. 6. Вероятный брак деталей $q = q_1 + q_2$

$$q = q_1 + q_2 = \int_{-\infty}^{x_0 - \delta} f(x) dx + \int_{x_0 + \delta}^{\infty} f(x) dx = 1 + F(x_0 - \delta) - F(x_0 + \delta), \tag{14}$$

где q_1, q_2 – вероятность выхода размеров за нижнюю и верхнюю границы поля допуска (доля брака); x_0 – координата середины поля допуска; δ – половина установленного поля допуска.

Вводя в (14) выражение для интегрального закона распределения $F_z(z)$ нормированной случайной величины $Z = (x - m_x) / \sigma_x$, получим

$$q = 1 + F_z\left(\frac{x_0 - m_x - \delta}{\sigma_x}\right) - F_z\left(\frac{x_0 - m_x + \delta}{\sigma_x}\right). \tag{15}$$

Точность и настроенность технологического процесса считаются идеальными, если поле рассеяния размеров совпадает с заданным полем допуска, т.е.

$$m_x - \Delta_1 = x_0 - \delta; \quad m_x + \Delta_2 = x_0 + \delta. \tag{16}$$

Отсюда вытекают требования к точности процесса и его настройки:

$$\Delta = 3\sigma_x / K = \delta; \quad m_x = x_0 + \alpha\delta. \tag{17}$$

В этом случае доля брака не превышает 0,27 %. Если поле рассеяния располагается внутри пределов поля допуска, то это значит, что точность процесса завышена и является экономически невыгодной. Если хотя бы одна из границ поля рассеяния выходит за пределы поля допуска, то доля брака увеличивается выше допустимого значения, равного 0,27 %.

Для сопоставления поля рассеяния с полем допуска применяют коэффициенты точности

$$K_T = \eta = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{3\sigma_x}{K\delta}. \tag{18}$$

Для определения смещения уровня настройки технологического процесса используют коэффициент настроенности процесса

$$E = \frac{m_x - x_0}{\delta}. \tag{19}$$

В случае идеальной точности и настроенности процесса по (18) и (19) с учетом (17) получаем $\eta = 1$, $E = \alpha$.

Зависимость вероятного брака q от коэффициентов η точности и E настроенности процесса найдем при переходе в (15) от вероятностных характеристик m_x и σ_x к коэффициентам η и E :

$$q = 1 + F_z \left[\frac{3(1+E)}{K\eta} \right] - F_z \left[\frac{3(1-E)}{K\eta} \right]. \quad (20)$$

Вероятность того, что изделие окажется годным,

$$P = 1 - q = F_z \left[\frac{3(1-E)}{K\eta} \right] - F_z \left[\frac{3(1+E)}{K\eta} \right].$$

Для симметричных распределений в силу равенства $F(-z) = 1 - F(z)$ вместо (20) можно написать

$$q = 2 - F_z \left[\frac{3(1+E)}{K\eta} \right] - F_z \left[\frac{3(1-E)}{K\eta} \right]. \quad (21)$$

Для закона Гаусса (21) принимает вид

$$q = 1 - \Phi \left[\frac{3(1+E)}{\eta} \right] - \Phi \left[\frac{3(1-E)}{\eta} \right].$$

Если область изменения случайной величины X ограничена слева и справа ($a \leq X \leq b$), то доля брака или дефектных изделий, вышедших за границы поля допуска, определится в зависимости от взаимного расположения поля допуска 2δ и поля рассеяния 2Δ . Характерны следующие случаи расположения полей.

1. Поле рассеяния размеров находится в границах поля допуска (рис. 7, а). Этот случай имеет место при $x_0 - \delta \leq a$; $x_0 + \delta \geq a + 2l$.

Выражая эти неравенства через коэффициенты η точности и E настроенности процесса, после преобразований получим

$$\begin{aligned} \eta(1+\alpha) &\leq 1+E; \\ \eta(1-\alpha) &\leq 1-E. \end{aligned} \quad (22)$$

В этом случае брак отсутствует: $q_1 = q_2 = 0$. Практически это означает, что выбрано излишне точное оборудование и можно, по-видимому, перейти на другие, несколько менее точные, но более производительные или более экономичные технологические процессы.

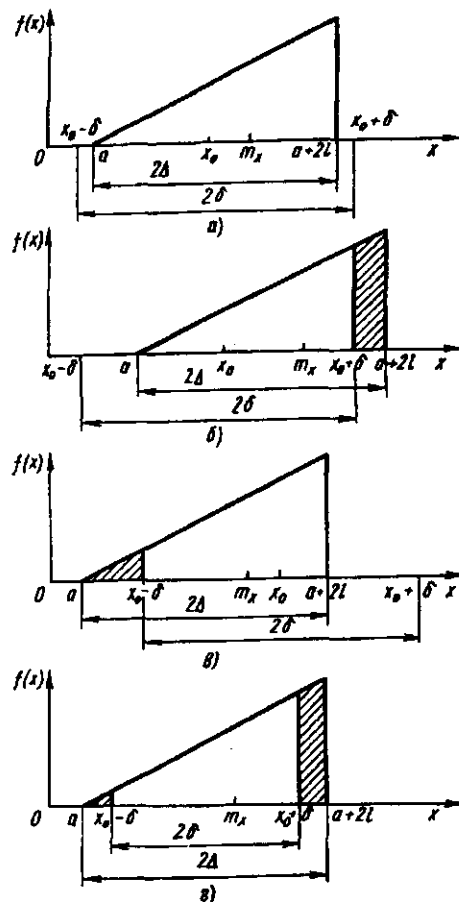


Рис. 7. Взаимное расположение поля допуска 2δ и поля рассеяния 2Δ размеров: а – поле рассеяния находится в границах поля допуска; б – поле рассеяния размеров выходит за правую границу $x_0 + \delta$ поля допуска; в – поле рассеяния выходит за левую границу $x_0 - \delta$ поля допуска; г – поле рассеяния выходит за обе границы допуска

2. Поле рассеяния размеров выходит за левую границу поля допуска; при этом $q_1 \neq 0$, $q_2 = 0$ (рис. 7, в).

При соответствующих этому случаю соотношениях η и E доля брака деталей в партии

$$q_1 = F_z \left[-\frac{3(1-E)}{K\eta} \right]. \quad (23)$$

3. Поле рассеяния размеров выходит за правую границу поля допуска; при этом $q_1 = 0$, $q_2 \neq 0$ (рис. 7, б). При этих условиях доля брака

$$q_2 = 1 - F_z \left[\frac{3(1-E)}{K\eta} \right]. \quad (24)$$

4. Поле рассеяния размеров выходит за обе границы поля допуска; при этом $q_1 \neq 0$, $q_2 \neq 0$ и одна часть деталей идет в брак исправимый, другая часть – в неисправимый (рис. 7, г).

Доля вероятного брака

$$q = 1 + F_z \left[-\frac{3(1+E)}{K\eta} \right] - F_z \left[\frac{3(1-E)}{K\eta} \right]. \quad (25)$$

В производственных условиях данный случай имеет место при низкой точности процесса. Это значит, что заданный допуск жестче, чем позволяет оборудование и технологический процесс.

5. Поле рассеяния размеров лежит вне поля допуска, т.е. $x_0 - \delta \geq a + 2l$ или $x_0 + \delta \geq a$. При этих условиях вероятность нахождения размеров в границах поля допуска равна нулю, и, следовательно, все изделия будут составлять брак ($q = 1$) при выполнении неравенств

$$\eta(1-\alpha) \leq -1-E \quad \text{или} \quad \eta(1+\alpha) \leq -1+E. \quad (26)$$

Полученные общие формулы (23) – (25) позволяют определить долю вероятного брака q по известному закону распределения и заданным его математическому ожиданию m_x и среднему квадратическому отклонению σ_x или коэффициентам η точности и E настроенности технологического процесса.

Практический интерес представляет решение обратной задачи: по заданным долям брака q_1 и q_2 определить коэффициенты η точности и E настроенности процесса обработки.

Рассмотрим случай, когда область изменения случайной величины X , подчиняющейся закону распределения $f(x)$, не является ограниченной ни слева, ни справа. Будем считать, что нам задан закон распределения $f(x)$ суммарной погрешности x , но неизвестны его параметры: среднее значение m_x и среднее квадратическое отклонение σ_x . Тогда можно написать выражения для неисправимого q_1 и исправимого q_2 брака при наружном обтачивании:

$$q_1 = F(x_0 - \delta); \quad (27)$$

$$q_2 = 1 - F(x_0 + \delta).$$

Выражая величины q_1 и q_2 через $F_z(z)$, получим

$$q_1 = F_z \left(\frac{x_0 - m_x - \delta}{\sigma_x} \right); \quad (28)$$

$$q_2 = 1 - F_z \left(\frac{x_0 - m_x + \delta}{\sigma_x} \right).$$

Вводя обозначения нижнего и верхнего квантилей, отвечающих вероятностям P_1 и P_2 , получим

$$Z_{P_1} = \frac{x_0 - m_x - \delta}{\sigma_x}; \quad (29)$$

$$Z_{P_2} = \frac{x_0 - m_x + \delta}{\sigma_x}.$$

Уравнения (28) можно записать в виде

$$F_z(Z_{P_1}) = P_1 = q_1; \quad (30)$$

$$F_z(Z_{P_2}) = P_2 = 1 - q_2.$$

Если известен нормированный интегральный закон распределения, то значения квантилей Z_{P_1} и Z_{P_2} находятся из (30).

Решив систему уравнений (29) относительно m_x и σ_x , найдем

$$\sigma_x = \frac{2\delta}{Z_{P_2} - Z_{P_1}}; \quad (31)$$

$$m_x = X_2 + \frac{Z_{P_1} + Z_{P_2}}{Z_{P_1} - Z_{P_2}}.$$

На основании (18) и (19) с учетом (31) получим выражения для определения коэффициентов точности технологического процесса

$$\eta = \frac{6}{K(Z_{P_2} - Z_{P_1})} \quad (32)$$

и его настроенности

$$E = \frac{Z_{P_1} + Z_{P_2}}{Z_{P_1} - Z_{P_2}} \quad (33)$$

Разделение погрешности обработки на систематическую и случайную составляющие. В связи с развитием систем автоматического управления точностью технологических процессов важное значение приобретает задача разделения суммарной погрешности обработки на систематическую и случайную составляющие. В зависимости от значения каждой из составляющих погрешности выбирают тот или иной метод управления.

Задача разделения систематической и случайной составляющих решается различными способами.

Рассмотрим дисперсионный метод разделения суммарной погрешности обработки, для которого разработаны критерии оценки систематической и случайной составляющих погрешности обработки.

Для условий изготовления партии деталей на настроенных станках токарного типа (автоматах, полуавтоматах) суммарный закон распределения погрешности размеров x партии деталей во всем заданном промежутке времени t (от $t = 0$ до $t = T$)

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi T}} \int_0^T \frac{1}{\sigma_x(t)} \exp\left\{-\frac{[x - m_x(t)]^2}{2\sigma_x^2(t)}\right\} dt \quad (34)$$

где $m_x(t)$ – функция, характеризующая изменение во времени систематических факторов (износ инструмента, тепловые и упругие деформации системы и т.п.); $\sigma_x(t)$ – функция, характеризующая изменение мгновенного поля рассеяния размеров, обусловленная затуплением режущего инструмента, колебаниями припуска и твердости материала заготовки и т.п.

Начальные моменты первого и второго порядков суммарной погрешности, подчиняющейся закону распределения (34), определяют по формулам

$$\alpha_1 = \frac{1}{T} \int_0^T m_x(t) dt; \quad (35)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{T} \int_0^T [m_x^2(t) + \sigma_x^2(t)] dt \quad (36)$$

Используя (35) и (36), получим выражение для дисперсии суммарной погрешности:

$$\sigma^2\{x\} = \alpha_2 - \alpha_1^2 = \frac{1}{T} \int_0^T m_x^2(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T \sigma_x^2(t) dt - \left[\frac{1}{T} \int_0^T m_x(t) dt \right]^2 \quad (37)$$

После преобразований получим окончательное выражение для дисперсии суммарной погрешности обработки

$$\sigma^2\{x\} = \sigma^2\{m_x(t)\} + \sigma^2\{\sigma_x(t)\} + M^2\{\sigma_x(t)\}, \quad (38)$$

где $\sigma^2\{m_x(t)\} = M\{m_x^2(t)\} - M^2\{m_x(t)\}$;

$$\sigma^2\{\sigma_x(t)\} = M\{\sigma_x^2(t)\} - M^2\{\sigma_x(t)\}.$$

Из (38) следует, что общая дисперсия погрешности обработки складывается из трех частей: $\sigma^2\{m_x(t)\}$, вызванной изменением функции математического ожидания $m_x(t)$, обусловленной влиянием систематических факторов; $\sigma^2\{\sigma_x(t)\}$, вызванной изменением функции среднего квадратического отклонения $\sigma_x(t)$, обусловленной влиянием случайных факторов, параметры рассеяния которых изменяются с течением времени; $M^2\{\sigma_x(t)\}$, вызванной постоянной составляющей функции $\sigma_x(t)$, обусловленной случайными факторами, параметры рассеяния которых не изменяются во времени.

Поделив обе части (38) на $\sigma^2\{x\}$, получим

$$\frac{\sigma^2\{m_x(t)\}}{\sigma_x^2} + \frac{\sigma^2\{\sigma_x(t)\}}{\sigma_x^2} + \frac{M^2\{\sigma_x(t)\}}{\sigma_x^2} = 1. \quad (39)$$

Для характеристики доли систематической составляющей, вызванной изменением функции $m_x(t)$, количественной оценки доли случайной составляющей от изменения функции $\sigma_x(t)$ и доли собственно случайной составляющей, вызванной постоянной составляющей функции $\sigma_x(t)$, в общей погрешности обработки введем следующие показатели:

$$r_m^2 = \frac{\sigma^2\{m_x(t)\}}{\sigma_x^2}; \quad (40)$$

$$r_\sigma^2 = \frac{\sigma^2\{\sigma_x(t)\}}{\sigma_x^2}; \quad (41)$$

$$r^2 = \frac{M^2\{\sigma_x(t)\}}{\sigma_x^2}. \quad (42)$$

Согласно (39) коэффициенты (40) – (42) удовлетворяют соотношению

$$r_m^2 + r_\sigma^2 + r^2 = 1. \quad (43)$$

В (43) левая часть представляет собой сумму трех положительных величин, равную единице. Следовательно, каждое слагаемое не может быть больше единицы, поэтому можно написать

$$0 \leq r_m \leq 1, \quad 0 \leq r_\sigma \leq 1, \quad 0 \leq r \leq 1. \quad (44)$$

Если $r_m = 0$, то $\sigma^2\{m(t)\} = 0$, и, следовательно, отсутствует смещение уровня настройки, обусловленное влиянием систематических факторов (рис. 8, а, в). Равенство $r_m = 0$ является количественным признаком стабильности процесса по положению центра группирования. Случай $r_m = 1$ показывает строгую функциональную зависимость систематической погрешности размеров x от времени t

(рис. 8, б). Если $r_\sigma = 0$, то $\sigma^2\{\sigma(t)\} = 0$, и отсутствует переменная составляющая функции $\sigma(t)$, обусловленная влиянием случайных факторов, параметры рассеяния которых изменяются во времени (рис. 8, а, в, г). Условие $r_\sigma = 0$ свидетельствует о стабильности процесса по рассеянию.

Если $r = 1$, то уровень настройки и поле рассеяния не изменяются во времени, т.е. $m_x(t) = m_x = \text{const}$; $\sigma_x(t) = \sigma_x = \text{const}$ (рис. 8, а). Равенство $r = 1$ является количественным признаком стабильности процесса как по рассеянию, так и по положению уровня центра группирования.

Рассмотрим пример расчета показателей r_m^2 , r_σ^2 и r^2 . Пусть уровень настройки технологического процесса изменяется по степенному закону, а мгновенное рассеяние размеров остается постоянным (рис. 9)

$$m_x(t) = m_0 + 2l_m \left(\frac{t}{T} \right)^{1/n}; \quad (45)$$

$$\sigma_x(t) = \sigma_0 = \text{const}, \quad n > 0,$$

где m_0 , σ_0 – параметры мгновенного гауссовского распределения в начальный момент времени $t = 0$; l_m – половина диапазона изменения функции $m_x(t)$.

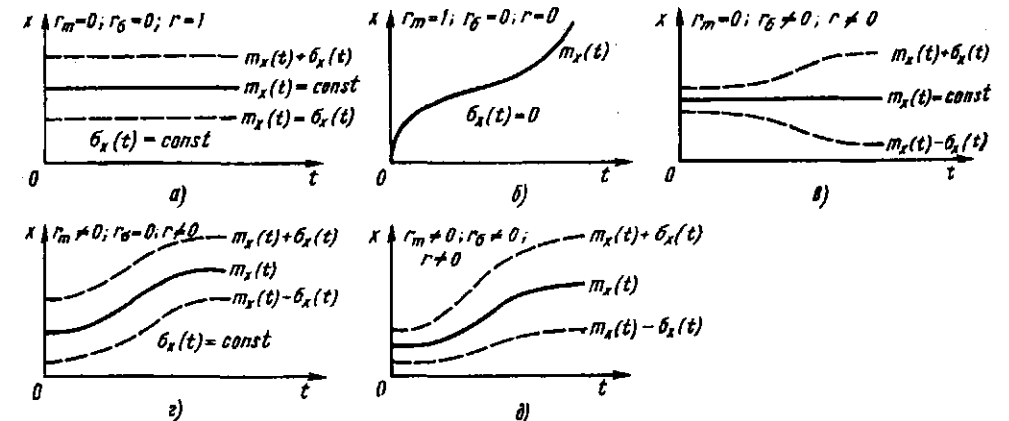


Рис. 8. Примеры изменения уровня настройки и мгновенного рассеяния во времени: а – уровень настройки и мгновенное рассеяние сохраняют постоянное значение; б – функциональная зависимость погрешности размеров от времени; в – изменение рассеяния при постоянной настройке; г – изменение уровня настройки при постоянном рассеянии; д – одновременное изменение уровня настройки и мгновенного рассеяния

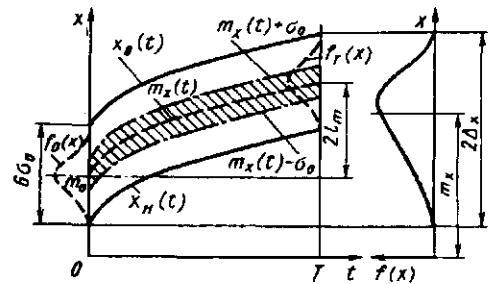


Рис. 9. График точности изготовления деталей при изменении уровня настройки по степенной зависимости и постоянному мгновенному рассеянию размеров:

$$x_x(t) = m_x(t) + 3\sigma_0; m_x(t) = m_0 + 2l_m \left(\frac{1}{T}\right)^{1/n};$$

$$x_n(t) = m_x(t) - 3\sigma_0; m_x = m_0 + 2l_m \frac{n}{n+1};$$

$$2\Delta_x = \frac{6}{K_x} \left[\sigma_0^2 + \frac{4l_m^2 n}{(n+1)^2(n+2)} \right]^{1/2}$$

Показатели систематической и случайных составляющих погрешности обработки получают следующие значения:

$$r_m^2 = \frac{4n\lambda_m^2}{4n\lambda_m^2 + (n+1)^2(n+2)};$$

$$r_\sigma^2 = 0; \tag{46}$$

$$r^2 = \frac{(n+1)^2(n+2)}{4n\lambda_m^2 + (n+1)^2(n+2)},$$

где $\lambda_m = \frac{l_m}{\sigma_0}$.

Графики семейства функций r_m^2 ($\lambda_m = \text{const}, n$), определяемых (46), показаны на рис. 10. Для этих функций характерно наличие максимума при $n = (\sqrt{5} - 1)/2 \approx 0,6$. Практически это означает, что при значении $n = (\sqrt{5} - 1)/2$ доля систематической составляющей, вызванной изменением уровня настройки, в общей погрешности обработки будет наибольшей. Отсюда следует, что для приближенных расчетов точности можно рассматривать изменение уровня настройки по линейной зависимости. В этом случае доля систематической составляющей в общей погрешности

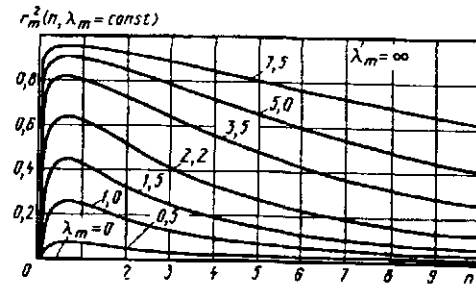


Рис. 10. Зависимость показателя r_m^2 систематической составляющей погрешности обработки от аргумента n и различных значений параметра λ_m при изменении уровня настройки по степенному закону и постоянном мгновенном рассеянии

обработки будет мало отличаться от максимального значения, по при этом выполнение точностных расчетов существенно упрощается.

Методы оценки детерминированности и нелинейности технологического процесса. Для оценки уровня точности процессов обработки используют критерии точности, настроенности, стабильности и устойчивости. Большое значение имеет также определение детерминированности и нелинейности хода технологического процесса. Показатель степени детерминированности позволяет выявить систематические погрешности, найти их долю в общей погрешности обработки, получить меру определенности процесса и исходя из этого обоснованно подойти к решению задач прогнозирования, контроля и управления точностью технологического процесса. Показатель степени нелинейности дает возможность оценить погрешность аппроксимации при замене нелинейного изменения центра настройки линейной зависимостью.

Технологический процесс можно назвать детерминированным (регулярным), если каждому значению времени t отвечает одно вполне определенное значение показателя качества изделия. Это обычная схема чисто функциональной зависимости между переменными, когда показатель качества x является некоторой функцией от времени, т.е. $x = f(t)$. Для детерминированного процесса можно точно предсказать значения показателя качества в данный или последующие моменты времени. Воздействуя на доминирующие факторы, вызывающие погрешность обработки, можно управлять точностью технологических процессов.

Для недетерминированного (нерегулярного) процесса показатель качества может принимать любые (априори неизвестно какие) значения, и их невозможно предсказать по данным значениям t , от которых они зависят. В этом случае показатель качества определяется совокупностью неконтролируемых факторов, и, следовательно, управление точностью технологического процесса невозможно.

Фактически реальные процессы не являются полностью детерминированными или нерегулярными, т.е. изменение показателя качества изделия во времени можно рассматривать как случайный (стохастический) процесс. Поэтому важно оценить количественную степень детерминированности технологического процесса.

В качестве показателя для количественной характеристики степени детерминированности технологического процесса примем величину, определяемую выражением (40):

$$r_m^2 = \frac{\sigma^2\{m_x(t)\}}{\sigma^2\{x\}}, \tag{47}$$

где $\sigma^2\{m_x(t)\}$ – дисперсия, вызванная изменением функции математического ожидания $m_x(t)$; $\sigma^2\{x\}$ – общая дисперсия погрешности партии деталей. Для детерминированного процесса $r_m^2 = 1$, а для нерегулярного $r_m^2 = 0$. Действительно, согласно определению для детерминированного процесса имеет место точная функциональная зависимость погрешности размеров от времени [т.е. $\sigma_x(t) = 0$], и, таким образом, $\sigma\{x\} = \sigma\{m_x(t)\}$. Тогда согласно (47) получим $r_m = 1$. Для нерегулярного процесса $\sigma\{m_x(t)\} = 0$ и, следовательно, $r_m = 0$.

Таким образом, показатель детерминированности может принимать значения от нуля до единицы ($0 \leq r_m \leq 1$). Чем ближе r_m к единице, тем выше степень детерминированности процесса.

Функция математического ожидания $m_x(t)$, характеризующая смещение во времени центра настройки технологического процесса, в общем случае является нелинейной. Однако в практических расчетах удобно аппроксимировать ее линейной зависимостью. При этом важно определить погрешность аппроксимации (рис. 11).

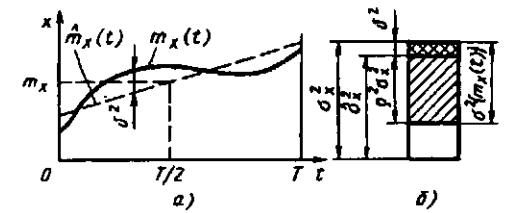


Рис. 11. Графики для определения критерия нелинейности технологического процесса

Центр настройки процесса изменяется по некоторой кривой $m_x(t)$ (рис. 11, а). Естественно считать нелинейностью кривой ее среднее квадратическое отклонение от некоторой прямой $\hat{m}_x(t)$, для которой это отклонение будет наименьшим. Тогда степень нелинейности смещения центра настройки

$$\delta^2 = M\{m_x(t) - \hat{m}_x(t)\}^2. \tag{48}$$

Преобразуя (48) и используя уравнение линии регрессии

$$\frac{\hat{m}_x(t) - m_x}{\bar{\sigma}_x} = \rho_{xt} \frac{t - m_t}{\sigma_t},$$

запишем (48) в виде

$$\delta^2 = \sigma^2\{m_x(t)\} -$$

$$- 2\rho_{xt} \frac{\sigma_x}{\sigma_t} M\{[m_x(t) - m_x][t - m_t]\} +$$

$$+ \rho_{xt}^2 \frac{\sigma_x^2}{\sigma_t^2} M\{[t - m_t]^2\}; \tag{49}$$

но

$$M\{[m_x(t) - m_x][t - m_t]\} = K_{xt} =$$

$$= \rho_{xt} \sigma_x \sigma_t; M\{[t - m_t]^2\} = \sigma_t^2.$$

Поэтому вместо (49) можно написать

$$\delta^2 = \sigma^2\{m_x(t)\} - \rho_{xt}^2 \sigma_x^2. \tag{50}$$

Эту формулу можно представить геометрически, как показано на рис. 11, б, при замене нелинейного изменения центра настройки линейной зависимостью общая дисперсия погрешности размеров σ_x^2 уменьшается на величину δ^2 и принимает значение, равное $\hat{\sigma}_x^2$.

Разделив обе части (49) на σ_x^2 , получим показатель относительной степени нелинейности технологического процесса

$$v = \frac{\delta^2}{\sigma^2} = r^2 - \rho^2, \quad (51)$$

где

$$r_m = \frac{\sigma\{m_x(t)\}}{\sigma_x}; \quad \rho = \frac{K_{xt}}{\sigma_x \sigma_t}. \quad (52)$$

В некоторых случаях удобно рассматривать показатель относительной степени нелинейности изменения центра настройки

$$\theta^2 = \frac{\delta^2}{\sigma^2\{m_x(t)\}} = \frac{v^2}{r_m^2} = 1 - \frac{\rho^2}{r_m^2}. \quad (53)$$

Показатели v и θ относительной степени нелинейности технологического процесса могут принимать значения от нуля до единицы: $0 \leq v \leq 1$; $0 \leq \theta \leq 1$.

Для линейного изменения центра настройки согласно определению $\delta = 0$ и, следовательно, $r_m^2 = \rho^2$. В этом случае, применяя (51) и (53), имеем $v = 0$, $\theta = 0$. Чем ближе v к единице, тем выше степень нелинейности технологического процесса.

В качестве примера определим степень нелинейности технологического процесса при изменении центра настройки по степенному закону и постоянном рассеянии. В этом случае функции математического ожидания $m_x(t)$ и среднего квадратического отклонения $\sigma_x(t)$ описываются (45). Для условий данного примера вычислим величины r_m и ρ , характеризующие степень нелинейности хода процесса. Величина r_m определена ранее [см. (46)]. Для нахождения показателя ρ воспользуемся (52)

$$\rho = \frac{M\{(x - m_x)(t - m_t)\}}{\sigma_x \sigma_t}. \quad (54)$$

Поскольку величина t распределена равномерно в интервале $(0, T)$, имеем

$$m_t = \frac{T}{2}; \quad \sigma_t = \frac{T}{2\sqrt{3}}. \quad (55)$$

Корреляционный момент, входящий в (54),

$$M\{(x - m_x)(t - m_t)\} = \frac{1}{T} \int_0^T t m_x(t) dt - \frac{1}{2} \int_0^T m_x(t) dt. \quad (56)$$

Подставляя (55) и (56) в (54) и учитывая

$$m_x(t) = m_0 + 2\lambda_m \sigma_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/n};$$

получим коэффициент корреляции

$$\rho = \frac{2\sqrt{3}}{T\sigma_x} \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T t \left[m_0 + 2\lambda_m \sigma_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/n} \right] dt - \frac{1}{2} \int_0^T \left[m_0 + 2\lambda_m \sigma_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/n} \right] dt \right\},$$

или принимая во внимание, что

$$\sigma_x^2 = \sigma_0^2 \left[1 + \frac{4\lambda_m^2 n}{(n+1)^2 (n+2)} \right],$$

приходим к окончательному результату

$$\rho = \frac{2\sqrt{3}\lambda_m^2 n(n+2)^{1/2}}{[4n\lambda_m^2 + (n+1)^2(n+2)]^{1/2} (2n+1)}. \quad (57)$$

Подставляя вместо ρ^2 и r_m^2 их значения из (57) и (46) в (51) и (53), получим показатели v^2 и θ^2 относительной степени нелинейности технологического процесса:

$$v^2 = \frac{4n\lambda_m^2}{4n\lambda_m^2 + (n+1)^2(n+2)} \left[1 - \frac{3(n+2)n}{(2n+1)^2} \right]; \quad (58)$$

$$\theta^2 = \frac{(n-1)^2}{(2n+1)^2}. \quad (59)$$

По формуле (59) были выполнены расчеты, результаты которых представлены на рис. 12.

Определение оптимального настроечного размера на обработку партии деталей. При изготовлении партии деталей под влиянием систематических и случайных погрешностей происходит смещение уровня настройки $m_x(t)$ и увеличение мгновенного поля рассеяния $\Delta_x(t)$ (рис. 13). Эти изменения могут

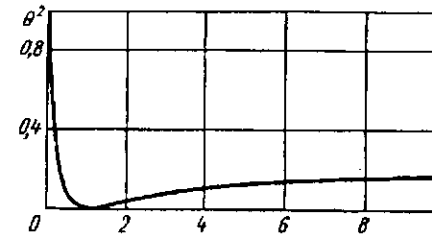


Рис. 12. Зависимость показателя θ^2 степени нелинейности процесса от параметра n , характеризующего степенной закон изменения центра настройки

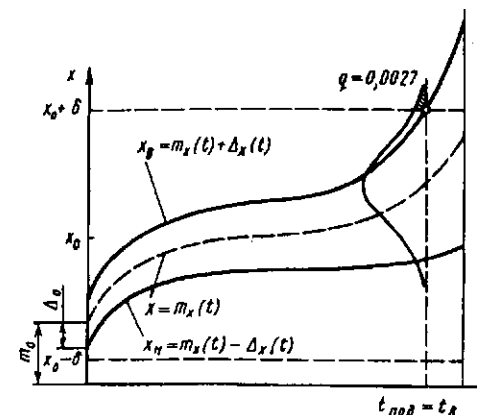


Рис. 13. График для определения периодичности подналадки $t_{\text{под}}$ технологического процесса

привести к выходу размеров деталей за границы поля допуска. С целью восстановления первоначально установленной требуемой точности процесса следует проводить подналадку технологической системы. Время между подналадками можно определить несколькими способами.

Рассмотрим определение периодичности подналадки станков по методу предельных отклонений, используемое в тех случаях, когда заданы аналитически или установлены экспериментальным путем виды функции смещения уровня настройки и изменения мгновенного рассеяния: $x = m_x(t)$, $\Delta = \Delta_x(t)$.

Так как мгновенное распределение размеров является почти всегда гауссовским, то $\Delta_x(t) = 3\sigma_x(t)$. При реализации метода предельных отклонений требуется, чтобы вид функций $m_x(t)$ и $\Delta_x(t)$ практически был одинаковым для всех партий деталей. Кроме

того, предполагается, что для момента проведения подналадки задана вероятность выхода контролируемого размера за верхнюю или нижнюю границы поля допуска $q = 0,0027$.

На основании рис. 13 верхняя и нижняя границы мгновенного поля рассеяния размеров деталей соответственно

$$x_0(t) = m_x(t) + \Delta_x(t); \quad x_n(t) = m_x(t) - \Delta_x(t).$$

Если функция $x_0(t)$ принимает значение $\geq x_0 + \delta$, то размеры деталей выходят за верхнюю границу поля допуска. В случае, когда размеры деталей выходят за нижнюю границу поля допуска, функция $x_n(t)$ принимает значения меньше $x_0 - \delta$. Таким образом, момент подналадки $t_{\text{под}}$ в общем случае равен меньшему из значений t_n и t_n : $t_{\text{под}} = \min(t_n, t_n)$, где величины t_n и t_n определяются из уравнений

$$x_0 + \delta = m_x(t_n) + \Delta_x(t_n);$$

$$x_0 - \delta = m_x(t_n) - \Delta_x(t_n).$$

Наладку станка следует выполнять таким образом, чтобы время $t_{\text{под}}$ было как можно большим, т.е. чтобы реже осуществлять подналадку технологического процесса.

Рассмотрим случай, когда смещение уровня настройки описывается степенной функцией, а мгновенное рассеяние размеров остается постоянным (рис. 14).

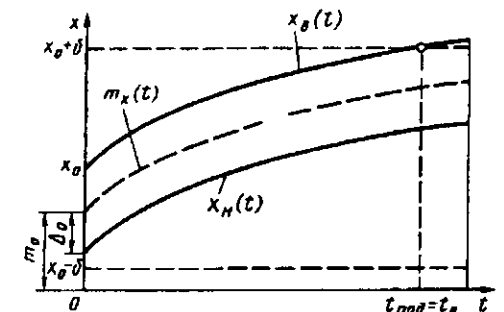


Рис. 14. График для определения периодичности подналадки $t_{\text{под}}$ технологического процесса при изменении уровня настройки по степенному закону и постоянному мгновенном рассеянии:

$$x_0(t) = m_0 + vt^{1/n} + \Delta_0; \quad x_n(t) = m_0 + vt^{1/n} - \Delta_0$$

$$m_x(t) = m_0 + vt^{1/n}; \quad \Delta_x(t) = \Delta_0 = \text{const}. \quad (60)$$

Так как в данном случае центр рассеяния смещается к верхней границе поля допуска, то время работы станка без подналадки $t_{\text{под}}$ определяется из уравнения

$$x_0 + \delta = m_0 + vt_{\text{под}}^{1/n} + \Delta_0,$$

откуда

$$t_{\text{под}} = t(m_0) = \left[\frac{1}{v} (x_0 + \delta - m_0 - \Delta_0) \right]^n. \quad (61)$$

Определим значение m_0^* , соответствующее оптимальному начальному положению уровня настройки, при котором величина t будет наибольшей. По определению $m_{01} \leq m_0 \leq m_{02}$, где

$$m_{01} = x_0 - \delta + \Delta_0; \quad m_{02} = x_0 + \delta - \Delta_0. \quad (62)$$

Непрерывная функция принимает наибольшее значение или в точках экстремума, или на концах интервала. Функция $t(m_0)$ в (61) может иметь экстремум только в точке $m_0 = m_{02}$ и равняется в этой точке нулю. Значит она принимает наибольшее значение на другом конце промежутка, в точке $m_0^* = m_{01}$.

$$t_{\text{под}}^* = t(m_{01}) = \left[\frac{2}{v} (\delta - \Delta_0) \right]^n. \quad (63)$$

Аналогичным образом можно показать, что (63) будет справедливой и в случае, если уровень настройки смещается к нижней границе поля допуска.

СУММИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИХ ВЗАИМНОМ ВЛИЯНИИ

Обычные методы суммирования элементарных погрешностей основаны на использовании принципа суперпозиции, когда действие каждой из погрешностей рассматривается независимо от других. Однако возникновение каждой из элементарных погрешностей неизбежно приводит к изменению других погрешностей. Например, погрешность базирования

окажет влияние на характер распределения припуска, что, в свою очередь, вызовет изменение погрешностей, связанных с силовым взаимодействием элементов технологической системы и т.д.

Поскольку технологическая система по сути своей является физической системой, любое состояние которой характеризуется сбалансированной совокупностью параметров взаимодействия ее элементов, то любое изменение любого из указанных параметров взаимодействия в принципе, может вызвать изменения иных параметров взаимодействия. Степень взаимного влияния погрешностей оценивается особо. При расчетах точности изготовления деталей, лимитирующая точность которых не превышает IT8 – 9, суммарная погрешность может быть оценена на основе действия принципа суперпозиции.

Вместе с тем, широко известны факты значительного взаимного влияния элементарных погрешностей при изготовлении изделий и деталей. Например, размерный износ режущего инструмента порождая соответствующую погрешность, вызывает одновременно значительный (до нескольких раз) рост составляющих сил резания, что, в свою очередь, приводит к росту погрешности, вызываемой упругими деформациями технологической системы, а также погрешности вследствие тепловых деформаций. Погрешность настройки, изменяя величину припуска, может оказать влияние на погрешности вызываемые: упругими деформациями технологической системы; тепловыми деформациями.

Взаимное влияние и взаимная обусловленность составляющих суммарной погрешности обработки проявляется не только в результатах реализации отдельной технологической операции, но и в результатах реализации технологического процесса в целом. Во многих случаях рост требований к показателям качества машины также приводит к необходимости суммирования элементарных погрешностей с учетом их взаимного влияния. В первую очередь этого требует прецизионное машиностроение.

Значение i показателя точности изделия (в частности, детали) после выполнения j -го этапа (операции) технологического процесса $(K)_j$, может быть представлено в виде:

$$(K)_j = M_j + H_j,$$

где M_j – слагаемое, характеризующее влияние на результирующее значения показателя качества (например, точности) собственно технологического метода и условий его реализации; H_j – слагаемое, характеризующее влияние на формируемый показатель качества иных, ранее сформированных, показателей качества.

M_j – слагаемое, характеризующее механизм текущей оперативной трансформации свойств изделия; H_j – слагаемое, характеризующее влияние технологической предыстории (наследственности) на формирование свойства (показателя) $(K)_j$. Приведенное выражение в самом общем виде описывает механизм трансформации и сохранения свойств изделия в процессе его изготовления.

Для деталей, уровень точности которых характеризуется точностью основного размера, соответствующей (IT3), доля наследственной составляющей в значении показателя качества не менее 40 ... 50 %. В этих условиях игнорирование наследственных связей, взаимного влияния и взаимной обусловленности погрешностей как и в отдельно взятой технологической операции, так и в сквозном процессе изготовления изделия становится недопустимым. В тех же случаях, когда точность деталей грубее IT7, соотношение слагаемых изменяется менее интенсивно, чем в случае высокой точности.

При уточненном способе суммирования необходимо исходить из следующих положений:

1. Точность (и качество вообще) детали формируется на протяжении всей ее технологической предыстории. Множество свойств (показателей качества) детали является результатом ее технологической предыстории.
2. Любое технологическое и связанное с ним воздействие на заготовку влияет на изменение всех ее свойств.
3. Изменение любого свойства влечет изменение всех остальных свойств заготовки.

Положение о взаимодействии и взаимобусловленности свойств заготовки, как объекта, превращаемого в деталь, позволяет отойти от одного из наиболее жестких принципов технологии машиностроения – принципа суперпозиции.

Механизм формирования элементарных погрешностей и суммарной погрешности механической обработки, как характеристики точности размера детали анализируют по определенной методике.

Некоторые из составляющих погрешностей обработки, например Δ_y , Δ_n , Σ_{Δ_T} , влияют как на величину погрешности размера, так и на погрешность формы, представляемую членом Σ_{Δ_Φ} . Однако разделение указанного влияния при обычном подходе весьма затруднительно. При выполнении практических расчетов для деталей, точность основных размеров которых не превышает IT7, в ряде случаев величиной Σ_{Δ_Φ} пренебрегают. Доля же каждой составляющей в суммарной погрешности обработки обычно оценивается путем составления баланса погрешностей. Например, при обработке на токарно-копировальных полуавтоматах в общем балансе суммарной погрешности на долю составляющих приходится: Δ_y – 30 %, Δ_n – 30 %, Δ_n – 15 %, Σ_{Δ_Φ} – 25 %.

Обычно отклонения формы и взаимного расположения поверхностей указывают в процентах от допуска на размер. Полезно ввести понятие уровня точности: для первого уровня отклонение формы и расположения составляют не более 60 % допуска на размер; второго – 40 %; третьего – 25 %. Таким образом, оценив влияние составляющих непосредственно на погрешность размера и оценив характер формирующей среды и уровень точности, можно определить полную величину Δ_x .

При отходе от детерминированного метода суммирования элементарных погрешностей важное значение приобретают такие составляющие, которыми пренебречь нельзя по существу. Прежде всего необходим учет динамических погрешностей обработки. Доля этих погрешностей в общем балансе точности грубее IT7 относительно невелика, но она существенно увеличивается с ужесточением допусков, а в ряде случаев прецизионной обработки становится доминирующей. Будучи составляющей погрешности формы Σ_{Δ_Φ} элементарной поверхности, динамическая погрешность не может быть в какой бы то ни было степени компенсирована за счет первичных погрешностей формы, обусловленными технологическими факторами.

В полном виде условия использования более точного суммирования должны удовлетворять следующим условиям:

1. Любое технологическое воздействие может рассматриваться как результат взаимо-

действия предмета производства, например, заготовки и технологической среды, уровней операции и процесса. Точные значения параметров, характеризующих указанное взаимодействие в любой момент времени, существуют, но не известны.

2. Погрешности, возникающие при любом технологическом воздействии, неизбежны.

3. Любое воздействие на заготовку изменяет значение формирующихся элементарных погрешностей обработки.

4. Изменение любой элементарной погрешности неизбежно влечет изменение других погрешностей, составляющих суммарную погрешность.

5. Значение любой составляющей суммарной погрешности определяется характером и условиями взаимодействия заготовки со средой уровня операции и средой уровня процесса.

Определяют значение погрешности P_j , после выполнения j -й операции

$$(P_j)_i = (P_{co})_i + (P_{cn})_i,$$

где $(P_{co})_i$ – составляющая i -й погрешности, возникающая вследствие взаимодействия с заготовкой технологической среды уровня операции j ; $(P_{cn})_i$ – составляющая i -й погрешности, возникающая вследствие взаимодействия с заготовкой технологической среды уровня процесса, проявляющаяся в операции j .

$$(P_{co})_j = (P_d)_j + (P_n)_j,$$

где $(P_d)_j$ – детерминированная составляющая погрешности $(P_{co})_j$; $(P_n)_j$ – составляющая погрешности $(P_{co})_j$, возникающая вследствие взаимного влияния различных погрешностей, возникающих при взаимодействии заготовки с технологической средой уровня операции. Тогда

$$(P_j)_i = (P_d)_i + (P_n)_i + (P_{cn})_i.$$

Значение $(P_d)_j$ определяется по общетехнологическим зависимостям. В известном смысле величина P_d тождественна величине соответствующей погрешности в традиционном расчетно-аналитическом методе определения суммарной погрешности. Считают, что значение $(P_d)_j$ является математическим ожиданием значения соответствующей погрешности. Количество рассматриваемых элементарных погрешностей не регламентируется и может быть любым, но конечным. Значение $(P_n)_j$ для i -й элементарной погрешности $(P_j)_i$ определяется:

$$(P_n)_j = \sum_{k=1}^I (a_{ik})_j (P_k)_{dj},$$

где k – индекс элементарной погрешности, $k \neq i$; I – общее число элементарных погрешностей; $(P_k)_{dj}$ – детерминированное значение погрешности P_k в операции j ; $(a_{ik})_j$ – коэффициент трансформации погрешности P_k в составляющую погрешности P_i в операции j .

Иллюстрацией последнего выражения с учетом приведенных выше зависимостей является:

$$\begin{aligned} \Delta_y &= (\Delta_y)_d + a_{\Delta_y, \epsilon} (\epsilon)_d + a_{\Delta_y, \Delta_n} (\Delta_n)_d + \\ &+ a_{\Delta_y, \Delta_n} (\Delta_n)_d + a_{\Delta_y, \Delta_\tau} (\Delta_\tau)_d; \\ \Delta_n &= a_{\Delta_n, \Delta_y} (\Delta_y)_d + a_{\Delta_n, \epsilon} (\epsilon)_d + \\ &+ a_{\Delta_n, \Delta_n} (\Delta_n)_d + a_{\Delta_n, \Delta_\tau} (\Delta_\tau)_d. \end{aligned}$$

Каждый из коэффициентов трансформации показывает степень взаимного влияния элементарных погрешностей при взаимодействии заготовки с технологической средой уровня операции. Например, коэффициент $a_{\Delta_y, \epsilon}$ показывает степень влияния погрешности ϵ на величину погрешности Δ_y .

Представленную систему удобно объединить в матричной форме:

$$[P_j]_i = [a_{ik}]_j * [P_i]_{dj},$$

где $[P_j]_i$ – матрица-столбец полных значений составляющих суммарной погрешности после выполнения операции j ; $[a_{ik}]_j$ – матрица коэффициентов трансформации; $i, k = 1 \dots I$; $[P_i]_{dj}$ – матрица-столбец детерминированных значений составляющих суммарной погрешности после выполнения операции j .

Матрица коэффициентов трансформации обладает следующими свойствами:

1. Она является квадратной.
2. Диагональные элементы матрицы равны 1 при $i = k$, $a_{ik} = 1$.
3. В общем случае она не является симметричной относительно главной диагонали: $a_{ik} \neq a_{ki}$ (прямое влияние не тождественно обратному).

4. Коэффициенты трансформации могут быть положительными (одна погрешность усиливает другую), отрицательными (происходит частичная взаимная компенсация погрешно-

стей) или равны нулю (отсутствует влияние одной погрешности на другую).

С учетом принятых обозначений матрица имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \Delta_y \\ \epsilon \\ \Delta_n \\ \Delta_\tau \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} 1 & a_{\Delta_y, \epsilon} & a_{\Delta_y, \Delta_n} & a_{\Delta_y, \Delta_\tau} \\ a_{\epsilon, \Delta_y} & 1 & a_{\epsilon, \Delta_n} & a_{\epsilon, \Delta_\tau} \\ a_{\Delta_n, \Delta_y} & a_{\Delta_n, \epsilon} & 1 & a_{\Delta_n, \Delta_\tau} \\ a_{\Delta_\tau, \Delta_y} & a_{\Delta_\tau, \epsilon} & a_{\Delta_\tau, \Delta_n} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_y \\ \epsilon \\ \Delta_n \\ \Delta_\tau \end{bmatrix}_{dj}$$

Размер матриц может быть принципиально любым. Многие элементы матрицы $[a_{ij}]$ будут равны нулю или близки нулю в результате объективного отсутствия или недостаточности влияния соответствующих погрешностей, а также полного отсутствия информации о таком влиянии, что может быть оправдано в отдельных случаях.

Значение $[P_i]_j$ также представляется в матричной форме

$$[P_i]_j = [a_{ik}]_j * [P_i]_{dj} + [b_{ik}]_j * [P_i]_{dj},$$

где $[b_{ik}]_j$ – матрица коэффициентов трансформирования погрешностей, приобретенных в предыстории детали, в составляющие погрешностей на этапе j ; $[P_i]_{dj}$ – матрица-столбец детерминированных значений погрешностей, сформированных в предыстории детали, проявляющихся на этапе (операции) j . Слагаемое $[b_{ik}]_j * [P_i]_{dj}$ характеризует влияние техно-

логической среды уровня процесса на формирование погрешностей при реализации операции j и показывает, как погрешность, сформированная на любом из предшествующих этапов предыстории (*) проявляется на этапе j . По сравнению с элементами матрицы $[a_{ik}]_j$ для элементов главной диагонали матрицы $[b_{ik}]_j$ снимается условие равенства 1.

Выражение $[P_i]_j$ наиболее полно описывает механизм формирования элементарных погрешностей с учетом сложных закономерностей трансформации и сохранения свойств деталей. Вместе с тем использование матриц в

практических расчетах требует создания не тривиальной информационной базы коэффициентов трансформации.

Случайный характер элементарных погрешностей может быть учтен при расчете суммарной погрешности также в матричной форме. При известном итоговом столбце элементарных погрешностей $[P_j]$ определяют вектор-столбец $[\lambda_i P_i]$

$$[\lambda_i P_i] = \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda_i \\ 0 \end{bmatrix} [P_i],$$

где $\begin{bmatrix} 0 \\ \lambda_i \\ 0 \end{bmatrix}$ – диагональная матрица ко-

эффициентов λ_i , зависящих от формы кривой распределения погрешности P_i ; $\lambda_{ii} \neq 0$, $\lambda_{ik} = 0$ при $i \neq k$.

Квадрат итогового значения суммарной погрешности можно представить в форме:

$$\Delta_\Sigma^2 = [\lambda_i P_i]^T * [P_i],$$

где T – символ транспонирования. Отсюда получаем значение Δ_Σ .

Значения как элементарных, так и суммарной погрешности обработки при наличии развитого информационного обеспечения могут быть с достаточной точностью определены с помощью данного математического аппарата, ориентированного на автоматизированное выполнение необходимых расчетов.

Глава 2

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Наружный слой детали, имеющий макро- и микроотклонения от идеальной геометрической формы и измененные физические и химические свойства по сравнению со свойствами основного материала, называют *поверхностным слоем* (рис. 1). Он формируется при изготовлении и эксплуатации и по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Его качество определяется совокупностью геометрических и физико-химических параметров.

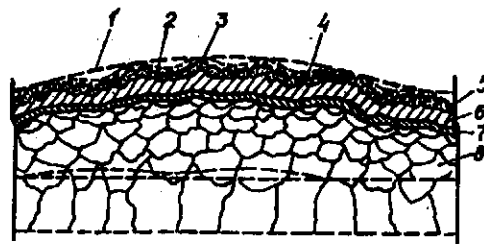


Рис. 1. Схема поверхностного слоя деталей: 1 – макроотклонение; 2 – волнистость; 3 – шероховатость; 4 – субшероховатость; 5 – адсорбированная зона; 6 – зона оксидов; 7 – граничная зона материала; 8 – зона материала с измененными физико-химическими свойствами

ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Геометрия поверхности. Геометрия реальной поверхности любой, даже тщательно обработанной детали, в значительной мере отличается от идеальной. На ней имеются макро- и микронеровности различной величины, которые значительно влияют на эксплуатационные свойства деталей и их соединений. Оценка этих неровностей производится различными методами, систематизация которых позволяет выделить теоретико-вероятностный метод и практический метод, базирующийся на условном делении неровностей поверхности на макроотклонение, волнистость, шероховатость и субшероховатость. Причем, при первом и втором методах может использоваться как па-

раметрическая, так и непараметрическая оценка. *Вероятностно-статистический метод* базируется на частотном делении неровностей, в качестве непараметрической оценки используются спектрограммы, кореллограммы, гистограммы и профилограммы всей поверхности, а параметрической – параметры этих кривых α , и β -функции, γ -распределения, частота и амплитуда f, T .

На практике деление неровностей на макроотклонения, волнистость, шероховатость и субшероховатость произошло и укрепилось исходя из их независимого формирования при обработке поверхностей, существующих средств измерения и выделения шероховатости при нормировании вначале чистоты, а затем качества поверхности. Под *шероховатостью поверхности* понимается совокупность микронеровностей высотой $10^{-2} - 10^3$ мкм с шагом меньшим базовой длины, используемой для измерения по ГОСТу.

Единая неровность поверхности по всей ее длине или ширине относится к *макроотклонению*; ее высота в зависимости от точности размеров детали изменяется от десятых долей мкм до нескольких мм. Все промежуточные неровности между шероховатостью и макроотклонениями относятся к *волнистости* поверхности, высота которой может изменяться от 10^{-2} мкм до 10^3 мкм. Микронеровности, соизмеримые с размерами кристаллической решетки и расположенные на шероховатости, относятся к *субшероховатости*.

Макроотклонение (отклонение формы) (рис. 2) характеризуется:

- H_{max} – максимальным макроотклонением, мкм;
- H_p – высотой сглаживания макроотклонения (расстояние от средней линии профиля до огибающей), мкм.

Отклонение формы нормируют значением допуска формы поверхности, существует ее взаимосвязь с допуском на размер. Волнистость (рис. 3) характеризуется:

- W_a – средним арифметическим отклонением профиля волн, мкм,

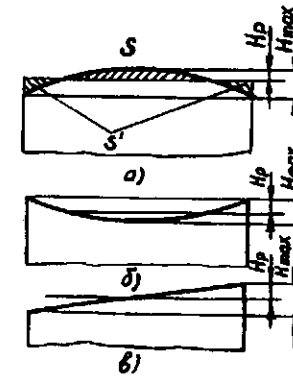


Рис. 2. Форма макроотклонения: а – выпуклая; б – вогнутая; в – непараллельная

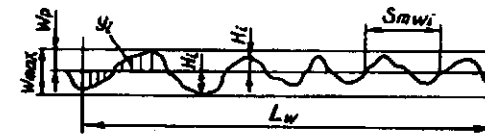


Рис. 3. Волнограмма поверхности

$$W_a = (1/l_w) \int_0^l |y_i| dx, \text{ или } W_a = \sum_{i=1}^N |y_i| / N, (1)$$

где l_w – базовая длина; y_i – текущее значение ординаты профиля волн (расстояние от точки профиля до средней линии); dx – приращение абсциссы; N – число ординат профиля;

- W_z – средней высотой волн, мкм,

$$W_z = \left(\sum_{i=1}^s H_i + \sum_{i=1}^s H'_i \right) / 5, (2)$$

где H_i и H'_i – текущее расстояние от средней линии до вершины и впадины волны соответственно;

1. Стандартизированные зарубежные параметры волнистости

Страна	Высота	Средняя высота	Максимальная высота	Средний шаг	Глубина нивелирования	Среднее арифметическое отклонение
Франция	W_t	W	W_{max}	A_w	W_p	W_a
Германия	–	W	–	A_w	–	–
Австрия	–	W	–	A_w	–	–
Япония	–	W	–	–	–	–
Великобритания	–	H_z	–	–	–	–

- W_{max} – наибольшей высотой профиля волн, мкм;
- W_p – высотой сглаживания волнистости;
- tp_w – относительной опорной длиной профиля волн, %,

$$tp_w = \sum_{i=1}^n \eta p_{wi} / l_w = \eta p_w (100/l_w), (3)$$

где ηp_w – опорная длина профиля волн на уровне сечения профиля;

- Sm_w – средним шагом волн, мм,

$$Sm_{wi} = \sum_{i=1}^n Sm_{wi} / n, (4)$$

где Sm_{wi} – текущее значение шага волн; n – число шагов;

- Rw_{cp} – средним радиусом выступов волн, мм,

$$Rw_{cp} = \sum_{i=1}^n R w_i / n, (5)$$

где $R w_i$ – текущее значение радиуса выступа; n – число выступов волн.

Волнистость поверхности до настоящего времени в России не стандартизована, поэтому на практике используют различные отраслевые нормы и рекомендации.

В соответствии с рекомендациями Института машиноведения РАН волнистость в зависимости от ее высоты подразделяют на девять классов:

Высота волны, мкм ...	1	2	4	8	16	32	64	125	250
Класс волнистости ...	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX

Зарубежные стандартизованные параметры волнистости приведены в табл. 1.

Шероховатость (рис. 4) характеризуют следующие параметры по ГОСТ 2789-73:

- среднее арифметическое отклонение профиля, мкм,

$$Ra = (1/l) \int_0^l |y_i| dx \text{ или } Ra = \sum_{i=1}^N y_i / N, \quad (6)$$

где l – базовая длина; y_i – текущая величина ординаты профиля шероховатости; N – число рассматриваемых ординат профиля шероховатости;

- высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм,

$$Rz = \left(\sum_{i=1}^5 h_i + \sum_{i=1}^5 h'_i \right) / 5, \quad (7)$$

где h_i – высота i -го наибольшего выступа профиля; h'_i – глубина i -й наибольшей впадины профиля;

- наибольшая высота профиля R_{max} , мкм;
- средний шаг неровностей профиля, мм,

$$Sm = \sum_{i=1}^N Sm_i / n, \quad (8)$$

где Sm_i – значение i -го шага неровностей по средней линии в пределах базовой длины;

- средний шаг местных выступов профиля, мм,

$$S = \sum_{i=1}^N S_i / n, \quad (9)$$

где S_i – значение i -го шага по вершинам местных выступов;

- относительная опорная длина профиля, %,

$$tp = \sum_{i=1}^n \eta p_i / l = \eta p \cdot 100 / l, \quad (10)$$

где ηp – опорная длина профиля на уровне p .

Нестандартизованные параметры шероховатости:

- Rq – среднее квадратическое отклонение профиля,

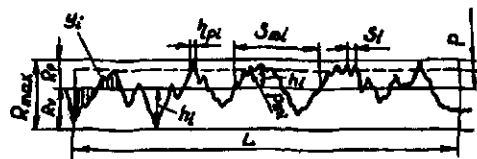


Рис. 4. Профилограмма шероховатости поверхности

$$Rq = \sqrt{(1/l) \int_0^l y_i^2 dx} \text{ или } Rq = \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2 / n}, \quad (11)$$

- Rp и Rv – высота и глубина сглаживания профиля шероховатости, мкм;

- kp – коэффициент заполнения профиля;

- v и b – параметры начального участка кривой относительных длин профиля;

$$\eta p = b(p/100)^v, \quad (12)$$

- ρm – средний радиус выступов профиля, мкм (рис. 5);

$$\rho m = \sum_{i=1}^n \rho m_i / n, \quad (13)$$

где ρm_i – радиус i -го выступа профиля шероховатости;

ρ – средний радиус местного выступа профиля шероховатости, мкм, (рис. 5).

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i / n, \quad (14)$$

где ρ_i – радиус i -го местного выступа профиля;

- β – средний угол профиля шероховатости (рис. 5),

$$\beta = \sum_{i=1}^n \beta_i / n, \quad (15)$$

где β_i – угол наклона i -го выступа профиля;

- Δ – безразмерный комплекс Крагельско-Комбалова:

$$\Delta = R \max / (\rho m b^{1/v}) \text{ или } \Delta = (100/tp)^{1/v} Rp / \rho m. \quad (15)$$

В табл. 2 приведены параметры шероховатости, стандартизованные в разных странах.

Для оценки шероховатости поверхности с регулярным микрорельефом можно использовать приведенные выше параметры или параметры по ГОСТ 24773-81.



Рис. 5. Выступ профиля шероховатости

2. Стандартизованные параметры шероховатости* в разных странах

Страна	Ra	Rp	Rm	RMS	Rz	Rmax	R	It	tp	Ar	Sm	S	kp	k	Число параметров
Австралия	+		+	R _s		R _t		L _t	+					+	7
Болгария	+				+	+									3
Великобритания	CLA						H ₁								2
Венгрия	+	R _t	R _f	h _q	+	+			+				kh		10
Дания	+	R _u	+	+	+	+	+	Bb	Kb				+	+	10
Испания	hm			h _{rms}			H						kv	kp	7
Италия	+						+								7
Нидерланды	+														1
Польша	+					+	+								3
Румыния	+					+	+								3
Россия	+				+	+			+		+	+			6
Югославия	+				+	+		In	Pn	k					6
США	AA			+		+									2
Финляндия	+				+	+									3
Франция	+	+		R _q		+	R _v	L _c	T _c	Av			+	kv	10
Германия	+	+			+	R _f		+	+						6
Чехия	+				+	+									3
Швеция	+	G				+	H								3
Швейцария	+	+				+	R _v , R _s	t	tc				+	kv	10
Япония	+														1
ISO	+				+	+									3

* Знак "+" означает стандартизованные, пустые графы – нестандартизованные параметры.

Физико-химическое состояние поверхностного слоя деталей. Силовые и температурные воздействия на поверхность детали при изготовлении и эксплуатации приводят к изменению физических свойств материала в поверхностном слое. Атомы, которые находятся у поверхности, имеют односторонние связи, поэтому обладают нестабильным состоянием. Поверхность детали обладает повышенной химической активностью и адсорбирует атомы элементов окружающей среды, как при обработке, так и при эксплуатации.

Все это влечет изменение физико-химического состояния поверхностного слоя материала детали, которое может быть характеризовано упрочнением, остаточными напряжениями, структурно-фазовым состоянием и химическим составом.

Для оценки упрочнения, как правило, используют параметры:

• степень U_n , глубина h_n и градиент $U_{гр}$ наклепа

$$U_n = \frac{H_{\mu_{\max}} - H_{\mu_{\text{исх}}}}{H_{\mu_{\text{исх}}}} 100 \%, \quad (16)$$

$$U_{гр} = \frac{H_{\mu_{\max}} - H_{\mu_{\text{исх}}}}{h_n}, \quad (17)$$

где $H_{\mu_{\max}}$ – максимальная поверхностная микротвердость; $H_{\mu_{\text{исх}}}$ – исходная микротвердость материала.

Пластическое деформирование определяется степенью пластической деформации по глубине поверхностного слоя ϵ и микродеформацией решетки.

Напряженное состояние поверхностного слоя характеризуется остаточными напряжениями $\pm \sigma_{\text{ост}}$, глубиной их залегания h_σ и законом распределения.

Эти напряжения по протяженности силового поля подразделяются на напряжения:

I рода (макронапряжения), охватывают макрообъемы, соизмеримые с размерами детали ($\sigma'_{\text{ост}}$);

II рода (микронапряжения), распространяются в микрообъемах отдельных зерен, блоков и их групп ($\sigma''_{\text{ост}}$);

III рода, локализируются в субмикрообъемах, линейный размер которых соизмерим по величине с межатомным расстоянием ($\sigma'''_{\text{ост}}$).

Макронапряжения в детали возникают в результате воздействия различных технологических процессов при ее изготовлении.

Остаточные поверхностные микронапряжения обусловлены наличием в поверхностном слое дислокаций, дислокационных стенок (границ блоков и ячеек), дефектов упаковки и других дефектов, вызывающих деформацию и напряжения, которые убывают с увеличением расстояния r медленнее, чем с $r^{5/2}$. Кроме того, микронапряжения появляются в результате взаимодействия зерен между собой. Различие в степени деформации соседних зерен приводит к появлению в них микронапряжений.

При изменении температуры макронапряжения появляются вследствие наличия в материале различных фаз, имеющих разные коэффициенты линейного расширения α , а также вследствие анизотропии физических свойств отдельных зерен, обуславливающей различия в величине α разных кристаллографических направлений.

Точечный дефект вызывает упругую деформацию $\epsilon \sim r^{-3}$. Таким образом, на границе зерна (блока) деформация и напряжение от малого дефекта имеют конечную величину, пропорциональную R^{-3} (R – размер зерна или блока). В то же время величина статических смещений атомов из узлов решетки, обусловленных точечным дефектом, быстро убывает с ростом r . Вызванные им статические искажения значительны лишь на расстояниях, соизмеримых с межатомными. Статические искажения решетки (напряжения III рода) в непосредственной близости от дефекта уже нельзя определить в рамках механики сплошных сред. Напряжения III рода можно характеризовать средне-квадратическим статическим смещением атомов из узлов решетки.

Для оценки структурно-фазового состояния поверхностного слоя деталей используются следующие параметры:

• размер (l_z), форма и распределение зерен по слою и кристаллографическая их ориентация;

• размер и форма блоков l_b ;

• угол разориентации блоков α_b ;

• размер областей когерентного рассеивания $\langle D \rangle$;

• среднее квадратичное смещение атомов из узлов решетки, вызванное тепловыми колебаниями $\langle U_T^2 \rangle$;

• статические искажения $\langle U \rangle$;

• плотность дислокации ρ_D ,

$$\rho_D = \frac{L}{V}, \quad (18)$$

где L – суммарная длина дислокационных линий в объеме V ;

• концентрация вакансий C_V

$$C_V = \frac{n_V}{n}, \quad (19)$$

где n_V и n – число вакансий и атомов в данном объеме;

• число, концентрация и распределение фаз;

• тип кристаллической структуры фаз (MS);

• параметры решетки фаз (a , b , c) или (α , β , γ).

Физическое состояние поверхности связывают с экзотермической эмиссией. Под экзотермической эмиссией понимают явление нестационарной электронной эмиссии с поверхности твердого тела, находящейся в возбужденном состоянии, при внешнем тепловом или световом стимулирующем воздействии с энергией ниже порога возникновения стационарных эмиссионных эффектов. Для оценки экзотермической эмиссии используются параметры:

• интенсивность эмиссии (I);

• работа выхода электронов (ϕ);

• глубина выхода электронов (Λ).

Химсостав поверхностного слоя деталей может значительно отличаться от химсостава материала, что объясняется адсорбцией и абсорбцией химических элементов окружающей среды в поверхность детали. Причем, может происходить как химабсорбция, так и физическая адсорбция, которая является неактивированной и обратимой.

Для оценки химсостава поверхностного слоя деталей используются параметры:

• профиль концентрации элементов в поверхностном слое ($C(x)$);

• концентрация элементов в фазах (C_f).

Комплексная оценка качества поверхностного слоя деталей. Для оценки несущей способности контактирующей поверхности могут быть использованы параметры: шероховатости Ra и tr или Rp ; волнистости Wr , макроотклонения Hr . Непараметрический подход также позволяет комплексно оценить несущую

способность шероховатости или волнистости поверхности.

В последние годы начинают применять так называемые комплексные параметры, математически или физически объединяющие сразу несколько отдельных параметров.

Одним из первых среди них является комплексный параметр Крагельского-Комбалова для оценки шероховатости поверхностей трения, математически объединяющие отдельные ее параметры: R_{\max} , ρ_m , b и v :

$$\Delta = \frac{R_{\max}}{\rho_m b^{v_v}}, \quad (20)$$

Преобразование параметра позволило получить зависимость, которая объясняет его физическую сущность, как параметра, определяющего несущую способность профиля шероховатости:

$$\Delta = (100 / tr)^{v_v} Rp / \rho_m. \quad (21)$$

Из формулы (21) видно, что чем меньше Δ , тем выше несущая способность шероховатости.

Для поверхностей деталей, работающих на усталостную прочность, шероховатость определяет коэффициент концентрации напряжений α_σ , который после соответствующих преобразований принимает вид:

$$\alpha_\sigma = 1 + \frac{140}{tmSm} (R_{\max} - \sqrt{R_{\max} - Rp}). \quad (22)$$

Вторая составляющая данного уравнения может быть предложена в качестве комплексного параметра для оценки качества поверхностей, работающих на усталостную прочность,

$$C_V = \frac{140}{tmSm} (R_{\max} - \sqrt{R_{\max} - Rp}). \quad (23)$$

Для оценки несущей способности поверхности или ее контактной жесткости установлен комплексный параметр, объединяющий шероховатость, волнистость, макроотклонение и степень наклепа поверхностного слоя:

$$\Pi = \left(\frac{Rp^v Wr^2 Hp^2}{u_H} \right)^{\frac{1}{v+4}}. \quad (24)$$

Для комплексной оценки качества поверхностей трения используется параметр, который наряду с вышеперечисленными характеристиками, включает и поверхностные остаточные напряжения II-го рода:

$$Cx = \frac{(RaWzH \max)^{1/3}}{im^{3/2} Sm u_H^{2/3} \lambda}, \quad (25)$$

где λ – коэффициент, учитывающий влияние поверхностных остаточных напряжений II-го рода на износ.

$$\lambda = \left(\frac{\sigma_a - \sigma_{ост}}{\sigma_a} \right)^{1/2}, \quad (26)$$

где σ_a – временное сопротивление разрушению; σ_a – действующее значение амплитудного напряжения на поверхности трения; t_y – параметр фрикционной усталости при упругом контакте.

Качество поверхностного слоя деталей, образующих герметичные соединения, характеризуется комплексным параметром, определяющим приведенный воздушный зазор от одной поверхности под нагрузкой:

$$Cy = Hp + Wp + Rp - \frac{(RaWz)^{0.5}}{(H\mu \max)^{0.25}} \times \left(1 + 2\pi \frac{1 - \mu_{п}}{E_{п} Ra} H\mu \max Sm \right), \quad (27)$$

где $\mu_{п}$ и $E_{п}$ – коэффициент Пуассона и модуль упругости поверхностного слоя. Комплексный параметр качества поверхностного слоя для оценки коррозионной стойкости деталей имеет вид:

$$Ck = (1,1U_H^4 + 4U_H^3 + 4,1U_H^2) \times \left(28 \cdot 10^6 \frac{Rv}{im^2 Sm^2} \right)^{2/3}, \quad (28)$$

где Rv – глубина сглаживания профиля шероховатости (расстояние от линии впадин до средней линии).

ВЫБОР И НАЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Выбор параметров качества поверхностей деталей – одна из основных проектных оптимизационных задач конструктора, определяющая надежность и долговечность изделий. Определение численных значений параметров может быть осуществлено расчетно-аналитическим, экспериментальным и опытно-статистическим

(табличным) методами исходя из их функционального назначения.

Выбор параметров качества поверхностей деталей. Анализ расчетов эксплуатационных свойств деталей и их соединений показывает, что они зависят от систем параметров качества их рабочих поверхностей: макроотклонений – $H\max$, H_p ; волнистости – Wz , Wp , Sm_w , шероховатости – Ra , Rz , $R\max$, Rp , Sm , S , tp ; субшероховатости – $R'a$, $S'm$; физико-химических свойств – $\sigma_{ост}$, $h_{сг}$, $H_{\mu 0}(u_H)$, ϵ , h_n ,

l_s , ρ_D (табл. 3).

Учитывая, что из характеристик качества поверхностного слоя стандартизирована только шероховатость, в табл. 4 приведены параметры, рекомендуемые для простановки на рабочих чертежах деталей.

Определение значений параметров качества поверхностного слоя деталей машин. Структурная схема решения задачи по определению параметров качества поверхностного слоя деталей машин, исходя из их функционального назначения, представлена на рис. 6.

На основе совместного анализа условий функционирования (блок 1) и технических условий на изделие (блок 2) определяют эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений, лимитирующие надежность и точность узлов и машин в целом (блок 3). Например, если суммарное сближение сопрягаемых поверхностей под нагрузкой при трении скольжении не должно превышать 20 мкм, а контактное сближение поверхностных слоев сопрягаемых деталей не должен превышать 15 мкм. Зная срок службы машины, обусловленный ее моральным старением, или экономически целесообразный период замены узла, определяют фактическое время его работы или общий путь трения L за этот период и рассчитывают интенсивность изнашивания $I = 14 \dots 15/L$. Аналогичные расчеты выполняют для остальных деталей и соединений. Следует отметить, что переход от блока 1 и 2 к блоку 3 является неформализованным, т.е. не поддается алгоритмизации. Это означает, что на данном этапе проектирования весьма важными факторами являются имеющиеся статистические данные по эксплуатации прототипов проектируемых узлов или машин, а также опыт конструкторов.

3. Параметры, определяющие эксплуатационные свойства деталей и их соединений

Эксплуатационные свойства	Свойства материалов				Размер и его точность	Параметры состояния поверхностного слоя																			
	σ_r	σ_s	E	HB		$d_{\mu 0}$	T	$H\max$	H_p	Wz	Wp	Sm_w	Ra, Rz	$R\max$	Rp	tp	Sm	S	$\sigma_{ост}$	$h_{сг}$	$H_{\mu 0}$	h_n	ϵ	l_s	ρ_D
Контактная жесткость:	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Первое нагружение	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Повторное нагружение	+	0	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Коэффициент трения	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Износостойкость	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Герметичность соединений	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прочность посадок	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Прочность деталей	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Усталостная прочность	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Коррозионная стойкость	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Поверхностная теплопроводность	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Термостойкость	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Обозначения "+", "0" и "-" означают соответственно, что увеличение или уменьшение этих параметров вызывает улучшение или ухудшение данного эксплуатационного свойства; "+" – параметр оказывает основное влияние на данное эксплуатационное свойство; "0" – параметр не оказывает влияния на данное эксплуатационное свойство.

4. Рекомендуемые параметры рабочих поверхностей деталей машин

Эксплуатационные свойства	Параметры шероховатости рабочих поверхностей	Направление неровностей
Контактная жесткость	$Ra, Sm, tp (Rp)^*$	Направление неровностей (, ⊥)
Износостойкость	$Ra, Sm, tp (Rp)$	
Прочность	R_{max}, Sm	
Усталостная прочность	R_{max}, Sm	
Контактная прочность	$Ra, Sm, tp (Rp)$	
Фреттингостойкость	$Ra, Sm, tp (Rp)$	
Виброустойчивость	$Ra, Sm, tp (Rp)$	
Коррозионная стойкость	Ra, Sm, S	
Прочность сцепления покрытий	Ra, Sm	
Герметичность соединений	$Ra, Sm, tp (Rp)$	
Прочность посадок	$Ra, tp (Rp)$	
Теплопроводность	$Ra, Sm, tp (Rp)$	

Примечания. 1. Rp - нестандартизованный параметр шероховатости, оказывающий основное влияние на эксплуатационное свойство; 2. || и ⊥ - параллельное и перпендикулярное расположения следов обработки относительно изображенной проекции на чертеже.

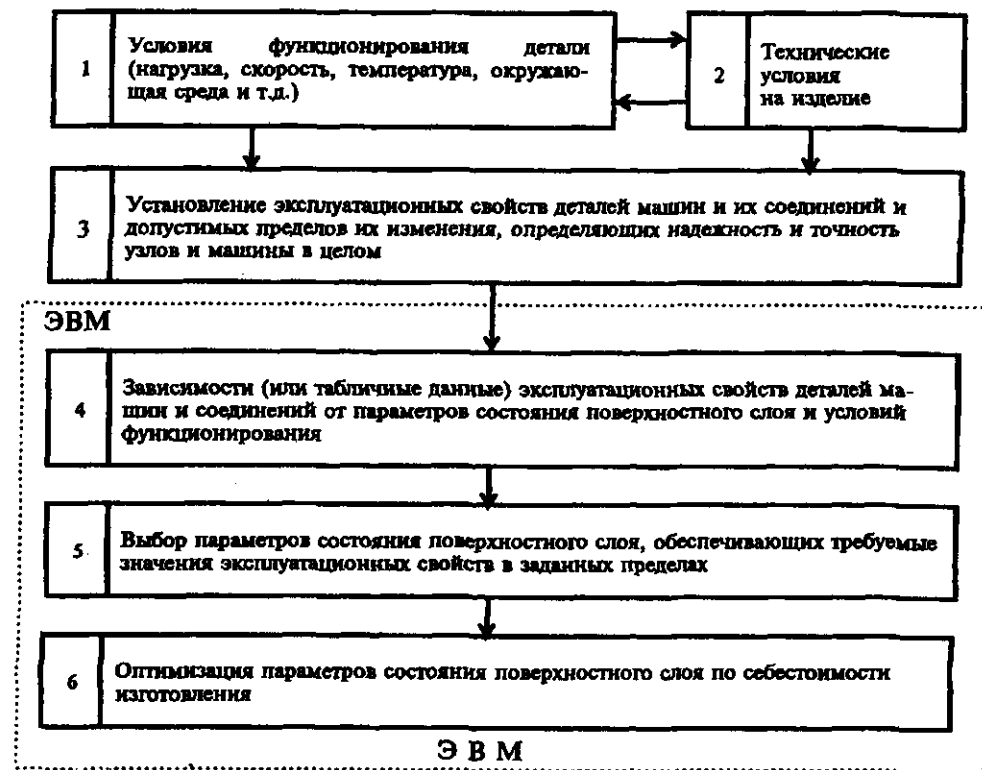


Рис. 6. Структурная схема выбора конструктором параметров состояния рабочих поверхностей деталей

После того как определены требуемые значения эксплуатационных свойств проектируемых соединений, осуществляют поиск соответствующих зависимостей или табличных данных, которые характеризуют количественную взаимосвязь между данными эксплуатационными свойствами и параметрами состояния рабочих поверхностей (блок 4).

В блоке 5 можно решать разные задачи: 1) при известных размерах детали, обусловленных конструктивными соображениями, выбирают материал, точность размеров и параметры состояния поверхностного слоя; 2) при заданном материале детали определяют размеры, их точность и параметры состояния поверхностного слоя; 3) при известных размерах и материале детали определяют их точность и параметры состояния поверхностного слоя; 4) при известном материале, размерах и точности детали определяют параметры состояния поверхностного слоя.

При решении этих задач сталкиваются с рядом ограничений. Так, физико-механические свойства материалов определяются наличием соответствующих марок, точность размеров и параметры состояния поверхностного слоя - технологическими возможностями, т.е. накладываются технические ограничения:

$$\sigma_{T \min} \leq \sigma_T \leq \sigma_{T \max};$$

$$T_{\min} \leq T \leq T_{\max}; \quad (29)$$

$$Ra_{\min} \leq Ra \leq Ra_{\max}.$$

Некоторые из этих ограничений взаимосвязаны. Так, физико-химическое состояние поверхностного слоя деталей в значительной мере определяется физико-механическими свойствами материала, точность размеров - состоянием поверхностного слоя.

Решение всех этих задач многовариантно, поэтому в блоке 6 осуществляют поиск оптимального варианта, как правило, по себестоимости изготовления детали. При этом на основе анализа задач блока 5 определяют векторы постоянных параметров и независимых оптимизирующих параметров:

$$K = (\sigma_T, E, d \dots); \quad (30)$$

$$X = (Ra, tp, Wz, H_{\mu 0}). \quad (31)$$

Итак, решение задачи конструктора, начиная с блока 4, является в достаточной степени формализованным, т.е. может быть алгоритмизировано и реализовано на ЭВМ. При этом система уравнений характеристик эксплуатационных свойств, технических ограничений, постоянных и оптимизируемых параметров является исходной для разработки алгоритма в блоках 5 и 6. При реализации этого алгоритма может быть использован метод "ЛП-поиска", отличающийся большей простотой, чем другие.

Структурная схема оптимизационного алгоритма по расчету параметров состояния поверхностного слоя деталей машин по одному из эксплуатационных свойств приведена на рис. 7. В данном алгоритме генерацию случайных значений независимых переменных осуществляют с учетом ограничений. Далее выполняют расчет характеристики эксплуатационного свойства, а результат расчета сравнивают с предыдущим значением; запоминают значение характеристики эксплуатационного свойства, наиболее близкое к требуемому, а также значения параметров состояния поверхностного слоя деталей, при которых они получены. При этом одно и то же значение характеристики эксплуатационного свойства может быть получено при различных многовариантных сочетаниях параметров качества поверхностного слоя деталей. Поэтому появляется необходимость ввести оптимизационный алгоритм. Следует отметить, что задача конструктора значительно облегчается при использовании комплексных параметров для оценки состояния поверхностного слоя деталей машин, в частности, Π и S_x . После выбора метода вычислений составляют программу расчета по структурной схеме на одном из алгоритмических языков.

При экспериментальном методе проводят исследования того или иного эксплуатационного свойства при различных параметрах качества поверхностного слоя образцов. Параметры, обеспечивающие требуемое значение эксплуатационного свойства, являются оптимальными. При табличном методе численные значения параметров качества поверхностного слоя деталей машин, как правило, определяют статистическим методом, берутся из таблиц. Так, в табл. 5 приведены оптимальные значения стандартизованных параметров шероховатости поверхностей различных деталей машин, рекомендуемые для простановки на рабочих чертежах.

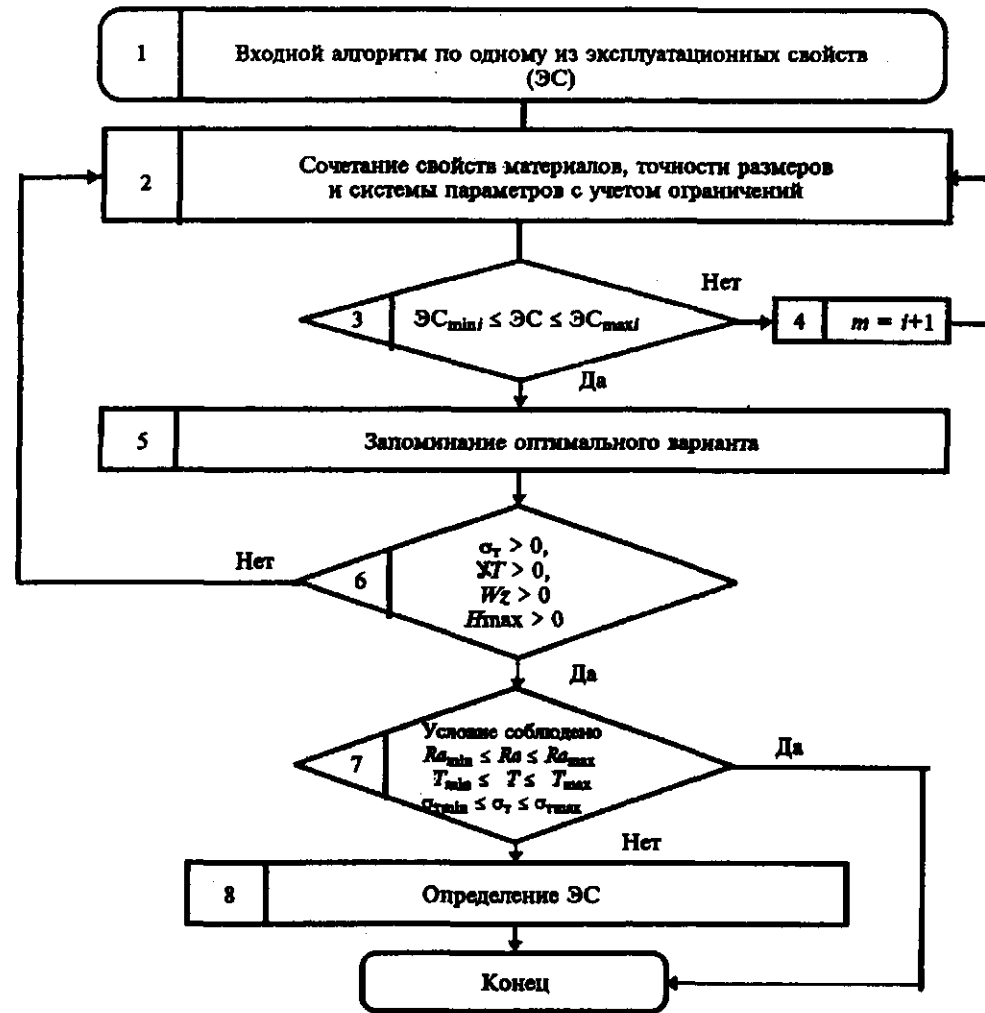


Рис. 7. Структурная схема оптимизационного алгоритма по определению параметров качества рабочих поверхностей деталей

5. Оптимальные значения параметров шероховатости поверхностей деталей

Поверхности деталей	Ra	Rz	R_{max}	S_m , мм	t_{50} , %
	мкм				
Опорные шейки валов:					
под подшипники скольжения	0,2 – 0,5	–	–	0,032 – 0,05	45 – 70
под вкладыши из бронзы	0,32 – 0,63	–	–	0,032 – 0,06	45 – 70
под баббитовые вкладыши	0,20 – 0,32	–	–	0,020 – 0,032	45 – 70
под вкладыши из чугуна	0,32 – 0,5	–	–	0,032 – 0,05	65 – 70
под вкладыши из графитопласта	0,32 – 0,4	–	–	0,025 – 0,04	50 – 70
под подшипники качения	0,63 – 2,0	–	–	0,040 – 0,06	45 – 70

Продолжение табл. 5

Поверхности деталей	Ra	Rz	R_{max}	S_m , мм	t_{50} , %
	мкм				
Рабочие поверхности шариковых и роликовых подшипников	0,08 – 1,0	–	–	0,020–0,032	45–50
Поверхности, обеспечивающие избирательный перенос	0,25 – 0,50	–	–	0,025–0,04	45–50
Поверхности валов, работающих под нагрузкой	–	–	0,63 – 1,25	0,060 – 0,10	–
Напыленные поверхности трения скольжения	0,08 – 0,10	–	–	0,020 – 0,04	45 – 50
Поверхности:					
под напыление	–	50 – 125	–	0,200 – 0,50	–
под электрохимические покрытия	–	1,0 – 4,0	–	0,025 – 0,080	–
Свободные несопрягаемые торцы валов, фланцев, крышек	–	15 – 100	–	–	–
Опорные поверхности корпусов, кронштейнов, шкивов и других деталей, не являющихся посадочными	–	12 – 30	–	–	–
Поверхности посадочных отверстий зубчатых колес	0,50 – 2,0	–	–	–	–
Шейки и кулачки распределительных валов	0,25 – 0,40	–	–	0,05 – 0,08	50 – 60
Поверхности плунжерных пар	0,08 – 0,12	–	–	0,02 – 0,032	45 – 50
Поверхности отверстий рычагов, вилок, сопрягаемых с валами или осями	0,63 – 1,25	–	–	–	–
Корродирующие поверхности	0,063 – 0,1	–	–	0,032 – 0,05	–
Поверхности под склеивание	–	15 – 20	–	–	–
Поверхности, соединяемые с натягом	0,5 – 2,5	–	–	0,032 – 0,15	45 – 50
Посадочные конические поверхности гидропередат	0,8 – 1,2	–	–	0,04 – 0,10	45 – 50
Боковые поверхности:					
зубьев колес	0,40 – 1,25	–	–	–	–
ниток червяков	0,25 – 0,4	–	–	0,032 – 0,06	45 – 60
Поверхности основания отверстий корпусов:					
стальных	0,63 – 1,6	–	–	–	–
чугунных	1,0 – 2,0	–	–	–	–
из алюминиевого сплава	0,5 – 1,2	–	–	–	–
Сопрягаемые поверхности корпусов и крышек	–	10 – 60	–	–	–
Поверхности зеркала цилиндра	0,2 – 0,63	–	–	0,04 – 0,08	45 – 50

Продолжение табл. 5

Поверхности деталей	<i>Ra</i>	<i>Rz</i>	<i>Rmax</i>	<i>Sm</i> , мм	<i>t</i> ₅₀ , %
	мкм				
Образующая поверхность поршневого кольца	0,63 – 1,25	–	–	0,03 – 0,06	45 – 50
Торцовая поверхность кольца	0,25 – 0,63	–	–	0,03 – 0,06	45 – 50
Юбка поршня	0,63 – 1,25	–	–	–	–
Канавка в поршне	0,2 – 0,63	–	–	0,03 – 0,08	45 – 50
Поверхность отверстия в поршне под палец	0,3 – 0,5	–	–	0,03 – 0,05	45 – 50
Наружная поверхность поршневого кольца	0,1 – 0,3	–	–	0,02 – 0,04	45 – 50
Отверстия в головках шатуна:					
малое	0,5 – 1,25	–	–	–	45 – 50
большое	0,6 – 1,0	–	–	–	45 – 50
Втулка шатуна	0,25 – 0,6	–	–	0,03 – 0,06	45 – 50
Рабочая поверхность тормозного барабана автомобиля	–	20 – 30	–	0,20 – 0,40	45 – 50
Рабочая поверхность проушины колодки переднего тормоза автомобиля	1,2 – 1,6	–	–	–	–
Рабочая поверхность фланцев под уплотнения	0,4 – 0,8	–	–	0,08 – 0,15	70 – 80
Поверхность канавки каретки включения передач	1,23 – 2,5	–	–	–	–
Рабочая поверхность пальцев крестовины дифференциала заднего моста автомобиля	0,5 – 0,8	–	–	0,03 – 0,06	45 – 50
Поверхности под уплотнение полуоси заднего моста автомобиля	0,5 – 0,8	–	–	0,08 – 0,15	70 – 80
Рабочая поверхность гнезда турбины под лопатку	0,5 ± 20 %	–	–	0,02 – 0,05	–
Поверхности лопаток турбины и компрессора:					
замка	1,0 – 1,25	–	–	0,08 – 0,10	45 – 50
пера лопатки	0,63 – 1,25	–	–	0,04 – 0,10	45 – 50
Рабочие поверхности деталей тележки рефрижераторной секции:					
оси	0,63 – 1,25	–	–	–	65 – 70
подпятника	1,25 – 2,5	–	–	–	–
втулки	1,8 – 2,0	–	–	–	–
валика	–	15 ± 2	–	–	–
Поверхность трения подвески вагона	–	15 ± 2	–	–	–

Продолжение табл. 5

Поверхности деталей	<i>Ra</i>	<i>Rz</i>	<i>Rmax</i>	<i>Sm</i> , мм	<i>t</i> ₅₀ , %
	мкм				
Поверхность трения балки вагона	1,0 – 2,5	–	–	0,03 – 0,08	60 ± 5 %
Рабочая поверхность рамы вагона	0,32 – 0,63	–	–	–	–
Рабочая поверхность оси колесной пары	0,63 – 1,25	–	–	–	45 – 50
Посадочная поверхность отверстия колеса	0,63 – 1,25	–	–	–	45 – 50
Поверхности направляющих трения скольжения станков:					
универсальных	0,5 – 0,8	–	–	0,04 – 0,06	45 – 50
прецизионных	0,1 – 0,15	–	–	0,02 – 0,03	45 – 50
тяжелых	1,25 – 2,0	–	–	–	–
Поверхности направляющих качения	0,12 – 0,16	–	–	0,02 – 0,03	45 – 50
Рабочие поверхности матриц и пуансонов вырубных штампов	0,32 – 2,0	–	–	0,12 – 0,32	45 – 50
Поверхности заготовительных ручьев ковочных штампов	–	50 – 200	–	–	–
Поверхности окончательных ручьев ковочных штампов	–	20 – 100	–	–	–

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КАЧЕСТВА

Проблема технологического обеспечения заданного эксплуатационного свойства может быть решена непосредственно путем установления его функциональной взаимосвязи с условиями обработки детали или обеспечением назначенных параметров качества поверхностного слоя, гарантирующих требуемое значение эксплуатационного свойства.

Структурная схема решения этой проблемы приведена на рис. 8.

В блоке 1 заложена информация, взятая из чертежа и технических требований на конкретную деталь, для которой разрабатывается технологический процесс.

Если технологический процесс разрабатывается для вновь создаваемого производства, то надобность в блоке 2 отпадает.

Для предварительного выбора методов обработки необходимо знать их возможности в обеспечении точности обработки и параметров состояния поверхностного слоя. Такие обобщенные данные приведены в табл. 6 – 9.

Значения параметров *Rz* и *Rmax* определяется из равенств:

1) при лезвийной обработке $Rz = 5,0Ra$, $Rmax = 6,0Ra$;

2) при алмазно-абразивной обработке $Rz = 5,5Ra$, $Rmax = 7,0Ra$;

3) при отделочно-упрочняющей обработке ППД – $Rz = 4,0Ra$, $Rmax = 5,0Ra$;

Значения относительной опорной длины профиля шероховатости для лезвийной, абразивной и отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием приведены в табл. 10.

В табл. 11 приведены значения параметра C_x при чистовой обработке различными методами. Он комплексно характеризует состояние поверхностного слоя деталей.

6. Возможности методов обработки в обеспечении параметров качества поверхностного

Метод обработки	Ra, мкм	Sm, мм	S, мм	Rp, мкм	Wz, мкм
1	2	3	4	5	6
Плоские					
Торцовое фрезерование:					
черновое	4,0 – 16,0	0,16 – 0,50	0,16 – 0,50	10,0 – 50,0	8 – 25
чистовое	1,0 – 4,0	0,08 – 0,20	0,063 – 0,20	3,20 – 16,0	1,6 – 10,0
тонкое	0,32 – 1,25	0,025 – 0,10	0,016 – 0,08	0,80 – 4,0	0,40 – 5,0
Цилиндрическое фрезерование:					
черновое	3,2 – 10,0	1,25 – 5,0	1,25 – 5,0	10,0 – 30,0	12,5 – 60,0
чистовое	0,8 – 3,2	0,50 – 2,0	0,32 – 2,0	2,5 – 12,5	3,0 – 16,0
тонкое	0,20 – 1,6	0,16 – 0,63	0,10 – 0,63	0,63 – 3,2	0,80 – 8,0
Строгание:					
черновое	6,4 – 40,0	0,20 – 1,6	0,20 – 1,6	16,0 – 125	12,5 – 40,0
чистовое	1,0 – 6,3	0,08 – 0,25	0,063 – 0,25	3,2 – 20	3,0 – 16,0
тонкое	0,32 – 1,6	0,025 – 0,125	0,0125 – 0,10	1,0 – 5,0	0,32 – 10,0
Торцовое точение:					
черновое	6,4 – 32	0,2 – 1,25	0,2 – 1,25	16,0 – 100	8,0 – 24,0
чистовое	1,6 – 6,4	0,08 – 0,25	0,063 – 0,25	4,0 – 20	2,5 – 10,0
тонкое	0,32 – 1,6	0,025 – 0,125	0,0125 – 0,10	1,0 – 5,0	0,8 – 3,0
Шлифование:					
черновое	1,6 – 4,0	0,10 – 0,32	0,063 – 0,25	5,0 – 12,0	5,0 – 12,5
чистовое	0,32 – 1,6	0,025 – 0,125	0,0125 – 0,08	1,0 – 5,0	1,6 – 5,0
тонкое	0,08 – 0,32	0,01 – 0,032	0,005 – 0,025	0,25 – 1,0	0,63 – 2,0
плосковершинное	0,32 – 2,5	0,25 – 5,0	0,008 – 0,20	0,5 – 6,3	2,0 – 16,0
Протягивание:					
черновое	1,0 – 3,2	0,16 – 2,0	0,125 – 2,0	2,5 – 10,0	1,25 – 4,0
чистовое	0,32 – 1,25	0,05 – 0,50	0,032 – 0,50	0,8 – 4,0	0,40 – 2,5
Шабрение:					
черновое	2,5 – 8,0	0,25 – 1,0	0,125 – 1,0	6,3 – 32	12,5 – 20,0
чистовое	0,63 – 2,5	0,063 – 0,25	0,032 – 0,20	2,0 – 8,0	3,0 – 16,0
тонкое	0,10 – 0,8	0,02 – 0,10	0,008 – 0,05	0,25 – 2,5	1,6 – 5,0
Накатывание роликами и шариковыми головками:					
черновое	0,63 – 2,5	0,2 – 5,0	0,2 – 5,0	1,5 – 10,0	5,0 – 20
чистовое	0,1 – 0,83	0,025 – 0,25	0,02 – 0,25	0,2 – 2,0	1,25 – 6,0
Вибронакатывание	0,16 – 2,5	0,025 – 12,5	0,02 – 5,0	0,25 – 10,0	1,25 – 4,0
Суперфиниширование и полирование:					
обычное	0,05 – 0,32	0,01 – 0,032	0,04 – 0,025	0,125 – 1,25	0,3 – 6,0
плосковершинное	0,1 – 1,25	0,025 – 1,6	0,006 – 0,040	0,16 – 3,2	1,6 – 16,0
Притирка:					
обычная	0,02 – 0,1	0,008 – 0,04	0,004 – 0,032	0,04 – 0,32	0,4 – 0,8
плосковершинная*	0,02 – 0,4	0,02 – 0,25	0,008 – 0,25	0,032 – 1,0	0,6 – 1,6

слоя деталей

Smw, мм	Hmax, на 1000 мм, мкм	±σост, МПа	hσ, мм	Uн, %	hн, мм
7	8	9	10	11	12
поверхности					
2,5 – 10,0	100 – 250	250 – 300	0,1 – 0,2	20 – 30	0,2 – 0,5
0,8 – 4,0	50 – 140	200 – 250	0,1 – 0,2	10 – 40	0,08 – 0,15
0,8 – 2,5	20 – 60	100 – 200	0,05 – 0,10	0 – 20	0,05 – 0,10
2,5 – 12,0	120 – 300	300 – 350	0,015 – 0,25	10 – 30	0,15 – 0,25
0,8 – 8,0	60 – 150	200 – 300	0,10 – 0,20	0 – 40	0,1 – 0,15
0,25 – 2,0	25 – 70	100 – 200	0,06 – 0,15	10 – 20	0,08 – 0,12
2,5 – 15,0	100 – 200	250 – 350	0,15 – 0,22	20 – 40	0,25 – 0,6
0,8 – 8,0	40 – 120	200 – 250	0,10 – 0,15	10 – 30	0,15 – 0,30
0,4 – 2,5	15 – 50	150 – 200	0,06 – 0,11	10 – 20	0,05 – 0,15
5,0 – 12,0	110 – 200	200 – 300	0,10 – 0,18	10 – 40	0,2 – 0,45
1,0 – 5,0	50 – 120	150 – 200	0,06 – 0,12	10 – 30	0,05 – 0,20
0,8 – 2,5	15 – 50	100 – 150	0,04 – 0,1	0,20	0,02 – 0,05
1,0 – 3,5	25 – 120	200 – 400	0,15 – 0,20	10 – 40	0,03 – 0,05
0,8 – 2,5	16 – 40	300 – 400	0,1 – 0,18	10 – 30	0,015 – 0,03
0,3 – 1,5	6 – 25	200 – 500	0,06 – 0,12	0 – 20	0,01 – 0,02
0,8 – 10,0	20 – 100	100 – 200	0,05 – 0,10	0 – 10	0,01 – 0,015
1,0 – 3,2	20 – 60	300 – 350	0,2 – 0,3	10 – 30	0,2 – 0,6
0,8 – 1,5	5 – 30	200 – 300	0,1 – 0,2	10 – 20	0,1 – 0,3
6,0 – 10,0	20 – 50	100 – 200	0,05 – 0,12	0 – 20	0,05 – 0,1
4,0 – 8,0	10 – 30	60 – 150	0,05 – 0,10	0 – 10	0,05 – 0,1
3,0 – 6,0	5 – 20	60 – 120	0,04 – 0,08	0 – 10	0,04 – 0,1
1,5 – 8,0	40 – 120	200 – 450	0,4 – 1,5	30 – 70	0,5 – 4,0
0,8 – 2,0	15 – 60	100 – 300	0,2 – 0,5	20 – 60	0,2 – 0,6
0,25 – 15,0	20 – 120	100 – 400	0,2 – 1,5	10 – 60	0,04 – 2,0
0,25 – 2,5	6 – 50	100 – 200	0,06 – 0,08	0 – 20	0,005 – 0,01
0,8 – 8,0	20 – 100	100 – 110	0,04 – 0,06	0 – 10	0,005 – 0,01
0,3 – 1,5	4 – 10	100 – 250	0,06 – 0,08	0 – 20	0,005 – 0,01
0,3 – 1,5	10 – 50	100 – 150	0,04 – 0,06	0 – 10	0,005 – 0,008

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6
Наружные поверхности					
Обтачивание:					
черновое	12 – 40	0,32 – 1,25	0,32 – 1,25	32 – 120	6,25 – 13,0
получистовое	2,0 – 16	0,16 – 0,40	0,12 – 0,40	5,0 – 50	3,2 – 10,0
чистовое	0,8 – 2,5	0,08 – 0,16	0,05 – 0,16	2,0 – 8,0	1,6 – 4,0
Шлифование:					
черновое	1,0 – 2,5	0,063 – 0,2	0,032 – 0,16	2,5 – 10,0	3,2 – 10,0
чистовое	0,2 – 1,25	0,025 – 0,1	0,01 – 0,08	0,5 – 4,0	0,5 – 4,0
тонкое	0,05 – 0,25	0,008 – 0,025	0,003 – 0,016	0,125 – 0,8	0,16 – 0,8
плосковершинное	0,32 – 2,5	0,063 – 1,25	0,008 – 0,16	0,5 – 3,2	0,5 – 10,0
Суперфиниширование:					
обычное	0,032 – 0,25	0,006 – 0,02	0,003 – 0,016	0,08 – 0,8	0,08 – 0,5
плосковершинное	0,25 – 2,0	0,05 – 1,25	0,006 – 0,16	0,32 – 2,5	0,75 – 2,5
Полирование:					
обычное	0,008 – 0,08	0,008 – 0,025	0,002 – 0,008	0,016 – 0,16	0,16 – 0,75
плосковершинное	0,10 – 0,80	0,032 – 0,20	0,016 – 0,20	0,125 – 1,00	0,4 – 0,9
Притирка:					
обычная	0,01 – 0,10	0,006 – 0,04	0,002 – 0,032	0,02 – 0,25	0,08 – 0,1
плосковершинная	0,10 – 0,80	0,032 – 0,2	0,032 – 0,2	0,10 – 1,25	0,4 – 0,8
Обкатывание:					
черновое	0,8 – 2,5	0,2 – 1,25	0,2 – 1,25	1,5 – 6,3	2,5 – 12,5
чистовое	0,05 – 1,00	0,025 – 0,2	0,025 – 0,2	0,063 – 2,0	0,4 – 2,5
Выглаживание	0,05 – 2,0	0,025 – 1,25	0,025 – 1,25	0,063 – 6,0	0,4 – 10,0
Вибронакатывание	0,063 – 1,6	0,01 – 10,5	0,008 – 0,8	0,08 – 5,0	0,5 – 13,2
Электромеханическая	0,02 – 1,6	0,025 – 1,25	0,025 – 1,25	0,02 – 3,2	0,4 – 0,8
Магнитно-абразивная	0,02 – 1,6	0,008 – 1,25	0,003 – 1,0	0,04 – 5,0	0,5 – 12,5
Внутренние поверхности					
Сверление и рассверливание	3,2 – 12	0,16 – 0,8	0,08 – 0,63	8,0 – 40	5,0 – 32
Зенкерование:					
черновое	2,5 – 8,0	0,16 – 0,8	0,063 – 0,4	6,3 – 25	5,0 – 16
чистовое	1,25 – 3,2	0,08 – 0,25	0,05 – 0,16	3,2 – 10	3,6 – 8,0
Развертывание:					
черновое	1,25 – 2,5	0,08 – 0,2	0,04 – 0,16	3,2 – 8,0	2,5 – 6,25
чистовое	0,63 – 1,25	0,032 – 0,1	0,0125 – 0,063	1,6 – 4,0	1,25 – 4,0
тонкое	0,32 – 0,63	0,0125 – 0,04	0,008 – 0,02	0,8 – 2,0	0,5 – 1,6
Протягивание:					
черновое	1,25 – 3,2	0,08 – 0,25	0,04 – 0,2	0,2 – 1,0	1,25 – 5,0
чистовое	0,32 – 1,25	0,02 – 0,10	0,008 – 0,08	0,8 – 4,0	0,4 – 1,6

7	8	9	10	11	12
вращения					
2,5 – 10,0	160 – 500	200 – 300	0,10 – 0,20	10 – 50	0,2 – 0,5
0,12 – 8,0	80 – 200	150 – 250	0,08 – 0,15	10 – 40	0,15 – 0,30
0,8 – 8,0	40 – 100	150 – 200	0,06 – 0,12	20 – 40	0,05 – 0,20
0,8 – 4,0	25 – 100	200 – 400	0,15 – 0,25	10 – 40	0,05 – 0,08
0,4 – 1,5	10 – 40	300 – 400	0,10 – 0,20	10 – 30	0,02 – 0,05
0,25 – 0,6	6 – 20	200 – 500	0,08 – 0,15	0 – 20	0,01 – 0,02
0,8 – 8,0	10 – 100	100 – 200	0,06 – 0,12	0 – 10	0,01 – 0,015
0,25 – 1,5	5 – 20	150 – 200	0,06 – 0,12	0 – 20	0,02 – 0,06
0,8 – 8,0	20 – 80	100 – 150	0,05 – 0,10	0 – 10	0,01 – 0,02
0,4 – 1,5	6 – 40	100 – 400	0,03 – 0,10	0 – 20	0,01 – 0,02
0,8 – 8,0	30 – 100	100 – 200	0,02 – 0,05	0 – 10	0,005 – 0,01
0,25 – 1,5	4 – 15	150 – 250	0,05 – 0,10	0 – 20	0,005 – 0,01
0,25 – 2,5	15 – 60	100 – 200	0,02 – 0,05	0 – 10	0,005 – 0,008
0,8 – 8,0	24 – 100	200 – 500	0,5 – 2,0	30 – 80	0,8 – 5,0
0,3 – 6,0	6 – 40	100 – 400	0,2 – 0,8	20 – 70	0,3 – 2,0
0,3 – 8,0	6 – 80	100 – 400	0,2 – 1,5	20 – 70	0,3 – 3,0
0,25 – 15,0	6 – 100	100 – 450	0,15 – 1,5	10 – 70	0,1 – 3,0
0,3 – 0,8	6 – 40	200 – 400	0,1 – 1,5	40 – 80	0,05 – 1,5
0,4 – 8,0	6 – 70	200 – 600	0,005 – 0,010	0 – 10	0,01 – 0,03
вращения					
1,2 – 8,0	40 – 160	200 – 300	0,2 – 0,3	10 – 30	0,2 – 0,5
2,0 – 6,0	10 – 120	100 – 200	0,2 – 0,25	20 – 40	0,15 – 0,4
0,8 – 3,2	10 – 50	100 – 200	0,08 – 0,15	10 – 40	0,1 – 0,2
0,8 – 4,0	25 – 100	100 – 300	0,08 – 0,15	10 – 40	0,2 – 0,4
0,5 – 2,0	6 – 40	100 – 400	0,06 – 0,12	20 – 40	0,15 – 0,3
0,3 – 1,0	2 – 10	100 – 450	0,03 – 0,1	10 – 30	0,05 – 0,2
1,0 – 4,0	10 – 80	200 – 300	0,10 – 0,40	20 – 40	0,2 – 0,8
0,5 – 2,0	3 – 30	200 – 300	0,05 – 0,15	10 – 50	0,1 – 0,5

1	2	3	4	5	6
Растачивание:					
черновое	8 – 16	0,25 – 1,0	0,25 – 1,0	20 – 50	8,0 – 40
получистовое	2,5 – 8	0,125 – 0,32	0,08 – 0,32	6,3 – 25	4,0 – 12,5
чистовое	0,8 – 2,0	0,08 – 0,16	0,032 – 0,16	0,2 – 6,3	2,5 – 6,25
тонкое	0,2 – 0,8	0,02 – 0,10	0,01 – 0,08	0,5 – 3,2	0,5 – 4,0
Шлифование:					
черновое	1,6 – 3,2	0,063 – 0,2	0,032 – 0,16	4,0 – 10,0	4,0 – 16
чистовое	0,32 – 1,6	0,025 – 0,1	0,01 – 0,08	0,8 – 4,0	1,25 – 6,25
тонкое	0,08 – 0,32	0,008 – 0,025	0,003 – 0,016	0,2 – 1,0	0,32 – 1,6
плосковершинное	0,32 – 2,5	0,063 – 1,0	0,006 – 0,16	0,32 – 5,0	0,5 – 10,0
Хонингование:					
черновое	1,25 – 3,2	0,063 – 0,35	0,025 – 0,16	3,2 – 8,0	1,25 – 5,0
чистовое	0,25 – 1,25	0,02 – 0,2	0,008 – 0,08	0,63 – 3,2	0,4 – 1,6
тонкое	0,04 – 0,25	0,006 – 0,2	0,003 – 0,16	0,1 – 0,8	0,4 – 0,9
плосковершинное	0,25 – 2,0	0,04 – 1,0	0,008 – 0,20	0,25 – 4,0	0,5 – 10
Притирка:					
обычная	0,02 – 0,16	0,005 – 0,04	0,002 – 0,02	0,04 – 0,40	0,125 – 0,63
плосковершинное	0,10 – 0,80	0,032 – 0,2	0,003 – 0,20	0,125 – 1,6	0,4 – 1,25
Раскатывание:					
черновое	0,32 – 2,0	0,1 – 1,0	0,1 – 1,0	0,63 – 5,0	3,2 – 12
чистовое	0,05 – 0,32	0,025 – 0,2	0,025 – 0,2	0,05 – 0,8	1,6 – 5,0
Выглаживание					
	0,05 – 2,0	0,025 – 1,0	0,025 – 1,0	0,05 – 5,0	3,2 – 10
Вибронакатывание					
	0,062 – 1,6	0,01 – 12,5	0,008 – 0,5	0,1 – 4,0	0,5 – 32
Дорнование					
	0,1 – 1,6	0,025 – 1,0	0,016 – 1,0	0,1 – 3,2	0,25 – 3,2

*Обработка, связанная со снятием вершин микронеровностей.

Примечание 1. Данные относятся к деталям из конструкционных сталей;

7. Возможности методов обработки по обеспечению параметров качества рабочих

Метод обработки	Ra, мкм	Sm, мм	S, мм	Rp, мкм	Wz, мкм
Зубонарезание:					
модульными фрезами	8,0 – 16	1,25 – 5,0	1,0 – 5,0	20 – 50	10 – 50
червячными фрезами	3,2 – 8,0	0,32 – 1,6	0,2 – 1,6	8,0 – 25	5 – 50
долбками	2,0 – 4,0	0,2 – 1,25	0,125 – 1,25	5,0 – 12	5 – 30
Протягивание					
	0,8 – 1,6	0,08 – 20	0,05 – 2,0	2,0 – 5,0	31 – 20
Накатывание					
	0,8 – 2,0	0,08 – 5,0	0,063 – 5,0	1,8 – 6,0	10 – 50
Шевингование					
	0,6 – 1,25	0,125 – 0,5	0,08 – 0,5	1,5 – 3,6	2 – 10
Шлифование					
	0,32 – 1,25	0,04 – 0,1	0,026 – 0,063	0,9 – 4,0	1,5 – 10
Обкатывание					
	0,32 – 1,0	0,063 – 2,0	0,032 – 2,0	0,63 – 3,0	3 – 10
Притирка					
	0,1 – 0,25	0,032 – 0,5	0,02 – 0,5	0,15 – 0,6	2 – 3

Примечания. См. табл. 6.

Продолжение табл. 6

7	8	9	10	11	12
2,5 – 10	100 – 600	200 – 300	0,1 – 0,2	10 – 50	0,2 – 0,5
1,25 – 5,0	40 – 160	150 – 250	0,08 – 0,15	10 – 40	0,15 – 0,3
0,8 – 2,5	20 – 80	150 – 200	0,06 – 0,12	20 – 40	0,05 – 0,2
0,4 – 1,0	6 – 40	100 – 150	0,04 – 0,1	0 – 30	0,02 – 0,08
0,8 – 3,2	20 – 100	200 – 300	0,1 – 0,2	10 – 40	0,04 – 0,06
0,4 – 1,2	10 – 40	300 – 400	0,08 – 0,15	10 – 30	0,02 – 0,05
0,25 – 0,5	6 – 20	200 – 300	0,08 – 0,15	0 – 20	0,01 – 0,02
0,18 – 8,0	15 – 90	100 – 150	0,06 – 0,10	0 – 10	0,01 – 0,015
0,8 – 4,0	15 – 40	300 – 400	0,05 – 0,30	10 – 30	0,05 – 0,10
0,8 – 2,5	5 – 16	300 – 350	0,10 – 0,20	10 – 40	0,03 – 0,06
0,25 – 1,0	2 – 10	300 – 400	0,08 – 0,15	10 – 30	0,01 – 0,03
0,8 – 8,0	5 – 80	100 – 200	0,06 – 0,12	0 – 20	0,01 – 0,015
0,25 – 1,5	2 – 10	150 – 250	0,05 – 0,1	0 – 20	0,005 – 0,01
0,25 – 2,5	5 – 50	100 – 200	0,02 – 0,05	0 – 10	0,005 – 0,008
0,5 – 8,0	40 – 100	200 – 500	0,3 – 2,0	30 – 70	0,5 – 3,0
0,3 – 6,0	5 – 40	150 – 400	0,15 – 1,0	20 – 60	0,2 – 1,0
0,3 – 8,0	5 – 60	100 – 400	0,15 – 2,0	20 – 70	0,3 – 2,0
0,25 – 15,0	5 – 60	100 – 450	0,1 – 1,5	10 – 70	0,1 – 1,5
0,25 – 15,0	4 – 30	100 – 500	0,15 – 2,0	50 – 80	0,2 – 3,0

2. Для деталей из чугуна параметры шероховатости Ra, Rz можно принимать в 1,5 раза больше табличных;
3. Характеристики физико-механических свойств для деталей из чугуна следует принимать в 1,5 раза меньше табличных.

поверхностей зубьев

Smw, мкм	Hmax, мкм	±σ _{ост} , МПа	h _с , мм	U _н , %	h _н , мм
2,5 – 10	20 – 100	100 – 300	0,02 – 0,2	10 – 40	0,1 – 0,2
0,8 – 5,0	15 – 60	150 – 250	0,02 – 0,1	10 – 40	0,05 – 0,15
0,8 – 3,0	10 – 40	150 – 350	0,04 – 0,3	20 – 50	0,1 – 0,25
0,8 – 4,0	5 – 20	200 – 300	0,1 – 0,3	10 – 40	0,1 – 0,6
0,8 – 8,0	10 – 80	250 – 500	0,5 – 2,0	50 – 70	0,5 – 4,0
0,8 – 4,0	5 – 15	150 – 250	0,01 – 0,1	10 – 40	0,05 – 0,15
0,8 – 3,0	3 – 10	200 – 400	0,1 – 0,2	0 – 30	0,03 – 0,05
0,8 – 5,0	3 – 8	200 – 400	0,1 – 1,0	30 – 70	0,3 – 2,0
0,3 – 2,0	2 – 5	100 – 150	0,02 – 0,1	10 – 20	0,05 – 0,1

8. Возможности методов обработки по обеспечению параметров качества рабочих

Метод обработки	R_a , мкм	S_m , мм	S , мм	R_p , мкм	W_z , мкм
Шлифрезерование:					
черновое	4 – 10	1,0 – 5,0	1,0 – 5,0	10 – 50	15 – 60
чистовое	1,25 – 4,0	0,1 – 2,0	0,05 – 2,0	3,0 – 12,0	5 – 20
Шлицистрогание	1,0 – 2,5	0,08 – 2,5	0,05 – 2,5	2,5 – 8,0	5 – 20
Шлицепротягивание	0,8 – 1,6	0,08 – 2,0	0,05 – 2,0	2,0 – 5,0	3 – 15
Шлифование шлицев:					
черновое	1,6 – 3,2	0,1 – 0,32	0,063 – 0,25	4,0 – 10	5 – 20
чистовое	0,4 – 1,25	0,032 – 0,10	0,016 – 0,063	1,0 – 4,0	1,5 – 6
Накатывание шлицев	0,8 – 1,0	0,08 – 5,0	0,063 – 5,0	2,0 – 3,0	10 – 85
Обкатывание шлицев	0,32 – 1,0	0,063 – 2,0	0,032 – 1,25	0,8 – 3,0	3 – 10

Примечания. См. табл. 6.

поверхностей шлицев

S_{tw} , мм	H_{max} , мкм	$\pm\sigma_{сст}$, МПа	h_a , мм	U_n , %	h_n , мм
2,0 – 10	30 – 100	150 – 300	0,02 – 0,2	10 – 40	0,1 – 0,2
0,8 – 6,0	10 – 40	100 – 250	0,02 – 0,1	10 – 30	0,05 – 0,15
0,8 – 3,0	10 – 30	150 – 250	0,04 – 0,2	20 – 40	0,1 – 0,2
0,8 – 4,0	5 – 20	200 – 300	0,1 – 0,3	10 – 40	0,1 – 0,6
0,8 – 5,0	8 – 12	200 – 400	0,1 – 0,2	0 – 30	0,03 – 0,05
0,8 – 3,0	4 – 10	200 – 300	0,05 – 0,1	0 – 20	0,02 – 0,04
0,8 – 8,0	10 – 80	250 – 500	0,5 – 2,0	50 – 80	0,5 – 4,0
0,8 – 5,0	3 – 80	200 – 400	0,1 – 1,0	30 – 70	0,3 – 2,0

поверхностей резьб

S_{tw} , мкм	H_{max} , мкм	$\pm\sigma_{сст}$, МПа	h_a , мм	U_n , %	h_n , мм
0,8 – 3,0	3 – 10	150 – 250	0,02 – 0,1	10 – 30	0,05 – 0,15
0,8 – 2,5	4 – 12	200 – 300	0,02 – 0,15	10 – 40	0,05 – 0,2
0,8 – 5	2 – 8	150 – 200	0,02 – 0,08	0 – 30	0,05 – 0,15
0,8 – 6,0	2 – 6	200 – 400	0,04 – 0,2	50 – 80	0,1 – 1,0

9. Возможности методов обработки по обеспечению параметров качества рабочих

Метод обработки	R_a , мкм	S_m , мм	S , мм	R_p , мкм	W_z , мкм
Нарезание резцами, гребенками, резцовыми головками	1,6 – 4,0	0,08 – 0,25	0,032 – 0,16	4,0 – 12	3 – 20
Нарезание метчиками, плашками	1,25 – 3,2	0,063 – 0,2	0,025 – 0,125	3,0 – 10	2 – 15
Шлифование резьбы	0,63 – 1,25	0,02 – 0,1	0,01 – 0,08	1,5 – 4,0	2 – 12
Накатывание, раскатывание	0,8 – 2,5	0,063 – 0,15	0,025 – 0,1	1,6 – 7,0	4 – 12

Примечания. См. табл. 6.

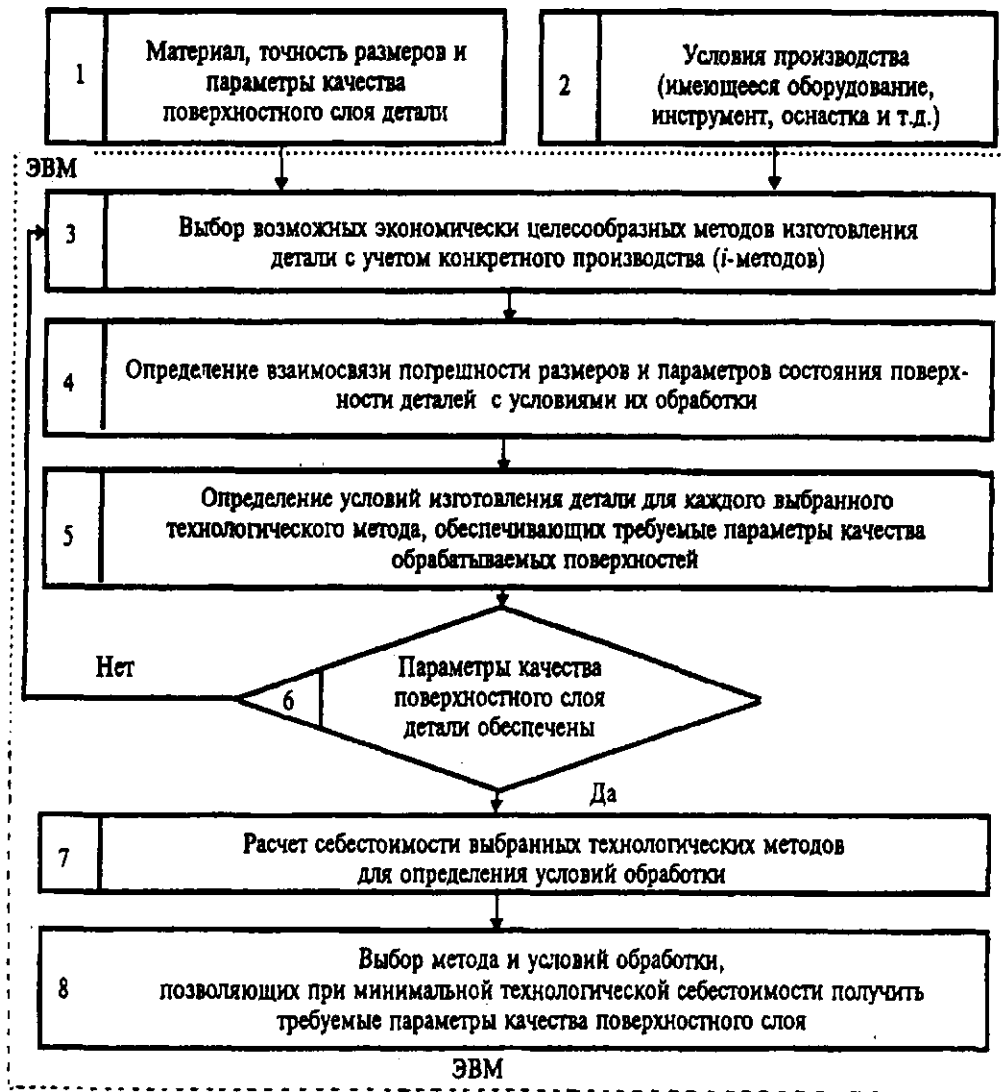


Рис. 8. Структурная схема задачи технолога на стадии подготовки производства

При назначении промежуточных методов обработки следует руководствоваться тем, что каждая последующая обработка повышает точность размеров на 1–2 квалитета и уменьшает высотные параметры шероховатости в 2–6 раз. Например, если необходимо обработать наружную поверхность вращения вала с точностью по 5-му квалитету и с параметром шероховатости Ra 0,05 ... 0,08, а заготовкой служит поковка, то необходимо предусмотреть следующие промежуточные операции или переходы:

обтачивание: черновое – 12-й квалитет, Rz 40 ... 60; чистовое – 10-й квалитет, Ra 2 ... 3;
шлифование: черновое – 8-й квалитет, Ra 0,6 ... 1,0; чистовое – 6-й квалитет, Ra 0,16 ... 0,2; суперфиниширование или притирка – 5-й квалитет, Ra 0,05 ... 0,08.

10. Значение параметра fp , %

Метод обработки	Уровень p , %									
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Лезвийная	0,1–0,3	1–2	3,5	10–12	18–22	30–35	48–52	73–77	86–90	95–98
Абразивная	0,4–0,6	1–3	6–10	16–20	30–35	48–52	65–70	80–85	90–95	97–99
Отделочно-упрочняющая ППД	5–10	15–20	30–35	45–50	60–65	70–75	80–85	88–92	94–96	98–99

11. Значение параметра Sx для различных методов чистовой обработки

Продолжение табл. 11

Метод обработки	Sx	Метод обработки	Sx
Торцовое фрезерование:		Внутреннее шлифование:	
чистовое	2,4–0,80	чистовое	2,3–0,80
тонкое	1,3–0,55	тонкое	1,4–0,60
Плоское шлифование:		Хонингование	1,2–0,40
чистовое	2,3–0,70	Раскатывание	0,8–0,08
тонкое	1,2–0,40		
Накатывание	0,9–0,08		
Обтачивание:			
чистовое	2,1–0,68		
тонкое	1,0–0,45		
Круглое шлифование:			
чистовое	2,2–0,75		
тонкое	1,2–0,50		
Суперфиниширование	1,0–0,30		
Полирование	0,9–0,10		
Накатывание	0,8–0,07		
Растачивание:			
чистовое	2,2–0,71		
тонкое	1,2–0,65		

Экономически целесообразно применять методы обработки, при которых достигается наименьшая технологическая себестоимость, поэтому в блоке 7 (см. рис. 8) рассчитывается технологическая себестоимость для выбранных методов обработки, которые обеспечивают заданные параметры состояния поверхностного слоя и точность размеров детали при определенных условиях обработки. Но для этого необходимо знать функциональную взаимосвязь погрешности размеров и параметров состояния поверхностного слоя деталей с условиями их обработки (блок 4). Эта взаимосвязь может быть представлена в виде теоретических и эмпирических уравнений или таблиц.

Так, теоретические уравнения, отражающие взаимосвязь стандартизованных параметров шероховатости поверхностей деталей с условиями их обработки, имеют следующий вид.

Для лезвийной обработки:

а) при $\varphi \leq \arcsin s / (2r)$, $\varphi_1 < \arcsin s / (2r)$:

$$Rz = \frac{r(1 - \cos \varphi)}{\cos \gamma} + \frac{\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \varphi_1 [s - r(\sin \varphi + \sin \varphi_1)] - 2\operatorname{tg} \varphi (\cos \varphi_1 - \cos \varphi)}{\cos \gamma (\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi)} + \frac{c_y s^{y_p} v^{z_p} [HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n (t - Rz_{\text{исх}})^{x_p}]}{HB_{\text{сп}}^n j_T} + \frac{0,5\rho(1 - 2\tau_a / \sigma_T)}{1/\operatorname{tg} \varphi + 1/\operatorname{tg} \varphi_1} + Rz_{\text{в.р.}}; \quad (32)$$

б) при $\varphi > \arcsin s / (2r)$, $\varphi_1 \geq \arcsin s / (2r)$:

$$Rz = \frac{2r - \sqrt{4r^2 - s^2}}{2\cos \gamma} + \frac{c_y s^{y_p} v^{z_p} [HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n (t - Rz_{\text{исх}})^{x_p}]}{HB_{\text{сп}}^n j_T} + \frac{0,3\rho(1 - 2\tau_a / \sigma_T)(2s + 1 - 2\tau_a / \sigma_T)}{32r} + Rz_{\text{в.р.}}; \quad (33)$$

в) при $\varphi \geq \arcsin s / (2r)$, $\varphi_1 < \arcsin s / (2r)$:

$$Rz = \frac{r(1 - \cos \varphi_1) + \sin \varphi_1 [s \cos \varphi_1 + \sqrt{s \sin \varphi_1 (2r - s \sin \varphi_1)}]}{\cos \gamma} + \frac{c_y s^{y_p} v^{z_p} [HB_{\max}^n t^{x_p} - HB_{\min}^n (t - Rz_{\text{исх}})^{x_p}]}{HB_{\text{сп}}^n j_T} + \frac{0,5\rho(1 - 2\tau_a / \sigma_T)}{1/\operatorname{tg} \varphi + 2r/s} + Rz_{\text{в.р.}}; \quad (34)$$

12. Радиус скругления режущей кромки и эмпирические коэффициенты

Материал обрабатываемой заготовки	Материал инструмента	ρ , мкм	a	b	c	p	m	l
45	T15K6	35	0,52	-6,54	1,11	4,2	0,71	0,50
40X	T15K6	30	0,52	-6,59	1,15	4,5	0,75	0,50
20ХН3А	T15K6	25	0,50	-5,99	0,97	5,0	0,72	0,40
X18Н10Т	BK8	40	0,70	-7,22	1,53	5,1	0,73	0,35

где s - подача; r - радиус при вершине реза; φ и φ_1 - главный и вспомогательный углы в плане; γ - передний угол; v - скорость резания; HB твердость обрабатываемого материала; j_T - жесткость технологической системы; σ_T - предел текучести обрабатываемого материала; l - глубина резания; n, c_y, x_p, y_p - коэффициенты.

Адгезионное взаимодействие инструмента и детали τ_a можно рассчитать по формуле

$$\tau_a = \frac{500}{9,81(e^{a(T+273)/(100+b)} + c)}; \quad (35)$$

где a, b и c - эмпирические коэффициенты (табл. 12); T - температура в зоне резания;

$$T = \frac{P}{10^3 \alpha F} \sigma_a (ts)^m v^l + 20, \quad (36)$$

где α - коэффициент линейного расширения материала инструмента; F - площадь его поперечного сечения; σ_a - временное сопротивление разрыву материала инструмента; p, m и l - коэффициенты (табл. 12).

При $\varphi < \arcsin s / (2r)$ и $\varphi_1 \leq \arcsin s / (2r)$

$$Rp = 0,65Rz; Sm \approx s; \quad (37)$$

Rz рассчитывают по уравнению (34), но вместо φ_1 подставляют φ

$$tp = 0,06p^{2,2} \text{ при } p \leq 60\%; \quad (38)$$

$$Ra = 0,2Rz; R_{\text{max}} = 1,2Rz;$$

$$tp = 100 - 0,055(100 - p)^{1,8} \text{ при } p > 60\%; \quad (39)$$

Для абразивной обработки:

$$Rz = \xi \left(\frac{N-B}{s_{\text{шп}}} - 1 \right) \left\{ t - \frac{P_y}{j_T} - \frac{P_y [E_2(1 - \mu_1^2) + E_1(1 - \mu_2^2)]}{\pi E_1 E_2 s_{\text{шп}}} \cdot \frac{4\pi E_1 E_2 \left(\frac{D^2 + B^2}{2} \right) s}{P_y [E_1(1 - \mu_2^2) + E_2(1 - \mu_1^2)]} + \frac{e^2 \left(1 \pm \frac{v_3}{60v_p} \right)^2}{4D} \right\} + \frac{\left(1 - \frac{2\tau_a}{\sigma_T} \right) [2s_{\text{шп}} + 0,5r \left(1 - \frac{2\tau_a}{\sigma_T} \right)]}{32}; \quad (40)$$

$$Ra = 0,18Rz; R_{\text{max}} = 1,35Rz;$$

13. Значения ξ для различной концентрации зерен

Концентрация зерен, %	50	100	150	200	250	300
ξ	0,96	0,9	0,86	0,82	0,78	0,75

$$Rp = 0,67Rz; \quad (41)$$

$$Sm = \frac{l}{B} \xi \left(\frac{N-B}{s_{\text{шп}}} - 1 \right); \quad (42)$$

$$S = \frac{s_{\text{шп}}}{\sum_0^l z} \xi \left(\frac{N-B}{s_{\text{шп}}} - 1 \right);$$

$$tp = 0,02p^2 \text{ при } p \leq 50\%; \quad (43)$$

$$tp = 100 - 0,02(100 - p)^2 \text{ при } p > 50\%; \quad (44)$$

где l и $s_{\text{шп}}$ - глубина и продольная подача при шлифовании; v_3 и v_p - скорость соответственно заготовки и резания; D и B - соответственно диаметр и ширина шлифовального круга; E_1 и E_2, μ_1 и μ_2 - соответственно модуль упругости; коэффициент Пуассона материала обрабатываемой заготовки и связки инструмента; N - число выхаживаний; ξ - коэффициент, зависящий от концентрации зерен (табл. 13); P_y, l, r - соответственно радиальное усилие шлифования, шаг между зернами и радиус скругления режущих зерен (табл. 14).

14. Значения P_y, l, r при шлифовании для различной зернистости

Параметр	Зернистость			
	20/14	63/50	125/100	200/160
P_y, H	150	120	98	80
$r, \text{мкм}$	5	15	30	50
$l, \text{мкм}$	0,1	0,25	0,4	0,6

Для отделочно-управляющей обработки ППД:

а) если инструмент образует круглую и эллиптическую площадки контакта,

$$Rz = Rz_{исх} - Rp_{исх} \left[\frac{150P(1+f^2)^{0.5}}{\pi R_{пр} t m_{исх} H_{\mu} \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{s-a_{пл}}{a_{пл}}\right)}{180} (h_{кин} - h_{уп}) + 2h_{уп} \right]} \right]^{0.5} + \left[\frac{PRp^2}{\pi R_{пр} (HB_{max} - HB_{min})} \right]^{1/3} + \frac{s}{2r} + Rz_{исх}; \quad (45)$$

б) если инструмент образует каплевидную площадку контакта,

$$Rz = Rz_{исх} - Rp_{исх} \left[\frac{150P(1+f^2)^{0.5}}{\pi R_{пр} t m_{исх} H_{\mu} \left[\frac{180 - \arccos\left(\frac{s-a_{пл}}{a_{пл}}\right)}{180} (h_{кин} - h_{уп}) + 2h_{уп} \right]} \right]^{0.5} + \left[\frac{PRp^2}{\pi R_{пр} (HB_{max} - HB_{min})} \right]^{1/3} + r(1 - \cos \varphi_a) + \sin \varphi_a \left[s \cos \varphi_a + \sqrt{s \sin \varphi_a (2r - s \sin \varphi_a)} \right] + Rz_{исх}; \quad (46)$$

$$Ra = 0,25Rz; \quad R_{max} = 1,15Rz; \quad (47)$$

$$Rp = 0,4Rz;$$

$$tp = 1,5p \text{ при } p \leq 40\%; \quad (48)$$

$$tp = 100 - 0,012(100 - p)^2 \text{ при } p > 40\%; \quad (49)$$

где $Rz_{исх}$, $Rp_{исх}$, $t m_{исх}$ — исходные параметры шероховатости; P — рабочее усилие; f — коэффициент трения между инструментом и обрабатываемой заготовкой; φ_a — задний угол вдав-

ливания; $R_{пр}$ — приведенный радиус ($R_{пр} = \sqrt{Rr}$); R — радиус ролика (шарика); r — профильный радиус инструмента; $a_{пл}$ — средний радиус площадки контакта;

$$a_{пл} = \sqrt{\frac{P}{\pi H_{\mu}}}$$

Эмпирические уравнения, отражающие взаимосвязь параметров состояния поверхностного слоя деталей с условиями их обработки, приведены в табл. 15.

15. Взаимосвязь параметров состояния поверхностного слоя деталей с условиями их обработки

Метод обработки	Эмпирические уравнения	Условия
Плоские поверхности		
Торцовое фрезерование	$Ra = 4830 \frac{s^{1,69} t^{0,15}}{\sqrt{1,23} r^{0,14} \gamma^{0,46}};$ $Rp = 8730 \frac{s^{1,15}}{\sqrt{1,27} r^{0,24} \gamma^{0,46}};$ $Wz = 5500 \frac{s_z t^{0,46} r^{0,16} \gamma^{0,54}}{\sqrt{1,55}}$	Обрабатываемый материал — сталь ШХ15; $s_z = 0,08 \dots 0,5$ мм/зуб; $t = 0,3 \dots 1,8$ мм; $v = 18 \dots 44$ м/мин; $r = 0,5 \dots 2$ мм; $\gamma = 5 \dots 20^\circ$
Строгание	$Ra = 37,3 \frac{s^{1,93} \gamma^{0,27}}{\sqrt{0,11} t^{0,12} r^{0,6}};$ $Rp = 131,42 \frac{s^{0,24} \gamma^{0,15}}{\sqrt{0,11} t^{0,12} r^{0,6}};$ $Wz = 91 \frac{s^{0,36} t^{0,9} r^{0,35}}{\sqrt{0,97} \gamma^{0,15}}$	Обрабатываемый материал — сталь ШХ15; $s = 0,25 \dots 0,5$ мм/дв.ход; $t = 0,3 \dots 0,8$ мм; $v = 5,6 \dots 22$ м/мин; $r = 0,5 \dots 2$ мм; $\gamma = 5 \dots 20^\circ$
Торцовое точение	$Ra = 10,88 \frac{s^{1,69} \gamma^{0,69}}{r^{0,3}};$ $Rp = 58,8 \frac{s^{1,49} \gamma^{0,39}}{r^{0,3}}; \quad Wz = 1,6 \text{ мкм}$	Обрабатываемый материал — сталь ШХ15; $s = 0,1 \dots 0,5$ мм/зуб; $r = 0,5 \dots 2$ мм; $\gamma = 5 \dots 20^\circ$
Чистовое шлифование	$Ra = 0,27 \frac{z^{0,48} v_3^{0,27} s^{0,8} t^{0,13}}{N^{0,1}};$ $Rp = 2,28 \frac{z^{0,46} v_3^{0,33} s^{0,34} t^{0,12}}{N^{0,13}};$ $Wz = \frac{z^{0,12} s^{0,91} t^{0,32}}{\sqrt{0,26} N^{0,16}};$	Обрабатываемый материал — сталь 12ХНЗА; $v_3 = 0,21 \dots 0,17$ м/с; $s = 3 \dots 6$ мм/ход; $t = 0,01 \dots 0,04$ мм; $N = 1 \dots 5$; $z = 46 \dots 100$
Отделочное шлифование	$Y_i = H^c k_0 z^{k_1} v_3^{k_2} t^{k_4} s^{k_5}$	$z = 46 \dots 100$; $v_3 = 0,021 \dots 0,17$ м/с; $H = 2$ для связки С2 и $H = 1$ для связки С1; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ — коэффициенты (табл. 16)
Накатывание шариковыми головками	$Y_i = k_0 \frac{x_{исх}^{k_1} v_3^{k_2}}{p^{k_3} i^{k_4} \sqrt{k_5}}$	$v_3 = 13 \dots 42$ мм/мин на один формирующий элемент; $p = 200 \dots 600$ МПа; $i = 1 \dots 3$ при диаметре шариковой головки $D = 90$ мм; $v = 14 \dots 70$ м/мин; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ — коэффициенты (табл. 17)

$x_{исх}$ — исходное значение определяемого параметра y_i

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Эмпирические уравнения	Условия
Вибронакатывание	$Y_i = k_0 \frac{x_{\text{нск}}^{k_1} v_i^{k_3}}{p^{k_2} i^{k_4}}$	$v_s = 3,33 \cdot 10^{-3}$ мм/с; $p = 200 \dots 600$ МПа; $i = 1 \dots 3$; k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты (табл. 18)
Суперфиниширование	$Y_i = k_0 z^{k_1} Ra_{\text{нск}}^{k_2} v_s^{k_3} T^{k_4} q^{k_5}$	Амплитуда колебания бруска – 4 мм, частота осцилляции – 1500 дв. ход/мин; $z = 50/40 \dots 129/100$; $Ra_{\text{нск}} = 0,03 \dots 0,6$ мкм; $v_s = 0,17 \dots 0,3$ м/с. Время суперфиниширования $T = 5 \dots 50$ с; $q = 0,1 \dots 0,5$ МПа; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ – коэффициенты (табл. 19)
Наружные цилиндрические поверхности		
Получистовое и чистовое точение	$Ra = k_0 \frac{s^{k_1} (90 + \gamma)^{k_2}}{r^{k_3} v^{k_4}}$	$s = 0,05 \dots 0,43$ мм/об; $v = 71 \dots 282$ м/мин; $r = 0,5 \dots 2$ мм; $\gamma = +4 \dots (-4)^\circ$; k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты (табл. 20)
Чистовое точение	$Ra = 0,85 \frac{t^{0,31} s^{0,58} \varphi^{0,4} \varphi_1^{0,4}}{v^{0,06} r^{0,65} HB^{0,05}}$	Обрабатываемый материал – среднеуглеродистые стали (140 ... 210 HB); материал инструмента Т15К6; $v = 50 \dots 150$ м/мин; $t = 0,5 \dots 1,5$ мм; $s = 0,08 \dots 0,18$ мм/об; $\varphi = 45 \dots 75^\circ$; $\varphi_1 = 25 \dots 35^\circ$; $r = 0,5 \dots 2$ мм
	$Y_i = k_0 v^{k_1} s^{k_2} t^{k_3} r^{k_4} (50 + \gamma)^{k_5} \alpha^{k_6} j_{\text{ст}}^{k_7}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X; $v = 50 \dots 150$ м/мин; $t = 0,15 \dots 0,9$ м/мин; $s = 0,05 \dots 0,5$ мм/об; $r = 0,5 \dots 2$ мм; $\gamma = +4 \dots (-4)^\circ$; $\alpha = 3 \dots 7^\circ$; $j_{\text{ст}} = 2,0 \dots 3,5$ кН/мм; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$ – коэффициенты (табл. 21)

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Эмпирические уравнения	Условия
Тонкое алмазное точение	$Y_i = k_0 \frac{s^{k_1} (90 + \gamma)^{k_4}}{r^{k_2} v^{k_3}}$	$s = 0,05 \dots 0,5$ мм/об; $v = 50 \dots 150$ м/мин; $r = 0,5 \dots 2$ мм; $\gamma = +4 \dots (-4)^\circ$; k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 – коэффициенты (табл. 22)
Чистовое шлифование	$Y_i = k_0 v_s^{k_1} s_{\text{пр}}^{k_2} s_{\text{рад}}^{k_3} N^{k_4} H^{k_5} z^{k_6} j_{\text{ст}}^{k_7}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X (30 ... 35 HRC); $v_s = 20 \dots 50$ м/мин; $s_{\text{пр}} = (0,3 \dots 0,8) B$ (B – ширина круга); $s_{\text{рад}} = 0,01 \dots 0,05$ мм/дв. ход; $N = 5 \dots 10$ мм; $H = 2$ для связи С2; $H = 1$ для связи СМ1; $j_{\text{ст}} = 9,8 \dots 29,4$ кН/мм; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$ – коэффициенты (табл. 23)
Тонкое шлифование (торцом чашечного алмазного круга)	$Ra = 0,003 s_{\text{пр}}^{0,45} z^{0,85} \left(\frac{P}{10}\right)^{0,27};$ $Rp = 0,02 s_{\text{пр}} z^{0,6} \left(\frac{P}{10}\right)^{0,2}$	$s_{\text{пр}} = 0,15 \dots 1,5$ мм/об; $z = 28/20 \dots 125/100$; $P = 20 \dots 140$ Н
Суперфиниширование после прерывистого шлифования	$Ra = 11 \cdot 10^{-7} \frac{1}{k_{\mu} k_1} \times$ $\times \frac{s_{\text{рад}1}^{0,19} s_{\text{рад}2}^{0,05} z_c^{0,58} p_c^{0,22}}{(HRC)^{4,02} N_1^{0,24} N_2^{0,28} t^{0,32} n_c^{0,29} n_3^{0,06}};$ $Rp = 4,25 \cdot 10^{-4} \frac{k_0}{k_{\mu} k_1} \times$ $\times \frac{s_{\text{рад}1}^{0,18} z_c^{0,72} p_c^{0,4}}{(HRC)^{2,82} N_1^{0,14} N_2^{0,17} t^{0,26} n_3^{0,03}};$ $Sm = 17 \cdot 10^{-3} \frac{k_0 (HRC)^{1,58} z_c^{0,3}}{k_{\mu} N_1^{0,07} N_2^{0,21} n_3^{0,04}}$	$s_{\text{рад}1} = 0,005 \dots 0,015$ мм/об, заготовки; $s_{\text{рад}2} = 0,003 \dots 0,013$ мм/об, заготовки; $z_c = 20 \dots 40$; $p_c = 196 \dots 490$ кПа; 48 ... 60 HRC; $N_1 - N_2 = 12 \dots 32$; $t = 10 \dots 35$ м/мин; $n_c = 1024 \dots 1800$ дв. ход/мин; $n_3 = 88 \dots 190$ мин ⁻¹ ; k_{μ}, k_0, k_1 – коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала, концентрации зерен в суперфинишных брусках (АСМ) и подачи СОЖ (табл. 24)

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Эмпирические уравнения	Условия
Полирование конечными лентами	$Ra(Rz, Rp) = k_0 \frac{Ra_{исх}^{k_1} z^{k_2}}{P^{k_3} v_3^{k_4} T^{k_5}};$ $Sm = \frac{1}{k_0 + k_1 Ra_{исх} + k_2 z + k_3 P + k_4 v_3 + k_5 T}$	$Ra_{исх} = 0,32 \dots 0,80$ мкм; $P = 9,8 \dots 58,8$ Н; $v_3 = 0,16 \dots 0,61$ м/с; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ – коэффициенты (табл. 25)
Полирование бесконечными лентами	$Ra = 0,004 \left(\frac{P}{10} \right)^{0,46} \frac{z^{1,26}}{T^{0,61}};$ $Rp = 0,013 \left(\frac{P}{10} \right)^{0,25} \frac{z^{1,15}}{T^{0,47}}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15 (58 ... 62 HRC); $z = 40/28 \dots 125/100$; $P = 20 \dots 70$ Н; $T = 10 \dots 70$ с
Притирка	$Ra = 0,4 \frac{Ra_{исх}^{0,36} z^{0,79} v_3^{0,1}}{\alpha^{0,2} T^{0,21}};$ $Rp = 0,08 \frac{Ra_{исх}^{0,22} z^{0,72} v_3^{0,15} \alpha^{0,06}}{T^{0,15}};$ $Sm = 0,07 \frac{v_3^{0,19}}{z^{0,42} \alpha^{0,07} T^{0,2}}$	Обрабатываемый материал – сталь У10А (60 ... 65 HRC); $Ra_{исх} = 0,16 \dots 0,90$ мм; $v_3 = 40 \dots 150$ м/мин; $z = 2/3 \dots 10/7$; $T = 120 \dots 300$ с; $\alpha = 10 \dots 25^\circ$
Накатывание роликами с эллипсной площадкой контакта	$Ra = k_0 v_1^{k_1} s_1^{k_2} r^{k_3} \gamma^{k_4} r_p^{k_5} P^{k_6} D^{k_7} s_2^{k_8}$	v_1 и s_1 – соответственно скорость резания и подача при точении; $v_1 = 70 \dots 280$ м/мин; $s_1 = 0,05 \dots 0,43$ мм/об; радиус при вершине реза $r = 0,5 \dots 2,0$ мм; передний угол реза $\gamma = +4 \dots (-40)^\circ$; профильный радиус ролика $r_p = 0,5 \dots 1,0$ мм; усилие накатывания $P = 294 \dots 784$ Н; диаметр ролика $D = 23 \dots 42$ мм; подача при накатывании $s_2 = 0,07 \dots 0,15$ мм/об; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$ – коэффициенты (табл. 26)

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Эмпирические уравнения	Условия
Накатывание роликами каплевидной площадкой контакта	$Ra = 0,006 \frac{Ra_{исх}^{1,03} v_3^{0,37} s^{0,35} r_p^{0,36}}{P^{0,4} (\text{tg} \varphi_0)^{1,03}};$ $Rp = 0,026 \frac{Ra_{исх}^{0,98} v_3^{0,26} s^{0,41} r_p^{0,41}}{P^{0,34} (\text{tg} \varphi_0)^{0,88}};$ $Sm = 0,61 \frac{Ra_{исх}^{1,12} s^{0,11}}{r_p^{0,4} P^{0,2} v_3^{0,1}}$	Обрабатываемый материал – сталь 45; $Ra_{исх} = 1,5 \dots 6,2$ мкм; $v = 30 \dots 70$ м/мин; $s = 0,07 \dots 0,25$ мм/об; $r_p = 0,5 \dots 1,5$ мм; $\varphi_0 = 0,3 \dots 0,7^\circ$; $P = 294 \dots 784$ Н
Накатывание шариками	$Ra = Rz_{исх}^{0,95} \left(\frac{\sigma_{\max}}{10} \right)^{-0,24} d^{-0,13} s^{0,14} v^{0,04}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15 (62 ... 63 HRC); $Rz_{исх} = 2 \dots 10$ мкм; Максимальные напряжения на контакте: $\sigma_{\max} = 5000 \dots 9000$ Мпа; $d = 5 \dots 10$ мм; $s = 0,03 \dots 0,11$ мм/об; $v = 10 \dots 70$ м/мин
Алмазное выглаживание	$Ra = 1,1 Rz_{исх}^{0,77} \left(\frac{\sigma_{\max}}{10} \right)^{-0,27} d_a^{-0,3} s^{0,14} v^{0,05}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15 (62 ... 63 HRC); $Rz_{исх} = 2 \dots 10$ мкм; $s = 0,03 \dots 0,11$ мм/об; $v = 10 \dots 70$ м/мин; диаметр алмазного индентора $d_a = 1 \dots 5$ мм; $\sigma_{\max} = 3000 \dots 9000$ МПа;
Электромеханическая обработка: предварительно обточенной поверхности с $Ra_{исх} = 1,6 \dots 6,2$ мкм; предварительно шлифованной поверхности с $Ra_{исх} = 0,35 \dots 1,6$ мкм;	$Ra = 0,06 Ra_{исх}^{1,03} I^{-0,03} P^{-0,4} v^{0,37} \times$ $\times s^{0,35} r_p^{0,35} (\text{tg} \varphi_0)^{-1,03};$ $Rp = 0,026 Ra_{исх}^{0,96} I^{0,04} P^{-0,34} v^{0,26} \times$ $\times s^{0,41} r_p^{0,41} (\text{tg} \varphi_0)^{-0,68};$ $Ra = 0,18 Ra_{исх}^{1,22} I^{-0,05} P^{-0,41} v^{0,36} \times$ $\times s^{0,29} r_p^{0,2} (\text{tg} \varphi_0)^{-0,28};$ $Rp = 0,21 Ra_{исх}^{0,96} I^{-0,03} P^{-0,37} v^{0,35} \times$ $\times s^{0,3} r_p^{0,3} (\text{tg} \varphi_0)^{-0,35}$	Обрабатываемый материал – сталь 45; $I = 1 \dots 500$ А; $\varphi_0 = 0,3 \dots 0,7^\circ$; $P = 294 \dots 588$ Н; $v = 30 \dots 70$ м/мин; $r_p = 0,5 \dots 1,5$ мм; $s = 0,07 \dots 0,15$ мм/об

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Эмпирические уравнения	Условия
Магнитообразивная обработка	$Ra = 0,58 \frac{Ra_{\text{нск}}^{0,55} z^{0,15} \delta^{0,3}}{T_m^{0,52} B^{0,05} v^{0,08} v_0^{0,26}};$ $Rp = 1,08 \frac{Ra_{\text{нск}} z^{0,23} \delta^{0,05}}{T_m^{0,39} B^{0,05} v^{0,21} v_0^{0,13}}$	Обрабатываемый материал – сталь 45 (48 ... 52 HRC); рабочий порошок – ЭБН; $z = 160/80 \dots 400/315$; $Ra_{\text{нск}} = 0,3 \dots 1,5$ мкм; время обработки $T_m = 20 \dots 60$ с; магнитная индукция $B = 0,3 \dots 1,1$ Т; зазор $\delta = 0,8 \dots 2$ мм; $v = 84 \dots 169$ м/мин; скорость осцилляции $v_0 = 3 \dots 9$ м/мин
Внутренние цилиндрические поверхности		
Сверление	$Ra = 6,3d^{0,25} v^{0,12} s^{0,41};$ $Rp = 52,4d^{0,17} s^{0,52} v^{-0,14};$ $Rz = 48,7d^{0,17} s^{0,46} v^{0,14};$ $Sm = 0,2d^{0,23} v^{0,32} s^{0,62}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X; $d = 12 \dots 25$ мм; $v = 12 \dots 20$ м/мин; $s = 0,06 \dots 0,14$ мм/об
Зенкование	$Ra = 5,6d^{-0,23} v^{0,16} s^{0,76};$ $Rp = 254,8d^{-0,52} v^{-0,51} s^{0,53};$ $Rz = 458,7d^{-0,64} v^{-0,5} s^{0,41};$ $Sm = 1,5d^{-0,06} v^{-0,22} s^{0,85}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X; $d = 12 \dots 25$ мм; $v = 25 \dots 40$ м/мин; $s = 0,3 \dots 0,6$ мм/об
Развертывание	$Ra = 0,1d^{0,26} v^{0,69} s^{-0,27};$ $Rp = 0,85d^{0,19} v^{0,36} s^{-0,18};$ $Rz = 1,82d^{0,04} v^{0,4} s^{-0,1};$ $Sm = 0,4d^{-0,02} v^{0,13} s^{-0,4}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X; $d = 12 \dots 25$ мм; $v = 5 \dots 10$ м/мин; $s = 0,6 \dots 1,5$ мм/об
Получистовое и чистовое растачивание	$Yl = k_0 s^{k_1} v^{k_2} j_{\text{ст}}^{k_3} r^{k_4} \alpha^{k_5} (50 + \gamma)^{k_7}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X (30 ... 35 HRC); $l = 0,15 \dots 0,8$; $s = 0,05 \dots 0,5$ мм/об; $v = 50 \dots 150$ м/мин; $r = 0,5 \dots 2$ мм; $\gamma = +4 \dots (-40^\circ)$; $\alpha = 3 \dots 7^\circ$; $j_{\text{ст}} = 10 \dots 40$ кН/мм; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$ – коэффициенты (табл. 27)

Продолжение табл. 15

Метод обработки	Эмпирические уравнения	Условия
Получистовое и чистовое внутреннее шлифование	$Y_l = k_0 s_{\text{пр}}^{k_1} s_{\text{рад}}^{k_2} N^{k_3} z^{k_4} v_3^{k_5} H^{k_6} j_{\text{ст}}^{k_7}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X (30 ... 35 HRC); $v_3 = 20 \dots 50$ м/мин; $s_{\text{пр}} = (0,6 \dots 1,5)B$; $s_{\text{рад}} = 0,01 \dots 0,09$ мм/дв. ход; $N = 1 \dots 5$; для СТ2 Н = 5, для МЗ Н = 3; $z = 16 \dots 40$; $j_{\text{ст}} = 8 \dots 30$ кН/мм; $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7$ – коэффициенты (табл. 28)
Хонингование	$Ra = 0,26 \frac{T_1^{0,16} p_1^{0,03} p_2^{0,24} f^{0,4} A^{0,09}}{v_1^{0,04} v_2^{0,33} T_2^{0,11}};$ $Rp = 0,024 \frac{T_1^{0,19} T_2^{0,04} p_1^{0,04} p_2^{0,34} f^{0,43} A^{0,08}}{v_1^{0,05} v_2^{0,23}};$ $Sm = 0,17 \frac{T_1^{0,11} p_2^{0,18} f^{0,37} A^{0,13}}{v_2^{0,36} T_2^{0,17}};$ $Wz = 2,1 \frac{f^{0,25} A^{0,22}}{v_1^{0,04} v_2^{0,14} T_1^{0,34} f^{0,53} p_1^{0,22} p_2^{0,1}}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15; инструмент – электрокорунд зернистостью 50/40 на керамической связке; СОЖ – на основе керосина; скорость черного хонингования – $v_1 = 26 \dots 75$ м/мин; скорость чистового хонингования – $v_2 = 50 \dots 150$ м/мин; $p_1 = 0,5 \dots 1,5$ МПа; $p_2 = 0,5 \dots 1,5$ МПа; частота колебаний инструмента $f = 1300 \dots 1900$ мин ⁻¹ ; $A = 1 \dots 2$ мм; время черного и чистового хонингования $T_1 = T_2 = 5 \dots 10$ с

16. Значения коэффициентов $c, k_0, k_1, k_2, k_3, k_4$ для шлифования плоских поверхностей

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	c	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
20X (54 ... 60 HRC)	Ra , мкм	$\frac{-0,42}{0}$	$\frac{0,01}{0,07}$	$\frac{0,46}{1,08}$	$\frac{0,1}{0,21}$	$\frac{0,54}{0,4}$	$\frac{-0,07}{-0,15}$
	Rp , мкм	$\frac{0,06}{0}$	$\frac{0,06}{0,008}$	$\frac{0,32}{1,16}$	$\frac{0,1}{0,42}$	$\frac{0,62}{0,36}$	$\frac{-0,11}{0,06}$
	Sm , мкм	$\frac{0,87}{0}$	$\frac{7 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-6}}$	$\frac{0,26}{0,73}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,22}{0,27}$	$\frac{-0,12}{-0,01}$

Продолжение табл. 16

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	c	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
20X (60 ... 64 HRC)	Ra , мкм	$\frac{-0,16}{0}$	$\frac{0,17}{0,5}$	$\frac{0,08}{0,01}$	$\frac{0,27}{0,01}$	$\frac{0,17}{0,01}$	$\frac{0,06}{-0,01}$
	Rp , мкм	$\frac{-0,25}{0}$	$\frac{1,3}{1,58}$	$\frac{-0,02}{0,01}$	$\frac{0,22}{0,01}$	$\frac{0,14}{0,01}$	$\frac{0,05}{-0,01}$
	Sm , мкм	$\frac{-0,03}{0}$	$\frac{0,028}{0,040}$	$\frac{0,22}{0,02}$	$\frac{0,16}{-0,01}$	$\frac{0,04}{-0,01}$	$\frac{0,18}{-0,01}$

Примечание. В числителе – при шлифовании абразивным кругом, в знаменателе алмазным кругом.

17. Значения коэффициентов для накатывания шариковыми головками плоских поверхностей

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
СЧ 21	Ra , мкм	3,4	0,99	0,90	0,20	0,02	-0,01
	Rp , мкм	3,1	0,93	0,97	0,26	0,03	-0,02
	Wz , мкм	35	0,11	0,43	0,06	-0,08	-0,07
	$H_{\mu 0}$, МПа	1023	-0,04	-0,31	-0,01	-0,01	0,02
40X (30 ... 32 HRC)	Ra , мкм	8,0	0,77	0,65	0,1	0,21	0,09
	Rp , мкм	17,4	0,64	0,81	0,1	0,21	0,09
	Wz , мкм	25,8	1,04	1,12	0,09	0,13	0,06
	$H_{\mu 0}$, МПа	1206	-0,05	-0,27	-0,01	-0,03	-0,01
40X (40 ... 42 HRC)	Ra , мкм	13,1	0,80	0,75	0,03	0,03	0,02
	Rp , мкм	17,1	0,77	0,89	0,06	0,07	0,03
	Wz , мкм	32	0,91	0,54	0,01	0,02	0
	$H_{\mu 0}$, МПа	2360	-0,01	-0,18	-0,04	-0,01	0,01

18. Значения коэффициентов для вибронакатывания плоских поверхностей

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
СЧ 21	Ra , мкм	8,7	1,01	0,72	-0,29	0,19
	Rp , мкм	0,6	0,90	0,90	0,41	0,16
	Wz , мкм	1,5	0,68	0,73	-0,01	0,03
	$H_{\mu 0}$, МПа	18,2	0,07	-0,45	-0,17	-0,13
40X (30 ... 32 HRC)	Ra , мкм	6,6	0,87	0,99	0,23	0,09
	Rp , мкм	1,8	0,82	0,90	0,41	0,14
	Wz , мкм	1,7	0,69	-0,75	0,14	-0,13
	$H_{\mu 0}$, МПа	155,3	-0,03	-0,26	-0,04	-0,01

Продолжение табл. 18

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
40X (40 ... 42 HRC)	Ra , мкм	7,0	0,90	0,82	0,17	0,09
	Rp , мкм	8,5	0,92	1,03	0,24	0,10
	Wz , мкм	265	0,79	0,98	0,07	0,05
	$H_{\mu 0}$, МПа	288,3	0	-0,20	-0,02	-0,01

19. Значения коэффициентов для суперфиниширования плоских поверхностей

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
СЧ 21	Ra , мкм	0,18	0,48	0,43	-0,20	-0,29	-0,26
	Rp , мкм	1,23	0,39	0,41	-0,10	-0,28	-0,24
	Wz , мкм	0,39	0,46	0,36	-0,14	-0,26	-0,21
	$H_{\mu 0}$, МПа	0,1	-0,06	0,2	-0,73	-0,09	-0,22
Молибден	Ra , мкм	0,05	0,51	0	0,29	-0,37	-0,25
	Rp , мкм	0,57	0,40	0	1,00	-0,40	-0,21
	Wz , мкм	0,21	0,50	0	0,10	-0,38	-0,16
	$H_{\mu 0}$, МПа	0,04	0,01	0	0,17	-0,15	-0,27

20. Значения коэффициентов для получистового и чистового обтачивания

Сталь	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
Ст3	100	0,65	0,60	0,50	1,90
20	41,8	0,75	0,55	1,38	0,25
45	7,0	0,85	0,65	0,36	0,15
70	5,8	1,10	0,68	0,15	0,16

21. Значения коэффициентов для чистового точения стали 40X

Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
Ra , мкм	83,6	-0,45	0,36	-0,10	0,12	0,01	-0,10	-0,22
Rp , мкм	115,8	-0,32	0,10	-0,07	-0,04	0,04	-0,15	-0,36
Sm , мм	1,79	0,18	0,58	-0,25	0,15	0,21	0	-0,31
Wz , мкм	1,55	-0,50	0,24	-0,25	0,21	0,07	0,26	0,33
Smw , мм	1,59	0,47	0,27	0,04	0,05	-0,08	-0,44	0,10
$H_{\mu 0}$, МПа	1636	0,08	0,01	0,09	0,08	-0,06	0,07	0,11

22. Значения коэффициентов для тонкого точения

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
Сталь 45 (48 HRC)	Ra , мкм	0,16	0,59	0,29	0,19	0,66
	Rp , мкм	0,82	0,59	0,38	0,08	0,52
	Sm , мм	0,81	1,34	-0,19	0	0,10
Сталь У10А (62 HRC)	Ra , мкм	0,68	0,77	0,28	0,24	0,56
	Rp , мкм	0,77	0,75	0,24	0,09	0,62
	Sm , мм	0,74	1,20	0,12	0	0,08
Композиционный материал СККН	Ra , мкм	0,43	0,54	0,19	0,33	0,49
	Rp , мкм	0,65	0,69	0,29	0,07	0,47
	Sm , мм	0,60	0,96	0,32	0	0,22
BK15	Ra , мкм	0,39	0,64	0,33	0,19	0,44
	Rp , мкм	0,59	0,78	0,31	0,14	0,76
	Sm , мм	0,68	1,32	0,21	0	0,19
Высокопрочный чугун	Ra , мкм	6,00	0,28	0,20	0,21	0
	Rp , мкм	8,36	0,24	0,20	0,12	0
	Sm , мм	0,06	0,01	0,03	-0,04	0

23. Значения коэффициентов для круглого чистового шлифования

Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
Ra , мкм	0,47	-0,06	0,36	-0,01	-0,02	0,29	0,08	0,34
Rp , мкм	1,08	-0,02	0,16	0,03	0,01	0,71	0,03	0,24
Sm , мм	0,02	-0,22	0,34	-0,15	0,04	0,24	0,06	0,13
Wz , мкм	4,30	0,01	0,23	0,08	-0,06	0,51	0,09	-0,25
Smw , мм	0,14	-0,03	0,36	-0,12	-0,06	0,40	0,18	0,10
$H_{\mu 0}$, МПа	2253	0,03	-0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	-0,01

24. Значения коэффициентов при суперфинишировании

Определяемый параметр	k_4 для стали		k_0 для концентрации алмазов		k_1 при подаче СОЖ	
	45	40X	100	50	под давлением	поливом
Ra , мкм	1,93	1,39	-	-	1,23	1,11
Rp , мкм	2,04	1,43	2,42	2,22	1,65	1,29
Sm , мм	1,16	1,08	1,54	1,44	-	-

25. Значения коэффициентов при полировании конечными лентами

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
Сталь 45 (56 ... 62 HRC)	Ra , мкм	1,01	0,81	-0,01	0,33	0,10	0,20
	Rz , мкм	1,07	0,75	0,37	0,41	-0,01	0,24
	Rp , мкм	0,45	0,52	0,34	0,33	0,11	0,20
	Sm , мм	56,3	-41,3	-0,15	5,10	0	-0,17
Сталь 30ХГСА (30 ... 35 HRC)	Ra , мкм	0,49	1,17	0,47	0	0,14	0,24
	Rz , мкм	3,40	1,80	0,12	0,46	0,35	0,27
	Rp , мкм	2,31	1,14	0,25	0,44	0,25	0,20
	Sm , мм	34,8	-28,4	0	0,81	0	0,18

26. Значения коэффициентов при накатывании роликами с эллипсной площадкой контакта

Обрабатываемый материал	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
Сталь 20	139,4	-0,18	0,30	0,05	-0,28	-0,18	-1,15	0,97	0,33
Сталь 45	228,6	-0,11	0,47	0,78	-0,22	-0,26	-1,15	0,86	0,27
Сталь 70	287,0	0	0,50	0,75	-0,38	-0,21	-1,27	1,05	0,39

27. Значения коэффициентов для растачивания

Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
Ra , мкм	76,2	0,57	0,03	0,04	-0,08	-0,20	-0,34	-0,35
Rp , мкм	228,2	0,66	0	0,05	-0,02	-0,16	-0,52	-0,23
Sm , мм	0,01	0,46	0,03	0	0	0,12	-0,19	0,10
Wz , мкм	29,0	0,37	-0,56	-0,05	0	0,10	-0,12	0,62
Wp , мкм	7,6	0,31	-0,38	-0,22	0	0,08	-0,43	1,08
Smw , мм	30,0	-0,09	0,25	-0,07	0	-0,08	0,30	-0,11
$H_{\mu 0}$, МПа	961,6	0,02	0,01	-0,09	0,03	-0,01	0	-0,11

28. Значения коэффициентов для внутреннего шлифования

Определяемый параметр	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
Ra , мкм	9,25	0,39	0,05	0,01	0,06	-0,23	-0,04	-0,98
Rp , мкм	76,6	0,28	0,11	-0,06	-0,08	-0,16	-0,53	-1,16
Sm , мм	0,002	-0,02	0,08	0,29	0,62	0,27	0,19	-0,33
Wz , мкм	3,3	0,61	-0,10	-0,42	0,06	-0,18	0,32	-0,39
Wp , мкм	34,6	0,93	-0,04	0,03	-0,14	-0,33	0,09	-0,81
Smw , мм	1,09	0,13	0,14	-0,04	0,03	0,07	-0,17	0,18
$H_{\mu 0}$, МПа	243,4	0,03	0,01	0,01	-0,02	0,05	0,01	-0,03

Приведение зависимости используют при расчете оптимальных условий изготовления деталей с учетом их качества.

После проведения расчетов для всех возможных методов обработки в блоке 8 (рис. 8) осуществляется окончательный выбор метода обработки конкретной поверхности, обеспечивающей получение необходимых параметров

ее состояния, точности размеров и минимальной себестоимости.

Необходимо отметить, что технологические расчеты, начиная с блока 3, являются формализованными и могут осуществляться на ЭВМ.

Структурная схема оптимизации обработки детали с учетом ее качества представлена на рис. 9.

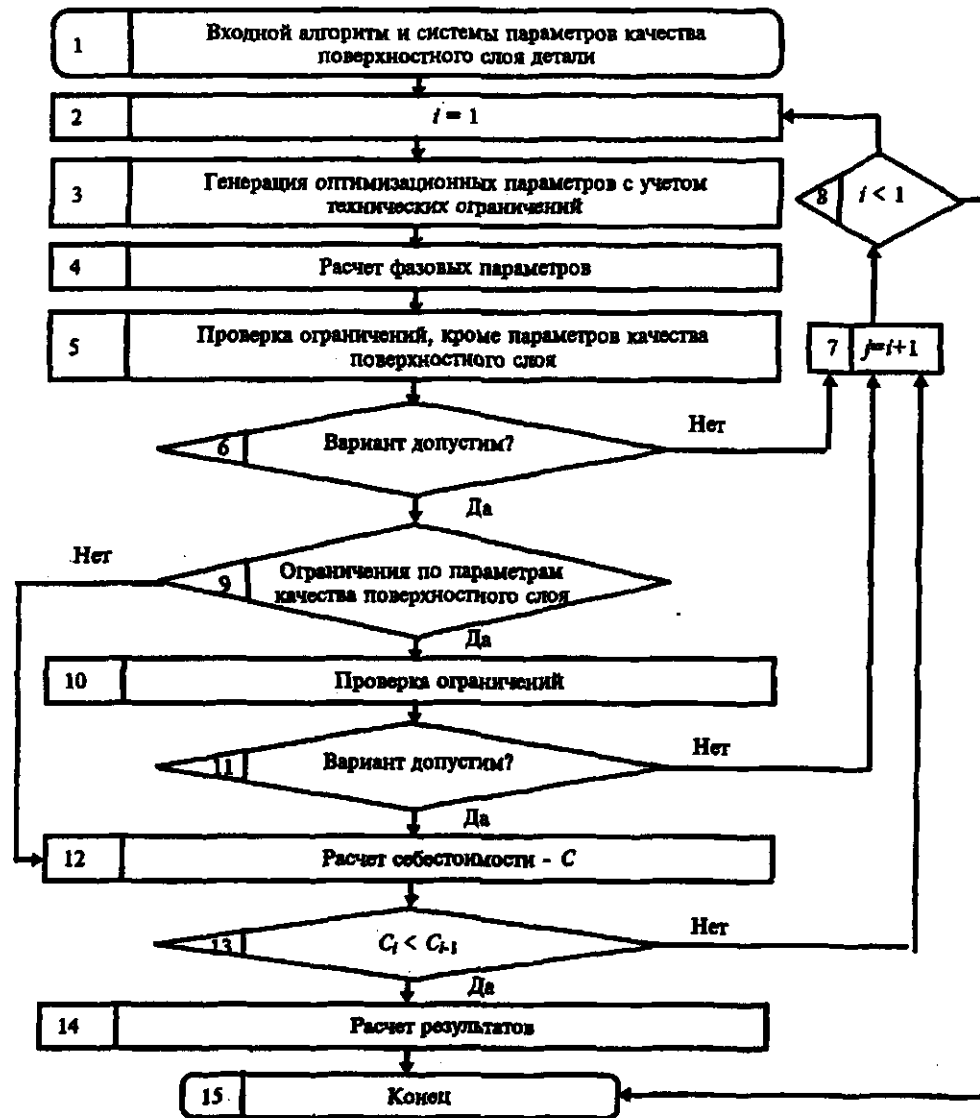


Рис. 9. Структурная схема оптимизации изготовления детали с учетом качества ее поверхностного слоя

При разработке программ целесообразно применять технологически ориентированные языки программирования, которые позволяют параллельно с выводом результатов расчета на печать изготавливать программноносители для станков с ЧПУ. Примером разработки технологически ориентированных языков программирования могут служить системы подготовки управляющих программ, например, "ЕХАРТ".

На стадии технологической подготовки производства эту комплексную задачу, как правило, разделяют на ряд конкретных задач.

Наряду с расчетным методом определения оптимальных режимов обработки на практике успешно применяют табличный метод. В отдельных случаях выбор методов окончательной обработки заготовок определяется их надежностью по обеспечению параметров качества поверхностного слоя деталей машин.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ

Наряду с окончательными методами обработки значительное влияние на качество поверхностного слоя деталей машин оказывает предшествующая обработка. Это явление переноса свойств поверхностного слоя от предшествующих операций к последующим называется *технологическим наследованием*.

Исходные неровности поверхности детали (макроотклонение, волнистость и шероховатость) приводят к неравномерности глубины резания, а следовательно, к изменениям сил резания и вынужденным колебаниям инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Естественно, что эти колебания будут оказывать влияние на формирование неровностей при окончательной обработке деталей. Математически для механической обработки это описано выше.

При *лезвийной обработке* формирование шероховатости зависит от Rz и колебаний исходной поверхностной твердости $HВ_{min}$, $HВ_{max}$. Волнистость зависит от ее исходной величины, Rz_{max} и изменений поверхностной твердости. Исходное макроотклонение частично наследу-

ется при последующей обработке, а также зависит от исходных физико-механических параметров поверхностного слоя ($H_{ис}$, $h_{ис}$, σ_0 , h_0). Формирование физико-механических свойств поверхностного слоя в значительной мере будет зависеть от исходного состояния. Причем, предшествующие степень и глубина упрочнения будут оказывать влияние на возникающие поверхностные остаточные напряжения. Кроме того, исходные неровности будут вызывать неравномерность силового и температурного воздействий на различные участки обрабатываемой поверхности, а следовательно неравномерности структуры и формирования поверхностных остаточных напряжений. Так как предшествующая лезвийная обработка производится с большей глубиной резания и подачей и, как правило, с меньшей скоростью резания чем последующая, то при ней создается большая степень упрочнения и глубина упрочненного слоя. Следовательно, при каждой последующей обработке в зависимости от глубины резания, силового и температурного воздействия будут влиять на упрочненную и неупрочненную поверхности. Совершенно очевидно, что это будет вызывать изменение картины упрочнения поверхностного слоя.

Технологическое наследование параметров качества поверхностного слоя при лезвийной обработке схематично показано на рис. 10, а.

При *абразивной однопроходной обработке* картина технологического наследования качества поверхностного слоя аналогична лезвийной обработке. Учитывая, что процесс шлифования осуществляется за несколько рабочих ходов, да еще, как правило, с выхаживанием, то исходная шероховатость поверхности не будет оказывать влияния на ее последующее формирование. В то же время исходные неровности поверхности при абразивной обработке могут существенно влиять на физико-механические свойства поверхностного слоя. Это объясняется тем, что исходные неровности, даже небольшие 0,01 мм (в пределах Rz 10) будут вызывать более значительные колебания фактической глубины шлифования при ее значениях 0,01 ... 0,02 мм, а следовательно, и разность температурного и силового воздействия на соседние участки (выступы и впадины неровностей) обрабатываемой поверхности.

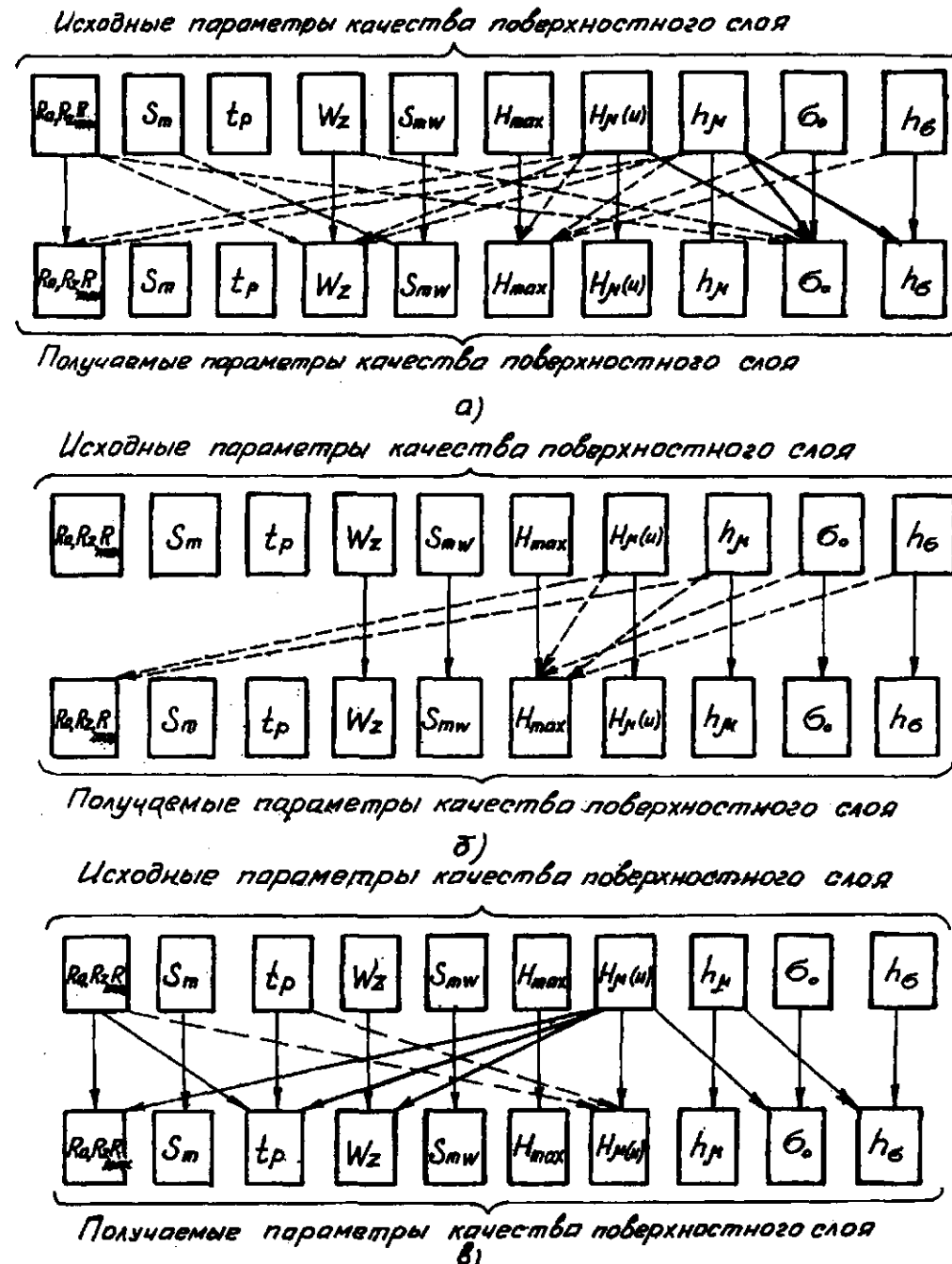


Рис. 10. Технологическое наследование основных параметров качества поверхностного слоя деталей: — основное наследование; — второстепенное наследование; а — лезвийная обработка; б — алмазно-абразивная обработка; в — отделочно-упрочняющая обработка ППД

Параметры волнистости и макроотклонения будут частично наследоваться от их исходного состояния. Кроме того, формируемое макроотклонение зависит как и при лезвийной обработке от исходных физико-механических параметров поверхностного слоя. Особенно технологическое наследование проявляется при плосковершинной алмазно-абразивной обработке, полировании и суперфинише, когда снимаемый припуск находится в пределах исходной высоты неровностей шероховатости. Общая схема технологического наследования параметров качества поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке приведена на рис. 10, б).

При отделочно-упрочняющей обработке поверхностным пластическим деформированием (ОУО ППД) физическая картина технологического наследования параметров качества поверхностного слоя значительно отличается от лезвийной и алмазно-абразивной обработок. Так как обработка производится не за счет снятия поверхностного слоя, а за счет пластических деформаций, то даже незначительное изменение величины натяга вследствие исходных неровностей поверхности будет вызывать значительные изменения рабочих давлений. Особенно это касается жесткого инструмента, используемого при ОУО ППД.

При статическом вдавлении шарика и одинаковом рабочем усилии формируемая шероховатость определяется ее исходной величиной. Причем это относится как к высотным (Ra, Rz, R_{max}), так и шаговым S_m и опорным t_p параметрам. Только при ОУО ППД параметр шероховатости t_p управляется не только за счет режимов, но и исходной величины шероховатости. Для увеличения t_p при одинаковых режимах ОУО ППД необходимо иметь большие значения исходных высотных параметров шероховатости. Кроме того, формируемая шероховатость будет зависеть и от исходной поверхностной микротвердости $H_{\mu 0}$. Следует отметить, что такой механизм технологического наследования будет справедлив только при небольших силах, т.е. при ОУО ППД на отделочных режимах.

При обработке на упрочняющих режимах за счет поверхностного пластического деформирования может произойти полное переформирование исходной шероховатости (рис. 11).



Рис. 11. Изменение шероховатости поверхности при ОУО ППД на упрочняющих режимах: а — исходный профиль шероховатости; б — сформированный профиль шероховатости

Волнистость при ОУО ППД в значительной мере зависит от ее исходной величины, исходной шероховатости и твердости поверхности. Макроотклонение практически не изменяется и копируется, т.е. в полной мере проявляется технологическая наследственность, что является одним из недостатков данного метода.

Физико-механические свойства поверхностного слоя зависят от исходного состояния и исходных неровностей обрабатываемой поверхности. При обработке на отделочных режимах на вершинах этих неровностей величина упрочнения будет больше, чем в их впадинах. Это относится к макроотклонению, волнистости и шероховатости. При обработке на упрочняющих режимах поверхностная твердость различных участков выравнивается.

Схематично технологическое наследование параметров качества поверхностного слоя деталей при ОУО ППД представлено на рис. 10, в).

Из всех методов механической обработки технологическое наследование в наибольшей мере проявляется при ОУО ППД на отделочных режимах.

Исследования показали, что при проектировании технологических процессов целесообразно придерживаться следующего правила технологического наследования: каждая последующая обработка уменьшает исходные высотные параметры шероховатости в 2 ... 6 раз. Например, если требуется обработать наружную поверхность вращения с $Ra 0,05 \dots 0,08$, а заготовкой является поковка, то необходимо предусмотреть следующие операции:

- 1) точение: черновое $Rz 40 \dots 60$; чистовое $Ra 2,0 \dots 3,0$;
- 2) шлифованием: черновое $Ra 0,6 \dots 1,0$; чистовое $Ra 0,16 \dots 0,2$;
- 3) суперфиниш или притирка $Ra 0,05 \dots 0,08$.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ

Основными факторами, определяющими качество поверхностного слоя деталей при изготовлении, являются строгое соблюдение технологической дисциплины, т.е. исполнение разработанных технологических процессов, и оперативный контроль и подналадка технологических систем при возможных отклонениях от допустимых значений. В станке эти отклонения обусловлены уменьшением его жесткости и точности из-за износа в узлах трения, процессов схватывания в этих узлах из-за нарушения подачи смазочного материала, ослабления затяжных компенсирующих элементов. В приспособлениях – износом базирующих элементов, уменьшением сил закрепления и т.д. В инструменте – износом и ослаблением его крепления. В заготовке – отклонением

твердости материала и размеров больше допустимых значений.

Строгое соблюдение технологической дисциплины при механической обработке обеспечивается на автоматических и роторных линиях, автоматах и полуавтоматах – наладчиками; на станках с ЧПУ и многоцелевых станках – программистами и наладчиками; на универсальных станках – станочниками. Контроль за соблюдением технологической дисциплины осуществляют технолог, контролер, мастер.

При соблюдении технологической дисциплины и необеспеченности требуемого качества поверхностного слоя детали на одной из операций должно быть осуществлено оперативное изменение технологического процесса, которое, как правило, заключается в корректировке условий обработки. Для этого с успехом могут быть использованы данные, приведенные в табл. 29 ... 33.

29. Взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя деталей машин с условиями их лезвийной обработки

Параметр	Точность	Ra	Sm	S	Rp	Wz	Smw	Hmax	±σ _{ост}	h _α	U _н	h _н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Подача s:												
< 0,07	0	0	+	+	-	0	0	0	+	+	+	+
≥ 0,07	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Скорость резания v:												
< 30	0	+	0	-	+	+	-	0	-*	-*	-*	-*
≥ 30	0	-	0	+	-	-	-	0	-*	-*	-*	-*
Глубина резания t	-*	+	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+
Углы в плане φ и φ ₁ :												
< arcsin s/2r	-	+	0	+	+	-	0	+	-	-	-	-
≥ arcsin s/2r	0	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0
Передний угол γ:												
> 0	-*	+	0	-	+	-*	0	+	-	-	-	-
< 0	-*	+	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Радиус вершины r	-	-*	0	-	-	+	0	+	+	+	+	+
Радиус скругления режущей кромки ρ	-	+	0	-	+	+	0	+	+	+	+	+
Шероховатость режущей кромки Rz _p	0	+	-	-	+	0	0	0	-	-	-	-

Продолжение табл. 29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Жесткость технологической системы j	+	-	+	+	-	-*	-*	-*	+	+	+	+
Точность станка	+	-	0	0	-	-*	-*	-*	0	0	0	0
Неравномерность твердости заготовки	-	+	0	0	+	+	+	+	0	0	0	0
Предел текучести материала заготовки	-	-	0	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Молекулярное средство материала режущей части инструмента с материалом заготовки τ _α	-*	-	-	-	-	+	0	+	+	+	+	+
СОТС	+	-	-	-	-	-	0	-	+	+	+	+
Исходные параметры:												
точность	+	0	0	0	0	-	-	-*	0	0	0	0
волнистость	-	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0
шероховатость	0	+	+	+	+	+	+	0	0	0	0	0

Примечание: 1. Знак "+" означает, что увеличение или уменьшение данного параметра способствует увеличению или уменьшению соответствующего параметра качества детали.

2. Знак "-" означает, что увеличение или уменьшение данного параметра способствует уменьшению соответствующего параметра качества детали.

3. Знак "0" означает, что изменение данного параметра практически не влияет на соответствующий параметр качества детали.

4. Знак "*" означает, что данный параметр оказывает основное влияние на соответствующий параметр качества детали.

30. Взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя деталей машин с условиями их алмазно-абразивной обработки

Параметр	Точность	Ra	Sm	S	Rp	Wz	Smw	Hmax	±σ _{ост}	h _α	U _н	h _н
Круговая или линейная скорость детали v _d	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Подача s	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Глубина резания t	-*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Число выхаживаний N	+	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-	-	-	-
Зернистость z	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+

Продолжение табл. 30

Параметр	Точность	Ra	Sm	S	Rp	Wz	Smw	Hmax	$\pm\sigma_{ост}$	h _σ	U _н	h _н
Концентрация K	+	-*	-*	-*	-*	+	-	-	+	+	+	+
Молекулярное сродство материала зерен с материалом заготовки τ _а	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Правка круга	+	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-	-	-	-	-
Жесткость технологической системы j	+	-	0	0	-	-*	-*	-*	+	+	+	+
Предел текучести материала	-	-	0	-	-	+	+	+	-	-	-*	-*
Неравномерная твердость заготовки	-	+	0	0	+	+	+	+	0	0	0	0
COTC	+	0	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Точность станка	+	-	-	-	-	-*	-*	-*	0	0	0	0
Исходные параметры:												
точность	+	0	0	0	0	-	-	-*	0	0	0	0
волнистость	-	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0
шероховатость	0	+	+	0	+	+	+	0	0	0	0	0
степень наклепа	-*	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. См. примечания к табл. 29.

31. Взаимосвязь параметров качества поверхностного слоя деталей машин с условиями их отделочно-упрочняющей обработки ППД

Параметр	Точность	Ra	Sm	S	Rp	Wz	Smw	Hmax	$\pm\sigma_{ост}$	h _σ	U _н	h _н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Скорость v	0	+	0	0	+	-	-	0	-	-	-	-
Подача z	0	+	+	+	+	+	+	0	-*	-*	-*	-*
Рабочая нагрузка P	+	+	+	-	+	+	+	-*	+	+	+	+
Число рабочих ходов i	+	-*	-*	-*	-*	-*	-*	-*	+	+	+	+
Радиус рабочего шарика и индикатора R	0	-*	0	0	-*	-	+	0	-*	+	-*	+
Диаметра рабочего ролика D	0	-	0	0	-	-	+	0	-	+	-	+
Профильный радиус ролика r	0	-*	0	0	-*	-*	+	0	-*	+	-*	+

Продолжение табл. 31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Задний угол вдавливания φ	0	+	0	0	+	+	-	0	-*	+	-*	+
Волнистость и эксцентриситет ролика	-	+	0	0	+	+	+	+	-	-	-	-
Шероховатость рабочей поверхности инструмента	0	+	-	-	+	0	0	0	0	0	0	0
Молекулярное сродство материала выглаживающего индентора с материалом заготовки τ _а	-	+	+	+	+	0	0	+	-	-	-	-
Предел текучести обрабатываемого материала σ _т	-	+	0	0	+	+	+	+	-*	-*	-*	-*
Жесткость технологической системы	+	0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0
Исходные параметры:												
точность	+	0	0	0	0	-*	+	-*	0	0	0	0
волнистость Wz _{исх}	-	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0	0
шероховатость Rz _{исх}	0	+	+	+	+	+	-	0	0	0	0	0
COTC	+	-	0	0	-	-	+	-	+	+	+	+
Точность станка	+	0	0	0	0	-	+	-	0	0	0	0

Примечание. См. примечания к табл. 29.

32. Зависимость параметров шероховатости обработанной поверхности гильз из чугуна СЧ21 от марки хонинговального инструмента

Марка хонинговального инструмента	Ra, мкм	Rz, мкм	Sm, мкм	Rp, мкм	Rmax, мкм
К312	2,10	8,40	0,08	5,45	12,60
AC15. 400/315	5,25	21,00	0,50	13,70	31,60
К38	1,05	4,20	0,05	2,75	6,30
AC15. 250/200	3,20	12,80	0,10	8,30	13,20
К36	0,75	3,75	0,04	1,95	4,50
AC6. 125/100	1,15	5,75	0,05	3,00	9,10
КЗМ20	0,22	1,10	0,02	0,57	1,32
AC2. 80/63	0,20	0,95	0,08	0,49	1,14

33. Зависимость параметров шероховатости обработанной поверхности деталей из стали ШХ15(58 ... 62 HRC) от марки шлифовальной ленты

Марка ленты	Ra, мкм	Rz, мкм	Sm, мкм	Rp, мкм	Rmax, мкм
АСО 80/63-Р14	0,30	2,00	0,036	1,12	2,50
АСО 80/63-Р9	0,28	1,60	0,036	0,90	2,00
АСО 80/63-Р1	0,14	0,75	0,028	0,40	1,00
АСО 63/50-Р9	0,14	0,80	0,030	0,42	1,00
АСМ 40/28-Р9	0,10	0,40	0,025	0,20	0,55
КО 80/63-Р14	0,52	2,50	0,040	1,40	3,00
КО 80/63 Р9	0,46	2,40	0,032	1,25	3,10
КО 80/63-Р1	0,30	2,10	0,030	1,40	2,80
Э9 (водостойкая)	0,45	2,20	0,050	1,20	2,60
АСО 80/63-Р9	0,28	1,50	0,036	0,90	1,85
АСМ 40/28-Р9	0,03	0,14	0,022	0,07	0,18
АСМ 10/7-Р9	0,01	0,05	0,010	0,03	0,06

Как видно из таблиц, точною в наилучшей степени можно управлять при обработке резанием, волнистостью – при алмазно-абразивной и отделочно-упрочняющей обработках, параметрами шероховатости – при всех методах обработки и физико-механическими свойствами поверхностного слоя – при отделочно-упрочняющей обработке ППД. Причем при лезвийной обработке основное влияние на точность размеров и формы деталей оказывают точность станка, жесткость технологической системы и материал режущего инструмента; на волнистость – жесткость системы и точность станка; на параметры шероховатости – подача (при $s \geq 0,1$ мм/об); на физико-механические свойства – СОТС, геометрия режущей части инструмента и режимы.*

При алмазно-абразивной обработке на точность размеров и формы деталей влияют точность станка, жесткость технологической системы, глубина резания и число выхаживаний; на волнистость – жесткость технологической системы, точность станка, число выхаживаний; на параметры шероховатости – зернистость круга, подача и число выхаживаний; на физико-механические свойства – СОТС, твердость круга и глубина резания.

* Последовательность перечисления условий обработки определяется уменьшением степени их влияния.

При отделочно-упрочняющей обработке ППД на точность детали влияют исходная точность ее размеров и формы и рабочая нагрузка; на волнистость – рабочая нагрузка, геометрия рабочей части инструмента и исходная волнистость; на параметры шероховатости – рабочая нагрузка, исходные параметры шероховатости и подача; на физико-механические свойства – рабочая нагрузка и геометрия инструмента. Это говорит о том, что основное влияние на качество детали при отделочно-упрочняющей обработке ППД оказывает рабочее давление.

Примеры общих закономерностей изменения показателей качества поверхностного слоя детали при изменении условий их обработки приведены на рис. 12, 13.

Приведенные данные убедительно показывают, что важнейшим фактором, определяющим качество поверхностного слоя детали, является соблюдение технологической дисциплины. Так, изменение марки алмазно-абразивного инструмента или режимов механической обработки может привести к десятикратному изменению параметров состояния обработанной поверхности. Причем наряду с режимом изменением нормированных и контролируемых параметров качества деталей нарушение технологической дисциплины приводит к

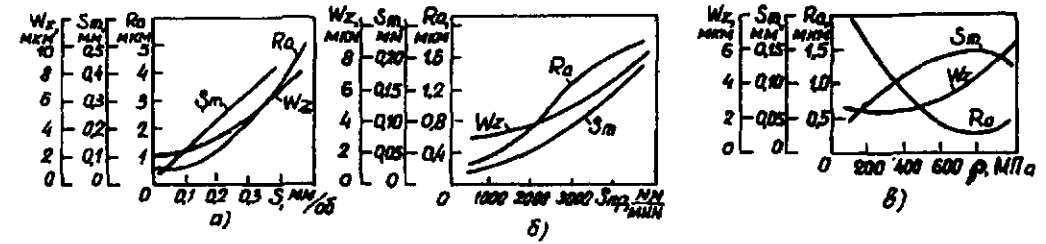


Рис. 12. Изменение геометрических параметров качества поверхности детали в зависимости от изменения условий обработки: а – подачи при точении; б – продольной подачи при шлифовании; в – рабочего давления при ОУО ППД

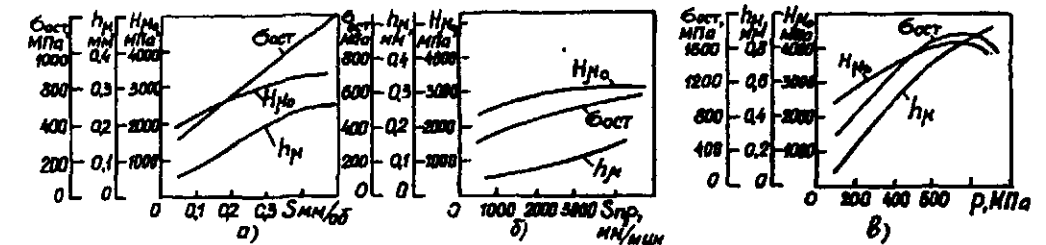


Рис. 13. Изменение физических свойств поверхностного слоя детали в зависимости от изменения условий обработки: а – подачи при точении; б – продольной подачи при шлифовании; в – рабочего давления при ОУО ППД

скрытому ухудшению их надежности и долговечности (остаточные напряжения, скрытые прижоги и микротрещины). Эти скрытые ухудшения зачастую приводят к недопониманию со стороны станочников необходимости соблюдения технологической дисциплины.

Все это говорит о том, что одной из основных задач в обеспечении качества поверхностного слоя деталей при механической обработке является строжайший контроль за соблюдением технологической дисциплины. Для устранения влияния случайных отклонений условий механической обработки на качество изготавливаемых деталей с успехом используют различные системы адаптивного управления технологическими процессами. Эти системы базируются на получении информации, характеризующей истинное состояние процесса (контроль сил резания, температуры, силы тока и мощности двигателей, давления в гидросистемах, точности обрабатываемого размера и параметров шероховатости и др.), и соответствующих оперативных, как правило, автоматических изменениях режимов резания.

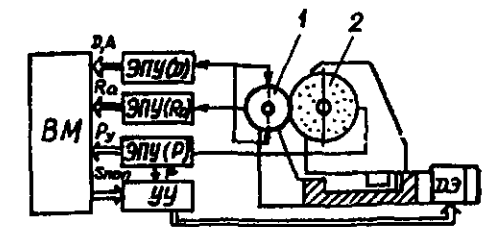


Рис. 14. Система адаптивного управления качеством обрабатываемой детали при шлифовании: 1 – деталь; 2 – шлифовальный круг

Развитие измерительной и вычислительной техники позволяет перейти к непосредственному измерению параметров качества детали при обработке, что раскрывает новые возможности для систем адаптивного управления (САУ) процессами резания. Так, на рис. 14 приведена САУ качеством обрабатываемой детали при шлифовании, позволяющая оптимизировать процесс обработки и обеспечить требуемую точность размера и параметры шероховатости поверхности.

Диаметр D , параметр шероховатости Ra заготовки и радиальная составляющая P_r силы резания в виде электрических сигналов поступают в электронные преобразующие устройства ЭПУ, откуда их значения поступают на аналоговый вход вычислительной машины. Сигнал A работы шлифования зависит от скорости изменения измеряемого диаметра заготовки. Вычислительная машина в зависимости от измеренных и вычислительных параметров (Ra , P_r , D и A) оптимизирует значение поперечной подачи $s_{\text{пов}}$, передаваемое в управляющее устройство УУ, где оно кодируется и поступает в виде электрического сигнала на дискретный электродвигатель ДЭ. Сигнал P_r , радиальной составляющей силы шлифования также поступает на управляющее устройство для своевременного переключения быстрого подвода круга на рабочую подачу соприкосновения круга с заготовкой и ее остановки, если радиальная сила шлифования превысит допустимую.

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Технологическое обеспечение параметров качества поверхности (шероховатость, волнистость, макроотклонения) и поверхностного слоя (физико-механические свойства) является одним из определяющих факторов формирования требуемых эксплуатационных свойств деталей на стадии изготовления. Наличие значительного количества случайных факторов в технологической системе (ТС) обработки обуславливает вероятностный характер формирования параметров качества поверхностного слоя (ПКПС) обрабатываемой детали, которые являются случайными величинами с соответствующими статистическими характеристиками (математическое ожидание, дисперсия и др.). В связи с этим значения ПКПС Y_i в конструкторской документации регламентируются интервальными оценками вида:

$$Y_i < \bar{Y}_i \text{ (50)}, Y_i > \bar{Y}_i \text{ (51)}, Y_i \in (\bar{Y}_i \pm \delta \bar{Y}_i). \text{ (52)}$$

Здесь \bar{Y}_i – номинальное значение i -го параметра ПКПС, $\delta \bar{Y}_i$ – ($0 < \delta < 1$) его допус-

тимое отклонение от номинала. Оценки (50, 51) представляют собой односторонние, а (52) – двухстороннее ограничения по параметру качества Y_i . Причем, оценка (52) может быть и несимметричной.

Предполагается, что ПКПС Y_i имеют нормальный или логарифмически нормальный закон распределения (что для большинства рассматриваемых ПКПС подтверждено экспериментально), вероятности выполнения условий (50) и (52) при обработке детали в конкретной ТС определяются соответственно зависимостям:

$$P\{Y_i < \bar{Y}_i\} = 0,5 + \Phi\left(\frac{\bar{Y}_i - M\{Y_i\}}{S\{Y_i\}}\right), \text{ (53)}$$

$$P\{Y_i \in (\bar{Y}_i \pm \delta \bar{Y}_i)\} = \Phi\left(\frac{Y_{i\max} - M\{Y_i\}}{S\{Y_i\}}\right) - \Phi\left(\frac{Y_{i\min} - M\{Y_i\}}{S\{Y_i\}}\right). \text{ (54)}$$

Здесь $Y_{i\max} = \bar{Y}_i + \delta \bar{Y}_i$, $Y_{i\min} = \bar{Y}_i - \delta \bar{Y}_i$ – допустимые максимальное и минимальное значения регламентируемого параметра Y_i ; $M\{Y_i\}$, $S\{Y_i\}$ – его математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение, соответственно; Φ – функция Лапласа.

Зависимости (53), (54) являются оценкой параметрической надежности ТС по качеству обрабатываемых деталей. Установлено, что она зависит от типа ТС, ее физического состояния и от условий обработки (режимы, материалы и исходное состояние поверхности детали, геометрия и материал режущей части инструмента и др.). Чем выше параметрическая надежность ТС по обеспечению ПКПС, тем выше надежность формирования в процессе обработки требуемых эксплуатационных свойств детали. С целью обеспечения должного качества продукции одним из критериев рациональности выбора той или иной ТС должен быть критерий максимума ее параметрической надежности. В общем случае по регламентируемой системе из n ПКПС:

$$P\{Y_i \in (Y_{i\min}; Y_{i\max})\} = \max, i = \bar{1}, n. \text{ (55)}$$

При $i = 1$ решение этой задачи существенно упрощается.

Большое количество случайных факторов, определяющих параметрическую надежность ТС, делает весьма затруднительной разработку универсальной всеобъемлющей базы данных по ее показателям и значительная часть работы в этом направлении должна выполняться в соответствующих экспериментально-технологических службах. Эффективность оценки параметрической надежности ТС определяется правильной организацией соответствующих экспериментов в сочетании с применением современных статистических методов обработки его результатов.

При определении показателей надежности ТС по параметрам качества деталей возникает необходимость решения значительного количества разноплановых задач. С точки зрения системного подхода это объясняется иерархией операций в технологическом процессе, множеством причинно-следственных связей между параметрами качества детали и условиями обработки на предшествующих и последующих операциях.

Для успешного решения поставленной задачи необходимо знать соотношения, связывающие ПКПС Y_i с условиями обработки X_k для каждой исследуемой ТС, которые представляют собой модели формирования ПКПС в процессе обработки. С этой целью рекомендуется использовать физико-статистический подход, так как он определяет одну из сторон научной идеологии в постановке и решении всех задач содержательной части системной методологии исследования технологических процессов. Его новая концепция заключается в том, что структура модели ТС формируется на основе физико-технологического анализа причинно-следственных связей факторов обработки и внешней среды; выходные параметры определяются статистическими методами.

Для построения моделей и исследования параметрической надежности ТС целесообразно применять метод имитационного моделирования, так как он характеризуется высокой эффективностью при сравнительно небольших материальных затратах. Построение и анализ моделей ТС методом имитационного моделирования базируется на основе математико-статистического подхода к анализу сложных

систем и предполагает использование метода статистических испытаний (метод Монте-Карло). Имитационное моделирование ТС включает методологию построения системных моделей, методы алгоритмизации объектов, методы и средства построения программных реализаций имитаторов, планирование организации и выполнение на ЭВМ экспериментов с имитационными моделями, машинную обработку данных и анализ результатов.

В предлагаемой схеме определения показателей параметрической надежности ТС, отвечающей указанной методологии (рис. 15), выделяются два этапа исследований: А) построение и анализ модели (блоки 1 ... 6); В) исследование параметрической надежности (блоки 7 ... 10).

Построение статистических моделей наиболее эффективно проводить с помощью активного эксперимента, применяя методы корреляционно-регрессионного анализа. Одним из основных этапов, влияющих на качество полученной модели и ее эффективность, является выбор факторов, которые оказывают при обработке решающее влияние на формирование параметров качества детали. Выбор факторов можно осуществлять на основе анализа графов корреляционных связей, построенных по величинам коэффициентов парной или частной корреляции между входными и выходными параметрами ТС (блок 2).

При выборе плана эксперимента (блок 3) следует иметь в виду, что с точки зрения экономичности более предпочтительны планы первого порядка, с помощью которых получен ряд удовлетворительных результатов при исследовании различных ТС механической обработки.

Определение ПКПС (блок 5) связано с измерением и расчетом соответствующих величин. С целью сведения к минимуму неизбежных ошибок измерения следует использовать на данном этапе элементы автоматизированной системы научных исследований, в частности, автоматизированных на базе ПЭВМ систем определения ПКПС.

Построение и анализ модели ТС (блок 6) заключается в оценке: ее параметров и их вероятностных характеристик; значимости рассматриваемых факторов и адекватности.

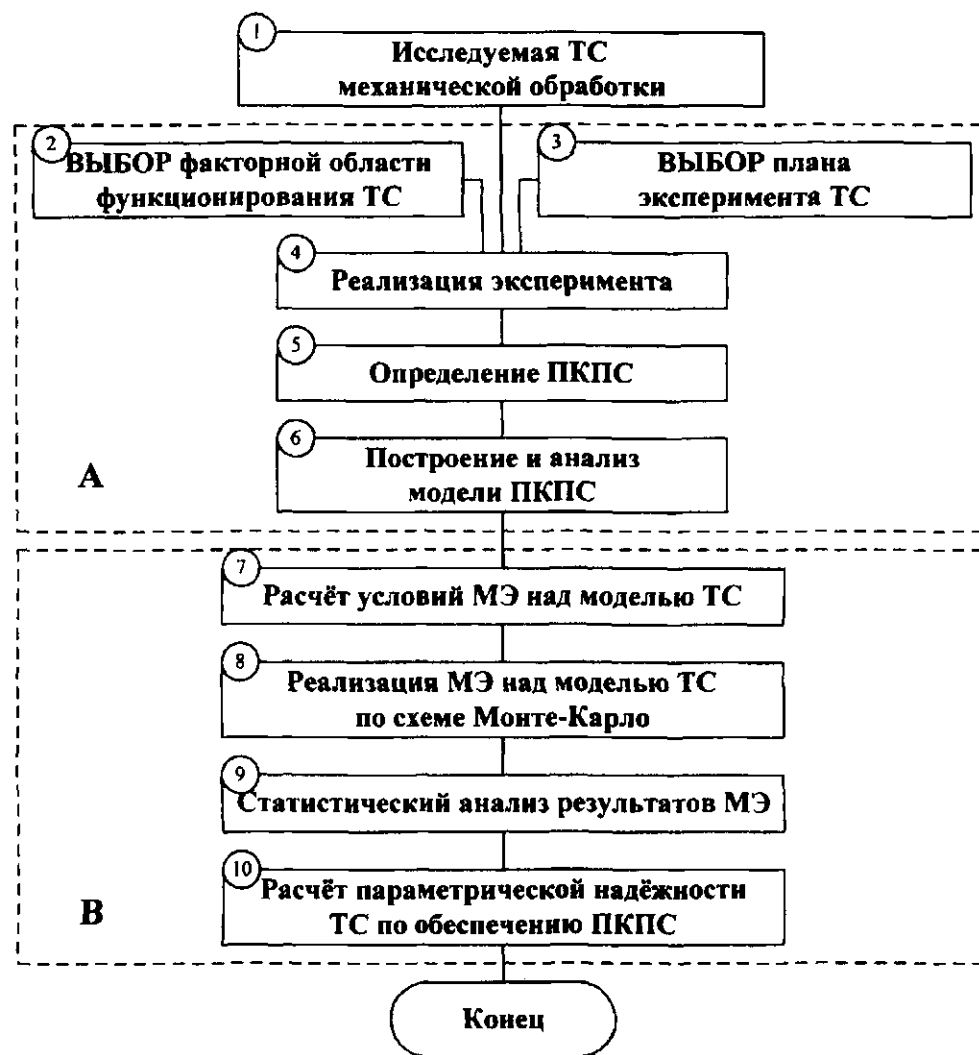


Рис. 15. Схема определения параметрической надёжности ТС по обеспечению ПКПС

Расчет параметрической надёжности ТС (блоки 7 ... 10) является полностью формализованным. Исходными данными для реализации машинных экспериментов (МЭ) над моделью ТС являются их параметры с соответствующими вероятностными характеристиками и область пространства условий обработки, в которой будет функционировать ТС. В результате реализации МЭ (блок 8) формируются массивы соответствующих ПКПС, статистический анализ которых осуществляется в блоке 9. На основе его результатов рассчитывается парамет-

рическая надёжность ТС по обеспечению регламентируемых ПКПС в процессе обработки, т.е. величины P , определяющие вероятность выполнения заданий по условиям (50), (51) или (52) (блок 10). Для реализации данной схемы используется специальное математическое и программное обеспечение.

Известно, что модели функций ряда ТС с достаточной для практических целей точностью можно представить в виде полиномиальной (аддитивной) модели:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i + \beta_k X_k, \quad (56)$$

где Y_i – i -й ПКПС детали после обработки; X_i – i -й фактор технологического процесса; β_0, β_i – истинные значения коэффициентов модели.

Модели вида (56) строятся в предположении линейной связи между функцией Y_i и аргументами X_i . Такие случаи в технологии обработки встречаются достаточно редко. Чаще приходится иметь дело с нелинейной зависимостью оцениваемых параметров от факторов обработки. Получение моделей таких зависимостей связано с вычислительными трудностями, так как они не допускают непосредственного применения обычного метода наименьших квадратов. В таких случаях, чтобы упростить получение моделей, исходные данные подвергают преобразованиям, главное назначение которых в линеаризации рассматриваемых зависимостей по оцениваемым параметрам. В частности, одним из таких методов является логарифмирование исходных данных, которое позволяет получить модель процесса в виде:

$$Y_i = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_k^{\beta_k}. \quad (57)$$

В большинстве работ такую модель именуют мультипликативной.

Из теории регрессионного анализа известно, что оценки коэффициентов регрессии β_i , являются нормально распределенными случайными величинами с математическим ожиданием b_i и средним квадратическим отклонением $S\{\beta_i\}$. Знание величин b_i и $S\{\beta_i\}$ необходимо для имитационного моделирования технологического процесса методом Монте-Карло, при котором в качестве переменных в моделях (56) или (57) рассматриваются случайные величины β_i , а факторы обработки X_i могут быть как фиксированными, так и случайными.

Чтобы использовать полученные модели для проведения машинных экспериментов по схеме Монте-Карло и технологических расчетов, нужны значения коэффициентов b_i и их средние квадратические отклонения $S\{\beta_i\}$ для натуральных величин технологических факторов, определение которых осуществляется по соответствующим формулам в рамках алгоритма и прикладного программного обеспечения обработки экспериментальных данных.

Для расчета показателей параметрической надёжности ТС необходимо знать математическое ожидание Y_{i0} и среднее квадратическое отклонение σ_{i0} , рассматриваемого параметра качества детали. Имитационные модели формирования этих параметров (56) или (57) представляют собой модели так называемого "черного ящика" и имеют статистическую природу.

Для прогнозирования параметров качества Y_i и их характеристик $M\{Y_i\}$ и $S\{Y_i\}$, которые являются оценками величин Y_{i0} и σ_{i0} , целесообразно применять метод статистических испытаний. Его применение особенно целесообразно для исследования систем, модели которых описываются сложными стохастическими уравнениями. В случаях, когда из-за недостатка данных или сложности аналитическая модель не может быть построена, метод Монте-Карло является едва ли не единственным, позволяющим получить искомые оценки.

Если в моделях (56) и (57) случайными величинами являются только коэффициенты β_0 и β_i , то с учетом свойств математического ожидания и дисперсии случайной величины можно получить следующие выражения для оценок $M\{Y_{i0}\}$ и $S^2\{Y_{i0}\}$:

а) для моделей вида (56)

$$M\{Y_{i0}\} = M\{\beta_0\} + \sum_{i=1}^k X_i M\{\beta_i\} = b_0 + \sum_{i=1}^k X_i b_i, \quad (58)$$

$$S^2\{Y_{i0}\} = S^2\{\beta_0\} + \sum_{i=1}^k X_i^2 S^2\{\beta_i\}, \quad (59)$$

б) для моделей вида (57)

$$M\{Y_{i0}\} = \exp\left(\ln M\{\beta_0\} + \sum_{i=1}^k \ln X_i M\{\beta_i\}\right) = \exp\left(\ln b_0 + \sum_{i=1}^k b_i \ln X_i\right), \quad (60)$$

$$S^2\{Y_{i0}\} = \exp\left(\ln S^2\{\beta_0\} + \sum_{i=1}^k (\ln X_i)^2 S^2\{\beta_i\}\right). \quad (61)$$

Если же в моделях (56) и (57) случайными являются один или несколько факторов

обработки X_i , то для оценок $M\{Y_{i0}\}$ и $S^2\{Y_{i0}\}$ аналитические выражения найти не удастся. Их определение связано с обработкой массива данных Y_{i0} , полученных в результате машинного эксперимента путем N прогонов соответствующих моделей по схеме Монте-Карло. Блок-схема расчета надежности ТС таким методом показана на рис. 16. В качестве исходных данных используются результаты построения имитационных моделей, конструкторские и технологические ограничения.

В предположении нормального распределения величины Y_i число "прогонов" N , модели (56) или (57) в ходе машинного эксперимента определяется допустимой разностью d между оценкой и машинным значением ее математического ожидания, которую удобно выразить в долях $S\{Y_{i0}\}$:

$$d = \frac{S\{Y_{i0}\}}{a}$$

В этом случае для определения N , используется выражение:

$$N_1 = \frac{(S\{Y_{i0}\}z_{\alpha/2})^2}{d^2} a^2 z_{\alpha/2}^2 \quad (62)$$

Здесь $z_{\alpha/2}$ - двусторонняя стандартная нормальная статистика при уровне значимости α ; a - задаваемая оценка величины d в долях $S\{Y_{i0}\}$.

Число прогонов N_2 для обеспечения заданной точности оценки дисперсии $S^2\{Y_{i0}\}$ можно определять по уравнению:

$$N_2 = 1 + \frac{2(z_{\alpha/2})^2}{d^2} \quad (63)$$

Результирующее число прогонов N (блок 3) выбирается с учетом выполнения условий (62) и (63).

Расчет элементов массива Y_{i0} осуществляется в блоках 4 ... 8. Для параметра Y_i в случае модели (57) при фиксированных величинах X_i имеет место следующая формулировка задачи:

вычислить N значений функции

$$Y_i = f(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_k; b_0, b_1, \dots, b_j, \dots, b_k; S\{\beta_0\}, S\{\beta_1\}, \dots, S\{\beta_j\}, \dots, S\{\beta_k\})$$

такой, что

$$Y_i = b_0 \prod_{j=1}^k X_j^{RNDN_i(b_j, S\{\beta_j\})}$$

где X_1, X_2, \dots, X_k - значения входных параметров технологического процесса; b_0, b_1, \dots, b_k - математические ожидания коэффициентов модели; $S\{\beta_0\}, S\{\beta_1\}, \dots, S\{\beta_k\}$ - их среднеквадратические отклонения; $RNDN_i(b_j, S\{\beta_j\})$ - нормально распределенное случайное число с параметрами распределения b_j и $S\{\beta_j\}$.

По результатам машинного эксперимента вычисляются значения математического ожидания $M\{\hat{Y}\}$, среднего квадратического отклонения $S\{\hat{Y}\}$ и проверяются статистические гипотезы о принадлежности полученного массива обеспечиваемого параметра качества Y к тому или иному типу распределения (блок 9).

В блоке 10 осуществляется расчет параметров надежности ТС по зависимостям (53) или (54) с учетом выполнения заданных ограничений.

При исследовании показателей надежности ТС изложенным методом моделирования на статистических моделях следует иметь в виду, что моделируется только "прошлое", т.е. при этом используются данные, полученные экспериментально на этапе получения моделей.

Следовательно, чтобы прогноз, сделанный на основе имитационного моделирования, оправдался, необходимо предположить, что основная форма распределения параметров реального технологического процесса во времени остается неизменной, и его особенности, относящиеся к определенному промежутку времени, будут повторяться. Такие допущения следует принять для нормально функционирующего технологического процесса. На случай внезапных отказов ТС результаты имитационного моделирования не распространяются.

Для ряда ситуаций при расчете параметрической надежности ТС, возникающих на стадии конструкторско-технологической подготовки производства, в табл. 34 приведен ряд рекомендаций. В ней приняты следующие обозначения:

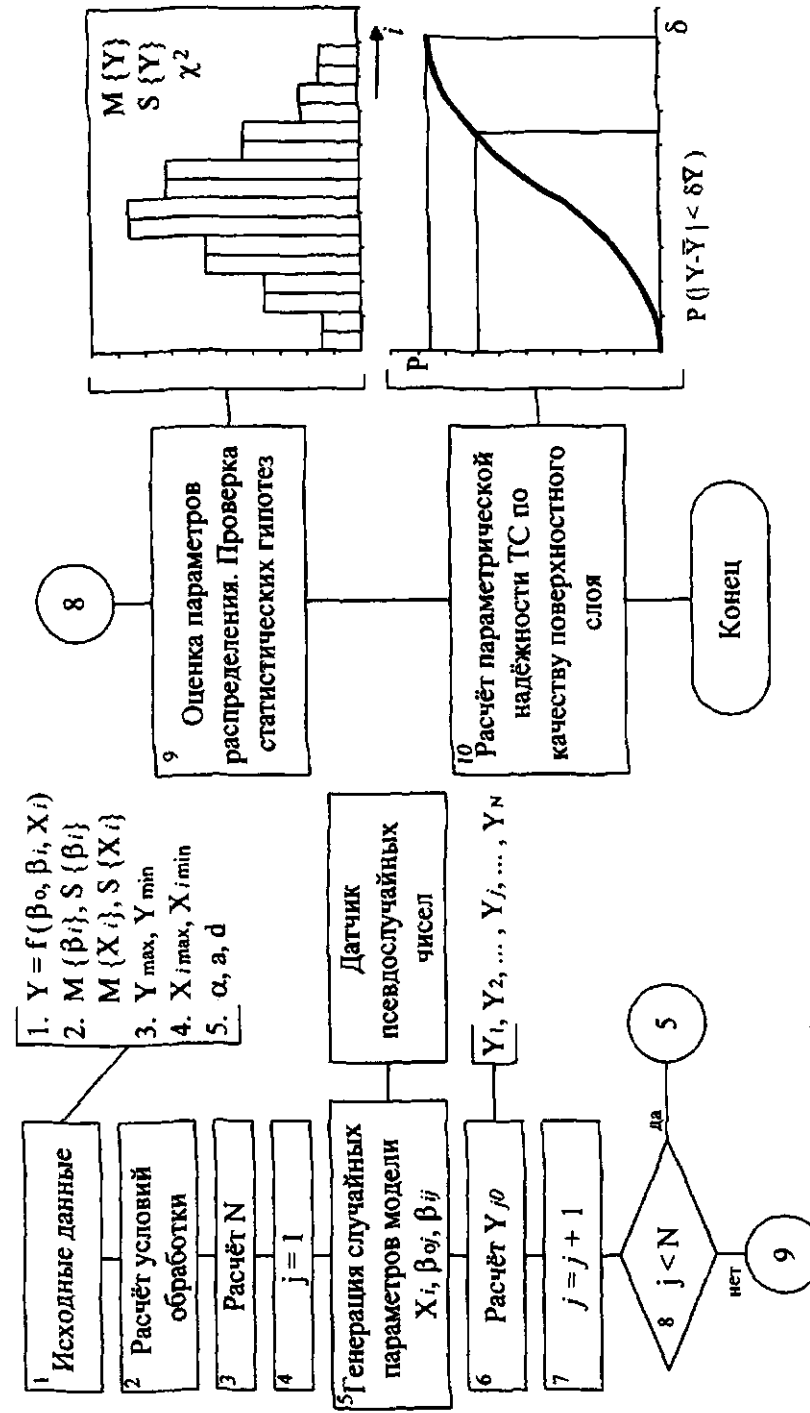


Рис. 16. Блок-схема расчета параметрической надежности ТС по параметрам качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей

34. Схемы принятия решений при оценке надежности технологических систем по обеспечению параметров качества поверхностей деталей

№/№	Априорная информация о технологической системе		Требуется определить	Схемы принятия решений и основные расчетные зависимости
	Показатели надежности	Закон распределения параметра		
1	Известны		$P(Y \in [Y_1, Y_2])$	1. Воспользоваться готовыми массивами данных в виде таблиц 2. Воспользоваться графической информацией
2	Не известны	Нормальный	1. $P(Y \in [Y_1, Y_2])$ 2. $P(Y < Y_2)$	1. $P(Y \in [Y_1, Y_2]) = \Phi\left(\frac{Y_2 - M\{\hat{Y}\}}{S\{Y\}}\right) - \Phi\left(\frac{Y_1 - M\{\hat{Y}\}}{S\{Y\}}\right)$; 2. $P(Y < Y_2) = 0,5 + \Phi\left(\frac{Y_2 - M\{\hat{Y}\}}{S\{Y\}}\right)$
3	Не известны	Логарифмически нормальный	1. $P(Y \in [Y_1, Y_2])$ 2. $P(Y < Y_2)$	1. $P(Y \in [Y_1, Y_2]) = \Phi\left(\frac{\ln Y_2 - M\{\ln Y\}}{S\{\ln Y\}}\right) - \Phi\left(\frac{\ln Y_1 - M\{\ln Y\}}{S\{\ln Y\}}\right)$; 2. $P(Y < Y_2) = 0,5 + \Phi\left(\frac{\ln Y_2 - M\{\ln Y\}}{S\{\ln Y\}}\right)$
	Не известны	Логарифмически нормальный	1. Y_1, Y_2 2. $P(Y \in [Y_1, Y_2])$	1. $Y_1 = \{\exp[M\{\ln Y\}]\} (1 - \delta)$ $Y_2 = \{\exp[M\{\ln Y\}]\} (1 + \delta)$ 2. $P(Y \in [Y_1, Y_2]) = \Phi\left(\frac{\ln(1 + \delta)}{S\{\ln Y\}}\right) - \Phi\left(\frac{\ln(1 - \delta)}{S\{\ln Y\}}\right)$

Продолжение табл. 34

№/№	Априорная информация о технологической системе		Требуется определить	Схемы принятия решений и основные расчетные зависимости
	Показатели надежности	Закон распределения параметра		
5	Не известны	Нормальный	1. Y_1, Y_2 2. $P(Y \in [Y_1, Y_2])$	1. $Y_1 = Y - \delta - *Y$; $Y_2 = Y + \delta + *Y$. 2. $P(Y \in [Y_1, Y_2]) = \Phi\left(\frac{\delta +}{\mu}\right) - \Phi\left(\frac{\delta -}{\mu}\right)$
6	Не известны	Логарифмически нормальный	1. Y_1, Y_2 2. $P(Y \in [Y_1, Y_2])$	А - вид модели: $Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_k^{\beta_k}$ 1. Определить $M\{\ln Y\}, S\{\ln Y\}$: $M\{\ln Y\} = \ln b_0 + \sum_{i=1}^k b_i - \ln X_i$; $S\{\ln Y\} = \sqrt{\ln(S^2\{b_0\}) + \sum_{i=1}^k (\ln X_i)^2 S^2\{b_i\}}$
7	Не известны. Вид модели неизвестен	Не известен	1. Вид модели и ее параметры 2. $M\{\ln Y\}, S\{\ln Y\}$ 3. Y_1, Y_2 4. $P(Y \in [Y_1, Y_2])$	2. Далее повторение ситуации 4 (см. с. 200). В - вид модели: $Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_k^{\beta_k}$ X_i - случайная величина 1. Определить параметры $M\{\ln Y\}$ и $S\{\ln Y\}$ путем машинного эксперимента по методу Монте-Карло. 1. Построение и анализ имитационной модели ИМ в условиях экспериментально-технологических лабораторий путем реализации программного метода технологических исследований. 2. Определить параметры $M\{\ln Y\}$ и $S\{\ln Y\}$ в зависимости от вида модели (см. п. б). 3. Далее повторение ситуации 4 (см. с. 200).

Y – номинальные значения исследуемого параметра;

$M\{\hat{Y}\}$, $S\{\hat{Y}\}$ – его математическое ожидание и СКО, полученные в результате МЭ над моделью;

Y_1 , Y_2 – его допустимые минимальные и максимальные значения, соответственно;

δ , $+\delta$, $-\delta$ – допустимые относительные отклонения обеспечиваемого параметра при симметричном интервале, а также верхнее и нижнее его значения при несимметричном интервале;

μ – коэффициент вариации обеспечиваемого параметра;

$P(Y \in [Y_1, Y_2])$ – надежность обеспечения параметра Y в интервале $[Y_1, Y_2]$.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований предлагаются следующие схемы принятия решений в различных ситуациях:

Ситуация 1. Известны показатели надежности технологического обеспечения требуемого параметра рассматриваемым методом обработки. В этом случае для оценки величины $P(Y \in [Y_1, Y_2])$, характеризующей параметрическую надежность ТС, следует воспользоваться имеющейся базой данных или информацией в виде графиков.

Ситуация 2. Параметр качества Y распределен нормально и известны оценки его математического ожидания $M\{Y\}$ и среднего квадратического отклонения $S\{Y\}$. В этом случае для определения вероятностей $P(Y \in [Y_1, Y_2])$ и $P(Y_1 < Y_2)$ следует воспользоваться зависимостями, которые приведены в табл. 34.

Ситуация 3. Параметр качества Y распределен логарифмически нормально. Известны соответствующие оценки $M\{\ln Y\}$ и $S\{\ln Y\}$. Для определения вероятностей выполнения заданий по условиям $(Y_1 < Y < Y_2)$ и $(Y < Y_2)$ следует воспользоваться соответствующими зависимостями.

Ситуация 4. Параметр Y распределен логарифмически нормально и известны оценки $M\{\ln Y\}$ и $S\{\ln Y\}$. Требуется определить вероятность определения задания в симметричном

δ -процентном интервале. В этом случае следует воспользоваться зависимостями, определив верхнюю Y_2 и нижнюю Y_1 границы параметра.

Ситуация 5. Если известен коэффициент вариации обеспечиваемого параметра Y , то вероятность выполнения задания в симметричном δ -процентном интервале следует определять, используя зависимость, приведенную в табл. 34.

Ситуация 6. Известна имитационная модель формирования параметра Y и характеристики распределения ее коэффициентов. Требуется определить надежность обеспечения Y в симметричном δ -процентном интервале.

В этом случае, если модель имеет вид A и факторы обработки X_i не являются случайными, характеристики распределения $M\{\ln Y\}$ и $S\{\ln Y\}$ определяются по соответствующим формулам, а затем определяется искомая надежность обеспечения параметра Y , т.е. повторение ситуации 4. Если модель имеет вид B , затрудняющий аналитическое определение параметров распределения Y , их следует определять с помощью машинного эксперимента, выполненного по методу Монте-Карло.

Ситуация 7. Имитационная модель формирования параметра Y неизвестна. В этом случае в условиях экспериментальных производственных лабораторий ее необходимо построить, используя известную методологию, базирующуюся на использовании математических методов и, желательно, программируемых технических средств эксперимента. В дальнейшем после построения необходимой имитационной модели решение задачи аналогично рассмотренному в ситуации 6.

Наряду с экспериментально-расчетным методом определения параметрической надежности ТС по параметрам качества деталей могут использоваться табличные базы данных. В табл. 35 и 36 представлены такие данные для некоторых ТС чистовой и отделочной обработки цилиндрических и плоских поверхностей. Рассматриваются следующие ПКПС:

35. Надежность технологического обеспечения параметра состояния наружных цилиндрических поверхностей деталей из конструкционных сталей

Метод обработки	Относительное отклонение $\pm\delta Y$	Ra	Rz	Rmax	Rp	Sm	Im	Wz	Smw	Hmax	H _{μ0}	h _μ	σ ₀	h _σ
Круглое шлифование	0,10	0,15	0,10	0,07	0,08	0,05	0,12	0,07	0,03	0,15	0,15	0,10	0,25	0,18
	0,25	0,35	0,25	0,12	0,12	0,15	0,30	0,18	0,10	0,30	0,35	0,30	0,45	0,40
	0,50	0,55	0,40	0,22	0,22	0,28	0,60	0,35	0,18	0,50	0,55	0,55	0,65	0,62
	0,70	0,75	0,55	0,35	0,35	0,70	0,95	0,60	0,35	0,75	0,75	0,75	0,85	0,80
	0,90	0,85	0,75	0,55	0,65	0,95	1,00	0,85	0,55	0,90	0,95	0,90	0,98	0,94
Тонкое точение	0,10	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,92	0,18	0,20	0,10	0,10	0,08	0,30	0,20
	0,25	0,85	0,82	0,80	0,80	0,80	0,99	0,40	0,40	0,20	0,30	0,25	0,55	0,40
	0,50	0,98	0,96	0,95	0,95	0,98	1,00	0,80	0,80	0,30	0,55	0,50	0,75	0,68
	0,70	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	1,00	0,90	0,88	0,50	0,75	0,75	0,90	0,85
	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,92	0,75	0,90	0,88	0,99	0,95
Алмазное выглаживание	0,1	0,22	0,20	0,18	0,18	0,28	0,66	0,10	0,12	0,12	0,25	0,20	0,60	0,35
	0,25	0,50	0,45	0,35	0,35	0,65	0,95	0,25	0,28	0,25	0,50	0,45	0,80	0,60
	0,50	0,80	0,78	0,75	0,75	0,90	1,00	0,45	0,55	0,45	0,72	0,70	0,90	0,80
	0,70	0,90	0,90	0,85	0,90	0,95	1,00	0,85	0,80	0,55	0,90	0,90	0,98	0,97
	0,90	0,95	0,95	0,90	0,95	0,99	1,00	0,90	0,92	0,70	0,99	0,98	1,00	1,00
Электро-механическая обработка: после точения	0,10	0,40	0,36	0,25	0,35	0,50	0,90	0,20	0,22	0,10	0,16	0,05	0,50	0,30
	0,25	0,80	0,78	0,55	0,75	0,75	0,96	0,50	0,48	0,35	0,55	0,25	0,95	0,70
	0,50	0,90	0,88	0,75	0,85	0,98	0,99	0,70	0,68	0,52	0,90	0,70	0,99	0,95
	0,70	0,99	0,98	0,90	0,95	1,00	1,00	0,85	0,84	0,66	0,95	0,80	1,00	0,98
	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,95	0,76	0,98	0,90	1,00	0,99
после шлифования	0,10	0,25	0,24	0,15	0,24	0,10	0,20	0,12	0,08	0,16	0,30	0,10	0,70	0,35
	0,25	0,60	0,58	0,45	0,58	0,40	0,50	0,45	0,25	0,45	0,75	0,35	0,96	0,75
	0,50	0,90	0,86	0,65	0,85	0,70	0,75	0,68	0,45	0,65	0,95	0,80	0,99	0,95
	0,70	0,99	0,96	0,80	0,95	0,92	0,98	0,82	0,62	0,80	0,98	0,90	1,00	0,99
	0,90	1,00	1,00	0,90	1,00	0,98	1,00	0,92	0,75	0,90	0,99	0,95	1,00	1,00

36. Надежность технологического обеспечения параметров состояния поверхностного слоя при обработке плоских поверхностей деталей из различного материала

Метод обработки	Материал детали	Относительное отклонение $\pm \delta Y$	Ra	Rz	R_{\max}	R_p	S_m	tm	Wz	Sm_w	$H_{\mu 0}$	h_w	σ_0	h_c
Шлифование	20X	0,10	0,35	0,30	0,18	0,20	0,21	0,60	0,15	0,05	0,14	0,12	0,22	0,16
		0,25	0,78	0,60	0,38	0,45	0,48	0,96	0,30	0,15	0,25	0,24	0,40	0,35
		0,50	0,98	0,90	0,67	0,75	0,80	0,99	0,55	0,32	0,55	0,50	0,64	0,60
Накатывание	СЧ 20	0,10	0,20	0,18	0,12	0,15	0,39	0,77	0,14	0,04	0,12	0,10	0,20	0,14
		0,25	0,52	0,40	0,33	0,35	0,80	0,99	0,28	0,15	0,30	0,22	0,36	0,35
		0,50	0,84	0,78	0,66	0,70	0,98	1,00	0,52	0,30	0,60	0,50	0,60	0,55
Вибро-накатывание	СЧ 20	0,1	0,30	0,20	0,15	0,24	0,20	0,35	0,50	0,10	0,05	0,05	-	-
		0,25	0,68	0,45	0,35	0,55	0,45	0,60	0,90	0,25	0,18	0,13	-	-
		0,5	0,94	0,80	0,70	0,86	0,75	0,95	0,99	0,54	0,40	0,25	-	-
	40X	0,1	0,65	0,28	0,20	0,29	0,28	0,65	0,50	0,14	0,10	0,35	0,45	0,30
		0,25	0,97	0,48	0,45	0,66	0,55	0,95	0,90	0,30	0,25	0,50	0,60	0,50
		0,5	1,00	0,85	0,80	0,92	0,95	1,00	1,00	0,60	0,45	0,85	0,86	0,80
СЧ 20	0,1	0,19	0,16	0,10	0,15	0,25	0,45	0,15	0,10	0,08	0,10	-	-	
	0,25	0,45	0,40	0,25	0,38	0,45	0,60	0,37	0,25	0,20	0,15	-	-	
	0,5	0,78	0,76	0,55	0,75	0,80	0,95	0,68	0,55	0,42	0,30	-	-	
40X	0,1	0,22	0,21	0,15	0,21	0,30	0,68	0,16	0,15	0,12	0,90	0,40	0,35	
	0,25	0,51	0,50	0,35	0,50	0,50	0,75	0,37	0,30	0,20	0,96	0,55	0,50	
0,5	0,83	0,82	0,65	0,82	0,95	0,95	1,00	0,70	0,60	0,45	1,00	0,88	0,85	

Ra, Rz, R_{\max}, R_p – высотные характеристики шероховатости;

Sm, tm – шаг микронеровностей и относительная опорная длина на уровне средней линии микропрофиля;

Wz, Sm_w – средняя высота волны и ее шаг по средней линии волнистости;

H_{\max} – максимальная величина макроотклонений;

$H_{\mu 0}, h_{\mu}$ – поверхностная микротвердость и глубина наклепа;

σ_0, h_{σ} – остаточные напряжения на поверхности и глубина залегания остаточных напряжений.

Рассматривается параметрическая надежность ТС обеспечения указанных ПКПС в симметричном относительном интервале δ , т.е. в соответствии с зависимостью (54).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Машиностроение.** Энциклопедия. Т. IV-3. Надежность машин / В. В. Клюев, В. В. Болотин, Ф. Р. Соснин и др. М.: Машиностроение, 1998.
2. **Качество машин:** Справочник. В2-х т. Т. I / А. Г. Суслов, Э. Д. Браун, Н. А. Виткевич и др. М.: Машиностроение, 1995.
3. **Суслов А. Г.** Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М.: Машиностроение, 1987.
4. **Дальский А. М.** Технологическое обеспечение надежности высококачественных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975.
5. **Суслов А. Г.** Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000.
6. **Сулима А. М., Щупов В. А., Ягодкин Ю. Д.** Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машиностроение, 1988.

Глава

3

ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛЕЙ
МАШИН

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАГОТОВКАХ

Заготовкой в машиностроении называют предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхностей и (или) материала изготавливают деталь. Заготовительное производство является неотъемлемой начальной фазой любого машиностроительного производства, образуя первый технологический передел.

Заготовки принято различать по виду, отражающему характерные особенности базового технологического метода их изготовления. Выделяют следующие виды заготовок.

1. Получаемые литьем (отливки).
2. Получаемые обработкой давлением (кованные и штампованные заготовки).
3. Заготовки из проката.
4. Сварные и комбинированные заготовки.
5. Получаемые методами порошковой металлургии.

Заготовка может быть штучной (мерной) или непрерывной, например, прутки горячекатанного проката, из которого разрезкой могут быть получены отдельные штучные заготовки.

Развитие машиностроения привело к появлению еще одного вида заготовок, получаемых из конструкционной керамики.

Заготовка каждого вида может быть изготовлена одним или несколькими способами, родственными базовому. Так, например отливка может быть получена литьем в песчаные, оболочковые формы, в кокиль и т.д.

Литьем получают заготовки практически любых размеров простой и очень сложной конфигурации практически из всех металлов и сплавов. Качество отливки зависит от условий кристаллизации металла в форме, определяемых способом литья. В некоторых случаях внутри стенок отливок возможно образование дефектов (усадочные рыхлоты, пористость, горячие и холодные трещины), которые обнаруживаются только после черновой механической обработки.

Обработкой металлов давлением получают кованные и штампованные заготовки, а

также *машиностроительные профили*. Ковка применяется в единичном, мелкосерийном производстве, а также при изготовлении очень крупных, уникальных заготовок и заготовок с особо высокими требованиями к объемным свойствам материала. Штамповка позволяет получить заготовки близкие по конфигурации к готовой детали. Механические свойства заготовок, полученных обработкой давлением, выше чем литых. Машиностроительные профили изготавливают прокаткой, прессованием, волочением.

Заготовки из проката применяют в единичном и серийном производствах. Прокат выбранного профиля резкой превращают в штучные (мерные) заготовки, из которых последующей механической обработкой изготавливают детали. Совершенство заготовки определяется близостью выбранного профиля проката поперечному сечению детали (с учетом припусков на обработку).

Сварные и комбинированные заготовки изготавливают из отдельных составных элементов, соединяемых между собой с помощью различных способов сварки. В комбинированной заготовке, кроме того, каждый составной элемент представляет собой самостоятельную заготовку соответствующего вида (отливка, штамповка и т.д.), изготовленную выбранным способом по самостоятельному технологическому процессу. Сварные и комбинированные заготовки значительно упрощают создание конструкций сложной конфигурации. Неправильная конструкция заготовки или неверная технология сварки могут привести к дефектам (коробление, пористость, внутренние напряжения), которые трудно исправить механической обработкой.

Заготовки, получаемые методами порошковой металлургии, по форме и размерам могут соответствовать готовым деталям и требовать незначительной, чаще отделочной обработки.

Заготовки из конструкционной керамики применяют для теплонапряженных и (или) работающих в агрессивных средах деталей.

Заготовку перед первой технологической операцией процесса изготовления детали называют *исходной заготовкой*.

Поступающие на обработку заготовки должны соответствовать утвержденным *техническим условиям*. Поэтому заготовки подвергают техническому контролю по соответствующей инструкции, устанавливающей метод контроля, периодичность, количество проверяемых заготовок в процентах к выпуску и т.д. Проверке подвергают химический состав и механические свойства материала, структуру, наличие внутренних дефектов, размеры, массу заготовки.

У заготовок сложной конфигурации с отверстиями и внутренними полостями (типа корпусных деталей) в заготовительном цехе проверяют размеры и расположение поверхностей. Для этого заготовку устанавливают на станке, используя ее технологические базы, имитируя схему установки, принятую для первой операции обработки. Отклонения размеров и формы поверхностей заготовки должны соответствовать требованиям чертежа заготовки. Заготовки должны быть выполнены из материала, указанного на чертеже, обладать соответствующими ему механическими свойствами, не должны иметь внутренних дефектов (для отливок – рыхлоты, раковины, посторонние включения; для поковок – пористость и расслоения, трещины по шлаковым включениям, "шиферный" излом, крупнозернистость, шлаковые включения; для сварных конструкций – непровар, пористость металла шва, шлаковые включения).

Дефекты, влияющие на прочность и товарный вид заготовки, подлежат исправлению. В технических условиях должны быть указаны вид дефекта, его количественная характеристика и способы исправления (вырубка, заварка, пропитка составами, правка).

Поверхности отливок должны быть чистыми и не должны иметь пригаров, спаев, ужимин, плен, намывов и механических повреждений. Заготовка должна быть очищена или обрублена, места подвода литниковой системы, заливы, заусенцы и другие дефекты должны быть зачищены, удалена окалина. Особо тщательной очистке должны подвергаться полости отливок. Необрабатываемые наружные поверхности заготовок при проверке по линейке не должны иметь отклонения от прямолинейности больше заданного (не более 0,5 мм на 1 мм длины). Заготовки, у которых

отклонение от прямолинейности оси (кривизна) влияет на качество и точность работы машины, подлежат обязательному естественному или искусственному старению по технологическому процессу, обеспечивающему снятие внутренних напряжений, и правке.

Отмеченные на чертеже заготовки *базы для механической обработки* должны служить исходными базами при изготовлении и проверке технологической оснастки (моделей, стержней). Они должны быть чистыми и гладкими, без заусенцев, остатков литников, прибылей, выпоров и литевых и штамповочных уклонов. Базы должны образовываться по возможности моделью и находиться в одной опоре, чтобы исключить влияние смещения и перекоса опок и стержней. Если за базу принимают отверстие, получаемое с помощью стержня, то должны быть приняты дополнительные меры для обеспечения точности расположения оси отверстия.

ОТЛИВКИ

Отливка – изделие или заготовка, полученные технологическим методом литья.

Около 75 % всех отливок (по массе) изготавливают из чугуна, примерно 20 % из сталей и до 4 % – из цветных сплавов.

В зависимости от массы чугунные и стальные отливки разделяют на мелкие (до 100 кг), средние (100 – 1000 кг), крупные (1000 – 5000 кг), тяжелые (5000 – 20 000 кг) и особо тяжелые (свыше 20 000 кг), а отливки из цветных сплавов на девять групп (табл. 1).

1. Классификация отливок из цветных сплавов по массе, кг

Группа	Бронза, латунь и цинковые сплавы	Алюминиевые и магниевые сплавы
1	До 0,25	До 0,2
2	0,25 – 1,0	0,2 – 0,4
3	1 – 4	0,4 – 0,8
4	4 – 10	0,8 – 1,6
5	10 – 20	1,6 – 3,2
6	20 – 50	3,2 – 6,3
7	50 – 200	6,3 – 12,5
8	200 – 500	12,5 – 25
9	Св. 500	Св. 25

Технологические характеристики

Среди отливок до 80 % по массе занимают детали, изготавливаемые литьем в песчаные формы. Метод является универсальным применительно к литейным материалам, а также к массе и габаритам отливок. Специальные спо-

собы литья значительно повышают стоимость отливок, но позволяют получать отливки повышенного качества с минимальным объемом механической обработки.

Характеристика отливок, получаемых различными методами, приведена в табл. 2.

2. Способы изготовления отливок, их особенность и область применения

Способы изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Область применения и особенность способа
Разовые формы			
Ручная формовка: в почве с верхом	До 200	Сталь, серый, ковкий и высокопрочный чугун, цветные металлы и сплавы	Станины, корпуса машин, рамы, цилиндры, шаботы молотов, траверсы
по шаблону	До 100		Отливки в виде тел вращения (зубчатые колеса, кольца, диски, трубы, шкивы, маховики, котлы, цилиндры)
в крупных опоках			Станины, бабки, коробки скоростей, блоки цилиндров
в съемных опоках со стержнями из быстротвердеющей смеси	До 35		Станины ГМК, болтовывсадочных автоматов, ножниц: позволяет уменьшить припуски на 25 – 30 % и трудоемкость механической обработки на 20 – 25 %
в почве с верхней опокой с облицовочным слоем из быстротвердеющей смеси	До 25		Шаботы, станины, цилиндры; позволяет снизить трудоемкость изготовления заготовки и механической обработки за счет уменьшения припусков на 10 – 18 %
в стержнях	До 2		Отливки со сложной ребристой поверхностью (головки и блоки цилиндров, направляющие)
в почве открытая	До 0,15		Отливки, не требующие механической обработки (плиты, подкладки)
в мелких и средних опоках	До 0,1		Рукоятки, шестерни, шайбы, втулки, рычаги, муфты, крышки
Машинная формовка: в крупных опоках	До 2		Бабки, суппорты, корпуса небольших станин
в мелких и средних опоках	До 0,1		Шестерни, подшипники, муфты, маховики; позволяет получать отливки повышенной точности с низкой шероховатостью поверхности

Продолжение табл. 2

Способы изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Область применения и особенность способа
Литье в оболочковые формы: песчано-смоляные	До 0,15	Сталь, чугун и цветные сплавы	Ответственные фасонные отливки в крупносерийном и массовом производстве
химически твердеющие тонкостенные (10 – 20 мм)	До 0,2		Ответственные фасонные мелкие и средние отливки
химически твердеющие толстостенные (толщиной 50 – 150 мм)	До 40		Большие отливки (станины штамповочных молотов, подушки прокатного стана)
жидкостекольные оболочковые	До 0,1	Углеродистые и коррозионно-стойкие стали, кобальтовые, хромистые и алюминиевые сплавы, латунь	Точные отливки с низкой шероховатостью поверхности в серийном производстве
Литье по выплавляемым моделям	До 0,15	Высоколегированные стали и сплавы (за исключением щелочных металлов, реагирующих с кремнеземом облицовочного слоя)	Лопатки турбин, клапаны, дюзы, шестерни, режущий инструмент, детали приборов. Керамические стержни позволяют изготавливать отливки толщиной 0,3 мм и отверстия диаметром до 2 мм
Литье по растворяемым моделям	До 0,15	Титан, жаропрочные стали	Лопатки турбин, детали приборов. Солевые модели снижают шероховатость поверхности
Литье по замораживаемым моделям	До 0,14		Тонкостенные отливки (минимальная толщина стенки 0,8 мм, диаметр отверстия до 1 мм)
Литье по газифицируемым моделям	До 15	Любые сплавы	Мелкие и средние отливки (рычаги, втулки, цилиндры, корпуса)

Продолжение табл. 2

Способы изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Область применения и особенность способа
Многokrатные формы			
Литье в формы: гипсовые	0,10	Сталь, чугун, цветные металлы и сплавы	Крупные и средние отливки в серийном производстве
песчано-цементные	70		
кирпичные	200		
шамотно-кварцевые	100		
глинистые	50		
графитовые	0,014		
каменные	0,03		
металлокерамические и керамические	0,025		
Литье в кокиль: с горизонтальной, вертикальной и комбинированной плоскостью разреза	7 (чугун), 4 (сталь), 0,5 (цветные металлы и сплавы)	Сталь, чугун, цветные металлы и сплавы	Фасонные отливки в крупносерийном и массовом производстве (поршни, корпуса, диски, коробки подачи, салазки)
Литье в облицованный кокиль	0,25		
Литье под давлением: на машинах с горизонтальными и вертикальными камерами прессования	0,10	Магниеые, алюминиевые, цинковые и свинцово-оловянные сплавы, сталь	Отливки сложной конфигурации (тройники, колена, кольца электродвигателей, детали приборов, блок двигателя)
с применением вакуума	0,05	Медные сплавы	Плотные отливки простой формы

Продолжение табл. 2

изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Область применения и особенность способа
Центробежное литье на машинах с осью вращения: вертикальной	0,05	Чугун, сталь, бронза и др.	Отливки типа тел вращения (венцы, шестерни, бандажки, колеса, фланцы, шкивы, маховики), двухслойные заготовки (чугун – бронза, сталь – чугун) при $l : d < 1$
горизонтальной	0,60		Трубы, гильзы, втулки, оси при $l : d > 1$
наклонной (угол наклона 3 – 6°)	1,0		Трубы, валы, слитки
вертикальной, не совпадающей с геометрической осью	0,01		Фасонные отливки, не являющиеся телами вращения (рычаги, вилки, тормозные колодки)
Штамповка жидких сплавов	До 0,30		Цветные сплавы
с кристаллизацией под поршневым давлением	0,01	Чугун и цветные сплавы	Массивные и толстостенные отливки без газовых раковин и пористости; можно получать уплотненные заготовки из нелитейных материалов (чистый алюминий)
Литье выжиманием	Панели размером до 1000 × 2500 мм с толщиной 2,5–5 мм	Магниеые и алюминиевые сплавы	Крупногабаритные отливки, в том числе ребристые
Вакуумное всасывание	0,01	Сплавы на медной основе	Небольшие отливки типа тел вращения (втулки, гильзы)
Последовательно направленная кристаллизация	0,012	Цветные сплавы	Отливки с толщиной стенки до 3 мм при протяженности до 3000 мм
Литье под низким давлением	0,030	Чугун, алюминиевые сплавы	Тонкостенные отливки с толщиной стенки 2 мм при высоте 500 – 600 мм (головки блока цилиндров, поршни, гильзы)

Продолжение табл. 2

Способы изготовления отливок	Масса отливки, т	Материал	Область применения и особенность способа
Непрерывное литье	Трубы диаметром 300–1000 мм	Сталь, чугун, цветные металлы и сплавы	Листы, заготовки круглого сечения (слитки, трубы, валы)
Литье с кристаллизацией под давлением	0,01 – 0,3	Чугун, цветные сплавы	Слитки, уплотненные фасонные отливки с глубокими полостями (лопатки, детали арматуры высокого давления)

Отливки, не рассчитываемые на прочность, с размерами, определяемыми конструктивными и технологическими соображениями, относятся к *неответственным*; отливки, испытываемые на прочность, работающие при статических нагрузках, а также в условиях трения скольжения, относятся к *ответственным*. *Особо ответственные* – отливки, эксплуатируемые в условиях динамических знакопеременных нагрузок, а также испытываемые на прочность.

Возможности повышения производительности процессов литья, точности размеров и качества отливок расширяются при их изготовлении в автоматизированных комплексах, в которых используются новые механизмы для уплотнения смеси, применяются электронные схемы управления технологическими процессами и счетно-решающие устройства для выбора оптимальных режимов.

Применение роботов для нанесения покрытий, обсыпки блоков и т.п. и заливочных комплексов с телеуправлением обеспечивает защиту оператора от воздействия пыли, дыма, тепла и брызг металла.

Прогрессивно применение покрытия литейной формы для поверхностного легирования отливок. Так, карбидообразующие легирующие элементы (теллур, углерод, марганец) повышают износостойкость формы и устраняют рыхлость отливок; графитизирующие легирующие элементы (кремний, титан, алюминий) устраняют отбел, уменьшают остаточные напряжения и улучшают обрабатываемость отливок. Применение жидкоподвижных смесей при литье в песчаные формы повышает производительность труда, снижает трудоемкость изготовления формы и стержней в 3–5 раз, исключает ручной труд и позволяет полностью механизировать и автоматизировать производство

изготовления форм и стержней независимо от их размеров, конфигурации и номенклатуры.

При производстве крупных отливок применение регулируемого охлаждения формы позволяет сократить продолжительность охлаждения в литейной форме отливок массой 20–200 т в 2 раза по сравнению с естественным охлаждением.

Технологичность конструкций отливок характеризуется условиями формовки, заливки формы жидким металлом, остывания, выбивки, обрубки. На выполнение основных операций технологического процесса получения отливки влияют уклоны, толщина стенок, размерные соотношения стержней и другие условия.

Технологичность конструкции отливок приведена в табл. 3–5. Большое влияние на технологию последующей обработки отливок оказывает наличие в них отверстий. При массовом производстве в отливках обычно получают отверстия диаметром свыше 20 мм, при серийном – диаметром свыше 30 мм и при единичном – диаметром свыше 50 мм. Обрабатываемые отверстия некруглого профиля выполняют литьем, если диаметры вписанных окружностей соответствуют приведенным выше нормам.

Уступы шириной более 25 мм и выемки глубиной свыше 6 мм на мелких и средних отливках делают литыми. Если отношение толщин стенок составляет 1 : 2, то переходные поверхности оформляют в виде галтелей.

Стойкость форм приведена в табл. 6.

Состояние баз и обрабатываемых поверхностей отливок и условия их обработки зависят от способов обрубки и очистки. Краткая характеристика технологических средств, применяемых для обрубки и очистки отливок, приведена в табл. 7. Режимы термической обработки указаны в табл. 8. В технологический процесс изготовления отливки включается и контроль.

3. Толщина стенок отливок

Материал	Характеристика отливки	Наименьшая толщина стенки, мм	Материал	Характеристика отливки	Наименьшая толщина стенки, мм		
Литье в песчаные формы							
Сталь углеродистая	Мелкие (до 2 кг)	8	Бронзы оловянные	Наибольшая протяженность стенки, мм:	3		
	Средние (2–50 кг)	12					
Сталь низколегированная	Крупные (св. 50 кг)	20			5		
	На 20 – 40 % больше, чем для отливок из углеродистой стали					» 100 » 200	6
						» 200 » 600	8
Чугун серый	Мелкие (до 2 кг)	3–4	Специальные бронзы и латуни	Мелкие (до 2 кг)	До 6		
	Средние (2–50 кг)	6–8				Средние (2–50 кг)	До 8
	Крупные (св. 50 кг)	10–20					
Чугун высокопрочный	На 15–20 % больше, чем для отливок из серого чугуна		Кремниевые бронзы	–	До 4		
Чугун ковкий	Размеры площади стенки, мм: 50 × 50 100 × 100 200 × 200 350 × 350 500 × 500	2,5–3,5	Алюминиевые сплавы	Наибольшая протяженность стенки, мм: до 200 св. 200 до 800	3–5 5–8		
		3–4					
		3,5–5,5	Магниево-цинковые сплавы	Мелкие Средние (протяженность не более 400 мм)	4 6		
		4–5,5					
5–7	Цинковые сплавы	–	До 3				

Литье в кокиль

Материал	Площадь стенки, до 30 см ²	Толщина стенки, мм	Материал	Площадь стенки, см ² : до 25 св. 25 до 125 св. 125	Толщина стенки, мм
Магниево-цинковые сплавы		3	Чугун		4
Алюминиевые сплавы		3–4			6
					15
Бронзы		4–6	Сталь	–	8–10

Продолжение табл. 3

Литье по выплавляемым моделям										
Материалы	Толщина станки при габаритных размерах отливки, мм									
	Св. 10 до 50		Св. 50 до 100		Св. 100 до 200		Св. 200 до 350		Св. 350	
	ном.	мин.	ном.	мин.	ном.	мин.	ном.	мин.	ном.	мин.
Оловянно-свинцовые сплавы	1-1,5	0,7	1,5-2	1,0	2-3	1,5	2,5-3,5	2	3-4	2,5
Цинковые сплавы	1,5-2	1,0	2-3	1,5	2,5-3,5	2,0	3-4	2,5	3,5-5	3
Чугун	1,5-2	1,0	2-3,5	1,5	2,5-4	2,0	3-4,5	2,5	4-5	3,5
Медные, магниевые и алюминиевые сплавы	2-2,5	1,5	2,5-4	2,0	3,0-4	2,5	3,5-5	3	4-7	3,5
Сталь углеродистая	2-2,5	1,5	2,5-4	2,0	3,5-5	2,5	3,5-6	3	5-7	4,0

Примечание. Можно допускать стенки толщиной меньше 0,75 мм, если они имеют длину не более 8 - 10 мм.

Литье под давлением

Сплавы	Толщина стенки отливки (мм) при площади сплошной поверхности, см ²				
	До 25	Св. 25 до 100	Св. 100 до 225	Св. 225 до 400	Св. 400 до 1000
Оловянно-свинцовые	0,6	0,7	1,1	1,5	-
Цинковые	0,8	1,6	1,5	2,0	3,0
Магниевые	1,3	1,8	2,5	3,0	4,0
Алюминиевые	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
Медные	1,5	2,0	3,0	3,5	4,0

Примечание. Для стали оптимальная толщина стенок 3 мм.

Литье в оболочковые формы

Характеристика отливки	Толщина стенки, мм
Мелкие, кроме отливок из стали	2 - 2,5
Средние и мелкие стальные	3 - 4

Примечания: 1. При толщине стенок 10 - 12 мм в отливках можно выполнять отверстия диаметром 6 мм и более по модели (без стержней).

2. Для стальных отливок радиусы закруглений должны быть не менее 3 мм.

3. Переходный угол для оформления различных утолщений на отливке 30 - 45°.

4. Размеры отверстий и резьб в отливках

Диаметр отверстия, мм	Глубина отверстия, мм		Диаметр отверстия, мм	Глубина отверстия, мм	
	сквозного	глухого		сквозного	глухого
	До 5	5 - 10		До 5	120 - 200
Св. 5 до 10	10 - 30	5 - 15	200 - 300	80 - 100	
» 10 » 20	30 - 60	15 - 25	300 - 350	100 - 200	
» 20 » 40	60 - 120	25 - 30			

Продолжение табл. 4

Сплав	Размеры отверстий, мм			Конусность, не менее	Параметры резьбы, мм	
	Диаметр минимальный	Глубина отверстия			Шаг минимальный	Диаметр минимальный
		глухого	сквозного			
Цинковый	1,5	3d	6d	0°30'	0,75	6 (10)
Магниевый	2,0	3d	4d	1°00'	1,0	6 (15)
Алюминиевый	2,5	3d	4d	1°00'	1,0	10 (20)
Медный	5,0	3d	4d	1°30'	1,5	12 (-)

Литье в кокиль, оболочковые и песчаные формы

Сплав	Размеры отверстий, мм			Минимальный диаметр резьбы, мм	
	Минимальный диаметр	Глубина отверстия		наружный	внутренний
		сквозного	глухого		
Цинковый	8	2d	3d	-	-
Магниевый	8	2d	3d	-	-
Алюминиевый	8	2d	3d	6	20
Медный	10	1,5d	2d	6	25

Примечания: 1. Размеры резьб для литья под давлением без скобок даны для наружной резьбы, в скобках - для внутренней.

2. При литье в песчаные формы наименьшие размеры отверстий составляют: для чугунных отливок 10 мм при толщине стенок 8 - 10 мм; 15 мм при толщине стенок 20 - 30 мм; 18 мм при толщине стенок 40 - 50 мм; для стальных отливок соответственно 25 мм при толщине до 40 мм; 30 мм при толщине 40 - 60 мм и 35 - 40 мм - при большей толщине стенок.

5. Уклоны, радиусы закруглений, расстояния между бобышками, высота приливов и платиков

Формовочные уклоны наружных поверхностей моделей или стержневых ящиков

Измеряемая высота поверхности модели, мм	Уклоны (не более) для моделей				Измеряемая высота поверхности модели, мм	Уклоны (не более) для моделей			
	выплавленных	оболочковых	металлических	деревянных		выплавленных	оболочковых	металлических	деревянных
До 20	0°20'	0°45'	1°30'	3°00'	Св. 200 до 300	-	0°20'	0°30'	0°30'
Св. 20 до 50	0°15'	0°30'	1°00'	1°30'	» 300 » 800	-	-	0°20'	0°30'
» 50 » 100	0°10'	0°30'	0°45'	1°00'	» 800 » 2000	-	-	-	0°20'
» 100 » 200	-	0°20'	0°30'	0°45'	» 2000	-	-	-	0°15'

Примечания: 1. Формовочные уклоны выполняются: а) на обрабатываемых поверхностях - сверх припуска на механическую обработку путем увеличения размера отливки; б) на необрабатываемых поверхностях, которые не сопрягаются с другими деталями, одновременным увеличением и уменьшением размеров отливки; в) на необрабатываемых поверхностях, которые сопрягаются с другими деталями, уменьшением, увеличением или одновременным увеличением и уменьшением размеров отливки.

2. Уклоны местных небольших утолщений (бобышек, платиков, планок) следует принимать 30 - 45°.

3. В ребрах жесткости уклон следует делать до 5 - 8°.

Продолжение табл. 5

Формовочные уклоны литейных болванов

Измеряемая высота поверхности модели h_6 , мм	Уклоны (не более) для моделей		Измеряемая высота поверхности модели h_6 , мм	Уклоны (не более) для моделей	
	металлических	деревянных		металлических	деревянных
До 20	3°	3°	Св. 100 до 300	0°45'	1°00'
Св. 20 до 50	2°	2°30'	» 300 » 800	0°30'	0°45'
» 50 » 100	1°	1°30'	» 800	—	0°30'

Примечания: 1. Формовочные уклоны даны при $d : h_6 > 1$. При соотношении $d : h_6 \leq 1$, где d — диаметр или наименьшая ширина болвана, внутренние поверхности отливки могут быть выполнены стержнями.

2. Для болванов, снимаемых вместе с верхней опокой, формовочные уклоны могут быть увеличены в 2 раза.

3. Формовочные уклоны в стержневых ящиках рекомендуется выполнять равнозначными наружным уклонам моделей.

Радиусы закруглений в отливках

Эскиз	Параметр	Наименьшие значения параметров для литья	
		в песчаные формы	в кокиль
	R	$a/2$	$a/3$
	R_1	$a + R$	$a + R$
	c	$2\sqrt{b-a}$	$2\sqrt{b-a}$
	h	$8c$	$8c$
	R	$\frac{a+b}{4}$	$\frac{a+b}{6}$
	R_1	$R + \frac{a+b}{2}$	$R + \frac{a+b}{2}$
	R	$a/2$	$a/3$
	R_1 и R_2	$(a+b)/4$	$(a+b)/6$
	c_1	$2\sqrt{b-a}$	$2\sqrt{b-a}$
	h_1	$8c$	$8c$
	c_2	$1,5\sqrt{b-a}$	$1,5\sqrt{b-a}$
	h_2	$12c$	$12c$

Примечания: 1. Значения радиусов литых галтелей принимать равными: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40 мм.

2. Число значений различных радиусов галтелей, применяемых в одной отливке, должно быть минимальным.

Продолжение табл. 5

Радиусы закруглений и уклоны для литья давлением

Сплав	Радиусы закруглений, мм	Уклоны, % высоты стенки для поверхностей	
		наружных	внутренних
Оловянно-свинцовый	0,5	—	—
Цинковый	1,0	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0
Магний	1,0	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0
Алюминиевый	1,0	0,5 – 1,0	1,0 – 1,5
Медный	1,6	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0

Наименьшие расстояния между центрами бобышек, отливаемых раздельно		Минимальная высота приливов и платиков, мм			
Диаметр резьбы крепежных деталей, мм	Расстояния (мм) при литье		Наибольший размер отливки (длина или высота), мм	Литье	
	в песчаные формы	под давлением и в кокиль		в песчаные формы	под давлением, в кокиль, в оболочковые формы
До 4	25	15	До 50	3	2
Св. 4 до 6	30	18	Св. 50 до 250	3,5	2,5
» 4 » 10	35	22	» 250 » 500	4	—
» 10 » 14	40	30	» 500 » 750	5	—
» 14 » 18	50	38	» 750 » 1000	6	—

6. Стойкость литейных форм

Литье в металлические формы

Материал формы	Материал отливки	Характеристика отливки	Число отливок
Чугун	Сталь	Мелкие	100 – 500
		Средние	60 – 100
		Крупные	30 – 50
		Очень крупные	10 – 30
Чугун	Чугун	Мелкие	1000 – 5000
		Средние	100 – 500
		Крупные	25 – 100
Чугун	Медь	—	3000
Сталь	Медь	—	10 000
	Алюминий	—	50 000
	Магний	—	75 000
	Цинковый сплав	—	160 000
	Оловянно-свинцовый сплав	—	200 000

Продолжение табл. 6

Центробежное литье		
Материал изложницы	Материал отливки	Число отливок
Серый чугун	Чугун	300 – 400
Хромоникелевый чугун	Чугун	100 – 1500
Хромоникелевая сталь	Сталь	2000 – 3000
Серый чугун	Сплав на алюминиевой основе	5000 – 6000
Литье в оболочковые формы		
Материал пресс-формы		Число съёмов оболочек
Алюминий		5000 – 10 000
Сталь или чугун		100 000
Гипс (для стеклянных оболочек)		15 – 20
Литье по выплавляемой модели		
Материал пресс-формы		Число съёмов моделей
Сталь		100 000
Цемент		100 и более
Легкоплавкие сплавы, цинково-алюминиево-медные сплавы		1000
Литье под давлением		
Материал отливок		Число отливок
Оловянно-свинцовый сплав		50 000 и более
Цинковый сплав		10 000 – 20 000
Магниевый сплав		30 000 – 75 000
Алюминиевый сплав		25 000 – 75 000
Латунь		10 000 – 15 000
Медь		3000 – 10 000

Примечания: 1. Стойкость формы для толстостенных массивных отливок из латуни снижается до 5000, для тонкостенных отливок повышается до 20 000.

2. При литье в полупостоянные формы из высокоогнеупорных материалов стойкость формы 10 – 700 отливок.

7. Краткая характеристика средств, применяемых для обрубки и очистки отливок

Обрубка отливок		
Наименование обрубного механизма	Технические данные	Производительность за 1 ч
Пневматическое зубило	Длина с зубилом 300 – 400 мм. Масса ударника 0,2 – 0,6 кг. Частота ударов 1100 – 2120 в минуту	До 15 – 20 м на швах толщиной 4 – 6 мм
Ленточная пила	Скорость резания по 30 м/мин. Максимальная подача до 200 мм/мин. Ширина реза до 2 мм	При массе отливок до 50 кг: стальных – 12 дм ² , цветных сплавов – до 25 дм ²

Продолжение табл. 7

Наименование обрубного механизма	Технические данные	Производительность за 1 ч
Дисковая пила	Диаметр диска 400 – 1300 мм. Ширина реза 4 – 8 мм. Частота вращения до 1200 об/мин	60 резов при массе отливки до 50 кг
Шлифовальный станок с гибким валом	Диаметр круга до 250 мм. Частота вращения до 3000 об/мин. Ширина круга до 40 мм	До 0,3 т средних и крупных отливок
Маятниковый станок с наждачным кругом	Диаметр круга до 600 мм. Частота вращения до 1200 об/мин. Ширина круга до 40 мм	До 0,5 т средних и крупных отливок
Стационарный станок с наждачным кругом	Диаметр круга 500 – 600 мм. Частота вращения до 1400 об/мин. Ширина круга до 60 мм	До 0,3 т мелких отливок
Газовые резаки	Максимальная толщина реза до 300 мм. Расход: кислорода до 24 м ³ /ч; ацетилена до 0,9 – 1,2 м ³ /ч	4 – 15 м
Эксцентрик пресс	Нагрузка на нож 120 – 500 Н. Ход ножа до 80 мм. Число ходов – до 50 в минуту. Максимальная толщина реза 50 мм	До 300 резов

Очистка отливок

Пневматическое зубило	Давление сжатого воздуха 600 кПа. Частота ударов до 2500 в минуту. Масса 5 – 6,3 кг	Крупные отливки – 40 – 50 дм ² ; мелкие – до 8 – 10 дм ²
Вращающаяся щетка с гибким валом	Диаметр щетки до 400 мм. Частота вращения до 3000 об/мин. Длина вала до 3 м	Крупные отливки – 60 – 80 дм ² ; мелкие – до 12 – 15 дм ²
Очистной барабан	Частота вращения 20 – 40 об/мин. Продолжительность очистки 1,5 – 2 ч. Диаметр барабана 0,6 – 1,2 м; вместимость 0,7 – 4,0 м ²	До 2000 кг
Пескоструйный барабан	Давление воздуха 200 – 3000 кПа. Диаметр барабана 0,4 м. Частота вращения 2 – 3 об/мин	До 1500 кг
Дробеметный ленточный барабан	Расход дроби 3 – 5 кг/т. Вместимость барабана 0,3 – 0,7 т. Диаметр барабана 0,7 – 1,2 м	До 4000 кг
Пескоструйный стол	Расход песка 2 кг/т. Давление воздуха 200 кПа. Диаметр стола 2 м. Частота вращения 1 об/мин	До 1500 кг
Дробеметный стол	Расход дроби 5 – 6 кг/т. Диаметр стола 2 м. Частота вращения стола 1 – 5 об/мин	До 2500 кг
Пескоструйная камера	Площадь камеры до 20 м ² . Давление воздуха 200 кПа. Расход песка 80 кг/т	До 10 т

Продолжение табл. 7

Наименование обрубного механизма	Технические данные	Производительность за 1 ч
Дробеструйная камера	Площадь камеры до 80 м ² . Частота вращения стола 2 – 3 об/мин. Расход дробы 5 кг/т	До 10 т
Гидравлическая камера	Давление воды до 10000 кПа. Вместимость камеры до 25 м ³ . Расход воды до 4 – 5 м ³ /т	До 3 т
Пескогидравлическая камера	Давление воды 5000 – 7500 кПа. Вместимость камеры до 20 м ³ . Расход песка 1,5 т/ч. Расход воды 50 м ³ /ч	До 4 т

Примечания: 1. В серийном производстве обрубку целесообразно выполнять с помощью специальных кондукторов и приспособлений, в массовом производстве – на специальных установках.

2. Отливки, полученные из металлических форм, очистке не подвергаются. При наличии в таких отливках стержней зачищают только поверхность, соприкасающуюся со стержнем.

3. При массовом и крупносерийном производстве отливок очистка отливок осуществляется в полуватоматических и автоматических дробеструйных и гидравлических установках.

8. Термическая обработка для улучшения свойств отливки

Термо-обработка	Цель термообработки	Режимы термической обработки									
		Сталь		Чугун		Медные сплавы		Алюминиевые сплавы		Магниеые сплавы	
		T _{max}	t, ч	T _{max}	t, ч	T _{max}	t, ч	T _{max}	t, ч	T _{max}	t, ч
Отжиг	Снятие остаточных напряжений	750–780	4–14	500–550	6–18	–	–	–	–	225–360	2–4
Высокотемпературный отпуск	Выравнивание структуры по сечению	900–1100	3–6	–	–	850–750	2–6	–	–	–	–
Закалка	Увеличение прочности и твердости	900–1100	3–3	830–900	1–3	875–920	2–6	515–525	2–12	–	–
Отпуск	Увеличение пластичности и снятие напряжений	120–400	2–4	200–400	0,5–1	410–460	1,5–3	150–220	1–4	–	–
Нормализация	Измельчение структуры	650–700	2–4	850–950	1–3	850	2–6	–	–	–	–
Старение	Улучшение механических свойств	–	–	–	–	–	–	175	5–16	175	5–16
Гомогенизация	Выравнивание структуры по сечению	–	–	–	–	–	–	–	–	380–415	10–16

Примечание. T_{max} – максимальная температура нагрева, °С; t – общая продолжительность обработки (включая нагрев и выдержку).

Нормы точности отливок

Номинальный размер детали (отливки) – размер, указанный на чертеже детали (отливки). Номинальный размер отливки следует принимать равным номинальному размеру детали для необрабатываемых поверхностей и сумме среднего размера детали и общего припуска на обработку – для обрабатываемых поверхностей. У наклонных, конических и фасонных поверхностей за номинальный размер принимают наибольший.

При определении номинальных размеров отливок учитывают технологические напуски.

Номинальную массу отливки следует принимать равной массе отливки с номинальными размерами.

Технологические напуски устанавливает изготовитель и указывает в чертежах отливки или детали с указанием размера отливки.

Нормы точности устанавливают на отливку в целом, ее отдельные поверхности и размеры.

Точность отливки в целом характеризуют классом размерной точности отливки (табл. 9), степенью коробления (табл. 10), степенью точности поверхности (табл. 11, 12), классом точности массы (табл. 13).

ГОСТ 26645-85 устанавливает 22 класса точности размеров и масс (1, 2, 3т, 3, ..., 16) отливок из черных и цветных металлов и сплавов.

Обязательному применению подлежат классы размерной точности (табл. 9) и точности массы отливки (табл. 13). Использование других показателей точности отливок, а при необходимости и специфические требования к точности литых деталей в зависимости от их назначения и условий эксплуатации, регламентируется в отраслевой нормативно-технической документации.

На отдельные размеры и поверхности отливок допускается устанавливать более жесткие нормы точности, чем в целом на отливку.

На чертеже отливки (или чертеже детали с нанесенными размерами отливки) следует указывать измерительные базы (базы разметки) и базы первоначальной обработки поверхностей.

9. Классы размерной точности отливок

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
Под давлением в металлические формы и по выжигаемым моделям с применением малотемпературных огнеупорных материалов (плавленого кварца, корунда и т.п.)	До 100	3т – 6	3 – 7т	4 – 7	5т – 8
	Св. 100 » 250	3 – 7т	4 – 7	5т – 8	5 – 9т
	» 250 » 630	4 – 7	5т – 8	5 – 9т	6 – 9
По выжигаемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 100	3 – 7	4 – 8	5т – 9т	5 – 9
	Св. 100 » 250	4 – 8	5т – 9т	5 – 9	6 – 10
	» 250 » 630	5т – 9т	5 – 9	6 – 10	7т – 11т
По выплавляемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 100	4 – 8	5т – 9т	5 – 9	6 – 10
	Св. 100 » 250	5т – 9т	5 – 9	6 – 10	7т – 11т
	» 250 » 630	5 – 9	6 – 10	7т – 11т	7 – 11

Продолжение табл. 9

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
Под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней	До 100	5т-9т	5-9	6-10	7т-11т
	Св. 100 » 250	5-9	6-10	7т-11т	7-11
	» 250 » 630	6-10	7т-11т	7-11	8-12
	» 630 » 1600	7т-11т	7-11	8-12	9т-13т
В песчано-глинистые сырые формы из низковлажностных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа) смесей, с высоким и однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц. По газифицированным моделям в песчаные формы. В формы, отверждаемые в контакте с холодной оснасткой. Под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями. В облицованный кокиль	До 100	5-10	6-11т	7т-11	7-12
	Св. 100 » 250	6-11т	7т-11	7-12	8-13т
	» 250 » 630	7т-11	7-12	8-13т	9т-13
	» 630 » 1600	7-12	8-13т	9т-13	9-13
В песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 2,8 до 3,5 % и прочностью от 120 до 160 кПа со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц. Центробежное (внутренние поверхности). В формы, отверждаемые в контакте с горячей оснасткой. В вакуумно-пленочные песчаные формы	До 100	6-11т	7т-11	7-12	8-13т
	Св. 100 » 250	7т-11	7-12	8-13т	9т-13
	» 250 » 630	7-12	8-13т	9т-13	9-13
	» 630 » 1600	8-13т	9т-13	9-13	10-14
» 1600 » 4000	9т-13	9-13	10-14	11т-14	
	» 4000 » 10000	9т-13	9-13	10-14	11т-14

Продолжение табл. 9

Технологический процесс литья	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
В песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 3,5 до 4,5 % и прочностью от 60 до 120 кПа с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц. В оболочковые формы из терморезистивных смесей. В формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой без тепловой сушки. В формы из жидких самотвердеющих смесей. В песчано-глинистые подсушенные и сухие формы	До 100	7т-11	7-12	8-13т	9т-13
	Св. 100 » 250	7-12	8-13т	9т-13	9-13
	» 250 » 630	8-13т	9т-13	9-13	10-14
	» 630 » 1600	9т-13	9-13	10-14	11т-14
В песчано-глинистые сырые формы из высоковлажностных (более 4,5 %) низкопрочных (до 60 кПа) смесей с низким уровнем уплотнения до твердости ниже 70 единиц	До 100	7-12	8-13т	9т-13	9-13
	Св. 100 » 250	8-13т	9т-13	9-13	10-14
	» 250 » 630	9т-13	9-13	10-14	11т-14
	» 630 » 1600	9-13	10-14	11т-14	11-15
» 1600 » 4000	10-14	11т-14	11-15	12-15	
	» 4000 » 10000	11т-14	11-15	12-15	13т-16
	» 10000	11-15	12-15	13т-16	13-16

Примечания:

1. В таблице указаны диапазоны классов размерной точности отливок, обеспечиваемых различными технологическими процессами литья. Меньшие их значения относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие - к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние - к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

2. В табл. 3 и далее к цветным легкоплавким сплавам отнесены сплавы с температурой плавления ниже 700 °С (973 К), цветным тугоплавким - сплавы с температурой плавления выше 700 °С (973 К).

3. В табл. 3 и далее к легким отнесены сплавы с плотностью до 3,0 г/см³, тяжелым - сплавы с плотностью свыше 3,0 г/см³.

10. Степень коробления элементов отливок

Отношение наименьшего размера элемента отливки к наибольшему (толщины или высоты к длине элемента отливки)	Многokrатные формы		Разовые формы	
	Нетермообрабатываемые отливки	Термообрабатываемые отливки после правки	Нетермообрабатываемые отливки	Термообрабатываемые отливки после правки
Св. 0,200	1-4	2-5	3-6	4-7
» 0,100 до 0,200	2-5	3-6	4-7	5-8
» 0,050 » 0,100	3-6	4-7	5-8	6-9
» 0,025 » 0,050	4-7	5-8	6-9	7-10
» 0,025	5-8	6-9	7-10	8-11

Примечания:

1. Меньшие значения из диапазонов степеней коробления относятся к простым отливкам из легких цветных сплавов; большие значения – к сложным отливкам из черных сплавов.

2. Степень коробления отливки, указываемую на чертеже, следует принимать по ее элементу с наибольшей степенью коробления.

11. Степени точности поверхностей отливок

Технологический процесс литья	Степени точности поверхности отливок				
	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
Под давлением в металлические формы	До 100	2-6	3-7	4-8	5-9
	Св. 100 » 250	3-7	4-8	5-9	6-10
	» 250 » 630	4-8	5-9	6-10	7-11
В керамические формы, литье по выжигаемым и выплавляемым моделям	До 100	3-8	4-9	5-10	6-11
	Св. 100 » 250	4-9	5-10	6-11	7-12
	» 250 » 630	5-10	6-11	7-12	8-13
Под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней, центробежное литье в металлические формы	До 100	4-9	5-10	6-11	7-12
	Св. 100 » 250	5-10	6-11	7-12	8-13
	» 250 » 630	6-11	7-12	8-13	9-14
В оболочковые формы из терморезистивных смесей. В облицованный кокиль, литье в вакуумно-пленочные песчаные формы	До 100	6-12	7-13	8-14	9-15
	Св. 100 » 250	7-13	8-14	9-15	10-16
	» 250 » 630	8-14	9-15	10-16	11-17

Продолжение табл. 11

Технологический процесс литья	Степени точности поверхности отливок				
	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
По газифицируемым моделям в песчаные формы. В песчано-глинистые сырые формы из низковлажных (до 2,8 %) высокопрочных (более 160 кПа) смесей с высоким и однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц. В песчаные отвержденные, сухие или подсушенные формы, окрашенные покрытиями на водной основе, нанесенными пульверизацией или окунанием. В кокиль с песчаными стержнями	До 100	7-14	8-15	9-16	10-17
	Св. 100 » 250	8-15	9-16	10-17	11-18
	» 250 » 630	9-16	10-17	11-18	12-19
	» 630 » 1600	10-17	11-18	12-19	13-19
В песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 2,8 до 3,5 % и прочностью от 120 до 150 кПа со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц. В песчаные отвержденные, сухие или подсушенные формы, окрашенные покрытиями на водной основе, нанесенными кистью или самовысыхающими покрытиями, нанесенными пульверизацией или окунанием	До 100	8-15	9-16	10-17	11-18
	Св. 100 » 250	9-16	10-17	11-18	12-19
	» 250 » 630	10-17	11-18	12-19	13-19
	» 630 » 1600	11-18	12-19	13-19	14-20
	» 1600 » 4000	12-19	13-19	14-20	15-20
» 4000 » 10000	13-19	14-20	15-20	16-21	

Продолжение табл. 11

Технологический процесс литья	Степени точности поверхности отливок				
	Наибольший габаритный размер отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
В песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 3,5 до 4,5 % и прочностью от 60 до 120 кПа с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц. В песчаные отвержденные сухие или подсушенные формы, окрашенные самовысыхающими или самоотвердевающими покрытиями, нанесенными кистью	До 100	9 – 16	10 – 17	11 – 18	12 – 19
	Св. 100 » 250	10 – 17	11 – 17	11 – 18	12 – 19
	» 250 » 630	11 – 18	12 – 19	13 – 19	14 – 20
	» 630 » 1600	12 – 19	13 – 19	14 – 20	15 – 20
	» 1600 » 4000	13 – 19	14 – 20	15 – 20	16 – 21
» 4000 » 10000	14 – 20	15 – 20	16 – 21	17 – 21	
В песчано-глинистые сырые формы из высоковлажных (выше 4,5 %) и низкопрочных (до 60 кПа) смесей с низким уровнем уплотнения до твердости ниже 70 единиц. В песчаные отверждаемые, сухие или подсушенные неокрашенные формы. В формы из жидких самоотвердеющих смесей	До 100	10 – 17	11 – 18	12 – 19	13 – 19
	Св. 100 » 250	11 – 18	12 – 19	13 – 19	14 – 20
	» 250 » 630	12 – 19	13 – 19	14 – 20	15 – 20
	» 630 » 1600	13 – 19	14 – 20	15 – 20	16 – 21
	» 1600 » 4000	14 – 20	15 – 20	16 – 21	17 – 21
» 4000 » 10000	15 – 20	16 – 21	17 – 21	18 – 22	
» 10000	16 – 21	17 – 21	18 – 22	19 – 22	

Примечание. В таблице указаны диапазоны степеней точности поверхности отливок, обеспечиваемых различными технологическими процессами литья. Меньшие из значений относятся к простым отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

12. Соответствие между шероховатостью и степенями точности поверхностей отливок

Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм, не более	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	20,0
Высота неровностей профиля R_z , мкм, не более	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Шероховатость поверхности	Значение шероховатости для степеней точности поверхности отливки										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм, не более	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0	–	–	–	–
Высота неровностей профиля R_z , мкм, не более	–	–	–	–	–	–	–	500	630	800	1000

13. Классы точности массы отливок

Технологический процесс литья	Классы точности массы отливок				
	Номинальная масса отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
Под давлением в металлические формы и по выжигаемым моделям с применением малотерморасширяющихся огнеупорных материалов (плавленого кварца, корунда и т.п.)	До 1,0	1 – 7	2 – 8	3т – 9т	3 – 9
	Св. 1,0 » 10	2 – 8	3т – 9т	3 – 9	4 – 10
	» 10 » 100	3т – 9т	3 – 9	4 – 10	5т – 11т
По выжигаемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 1,0	2 – 9т	3т – 9	3 – 10	4 – 11т
	Св. 1,0 » 10	3т – 9	3 – 10	4 – 11т	5т – 11
	» 10 » 100	3 – 10	4 – 11т	5т – 11	5 – 12

Продолжение табл. 13

Технологический процесс литья	Классы точности массы отливок				
	Номинальная масса отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
По выплавляемым моделям с применением кварцевых огнеупорных материалов	До 1,0	3т-9	3-10	4-11т	5т-11
	Св. 1,0 » 10	3-10	4-11т	5т-11	5-12
	» 10 » 100	4-11т	5т-11	5-12	6-13т
Под низким давлением и в кокиль без песчаных стержней	До 1,0	3-10	4-11т	5т-11	5-12
	Св. 1,0 » 10	4-11т	5т-11	5-12	6-13т
	» 10 » 100	5т-11	5-12	6-13т	7т-13
	» 100 » 1000	5-12	6-13т	7т-13	7-14
	» 1000 » 10000	6-13т	7т-13	7-14	8-15
В песчано-глинистые сырые формы из низковлаж-ных (до 2,8 %), высокопрочных (более 160 кПа) смесей, с высоким и однородным уплотнением до твердости не ниже 90 единиц. По газифицированным моделям в песчаные формы. В формы, отвержденные в контакте с холодной оснасткой. Под низким давлением и в кокиль с песчаными стержнями. В облицованный кокиль	До 1,0	4-11	5т-12	5-13т	6-13
	Св. 1,0 » 10	5т-12	5-13т	6-13	7т-14
	» 10 » 100	5-13т	6-13	7т-14	7-15
	» 100 » 1000	6-13	7т-14	7-15	8-15
	» 1000 » 10000	7т-14	7-15	8-15	9т-16
В песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 2,8 до 3,5 % и прочностью от 120 до 160 кПа, со средним уровнем уплотнения до твердости не ниже 80 единиц. Центробежное (внутренние поверхности). В формы, отверждаемые в контакте с горячей оснасткой. В оболочковые формы. В вакуумно-пленочные песчаные формы	До 1,0	5т-12	5-13т	6-13	7т-14
	Св. 1,0 » 10	5-13т	6-13	7т-14	7-15
	» 10 » 100	6-13	7т-14	7-15	8-15
	» 100 » 1000	7т-14	7-15	8-15	9т-16
	» 1000 » 10000	7-15	8-15	9т-16	9-16
» 10000 » 100000	8-15	9т-16	9-16	10-16	

Продолжение табл. 13

Технологический процесс литья	Классы точности массы отливок				
	Номинальная масса отливки, мм	Цветные легкие нетермообрабатываемые сплавы	Нетермообрабатываемые черные и цветные тугоплавкие сплавы и термообрабатываемые цветные легкие сплавы	Термообрабатываемые чугуны и цветные тугоплавкие сплавы	Термообрабатываемые стальные сплавы
В песчано-глинистые сырые формы из смесей с влажностью от 3,5 до 4,5 % и прочностью от 60 до 120 кПа с уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц. В оболочковые формы из терморепактивных смесей. В формы, отверждаемые вне контакта с оснасткой без тепловой сушки. В песчано-глинистые подсушенные и сухие формы. В формы из жидких самотвердеющих смесей	До 1,0	5-13т	6-13	7т-14	7-15
	Св. 1,0 » 10	6-13	7т-14	7-15	8-15
	» 10 » 100	7т-14	7-15	8-15	9т-16
	» 100 » 1000	7-15	8-15	9т-16	9-16
	» 1000 » 10000	8-15	9т-16	9-16	10-16
В песчано-глинистые сырые формы из высоко-влажных (более 4,5 %) низкопрочных (до 60 кПа) смесей с низким уровнем уплотнения до твердости не ниже 70 единиц	До 1,0	6-13	7т-14	7-15	8-15
	Св. 1,0 » 10	7т-14	7-15	8-15	9т-16
	» 10 » 100	7-15	8-15	9т-16	9-16
	» 100 » 1000	8-15	9т-16	9-16	10-16
	» 1000 » 10000	9т-16	9-16	10-16	11т-16
» 10000 » 100000	10-16	11т-16	11-16	12-16	

Примечание. В таблице указаны диапазоны классов точности массы отливок, обеспечиваемых различными технологическими процессами литья. Меньшие их значения относятся к простым компактным отливкам и условиям массового автоматизированного производства, большие – к сложным крупногабаритным отливкам единичного и мелкосерийного производства, средние – к отливкам средней сложности и условиям механизированного серийного производства.

Допуски размеров, формы, расположения поверхностей и массы отливок

Рекомендуется следующее расположение полей допусков для размеров элементов отливки (рис. 1):

односторонне — "в тело" для элементов отливки, расположенных в одной части формы и не подвергаемых механической обработке; при этом для охватывающих элементов типа "отверстие" — "в плюс" (рис. 1, а), а для охватываемых типа "вал" — "в минус" (рис. 1, б);

симметрично — для всех остальных размеров отливок, не подвергаемых, а также подвергаемых механической обработке (рис. 1, в).

Предъявляемые к отливке требования по точности размеров зависят от ее функционального назначения, т.е. от условий, в которых литая деталь и ее отдельные элементы будут эксплуатироваться.

Точность размеров отливок зависит не только от технологии производства, но и от наибольшего габаритного размера отливки и ее сложности. При этом в одной и той же отливке точность отдельных ее элементов неодинакова, так как зависит от условий формирования этих элементов в форме. Классификация отливок по сложности приводится по преЙскуранту оптовых цен. По этому классификатору отливки делятся на пять групп сложности.

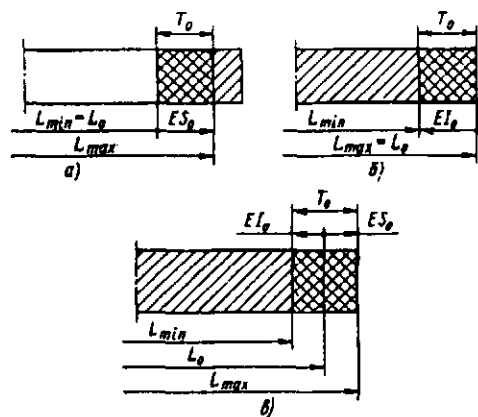


Рис. 1. Возможные варианты расположения полей допусков для размеров отливки: T_0 — допуск на размер отливки; ES_0 — верхнее отклонение; EI_0 — нижнее отклонение

К группе 1 относятся отливки простой геометрической формы: плоские, круглые или полусферические; наружные поверхности — гладкие или плоские с наличием невысоких ребер, бобышек, фланцев, отверстий, выступов и углублений. Наружные поверхности изготавливают без стержней или съемных частей. Внутренние полости неглубокие; выполняются преимущественно "болваном" или простым стержнем; внутренняя поверхность гладкая, без выступов или углублений (рис. 2).

К группе 2 относятся отливки в виде сочетания простых геометрических тел, плоские, круглые или полусферические, открытой коробчатой формы. Наружные поверхности плоские и криволинейные с наличием ребер, буртов, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями простой конфигурации. Отдельные части выполняются с использованием стержней. Внутренние полости простые, большой протяженности или высокие (рис. 3).

К группе 3 относятся отливки открытой коробчатой, сферической, полусферической, цилиндрической и другой формы. Наружные поверхности — криволинейные и плоские с наличием нависающих частей, ребер, кронштейнов, бобышек, фланцев с отверстиями и углублениями сравнительно сложной конфигурации. Часть отливки выполняют с использованием стержней. Внутренние полости отдельных соединений геометрических фигур — большой протяженности или высокие с незначительными выступами или углублениями, расположенными в одном и двух ярусах со свободными широкими выходами полостей (рис. 4).



Рис. 2. Отливки 1-й группы сложности

Рис. 3. Отливки 2-й группы сложности

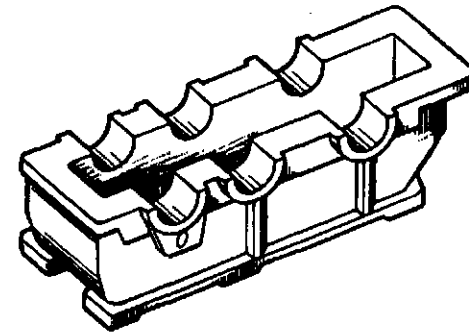


Рис. 4. Отливки 3-й группы сложности

К группе 4 относятся отливки закрытой и частично открытой коробчатой и цилиндрической формы. Наружные поверхности — криволинейные и плоские с примыкающими кронштейнами, фланцами, патрубками и другими конструктивными элементами различной конфигурации. Многие части поверхности или вся поверхность могут выполняться стержнями. Внутренние части имеют сложную конфигурацию со значительными выступами и углублениями и расположены в один-два яруса и имеют один-два свободных выхода (рис. 5).

К группе 5 относятся отливки закрытой коробчатой формы. Наружные поверхности — криволинейные, сложной конфигурации, с примыкающими и пересекающимися кронштейнами, фланцами, патрубками и другими конструктивными элементами. Для получения наружной поверхности могут применяться стержни. Внутренние полости имеют сложную конфигурацию с криволинейными поверхностями, пересекающимися под различными углами, с выемками и выступами (рис. 6).

В зависимости от условий формирования элементов отливки в форме установлено три вида размеров (рис. 7):

1 — размеры элементов отливки, образованные одной частью формы или одним стержнем (рис. 7, а — размеры L_1 , L_2 , d_1 , d_2 , рис. 7, б — размер L);

2 — размеры элементов отливки, образованные двумя полуформами, а также перпендикулярные плоскости разреза (рис. 7, а — размеры D_1 , D_2 , рис. 7, б — размер H);

3 — размеры элементов отливки, образованные тремя или более частями формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также толщины стенок, ребер, фланцев (рис. 7, а — размеры h_1 , h_2 , рис. 7, б — размеры b_1 , b_2 , b_3).

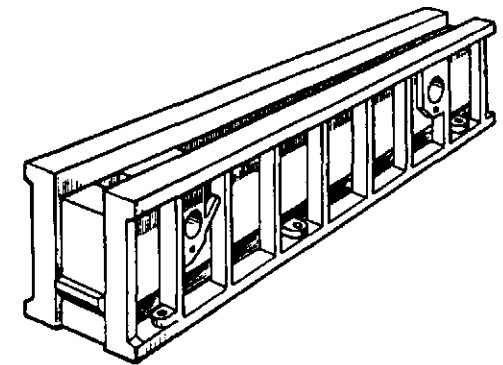


Рис. 5. Отливки 4-й группы сложности

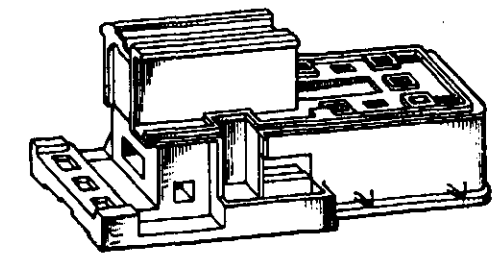


Рис. 6. Отливки 5-й группы сложности

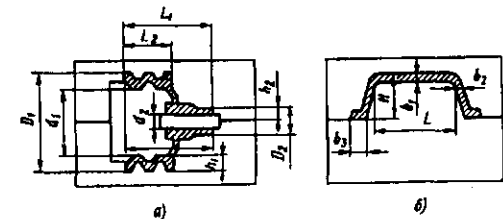


Рис. 7. Размеры отливки: а — со стержнем; б — с болваном

Допуски размеров, формы, расположения и неровностей поверхностей отливок. Допуски линейных размеров отливок, изменяемых и неизменяемых обработкой, должны соответствовать указанным в табл. 14.

Для наклонных, конических и фасонных поверхностей, заданных координатами от одной базы или поверхности, допускается устанавливать допуски на номинальное значение наибольшего из размеров.

Допуски размеров, установленные в табл. 14, не учитывают допуски формы и расположения поверхностей отливок, кроме оговоренных ниже.

14. Допуски линейных размеров отливок, мм

Интервал номинальных размеров, мм		Класс точности отливок											
		1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	
Св.	До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	
4	» 6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	
»	6	» 10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80
»	10	» 16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90
»	16	» 25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00
»	25	» 40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10
»	40	» 63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
»	63	» 100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40
»	100	» 160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60
»	160	» 250	—	—	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80
»	250	» 400	—	—	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
»	400	» 630	—	—	—	—	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20
»	630	» 1000	—	—	—	—	—	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40
»	1000	» 1600	—	—	—	—	—	—	—	1,40	1,80	2,20	2,80
»	1600	» 2500	—	—	—	—	—	—	—	—	2,00	2,40	3,20
»	2500	» 4000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,20	3,60
»	4000	» 6300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	6300	» 10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Интервал номинальных размеров, мм		Класс точности отливок											
		9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16	
Св.	До 4	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	—	—	—	—	—	—	—
4	» 6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	—	—	—	—	—	—
»	6	» 10	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	—	—	—
»	10	» 16	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	—	—
»	16	» 25	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12
»	25	» 40	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14
»	40	» 63	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16
»	63	» 100	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18
»	100	» 160	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12	16	20
»	160	» 250	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14	18	22
»	250	» 400	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16	20	24
»	400	» 630	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18	22	28
»	630	» 1000	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20	24	32
»	1000	» 1600	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22	28	36
»	1600	» 2500	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24	32	40
»	2500	» 4000	4,4	5,6	7,0	9,0	11,0	14,0	18,0	22,0	28	36	44
»	4000	» 6300	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32	40	50
»	6300	» 10000	—	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40	50	64
»	10000	—	—	—	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	40,0	50	64	80

Допуски размеров элементов отливки, образованных двумя полуформами или полуформой и стержнем, устанавливают соответствующими классу размерной точности отливки. Допуски размеров, образованных одной частью литейной формы или одним стержнем, устанавливают на 1, 2 класса точнее. Допуски размеров, образованных тремя и более частями литейной формы, несколькими стержнями или подвижными элементами формы, а также допуски толщины стенок, образованных двумя и более частями формы или формой и стержнем, устанавливают на 1, 2 класса грубее.

Допуски размеров отливок от предварительно обработанной поверхности до литой поверхности должны соответствовать табл. 14. Классы их точности и обозначения на чертежах устанавливаются отраслевыми нормативно-техническими документами.

Допуски угловых размеров в пересчете на линейные не должны превышать значений, установленных в табл. 14 для линейных размеров соответствующих классов точности.

Допуски формы и расположения поверхностей отливок (отклонения от прямолинейности, плоскостности, параллельности, перпендикулярности, заданного профиля) в диаметральном выражении должны соответствовать указанному в табл. 15.

Допуски формы и расположения, приведенные в табл. 15 не учитывают формовочные уклоны, назначаемые в соответствии с ГОСТ 3212-92.

Допуски круглости, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционные допуски в диаметральном выражении не должны превышать допусков на размеры, установленные в табл. 14.

Допуск смещения отливки по плоскости разреза в диаметральном выражении устанавливают по табл. 14 на уровне класса размерной точности отливки по номинальному размеру наиболее тонкой из стенок отливки, выходящих на разрез или пересекающих его.

Допуск смещения, вызванный перекосом стержня, устанавливают в диаметральном выражении по табл. 14 на 1, 2 класса точнее класса размерной точности отливки, по номинальному размеру наиболее тонкой из стенок отливки, формируемых с участием стержня.

Общие допуски элементов отливок, учитывающие совместное влияние допуска размера от поверхности до базы и допусков формы и расположения поверхности, приведены в табл. 16.

Допуски неровностей поверхностей отливок должны соответствовать указанным в табл. 17.

Для обрабатываемых поверхностей отливок установлено симметричное расположение полей допусков, для необрабатываемых поверхностей допускается симметричное и несимметричное (частично или полностью) расположение полей допусков размеров, формы и расположения.

Установлено симметричное расположение полей допусков неровностей поверхностей отливок.

Допуски массы отливок должны соответствовать указанным в табл. 18.

Установлено симметричное расположение поля допуска массы относительно номинальной массы.

Контроль и обозначение точности отливок

Контроль отливок. Виды (сплошной, выборочный и т.п.) и методы контроля, точностные параметры, проверяемые (сдаточные) размеры и номенклатуру контролируемых допусков и припусков отливок устанавливают в отраслевой научно-технической документации или в чертеже отливки, либо на чертеже детали с нанесенными размерами отливки. Контролируемые размеры рекомендуется указывать от баз.

В чертеже отливки или детали с нанесенными размерами отливки контролируют соответствие назначенных допусков нормам точности отливки, припусков на обработку — значениям допусков и норм точности отливки.

Соответствие отливки заданному классу размерной точности определяют по сдаточному размеру с классом точности с наибольшим отклонением от заданного для него класса. Классы точности размеров видов 1 и 3 приводят к классу точности размеров вида 2.

Соответствие поверхности отливки заданной степени точности определяют по высоте неровностей (табл. 17) и шероховатости (табл. 12) поверхности, при несовпадении найденных оценок принимают большую из них. Соответствие отливки заданной степени точности поверхностей отливки в целом определяют по наиболее грубой из поверхностей с пересчетом оценок верхних при заливке поверхностей к боковым.

15. Допуски формы и расположения элементов отливки, мм, не более

Номинальный размер нормируемого участка отливки, мм	Степени коробления элементов отливки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
До 125	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
Св. 125 » 160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60
» 160 » 200	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
» 200 » 250	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40
» 250 » 315	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20
» 315 » 400	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00
» 400 » 500	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00
» 500 » 630	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40
» 630 » 800	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00
» 800 » 1000	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00
» 1000 » 1200	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00	12,00
» 1200 » 1600	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00	12,00	16,00
» 1600 » 2000	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00
» 2000 » 2500	2,40	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00
» 2500 » 3150	3,20	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00
» 3150 » 4000	4,00	5,00	6,40	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00	40,00
» 4000 » 5000	5,00	6,40	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00	40,00	50,00
» 5000 » 6300	6,40	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00	40,00	50,00	64,00
» 6300 » 8000	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00	40,00	50,00	64,00	80,00
» 8000 » 10000	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00	40,00	50,00	64,00	80,00	-
» 10000	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00	40,00	50,00	64,00	80,00	-	-

Пр и м е ч а н и е. За номинальный размер нормируемого участка при определении допусков, формы и расположения следует принимать наибольший размер нормируемого участка элемента отливки, для которого регламентируются отклонения формы и расположения поверхности.

16. Общие допуски элементов отливок, мм

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
До 0,01	До 0,01 Св. 0,01 » 0,02	0,02 0,03
Св. 0,01 до 0,02	До 0,01 Св. 0,01 » 0,02 » 0,02 » 0,03 » 0,03 » 0,04	0,02 0,03 0,04 0,05
Св. 0,02 до 0,03	До 0,01 Св. 0,01 » 0,02 » 0,02 » 0,03 » 0,03 » 0,04 » 0,04 » 0,05 » 0,05 » 0,06	0,03 0,04 0,05 0,06 0,07 0,08

Продолжение табл. 16

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
Св. 0,03 до 0,04	До 0,01	0,04
	Св. 0,01 » 0,03	0,05
	» 0,03 » 0,04	0,06
	» 0,04 » 0,05	0,07
	» 0,05 » 0,06	0,08
	» 0,06 » 0,08	0,11
Св. 0,04 до 0,05	До 0,01	0,05
	Св. 0,01 » 0,03	0,06
	» 0,03 » 0,04	0,07
	» 0,04 » 0,05	0,08
	» 0,05 » 0,06	0,09
	» 0,06 » 0,08	0,11
Св. 0,05 до 0,06	До 0,02	0,06
	Св. 0,02 » 0,03	0,07
	» 0,03 » 0,04	0,08
	» 0,04 » 0,05	0,09
	» 0,05 » 0,06	0,10
	» 0,06 » 0,08	0,12
Св. 0,06 до 0,08	До 0,02	0,08
	Св. 0,02 » 0,04	0,09
	» 0,04 » 0,05	0,10
	» 0,05 » 0,06	0,11
	» 0,06 » 0,08	0,14
	» 0,08 » 0,10	0,16
Св. 0,08 до 0,10	До 0,02	0,18
	Св. 0,02 » 0,04	0,22
	» 0,04 » 0,06	0,10
	» 0,06 » 0,08	0,11
	» 0,08 » 0,10	0,12
	» 0,10 » 0,16	0,14
Св. 0,08 до 0,10	До 0,02	0,16
	Св. 0,02 » 0,04	0,18
	» 0,04 » 0,06	0,22
	» 0,06 » 0,08	0,10
	» 0,08 » 0,10	0,11
	» 0,10 » 0,16	0,12
Св. 0,08 до 0,10	До 0,02	0,18
	Св. 0,02 » 0,04	0,22
	» 0,04 » 0,06	0,10
	» 0,06 » 0,08	0,11
	» 0,08 » 0,10	0,12
	» 0,10 » 0,16	0,14
Св. 0,08 до 0,10	До 0,02	0,28
	Св. 0,02 » 0,04	0,32
	» 0,04 » 0,06	0,16
	» 0,06 » 0,08	0,17
	» 0,08 » 0,10	0,18
	» 0,10 » 0,16	0,22

Продолжение табл. 16

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
Св. 0,10 до 0,12	До 0,02	0,12
	Св. 0,02 » 0,06	0,14
	» 0,06 » 0,08	0,16
	» 0,08 » 0,10	0,18
	» 0,10 » 0,12	0,20
	» 0,12 » 0,16	0,24
	» 0,16 » 0,20	0,28
	» 0,20 » 0,24	0,32
Св. 0,12 до 0,16	До 0,03	0,16
	Св. 0,03 » 0,06	0,18
	» 0,06 » 0,10	0,20
	» 0,10 » 0,12	0,22
	» 0,12 » 0,16	0,28
	» 0,16 » 0,20	0,32
	» 0,20 » 0,24	0,36
	» 0,24 » 0,32	0,44
Св. 0,16 до 0,20	До 0,03	0,20
	Св. 0,03 » 0,08	0,22
	» 0,08 » 0,12	0,24
	» 0,12 » 0,16	0,28
	» 0,16 » 0,20	0,32
	» 0,20 » 0,24	0,36
	» 0,24 » 0,32	0,44
	» 0,32 » 0,40	0,56
Св. 0,20 до 0,24	До 0,06	0,24
	Св. 0,06 » 0,12	0,28
	» 0,12 » 0,16	0,32
	» 0,16 » 0,20	0,36
	» 0,20 » 0,24	0,40
	» 0,24 » 0,32	0,50
	» 0,32 » 0,40	0,56
	» 0,40 » 0,48	0,64
Св. 0,24 до 0,32	До 0,06	0,32
	Св. 0,06 » 0,12	0,36
	» 0,12 » 0,20	0,40
	» 0,20 » 0,24	0,44
	» 0,24 » 0,32	0,50
	» 0,32 » 0,40	0,56
	» 0,40 » 0,50	0,70
	» 0,50 » 0,64	0,90

Продолжение табл. 16

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
Св. 0,32 до 0,40	До 0,08	0,40
	Св. 0,08 » 0,16	0,44
	» 0,16 » 0,24	0,50
	» 0,24 » 0,32	0,56
	» 0,32 » 0,40	0,64
	» 0,40 » 0,50	0,70
	» 0,50 » 0,64	0,90
	» 0,64 » 0,80	1,10
Св. 0,40 до 0,50	До 0,12	0,50
	Св. 0,12 » 0,24	0,56
	» 0,24 » 0,32	0,64
	» 0,32 » 0,40	0,70
	» 0,40 » 0,50	0,80
	» 0,50 » 0,64	0,90
	» 0,64 » 0,80	1,10
	» 0,80 » 1,00	1,40
Св. 0,50 до 0,64	До 0,12	0,64
	Св. 0,12 » 0,24	0,70
	» 0,24 » 0,40	0,80
	» 0,40 » 0,50	0,90
	» 0,50 » 0,64	1,00
	» 0,64 » 0,80	1,20
	» 0,80 » 1,00	1,40
	» 1,00 » 1,20	1,60
Св. 0,64 до 0,80	До 0,20	0,80
	Св. 0,20 » 0,40	0,90
	» 0,40 » 0,50	1,00
	» 0,50 » 0,64	1,10
	» 0,64 » 0,80	1,20
	» 0,80 » 1,00	1,40
	» 1,00 » 1,20	1,80
	» 1,20 » 1,60	2,20
Св. 0,80 до 1,00	До 0,24	1,00
	Св. 0,24 » 0,40	1,10
	» 0,40 » 0,64	1,20
	» 0,64 » 0,80	1,40
	» 0,80 » 1,00	1,60
	» 1,00 » 1,20	1,80
	» 1,20 » 1,60	2,20
	» 1,60 » 2,00	2,80

Продолжение табл. 16

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
Св. 1,00 до 1,20	До 0,32	1,20
	Св. 0,32 » 0,64	1,40
	» 0,64 » 0,80	1,60
	» 0,80 » 1,00	1,80
	» 1,00 » 1,20	2,00
	» 1,20 » 1,60	2,40
	» 1,60 » 2,00	2,80
	» 2,00 » 2,40	3,20
Св. 1,20 до 1,60	До 0,40	1,60
	Св. 0,40 » 0,80	1,80
	» 0,80 » 1,00	2,00
	» 1,00 » 1,20	2,20
	» 1,20 » 1,60	2,40
	» 1,60 » 2,00	2,80
	» 2,00 » 2,40	3,60
	» 2,40 » 3,20	4,40
Св. 1,60 до 2,00	До 0,40	2,00
	Св. 0,40 » 0,80	2,20
	» 0,80 » 1,20	2,40
	» 1,20 » 1,60	2,80
	» 1,60 » 2,00	3,20
	» 2,00 » 2,40	3,60
	» 2,40 » 3,20	4,40
	» 3,20 » 4,00	5,60
Св. 2,00 до 2,40	До 0,64	2,40
	Св. 0,64 » 1,20	2,80
	» 1,20 » 1,60	3,20
	» 1,60 » 2,00	3,60
	» 2,00 » 2,40	4,00
	» 2,40 » 3,20	4,40
	» 3,20 » 4,00	5,60
	» 4,00 » 4,80	6,40
Св. 2,40 до 3,20	До 0,80	3,20
	Св. 0,80 » 1,60	3,60
	» 1,60 » 2,00	4,00
	» 2,00 » 2,40	4,40
	» 2,40 » 3,20	5,00
	» 3,20 » 4,00	5,60
	» 4,00 » 5,00	7,00
	» 5,00 » 6,40	9,00

Продолжение табл. 16

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
Св. 3,20 до 4,00	До 1,00	4,00
	Св. 1,00 » 1,60	4,40
	» 1,60 » 2,40	5,00
	» 2,40 » 3,20	5,60
	» 3,20 » 4,00	6,40
	» 4,00 » 5,00	7,00
	» 5,00 » 6,40	9,00
	» 6,40 » 8,00	11,00
Св. 4,00 до 5,00	До 1,20	5,00
	Св. 1,20 » 2,40	5,60
	» 2,40 » 3,20	6,40
	» 3,20 » 4,00	7,00
	» 4,00 » 5,00	8,00
	» 5,00 » 6,40	9,00
	» 6,40 » 8,00	11,00
	» 8,00 » 10,00	14,00
Св. 5,00 до 6,40	До 1,20	6,40
	Св. 1,20 » 2,40	7,00
	» 2,40 » 4,00	8,00
	» 4,00 » 5,00	9,00
	» 5,00 » 6,40	10,00
	» 6,40 » 8,00	12,00
	» 8,00 » 10,00	14,00
	» 10,00 » 12,00	16,00
» 12,00 » 12,80	18,00	
Св. 6,40 до 8,00	До 2,00	8,00
	Св. 2,00 » 4,00	9,00
	» 4,00 » 5,00	10,00
	» 5,00 » 6,40	11,00
	» 6,40 » 8,00	12,00
	» 8,00 » 10,00	14,00
	» 10,00 » 12,00	18,00
	» 12,00 » 16,00	22,00
Св. 8,00 до 10,00	До 2,40	10,00
	Св. 2,40 » 4,00	11,00
	» 4,00 » 6,40	12,00
	» 6,40 » 8,00	14,00
	» 8,00 » 10,00	16,00
	» 10,00 » 12,00	18,00
	» 12,00 » 16,00	22,00
	» 16,00 » 20,00	28,00

Продолжение табл. 16

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
Св. 10,00 до 12,00	До 3,20	12,00
	Св. 3,20 » 6,40	14,00
	» 6,40 » 8,00	16,00
	» 8,00 » 10,00	18,00
	» 10,00 » 12,00	20,00
	» 12,00 » 16,00	24,00
	» 16,00 » 20,00	28,00
	» 20,00 » 24,00	32,00
Св. 12,00 до 16,00	До 4,00	16,00
	Св. 4,00 » 8,00	18,00
	» 8,00 » 10,00	20,00
	» 10,00 » 12,00	22,00
	» 12,00 » 16,00	24,00
	» 16,00 » 20,00	28,00
	» 20,00 » 24,00	36,00
	» 24,00 » 32,00	44,00
Св. 16,00 до 20,00	До 5,00	20,00
	Св. 5,00 » 8,00	22,00
	» 8,00 » 12,00	24,00
	» 12,00 » 16,00	28,00
	» 16,00 » 20,00	32,00
	» 20,00 » 24,00	36,00
	» 24,00 » 32,00	44,00
	» 32,00 » 40,00	56,00
Св. 20,00 до 24,00	До 6,40	24,00
	Св. 6,40 » 12,00	28,00
	» 12,00 » 16,00	32,00
	» 16,00 » 20,00	36,00
	» 20,00 » 24,00	40,00
	» 24,00 » 32,00	44,00
	» 32,00 » 40,00	56,00
	» 40,00 » 48,00	64,00
Св. 24,00 до 32,00	До 8,00	32,00
	Св. 8,00 » 16,00	36,00
	» 16,00 » 20,00	40,00
	» 20,00 » 24,00	44,00
	» 24,00 » 32,00	50,00
	» 32,00 » 40,00	56,00
	» 40,00 » 50,00	70,00
	» 50,00 » 64,00	90,00

Продолжение табл. 16

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности	Общий допуск элемента отливки, не более
Св. 32,00 до 40,00	До 10,00	40,00
	Св. 10,00 » 16,00	44,00
	» 16,00 » 24,00	50,00
	» 24,00 » 32,00	56,00
	» 32,00 » 40,00	64,00
	» 40,00 » 50,00	70,00
	» 50,00 » 64,00	90,00
	» 64,00 » 80,00	110,00
Св. 40,00 до 50,00	До 12,00	50,00
	Св. 12,00 » 24,00	56,00
	» 24,00 » 32,00	64,00
	» 32,00 » 40,00	70,00
	» 40,00 » 50,00	80,00
	» 50,00 » 64,00	90,00
	» 64,00 » 80,00	110,00
	» 80,00 » 100,00	140,00
Св. 50,00 до 64,00	До 12,00	64,00
	Св. 12,00 » 24,00	70,00
	» 24,00 » 40,00	80,00
	» 40,00 » 50,00	90,00
	» 50,00 » 64,00	100,00
	» 64,00 » 80,00	120,00
	» 80,00 » 100,00	140,00
	» 100,00 » 120,00	160,00
» 120,00 » 128,00	180,00	
Св. 64,00 до 80,00	До 20,00	80,00
	Св. 20,00 » 40,00	90,00
	» 40,00 » 50,00	100,00
	» 50,00 » 64,00	110,00
	» 64,00 » 80,00	120,00
	» 80,00 » 100,00	140,00
	» 100,00 » 120,00	180,00
	» 120,00 » 160,00	220,00

17. Допуски неровностей поверхностей отливок

Допуск неровностей поверхностей отливки, мм, не более, для степеней точности поверхностей отливки										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50
Допуск неровностей поверхностей отливки, мм, не более, для степеней точности поверхностей отливки										
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0,64	0,80	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4

18. Допуск массы отливок, %, не более

Номинальная масса отливки, кг	Класс точности массы отливок										
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8
До 0,1	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0
Св. 0,1 » 0,4	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0
» 0,4 » 1,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0
» 1,0 » 4,0	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0
» 4,0 » 10,0	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4
» 10,0 » 40,0	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0
» 40,0 » 100,0	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0
» 100,0 » 400,0	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2
» 400,0 » 1000,0	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4
» 1000,0 » 4000,0	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6	2,0
» 4000,0 » 10000,0	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2	1,6
» 10000,0 » 40000,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	1,2
» 40000,0 » 100000,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0

Номинальная масса отливки, кг	Класс точности массы отливок										
	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16
До 0,1	20,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 0,1 » 0,4	16,0	20,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—	—	—
» 0,4 » 1,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—	—
» 1,0 » 4,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—	—	—	—	—
» 4,0 » 10,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—	—	—	—
» 10,0 » 40,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—	—	—
» 40,0 » 100,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—	—
» 100,0 » 400,0	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0	—
» 400,0 » 1000,0	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0	32,0
» 1000,0 » 4000,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	24,0
» 4000,0 » 10000,0	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
» 10000,0 » 40000,0	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0	16,0
» 40000,0 » 100000,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0	12,0
» 100000,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10,0

Примечание. Допуски массы отливок приведены в процентах от номинальной массы отливок.

Соответствие отливки заданной степени коробления определяют по элементу отливки с наибольшей степенью коробления.

Соответствие отливки заданному классу точности массы определяют по величине действительной массы отливки.

Допускается в отдельных случаях по согласованию изготовителя и потребителя использование отливок с точностными характеристиками, отклоняющимися от указанных на чертеже. В этом случае подлежит определению и указанию в технической документации действительная точность отливки.

Обозначение точности отливок. В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть указаны нормы точности отливки. Их приводят в следующем порядке: класс размерной точности, степень коробления, степень точности поверхностей, класс точности массы и допуск смещения отливки.

Примеры условного обозначения точности отливки 8-го класса размерной точности, 5-й степени коробления, 4-й степени точности поверхностей, 7-го класса точности массы с допуском смещения 0,8 мм:

Точность отливки 8-5-4-7 См 0,8 ГОСТ 26645

Ненормируемые показатели точности отливок заменяют нулями, а обозначение смещения опускают:

Точность отливки 8-0-0-7 ГОСТ 26645

В технических требованиях чертежей литой детали допускается указывать сокращенную номенклатуру норм точности отливки, при этом указание классов размерной точности массы отливки является обязательным:

Точность отливки 8-0-0-7 ГОСТ 26645

В технических требованиях чертежа отливки или детали с нанесенными размерами отливки должны быть указаны в нижеприведенном порядке значения номинальных масс детали, припусков на обработку, технологических напусков и массы отливки.

Примеры обозначения номинальных масс, равных для детали 20,35 кг, для припусков на обработку 3,15 кг, для технологических напусков 1,35 кг, для отливки 24,85 кг:

Масса 20,35-3,15-1,35-24,85 ГОСТ 26645

Для необрабатываемых отливок или при отсутствии технологических напусков соответствующие величины обозначают "0":

Масса 20,35-0-1,35-21,70 ГОСТ 26645

или

Масса 20,35-0-0-20,35 ГОСТ 26645

В технических требованиях чертежа литой детали указывают только массу детали.

Несимметричное расположение поля допуска отливки обозначают путем простановки предельных отклонений непосредственно у размера, при симметричном расположении поля допуска предельные отклонения у размера допускаются не указывать.

При требованиях к точности отдельных размеров отливки, отличающихся от обозначенных общей надписью, указывают их предельные отклонения.

При требованиях к точности формы и расположения отдельных поверхностей отливки, отличающихся от обозначенных общей надписью, допуски формы и расположения этих поверхностей указывают в соответствии с ГОСТ 2.308.

КОВАНЫЕ И ШТАМПОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ

Обработкой давлением получают заготовки с помощьюковки, штамповки и специальных процессов.

Перед ковкой и штамповкой исходный металл (слитки, прутки и др.) готовят к обработке — производят зачистку металла, разрезают на части, выбирают температурный режим и тип нагревательного устройства.

Зачистка металла от поверхностных дефектов предупреждает появление брака в деталях. Применяют различные способы зачистки: огневую с нагревом и без нагрева, пневматическим молотком, на фрезерном станке, абразивными кругами. Зачистка абразивными кругами в 2 — 3 раза дороже зачистки пневматическим молотком, а стоимость огневой зачистки без предварительного нагрева на 30 — 40 % ниже стоимости зачистки пневматическим молотком и примерно одинакова со стоимостью зачистки пневматическим молотком с предварительным нагревом.

Разрезка металла на части выполняется на пилах и ножницах, газопламенным, электроискровым и анодно-механическим методами. В табл. 19 приведены допуски на длину заготовок при разрезке.

Ориентировочные данные для выбора оборудования приведены в табл. 20.

19. Допуски на длину заготовок

Диаметр или сторона квадрата	Размеры, мм			
	Допуски (\pm) при длине заготовки			
	До 300	300-600	600-1000	Св. 1000
<i>При разрезке на пресс-ножницах</i>				
До 25	До 0,8	0,8-1	1-1,5	1,5-2
25 - 40	0,8-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5
40 - 70	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3
70 - 100	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-3,5
100 - 150	2-2,5	2,5-3	3-3,5	3,5-4
150 - 200	2,5-3	3-3,5	3,5-4	4-4,5

При разрезке в штампах на прессах

До 10	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9
10 - 20	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
20 - 30	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1	1-1,2
30 - 40	0,8-0,9	0,9-1	1-1,1	1,2-1,5

При разрезке на дисковых, ленточных и ножовочных механических пилах

До 50	0,8	0,8-1	1-1,3	1,3-1,5
50 - 70	0,8-1	1-1,3	1,4-1,5	1,5-1,8
70 - 100	1-1,3	1,3-1,5	1,5-1,8	1,8-2
100 - 130	1,2-1,4	1,4-1,6	1,6-1,8	1,9-2,1
130 - 160	1,3-1,5	1,5-1,8	1,8-2,0	2-2,5

20. Данные для выбора ковочно-штамповочного оборудования

Оборудование общего назначения	
Оборудование	Масса или энергия падающих частей, усилие
Молоты:	
ковочные:	
паровоздушные двойного действия	1 - 8 т
пневматические	0,05 - 1 т
штамповочные:	
паровоздушные	0,63 - 25 т
с двусторонним ударом	10 - 450 кДж
Прессы:	
ковочные гидравлические	5 - 50 МН
горячештамповочные кривошипные	6,3 - 80 МН

Продолжение табл. 20

Оборудование	Масса или энергия падающих частей, усилие
однокривошипные закрытые	1 - 25 МН
Машины:	
горизонтально-ковочные с вертикальным разъемом матриц	1 - 31,5 МН
вертикально-ковочные	0,2 - 2 МН

Данные для выбора массы падающих частей ковочных молотов

Масса падающих частей	Масса фасонной поковки, мм		Масса гладкого вала, кг	Диаметр заготовки (сторона квадрата), мм	Производительность, кг/ч
	средняя	наибольшая			

Ковочные паровоздушные молоты

1 т	20	70	250	160	150 - 250
1,5 »	40	120	350	190	200 - 300
2 »	60	180	500	225	220 - 350
3 »	100	320	750	275	300 - 450
4 »	140	500	1100	310	400 - 550
5 »	200	700	1500	350	500 - 600

Пневматические молоты

75 кг	0,3	1,2	7,5	45	10 - 15
150 »	1,5	4	15	60	20 - 30
250 »	2,6	18	35	75	30 - 50
400 »	6	35	60	100	50 - 70
750 »	12	40	140	135	100 - 170
1000 »	20	70	250	160	150 - 225

Ориентировочные данные для выбора ковочных гидрпрессов

Уси- лие, МН	Масса слитка, т		Производи- тельность, кг/ч
	средняя	наибольшая	
5	0,65	2	550 - 800
8	2	5,5	700 - 1000
12,5	5,5	12	1000 - 1500
20	14	28	1300 - 2000
32	33	58	2000 - 2750
50	62	98	2700 - 3400

Ковка

Ковкой получают поковки простой формы массой до 250 т с большими напусками. Применяя специальный инструмент, уменьшают напуски. Припуски и допуски на поковки, изготавливаемые на молотах, от 5_{-2}^{+1} мм до (34 ± 10) мм, а на поковки, изготавливаемые на прессах, от (10 ± 3) мм до (80 ± 30) мм; для необрабатываемых участков предельные отклонения снижают на 25 - 50 %.

С применением подкладных штампов (закрытых и открытых) получают поковки массой до 150 кг (главным образом мелкие до 5 кг) с относительно сложной формой, без напусков; припуски - от 3 мм и выше, допуски $_{-1}^{+1,5}$ мм и более.

Горячей ковкой изготавливают поковки: цилиндрические сплошные гладкие и с уступами (штоков, осей, валов, колонн, цапф, роторов и т.п. рис. 8, а), прямоугольного сечения гладкие и с уступами (плат, пластин, штамповых кубков, вкладышей, шпинделей, дышел, баб и т.п. рис. 8, б), со смешанными сечениями сплошные с уступами и с расположением отдельных частей в одной, двух, трех и более плоскостях (коленчатых валов и т.п., рис. 8, в); цилиндрические полые гладкие и с малыми уступами (дисков, фланцев, колес, покрышек, муфт и т.п., рис. 8, г); цилиндрические полые гладкие с малым отношением длины к размеру сечения (бандажей, колец и т.п., рис. 8, д), цилиндрические полые гладкие и с большими уступами при большом отношении длины к размеру сечения (барabanов, полых валов, цилиндров и т.п., рис. 8, е); с криволинейной осью (крюков, бугелей, скоб, днищ, вилкообразные и т.п., рис. 8, ж).

Технологичность конструкции поковки. Для уменьшения отхода металла и снижения трудоемкости как в процессековки, так и в процессе последующей обработки, желательно поковкам (и изготавливаемым из них деталям) придать наиболее простую форму, ограниченную плоскими или цилиндрическими поверхностями (рис. 9). Нежелательны конические и клиновидные формы поволоков, пересечение цилиндрических поверхностей и призматических поверхностей с цилиндрическими. Односторонние выступы предпочтительнее двусторонних (рис. 9, а). Нельзя выполнять ковкой ребра жесткости (рис. 9, б), пластики и выступы (рис. 9, в).

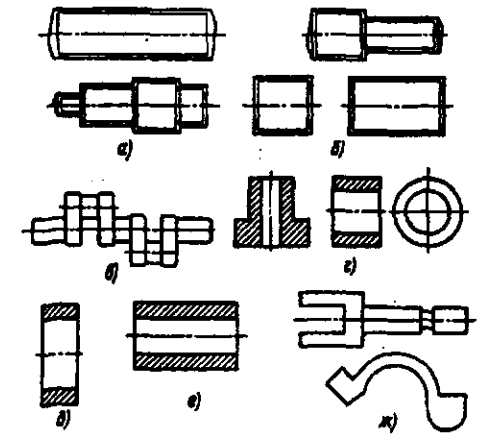


Рис. 8. Основные типы поволоков

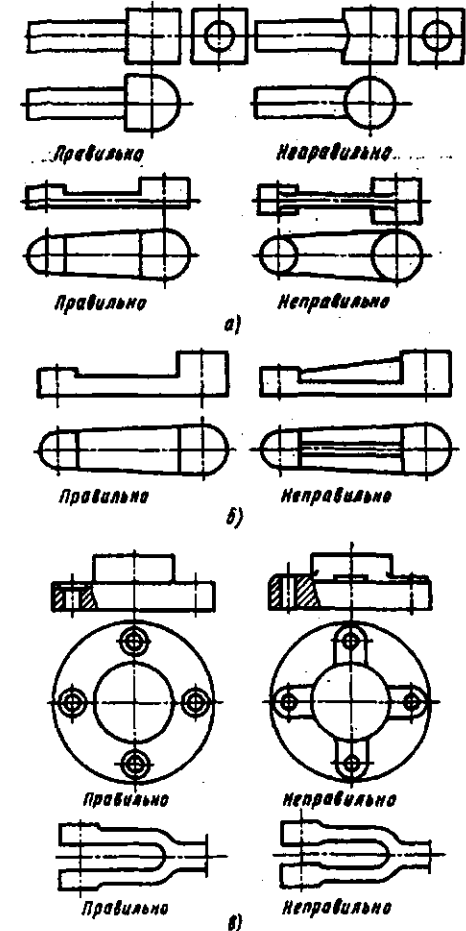


Рис. 9. Конструкции поволоков

Детали со значительной разницей поперечных сечений (рис. 10) целесообразно заменять сочетанием нескольких скрепленных или сваренных (рис. 10, а, б), а детали сложной формы выполнять сварными из нескольких поковок или сварными из поковок 1 и отливок 2 (рис. 10, в).

Из-за невозможности выполнения ковкой отдельных элементов детали в участках этих элементов назначают напуск (рис. 11), который удаляют при последующей обработке.

Припуски и допуски на поковки из углеродистой и легированной сталей при ковке на молотах устанавливают по ГОСТ 7829-70. Припуски и допуски на поковки из тех же сталей при ковке на прессах устанавливают по ГОСТ 7062-90. Припуски и допуски для поковок из высоколегированных сталей и сталей с особыми физическими свойствами устанавливают по стандартам предприятия. Чертеж поковки составляют на основе чертежа готовой детали. Пример оформления разработанного чертежа поковки представлен на рис. 12. Заготовки дляковки выбирают в зависимости от массы поковок: сортовой прокат – при массе до 40 кг; крупный прокат и обжатые болванки – при массе 40 – 300 кг; слитки – при массе более 300 кг.

Основные операцииковки. Осадку (рис. 13) применяют для получения поковок с большим поперечным сечением из заготовок меньшего поперечного сечения, для выравнивания торцов, для повышения механических характеристик в тангенциальном и радиальном направлениях. Осадкой на плоских плитах получают плоские поковки, на плитах с отверстием – поковки деталей типа зубчатых колес, фланцев и дисков с бобышками.

Протяжку (рис. 14) применяют: для увеличения длины исходной заготовки за счет уменьшения поперечного сечения; для увеличения длины пустотелой заготовки в направлении оси путем уменьшения толщины ее стенки; для одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметра заготовки – раскатка на оправке. Протяжку применяют для получения поковок типа гладких и ступенчатых валов, коленчатых валов, фасонных поковок типа шатунов и др.

Прошивка (рис. 15) позволяет получить в заготовке отверстие или углубление. Предельные размеры отверстий для поковок, изготавливаемых на прессах, регламентированы ГОСТ 7062-90, для поковок, изготавливаемых на молотах,

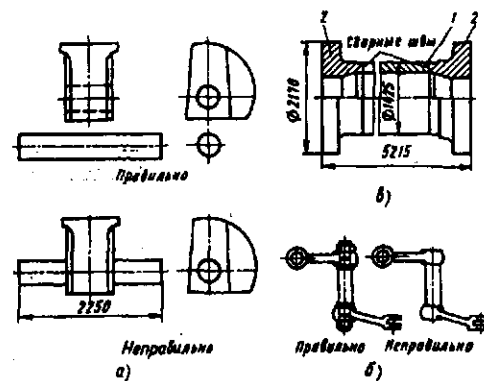


Рис. 10. Примеры замены поковок сложной формы сварными или составными из частей



Рис. 11. Напуск на поковке

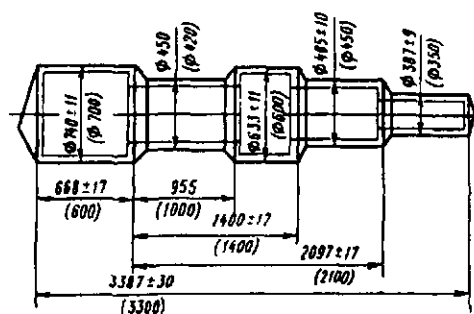


Рис. 12. Примеры оформления разработанного чертежа поковки; цифры без скобок обозначают номинальный размер, цифры в скобках – размер детали

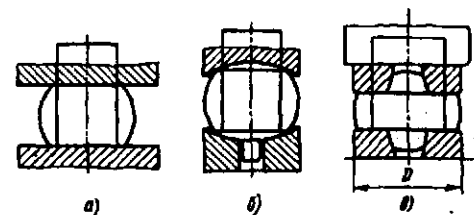


Рис. 13. Схемы осадки: а – плоскими плитами; б – с хвостовиком; в – на плитах с отверстиями

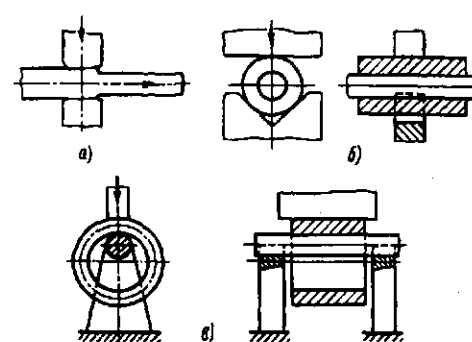


Рис. 14. Схемы протяжки: а – на плоских бойках; б – с оправкой; в – на оправке

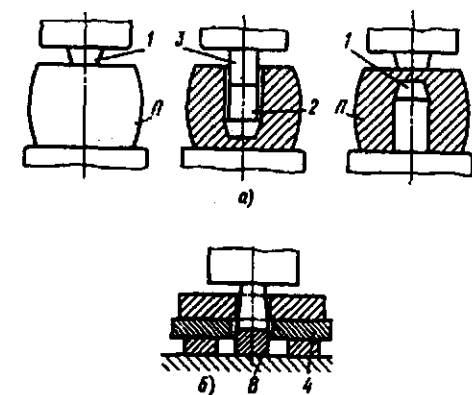


Рис. 15. Схемы прошивки: а – без подкладного кольца; б – с подкладным кольцом; 1 – первый прошивень; 2 – первая надставка; 3 – вторая надставка; 4 – подкладное кольцо; П – прибыльная часть слитка; В – выдра

ГОСТ 7829-70. Для поковок из углеродистой стали при ковке поковок типа дисков на молотах ($H \leq 0,5D$), гладких втулок ($0,5D < H \leq 1,5D$), брусков и пластин ($H \leq D$) диаметр отверстия $d \leq 0,5H$; у раскатанных колец ($H \leq D$), цилиндров ($D < H \leq 1,5D$), полых валов ($L > 1,5D$) диаметр отверстия $d < D$; при ковке поковок типа муфты, диска, бруска и пластины на прессах $d_{\max} = 0,37(D - 200) + 80$; $d_{\min} = 0,208(D - 200) + 75$. Здесь размеры поковок: D – наружный диаметр, H – высота, B – ширина, L – длина.

Скручивание проводится при повороте одного торца заготовки относительно другого, например при изготовлении крупных спиральных сверл, коленчатых валов, бурильных инструментов.

Отрубка – операция полного отделения части заготовки.

Гибка – операция, применяемая как самостоятельная или в сочетании с другими операциями для получения деталей типа угольников, кронштейнов, крюков, хомутов. Кроме того, применяют кузнечную и газопрессовую сварку.

Для устранения искажения формы поковок путем пластического деформирования применяют правку. Допустимые отклонения по изогнутости коротких необрабатываемых поковок представлены в табл. 21.

Горячая штамповка

Горячая штамповка выполняется на молотах и прессах в открытых и закрытых штампах, выдавливанием, гибкой, с применением различных процессов. С целью повышения точности размеров и улучшения качества поверхности штамповок применяют полугорячую штамповку, при которой ограничено окисление.

Краткая характеристика основных способов горячей штамповки приведена в табл. 22. Горячая штамповка выполняется по двум схемам: в открытых и закрытых штампах (рис. 16).

21. Допустимые отклонения по изогнутости, плоскостности, прямолинейности и радиальное биение цилиндрических поверхностей, мм

Наибольший размер поковки	Класс точности	
	I	II
До 60	0,25	0,40
Св. 60 до 100	0,40	0,60
» 100 » 160	0,50	0,80
» 160 » 250	0,60	1,00
» 250 » 360	0,80	1,20
» 360 » 500	1,00	1,50
» 500 » 630	1,50	2,00
» 630 » 800	1,80	2,50
» 800 » 1000	2,00	3,00

Примечания: 1. При длине поковок (коленчатых, распределительных и торсионных валов, полуосей и им подобных) св. 1000 мм допустимое радиальное биение устанавливают из расчета 3 мм на 1 м длины стержня; поковки подвергают правке.

2. Поковки длиной св. 1000 мм подвергают правке перед механической обработкой.

22. Способы горячей штамповки (ориентировочная характеристика)

Способ получения заготовок	Характеристика получаемых заготовок	Припуски и допуски	Преимущественно используемое оборудование
Штамповка в открытых штампах	Масса до 3 т (в основном 50 – 100 кг); сложной формы. Углубления или отверстия в боковых стенках поковок невозможны	Припуски и допуски по ГОСТ 7505-89. Припуски на сторону для поковок, изготавливаемых на молотах, массой до 40 кг с размерами до 800 мм – от 0,6 – 1,2 до 3,0 – 6,4 мм. Поле допусков соответственно от 0,7 – 3,4 до 1,6 – 11 мм. Для штампованных заготовок, изготавливаемых на кривошипных прессах, припуски на 0,1 – 0,6 мм меньше. При холодной калибровке (чеканке) допуски от $\pm (0,1 \dots 0,25)$ мм (калибровка обычной точности) до $\pm (0,05 \dots 0,15)$ мм (калибровка повышенной точности)	Кривошипные горячештамповочные прессы усилием 6,3 – 100 МН; штамповочные молоты с массой падающих частей: паровоздушные двойного действия 0,5 – 35 т, гидравлические до 2,5 т; с двусторонним ударом паровоздушные и гидравлические – до 60 т; простого действия, паровоздушные, цепные – соответственно до 10, 5 и 8 т; винтовые фрикционные прессы усилием 0,4 – 60 МН; гидравлические штамповочные прессы усилием до 700 МН
Штамповка в закрытых штампах	Масса до 50 – 100 кг; простой формы, преимущественно в виде тел вращения. Применяются для сокращения расхода металла (отсутствует заусенец) и для сталей и сплавов с пониженной пластичностью	Припуски и допуски для наружных диаметров 5 – 150 мм от $0,4^{+0,3}_{-0,1}$ до $1,6^{+0,7}_{-0,3}$ мм, для диаметров полостей 10 – 100 мм – от $1,6^{+0,3}_{-0,1}$ до $5,0^{+0,5}_{-1,5}$ мм	Кривошипные горячештамповочные (модифицированные), винтовые фрикционные и гидравлические прессы
Выдавливание и прошивка	Масса до 75 кг; круглые, конические или ступенчатые, фасонного сечения; стержень с массивной головкой различной формы; типа втулок (стаканов) с глубокой глухой или сквозной полостью и односторонним фланцем	Аналогичные штамповке в открытых штампах, но допуски несколько больше в направлении разреза частей матриц	То же, и специальные машины
Штамповка: в штампах с разъемными матрицами	Масса до 150 кг; сложной формы, например, с отверстиями в боковых стенках, не выполнимыми без напусков другими способами		

Продолжение табл. 22

Способ получения заготовок	Характеристика получаемых заготовок	Припуски и допуски	Преимущественно используемое оборудование
на горизонтально-ковочных машинах	Масса до 30 кг; в виде стержней с головками или утолщениями различной формы, полые, со сквозными или глухими отверстиями, фланцами и выступами. Предпочтительна форма тела вращения	Максимальные припуски и допуски по ГОСТ 7505. Припуск на 40 – 50 % больше, чем при штамповке на молотах	Горизонтально-ковочные машины усилием 1 – 4 МН
Гибка	Изогнутые в одной или нескольких плоскостях, получаемые из проката различного профиля (стандартного и специального)	В зависимости от исходной заготовки. В результате гибки возникают искажения на участках с малым радиусом	Горизонтально-гибочные машины (бульдозеры) с усилием 0,15 – 5 МН, кривошипные прессы
Вальцовка	Переменного сечения массой до 5 кг, длиной до 50 – 60 мм, типа слесарного инструмента, шатунов, кулачков, звеньев гусениц	Допуск по длине заготовки 1 – 5 мм, по высоте и ширине 0,5 – 0,8 мм	Ковочные вальцы с диаметром валков 600 – 1000 мм
Специальные процессы: радиальное обжатие	Сплошные и полые прямые поковки удлиненной ступенчатой формы в виде тел вращения с цилиндрическими или коническими участками, ступенчатые или с заострениями, квадратного или прямоугольного сечения	Припуск, в случае необходимости под шлифование. Допуск при обжатии соответствует 11 – 13-му качеству. Шероховатость поверхности при обжатии $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм	Ротационно-обжимные машины для обжатия прутков диаметром 4 – 110 мм, труб диаметром 10 – 200 мм; радиально-обжимные для обжатия прутков диаметром 10 – 200 мм, труб диаметром 10 – 320 мм
высадка на электровысадочных машинах (с одновременным контактным электронагревом)	В виде стержней с массивными утолщениями на конце или в определенной части заготовки (клапаны, валики, с фланцами и т.п.)	Несколько больше, чем при штамповке на горизонтально-ковочной машине	Электровысадочные машины однопозиционные и многопозиционные, горизонтальные и вертикальные для высадки заготовок диаметром до 50 – 60 мм

Продолжение табл. 22

Способ получения заготовок	Характеристика получаемых заготовок	Припуски и допуски	Преимущественно используемое оборудование
высадка на вертикально-ковочных машинах	Небольшие, изготавливаемые вытяжкой: типа костылей, бородков, зубил, шинных гвоздей, веретен и т.п.	Примерно те же, что и при штамповке	Вертикально-ковочные машины двух-, трех- (преимущественно) и четырехбойковые
раскатка	Типа колец диаметром 70 – 700 мм при высоте 20 – 200 мм из заготовок, штампованных на горизонтально-ковочных машинах или кованых на молоте	Допуск для поковок колец шарикоподшипников диаметром 80 – 700 мм: по наружному диаметру и высоте 1 – 6 мм, по внутреннему диаметру 1,5 – 10 мм	Раскаточные машины для колец диаметром до 700 мм
накатка зубьев	Получение зубьев с модулем до 10 мм цилиндрических, конических и шевронных зубчатых колес диаметром до 600 мм	При горячей накатке (для $m > 2,5$ мм) точность по 8 – 11-му качеству; шероховатость поверхности $Ra = 5 \dots 1,25$ мкм; при холодной накатке $Ra = 1,25 \dots 0,32$ мкм	Вертикальные и горизонтальные зубо-накатные станы
поперечная прокатка	Удлиненной формы типа ступенчатых валков, а также втулок	Несколько меньше, чем при штамповке в открытых штампах	Трехвалковые станы с коническими или дисковыми балками; двухвалковые станы с винтовыми калибрами
Комбинированные процессы	Требующие применения нескольких способов для получения отдельных участков	В зависимости от комбинации примененных способов	Комплекс из нескольких машин: например, молот (пресс) и горизонтально-ковочная или горизонтально-гибочная машина и т.п.
Штамповка на высокоскоростном оборудовании	Сложной формы (оребранные); получают за один удар; экономия металла, нет уклонов, тонкие ребра – 0,5 – 0,8 мм	Допуск $\pm (0,125 \dots 0,8)$ мм, шероховатость до $Ra 10$	Высокоскоростные молоты

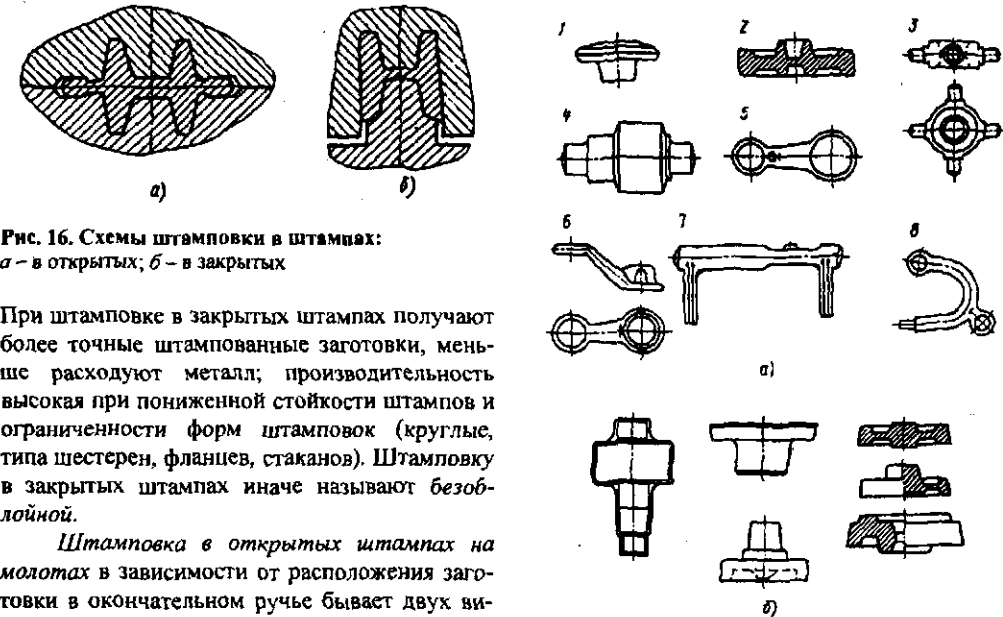


Рис. 16. Схемы штамповки в штампах: а – в открытых; б – в закрытых

При штамповке в закрытых штампах получают более точные штампованные заготовки, меньше расходуют металл; производительность высокая при пониженной стойкости штампов и ограниченности форм штампов (круглые, типа шестерен, фланцев, стаканов). Штамповку в закрытых штампах иначе называют *безоблойной*.

Штамповка в открытых штампах на молотах в зависимости от расположения заготовки в окончательном ручье бывает двух видов: в торец и плашмя (рис. 17).

Штамповку на молотах выполняют из канатной заготовки за один переход для заготовок простой формы и за несколько переходов – для заготовок сложной формы. В штампах различают: штамповочные (окончательный и предварительный), заготовительные и отрубные ручьи. Окончательный ручей выполняют с учетом усадки металла при охлаждении (усадка стали $\approx 1,5\%$). По периметру окончательного ручья конструируют заусенечную канавку, создающую препятствие выходу металла из полости и обеспечивающую заполнение окончательного ручья.

Заготовительные ручьи служат для получения благоприятной формы заготовки для штамповки с малым отходом металла в заусенец. Обрезка заусенца выполняется на обрезных и кривошипных прессах. Крупные и средние заготовки с относительно толстым заусенцем обрезают после штамповки в горячем состоянии. Мелкие поковки с тонким заусенцем легко обрезают в холодном состоянии. Производительность холодной обрезки выше, чем горячей. Одновременно с обрезкой заусенца часто выполняют частичную зачистку по штамповочному уклону.

Торцовый заусенец, возникающий при штамповке в закрытых штампах, а также неровности среза при обрезке удаляют на точно-обдирочных станках.

Рис. 17. Основные типы штампованных заготовок: а – штампуемых в открытых штампах: 1 – 3 – штамповка в торец; 4 – 8 – штамповка плашмя; б – штампуемых в закрытых штампах

Для отверстий при штамповке получают в заготовке углубления – наметки, которые затем прошивают. При штамповке на молотах и прессах после прошивки наметок диаметр отверстия $d \geq H$, но не менее 30 мм.

При штамповке в закрытых штампах на молотах используют штучную заготовку, рассчитываемую по объему штампованной заготовки с учетом отхода на угар при нагреве.

Штамповка в открытых штампах на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) обеспечивает изготовление относительно точных поковок без сдвига в плоскости разреза, с малыми припусками и с повышенной по сравнению с молотами производительностью. Типовые заготовки, полученные штамповкой на прессах, приведены на рис. 18.

При штамповке шатунов, турбинных лопаток и других сложных деталей заготовку подготавливают на ковочных вальцах (вместо подкатки и протяжки на молотах), высадкой на горизонтально-ковочных машинах, или применяют периодический прокат.

Штамповку в открытых штампах на винтовых фрикционных прессах применяют для изготовления мелких фасонных заготовок

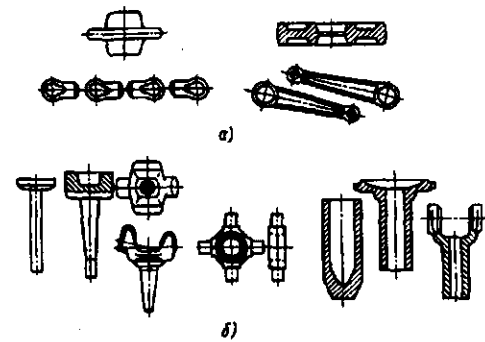


Рис. 18. Штампованные заготовки, получаемые на кривошипных горячештамповочных прессах: а – в открытых штампах; б – в закрытых штампах

и заготовок типа болтов и заклепок только в одном ручье из-за недостаточного направления ползуна. На прессах с точным направлением ползуна можно выполнять многоручьевую штамповку.

Штамповку в открытых штампах на гидравлических прессах выполняют в одном ручье, центр давления которого расположен в центре давления пресса. Этим устраняется возможность сдвига штампа. Распространена штамповка из алюминиевых и магниевых сплавов деталей больших размеров типа панелей, рам, узких и длинных поковок типа балок и лонжеронов (длиной до 8 м), стаканов, втулок (рис. 19), из стали и титана штампуют поковки типа дисков. При изготовлении сложных поковок заготовку перед штамповкой готовят путем ковки.

Штамповку на гидропрессах в закрытых штампах с неразъемной матрицей наиболее часто используют для изготовления точных, без штамповых уклонов заготовок из алюминиевых и магниевых сплавов. Штампы в этом случае нагревают. Штамповку с разъемной матрицей применяют для изготовления мелких, средних и крупных поковок из черных и цветных металлов и сплавов. Разъем матрицы – вертикальный, иногда – горизонтальный.

Штамповка в закрытых штампах на кривошипных горячештамповочных прессах (КГШП) в неразъемных матрицах достигается применением более точных заготовок, более точной дозировкой металла, применением обычной заготовки и компенсирующего устройства в штампах для размещения излишка металла (5 – 10 % объема заготовки). Точная дозировка металла для штамповки связана с

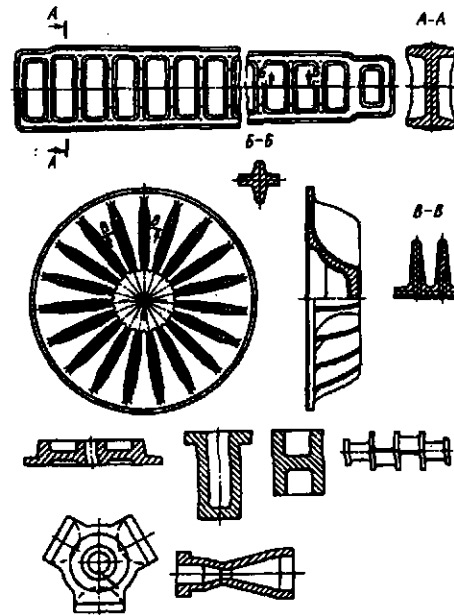


Рис. 19. Штампованные заготовки, получаемые на гидропрессах

дополнительными затратами из-за более сложного инструмента и меньшей производительности при отрезке. Штамповку в закрытых штампах с разъемной матрицей выполняют обычно с компенсаторами для выхода лишнего металла; матрицы имеют горизонтальный разъем. Такие штампы используют для изготовления поковок типа крестовин.

Штамповку на фрикционных прессах в закрытых штампах с разъемной матрицей применяют для получения мелких заготовок с симметричными отростками из стали и цветных металлов и их сплавов. Разъем матрицы обычно вертикальный.

Горячей штамповкой выдавливанием обычно на КГШП получают заготовки типа стержня с утолщением; стержни постоянного и переменного сечения, сложной формы, с центральным и эксцентричным расположением головки относительно оси; с головкой несложной осесимметричной формы (тарельчатые, шарообразные, ступенчатые, фланцевые, конусные); с головкой сложной формы и типа развилин; заготовки типа крестовин или с двусторонними утолщениями и др. (рис. 20). На рис. 21 приведены схемы выдавливания. В большинстве случаев по поперечным размерам после выдавливания заготовки имеют припуски под шлифование.

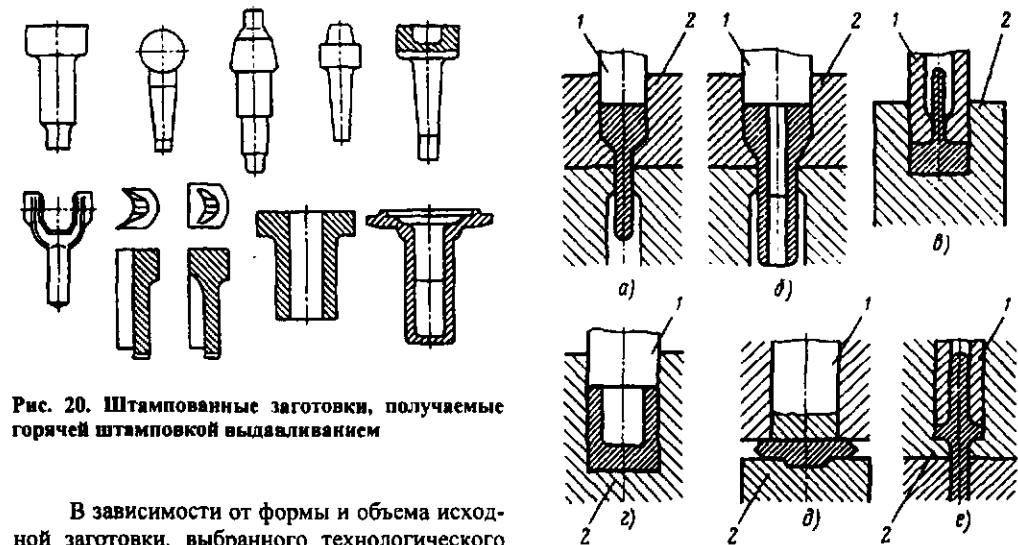


Рис. 20. Штампованные заготовки, получаемые горячей штамповкой выдавливанием

В зависимости от формы и объема исходной заготовки, выбранного технологического процесса при выдавливании получают заготовки без заусенца, с торцовым заусенцем, с поперечным заусенцем и с поперечным и торцовым заусенцами, которые затем удаляют. Припуски и допуски определяют по табл. 23.

Рис. 21. Схемы выдавливания: а, б – прямое стержневых и трубчатых деталей; в, г – обратное стержневых деталей и деталей типа стакана; д – поперечное; е – комбинированное; 1 – пуансон; 2 – матрица

23. Припуски и допуски при горячей штамповке методом выдавливания

Размеры, мм

Характеристика размера штампованной заготовки	Чистовой размер	Припуск на сторону	Допуск на размер	Примечание
<i>Стержень</i>				
Диаметр	5 – 25	0,2 – 0,3	+0,3 ¹ –0,1	Припуск зависит от диаметра и способа нагрева
	25 – 50	0,3 – 0,5	+0,5 ¹ –0,2	
Длина	20 – 100	3 – 5	+5 ² 0	Припуск зависит от точности разрезки заготовки. Предусматривается операция отрезки конца стержня
	100 – 250	5 – 8	+10 ² 0	
<i>Утолщение</i>				
Диаметр и высота утолщения, получаемого выдавливанием	25 – 50	0,3 – 0,5	+0,5 –0,2	Припуск зависит от применяемого нагрева и предварительной очистки заготовки
	50 – 100	0,5 – 0,8	+0,7 –0,8	

Продолжение табл. 23

Размеры, мм				
Характеристика размера штампованной заготовки	Чистовой размер	Припуск на сторону	Допуск на размер	Примечание
Диаметр и высота утолщения, получаемого осаживанием и раздачей	10 – 50	1 – 1,5	+1 –0,3	Припуск зависит от размера поковки и способа нагрева
	50 – 250	1,5 – 2,5	+1,5 –0,5	
<i>Полость</i>				
Диаметр	10 – 50	0,8 – 1,0	+0,3 –1	Припуски и допуски зависят от формы полости, способа нагрева и очистки заготовки
	50 – 100	1 – 2,5	+0,5 –1,5	
Глубина	10 – 50	1 – 2	+0,5 –1,3	–
	50 – 150	2 – 5	+0,5 –2	

¹ Минимальные значения в расчете на последующую обработку шлифованием.

² Минимальные значения. При значительных колебаниях объема исходной заготовки длина стержневых элементов должна быть не менее указанной в таблице.

Штамповку на горизонтально-ковочных машинах (ГКМ) выполняют в штампах с двумя плоскостями разреза: одна – перпендикулярна оси заготовки между матрицей и пуансоном, вторая – вдоль оси, разделяет матрицу на неподвижную и подвижную половины, обеспечивающие зажим штампуемой заготовки. На ГКМ штампуют поковки (рис. 22) типа стержней с утолщениями, с глухим отверстием, трубчатые, с полым утолщением и стержнем. Благодаря осевому разрезу матриц уклон в участках зажатия на поковках не требуется.

При высокоскоростной штамповке скорость деформирующего инструмента достигнет десятков метров в секунду (на обычных штамповочных молотах до 6 – 7 м/с).

Высокоскоростная штамповка позволяет изготавливать заготовки сложных форм с тонкими стенками и ребрами и малыми радиусами закругления, уменьшать припуски на последующую механическую обработку, получать заготовки с высокими механическими свойствами, максимально приближенные к форме и размерам готовой детали.

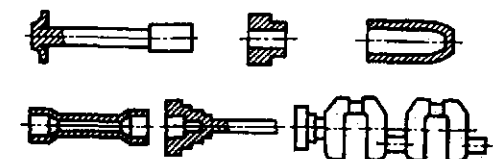


Рис. 22. Типы поковок, получаемых на ГКМ

Штамповки изготавливают из труднодеформируемых металлов и сплавов, алюминия, меди, различных сталей и высокопрочных сплавов с минимальными штамповочными уклонами и без них. Высокоскоростной штамповкой изготавливают штампованные заготовки типа стержня с головкой, с утолщением типа фланца, турбинные и компрессорные лопатки, типа стакана (гладкие и ступенчатые), типа крышек и колец, трубчатые, типа стержней с ребрами, стакана с наружными ребрами, с торцовым оребрением, типа зубчатых колес, дисков с тонким полотном заготовки с отрезками, сужающиеся в средней части (рис. 23). Стойкость штампов в 4 – 5 и более раз ниже стойкости штампов, используемых на обычных молотах.

Отделочные операции. Режим охлаждения и термической обработки штампованных заготовок и поковок влияет на термические напряжения; неодновременный переход через интервал фазовых превращений может привести к структурным напряжениям, которые суммируются с температурными и могут вызвать микро- и макротрещины.

Для снятия остаточных напряжений, предотвращения образования флокенов и размельчения зерна применяют отжиг, а для выравнивания структуры по сечению применяют гомогенизационный отжиг. Полный отжиг происходит при нагреве до температуры $A_{c3} + (30 \dots 50)^\circ C$, выдержке и последующем медленном охлаждении. Послековки и горячей штамповки применяют также неполный отжиг, изотермический отжиг, нормализацию, светлый отжиг и другие виды термической обработки.

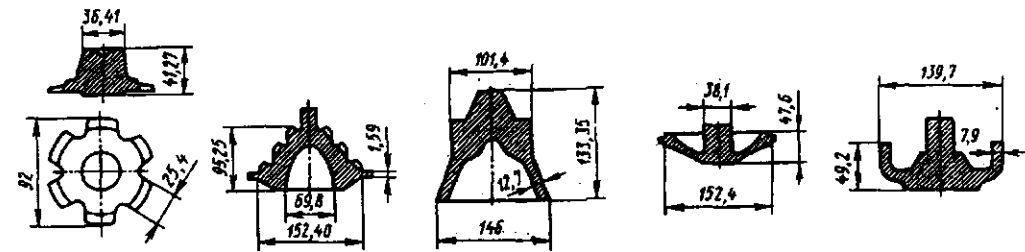


Рис. 23. Поковки, получаемые высокоскоростной объемной штамповкой

От окалины штампованные заготовки очищают травлением, галтовкой и дробеметной очисткой. Для заготовок из сталей применяют раствор соляной кислоты, для алюминиевых сплавов – раствор щелочи. После травления стальные штампованные заготовки промывают в растворе щелочи и в воде, заготовки из алюминиевых сплавов – в растворе азотной кислоты и в воде. Этот способ очистки самый качественный, но дорогой.

Галтовку применяют для очистки мелких и средних по массе поковок простой формы (короткие валики, зубчатые колеса). Дробеметную очистку используют для мелких и средних заготовок сложной формы. Качество поверхности при этом хорошее, но возможно закрытие трещин, которые затем трудно обнаружить.

Заготовки при выталкивании из штампа, обрезке заусенца, прошивке отверстий и транспортировании могут искривляться. Правку осуществляют в холодном и реже – в горячем состоянии. Горячую правку после обрезки заусенца применяют для заготовок из высоколегированной или высокоуглеродистой стали, при холодной правке которых могут возникнуть трещины. Горячую правку выполняют в окончательном ручье, а для заготовок с отверстием ее проводят в специальном штампе. Холодной правке подвергают мелкие и средние по массе заготовки сложной формы. Из-за уп-

ругих деформаций при разгрузке нельзя получить абсолютно неискривленные штампованные заготовки.

Калибровку штампованных заготовок выполняют для повышения точности размеров, улучшения качества поверхности отдельных участков или всей заготовки и снижения колебания массы поковок. Применяют плоскостную и объемную калибровку, обеспечивая точность 8 – 12-го качества и параметр шероховатости поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,32$ мкм.

Плоскостную калибровку выполняют в холодном состоянии на кривошипно-коленных прессах для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки. Объемную калибровку применяют для получения точных размеров в разных направлениях, а при выдавливании избытка металла в заусенец – для получения заготовок точной массы. Точность объемной калибровки ниже, чем плоскостной. Иногда применяют комбинированную калибровку – сначала объемную, а затем плоскостную. Объемную калибровку производят в холодном и горячем состоянии. Усилие объемной калибровки в 1,5 – 2 раза больше усилия плоскостной калибровки.

Технологичность конструкции штампованных заготовок. Поверхность разреза обычно выбирают так, чтобы она совпадала с двумя наибольшими размерами заготовки. Поверхность разреза штампа должна обеспечивать свободное удаление заготовки из штампа и контроль сдвига верхней части штампа относительно нижней после обрезки (рис. 24). Более глубокие полости при штамповке на молотах располагают в верхней части штампа.

Кузнечные напуски регламентирует ГОСТ 7505-89. Их предусматривают для радиусов закругления поковок и уклонов; для отверстий диаметром менее 30 мм, для наметок под прошивку отверстий.

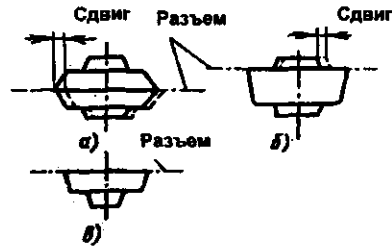


Рис. 24. Схемы для выбора плоскости разреза штампа: а – правильная; б – неправильная; в – возможная

Радиусы закруглений регламентированы ГОСТ 7505-89 в пределах 1 – 8 мм и должны быть на 0,5 – 1 мм больше припуска на механическую обработку. Внутренние радиусы должны быть в 3 – 4 раза больше наружных. Радиусы закругления поковок должны быть унифицированы. При штамповке в закрытых штампах наружные радиусы в полости штампа принимают $r \geq 0,1h$ (h – глубина прилегающей полости); внутренние радиусы в полости штампа $R = (2,5 \dots 3)r$; для получения отверстий делают плоскую наметку с раскосом, а иногда и глухую наметку.

Точность штампованных заготовок

Общие требования. Линейные размеры на чертеже поковки должны быть проставлены от указанных исходных баз механической обработки, согласованных между изготовителем и потребителем (рис. 25).

Допуски, установленные ГОСТ 7505-89, распространяются на все номинальные размеры поковки.

Допуски, припуски и кузнечные напуски устанавливаются в зависимости от конструк-

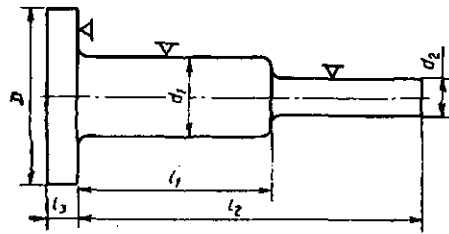


Рис. 25. Чертеж поковки

тивных характеристик поковки, приведенных в табл. 24, и определяются исходя из шероховатости обработанной поверхности детали, изготовляемой из поковки, а также в зависимости от величины размеров и массы поковки. Для 1-го класса точности Т1 допуски устанавливаются на те функциональные поверхности, которые не подвергаются окончательной обработке.

Расчетная масса поковки определяется как масса подвергаемых деформации поковки (поковок) или ее частей. В массу поковки не входят масса облоя и перемычки пробитого отверстия.

При высадке поковок на горизонтально-ковочных машинах или местной штамповке на молотах и прессах масса поковки включает массу части стержня, зажатого штампами.

Расчетная масса поковки определяется исходя из ее номинальных размеров. Ориентировочную величину расчетной массы поковки $M_{п.р}$ допускается вычислять по формуле

$$M_{п.р} = M_d K_p,$$

где M_d – масса детали, кг; K_p – расчетный коэффициент, устанавливаемый в соответствии с табл. 26.

24. Конструктивные характеристики поковок

Конструктивная характеристика поковки	Обозначение и определение конструктивных характеристик	Примечание
1. Класс точности	Т1 – 1-й класс Т2 – 2-й » Т3 – 3-й » Т4 – 4-й » Т5 – 5-й »	Определяется по табл. 25

Продолжение табл. 24

Конструктивная характеристика поковки	Обозначение и определение конструктивных характеристик	Примечание
2. Группа стали	М1 – сталь с массовой долей углерода до 0,35 % включ. и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0 % включ.; М2 – сталь с массовой долей углерода свыше 0,35 до 0,65 % включ. или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5,0 % включ.; М3 – сталь с массовой долей углерода свыше 0,65 % или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5,0 %	При назначении группы стали определяющим является среднее массовое содержание углерода и легирующих элементов (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, W, V)
3. Степень сложности	С1 – 1-я степень С2 – 2-я » С3 – 3-я » С4 – 4-я »	См. с. 256
4. Конфигурация поверхности разреза штампа	П – плоская; И _с – симметрично изогнутая; И _н – несимметрично изогнутая	

25. Выбор класса точности поковок

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	Т1	Т2	Т3	Т4	Т5
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
открытая (облойная) штамповка				+	+
закрытая штамповка		+	+	+	
выдавливание			+		
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+
Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Примечания: 1. Прецизионная штамповка – способ штамповки, обеспечивающий устанавливаемую точность и шероховатость одной или нескольких функциональных поверхностей поковки, которые не подвергаются окончательной обработке.

2. При пламенном нагреве заготовок допускается снижение точности для классов Т2 – Т4 на один класс.

3. При холодной или горячей плоскостной калибровке точность принимается на один класс выше.

26. Коэффициент (K_p) для определения ориентировочной расчетной массы поковки

Группа	Характеристика детали	Типовые представители	K_p
1	Удлиненной формы		
1.1	С прямой осью	Валы, оси, цапфы, шатуны	1,3 – 1,6
1.2	С изогнутой осью	Рычаги, сошки рулевого управления	1,1 – 1,4
2	Круглые и многогранные в плане		
2.1	Круглые	Шестерни, ступицы, фланцы	1,5 – 1,8
2.2	Квадратные, прямоугольные, многогранные	Фланцы, ступицы, гайки	1,3 – 1,7
2.3	С отрезками	Крестовины, вилки	1,4 – 1,6
3	Комбинированной (сочетающей элементы групп 1 и 2-й) конфигурации	Кулаки поворотные, коленчатые валы	1,3 – 1,8
4	С большим объемом необрабатываемых поверхностей	Балки передних осей, рычаги переключения коробок передач, буксирные крюки	1,1 – 1,3
5	С отверстиями, углублениями, поднутрениями, не оформляемыми в поковке при штамповке	Полые валы, фланцы, блоки шестерен	1,8 – 2,2

Класс точности поковки устанавливается в зависимости от технологического процесса и оборудования для ее изготовления (см. табл. 25), а также исходя из предъявляемых требований к точности размеров поковки.

Допускаются различные классы точности для разных размеров одной и той же поковки. При этом класс точности определяется по преобладающему числу размеров одного класса точности, предусмотренному чертежом поковки, и согласовывается между изготовителем и потребителем.

Класс точности, группа стали, степень сложности должны быть указаны на чертеже поковки.

Степень сложности поковок является одной из конструктивных характеристик формы поковок, качественно оценивающей ее, и используется при назначении припусков и допусков.

Степень сложности определяют вычислением отношения массы (объема) G_n поковки к массе (объему) G_ϕ геометрической фигуры, в которую вписывается форма поковки. Геометрическая фигура может быть шаром, параллелепипедом, цилиндром с перпендикулярными к его оси торцами или прямой правильной призмой (рис. 26).

При вычислении отношения G_n / G_ϕ принимают ту из геометрических фигур, масса (объем) которой наименьший.

При определении размеров описывающей поковку геометрической фигуры допускается исходить из увеличения в 1,05 раза габаритных линейных размеров детали, определяющих положение ее обработанных поверхностей.

Степень сложности поковок соответствуют следующие численные значения отношения G_n / G_ϕ :

- C1 – св. 0,63
- C2 » 0,32 до 0,63 вкл.
- C3 » 0,16 » 0,32 »
- C4 » » 0,16

Степень сложности C4 устанавливается для поковок с тонкими элементами, например, в виде диска, фланца, кольца (рис. 27), в том числе с пробиваемыми перемычками, а также для поковок с тонким стержневым элементом, если отношения t/D , t/L , $t/(D-d)$ не превышают 0,20 и t не более 25 мм (где D – наибольший размер, t – толщина, L – длина тонкого элемента; d – диаметр элемента поковки, толщина которого превышает величину t).

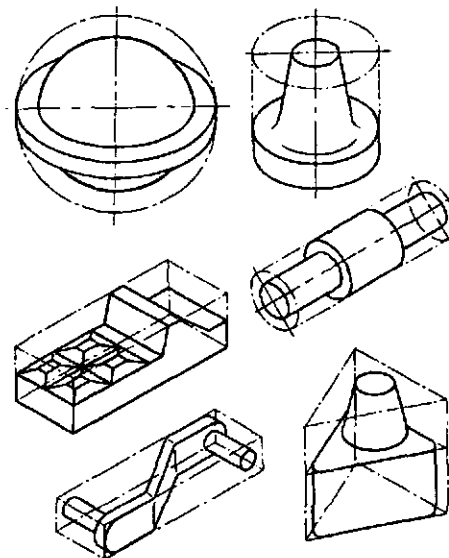


Рис. 26. Геометрические фигуры, в которые вписываются формы поковок

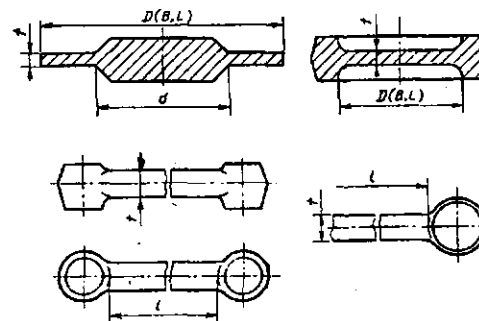


Рис. 27. Поковки степени сложности C4

Для поковок, полученных на горизонтально-ковочных машинах, допускается определять степень сложности формы в зависимости от числа переходов:

- C1 – не более чем при двух переходах;
- C2 – при трех переходах;
- C3 – при четырех переходах;
- C4 – более чем при четырех переходах или при изготовлении на двух ковочных машинах.

Исходный индекс для последующего назначения основных припусков, допусков и допускаемых отклонений определяется в зависимости от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковки (табл. 27).

27. Определение исходного индекса

Масса поковки, кг	Группа стали			Степень сложности поковки					Класс точности поковки					Исходный индекс
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 вкл. включ														1
Св 0,5 до 1,0 "														2
" 1,0 " 1,5 "														3
" 1,5 " 3,2 "														4
" 3,2 " 5,6 "														5
" 5,6 " 10,0 "														6
" 10,0 " 20,0 "														7
" 20,0 " 50,0 "														8
" 50,0 " 125,0 "														9
" 125,0 " 250,0 "														10
														11
														12
														13
														14
														15
														16
														17
														18
														19
														20
														21
														22
														23

Для определения исходного индекса по табл. 27 в графе "Масса поковки" находят соответствующую данной массе строку и, смещаясь по горизонтали вправо или по утолщенным наклонным линиям вправо вниз до пересечения с вертикальными линиями, соответствующими заданным значениям группы стали M, степени сложности C, класса точности T, устанавливая исходный индекс (от 1 до 23).

Исходный индекс должен быть указан на чертеже поковки.

Примеры (рис. 28):

1. Поковка массой 0,5 кг, группа стали M1, степень сложности C1, класс точности T2. Исходный индекс – 3.
2. Поковка массой 1,5 кг, группа стали M3, степень сложности C2, класс точности T1. Исходный индекс – 6.

Допуски. Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров поковок назначаются в зависимости от исходного индекса и размеров поковки по табл. 28. Допускаемые отклонения внутренних размеров поковок должны устанавливаться с обратными знаками. Допус-

Масса поковки, кг	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Исходный индекс	
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 вкл.														1
Св. 0,5 до 1,0 "														2
" 1,0 " 1,8 "														3
" 1,8 " 3,2 "														4
" 3,2 " 5,6 "														5
" 5,6 " 10,0 "														6
														7

Рис. 28. Примеры определения исходного индекса

ки и допускаемые отклонения размеров, отражающие односторонний износ штампов, равны 0,5 величин, приведенных в табл. 28. Допуски и допускаемые отклонения размеров толщины, учитывающие недоштамповку, устанавливаются по наибольшей толщине поковки и распространяются на все размеры ее толщины.

Допуски толщины поковки, подвергаемой холодной или горячей калибровке, устанавливаются по табл. 33, а (см. гл. 4, с. 346).

Допуск размеров, не указанный на чертеже поковки, принимается равным 1,5 допуска соответствующего размера поковки с равными допускаемыми отклонениями.

Для поковки, у которых стержень выходит за пределы штампа и не подвергается деформации, допуск длины стержня, мм:

до 2	—	для повок	1-го	класса	точности
» 3	»	»	2-го	»	»
» 4	»	»	3-го	»	»
» 5	»	»	4-го	»	»
» 6	»	»	5-го	»	»

Величина допуска длины недеформированного стержня у повок, полученных двухсторонней высадкой, удваивается. Для повок, полученных высадкой с последующей штамповкой и высадкой пр. оката мерной длины, допуск длины стержня устанавливается по согласованию между изготовителем и потребителем.

В величину допуска не входят отклонения по смятию и неперпендикулярности торцов стержня.

Для участка стержня, зажатого в штампе или в клещах, при штамповке от заднего упора допускается увеличение диаметра стержня на

величину удвоенного положительного допускаемого отклонения по табл. 28 на расстоянии до двух диаметров от головки поковки и полутора диаметров от торца стержня.

Допускаемые отклонения размеров сечения стержня на недеформируемых участках поковки определяются соответствующими стандартами на сортамент проката с увеличением отрицательного допускаемого отклонения не более чем на 0,5 мм.

Допускаемая величина смещения по поверхности разреза у штампа определяется в зависимости от массы поковки, конфигурации поверхности разреза штампа и класса точности и не должна превышать значений, приведенных в табл. 29.

Допускаемая величина остаточного облоя определяется в зависимости от массы поковки, конфигурации поверхности разреза штампа и класса точности и назначается по табл. 30. В местах перехода для радиусов до 10 мм допускается назначать удвоенную величину остаточного облоя.

Допускаемая величина высоты заусенца на поковке по контуру обрезки облоя не должна превышать:

2 мм	—	для повок	массой	до	1,0	кг	вкл.;	
3 мм	»	»	»	св. 1,0	кг	до 5,6	кг	вкл.;
5 мм	»	»	»	»	5,6	кг	» 50,0	кг
6 мм	»	»	»	»	50,0	кг,		

а при пробивке отверстия эта величина может быть увеличена в 1,3 раза.

Допускаемая величина заусенца, образовавшегося по контуру пуансона при штамповке в закрытых штампах (безоблойной), определяется по табл. 31.

28. Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров повок, мм

Исходный индекс	Наибольшая толщина поковки										Исходный индекс								
	до 40	40 - 63	63 - 100	100 - 160	160 - 250	250 - 400	400 - 630	630 - 1000	1000 - 1600	1600 - 2500									
1	0,3	+0,2 -0,1	+0,3 -0,2	0,5	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	0,7	+0,6 -0,3	+0,8 -0,3	+0,9 -0,3	1,2	+0,9 -0,4	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	2,0	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0	+2,1 -1,1
2	0,4	+0,3 -0,1	+0,4 -0,2	0,5	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	0,8	+0,5 -0,3	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	1,0	+0,8 -0,4	+0,9 -0,5	+1,1 -0,5	+1,3 -0,7	2,0	+1,4 -0,8	+1,6 -0,9	+1,8 -1,0
3	0,5	+0,3 -0,2	+0,4 -0,2	0,7	+0,5 -0,2	+0,6 -0,3	0,9	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	+0,8 -0,3	1,2	+0,9 -0,4	+1,0 -0,5	+1,2 -0,5	+1,4 -0,7	2,2	+1,5 -0,8	+1,7 -1,0	+2,0 -1,1
4	0,6	+0,4 -0,2	+0,5 -0,2	0,8	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	1,0	+0,7 -0,3	+0,8 -0,3	+0,9 -0,3	1,4	+1,0 -0,4	+1,1 -0,5	+1,3 -0,5	+1,5 -0,7	2,5	+1,6 -0,8	+1,8 -1,0	+2,2 -1,1
5	0,7	+0,5 -0,2	+0,6 -0,2	0,9	+0,7 -0,3	+0,8 -0,3	1,2	+0,8 -0,3	+0,9 -0,3	+1,0 -0,3	1,6	+1,2 -0,4	+1,3 -0,5	+1,5 -0,5	+1,7 -0,7	2,8	+1,8 -0,8	+2,0 -1,0	+2,4 -1,1
6	0,8	+0,6 -0,3	+0,7 -0,3	1,0	+0,8 -0,3	+0,9 -0,3	1,4	+1,0 -0,4	+1,1 -0,4	+1,2 -0,4	2,0	+1,3 -0,5	+1,4 -0,5	+1,6 -0,5	+1,8 -0,7	3,2	+1,9 -0,8	+2,1 -1,0	+2,5 -1,1
7	0,9	+0,7 -0,3	+0,8 -0,3	1,2	+1,0 -0,4	+1,1 -0,4	1,6	+1,2 -0,4	+1,3 -0,4	+1,4 -0,4	2,5	+1,5 -0,5	+1,6 -0,5	+1,8 -0,5	+2,0 -0,7	3,5	+2,1 -0,8	+2,3 -1,0	+2,7 -1,1
8	1,0	+0,8 -0,3	+0,9 -0,3	1,4	+1,2 -0,4	+1,3 -0,4	2,0	+1,4 -0,4	+1,5 -0,4	+1,6 -0,4	3,0	+1,7 -0,5	+1,8 -0,5	+2,0 -0,5	+2,2 -0,7	4,0	+2,3 -0,8	+2,5 -1,0	+3,0 -1,1

Исходный индекс		Наибольшая толщина поковки																
		до 40	40-63	63-100	100-160	160-250	160-250	250-400	400-630	630-1000	1000-1600	1600-2500						
		Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки																
9	1,2	+0,8 -0,4	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2
10	1,4	+0,9 -0,5	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3
11	1,6	+1,1 -0,5	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5
12	2,0	+1,3 -0,7	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7
13	2,2	+1,4 -0,8	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9
14	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,4
15	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4
16	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7

Исходный индекс		Наибольшая толщина поковки																
		до 40	40-63	63-100	100-160	160-250	160-250	250-400	400-630	630-1000	1000-1600	1600-2500						
		Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки																
17	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,7	5,0	+3,3 -1,9	5,6	+3,7 -2,1	6,3	+4,2 -2,4	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0
18	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,7	5,0	+3,3 -1,9	5,6	+3,7 -2,1	6,3	+4,2 -2,4	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3
19	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -2,1	6,3	+4,2 -2,4	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6
20	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -2,1	6,3	+4,2 -2,4	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0
21	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4
22	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8
23	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8	16,0	+10,0 -6,0

29. Допускаемая величина смещения по поверхности разреза штампа, мм

Масса поковки, кг	Плоская поверхность разреза штампа (П)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Симметрично изогнутая поверхность разреза штампа (И _с)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Несимметрично изогнутая поверхность разреза штампа (И _н)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 вкл.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Св. 0,5 » 1,0 »	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
» 1,0 » 1,8 »	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
» 1,8 » 3,2 »	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
» 3,2 » 5,6 »	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
» 5,6 » 10,0 »	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
» 10,0 » 20,0 »	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8
» 20,0 » 50,0 »	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5
» 50,0 » 125,0 »	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2
» 125,0 » 250,0 »	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4,0

30. Допускаемая величина остаточного облоя, мм

Масса поковки, кг	Плоская поверхность разреза штампа (П)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Симметрично изогнутая поверхность разреза штампа (И _с)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Несимметрично изогнутая поверхность разреза штампа (И _н)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 вкл.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Св. 0,5 » 1,0 »	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
» 1,0 » 1,8 »	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
» 1,8 » 3,2 »	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
» 3,2 » 5,6 »	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4
» 5,6 » 10,0 »	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
» 10,0 » 20,0 »	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
» 20,0 » 50,0 »	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2
» 50,0 » 125,0 »	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8
» 125,0 » 250,0 »	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,8	3,5

31. Допускаемая величина заусенца, мм

Масса поковки, кг	Степень сложности поковки	Максимальный размер поперечного сечения поковки по поверхности разреза штампа, мм				
		До 40	40 – 100	100 – 160	160 – 250	Св. 250
До 0,5 вкл.	C1, C2	1,0	2,0	–	–	–
	C3	2,0	3,0	–	–	–
	C4	3,0	4,0	–	–	–
	C1, C2	2,0	3,0	4,0	–	–
Св. 0,5 » 3,2 »	C3	3,0	4,0	5,0	–	–
	C4	4,0	5,0	6,0	–	–
	C1, C2	3,0	4,0	5,0	–	–
	C3	4,0	5,0	6,0	–	–
» 3,2 » 5,6 »	C4	5,0	6,0	7,0	–	–
	C1, C2	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
	C3	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
	C4	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
» 5,6 » 20,0 »	C1, C2	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
	C3	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	C4	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
	C1, C2	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
» 20,0 » 50,0 »	C3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
	C4	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
	C1, C2	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
	C3	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
» 50,0	C4	9,0	10,0	11,0	12,0	–
	C1, C2	8,0	9,0	10,0	11,0	–
	C3	9,0	10,0	11,0	12,0	–
	C4	10,0	11,0	12,0	–	–

У поковок, изготовленных на горизонтально-ковочных машинах, допускаемая высота заусенца в плоскости разреза матриц не должна превышать удвоенной величины остаточного облоя по табл. 30.

Заусенцы на необрабатываемых поверхностях поковок должны быть удалены по требованию потребителя, если форма поковки позволяет в технически обоснованных случаях производить зачистку поверхности на зачистных станках.

Допускаемое отклонение от соосности непробитых отверстий (наметок) в поковках принимается не более 1,0 % глубины отверстия (наметки).

Допускаемое наибольшее отклонение от концентричности пробитого в поковке отверстия устанавливается по табл. 32.

Приведенные допускаемые отклонения от концентричности отверстий соответствуют началу пробивки (со стороны входа пуансона в поковку). В конце пробивки (со стороны выхода пуансона) эти отклонения могут быть увеличены на 25 %.

Допускаемые отклонения по изогнутости, от плоскостности и от прямолинейности для плоских поверхностей устанавливаются по табл. 33. В данных величинах не учитываются перепады по высоте, толщине или ширине поковок.

Длиномерные поковки с размерами свыше 1000 мм подвергаются правке перед механической обработкой.

Допуск радиального биения цилиндрических поверхностей не должен превышать удвоенной величины, указанной в табл. 33 (назначается по согласованию между изготовителем и потребителем).

Допускаемые отклонения межосевого расстояния (A_1) в поковках не должны превышать величин, указанных в табл. 34.

Допускаемое отклонение торца стержня поковки после отрезки заготовок из прутка, неподвергаемого деформации при штамповке, определяется по табл. 35 в зависимости от диаметра прутка. Допускается неперпендикулярность поверхности среза к оси заготовки до 7°.

32. Допускаемое наибольшее отклонение от concentричности пробитого отверстия, мм

Наибольший размер поковки, мм	Классы точности поковок				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 вкл.	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
Св. 100 » 160 »	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
» 160 » 250 »	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0
» 250 » 400 »	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
» 400 » 630 »	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
» 630 » 1000 »	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0

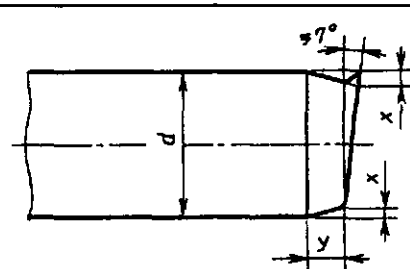
33. Допускаемые отклонения по изогнутости, мм

Наибольший размер поковки, мм	Классы точности поковок				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 вкл.	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Св. 100 » 160 »	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
» 160 » 250 »	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
» 250 » 400 »	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
» 400 » 630 »	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
» 630 » 1000 »	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
» 1000 » 1600 »	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
» 1600 » 2500 »	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0

34. Допускаемые отклонения межосевого расстояния, мм

Межцентровое расстояние, мм	Классы точности поковок				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 60 вкл.	±0,10	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30
Св. 60 » 100 »	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50
» 100 » 160 »	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80
» 160 » 250 »	±0,25	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20
» 250 » 400 »	±0,30	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60
» 400 » 630 »	±0,50	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00
» 630 » 1000 »	±0,80	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00
» 1000 » 1600 »	±1,20	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50
» 1600 » 2500 »	±1,60	±2,00	±3,00	±4,50	±7,00

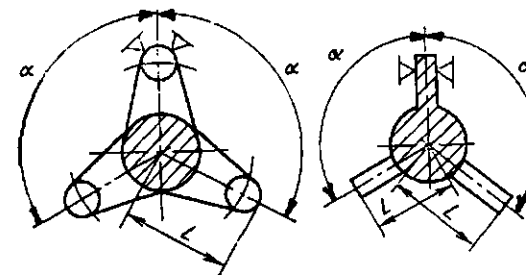
35. Допускаемое отклонение торца стержня поковки



Диаметр прутка (d), мм	Допускаемое отклонение	
	x	y
До 40 вкл.	0,08d	1d
Св. 40	0,07d	0,8d

Допускаемые отклонения угловых α размеров элементов поковки устанавливаются по табл. 36.

36. Допускаемые отклонения угловых размеров поковок



L – длина элемента (расстояние от оси поковки до торца элемента)

Длина элемента (L), мм	Классы точности поковок				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 25 вкл.	±0°45'	±1°00'	±1°30'	±2°00'	±2°30'
Св. 25 » 60 »	±0°30'	±0°45'	±1°00'	±1°30'	±2°00'
» 60 » 100 »	±0°15'	±0°30'	±0°45'	±1°00'	±1°30'
» 100 » 160 »	±0°10'	±0°15'	±0°30'	±0°45'	±1°00'
» 160	±0°05'	±0°10'	±0°15'	±0°30'	±0°45'

Допускаемые отклонения угловых размеров для поковки, скручивание или гибка элементов которой производится на отдельном оборудовании, увеличиваются на 50 %.

На поковке допускается след в виде впадины или выступа, образующийся от выталкивателя или зажимных элементов штампа.

Глубина впадины должна быть не более 0,5 величины фактического припуска. Высота выступа допускается до 3,0 мм на обрабатываемой поверхности, а на необрабатываемой поверхности должна быть согласована между изготовителем и потребителем.

Допуск радиусов закруглений внутренних и наружных углов поковок устанавливается по табл. 37.

Допускаемые отклонения штампованных уклонов на поковках устанавливаются в пределах ±0,25 их номинальной величины.

Допуск высоты (длины) стержня, втулки и отрезка поковки, изготовленных выдавливанием, устанавливается по согласованию между изготовителем и потребителем.

Допускаемые отклонения формы и расположения поверхностей являютя самостоятельными и не зависят от допусков и допускаемых отклонений размеров поковки.

37. Допуск радиусов закруглений, мм

Радиус закругления, мм	Классы точности поковок				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 4 вкл.	0,5	0,5	0,5	1,0	2,0
Св. 4 » 6 »	0,5	0,5	1,0	2,0	3,0
» 6 » 10 »	1,0	1,0	2,0	3,0	5,0
» 10 » 16 »	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0
» 16 » 25 »	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0
» 25 » 40 »	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0
» 40 » 60 »	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0
» 60 » 100 »	8,0	12,0	20,0	30,0	50,0

Кузнечные напуски. Кузнечные напуски могут быть образованы на поковке штамповочными уклонами, радиусами закругления внутренних углов, непробиваемой перемычкой в отверстиях и невыполнимыми в штамповочных операциях поднутрениями и полостями.

Штамповочные уклоны не должны превышать величин, установленных в табл. 38.

На поверхностях отверстий в поковках, изготовленных на горизонтально-ковочных машинах, штамповочный уклон не должен превышать 3°.

У изготовленных на штамповочных молотах и прессах без выталкивателей поковок, имеющих элементы в виде ребра, выступа, реборды с отношением их высоты к ширине более 2,5, допускается штамповочный уклон до 10° на внешней поверхности и до 12° на внутренней поверхности.

Впадины и углубления в поковке, когда их оси параллельны направлению движения одной из подвижных частей штампа, а диаметр или наименьший поперечный размер не менее 30 мм, выполняют глубиной до 0,8 их диаметра или наименьшего поперечного размера – при изготовлении на молотах и прессах и до трех диаметров – при изготовлении на горизонтально-ковочных машинах.

В поковке выполняют сквозные отверстия при двухстороннем углублении, если при ее изготовлении их оси параллельны направлению движения одной из подвижных частей штампа, диаметр сквозного отверстия не менее 30 мм, а толщина поковки в месте пробивки – не более диаметра пробиваемого отверстия.

Дефекты штампованных заготовок. Наиболее характерные дефекты штампованных заготовок: вмятины; недоштамповка выступов,

углов, скруглений и ребер; смещение по плоскости разреза; зажимы; повышенная кривизна; отклонение от заданного допуска; утяжка (рис. 29); брак при термической обработке и очистке от окалины. На всех этапах технологического процесса контролируют состав материала, размеры, поверхностные дефекты, режим нагрева и твердость, применяя просвечивание, ультразвук, вихревые токи и другие физические методы.

Стойкость штампов. В табл. 39 – 42 приведены данные о стойкости молотовых штампов и штампов горячештамповочных прессов. При безоблойной штамповке стойкость значительно ниже. Так, для закрытых молотовых штампов она составляет 1 – 5 тыс. заготовок.

Стойкость штампов высокоскоростных молотов – 2,5 – 4 тыс. заготовок при осадке и 1 – 2 тыс. заготовок – при выдавливании. Стойкость штампов кривошипных прессов ниже, чем стойкость молотовых штампов, из-за меньшей скорости деформирования (для электровысадочных машин 3 – 4 тыс. заготовок); при вальцовке она изменяется в широких пределах (3,5 – 30 тыс.) в зависимости от материала штампа и детали, массы детали и др.

Стойкость бойков радиально-ковочной машины – 5 – 15 тыс. заготовок.

В табл. 43 приведены данные, характеризующие область эффективного применения штамповки по сравнению с ковкой в зависимости от группы сложности и материала.

В табл. 44 приведены технико-экономические показатели изготовления 300 заготовок ступенчатых валов ковкой, точением и штамповкой на вертикальной радиально-ковочной машине (ВРКМ).

38. Штамповочные уклоны

Оборудование	На наружной поверхности	На внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7°	10°
Прессы с выталкивателями, горизонтально-ковочные машины	5°	7°
Горячештамповочные автоматы	1°	2°

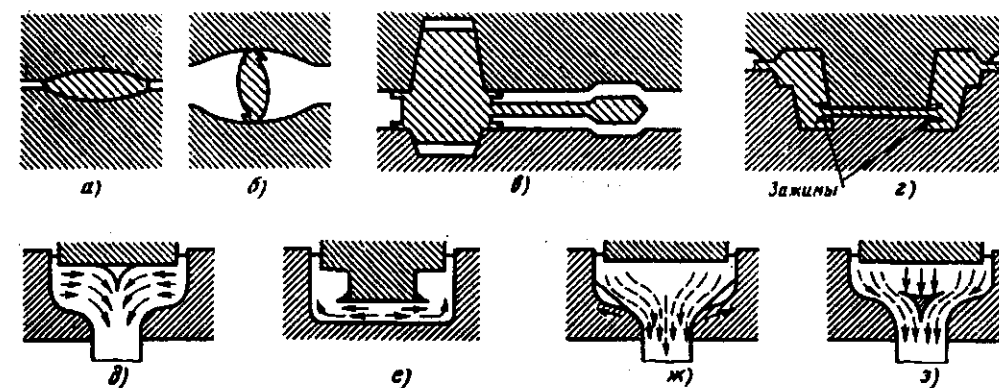


Рис. 29. Дефекты штампованных заготовок: а, б – зажимы; в, д – зажим типа "прострел"; г – утяжка; е, ж – наружные и внутренние сколы

39. Стойкость крупногабаритных молотовых штампов из теплостойких сталей при изготовлении поковок из труднодеформируемых материалов, тыс. шт.

Поковки	Стали конструкционные			Стали коррозионностойкие и жаропрочные	Сплавы	
	низкоуглеродистые, легированные	среднеуглеродистые, легированные	высокопрочные		титановые	жаропрочные
Малогабаритные	1,5 – 3	0,5 – 0,6	0,9 – 1,5	0,2 – 1,2	0,1 – 0,4	0,2
Плоские удлиненные	0,2 – 0,8	0,2 – 1,5	0,25 – 0,8	0,1 – 0,2	0,1 – 1	–
Тела вращения	0,4 – 1	0,15 – 0,17	0,3 – 0,6	0,15 – 0,5	0,1 – 0,45	–
Диски	–	0,2 – 0,85	–	0,1 – 0,4	0,15 – 0,35	0,03 – 0,05
Лопатки	–	–	–	–	0,35 – 0,8	–

40. Стойкость молотовых открытых штампов при штамповке поковок из углеродистых и конструкционных сталей

Поковки	Основные параметры поковки, мм					Стойкость, тыс. шт.
	Диаметр	Высота	Длина	Ширина утолщения	Толщина полотна	
Круглые в плане (крышки, колеса, фланцы)	100	60	—	—	—	11
	100	100	—	—	—	9
	200	100	—	—	—	6
	200	200	—	—	—	4
	400	100	—	—	—	3
	400	300	—	—	—	2,3
С головками и двутавровым сечением стержня (шатуны)	—	10	—	50	—	6,5
	—	50	—	50	—	4,5
	—	40	—	100	—	2,8
	—	100	—	100	—	1,5
С вытянутой осью и фасонной головкой (вилки)	—	10	40	40	—	11
	—	50	100	100	—	6
	—	80	220	160	—	3,5
С вытянутой осью и выступами (рычаги)	—	—	40	—	10	16
	—	—	100	—	10	11
	—	—	100	—	40	9,5
	—	—	160	—	40	7

41. Стойкость штампов для горячештамповочных автоматов, тыс. шт.

Детали штампов	Стойкость	Детали штампов	Стойкость
Ножи для отрезки	25 – 100	Пуансоны третьего перехода	30 – 60
Пуансоны первого перехода	14 – 40	Матрицы третьего перехода	10 – 40
Пальцы пуансонов	5 – 20		
Пуансоны второго перехода	30 – 70	Пуансоны и матрицы четвертого перехода	25 – 50
Матрицы второго перехода	25 – 50		

42. Стойкость инструмента горизонтально-ковочных машин, тыс. шт.

Инструмент	Стойкость	Инструмент	Стойкость
Пуансоны:		Знаки (работающие в тяжелых условиях)	2 – 3
наборные	10 – 12		
формовочные:		Матрицы:	
простые	8 – 10	формовочные сложные	3,5 – 5
сложные	4 – 6	наборные	6 – 8
		отрезные	3 – 5
прошивные и отрезные	3 – 4	зажимные	20 – 30

43. Ориентировочный размер партии заготовок при переходе отковки к штамповке на молотах

Группа сложности	Минимальное число заготовок из			
	углеродистой стали	конструкционной стали	алюминиевых сплавов	титановых сплавов
I	400	350	280	37
II	290	250	190	32
III	220	190	150	28
IV	165	150	120	26
V	96	90	84	17

Примечание. I – $l_3 = 1,5 \dots 10d$; $l_n = l_3$; II – $l_3 > 8 \dots 10d$; $l_n \leq 10d$; III – заготовки, у которых нагревают одновременно оба конца, $l_n \geq 0,5l_3$; IV – заготовки, у которых многократно нагревают один конец; $l_n \leq 10d$; V – заготовки, у которых нагревают среднюю часть; $l_n \geq 0,5d$; l_3, l_n – длина заготовки и нагреваемой части; d – диаметр штампованной заготовки.

44. Техничко-экономические показатели производства ступенчатых валов

Вал	Чистая масса детали, кг	Норма расхода металла, кг				Коэффициент использования металла				Штучное время, мин			
		Ковка	Штамповка	ВРКМ	Точение из прутка	Ковка	Штамповка	ВРКМ	Точение из прутка	Ковка	Штамповка	ВРКМ	Точение из прутка
Одноступенчатый	4,33	6,9	6,8	6,4	7,8	0,63	0,64	0,67	0,56	1,27	0,36	0,78	3,8
Двухступенчатый	10,1	13,6	13,5	12,2	17,4	0,74	0,75	0,50	0,48	1,73	0,40	1,03	5,5
Трехступенчатый	5,5	9,6	9,4	8,8	15,9	0,58	0,58	0,60	0,35	1,61	0,38	1,25	6,4
Четырехступенчатый	23,2	30,5	29,4	27,4	65,6	0,76	0,79	0,80	0,25	5,3	0,70	2,3	36,4
Пятиступенчатый	8,6	12,6	11,3	10,2	17,2	0,58	0,66	0,80	0,40	1,8	0,40	1,7	20,3
Шестиступенчатый	3,8	7,5	6,6	5,6	11,6	0,41	0,58	0,60	0,33	1,8	0,34	1,6	9,7

Примечания: 1. ВРКМ – вертикальная радиально-ковочная машина.
2. Штучное время для всех способов горячей обработки относится к выполнению заготовок без учета последующей механической обработки.

Холодная штамповка

Холодная объемная штамповка. Выдавливанием можно изготавливать детали из стали, алюминия, меди, никеля и их сплавов. При выдавливании наружный диаметр заготовки принимают на 0,05 – 0,1 мм меньше заданного по чертежу детали, а внутренний – больше на ту же величину. Исходными заготовками обычно являются прутки, проволока, листы, полосы, трубы и периодический прокат. Целесообразнее использовать прутки и проволоку вследствие их меньшей, по сравнению с другими профилями, стоимости и широкого ассортимента (по размерам, точности, по состоянию – горячекатаные, калиброванные, термически обработанные, без термической обработки). Экономичными по расходу металла являются кольцевые заготовки из проволоки, подвергнутые сварке после гибки; затраты на такие заготовки примерно на 11 % меньше затрат на получение заготовки из прутка и на 40 % меньше затрат на получение заготовки из трубы.

Выдавливанием получают поршневые пальцы, корпуса электролитических и подстроечных конденсаторов, экраны радиоламп и катушек индуктивности, цоколи, оболочки электрических нагревательных элементов, клапаны, корпуса карданных подшипников и другие заготовки деталей. Некоторые типы сплошных и пустотелых заготовок деталей представлены на рис. 30. Формообразование при выдавливании осуществляют по схемам прямого, обратного, комбинированного выдавливания.

Если инструмент изготовлен с точностью 7-го качества, то при штамповке по диаметру получают осесимметричные детали с точностью 8–11-го качества в зависимости от

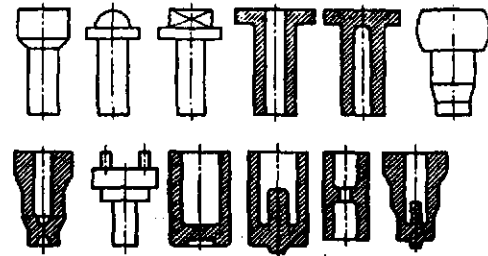


Рис. 30. Типовые заготовки деталей, получаемые холодной объемной штамповкой выдавливанием

допустимого износа инструмента. При штамповке возможны отклонения от соосности диаметров трубчатых заготовок и прогиб оси (табл. 45 – 47).

Качество поверхности штампованной детали зависит от качества поверхности инструмента (не выше $Ra = 0,32 \dots 0,08$ мкм), смазочного материала, разделяющего слоя и др. Параметр шероховатости внутренней поверхности деталей из цветных сплавов $Ra 0,04$, наружной поверхности $Ra 0,16$, внутренней поверхности деталей из черных сплавов $Ra 0,16$, наружной $Ra 10$.

Высадке подвергают заготовки из стали с содержанием углерода до 0,5 %, а в некоторых случаях – при пониженной степени деформации – с содержанием углерода до 1,1 %.

При высадке, часто совмещаемой с выдавливанием и радиальным обжатием, изготавливают сплошные детали типа тел вращения с утолщением, полые детали типа тел вращения, иногда содержащие небольшие элементы с двумя осями симметрии и более (рис. 31). Такие детали изготавливают на высокопроизводительных холодновысадочных автоматах из калиброванного материала (8 – 11-го качества) диаметром до 52 мм. Наибольшая длина детали, штампуемой на автоматах, составляет 200 – 300 мм, а на специализированных автоматах – до 400 мм.

45. Отклонение размеров сплошных заготовок, получаемых выдавливанием

Размеры, мм



Номинальный диаметр d	Отклонение диаметра	Длина l	Прогиб f
10 – 20	$\pm 0,05$	До 100	0,12 – 0,15
20 – 30	$\pm 0,07$	Св. 200	0,05 – 0,25
30 – 50	$\pm 0,08$	» 500	0,1 – 0,5
50 – 80	$\pm 0,1$	» 700	0,2 – 1,5
80 – 100	$\pm 0,12$	» 1200	0,5 – 2,0

46. Отклонения размеров полых заготовок, полученных выдавливанием, мм

Эскиз	S , мм	$H/D \leq 1,2;$ $S = 2 \dots 15$	$H/D \geq 1,2;$ $S = 0,5 \dots 6$	h , мм	$H/D \leq 1,2;$ $S = 2 \dots 15$	$H/D \geq 1,2;$ $S = 0,5 \dots 6$
		Отклонение от S			Отклонение от h	
	2	$\pm 0,1$	–	До 2	$\pm 0,15 - 0,2$	$\pm 0,15$
	2 – 10	$\pm 0,15$	–	2 – 10	$\pm 0,2 - 0,3$	$\pm 0,2 - 0,3$
	10 – 15	$\pm 0,2$	–	10 – 15	$\pm 0,25 - 0,3$	$\pm 0,25 - 0,35$
	До 0,6	–	$\pm 0,05 - 0,1$	15 – 25	$\pm 0,3 - 0,4$	$\pm 0,3 - 0,4$
	0,8 – 1,2	–	$\pm 0,07 - 0,1$	25 – 40	$\pm 0,4 - 0,5$	$\pm 0,35 - 0,5$
	1,2 – 2,0	–	$\pm 0,1 - 0,15$	40 – 50	–	$\pm 0,4 - 0,5$
	2,0 – 3,5	–	$\pm 0,12 - 0,15$	50 – 70	–	$\pm 0,45 - 0,6$
	3,5 – 6,0	–	$\pm 0,15 - 0,2$			

При $h \leq 2$ мм отклонение равно $\pm(0,05 \dots 0,1)$ мм; при $2 \leq h \leq 10$ мм отклонение равно $\pm(0,1 \dots 0,15)$ мм.

47. Отклонения размеров полых заготовок, полученных выдавливанием, мм

Эскиз	D , мм	$H/D \leq 1,2; S = 2 \dots 15$		$H/D \geq 1,2; S = 0,5 \dots 6$	
		D	d	D	d
	До 10	$\pm 0,08$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$
	10 – 30	$\pm 0,10$	$\pm 0,1 - 0,2$		$\pm 0,05 - 0,07$
	30 – 40	$\pm 0,12$	$\pm 0,15 - 0,25$		$\pm 0,08 - 0,10$
	40 – 50	$\pm 0,15$	$\pm 0,20 - 0,25$	$\pm 0,20 - 0,30$	$\pm 0,10 - 0,12$
	50 – 60	$\pm 0,20$	$\pm 0,20 - 0,30$		$\pm 0,12 - 0,14$
	60 – 70	$\pm 0,22$	$\pm 0,20 - 0,30$		$\pm 0,15 - 0,18$
	70 – 80	$\pm 0,25$	$\pm 0,20 - 0,35$	$\pm 0,30$	$\pm 0,18 - 0,20$
	80 – 90	$\pm 0,30$	$\pm 0,25 - 0,40$		$\pm 0,20 - 0,24$
	90 – 100	$\pm 0,35$	$\pm 0,30 - 0,45$		$\pm 0,25 - 0,30$
	100 – 120	$\pm 0,40$	$\pm 0,35 - 0,5$	$\pm 0,40$	$\pm 0,30 - 0,40$
	120 – 140	–	–	$\pm 0,40$	$\pm 0,40 - 0,50$

При $h \leq 2$ мм отклонение равно $\pm(0,05 \dots 0,1)$ мм; при $2 < h \leq 10$ мм отклонение равно $\pm(0,10 \dots 0,15)$ мм.

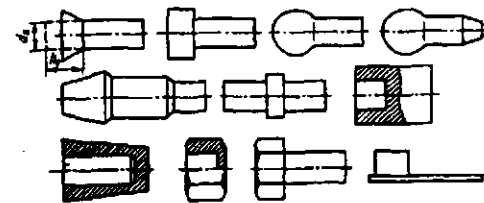


Рис. 31. Основные типы деталей, получаемых высадкой

При полуавтоматической высадке предварительно нарезанных заготовок можно получать детали со стержнем длиной до 1200 – 1800 мм.

Диаметр исходной заготовки при радиальном обжатии $d_0 = (1 \dots 1,2)d$, а при выдавливании стержня $d_0 = (1,25 \dots 1,35)d$.

Критерием возможности штамповки высадкой является отношение h_0/d_0 (h_0 , d_0 – высота и диаметр высаживаемой части соответ-

венно). В зависимости от объема получаемого при высадке утолщения для предупреждения продольного изгиба заготовки процесс выполняют за один или несколько переходов. За один-два перехода высадки изготавливают детали простой формы (заклепки, винты, болты), за три-шесть переходов – детали сложной формы с головкой большого диаметра и малой высотой, длинные полые и другие детали.

При высадке можно получать поперечные размеры деталей с точностью 8 – 9-го качества, размеры по длине с точностью 11 – 12-го качества; достигаемая шероховатость поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм.

Для радиального обжатия можно применять все металлы, в том числе и металлические порошки. Твердость материала для обжима заготовок диаметром св. 5 мм $\leq 25\text{HRC}$, $\sigma_b \leq 14$ МПа, $\delta \geq 4\%$, $\psi \geq 25\%$; материал исходной заготовки диаметром до 5 мм может быть более твердым.

Для получения высокого качества деталей применяют калиброванные холоднотянутые прутки. Диаметр прутка не более 50 – 60 мм. Стали повышенной обрабатываемости резанием деформируют с $\psi \leq 25\%$. Обжимом по сравнению с высадкой можно обрабатывать заготовки из стали с повышенной степенью деформации ($\psi \approx 50\%$), содержащие более чем в 2 раза углерода, в 7 раз большее количество кремния, в 1,5 раза – марганца. Хорошо обрабатываются детали из меди (без примесей свинца), латуни, алюминия и коррозионно-стойких сталей.

Радиальным обжатием (рис. 32 и 33) можно изготавливать в горячем и холодном

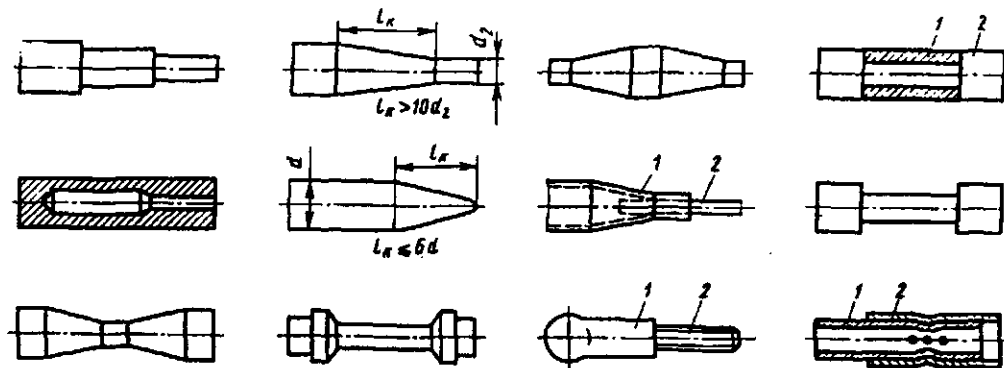


Рис. 33. Основные типы деталей и сборочных операций при радиальном выдавливании: 1 и 2 – соединенные детали

состоянии ступенчатые и удлиненные детали из жаропрочных и других малопластичных сплавов, пустотелые детали со сложной конфигурацией внутренней поверхности, детали с отверстиями малых диаметров на большой длине, выполнять сборочные операции.

Сборкой получают детали из двух втулок, втулки и стержня и деталей других типов различного поперечного сечения.

При холодной обработке параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,08$ мкм, при горячей $Ra = 5 \dots 1,25$ мкм; точность при холодной обработке соответствует 6 – 9-му качеству, при горячей обработке – 11 – 13-му качеству.

Некоторые данные, характеризующие точность заготовок при холодном и горячем радиальном обжатии, по зарубежным источникам представлены в табл. 48, а в табл. 49 представлены данные о припусках и допусках по отечественным данным при холодном деформировании.

Чертеж штампованной при радиальном обжатии заготовки выполняют с учетом припусков на последующую обработку и возможных перепадов ступеней. Припуск на диаметр предусматривают в случае необходимости последующей механической обработки. Припуск

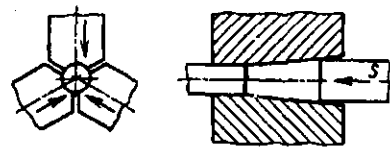
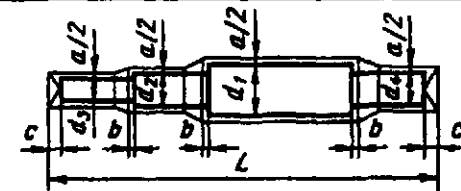


Рис. 32. Схема штамповки радиальным обжатием; с – подача заготовки

48. Точность при радиальном обжатии

Обработка	Диаметр и допуск, мм			Отклонение от прямолинейности наружного диаметра, мкм
	наружный		внутренний	
	прутка	трубы		
С нагревом	$60 \pm (0,1 \dots 0,2)$ $63,5 \pm 0,25$	– $152,4 \pm 0,25$	–	–
Холодная	–	$44 \pm 0,01$ $47 \pm 0,01$	$40 \pm 0,076$	30
С нагревом	–	$150 \pm 0,10$	$\pm 0,050$	–
Холодная	$12,7 \pm 0,025$ –	– $127 \pm 0,005$	–	± 50 –

49. Припуски и допуски (мм) на штамповку ступенчатого вала при холодном ротационном обжиме



Общая длина L (мм), твердость заготовки	Припуск	Диаметр заготовки, мм							
		5	6 – 10	11 – 15	16 – 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50	51 – 55
До 60	a	$0,75 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,1$	–	–	–	–	–
61 – 120		$1,50 \pm 0,1$	$0,75 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,1$	$0,50 \pm 0,1$	$0,50 \pm 0,1$	$0,75 \pm 0,10$	–	–
121 – 180		–	$1 \pm 0,1$	$0,75 \pm 0,1$	$0,75 \pm 0,1$	$0,75 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,10$	$1,5 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,5$
181 – 240		–	$2 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$1 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$	$2 \pm 0,5$
241 – 360		–	–	$2,5 \pm 0,2$	$2 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,5$
361 – 480		–	–	–	$2,5 \pm 0,5$	$2 \pm 0,5$	$2,1 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$
481 – 600		–	–	–	–	$3 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$	$3 \pm 0,5$
601 – 720		–	–	–	–	–	$4,0 \pm 0,5$	$3,5 \pm 0,5$	$3,5 \pm 0,5$
721 – 840		–	–	–	–	–	–	$4,5 \pm 0,5$	$4 \pm 0,5$
841 – 1000		–	–	–	–	–	–	$6 \pm 0,5$	$5 \pm 0,5$
Св. 1000		–	–	–	–	–	–	–	$6 \pm 0,5$
До 1000		b	$0,5 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,2$	$1 \pm 0,5$	$1 \pm 0,5$	$1,5 \pm 0,5$	2 ± 1	$2,5 \pm 1$
Св. 1000	–		–	–	2 ± 1	3 ± 1	4 ± 2	5 ± 2	6 ± 2
HRB < 83	c ¹	$5 \pm 0,5$	10 ± 1	15 ± 1	20 ± 1	$30 \pm 1,5$	$40 \pm 1,5$	$50 \pm 1,5$	65 ± 2
HRB > 83		$2,5 \pm 0,5$	$5 \pm 0,5$	$7 \pm 0,5$	10 ± 1	15 ± 1	20 ± 1	$25 \pm 1,5$	$30 \pm 1,5$

¹ Величина с для заготовок диаметром 5 – 15 мм относится к заготовкам с $L \leq 1000$ мм; для заготовок диаметром 16 – 55 мм величина с одинакова для $L \leq 1000$ мм и для $L > 1000$ мм.

Примечание. Припуск a на диаметры $d_1 - d_4$ одинаков.

с по длине (табл. 49) обусловлен появлением утяжек в процессе обжатия на концах заготовки, глубина которых при $\psi = 0,50 \dots 0,75$ составляет 50 – 100 % от диаметра концевой участка. С повышением прочности металла и увеличением степени деформации глубина утяжки уменьшается.

Редуцирование (рис. 34) применяют для формообразования сплошных и пустотелых ступенчатых деталей типа валов, осей, пальцев, а также для изготовления болтов, шпилек, шлицевых валов и т.п. из сталей с низким, средним и высоким сопротивлением деформированию. Достижимый параметр шероховатости поверхности $Ra = 0,16 \dots 0,04$ мкм; точность определяет относительное увеличение диаметрального размера, которое зависит от

марки стали и степени деформации и находится в пределах 0,15 – 0,45 % от диаметра матрицы. При редуцировании прямоугольных шлицев в жестких конических матрицах точность соответствует 6 – 10-му качеству. В табл. 50, 51 приведены нормы стойкости штампов холодной объемной штамповки.

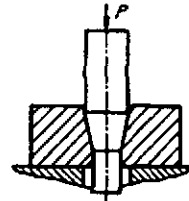


Рис. 34. Схема редуцирования в цельной матрице

50. Ориентировочные нормы стойкости штампов холодной объемной штамповки до полного износа, тыс. ударов

Штамп	Штампующий материал			
	Сталь мягкая	Латунь Л68, Л62	Медь и дюралюминий	Алюминий
Калибровочный гладкий	550	700	800	1500
Чеканочный рельефный	100	130	170	280
Высадочный (при диаметре заготовки 4 – 20 мм):				
матрица двусторонняя	10 – 25	20 – 35	20 – 50	–
конический пуансон	45 – 200	150 – 250	130 – 400	–
чистой пуансон двусторонний	50 – 300	140 – 360	110 – 480	–
Объемная формовка и калибровка:				
простой конфигурации	100	130	170	280
сложной конфигурации	50	70	100	150

51. Ориентировочные нормы стойкости штампов холодного выдавливания трубчатых деталей до полного износа, тыс. ударов

Толщина стенки детали, мм	Прямое выдавливание			Обратное и комбинированное выдавливание		
	Цинк и алюминий	Медь и дюралюминий	Латунь	Цинк и алюминий	Медь и дюралюминий	Латунь
0,5	40	–	–	30	–	–
0,75	60	30	–	50	20	–
1	80	45	25	60	35	15
1,5	100	65	45	70	45	25
2	120	90	60	80	60	35

Технологичность изделий. Желательно иметь осесимметричный внешний и внутренний контур заготовки. Сложный контур заготовки можно получить путем последовательного или совмещенного использования различных операций. У ступенчатых деталей минимальный размер уступа $a_{\min} = 0,03 \dots 0,05$ мм, наибольший размер определяется степенью деформации материала. Радиусы закругления r не менее 1 мм, а при многооперационной штамповке – не менее 0,3 мм (рис. 35, а). При размерах уступа св. 3 мм на уступе необходим уклон св. 27° (рис. 35, б). Торцовую поверхность, не оформляемую в штампе, не задают, а определяют по условиям течения.

Для заготовок типа стакана (рис. 35, в – е) внутренние радиусы сопряжения плоского дна со стенкой выбирают в зависимости от диаметра полости: $r = 1,5$ мм при $d \geq 10$ мм; $r = 2,5$ мм при $d = 30$ мм; $r = 3$ мм при $d \geq 60$ мм. Дно заготовки рекомендуется оформлять в виде

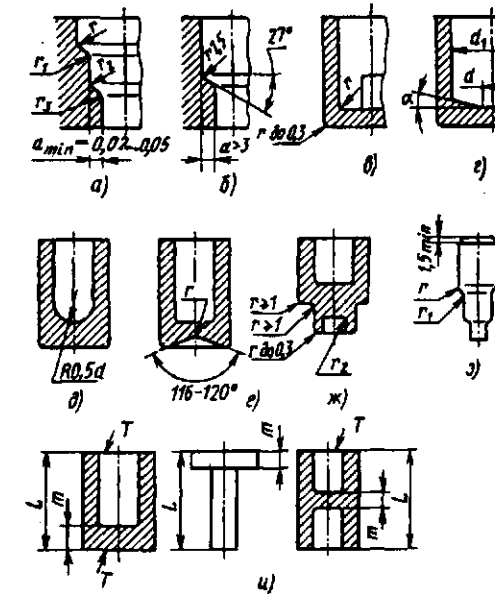


Рис. 35. Технологичность элементов заготовки при холодной объемной штамповке выдавливанием: а – закругления внутренних уступов; б – уклон $\geq 27^\circ$ при $a > 3$ мм; в – плоское дно; г – дно с уклоном $\alpha = 3 \dots 270^\circ$ и плоской площадкой; д – сферическое дно; е – углубление на наружной поверхности дна; ж – углубление до 2 мм в выступе дна; з – простановка размеров на сплошных ступенчатых стержневых деталях; и – простановка линейных размеров; Т – торец, не оформляемый в штампе

поверхности усеченного конуса с $\alpha = 3 \dots 27^\circ$ при отношении диаметров $d_1/d = 2$. Дно может быть сферическим с радиусом сферы, равным половине диаметра цилиндра или больше его. На внутренней поверхности дна может быть выдавлен стержень диаметром $d \geq 1,5$ мм и высотой меньше диаметра полости; радиус перехода $r \leq 1$ мм. Наружная поверхность дна может быть оформлена без обработки резанием. На наружной поверхности дна можно делать углубления различного поперечного сечения и глубиной до 2 мм без уклона; при большей глубине должен быть уклон $1^\circ 30'$. Внутренние радиусы r переходов в углублениях на дне 0,3 – 1 мм при высоте выступа соответственно больше или меньше 1 мм (рис. 35, ж).

Стержневые детали получают деформированием обычно по всему контуру, кроме отдельных элементов (канавок, отверстий с осью, перпендикулярной оси детали, и др.) (рис. 35, з). Радиус переходов на выступе $r \geq 1,5$ мм, во впадине $r_1 = 1$ мм. Торцовую поверхность детали, не оформляемую в штампе, не задают, а определяют по условиям течения; верхний торец может быть оформлен пуансоном точно и может иметь фаску или радиус закругления минимальных размеров ($\sim 1,5$ мм).

Простановка размеров производится по правилам, существующим для обработки резанием. Линейные размеры, параллельные оси детали, указывают от торцов детали, оформляемых в штампе (рис. 35, и). Торцы, не оформляемые в штампе, необходимо подрезать. Внутренние и внешние размеры ступенчатых деталей типа "стакан" связывают через толщину дна m .

Холодной листовой штамповке подвергают различные металлические и неметаллические материалы, поставляемые в виде листов, полос, лент и других профилей. Отклонения по толщине устанавливают ГОСТ 19903, ГОСТ 503, ГОСТ 1789.

Требования к материалам определяются основной формообразующей операцией: для разделительных операций, применяемых для изготовления плоских деталей, рекомендуют материалы с высоким пределом прочности при растяжении (1000 МПа, малым относительным удлинением ($\delta \leq 1\%$) и твердостью не более 100 HRB; для формообразующих операций – $\sigma_T/\sigma_B \leq 0,65$, относительное удлинение $\delta \geq 20 \dots 28\%$, твердость менее 65 HRB. Шероховатость холоднокатаной неполированной

поверхности $Ra = 1,25 \dots 0,63$ мкм, полированной — $Ra = 0,63 \dots 0,15$ мкм.

При гибке форму заготовки получают путем развертки элементов детали на плоскость. Размеры ее находят суммированием длин прямолинейных и криволинейных участков. При многоугольной гибке сложных деталей размеры заготовки уточняют экспериментальным путем.

При вытяжке осесимметричных деталей заготовкой является круг, площадь которого равна площади поверхности детали с учетом площади отходов. При толщине детали более 1 мм расчет производят по средней линии. При многооперационной вытяжке деталей с квадратным поперечным сечением с $H/B > 0,7 \dots 0,8$ и прямоугольным в плане с соотношением сторон $a : b = 1,1 \dots 1,15$, форма заготовки — круг, где H — высота; a и b — длина и ширина детали.

Для вытяжки с утонением и комбинированной вытяжки заготовка должна иметь плавный оптимальный контур (круг — для круглой и квадратной деталей, эллипс или овал для прямоугольной или эллиптической детали). Диаметр заготовки $D = \sqrt{\frac{4V}{\pi S}}$, где V — объем детали с учетом припуска на обрезку; S — толщина материала.

52. Допуски (мм) на ширину ленты при отрезке на многодисковых ножницах

Толщина, мм	Ширина ленты (полосы), мм					
	До 100	Св. 100 до 300	Св. 300	До 100	Св. 100 до 300	Св. 300
	Нормальная точность			Повышенная точность		
0,1	0,10	0,15	0,25	0,05	0,08	0,15
Св. 0,1 до 0,63	0,20	0,30	0,40	0,10	0,15	0,25
» 0,63 » 1	0,30	0,40	0,50	0,20	0,26	0,35
» 1 » 3,6	0,40	0,50	0,60	0,30	0,35	0,45

53. Допуски (мм) на ширину полос при отрезке на гильотинных ножницах (принятые в машиностроении)

Толщина, мм	Ширина полосы, мм						
	До 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200	Св. 200 до 400	Св. 400 до 700	Св. 700 до 1000	Св. 1000 до 1500
До 1	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,5
Св. 1 до 3	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2
» 3 » 6	0,8	1	1,2	1,8	1,8	2	2,5
» 6 » 10	1,1	1,3	1,5	2,2	2,2	2,7	3,3
» 10 » 15	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	3	3,5
» 15 » 20	1,5	1,8	2,0	2,5	3	3,5	4

При отбортовке размеры отверстия определяют из условия равенства длин развертки детали и заготовки.

При обжиге высоту заготовки находят из условия равенства объемов заготовки и обжатой части детали по формуле Ю. А. Аверкиева.

Ширина полосы (ленты) зависит от формы и размеров заготовки, способа раскладки и условий штамповки. Раскладку следует выбирать такой, чтобы получить наибольший коэффициент использования материала.

Коэффициент использования материала $\eta = V_d / V_z$ или $\eta = F_d N / (BL)$, где V_d — объем детали; V_z — объем заготовки; F_d — площадь детали; N — число деталей; B и L — ширина и длина листа (ленты) соответственно.

Отрезка листов выполняется на ножницах с параллельными и наклонными режущими кромками, а также на парнодисковых, отрезка широких лент — на многодисковых ножницах. Отрезку выполняют также на штампах. Допуски при отрезке на многодисковых и гильотинных ножницах приведены в табл. 52 — 54. Допуск при отрезке на штампах заготовок толщиной до 3 мм соответствует 12 — 13-му качеству, толщиной 3-5 мм — 14-му качеству, толщиной более 5 мм — 14 — 16-му качеству.

54. Допуски (мм) на ширину полос при отрезке на гильотинных ножницах (принятые в приборостроении)

Ширина, мм	Толщина, мм				
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 10
До 50	0,4	0,5	0,7	0,9	1,8
Св. 50 до 100	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0
» 100 » 150	0,6	0,7	0,9	1,1	2,5
» 150 » 220	0,7	0,8	1,0	1,2	3,0
» 220 » 300	0,8	0,9	1,1	1,3	4,0

Шероховатость поверхности среза по толщине неодинакова (рис. 36) и изменяется от $Ra = 2,5 \dots 1,25$ мкм в зоне среза до $Rz = 80 \dots 40$ мкм в зоне скола. В зоне скола наблюдаются микротрещины. Упрочнение распространяется на ширину до 0,6 — 0,7 толщины заготовки от поверхности разделения. Минимальная ширина отрезаемой заготовки должна быть $2S$ или более.

При вырубке и пробивке (рис. 37) минимальный зазор между пуансоном и матрицей (2 — 8 % толщины) обеспечивает получение деталей высокого качества при увеличенных усилиях и пониженной стойкости штампа. Максимальный начальный зазор (до 22 % толщины) обеспечивает получение деталей хорошего и удовлетворительного качества при пониженных усилиях и повышенной стойкости штампа (табл. 55 — 58). Стойкость штампа определяется допустимой величиной торцевого заусенца, который увеличивается с возрастанием зазора между пуансоном и матрицей по мере их изнашивания.

Вырубленная и пробитая заготовка почти по всему объему деформирована и имеет прогиб, для устранения которого применяют правку.

Ширина узких и длинных вырезов или прорезей должна быть не менее $1 - 1,5$ толщины металла [$b \geq (1 \dots 1,5)S$].

Вырубку длинных и узких деталей постоянной ширины при $b \leq 3S$ рекомендуется заменять расплющиванием проволочных заготовок.

Технологические требования к конструкции некоторых элементов детали представлены на рис. 38. Для гетинакса и текстолита диаметр d или ширина c отверстия равны $(0,40 \dots 0,35)S$.

Наименьшее расстояние a между последовательно пробиваемыми отверстиями и расстояние от края детали до отверстия равны S для круглых отверстий и несколько больше для прямоугольных отверстий. Наименьшее расстояние между одновременно пробиваемыми отверстиями $(2 \dots 3)S$.

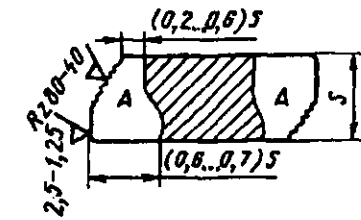


Рис. 36. Шероховатость поверхности, достигаемая при отрезке заготовок на ножницах: А — упрочненный металл

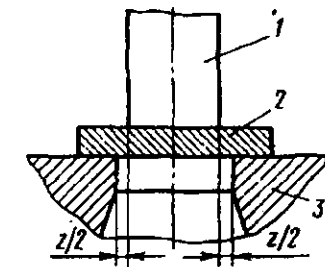


Рис. 37. Схема вырубке (пробивки): 1 — пуансон; 2 — заготовка; 3 — матрица; z — зазор

55. Отклонения (мм) размеров заготовок при вырубке

Толщина детали, мм	Диаметр детали, мм			
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 200	Св. 200 до 500
Св. 0,2 до 0,5	$\pm 0,10$	$\pm 0,15$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
» 0,5 » 1	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$
» 1 » 2	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$
» 2 » 3	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$
» 3 » 4	$\pm 0,40$	$\pm 0,50$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$
» 4 » 6	$\pm 0,50$	$\pm 0,60$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$

56. Отклонения (мм) диаметра отверстия

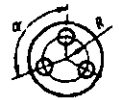
Толщина детали, мм	Диаметр отверстия, мм		
	До 10	Св. 10 до 50	Св. 50 до 100
До 2	±0,06	±0,08	±0,10
Св. 2 » 4	±0,08	±0,10	±0,12
» 4	±0,10	±0,12	±0,14

57. Отклонения (мм) расстояния между осями пробиваемых отверстий (межосевой размер) и от баз до оси (базовый размер)

Толщина детали, мм	Межосевой размер, мм		
	До 120	Св. 120 до 220	Св. 220 до 360
До 2	±0,15	±0,20	±0,25
Св. 2 до 4	±0,20	±0,25	±0,30
» 4	±0,25	±0,30	±0,40

Толщина детали, мм	Базовый размер, мм			
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 220	Св. 220 до 360
До 2	±0,50	±0,60	±0,7	±0,8
Св. 2 до 4	±0,60	±0,70	±0,8	±1,0
» 4	±0,70	±0,80	±1,0	±1,2

58. Допуски на угловые размеры между осями отверстий, расположенных по окружности

Эскиз	R, мм	Допуск на α
	До 6	±3°
	» 10	±2°30'
	10 – 18	±2°
	18 – 30	±1°30'
	30 – 50	±1°
	50 – 80	±45'
	80 – 120	±40'
	120 – 180	±30'
Св. 180	±30'	

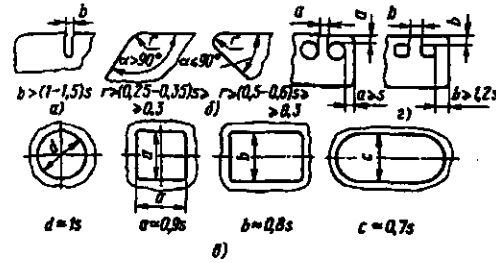


Рис. 38. Технологические требования к некоторым элементам деталей при вырубке и пробивке: *a* – ширина прорезей; *b* – радиус закругления; *e* – размеры отверстий; *z* – расстояние между последовательно пробиваемыми отверстиями

При чистой вырубке и пробивке получают заготовки толщиной 1,5 – 20 мм и более с поверхностью среза, перпендикулярной к плоскости детали, и параметром шероховатости $Ra = 3,2 \dots 1,6$ мкм, точностью 6-9-го качества. Из многих способов наиболее совершенным является способ вырубке со сжатием заготовки по периметру разделения прижимом с ребром на специальных гидравлических прессах тройного действия или на универсальных прессах со специальными штампами. Одновременно при вырубке можно пробивать отверстия с теми же показателями качества. При чистой вырубке расход металла обычно повышенный.

Усилие при чистой вырубке (пробивке) в 1,5 – 3 раза, а работа – в 2 – 2,5 раза выше, чем при обычной вырубке (пробивке).

Зачистку по наружному и внутреннему контуру путем снятия тонкой стружки применяют для заготовок толщиной 0,5 – 10 мм с максимальными размерами в плане 200 × 200 мм после предварительной правки (табл. 59).

59. Допуски (мм) при зачистке по наружному контуру

Толщина, мм	Длина (диаметр), мм		
	До 10	10 – 50	50 – 100
До 1	+0,012	+0,020	+0,025
Св. 1 » 2	+0,020	+0,025	+0,035
» 2 » 4	+0,025	+0,030	+0,045
» 4 » 6	–	+0,040	+0,055
» 6 » 10	–	+0,055	+0,065

При небольшой толщине детали и повышенной точности изготовления штампа можно получить заготовки 6 – 7-го качества. Шероховатость поверхности среза стальных деталей $Ra = 2,5 \dots 0,63$ мкм, деталей из цветных металлов и сплавов $Ra = 0,63 \dots 0,32$ мкм.

Зачистку отверстий снятием припуска применяют для заготовок толщиной 1 – 3 мм с отверстием диаметром до 3 мм. При диаметре заготовок св. 3 мм и толщине до 3 мм пробивку и зачистку совмещают. При большей толщине заготовок используют калибровку шариком или дорном.

Припуск на калибровку на 5 – 10 % меньше припуска для однократной зачистки, но не больше 0,05 – 0,15 мм на сторону. Стальные заготовки предварительно фосфатируют или меднят.

Оптимальный радиус гибки $R \geq S$ для материалов толщиной до 1,5 мм; $R \geq 2S$ для материалов толщиной св. 1,5 мм. Минимальный радиус зависит от расположения линии гибки относительно направления проката, состояния материала (отожженный, наклепанный), угла гибки и находится в пределах 0,1 – 4 толщины заготовки. При гибке на угол больше 90° радиус гибки следует увеличивать в 1,1 – 1,3 раза. При наличии заусенцев в зоне растяжения радиус следует увеличивать в 1,5 – 2 раза.

Для получения меньших радиусов гибки в зоне гибки необходимо выдавливать канавки глубиной $h = (0,1 \dots 0,3)S > 3$ мм и шириной $h = (0,4 \dots 1,0)S > 2$ мм или (рис. 39) чеканить угол.

Радиусы, оформляемые матрицей (например, в скобе с горизонтальными полочками, штампуемой за один переход), должны быть больше $3S$. Для получения меньшего радиуса рекомендуется применять калибровку. Допуски на угол гибки приведены в табл. 60, допуски на длину полочек – по 12 – 14-му качеству. Шероховатость поверхности в зоне гибки увеличивается по сравнению с исходной.

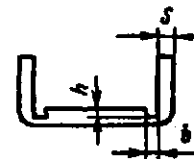


Рис. 39. Эскиз детали с выдавленными канавками при радиусах гибки меньше допустимых

60. Допуски на угол гибки при гибке с чеканкой

Материал	r/S		
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 4
Сталь и латунь мягкие, $\sigma_s \leq 300$ МПа	±15'	±30'	±1°
Сталь средней твердости, $\sigma_s = 400$ МПа; латунь полутвердая, $\sigma_s = 350$ МПа	±30'	±1°30'	±3°
Сталь твердая, $\sigma_s = 600$ МПа; бронза оловянная	–	±3°	±5°

При гибке в зоне деформации толщина детали уменьшается с уменьшением r/S . Длина b плоской части полочки должна быть не менее двух толщин материала (рис. 40, а). Более короткую полочку получают путем обрезки. Расстояние b от края отверстия до закругления должно быть не менее двух толщин заготовки (рис. 40, б). При меньшем расстоянии следует пробивать отверстие после гибки или на

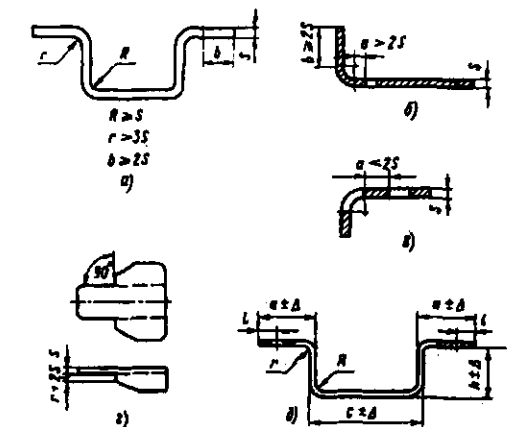


Рис. 40. Технологические требования к некоторым элементам детали при гибке: *a* – радиусы закругления и длина полочек; *b* – расстояние от линии сопряжения до края отверстия; *e* – наличие отверстия в зоне деформирования; *z* – угол между линией гибки и стороной полочки 90°; *d* – простановка размеров и допусков

перегибе предусматривать отверстие, предохраняющее от искажения основного отверстия (рис. 40, е). Длина линий гибки П-образных заготовок должна быть одинаковой, а высота плоской части полочки может быть неодинаковой по длине линии гибки, но должна быть не менее двух толщин. Размеры a, c, h, l проставляют, как указано на рис. 40, д. Отклонения размеров полочек проставляют симметрично.

В массовом производстве применяют универсально-гибочные автоматы для изготовления деталей (заготовок) из проволоки диаметром до 6 мм и ленты толщиной до 2 мм и шириной до 70 мм.

Число операций вытяжки (рис. 41) для достижения заданного диаметра определяется по суммарному коэффициенту вытяжки, равному произведению всех пооперационных коэффициентов.

Полуоткрытые несимметричные полые заготовки следует изготавливать вытяжкой с последующей разрезкой полученной заготовки на части. При вытяжке заготовки сложной конфигурации необходимо предусмотреть тех-

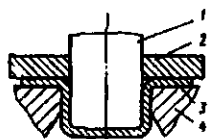


Рис. 41. Схема вытяжки: 1 – пуансон; 2 – прижим; 3 – заготовка; 4 – матрица

61. Отклонения (\pm мм) по высоте цилиндрических заготовок с фланцем

Толщина, мм	Высота заготовки, мм						
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260
До 1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
Св. 1 до 2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4
» 2 » 4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,4	1,6
» 4 » 6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,6	1,8

62. Отклонения (\pm мм) по высоте цилиндрических заготовок без фланца

Толщина, мм	Высота заготовки, мм						
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 260
До 1	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8
Св. 1 до 2	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0
» 2 » 4	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5
» 4 » 6	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0

нологические базы для ее фиксирования. Края отверстия в дне и фланце не должны выходить на закругленные кромки детали. При простановке размеров следует указывать контролируемый диаметр (внутренний или наружный). Размеры уступов ступенчатой заготовки, а также различных элементов, формируемых на цилиндрической поверхности, рекомендуется задавать от наружной поверхности дна.

Точность заготовок по диаметру при вытяжке ориентировочно оценивается 11 – 12-м качеством, а по высоте – см. табл. 61, 62. Шероховатость поверхности деталей увеличивается по сравнению с исходной.

При вытяжке с утонением наружный диаметр заготовки в зависимости от условий вытяжки может быть больше, меньше или равен диаметру матрицы; точность оценивается 7 – 9-м качеством, точность толщины стенки – 7 – 11-м качеством. Шероховатость наружной поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,08$ мкм.

При комбинированной вытяжке одновременно уменьшается диаметр заготовки и толщина стенки. Заготовка может быть плоской и полый. Комбинированная вытяжка по сравнению с вытяжкой с утонением позволяет получить в 2 – 3 раза большую высоту заготовки за одну вытяжку. Точность наружного диаметра соответствует 7 – 8-му качеству с минусовым отклонением его по всей длине по сравнению с диаметром матрицы. Точность толщины стенок соответствует 7 – 11-му качеству.

Вытяжку с нагревом (рис. 42) используют для алюминиевых, магниевых и титановых сплавов. В этом случае за один переход можно получить примерно в 2 раза большую высоту заготовки, чем при холодной вытяжке.

При отбортовке отверстий для изготовленной борта под резьбу, сборку и др. (рис. 43, а) высота борта, образуемая за один переход,

$$H_{\max} = \frac{D - d_0}{2} + 0,43R.$$

Предварительная вытяжка способствует получению большей высоты борта (рис. 43, б).

Рельефную формовку (рис. 44) применяют для образования на поверхности деталей различных по форме элементов жесткости вследствие растяжения металла и уменьшения его толщины.

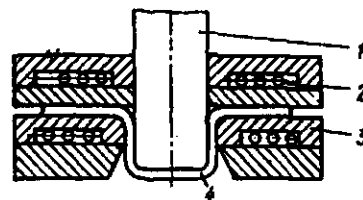


Рис. 42. Схема вытяжки с нагревом: 1 – пуансон с водоохлаждающими каналами; 2 – электронагревательные элементы; 3 – матрица; 4 – заготовка

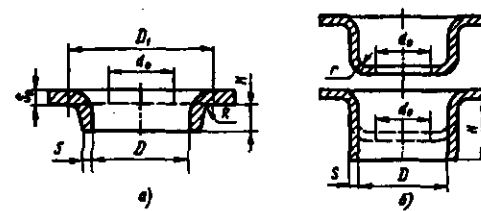


Рис. 43. Схемы отбортовки плоской заготовки (а) и заготовки, полученной вытяжкой (б)

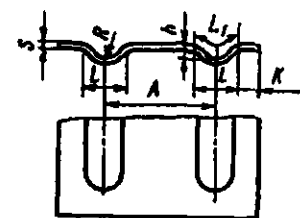


Рис. 44. Геометрические параметры элементов, изготавливаемых при рельефной формовке: $R \geq 3S$, $A \leq 2S$, $A \geq 3L$, $K \geq 3S$, $L \geq 7S$

Правку листов и полос выполняют на специальных станках или вальцах, обеспечивающих растяжение или многократный изгиб. Плоские детали и заготовки правят в штампах или на специальных станках; детали, полученные гибкой, вытяжкой и другими способами, правят в штампах (гладких, точечных и вафельных). В гладких штампах правят детали из мягких материалов при невысоких требованиях к точности; в точечных и вафельных – детали из всех материалов.

Комбинированная штамповка позволяет увеличить производительность в 3 – 15 раз. Ее выполняют на универсальных и многопозиционных прессах. При комбинированной штамповке на универсальных прессах используют штампы последовательного и совмещенного действия. В штампе последовательного действия переходы строят так, что штампуемая деталь от ленты (полосы) отделяется на последнем переходе. Последовательным способом штамповки можно выполнять практически все операции листовой штамповки.

При совмещенной штамповке число переходов ограничивается возможностью конструктивного размещения формообразующих элементов в штампе с учетом их прочности и надежности в эксплуатации.

При последовательной штамповке почти во всех случаях расход металла повышенный, отклонения расположения элементов контура детали выше, чем при совмещенной. Комбинированную совмещенную штамповку рекомендуется применять при изготовлении крупных деталей, так как стоимость одного крупного совмещенного штампа в несколько раз меньше стоимости нескольких однооперационных штампов для выполнения тех же операций. Комбинированную штамповку применяют в крупносерийном и массовом производстве (табл. 63).

В мелкосерийном производстве применяют штамповку по элементам контура и комплексную штамповку, при которой контур детали получают за один ход полузна пресса.

Применяют следующие способы штамповки: 1) в специальных штампах (используют только при изготовлении сложных и трудоемких деталей); 2) поэлементную на универсальных штампах (позволяет получать элементы контура детали последовательно); 3) на универсальных блоках со сменными пакетными (стоимость блоков равна 30 – 60 % стоимости универсального штампа); 4) листовыми и пла-

63. Способы комбинированной штамповки

Квалитет	Размеры деталей, мм		
	300 – 1000	50 – 200	До 50
8 – 11	Совмещенный	Совмещенный	Совмещенный, иногда последовательный с калибровкой
12 – 13		Совмещенный или последовательный	Последовательный
14 – 15	–	Последовательный	

стинчатыми штампами; 5) на специализированном штамповочном оборудовании (координатно-револьверных прессах, вибрационных ножницах, комбинированных пресс-ножницах, кромкогибочных прессах и т.д.); 6) на универсально-сборных штампах (УСШ); 7) пуансоном или матрицей с эластичной рабочей средой – полиуретаном.

Наиболее приемлемой для машиностроения в большинстве случаев является штамповка на универсально-сборных штампах. УСШ собирают из комплекта одних и тех же элементов для различных штампуемых деталей. Время на проектирование и сборку УСШ составляет 2 – 8 ч вместо 3 – 4 недель. Проектируют и изготавливают только рабочие детали.

64. Ориентировочные границы рационального применения основных способов штамповки в мелкосерийном производстве

Штамповка	Число выпускаемых деталей	
	наименьшее	наибольшее
На универсальных штампах	5 – 10	5000 – 16 000
На координатно-револьверных прессах	3 – 5	3000 – 5000
На упрощенных специальных штампах:		
с эластичной матрицей	30 – 50	2000 – 8000
с сопряженными рабочими частями	300 – 600	20 000 – 50 000

Примечания: 1. Наименьшие значения даны для крупногабаритных и сложных деталей, наибольшие – для малогабаритных и простых.

2. Приведенные данные не относятся к деталям повышенной точности и сложной формы, которые изготавливают на специальных штампах.

Разработана система УСШ, представляющая собой набор универсальных и стандартизованных элементов и узлов 55 типов и 230 типоразмеров. По технологическому назначению различают компоновку из элементов УСШ для вырубки, пробивки, отрезки, разрезки, гибки, вытяжки, отбортовки, формовки. Точность размеров деталей 10 – 12-го квалитета.

В табл. 64 приведены экономически целесообразные границы применения основных способов листовой штамповки в мелкосерийном производстве.

Отклонения размеров деталей при штамповке по кондуктору на координатно-револьверных прессах, в том числе с программным управлением, приведены в табл. 65 – 67.

65. Отклонения размеров (мм) или качество точности элементов деталей, штампуемых на координатно-револьверных прессах с программным управлением

Элементы	Толщина заготовки, мм		
	До 0,8	0,8 – 2	2 – 3
Контур, полученный обрезкой	$\pm 0,12$	$\pm 0,16$	$\pm 0,2$
Отверстие, образованное несколькими ударами пуансона	$\pm 0,16$	$\pm 0,2$	$\pm 0,25$
Отверстие, образованное одним ударом пуансона	11	12 – 13	12 – 13
Контур, образованный одним ударом пуансона	12 – 13	12 – 13	14

66. Отклонения (мм) расположения отверстий при пробивке на координатно-револьверных прессах с ручным управлением

Способ пробивки отверстия	Способ фиксации заготовки	Толщина заготовки, мм		
		До 0,8	0,8 – 2	2 – 3
Без поворота револьверной головки	По оптическому микрометру	$\pm 0,06$	$\pm 0,07$	$\pm 0,08$
	По шаблону	$\pm 0,1$	$\pm 0,11$	$\pm 0,12$
С поворотом револьверной головки	По оптическому микрометру	$\pm 0,14$	$\pm 0,15$	$\pm 0,16$
	По шаблону	$\pm 0,18$	$\pm 0,19$	$\pm 0,20$

67. Отклонения (мм) взаимного расположения отверстий при штамповке по кондуктору

Толщина, мм	Комплексная штамповка отверстия		Позлементная штамповка отверстия	
	круглого	некруглого	круглого	некруглого
До 1	$\pm 0,1$	$\pm 0,16$	$\pm 0,2$	$\pm 0,25$
1 – 2	$\pm 0,12$	$\pm 0,20$	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$
2 – 4	$\pm 0,16$	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$

Координатно-револьверные прессы позволяют одновременно установить от 18 до 32 сменных комплектов инструментов-штампов (в зависимости от модели прессы), что способствует сокращению затрат на установку и фиксацию инструмента в рабочей позиции и времени на позиционирование заготовки. Прессы бывают с ручным и программным управлением. Позиционирование на прессе с ручным управлением осуществляют с помощью координатных линеек, специальных и универсальных шаблонов. При работе по координатным линейкам затраты времени велики. При работе со специальным шаблоном обеспечивается

более высокая производительность, но для каждой детали проектируется и изготавливается свой шаблон. Универсальные шаблоны содержат гнезда под фиксирующие пальцы, изготовленные с определенным шагом; их применение ограничивается тем, что шаг отверстий на детали должен быть кратным шагу отверстий на шаблоне.

Координатно-револьверные прессы с программным управлением имеют две системы программного управления: с записью программы по первой изготавливаемой детали (мод. РКП 20/18-ПУ-02) и с записью предварительно разработанной программы на дискете (мод. КО126Б).

Комплексная штамповка эластичной средой позволяет выполнять разделительные и формообразующие операции (рис. 45). При вырубке и пробивке толщина S штампуемого материала обычно до 2 мм, точность размеров деталей – не выше 12-го квалитета. При вырубке расход металла повышенный. При гибке точность угловых размеров выше, а пружинение меньше (табл. 68, 69).

Размеры ребер жесткости при рельефной формовке должны соответствовать значениям, указанным в табл. 70. Расстояние между осями ребер жесткости должно быть не менее $40S$, а расстояние от оси ребра жесткости до края заготовки – не менее $150S$, причём у этого края возможна утяжка материала в сторону оси. Утонение металла в местах ребер жесткости составляет 10 – 15 % исходной толщины.

Ротационную вытяжку применяют в условиях, когда изготовление штампов экономически невыгодно, а также для изготовления пустотелых деталей выпукло-вогнутой формы

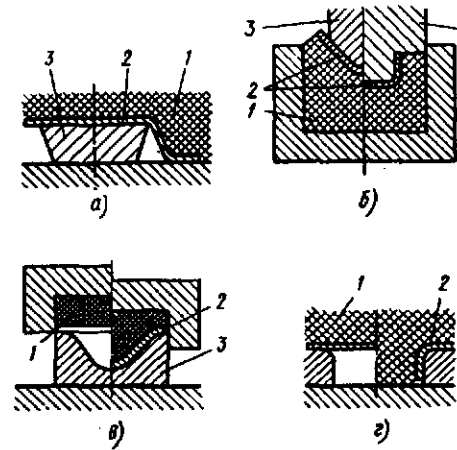


Рис. 45. Схемы операции при штамповке с использованием полиуретана: а – вырубка; б – гибка в открытом и закрытом объеме; в – вытяжка; г – отбортовка; 1 – полиуретан; 2 – формируемая деталь; 3 – инструмент, формирующий деталь

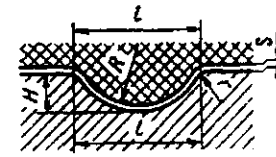
68. Поля допусков размеров деталей при гибке с использованием полиуретана

Толщина S , мм	Элементы профиля		
	A	H	l
До 1	H7 – H11	H11 – H13	h12 – h14
Св. 1 до 1,5	H11 – H13	H11 – H13	h14 – h15
» 1,5 » 2	H11 – H13	H13 – H14	h15 – h16
» 2 » 3	H13 – H14	H14 – H15	–

69. Предельные отклонения (мм) радиусовгиба при вершине угла

Номинальные радиусы, мм	Толщина материала, мм	$\sigma_s \leq 300$ МПа		$\sigma_s \geq 300$ МПа	
		Отношение радиуса к толщине материала R/S			
		До 1,5	Св. 1,5 до 3	Св. 1,5 до 3	Св. 3
От 1 до 3	0,5	–	0,20	0,30	0,30
	1,0	0,50	0,50	0,60	–
	2,0	1,00	–	–	–
	3,0	2,00	–	–	–
	4,0	4,00	–	–	–
Св. 3 до 6	0,5	–	–	–	0,40
	1,0	–	0,50	0,50	0,60
	2,0	0,80	0,90	1,00	–
	3,0	1,00	1,10	1,30	–
	4,0	1,00	–	–	–
Св. 6 до 10	0,5	–	–	–	0,60
	1,0	–	–	–	0,70
	2,0	–	0,60	0,80	1,00
	3,0	–	0,80	1,50	1,80
	4,0	0,80	1,00	2,00	–

70. Рекомендуемые размеры ребер жесткости



Материал	σ_{10} , %	r/S	R/H
Титановые сплавы	До 9	2,8–4	0,5
Алюминиевые сплавы		0,8–4	1
Стали: мягкие	Св. 10	1,5–2,8	0,7–1
твердые		1,7–2,9	0,8

Примечание. Отклонение размеров ребер жесткости: по высоте $H \pm 0,5$ мм, радиусам r и $R \pm 1,5$ мм, длине $l \pm (3 \dots 5)$ мм.

со стенками переменной толщины из алюминиевых, медных, молибденовых и титановых сплавов, углеродистых и коррозионно-стойких сталей и других материалов. Процесс деформирования может протекать без изменения и с изменением толщины стенки. При этих процессах деформируются заготовки толщиной до 75 мм из алюминиевых сплавов и толщиной до 38 – 20 мм из сталей. Заготовками могут быть листы, трубы, отливки, сварные элементы конструкции, штампованные заготовки с предварительной механической обработкой.

Ротационная вытяжка при выполнении операции обкатки (рис. 46, а – в) позволяет деформировать плоскую заготовку для получения полых деталей; при раздаче (рис. 46, г – е) полых деталей получают небольшие плоские фланцы, небольшое увеличение диаметра на некоторой длине; при обжиме (рис. 46, ж, з) на 'небольшом участке уменьшают периметр полый заготовки, получают горловины и другие подобные элементы. С помощью ротационной вытяжки получают точные размеры и форму, а также гладкую поверхность детали путем ее обжима роликом. Выполняют также завивку кромок.

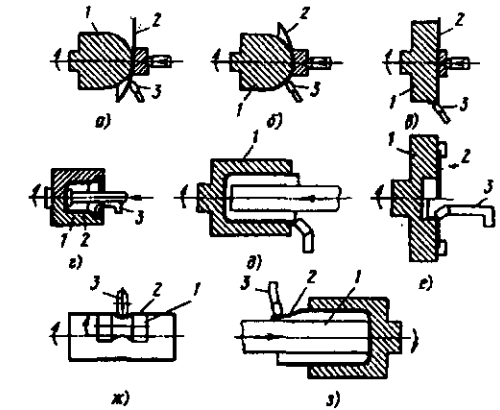


Рис. 46. Основные виды ротационной вытяжки: а – в – обкатка; г, д – раздача; е – отбортовка; ж, з – обжим; 1 – оправка; 2 – заготовка; 3 – инструмент

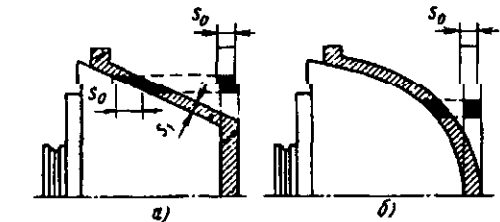


Рис. 47. Схемы ротационной вытяжки деталей конической (а) и сложной формы (б) из плоской заготовки

Ротационной вытяжкой (рис. 47) получают детали конической, криволинейной и цилиндрической формы высокой точности (табл. 71), с шероховатостью поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,15$ мкм. На давольно-раскатных станках можно получать детали диаметром до 4000 мм, длиной 8000 – 30 000 мм, с толщиной стенок до 0,25 – 1 мм.

71. Допуски при ротационной вытяжке

Измеряемый параметр	Допуск (\pm), мм
Толщина стенки	0,05
Внутренний диаметр, мм:	
до 150	0,05
св. 150	0,075
Длина	0,12
Отклонение от соосности наружного и внутреннего диаметра	0,05

В условиях мелкосерийного производства ротационную вытяжку выполняют на токарных станках; в условиях серийного производства — на специальных давилно-раскатных станках.

Обтяжку применяют в мелкосерийном производстве облицовочных и других деталей автомобилей, самолетов из листовых заготовок или предварительно выгнутых профилей. Детали из алюминиевых и магниевых сплавов изготавливают толщиной до 3,5 мм, а из низкоуглеродистой и коррозионно-стойкой сталей — толщиной до 1,5 мм. Отклонение размеров деталей от размеров пуансона соответствует 0,5–0,7 мм при толщине листа 1–2 мм и 1–2 мм при толщине листа 3–5 мм.

Сваркой изготавливают детали, состоящие из элементов, полученных штамповкой. Выбор материалов для отдельных элементов определяется технологическими требованиями рациональной технологии обработки давлением и сварки.

Штамповочные операции широко применяют в массовом и серийном производстве. Неразъемные соединения (клепка, холодная сварка, соединение "в замок", отбортовка, обжимка, полая высадка) обеспечивают прочное надежное крепление. Запрессовка и отгибка шипов и лапок являются разъемными соединениями.

Высокоэнергетические импульсные методы листовой штамповки. При гидровзрывной штамповке энергия взрыва передается заготовке через ударную волну и движение гидропотока. Передающей средой может быть жидкость, сыпучая, вязкая или твердая среда.

Деформируемые листовые или трубчатые заготовки можно подвергать пробивке, вытяжке, рельефной формовке, раздаче, обжиму, отбортовке и др. (рис. 48). Возможно также формообразование при нагреве заготовки передающей средой (песком). Для взрыва используют бризантные и метательные взрывчатые вещества. Взрыв можно производить в стационарном или съемном (разовом) бассейне. Для формообразования используют один инструмент — матрицу или пуансон; для вытяжки и рельефной формовки — матрицу; для обжима — пуансон.

Точность деталей характеризуется отклонениями от размеров матрицы. Для осесимметричных днащ:

Диаметр, мм	до 300	300–750
Отклонение, мм	0,3–0,8	0,5–1
Диаметр, мм	750–1000	1000–1500
Отклонение, мм	0,75–1,5	1,2–2

При электрогидравлической штамповке деформация заготовки происходит под действием ударной волны, давления и сопутствующего потока. Энергия электрического разряда в жидкости более эффективно используется при размещении рабочих электродов не в открытой емкости для формоизменения заготовки (рис. 49, а), а в замкнутой камере (рис. 49, б) или внутри самой заготовки (рис. 49, в), в камере, закрытой с двух сторон крышками. Этим методом выполняют вытяжку плоских заготовок, отбортовку, раздачу трубчатых заготовок, оформление ложного контура на листовых и трубчатых заготовках, калибровку, пробивку и др.

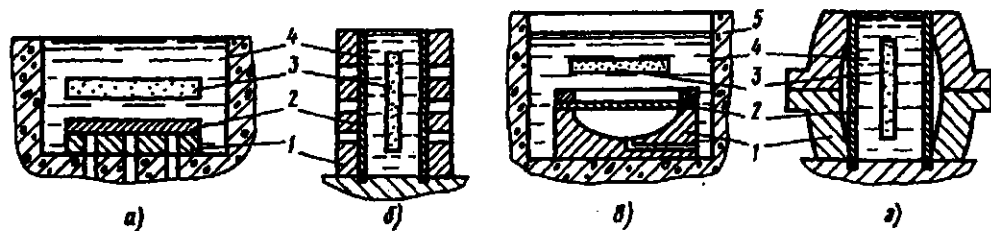


Рис. 48. Схемы штамповки взрывом плоской и трубчатой заготовок: а — пробивка отверстий в листовой заготовке; б — пробивка отверстий в трубчатой заготовке; в — вытяжка полусферы из листовой заготовки; г — формовка-раздача трубчатой заготовки; 1 — матрица; 2 — заготовка; 3 — ВВ; 4 — передающая среда (вода); 5 — бассейн с рабочей средой

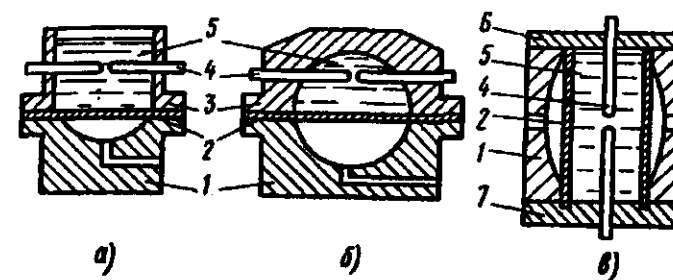


Рис. 49. Схемы электрогидравлической штамповки: а — плоской заготовки в открытой емкости; б — плоской заготовки в замкнутой емкости; в — трубчатой заготовки в замкнутой емкости; 1 — матрица; 2 — заготовка; 3 — емкость; 4 — электрод; 5 — вода; 6, 7 — верхняя и нижняя крышки

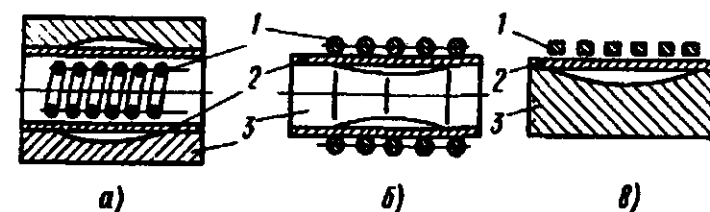


Рис. 50. Схемы импульсной магнитной штамповки: а — раздача трубчатой заготовки; б — обжим трубчатой заготовки; в — штамповка-формовка плоской заготовки; 1 — индуктор; 2 — заготовка; 3 — матрица (оправка)

Штамповку импульсным магнитным полем применяют для обжима и раздачи трубчатых заготовок, калибровки трубчатых деталей, формовки рифлений, вырубки плоских деталей, пробивки отверстий в деталях из различных металлов и сплавов, сборки. Для обработки предпочтительны металлы и сплавы с высокой электрической проводимостью. Материалы с недостаточно высокой электрической проводимостью (углеродистые и коррозионно-стойкие стали) деформируют через передающую среду или через спутник — промежуточный материал с высокой электропроводностью, помещаемый на заготовку. Толщина заготовок: 1,5–2 мм для стали, 1,7–2,5 мм для латуни, 2–3 мм для алюминиевых и магниевых сплавов.

Схемы выполнения некоторых операций показаны на рис. 50. Основным рабочим инструментом является индуктор однократного использования для единичного производства или индуктор многократного использования

для серийного производства. Для увеличения прочности индукторов и придания им универсальности служат концентраторы магнитного поля.

Стойкость штампа и себестоимость заготовок. В табл. 72 приведена стойкость штампов для листовой штамповки.

В себестоимости листоштампованной детали стоимость материала составляет 70–90% в зависимости от сложности конфигурации детали и технологического процесса. Возможность экономичного применения выдавливания определяется на основе анализа всех составляющих себестоимости детали с учетом последующих операций механической обработки. На рис. 51 представлена технологическая себестоимость трех различных вариантов изготовления тонкостенной цилиндрической оболочки. Вариант механической обработки детали из сварной листовой заготовки имеет преимущества при малых партиях заготовок.

72. Средние нормы стойкости штампов для листовой штамповки между двумя переточками или ремонтами, тыс. ударов

Тип штампа	Толщина металла, мм									
	Св. 0,5 до 1		Св. 1 до 2		Св. 2 до 3		Св. 3 до 4		Св. 4 до 6	
	Материал рабочих частей									
	У10А	Х12Ф1	У10	Х12Ф1	У10А	Х12Ф1	У10А	Х12Ф1	У10А	Х12Ф1
Вырубной	45-50	55-65	35-40	45-55	30-35	35-40	20-25	25-30	15-20	20-25
Пробивной	40-45	-	35-40	-	30-35	-	22-25	-	18-20	-
Обрезной	35-40	45-50	35-30	30-40	20-25	25-30	15-20	20-25	12-15	15-18
Гибочный:										
без прижима	50-60	-	45-55	-	30-40	-	25-35	-	23-30	-
с прижимом	40-45	-	25-30	-	-	20-25	-	15-20	-	12-15
Вытяжной	45-50	60-70	35-40	50-60	-	40-50	-	25-35	-	15-20
Формовочный	40-45	55-65	30-35	45-55	-	35-45	-	20-30	-	12-15
Правочный	25-30	30-40	22-27	27-35	20-25	25-32	-	20-28	-	15-20

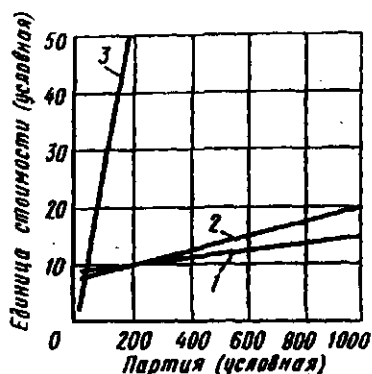


Рис. 51. Технологическая себестоимость вариантов изготовления тонкостенной оболочки: 1 – ротационное выдавливание сварной листовой заготовки; 2 – ротационное выдавливание штампованной заготовки; 3 – механическая обработка сварной листовой заготовки

ЗАГОТОВКИ ИЗ ПРОКАТА

В машиностроении применяют товарные заготовки, сортовые и фасонные профили общего, отраслевого и специального назначения, трубный прокат, гнутые, горячепрессованные и периодические профили.

Товарные заготовки – болванки обжатые, квадратные – служат заготовками под ковку и штамповку крупных валов, рычагов, тяг и т.п.

Простые сортовые профили общего назначения – круглые и квадратные, шестигранные и полосовые – используют для изготовления гладких и ступенчатых валов с небольшим перепадом диаметров ступеней, стаканов диаметром до 50 мм, втулок диаметром до 25 мм, рычагов, клиньев, фланцев.

Фасонные профили проката общего назначения – сталь угловая равнополочная и неравнополочная (ГОСТ 8509 и ГОСТ 8510), балки двутавровые (ГОСТ 8239) и швеллеры (ГОСТ 8240) – применяют преимущественно при изготовлении металлоконструкций (рам, плит, подставок, кронштейнов).

Фасонные профили проката отраслевого и специального назначения предназначены для вагоностроения, автопромышленности, тракторостроения, сельхозмашиностроения, энергетического машиностроения, электротехнической промышленности.

Трубный прокат – стальной бесшовный горячекатаный, холоднотянутый и холоднокатаный (ГОСТ 8732, ГОСТ 8734) – служит для изготовления цилиндров, втулок, гильз, шпинделей, стаканов, барабанов, роликов, пустотелых валов.

Гнутые профили – U-образные неравнобокие, С-образные и корытообразные (ГОСТ 8278, ГОСТ 8281, ГОСТ 8283) – используют для изготовления опор, кронштейнов, консолей, ребер жесткости.

Горячепрессованные профили сложной формы (пустотелые, полузамкнутые) применяют при изготовлении скоб, направляющих элементов, прижимов.

Периодические профили проката соответствуют изготавливаемым из них деталям.

Профили продольной прокатки (ГОСТ 8319, ГОСТ 8319.13) служат для изготовления балок передних осей автомобиля, лопаток, осей; поперечно-винтовой прокатки (ГОСТ 8320.0, ГОСТ 8320.13) – для изготовления валов электродвигателей, шпинделей машин, осей рычагов; поперечно-клиновой прокатки – для изготовления валов коробки передач автомобиля, валиков и других деталей типа тел вращения крупносерийного и массового производства; поперечной прокатки (ГОСТ 7524) – для изготовления шариков подшипников качения, профилированных трубчатых деталей (втулки).

Механические свойства периодического проката выше, чем свойства гладкого проката, в связи с расположением волокон в соответствии с конфигурацией детали. Отклонения размеров проката от номинального обычно составляют по диаметру профиля $\pm 0,1\%$ и по длине – не менее $\pm 0,5\%$.

Точность горячекатаного проката ориентировочно соответствует 12 – 14-му качеству, холоднотянутого – 9 – 12-му качеству.

Точность горячекатаного сортового проката может быть повышена применением волочения через фильеру (точность 11 – 12-го качества) и в роликовой волоке (точность 9 – 11-го качества).

Волочение применяют в заготовительных цехах машиностроительных заводов с целью повышения точности размеров прутков и труб и для некоторого изменения размера. В некоторых случаях волочением изменяется форма поперечного сечения проката. Например, из круглого прутка за два-три перехода с применением промежуточного отжига получают пруток с лысками и пруток прямоугольного сечения со скруглениями углов и т.п.

Процесс волочения характеризуется суммарным обжатием

$$\delta = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%,$$

где F_0 и F_k – площади поперечного сечения исходной и получаемой заготовок.

Для стали, дюралюминия, латуни $\delta = 67\%$; для низкоуглеродистой стали, алюминия $\delta = 75\%$; для меди $\delta = 80\%$. Изменения размеров при волочении заготовок из цветных металлов и сплавов приведены в табл. 73.

Рис. 73. Данные, характеризующие волочение

Уменьшение диаметра прутка при волочении за один переход	
Диаметр прутка из цветных металлов, мм	Съем (мм) за один переход
До 8	0,6
Св. 8 " 14	0,8
" 14	1,0

Уменьшение толщины стенки трубы при волочении за один переход

Толщина стенки трубы, мм	Съем (мм) за один переход для труб		
	медных и алюминиевых	латунных и дюралюминиевых	
		отожженных	наклепанных
До 1	0,2	0,2	0,10
Св. 1 до 1,5	0,3	0,3	0,15
" 1,5 " 2	0,4	0,4	0,20
" 2 " 3	0,5	0,5	0,25
" 3 " 5	0,6 – 0,8	0,6	0,30
" 5	0,8 – 1,0	0,8	0,40

Профильный прокат целесообразно применять в тех случаях, когда профиль проката остается без последующей механической обработки, что особенно важно при изготовлении деталей из труднообрабатываемых и дорогих сортов сталей и сплавов (коррозионно-стойкой, кислотоупорной сталей, магниеволитневых сплавов).

В табл. 74 – 77 приведены данные о сортовом профиле проката общего назначения.

74. Прокат стальной горячекатаный круглый. Сортамент (по ГОСТ 2590)

Диаметры, мм	Предельные отклонения (мм) при точности прокатки					
	высокой		повышенной		обычной	
	+	-	+	-	+	-
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7-9	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3	0,5
10-19	0,1	0,3	0,1	0,5	0,3	0,5
20-25	0,1	0,4	0,2	0,5	0,4	0,5
26-28	0,1	0,4	0,2	0,7	0,3	0,7
29-48	0,1	0,5	0,2	0,7	0,4	0,7
50; 52; 53-56; 58	0,1	0,7	0,2	1,0	0,4	1,0
60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78	0,1	0,9	0,3	1,1	0,5	1,1
80; 82; 85; 87; 90; 92; 95; 97	0,3	1,1	0,3	1,3	0,5	1,3
100; 105; 110; 115	-	-	0,4	1,7	0,6	1,7
120; 125; 130; 135; 140; 145; 150; 155	-	-	0,6	2,0	0,8	2,0
160; 165; 170; 175; 180; 185; 190; 195; 200	-	-	-	-	0,9	2,5
210; 220; 230; 240; 250	-	-	-	-	1,2	3,0
260; 270	-	-	-	-	2,0	4,0

Примечания: 1. Прокат диаметром до 9 мм поставляется в мотках, свыше 9 мм – в прутках.

2. Кривизна прутков не должна превышать при диаметре до 25 мм вкл. для I класса кривизны 0,5 % длины прутка; при диаметре свыше 25 мм для I класса кривизны 0,4 %, а для II класса кривизны 0,5 % длины прутка.

3. Допустимая кривизна реза прутка не должна превышать 0,1 диаметра – для прутков диаметром до 30 мм; 5 мм – для прутков диаметром свыше 30 мм.

75. Прокат стальной горячекатаный квадратный. Сортамент (по ГОСТ 2591)

Сторона квадрата, мм	Предельные отклонения (мм) при точности прокатки			
	повышенной		обычной	
	+	-	+	-
6-19	0,1	0,5	0,3	0,5
20-25	0,2	0,5	0,4	0,5
26-30; 32	0,2	0,7	0,3	0,7
34-36; 38; 40; 42	0,2	0,7	0,4	0,7
45; 46; 48; 50; 52; 55; 58	0,2	1,0	0,4	1,0
60; 63; 65; 70; 75	0,3	1,1	0,5	1,1
80; 85; 90; 93; 95	0,3	1,3	0,5	1,3
100; 105; 110; 115	0,4	1,7	0,6	1,7
120; 125; 130; 135; 140; 145; 150	0,6	2,0	0,8	2,0
160; 170; 180; 190; 200	-	-	0,9	2,5

Примечание. Кривизна прутков квадратного проката не должна превышать при стороне квадрата до 25 мм и I классе кривизны 0,5 % длины, при стороне квадрата свыше 25 мм для I класса кривизны 0,4 % длины прутка, для II класса кривизны – 0,5 % длины.

76. Прокат стальной горячекатаный шестигранный. Сортамент (по ГОСТ 2879)

Диаметр вписанного круга, мм	Предельные отклонения, мм, по диаметру при точности прокатки			
	повышенной		обычной	
	+	-	+	-
8; 9	0,1	0,3	0,3	0,5
10-19 (через 1 мм)	0,2	0,3	0,3	0,5
20-22; 24; 25	0,2	0,4	0,4	0,5
26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 47; 48	0,2	0,6	0,4	0,7
50; 52; 55	0,2	0,9	0,4	1,0
60; 63; 65; 70; 75	0,3	1,0	0,5	1,1
80; 85; 90; 95	0,4	1,2	0,5	1,3
100	0,5	1,5	0,6	1,7

Примечание. Кривизна прутков шестигранника проката не должна превышать при диаметре вписанного круга до 40 мм вкл. и I классе кривизны 0,5 % длины прутка; при диаметре вписанного круга свыше 40 мм для I класса кривизны 0,4 % длины прутка, для II класса кривизны – 0,5 % длины.

77. Полоса стальная горячекатаная (ГОСТ 103)

Ширина полосы, мм	Предельные отклонения (мм) при точности			
	повышенной		номинальной	
	+	-	+	-
От 11 до 60	0,3	0,9	0,5	1,0
63; 65	0,3	1,1	0,5	1,3
70; 75	0,3	1,3	0,5	1,4
80; 85	0,5	1,4	0,7	1,6
90; 95	0,6	1,8	0,9	1,8
100; 105	0,7	2,0	1,0	2,0
110	0,8	2,2	1,0	2,2
120; 125	0,9	2,4	1,1	2,4
От 130 до 150	1,0	2,5	1,2	2,8
Св. 150 " 180	1,2	2,8	1,4	3,2
" 180 " 200	1,4	-	1,7	4,0

Продолжение табл. 77

Толщина полосы, мм	Предельные отклонения (мм) по толщине полосы при точности			
	повышенной		номинальной	
	+	-	+	-
От 4 до 6	0,2	0,3	0,2	0,5
Св. 6 " 16	0,2	0,4	0,2	0,5
" 16 " 25	0,2	0,6	0,2	0,8
" 25 " 32	0,2	0,7	0,2	1,2
36; 40	0,2	1,0	0,2	1,6
45; 50	0,2	1,5	0,3	2,0
Св. 50 до 60	0,2	1,8	0,3	2,4

Примечания. 1. Притупление углов полос не должно превышать 0,2 толщины, но не более 3 мм.
2. В зависимости от серповидности полосы изготавливают двух классов: класс 1 – серповидность полосы 0,2 % длины, класс 2 – серповидность полосы 0,5 % длины. По соглашению изготовителя с потребителем допускается изготавливать полосы с серповидностью до 0,8 % любой измеряемой длины.

На прокатных станах прокатывают зубчатые профили с прямым и шевронным зубьями с модулем до 10 мм. При этом обеспечивается 8-я степень точности профиля зуба и шероховатость поверхности $Ra = 1,25 \dots 2,5$ мкм. Холодная прокатка мелко модульных зубчатых колес (модуль до 1 мм) из цветных металлов обеспечивает 7-ю степень точности профиля и шероховатость поверхности $Ra = 0,16 \dots 1,25$ мкм. Поверхностный слой зуба имеет наклеп и мелкозернистую структуру по всему профилю на глубину 0,5 – 0,6 мм, что обеспечивает повышенное сопротивление усталости профиля и его износостойкость.

Способы резки проката приведены в табл. 78, а правка проката – в табл. 79. Чаще применяют правку проката в холодном состоянии. Правку в горячем состоянии используют при большом отклонении от прямолинейности оси (кривизна) или при отсутствии оборудования требуемой мощности. Общий нагрев материала для правки осуществляется в печах, местный – газовой или плазменной горелкой.

Формулы и данные для ориентировочного расчета сил при выборе оборудования для отрезки, гибки и правки проката приведены в табл. 80.

78. Способы резки проката

Способ и оборудование	Точность резки, мм	Область применения
Газовая резка: ацетилено-кислородная	При ручной резке от ±4 до ±10; при машинной от ±1 до ±2	Резка заготовок различной конфигурации из листового проката толщиной до 200 мм
кислородная		Резка заготовок различной конфигурации из листового проката толщиной 100 мм, профильного проката, труб (с наружным диаметром 150 – 300 мм и толщиной стенок до 16 мм), листового проката с одновременной подготовкой X- или U-образных кромок
кислородно-флюсовая		Резка заготовок из проката, выполненного из хромоникелевых и коррозионно-стойких сталей (толщиной до 450 мм), чугуна, цветных металлов и сплавов

Продолжение табл. 78

Способ и оборудование	Точность резки, мм	Область применения
плазменно-дуговая	От ±1 до ±6	Резка заготовок из проката толщиной до 100 мм, выполненного из низкоуглеродистых, легированных сталей и цветных металлов
Резка на ножницах: пресс-ножницах с прямыми и фасонными ножами		Резка листового и полосового проката толщиной до 25 мм, квадратного и круглого проката диаметром до 200 мм, углового проката
гиловинных	От ±0,25 до ±3	Резка листового и полосового проката толщиной до 20 мм и шириной до 1500 мм
дисковых с параллельными осями	От ±0,25 до ±0,6	Резка листового проката толщиной до 20 мм шириной до 300 мм
дисковых с наклонными осями	От ±0,4 до ±1	Резка листового проката толщиной 6 – 8 мм для заготовок с контурами, очерченными кривыми и прямыми линиями. Наименьший радиус кривизны составляет 0,4 – 0,7 диаметра дискового ножа
многодисковых с параллельными осями	До ±0,25	Одновременная резка широкой ленты (до 1500 мм) на узкие и листов на полосы. Толщина проката 0,5 – 4 мм
вибрационных	От ±0,25 до ±0,6	Резка листового проката для заготовок с малым радиусом кривизны ($R < 12$ мм) и вырезка отверстий без предварительного сверления (толщина проката не более 3 мм)
угловых	От ±0,6 до ±1,3	Резка углового проката размером до 200 × 200 × 25 мм
профильных	От ±0,6 до 1,9	Резка балок и швеллеров до № 60
Разрезка на прессах: механических и гидравлических	От ±2 до ±4	Разрезка в штампах проката диаметром до 30 мм
Резка на пилах и ножовках: дисковых	От ±0,4 до ±3	Резка круглого проката больших сечений
ленточных	От ±1,5 до ±5	Резка проката любого профиля из стали и цветных металлов диаметром до 250 мм. Ширина реза 0,8 – 1,3 мм
приводных ножовках	От ±2 до ±4,5	Резка круглого и профильного проката диаметром до 300 мм. Ширина реза 1 – 3,5 мм
фрикционных и электрофрикционных ножовках	От ±1,6 до ±5	

Продолжение табл. 78

Способ и оборудование	Точность резки, мм	Область применения
Отрезка на отрезных станках и установках: фрезерно-отрезных	От 2,5 до 4,5	Отрезка круглого и профильного проката диаметром до 500 мм на универсальных станках и диаметром до 800 мм на специальных
токарно-отрезных	От 0,3 до 0,8	Отрезка прутков и труб диаметром до 80 мм
горизонтально-фрезерных	От 0,4 до 0,7	Отрезка проката размером до 60 мм
абразивно-отрезных	От 0,3 до 0,7	Отрезка проката с высокой твердостью. Применяют абразивные круги диаметром 30 – 500 мм и толщиной 0,5 – 4 мм и алмазные круги диаметром 50 – 320 мм и толщиной 0,15 – 2 мм
анодно-механических	От $\pm 0,15$ до $\pm 0,3$	Отрезка проката с высокой твердостью диаметром 200 – 250 мм. При применении вместо дисков стальной ленты толщиной 1 – 2 мм и шириной 15 – 20 мм или стальной проволоки диаметром 2 – 2,5 мм можно осуществлять фигурную вырезку заготовок
ультразвуковых	От $\pm 0,1$ до $\pm 0,5$	Отрезка твердых и хрупких материалов (керамика, кварц, кремний, стекло, германий, алмаз, рубин и т.п.)
электроэрозионных	Черновая от $\pm 0,5$ до ± 2 ; чистовая от $\pm 0,03$ до $\pm 0,2$	Отрезка круглого проката и труб, выполненных из стальных и твердосплавных материалов. При применении латунной проволоки диаметром 0,05 – 0,3 мм можно осуществлять фигурную вырезку
электронно-лучевых	От $\pm 0,01$ до $\pm 0,05$	Отрезка небольших заготовок из металлов, полупроводниковых и изоляционных материалов. Можно осуществлять фигурную вырезку и прорезку щелей
лазерных	От +0,001 до $\pm 0,05$	Отрезка небольших заготовок из любых материалов. Можно осуществлять фигурную вырезку и прорезку щелей

79. Правка проката

Оборудование или способ	Отклонение при правке, мм на 1 м длины	Область применения
Вальцеправильные станы: листоправильные	От ± 1 до ± 2	Листовой прокат от 10 × 3000 до 40 × 3000 мм
углоправильные	До ± 1	Угловой прокат до № 20
Прессы: горизонтально-гибочные вертикально-гибочные	До ± 1 До ± 1	Балки и швеллеры до № 60 Балки и швеллеры до № 45
винтовые	Местная кривизна до $\pm 0,15$	Прутки и заготовки диаметром до 30 мм
пневматические		Прутки и заготовки диаметром до 50 мм
кривошипные, фрикционные и реечные		Прутки и заготовки диаметром до 100 мм
гидравлические		Прутки и заготовки диаметром 150 мм и более
Машины: правильно-растяжные роликовые правильные	От $\pm 0,5$ до ± 1	Листы толщиной до 0,6 мм и тонкая мягкая проволока Прутки и заготовки диаметром до 200 мм
косовалковые	От $\pm 0,5$ до $\pm 0,8$	Прутки и заготовки диаметром до 100 мм
правильно-отрезные	От $\pm 0,5$ до $\pm 0,7$	Правка и резка проката круглого, шестигранного и квадратного размером до 16 мм. Правка материала, поставляемого в мотках и бухтах. Длина заготовки 0,16 – 9 м
правильно-калибровочные	Без обработки – от $\pm 0,5$ до ± 1 ; предварительно обточенного – от $\pm 0,05$ до $\pm 0,2$. Точность калибровки по диаметру 0,03–0,05 мм	Правка и калибровка проката диаметром 5 – 100 мм. Длина обрабатываемых прутков 2 – 7 м
резбонакатные (прокатка между гладкими плашками)	От 0,05 до 0,10	Правка коротких цилиндрических заготовок и проката (оси, пальцы, цилиндры и т.п.)
Ручная правка: на плитах посредством ударов кувалды, ручника или молотка	От 2 до 3	Правка проката и заготовок небольшого диаметра в мелкосерийном и единичном производствах
в зажимных приспособлениях с помощью рычагов или домкратов	От 0,10 до 0,25	Правка заготовок для деталей (шатуны, рычаги, тяги и т.п.)

Продолжение табл. 79

Оборудование или способ	Отклонение при правке, мм на 1 м длины	Область применения
ацетилено-кислородная	Плоские элементы – до 0,5; бисие валов от 0,4 до 0,6	Правка листов, сортового фасонного проката, сварных конструкций

Примечание. Фасонно-отрезные автоматы, автоматы для навивки пружин, автоматы для приварки базового вывода полупроводникового прибора и другие агрегаты имеют правильные узлы в виде роликовых механизмов, обеспечивающих правку материала по принципу многократного изгиба с точностью правки до 0,5 мм на 1 м длины.

80. Формулы для расчета сил при выборе оборудования

Способ и оборудование	Формулы для расчета сил (Н)
Резка на ножницах с параллельными ножами	$P = (1,2 \dots 1,4)LS\sigma_s$
Резка на гильотинных ножницах	$P = 0,6S^2 \text{ctg} \varphi \sigma_s$, при $\varphi < 5^\circ$
Правка на дисковых ножницах	$P = 5S^2 \text{ctg} \alpha \sigma_s$
Правка на прессе	$P = 0,68 \frac{d^3}{l} \sigma_t$
Гибка по дуге или по одному углу с полным обжатием на горизонтально-гибочной машине	$P = \left[1,1 \frac{l^2}{l} B + \left(1,5 + 0,15 \frac{\sqrt{F}}{l} \right) F \right] \sigma_s$
Двухугольная гибка с полным обжатием на горизонтально-гибочной машине	$P = \left[0,7 \frac{l^2}{r+l} B + \left(1,5 + 0,15 \frac{\sqrt{F}}{l} \right) F \right] \sigma_s$

Обозначения: L – длина реза, мм; S – толщина разрезаемого проката, мм; σ_s – предел прочности, Па; φ – угол створа ножниц; α – угол захвата дисковыми ножницами; σ_t – предел текучести материала выправляемой заготовки, Па; d – диаметр выправляемой заготовки, мм; l – расстояние между опорами (призмами), мм; B – ширина изгибаемой заготовки, мм; t – толщина изгибаемой заготовки, мм; r – внутренний радиус гибки заготовки, мм; F – площадь проекции гибки на направление, перпендикулярное движению пуансона, мм²

СВАРНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ

Сварные заготовки состоят из отдельных частей (элементов), выполненных с применением различных технологических процессов и из различных материалов и соединенных с помощью методов сварки. Особенности основных типов сварных конструкций представлены

в табл. 81. Материалы составных элементов сварных конструкций должны обладать *свариваемостью* – способностью к образованию сварного соединения равнопрочного с основным металлом, без трещин и снижения пластичности в околошовной зоне (табл. 82).

Конструкции и размеры сварных швов зависят от способа сварки (табл. 83) и определяются соответствующими стандартами.

81. Особенности основных типов сварных конструкций, применяемых в машиностроении

Конструкции	Основные требования	Применяемые способы сварки	Типы составных элементов
Балки и колонны	Прочность по поперечному изгибу или сжатию	Автоматическая сварка под флюсом	Листовые
Оболочковые (емкости, сосуды, трубы, резервуары, газгольдеры)	Геометричность при избыточном давлении	Автоматическая сварка под флюсом	Листовые полотнища или секции
Корпусные транспортные (корпуса судов, вагонов, кузова автомобилей)	Прочность и жесткость	Автоматическая дуговая и контактная	Изогнутые листовые
Детали машин и приборов	Определяются конструкцией изделия	Любые	Ограничения отсутствуют. Диапазон толщин от десятых долей миллиметра до сотен миллиметров

82. Свариваемость некоторых сталей

Свариваемость	Сталь	Особенности сварки
Хорошая	Ст3; 10; 15НМ; 12Х18Н9Т	Традиционная технология
Удовлетворительная	БСт5; 30; 35; 15ХСНД; 12Х14А	Предварительный подогрев и последующая термообработка
Ограниченная	Ст6; БСт6; 40; 50; 30ХГСА; 5ХНМ	Термообработка и подогрев перед сваркой; термообработка после сварки
Плохая	60Г; 50ХГА; 85; У8; У10А; Р18; Х12; 3Х2В8Ф	Термообработка перед сваркой; подогрев в процессе сварки; термообработка после сварки

83. Основные способы сварки

Способ сварки	Материал элементов конструкций	Рекомендуемая толщина или площадь сечения свариваемых элементов	Сварные соединения	Метод очистки элементов перед сваркой
Ручная дуговая	Сталь, алюминиевые сплавы	До 4 – 8 мм без разделки кромок	стыковое, нахлесточное, тавровое, угловое	Механический (стальной щеткой, дробеструйная обработка), химический
Автоматическая дуговая под флюсом	Сталь	1,5 – 50 мм и более; до 15 мм без разделки кромок	То же	Стальной щеткой или газовым пламенем

Продолжение табл. 83

Способ сварки	Материал элементов конструкций	Рекомендуемая толщина или площадь сечения свариваемых элементов	Сварные соединения	Метод очистки элементов перед сваркой
Дуговая в защитном газе	Стали углеродистые, низколегированные	От 0,1 до 120 мм	То же	Механический (стальной щеткой, дробеструйная обработка), химический
Аргондуговая неплавящимся электродом	Коррозионно-стойкие стали, цветные сплавы, сплавы титана	0,5 – 6,0 мм	Стыковое, тавровое с отбортовкой	То же
Контактная стыковая:	Сталь, алюминиевые сплавы	До 10 000 мм ²	Стыковое	То же
Контактная точечная	Сталь низкоуглеродистая, легированная, коррозионно-стойкая, цветные сплавы	От 0,01 мм до 30 мм	Нахлесточное	Сталь холоднонапрянутая – без очистки, сталь горячекатаная – травление, дробеструйная обработка, обработка резанием
Контактная шовная	То же	До 2,0 мм	То же	Дробеструйная обработка и обработка резанием
Трением	Сталь углеродистая, легированная, цветные сплавы	Круглые детали диаметром менее 40 мм	Стыковое	Стальной щеткой, дробеструйная обработка
Электрошлаковая	Сталь углеродистая, легированная; алюминиевые, титановые сплавы	20 – 1000 мм	То же	То же
Электронно-лучевая	Жаропрочные, жаростойкие, тугоплавкие стали и сплавы	До 10 мм	Стыковое	Тщательная очистка и обезжиривание

Продолжение табл. 83

Способ сварки	Материал элементов конструкций	Рекомендуемая толщина или площадь сечения свариваемых элементов	Сварные соединения	Метод очистки элементов перед сваркой
Диффузионная сварка	Сталь, тугоплавкие металлы, неметаллические материалы	До 50 мм	То же	То же
Газовая	Сталь, чугун, цветные сплавы	1 ... 3 до 10 мм	Стыковое с отбортовкой	Зачистка стальной щеткой

Способ сварки и тип сварного соединения определяют требования к технологичности его конструкции. В конструкции сварной заготовки не должно быть резких (ступенчатых) переходов по толщине металла (рис. 52). В противном случае возможно разрушение конструкции вследствие концентрации напряжений. Предельные значения толщины свариваемых элементов заготовок приведены в табл. 84, 85. Термообработка сварных заготовок производится с целью улучшения свойств металла шва и околошовной зоны и для снятия остаточных напряжений.

Наиболее полное снятие напряжений обеспечивает общий высокий отпуск в термических печах. Заготовку нагревают до 600 –

650 °С и выдерживают в течение времени из расчета 2-3 мин на 1 мм толщины металла. Заготовки из среднеуглеродистых сталей после выдержки охлаждают до 300 °С с печью, а затем – на воздухе. Для сталей, склонных к охрупчиванию, температура отпуска 550 – 560 °С. Для крупных заготовок применяют местный высокий отпуск с нагревом с помощью переносных индукционных печей или газовых горелок. Местный отпуск проводят в сварочных кондукторах сразу же после сварки. Для снятия остаточных напряжений сжатия в околошовной зоне проводят термопластичный отпуск – нагрев смежных зон основного металла, параллельных шву. Сведения о режимах термообработки сварных заготовок приведены в табл. 86, 87.

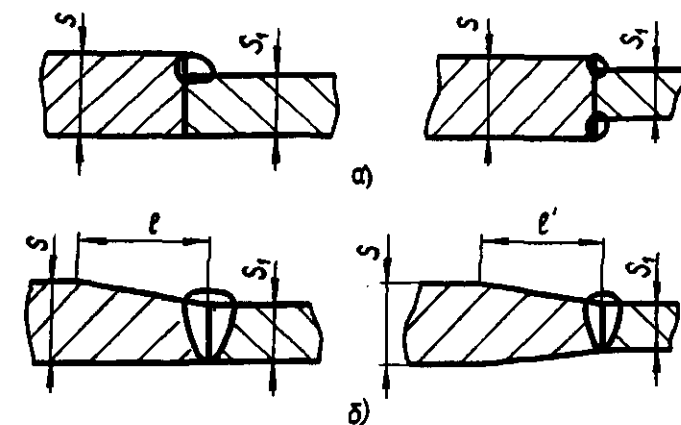


Рис. 52. Сварные ступенчатые заготовки: а – нетехнологичные; б – технологичные

84. Предельные значения толщины (мм) свариваемых элементов заготовок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей

Шов	Характер свариваемых кромок	Сварка			
		ручная дуговая		автоматическая	
		под флюсом	в углекислом газе	под флюсом	в углекислом газе
Односторонний	Без разделки	4	7	14	8
	С разделкой	8	11	28	—
Двусторонний	Без разделки	7	10	20	19
	С разделкой	13	18	50	—

85. Предельные значения толщины (мм) свариваемых элементов заготовок из коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и сплавов

Шов	Характер свариваемых кромок	Сварка					
		ручная дуговая			автоматическая		
		ручная	в защитном газе		дуговая под флюсом	электрошлаковая	
			аргон	CO ₂			
W	П						
Односторонний	Без разделки	5	3	5	5	12	200
	С разделкой	12	8	10	10	50	—

Применение. W – сварка неплавящимся электродом; П – сварка плавящимся электродом.

86. Режим отжига для снятия напряжений сварных заготовок из углеродистых сталей (марок 35, 45)

Операция	Режим
Посадка изделий в печь при температуре, не более	450 – 500 °С
Нагрев до 550 ... 600 °С со скоростью, не более	80 °С/ч
Выдержка при температуре 550 ... 600 °С	4 – 8 ч
Охлаждение на спокойном воздухе	

Примечание. Временной разрыв между сваркой и термообработкой недопустим.

Комбинированными называют заготовки, составные элементы которых являются самостоятельно изготовленными заготовками соответствующих видов, соединенными в единое целое с помощью методов сварки. Комбинированная заготовка – сварная заготовка, каждый элемент которой изготовлен по самостоятельному технологическому процессу соответствующего вида.

Комбинированные заготовки применяют в единичном, серийном производствах:

1) если изготовление цельной заготовки данного вида связано с большим браком из-за нетехнологичности ее конструкции;

2) если отдельные части заготовки: требуют сложной и точной механической или иной обработки; работают в особо сложных условиях (износ, коррозия) и для их изготовления требуются сплавы с иными свойствами, чем у других частей;

87. Рекомендуемые режимы термообработки сварных заготовок

Марка стали	Термообработка после сварки	Температура подогрева при сварке, °С	Время перерыва между сваркой и термообработкой, ч	Примечание
20	Отпуск 600 ... 660 °С	100 ... 150	Не ограничено	При отсутствии концентраторов напряжений возможен отказ от термообработки после сварки толщин соединяемых элементов до 60 мм
15Г; 20Г; 10ХСНД; 15ХСНД	Отпуск 600 ... 660 °С	—	Не ограничено	—
15ХН2М; 15Х2НЧМД	Отпуск 600 ... 640 °С	—	Не ограничено	—
15ХМ	Отпуск 660 ... 700 °С	100 ... 200	Не ограничено	—
15ХМ	Отпуск 600 ... 700 °С	250 ... 300	48	—
1Х1М; 12Х1МФ	Отпуск 700 ... 750 °С	200 ... 250 250 ... 300	72	—
20ХМЛ; 15Х1М1ФЛ	Отпуск 700 ... 720 °С	250 ... 300	48	—
25Х2МФ	Отпуск 660 ... 700 °С	250 ... 300	Без перерыва	Температура печи при посадке заготовок не ниже 450 °С
0Х13; 10Х13; 20Х13	Отпуск 720 ... 760 °С	300 ... 400	Без перерыва	То же
Х18Н9; 10Х18Н9Т; 0Х16Н10Т; 10Х18Н12М2Т	Закалка в воду 1050 °С или стабилизация 900 °С	—	—	Закалка в воду проводится только для заготовок деталей, работающих при 550 °С, или для снятия напряжений с целью исключения коробления при последующей механической обработке

3) если заготовка представляет собой разветвленную конструкцию со значительным числом сложных выступающих частей и изготовление ее требует сложных и дорогостоящих средств технологического оснащения, больших затрат вспомогательных материалов и рабочего времени;

4) если целесообразно разделение заготовки на несколько частей из удобства транспортирования (при больших массах и габаритах).

Длина отдельных составных элементов сварных (комбинированных) заготовок во избежание заметного коробления не должна превышать 4-5м.

Среди комбинированных заготовок выделяют: сварно-литые (рис. 53); штампо-сварные; сварно-ковано-литые и др., общие характеристики которых приведены в табл.88.

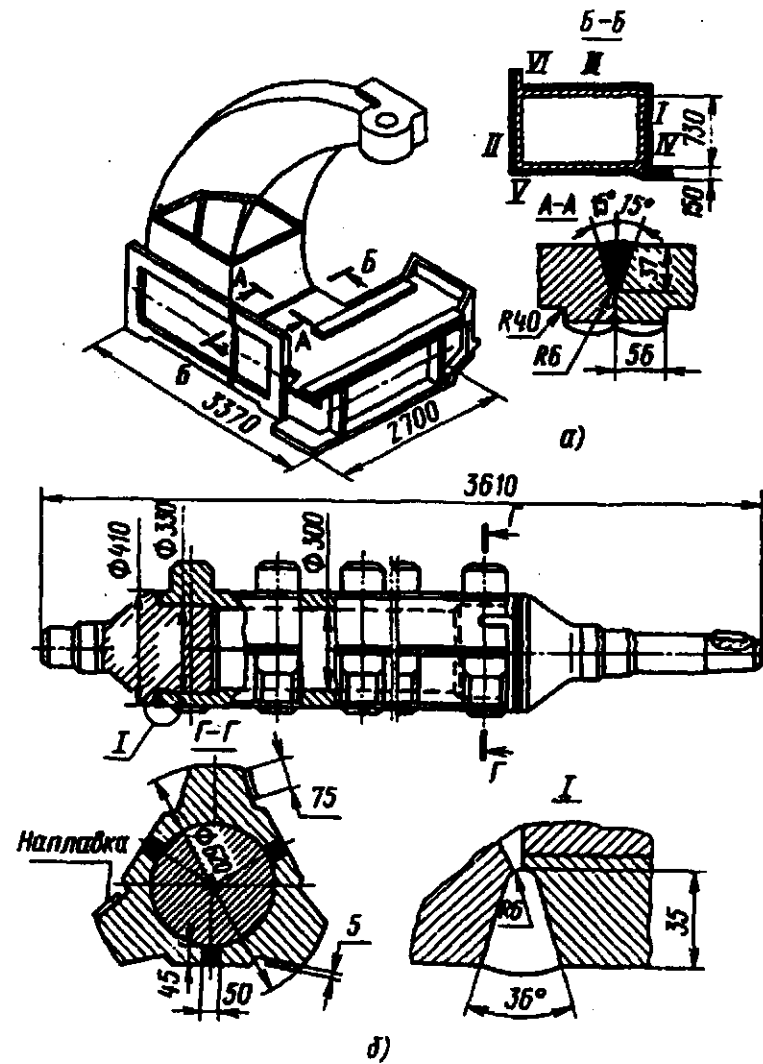


Рис. 53. Сварно-литые конструкции: а – ползун; б – вал-звездочка

Технологичность комбинированных заготовок в значительной мере определяется технологичностью конструкций составных частей, являющихся заготовками соответствующих видов, и сварных соединений. Так же должны быть учтены и требования, характерные для заготовок соответствующей группы в целом.

При конструировании сварно-литых заготовок прибыли на отливке располагают вдали от кромок, подлежащих сварке. В случае, если заготовка образует жесткий контур, соедине-

ние отдельного элемента с остальной частью должно осуществляться не более чем двумя сварными швами.

Соединение элементов сварно-литых заготовок выполняют дуговой, контактной и электрошлаковой сваркой; штампо-сварных – контактной; сварно-кованолитых – контактной стыковой и электрошлаковой сваркой. Термообработка комбинированных заготовок полностью соответствует термообработке сварных.

88. Общие характеристики комбинированных заготовок

Группа заготовок	Характеристика изделия	Способы изготовления составных элементов	Область применения	Эффективность
Сварно-литые	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большие габариты. 2. Сочетание стенок толщиной более 30 мм со стенками меньших толщин. 3. Сочетание стенок постоянной толщины до 30 мм с фасонными профилями переменного сечения 	Литье: в песчаные формы машинной формовки; в кокиль; под давлением. Резка проката	Станины прессов, прокатных станов, станков; корпуса редукторов; картеры тепловозных деталей; толстостенные сосуды; детали подвижного состава	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сокращение объема механической обработки. 2. Возможное снижение себестоимости на 10 ... 25 %
Штампо-сварные	<ol style="list-style-type: none"> 1. Замена литых и штампованных заготовок. 2. Большие габариты. 3. Изготовление заготовок из отдельных элементов, полученных обработкой давлением 	Листовая штамповка. Резка проката. Свободная ковка. Горячая объемная штамповка	Рамы; кожухи; ободы; емкости; крупные валы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение производительности. 2. Снижение материалоемкости. 3. Возможность изготовления сложных заготовок. 4. Снижение себестоимости
Сварно-кованолитые	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большие габариты. 2. Использование материалов с разными свойствами 	Необходимые способы литья и обработки давлением. Резка проката	Валы и диски турбин; рамы; крупные зубчатые колеса	<ol style="list-style-type: none"> 1. Снижение массы до 30 %. 2. Упрощение изготовления составных элементов 3. Сокращение длительности технологического цикла (подготовки производства) до 40 % – 50 %

Качество комбинированных заготовок определяется качеством их составных элементов и сварных соединений. Точность размеров заготовок в плоскостях:

1) перпендикулярных плоскости сварного шва, зависит от их номинальных значений и пространственных отклонений соответствующего элемента заготовки вследствие его коробления;

2) параллельных плоскости сварного шва, зависит от жесткости элемента и его расположения относительно шва. Если элемент достаточно жесткий, то его качество после соединения может соответствовать качеству до соединения.

Точность размеров комбинированных заготовок при использовании способов сварки плавлением обычно соответствует 14 – 17-му

качеству и грубее. Точность размеров заготовок, полученных соединением элементов, изготовленных точными заготовительными методами или даже предварительно обработанными и соединенных сваркой трением, электронно-лучевой или диффузионной, соответствует 12-14-му качеству. Шероховатость поверхностей комбинированных заготовок определяется исходной шероховатостью составных элементов.

После сварки обычно выполняют ультразвуковой или рентгеновский контроль качества сварного шва.

Механическую обработку сварных и комбинированных заготовок, как правило, выполняют после термообработки, так как удаление части сечения вызывает перераспределение остаточных напряжений и искажение ранее обработанных поверхностей. Если ожидаемые искажения невелики, (высокая жесткость заготовки, малый снимаемый припуск), то сварная (комбинированная) заготовка может обрабатываться без предварительной термообработки.

ЗАГОТОВКИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Производство заготовок методами порошковой металлургии включает получение и подготовку порошков исходных материалов (металлов, сплавов, металлоидов и др.); прессование изделий необходимой формы в специальных пресс-формах; термообработку (спекание) спрессованных изделий, обеспечивающую окончательные свойства. Иногда совмещают операции прессования и спекания, пропитку пористого брикета расплавленным металлом, допрессовку или калибровку спеченных полуфабрикатов и пр.

Конструкционные порошковые материалы (КПМ) разделяют на материалы: заменяющие традиционные стали, чугун, цветные сплавы; со специальными свойствами – износостойкие, инструментальные, коррозионно-стойкие; тяжелые сплавы; материалы для узлов трения и т.д. Свойства КПМ определяются плотностью (или пористостью) изделий, а также условиями их изготовления (табл. 89, 90).

89. Группы плотности и пористость конструкционных порошковых материалов (КПМ)

Степень нагруженности деталей	Группа плотности	Пористость, %	Предел прочности	Пластичность и ударная вязкость	Плотность КПМ, кг/м ³
			% соответствующих беспористых материалов		
Малонагруженные	1	25 – 16	30 – 45	25 – 35	6000 – 6600
Умеренно-нагруженные	2	15 – 10	45 – 65	35 – 60	6700 – 7100
Средне-нагруженные	3	9 – 2	65 – 95	60 – 90	7200 – 7700
Тяжелонагруженные	4	Менее 2	95 – 100	90 – 100	Более 7700

90. Механические свойства порошковых углеродистых сталей без термообработки, не менее

Марка стали	σ_s , МПа	δ	ψ	КСУ, кДж/м ²	E, ГПа	НВ
		%				
СП 10-1	100	6	10	200	80	50 – 70
СП10-2	120	8	15	350	120	70 – 80

Продолжение табл. 90

Марка стали	σ_s , МПа	δ	ψ	КСУ, кДж/м ²	E, ГПа	НВ
		%				
СП10-3	150	12	28	500	150	80 – 90
СП10-4	250	18	35	700	200	90 – 130
СП30-1	120	6	10	200	80	50 – 70
СП30-2	160	8	15	350	120	70 – 80
СП30-3	200	12	25	500	150	80 – 90
СП30-4	250	18	35	700	200	90 – 130
СП70-1	120	5	10	150	84	50 – 70
СП70-2	200	8	15	300	125	70 – 90
СП70-3	280	10	20	400	160	90 – 110
СП70-4	360	15	30	600	210	110 – 150
СП90-1	120	2	8	100	85	60 – 80
СП90-2	200	4	12	220	125	80 – 100
СП90-3	300	6	20	300	160	100 – 120
СП90-4	450	10	25	450	210	120 – 180

Примечание. σ_s – предел прочности (временное сопротивление разрыву); δ – относительное удлинение; ψ – относительное сужение; КСУ – ударная вязкость; E – модуль упругости; НВ – твердость по Бринеллю.

Первое число после букв СП в марке стали отражает среднее содержание общего углерода в сотых долях процента, цифра после дефиса – группу плотности стали.

В табл. 91 приведены механические свойства некоторых конструкционных порошковых сталей. Наиболее распространенные легирующие элементы – медь, никель, молибден, хром.

В соответствии с ГОСТ 28378 условное обозначение марок порошковых сталей состоит из букв и цифр. Буквы указывают: П – на принадлежность материала к порошковому; К – на назначение материала – конструкционный; остальные буквы – на содержание леги-

рующих компонентов (Д – медь, Х – хром, Ф – фосфор, К – сера, М – молибден, Г – марганец, Т – титан, Н – никель). Основу материала в обозначении марок не указывают.

Цифры, стоящие после букв ПК, указывают на среднюю массовую долю углерода в сотых долях процента. Массовую долю углерода, равную 1 %, в обозначении марки материала не указывают.

91. Механические свойства порошковых конструкционных материалов по ГОСТ 28378-89

Марки	Плотность, г/см ³	Твердость НВ	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %
<i>Малоуглеродистые, углеродистые и медистые стали</i>				
ПК10	6,0	40	100	2
	6,4	50	140	3
	6,8	65	180	4
	7,2	80	220	6
	7,6	90	260	20
ПК40	6,0	55	140	-
	6,4	75	190	1
	6,8	90	240	2
	7,2	100	290	4
	7,6	110	400	10
ПК70	6,0	80	200	-
	6,4	100	250	1
	6,8	120	300	1
	7,4	145	600	4
ПК10Ф	6,8	65	200	3
ПК10Д2Ф	6,0	60	200	1
ПК10Д3К	6,0	55	160	1
	6,4	65	200	2
	6,8	75	240	3
	7,4	90	500	15
ПК10Д3	6,0	55	160	1
	6,4	65	200	2
ПК10Д5	6,0	75	200	-
	6,4	85	240	1
	6,8	95	280	2
	7,4	110	600	10
ПК40Д3	6,0	80	220	-
	6,4	100	280	-
ПК40Д3К	6,0	800	220	-
	6,4	1000	280	-
ПК40Д3КФ	6,0	850	240	-
	6,4	1050	300	-

Продолжение табл. 91

Марки	Плотность, г/см ³	Твердость НВ	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %
ПК70Д3	6,0	1000	270	-
	6,4	1200	340	-
	6,8	1400	420	-
	7,4	1600	700	3
<i>Никельмolibденовые, медьникелевые и медьникельмolibденовые стали</i>				
ПК10Н2М	6,8	700	240	8
	7,2	850	270	12
	7,6	1000	450	18
ПК10Н2Д2	6,4	700	240	3
	6,8	900	270	4
	7,2	1100	300	6
	7,6	1300	500	15
ПК10Н4Д4	6,4	900	300	2
	6,8	1200	500	3
ПК10Н2Д6М	7,4	1800	800	3
ПК40НМ*	6,8	900	300	4
	7,2	1100	340	6
	7,6	1300	600	10
ПК40Н2М*	6,4	800	260	2
	6,8	1000	320	4
	7,2	1200	380	5
	7,6	1400	700	7
ПК40Н2Д2*	6,4	1000	300	1
	6,8	1200	360	2
	7,4	1500	700	5
ПК40Н3Д2Х*	6,4	120	350	1
	6,8	150	500	2
ПК40Н2Д2М*	6,8	150	440	3
	7,4	180	780	6
ПК40Н4Д2М*	6,8	180	600	1
	7,4	220	880	4
ПК70Н2Д2*	6,4	120	330	-
	6,8	150	440	-
	7,4	200	800	3

Продолжение табл. 91

Марки	Плотность, г/см ³	Твердость НВ	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %
<i>Хромистые, марганцовистые и хромоникельмарганцовистые стали</i>				
ПК70Х3*	6,4	110	350	—
	6,8	140	450	—
ПКХ6*	7,4	180	800	—
ПК40Х2*	6,4	90	300	1
	6,8	110	400	2
	7,4	140	700	4
ПК40Г2*	7,4	140	700	5
ПК40ХН2 Г*	6,4	100	320	1
	6,8	120	450	2
	7,4	150	850	6
ПКГ13*	7,4	240	—	—
<i>Коррозионно-стойкие стали</i>				
ПК10Х13М2*	7,4	100	400	12
ПК10Х25	7,4	160	400	15
ПК20Х13*	6,4	180	320	1
	6,8	210	420	2
	7,4	250	480	6
ПК40Х13М2*	7,4	280	550	4
ПК10Х17Н2*	6,8	230	400	2
	7,4	270	500	8
ПК10Х18Н9Т	6,4	85	320	3
	6,8	95	380	4
	7,2	105	400	5
	7,6	130	550	15
ПК10Х18Н15	6,4	80	300	4
	6,8	90	380	5
	7,2	100	400	6
	7,6	125	550	20

* Самозакаливающиеся материалы (стали).

Примечания: 1. Механические свойства материалов соответствуют средним массовым долям углерода, легирующих элементов и минимальному значению плотности, указанным в обозначении марок сталей.

2. Нормы временного сопротивления при растяжении, относительного удлинения и твердости материалов являются справочными и приведены для выбора марок материалов.

3. Для марок материалов с плотностью 7,4 г/см³ и более, а также для самозакаливающихся материалов свойства приведены для отожженного состояния.

4. Необходимость контроля физико-механических свойств материалов должна быть указана в нормативно-технической документации на конкретное изделие или на чертеже конструкторской документации.

Цифры, стоящие после букв, указывают на массовую долю в материале легирующих компонентов в процентах: отсутствие цифры означает, что массовая доля компонента меньше или равна единице.

Условное обозначение конструкционного порошкового материала состоит из обозначения его марки и через дефис — минимальной плотности (г/см³).

Примеры условных обозначений: порошковой конструкционной малоуглеродистой стали со средней массовой долей углерода 0,1 % и минимальной плотностью 6,8 г/см³:






ПК 10-68 ГОСТ 28378;

порошковой конструкционной хромистой стали со средней массовой долей углерода 1 %, хрома 6 % и минимальной плотностью 7,4 г/см³:

ПКХ6-74 ГОСТ 28378.

В зависимости от конфигурации заготовки, получаемые методами порошковой металлургии, классифицируют по группам сложности (табл. 92). Наиболее целесообразно изготавливать методами порошковой металлургии заготовки из цветных металлов и сплавов 1 ... 7 групп сложности, стальные и чугунные заготовки — 1 ... 5 групп сложности в крупносерийном производстве. В табл. 93 представлены основные технологические схемы производства заготовок методами порошковой металлургии.

92. Классификация заготовок, получаемых методами порошковой металлургии, по сложности

Группа сложности	Характеристика		Отношение высоты заготовки к толщине стенки	Типовые конструкции заготовок
	сечения заготовок по высоте (вдоль оси прессования)	поверхностей, ограничивающих заготовку по высоте		
I	Неизменное сечение без отверстий	Параллельные плоскости	1 ... 3	
II	То же, с одним или несколькими отверстиями в направлении прессования	—	До 8	
III	То же	—	8 ... 10	
IV	Заготовки с наружным или внутренним буртом	—	До 6	
V	То же	—	6 ... 8	
VI	Заготовки с несколькими переходами по высоте, без отверстий	—	—	
VII	Несколько наружных или внутренних переходов при наличии отверстий в направлении прессования	Непараллельные плоскости или криволинейные поверхности, пересекающие ось прессования	—	

93. Основные технологические схемы производства заготовок методами порошковой металлургии

Степень нагруженности деталей	Квалитет	Группа сложности	Тип производства			
			мелкосерийное		серийное, массовое	
			Технологические операции			
		основные	дополнительные	основные	дополнительные	
Малонагруженные	11 ... 14 5 ... 10	1 ... 7	А	М, И, П	А А, Б	К, И, П
Умереннонагруженные	11 ... 14 5 ... 10	1 ... 7	Б, Е, Ж Б	М, ТО, И, П М, ТО, И, П ТО, Д, И, П	Б, Е, Ж Б	И, П, ТО, И, П ТО, Д, И, П
		1 ... 4 5 ... 7				
Среднегруженные	11 ... 14 5 ... 10	1 ... 7	Г, Е, Ж В, Г, Ж	М, ТО, П ТО, Д, П	Г, Е, Ж В, Г, Ж	ТО, П ТО, Д, П
Тяжелонагруженные	11 ... 14 5 ... 70	1 ... 7	В, Г, Н	М, ТО, П ТО, Д, П	В, Г, Н	ТО, П ТО, Д, П

Обозначения: А – холодное прессование + спекание; Б – двойное прессование + спекание; В – холодное прессование + спекание + холодная штамповка + отжиг; Г – холодное прессование + спекание + горячая штамповка + отжиг; Д – шлифование или доводка; Е – холодное прессование + пропитка легкоплавким металлом; Ж – спекание порошка в форме + пропитка легкоплавким металлом; И – пропитка кремнийорганической жидкостью и полимеризация; К – калибровка; М – механическая обработка; Н – холодное прессование + спекание + горячая штамповка с истечением металла + отжиг; П – нанесение покрытий; ТО – термическая обработка.

Один из основных показателей качества деталей из КПМ – *равномерная плотность*. С усложнением формы заготовки затрудняется достижение равномерной плотности во всех частях. При изготовлении заготовок из КПМ необходимо выполнение следующих условий:

1. Отношение толщины стенок в направлении прессования к максимальному поперечному размеру не должно превышать единицы. Минимальная толщина стенки заготовки цилиндрической формы 1,0 ... 1,2 мм, для заготовок иной формы 1,5 мм. У более крупных заготовок минимальная толщина стенки увеличивается на 0,8 мм на каждые 25 мм длины. Толщина донной части глухих отверстий не менее 2 ... 3 мм.

2. Радиусы закруглений внутренних углов сопрягаемых стенок не менее 0,3 мм, наружных – не менее 2,5 мм.

3. Для облегчения выталкивания стенки, перпендикулярные плоскости разреза пресс-формы, должны быть с уклоном, угол 5 ... 10°.

4. Утолщение, приливы, фланцы располагать в плоскости, перпендикулярной направлению прессования и возможно ближе к верхней

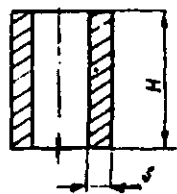
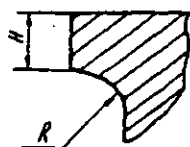
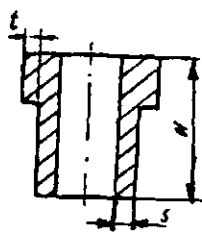
границе матрицы. Канавки, углубления и выемки выполнять в направлении прессования. Заготовки с узкими пазами могут иметь дефекты.

Специфика изготовления порошковых деталей накладывает ряд требований на оформление конструктивных элементов в части соотношения размеров, толщины стенок, размеров буртов и отверстий, конусности поверхностей и ряда других. Некоторые конструктивные элементы и требования к ним даны в табл. 94.

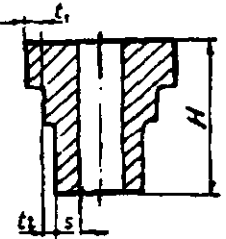
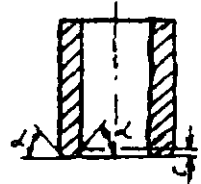
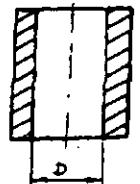
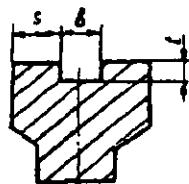
Наиболее распространенным методом изготовления заготовок из КПМ является холодное прессование с последующим спеканием, рекомендуемые при этом параметры заготовок даны в табл. 95. Точность заготовок из КПМ зависит от точности пресса, пресс-форм, стабильности упругих последствий при холодном прессовании и объемных изменений при спекании, износа пресс-формы, роста линейных размеров полуфабрикатов и изделий при хранении и т.д.

Показатели качества заготовок, полученных при различных схемах уплотнения при холодном прессовании, приведены в табл. 96.

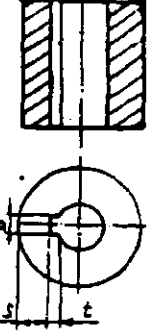
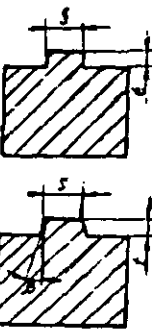
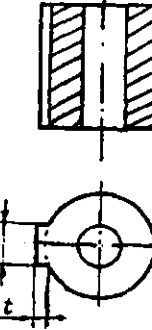
94. Требования к конструктивным элементам изделия

Элемент, тип изделия	Рекомендуемые параметры	Рекомендуемая технология формования
Стенка; изделия типа цилиндра 	$s \geq 0,8 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1$ $s \geq 0,8 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1$ $s \geq 2 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 1 \text{ мм}$	Формование пористых изделий: односторонним прессованием; двусторонним прессованием; двусторонним прессованием, поперечным прессованием
Скругление; изделия с переходами по высоте 	$R \geq 0,25 \text{ мм}$ $R = (0,3 \dots 0,5) H$	Прессование пористых изделий Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок
Бурт; изделия с одним переходом по высоте на наружной поверхности 	$t \geq 0,8 \text{ мм}$ $t \leq 3 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 2$ $t > 3 \text{ мм}; \frac{H}{s} \leq 2$ $t > 3 \text{ мм}; 2 < \frac{H}{s} \leq 15$	Двустороннее прессование пористых изделий Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок: двусторонней осадкой заготовки без бурта с поперечным течением материала; двусторонней осадкой заготовки с буртом; двусторонней осадкой бурта с последующим поперечным уплотнением всей заготовки

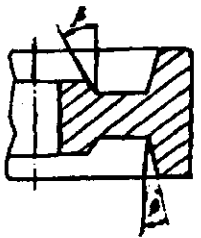

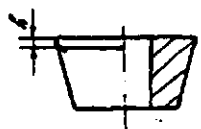
Продолжение табл. 94

Элемент; тип изделия	Рекомендуемые параметры	Рекомендуемая технология формования
изделия с двумя и более переходами на наружной поверхности 	$t_1, t_2 \geq 0,8$ мм	Двустороннее прессование пористых изделий
	$t_1 \leq 3$, мм; t_2 – не регламентируется; $\frac{H}{s} \leq 2$	Штамповка высокоплотных изделий: двусторонней осадкой заготовки без верхнего бурта с поперечным течением материала
	$t_1 > 3$, мм; t_2 – не регламентируется; $\frac{H}{s} \leq 2$	двусторонней осадкой пористой заготовки с буртами
	$t_1 > 3$, мм; t_2 – не регламентируется; $\frac{H}{s} \geq 2$	двусторонней осадкой буртов с последующим поперечным уплотнением всей заготовки
Фаска; изделия любой формы 	$0 < \alpha < 90^\circ$; $0,15 \leq c \leq 0,5$ мм	Прессование пористых изделий Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок
Отверстие; изделия любой формы 	$D > 1$ мм $D > 10$ мм	Прессование пористых изделий Штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок
Паз; изделия любой формы с пазами на торцах; 	$s, b \geq 2$ мм; t – не регламентируется $s \geq 2$ мм; $b \geq 5$ мм; t – не регламентируется $s \geq 2$ мм; $b \geq 5$ мм; $t < 3$ мм	Прессование пористых изделий Штамповка высокоплотных изделий: осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным пазом осадкой пористой заготовки без предварительно выполненного паза

Продолжение табл. 94

Элемент; тип изделия	Рекомендуемые параметры	Рекомендуемая технология формования
Паз; изделия любой формы с пазами на внутренней и наружной поверхностях 	$s \geq 2$ мм; b и t – не регламентируются	Прессование пористых изделий; штамповка высокоплотных изделий осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным пазом
Выступ; изделия любой формы с выступами на торце 	$s \geq 2$ мм; $t > 0,5$ мм $s \geq 5$ мм; $t \geq 3$ мм $s \geq 2$ мм; $t \leq 0,5$ мм; $\beta \geq 3^\circ$ $s \geq 5$ мм; $t \leq 3$ мм; $\beta \geq 5^\circ$	Прессование пористых изделий составным пуансоном Штамповка высокоплотных изделий осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным выступом Прессование пористых изделий цельным пуансоном Штамповка высокоплотных изделий осадкой (с выдавливанием) пористой заготовки с предварительно выполненным выступом
изделия с выступами на внутренней или наружной боковой поверхности 	$b \geq 2$ мм; t – не регламентируется $b \geq 5$ мм; $t \leq 3$ мм	Прессование пористых изделий Штамповка высокоплотных изделий осадкой пористой заготовки с предварительно выполненным выступом

Продолжение табл. 94

Элемент, тип изделия	Рекомендуемые параметры	Рекомендуемая технология формования
Уклон; изделия типа шестерен, шкивов и т.п. 	$\beta \geq 5^\circ$	Прессование пористых изделий; штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок
Зуб; изделия типа цилиндрической шестерни	$m \geq 0,5 \text{ мм}$	Прессование пористых изделий
	$0,5 \leq m \leq 2 \text{ мм}$	Штамповка осадкой с поперечным течением материала пористой заготовки без предварительно выполненных зубьев
	$m \geq 2 \text{ мм}$	Штамповка осадкой пористой заготовки с предварительно выполненными зубьями
Рифленая поверхность; изделия с рифленой поверхностью 	$\gamma \geq 30^\circ$	Прессование пористого изделия; штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок с нерифленой поверхностью
Поясок; изделия с конической поверхностью 	$h \geq 1 \text{ мм}$	Прессование пористых изделий; штамповка высокоплотных изделий из пористых заготовок

Примечание. Техническое оснащение процесса холодного прессования – спекания – калибрования и холодной штамповки позволяет получать детали 7 – 8-го качества точности, а при горячей штамповке – 8 – 9-го качества.

95. Рекомендуемые параметры заготовок, изготавливаемых методом холодного прессования с последующим спеканием

Параметр заготовки	Значение
Площадь поперечного сечения	0,5 ... 60 см ²
Высота заготовки	2 ... 60 мм
Масса заготовки	не более 5 ... 10 кг
Отношение длины к диаметру	не более 2,5 ... 3
Радиусы скругления граней	не менее 0,13 мм
Конусность по высоте заготовки	не более 0,008 мм на 1 мм длины
Некалиброванных заготовок:	
– точность размеров	IT8 ... IT14
– шероховатость поверхностей	$Ra = 2,5 \dots 0,63 \text{ мкм}$
Калиброванных заготовок:	
– точность размеров	IT6 ... IT7
– шероховатость поверхностей	$Ra = 0,32 \dots 0,08 \text{ мкм}$

96. Показатели качества заготовок из КПМ, изготавливаемых холодным прессованием с последующим спеканием

Номера процесса	Операция	Точность размеров		Шероховатость поверхности, мкм
		высотных	диаметральных	
1	Холодное прессование при уплотнении "по давлению"	IT12 ... IT14	IT6 ... IT8	$Ra = 5 \dots 0,16$
	Спекание	IT13 ... IT16	IT8 ... IT10	$Ra = 25 \dots 0,8$
2	Холодное прессование при уплотнении с ограничителем	IT12	IT8 ... IT11	$Ra = 5 \dots 0,16$
	Спекание	IT13 ... IT14	IT9 ... IT13	$Ra = 25 \dots 0,8$

Точность геометрической формы и взаимного расположения поверхностей заготовок из КПМ определяются точностью пресс-форм, которая должна быть минимум на один класс выше точности заготовки (табл. 97). Точность заготовок может быть повышена калиброванием путем обжатия их после спекания в калибровочных пресс-формах. При этом средний припуск для наружного диаметра втулок из железного графита пористостью 15 ... 30 % со-

ставляет 0,8 ... 1,2 % диаметра, для втулок из железа 0,8 ... 1,4 %. Отклонения диаметральных размеров калиброванных заготовок от соответствующих размеров матрицы или стержня калибрующей пресс-формы не превышают 5 ... 10 мкм.

Коэффициент использования материала для заготовок из КПМ наиболее высок в сравнении с другими видами (отливками, коваными, штампованными и др.) и может достигать 0,9 ... 0,95.

97. Взаимосвязь качества заготовки и пресс-формы для холодного прессования

Точность размеров заготовки	Качество формообразующих поверхностей пресс-формы		Рекомендуемые зазоры (мкм) между подвижными элементами при диаметре отверстий, мм		
	точность размеров	шероховатость поверхностей, мкм	18	26	45
IT6, IT7	IT3 ... IT6	$Ra = 2,5 \dots 0,02$	4 ... 14	4 ... 18	8 ... 26

Заготовки, получаемые литьем или из проката черных металлов и сплавов, целесообразно переводить на изготовление из порошков при объеме выпуска 10 000 шт., а заготовки из цветных сплавов – при объеме выпуска 2000 – 3000 шт.

ЗАГОТОВКИ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ КЕРАМИКИ

Из конструкционной керамики (КК), в частности, изготавливают детали: статора газотурбинных установок (солловые лопатки и аппараты, вставки надпорторных уплотнений, элементы облицовки и детали жаровых труб камер сгорания, кольца и т.д.); двигателей внутреннего сгорания (блок цилиндров, насадка поршня) и т.д. Исследуются возможности изготовления из КК деталей и сборочных единиц роторной группы: лопаток, дисков, монолитных колес газотурбинных установок, подшипников качения.

Широкое распространение в машиностроении получила КК на основе нитрида и карбида кремния, оксидов циркония и алюминия и др.

Нитрид кремния (Si_3N_4) не имеет четкой температуры плавления, при температуре 1600 °С соединение разлагается на расплав Si и N_2 . Обладает значительно большей, чем у многих металлов устойчивостью к окислению, особенно при высоких температурах.

Карбид кремния (SiC) стабилен (в α -фазе) при высоких температурах, обладает высокой твердостью и коррозионной стойкостью.

Диоксид циркония (ZrO_2) – наиболее тугоплавкий оксид (температура плавления 2700 °С), характерны меньший чем у прочих оксидных материалов модуль упругости, высокие сопротивления разрыву и тепловому удару, химическая стабильность при высоких температурах.

Оксид алюминия (Al_2O_3) используется для изготовления рабочих органов помольных агрегатов, режущих частей инструментов, подшипников, механических уплотнений, сопл и деталей химического оборудования, валов и зубчатых колес. Обладает высокой твердостью и коррозионной стойкостью.

Основные свойства КК приведены в табл. 98. Прочность керамики как хрупкого материала обычно определяют по вязкости разрушения (трещиностойкости) K_{Ic} .

Одним из основных процессов получения заготовок из КК является горячее прессование из порошков (спекание под давлением) – *совмещенный процесс прессования и спекания*. В зависимости от характеристик исходных порошков КК процесс осуществляется при температуре 0,5 – 0,8 температуры плавления формующего материала и давлениях от единиц до десятков МПа. Температура при горячем прессовании на 100 ... 400 °С ниже, чем при спекании без давления. Основные операции горячего прессования: подготовка порошка КК (дисперсность порошка 10 ... 0,1 мкм) подготовка пресс-форм; загрузка в них порошка и предварительное прессование на холоде; горячее прессование; термообработка – отжиг; механическая обработка. Оптимальные условия горячего прессования КК приведены в табл. 99.

Перспективным методом получения плотных заготовок из КК является *метод горячего изостатического прессования*. Предварительно отформованный полуфабрикат помещают в высокотемпературную оболочку-контейнер (например, из стали или тугоплавкого стекла типа пирекс), вакуумируют, заваривают и подвергают горячему прессованию посредством давления инертного газа или в некоторых случаях – легкоплавких стекол и даже сыпучих средств. Оболочка должна быть газонепроницаемой.

98. Свойства конструкционной керамики

Свойство	Нитрид кремния			Карбид кремния			Оксид алюминия	Диоксид циркония		
	СБД	ГП	РС	СБД	ГП	РС		РС	С	ЧС
Плотность, г/см ³	3,04	3,18	2,76	3,10	3,21	3,10	3,98	3,14	5,4	5,91
Открытая пористость, %	0	2	15	4	0	10	0	2	0	0
Модуль Юнга, ГПа	230	310	160	303	440	410	360	230	160	210
Вязкость разрушения K_{Ic} , МН/м ^{3/2}	5,3	5,0	3,6	2,4	4,4	4,6	1,75	2,2	1,1	8,4
Коэффициент термического расширения, $\times 10^{-6}$, 1/град	3,3	3,28	3,0	4,3	4,5	4,3	9,1	3,0	10,9	10,5
Температура плавления, °С	1600–1900	1600–1900	1600–1900	2700	2700	2700	2030	2600–2700	2600–2700	2600–2700
Максимальная температура использования, °С	1400	1500	1500	1650	1650	1650	1500	1500	2300	1500
Твердость, кг/мм ²	–	2200	1000	–	–	–	1600	–	–	–1500

Обозначения: СБД – спеченный без давления; ГП – горячепрессованный; РС – реакционно-спеченный; ЧС – частично-стабилизированный; С – стабилизированный.

99. Оптимальные условия горячего прессования КК

Показатели	Si_3N_4	ZrO_2	Al_2O_3
Средний размер частиц, мкм	3	3–5	1,0
Температура прессования, °С	1800	2150	1500
Давление, МПа	30	40	20
Продолжительность, мин	15	20	15
Относительная плотность	0,97	0,99	0,97

Разработаны установки горячего изостатического прессования с диаметром рабочего пространства 70 ... 465 мм при длине 250 ... 2000 мм. Рабочие давления и температура находятся в пределах 200 ... 250 МПа и 1150 ... 2000 °С соответственно. Продолжительность изотермической выдержки заготовок 0,5 ... 3 ч. Часто горячее изостатическое прессование выполняют в газовых автоклавах, представляющих собой сосуды высокого давления,

внутри которых установлен электрический нагреватель. Рабочая среда – гелий или аргон.

Горячее изостатическое прессование более сложный и дорогостоящий процесс, чем горячее прессование, но он позволяет получать заготовки сложной формы с относительной плотностью 0,9 ... 0,99, в том числе и из трудно спекаемой КК. Исключаются недостатки метода горячего прессования (малый срок службы пресс-форм, загрязнение заготовок материалом пресс-форм).

Технологические факторы процесса получения керамической заготовки влияют на значения коэффициента усадки КК при спекании. Это ведет к появлению усадочных трещин – одной из основных причин брака заготовок из КК. Конфигурация заготовок из КК после спекания может значительно отличаться от заданной на чертеже.

Точность размеров заготовок из КК соответствует IT14 ... IT17 и грубее. Шероховатость поверхностей исходных заготовок из КК определяется размером частиц исходного порошка (обычно 1 ... 5 мкм), видом процесса и его режимами и обычно находится в пределах $Ra5 \dots Rz640$ и грубее.

Для получения необходимого качества заготовки из КК обычно подвергаются алмазной обработке (резка алмазными дисками, алмазное сверление, шлифование алмазными кругами, алмазная доводка и полирование), ультразвуковой размерной или струйной обработке. В результате, может быть достигнута точность размеров IT8, IT9 и шероховатость поверхности Ra0,63 ... 1,25 мкм.

ВЫБОР ЗАГОТОВОК

Выбор заготовки заключается в последовательном определении ее вида и способа изготовления, на основании которых оформляют заказ и разрабатывают технологический процесс ее изготовления.

Выбор заготовки – задача конструктора детали и принятое им решение является обязательным к исполнению для технолога. Технолог выполняет выбор заготовок, если в конструкторской документации не указан их вид и способ изготовления.

Исходные данные для выбора: чертеж детали с техническими требованиями на изготовление, с указанием ее массы и марки материала; годовой объем выпуска, на основании которого делается заключение о предполагаемом типе производства, данные о технологических возможностях и ресурсах производства.

Для типовых деталей выбор существенно упрощается – используются апробированные (типовые) технологические решения.

Выбор осуществляется только при наличии альтернативных решений. Формальные критерии выбора вида заготовки отсутствуют.

Выбор начинают с анализа данных о технологических возможностях (ресурсах) производства.

Учитываются возможности заготовительных цехов (наличие соответствующего оборудования); оказывают влияние плановые сроки подготовки производства (проектные работы, изготовление штампов, моделей, пресс-форм). Виды заготовок, невозможные для реализации (например, отсутствие собственного литейного производства и невозможность приобретения отливок по кооперации), исключаются из рассмотрения. Обычно выбор осуществляют в результате анализа конструкторской документации по отдельным (частным) признакам.

В табл. 100 приведены основные параметры, наиболее часто используемые при выборе вида заготовки. По каждому параметру из всего множества выбора определяют подмножество приемлемых видов заготовки и при возможности устанавливают их приоритеты. При этом используют эвристические правила (табл. 101). Выбранный вид находится на пересечении указанных подмножеств. Если они не пересекаются, принимается необходимый компромисс. Ввиду малой мощности множества выбора, принятое решение зачастую однозначно и не требует оптимизации. При выборе вида заготовки, особенно при наличии альтернатив, решение может приниматься на основании сопоставления значений экономически эффективных объемов выпуска (табл. 102). Решение о выборе вида заготовки может приниматься с помощью систем автоматизированной поддержки, созданных по методологии экспертных систем и использующих базы знаний на основе производственных правил "ЕСЛИ ... ТО ...".

100. Параметры, используемые при выборе вида заготовок

Параметры	Приоритетные виды заготовок	Примечания
Форма детали: простая	П, ПМ	Деталь ограничена цилиндрическими и плоскими поверхностями, не имеет сложных внутренних полостей, ориентирована по какой-либо оси. Пример: ступенчатый вал средних размеров
сложная	О, СК, ОД	Деталь ограничена, кроме прочих, фасонными поверхностями, имеет обширные внутренние полости, в том числе, глухие. Например: крышка редуктора
Заготовительные свойства материала		
Жидкотекучесть:		
удовлетворительная;	О	Улучшенные литейные свойства материала (например, сталь 45Л) делает отливку приоритетным видом заготовки. Заготовки из чугуна могут быть получены только литьем.
неудовлетворительная	(О)	

Продолжение табл. 100

Параметры	Приоритетные виды заготовок	Примечания
Пластичность:		Заготовительные свойства могут трактоваться более широко – при анализе допустимо использование понятий: "литейные свойства", "пластические свойства". Шкала оценок может быть более дифференцированной
удовлетворительная;	ОД, П, ПМ	
неудовлетворительная	(ОД, П)	
Свариваемость:		
удовлетворительная;	СК	
неудовлетворительная	(СК)	
Обрабатываемость резанием:		
удовлетворительная;	П, ПМ	
неудовлетворительная	О, СК, ОД	
Плотность материала:		"Плотность материала" и "ориентированность структуры" представляют особые требования к материалу детали. При необходимости множество особых требований к материалу может быть расширено
обычная	*	
высокая	ОД, П, ПМ	
Ориентированность структуры:		
необходима	ОД, О	
нет	*	
Удельная стоимость материала:		Может быть использован численный критерий. Чем сложнее химический состав материала, тем выше его удельная стоимость
высокая	Л, ОД, ПМ	
обычная	*	
Ответственность:		Деталь, выход из строя которой влечет катастрофические последствия, связанные с угрозой для жизни человека
обычная	*	
высокая	ОД, П	
Производство:		При росте серийности производства становятся экономически целесообразными виды заготовок, базовые методы изготовления которых требуют значительных затрат
единичное	П	
серийное	П, ОД, СК, О	
массовое	О, ОД, ПМ, СК	

Обозначения: О – отливка; ОД – обработка давлением; П – прокат; СК – сварная и комбинированная; ПМ – порошковая металлургия; () – исключая; * – любой

101. Основные правила выбора вида заготовки

Параметр	Правило
Форма детали	Если форма детали сложная, то выбранный вид заготовки должен обеспечить максимальное приближение последней к форме готовой детали
Заготовительные свойства материала	Приоритетное заготовительное свойство делает приоритетным соответствующий вид заготовки. При равноприоритетности свойств предпочтение отдается наиболее экономичному виду
Особые требования к материалу детали	Наличие особых требований к материалу детали делает приоритетным вид заготовки, максимально приближающий выполнение этих требований

Продолжение табл. 101

Параметр	Правило
Удельная стоимость материала	Чем выше удельная стоимость материала, тем более приоритетен вид заготовки, максимально приближающий ее форму к форме готовой детали
Ответственность детали	Ответственность детали делает приоритетным технический принцип принятия технологических решений
Тип производства	Чем больше объемы выпуска деталей (заготовок), тем более технически сложнореализуемые виды заготовки становятся экономически оправданными

102. Экономически эффективные объемы выпуска заготовок из порошковых материалов на основе железа, шт./год

Группа сложности заготовок из порошковых материалов	Сопоставляемый вид заготовки	Объем выпуска заготовок из порошковых материалов							
		без калибровки				с калибровкой			
		Масса заготовки, г							
		10–20	40–80	160–320	640–1280	10–20	40–80	160–320	640–1280
1; 2 3 4 5 6 7	Прокат	4800	3750	2350	850	11700	9960	7680	1850
		2940	2350	1650	820	8870	6800	3900	1750
		2100	1810	1250	650	6410	5100	2450	1800
		1380	1060	830	530	4350	3650	1610	1920
		700	630	660	770	2760	2100	1580	2050
		600	570	800	900	1840	1670	1610	2100
		1; 2 3 4 5 6 7	Отливка (точное литье)	7250	5260	2750	1000	12800	11200
6600	4800			2300	920	11150	9650	7000	2900
5100	3950			2150	1100	10700	9400	6400	3420
4450	3450			1600	1280	9800	8680	6300	3850
3690	3080			1420	1510	9150	8050	6180	4200
3450	2700			1550	1750	8750	7500	6240	4450
1, 2 3 4 5 6 7	Обработка давлением (штамповка)			8200	5950	3100	1230	13500	11900
		6350	4850	2160	1150	11600	10200	7150	3540
		4850	3780	1830	1080	9650	7630	6530	3900
		4300	2880	1590	1200	8060	5850	5200	4360
		3400	2050	1380	1330	6540	4210	4800	4550
		2770	950	1300	1460	5300	3960	4300	4780

103. Относительная удельная стоимость отливок

Способ литья	Относительная удельная стоимость
В песчаные формы при ручной формовке	1,24
В песчаные формы при машинной формовке	1
В оболочковые формы	4,2
Точное в разовые формы	8,4
В неметаллические многократные формы	4,4
В кокиль	5,2
Под давлением	5,9
Центробежное	5,0

Примечание. В реальных производственных условиях значения относительной удельной стоимости могут существенно отличаться от табличных!

После выбора вида *выбирают способ изготовления заготовки*. По мере усложнения конфигурации заготовки, уменьшения напусков и припусков, повышения точности размеров и параметров расположения поверхностей усложняется и удорожается технологическая оснастка заготовительного цеха и возрастает себестоимость заготовки, но при этом снижается трудоемкость и себестоимость последующей механической обработки заготовки, повышается коэффициент использования материала. Заготовки простой конфигурации дешевле, так как не требуют при изготовлении сложной и дорогой технологической оснастки, однако такие заготовки требуют последующей трудоемкой обработки и повышенного расхода материала.

Для выбора способа изготовления еще не спроектированной заготовки используют данные о конструктивно-технологических параметрах детали, при необходимости закругляя их.

При выборе способа литья учитывают: марку материала; массу, габариты детали (заготовки); минимальную толщину стенки отливки; площадь или максимальную протяженность стенки; минимальный диаметр и максимальную глубину как сквозных, так и глухих отверстий; заданные значения показателей качества отливки.

При выборе способа обработки давлением исходят из класса детали; массы детали (заготовки); габаритов; наличия отверстий в

боковых стенках; внутренних полостей и фланцев; заданных значений показателей качества заготовки.

Даже внутри одного вида число конкурирующих альтернативных способов изготовления заготовки может быть значительным. Наиболее целесообразно выполнять селекцию альтернативных способов изготовления заготовки по результатам технико-экономического анализа (сравнение по технологической и цеховой себестоимости заготовки; по себестоимости детали). Для самых предварительных, приближенных оценок альтернативных способов изготовления заготовок одного вида можно воспользоваться критерием минимума относительной стоимости заготовок C_{oi} :

$$C_{oi} = \frac{m_d}{K_{имi}} U_i,$$

где C_{oi} – относительная стоимость заготовки для i -го способа ее изготовления; m_d – масса детали, кг; $K_{имi}$ – коэффициент использования материала i -го способа изготовления заготовки; U_i – относительная удельная стоимость заготовки при i -м способе изготовления (табл. 103).

После выбора способа изготовления заготовки выполняют проектирование, разрабатывают необходимый технологический процесс и оформляют заказ на изготовление заготовки.

Глава

4

ПРИПУСКИ
НА МЕХАНИЧЕСКУЮ
ОБРАБОТКУПОНЯТИЕ О ПРИПУСКЕ
И МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Припуск – слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали.

Припуск на обработку поверхностей детали может быть назначен по соответствующим справочным таблицам, ГОСТам или на основе расчетно-аналитического метода определения припусков.

ГОСТы и таблицы позволяют назначать припуски независимо от технологического процесса детали и условий его осуществления и поэтому в общем случае являются завышенными, содержат резервы снижения расхода материала и трудоемкости изготовления детали.

Расчетно-аналитический метод определения припусков на обработку (РАМОП), разработанный проф. В. М. Кованом, базируется на анализе факторов, влияющих на припуски предшествующего и выполняемого переходов технологического процесса обработки поверхности. Значение припуска определяется методом дифференцированного расчета по элементам, составляющим припуск.

РАМОП предусматривает расчет припусков по всем последовательно выполняемым технологическим переходам обработки данной поверхности детали (промежуточные припуски), их суммирование для определения общего припуска на обработку поверхности и расчет промежуточных размеров, определяющих положение поверхности, и размеров заготовки. Расчетной величиной является минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе, и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе. Промежуточные размеры, определяющие положение обрабатываемой поверхности, и размеры заготовки рассчитывают с использованием минимального припуска.

РАМОП представляет собой систему, включающую методики обоснованного расчета припусков, увязку расчетных припусков с предельными размерами обрабатываемой поверхности и нормативные материалы.

Применение РАМОП сокращает в среднем отход металла в стружку по сравнению с табличными значениями, создает единую систему определения припусков на обработку и размеров детали по технологическим переходам и заготовок, способствует повышению технологической культуры производства.

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

В технологии машиностроения существуют методы автоматического получения размеров (МАПР) и индивидуального получения размеров (МИПР).

Минимальный, номинальный и максимальный припуски на обработку при методе автоматического получения размеров рассчитывают следующим образом.

Минимальный припуск: при последовательной обработке противоположащих поверхностей (односторонний припуск)

$$z_{i \min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i; \quad (1)$$

при параллельной обработке противоположащих поверхностей (двусторонний припуск)

$$2z_{i \min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i];$$

при обработке наружных и внутренних поверхностей (двусторонний припуск)

$$2z_{i \min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}]. \quad (2)$$

Здесь $R_{z_{i-1}}$ – высота неровностей профиля на предшествующем переходе; h_{i-1} – глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой); $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ – суммарные отклонения расположения поверхности (отклонения от

параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричности, пересечения осей, позиционное) и в некоторых случаях отклонения формы поверхности (отклонения от плоскостности, прямолинейности на предшествующем переходе); ε_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Номинальный припуск на обработку поверхностей: наружных

$$z_i = z_{i \min} + ei_{i-1} - ei_i; \quad (3)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + ei_{D_{i-1}} - ei_{D_i}; \quad (4)$$

внутренних

$$z_i = z_{i \min} + ES_{i-1} - ES_i; \quad (5)$$

$$2z_i = 2z_{i \min} + ES_{D_{i-1}} - ES_{D_i}; \quad (6)$$

где ei_{i-1} , $ei_{D_{i-1}}$, ei_i , ei_{D_i} – нижние отклонения размеров соответственно на предшествующем и выполняемом переходах; ES_{i-1} , $ES_{D_{i-1}}$, ES_i и ES_{D_i} – верхние отклонения размеров соответственно на предшествующем и выполняемом переходах; $ei_{D_{i-1}}$, ei_{D_i} , $ES_{D_{i-1}}$, ES_{D_i} – размеры, относящиеся к диаметральным.

Знать номинальные припуски необходимо для определения номинальных размеров формообразующих элементов технологической оснастки (штампов, пресс-форм, моделей, волок, приспособлений).

Максимальный припуск на обработку поверхностей: наружных

$$z_{i \max} = z_{i \min} + T_{i-1} - T_i; \quad (7)$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + TD_{i-1} - TD_i; \quad (8)$$

внутренних

$$z_{i \max} = z_{i \min} + T_{i-1} - T_i; \quad (9)$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + Td_{i-1} - Td_i; \quad (10)$$

где T_{i-1} , Td_{i-1} и TD_{i-1} – допуски размеров на предшествующем переходе и T_i , Td_i и TD_i – допуски размеров на выполняемом переходе.

Максимальные припуски и припуски для технологических целей (уклоны, напуски, упрощающие конфигурацию заготовки, и т.п.)

принимают в качестве глубины резания и используют для определения режимов резания (подачи, скорости резания) и выбора оборудования по мощности.

Минимальный припуск на обработку при методе индивидуального получения заданных размеров рассчитывается по формулам (1), (2) с заменой в них при расчетах погрешности установки ε_i погрешностью выверки ε_n . Максимальные припуски определяют по формулам:

– для внутренних поверхностей:

$$z_{i \max} = z_{i \min} + T_{i-1} + T_i;$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i;$$

– для наружных поверхностей:

$$z_{i \max} = z_{i \min} + T_{i-1} + T_i;$$

$$2z_{i \max} = 2z_{i \min} + TD_{i-1} + TD_i.$$

ПРАВИЛА РАСЧЕТА
ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ

1. Минимальный припуск рассчитывают по формулам (1) или (2) с использованием расчетной карты (см. раздел "Примеры расчета припусков ...") для каждой обрабатываемой поверхности. В расчетной карте указывают размер, определяющий положение обрабатываемой поверхности и технологические переходы в порядке их выполнения при обработке; для каждого перехода записывают значения Rz , h , Δ_{Σ} , ε и T .

2. Допуск и параметры качества поверхности на конечном технологическом переходе (Rz и h) принимают по чертежу детали, проверяя по нормативам возможность получения их выбранным способом обработки.

3. Для серого и ковкого чугунов, а также цветных металлов и сплавов после первого технологического перехода и для стали после термической обработки при расчете припуска слагаемое h из формулы исключают. В конкретных случаях те или иные слагаемые, входящие в расчетные формулы для определения припусков на обработку, также исключают. Так исключают те погрешности, которые не могут быть устранены при выполняемом переходе: например, при развертывании плавающей разверткой и протягивании отверстий смещение и увод оси не устраняются. Следовательно, минимальный припуск в этом случае

$$2z_{\text{mini}} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \varepsilon_i).$$

При шлифовании у заготовки после ее термической обработки поверхностный слой должен быть сохранен: следовательно, слагаемое h_{i-1} должно быть исключено из расчетной формулы:

$$z_{\text{mini}} = (Rz_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i).$$

При суперфинишировании и полировании, когда достигается лишь уменьшение параметра шероховатости поверхности, припуск на обработку определяется высотой неровностей поверхности и погрешностями, связанными с наладкой инструмента на размер и его износом, не превышающими обычно 1/2 допуска на обработку, т.е.

$$2z_{\text{mini}} = 2Rz_{i-1} + 0,5T_i.$$

4. Отклонения расположения Δ_{Σ} необходимо учитывать: у заготовок (под первый технологический переход); после черновой и получистовой обработки лезвийным инструментом (под последующий технологический переход); после термической обработки, если даже деформации не было. В связи с закономерным уменьшением отклонений расположения поверхностей при обработке за несколько переходов на стадиях чистовой и отделочной обработки ими пренебрегают.

5. При определении припусков следует учитывать те отклонения расположения, которые не связаны с допуском на размер элементарной поверхности и имеют самостоятельное значение. Так, отклонения расположения поверхностей заготовки при штамповке образуются в результате смещения верхней половины штампа относительно нижней, являющейся базой. Обычно линию разреза штампов предусматривают по элементарной поверхности (рис. 1, а и б), что позволяет выявить смещение штампов и определить его значение. В этом случае смещение нижней и верхней половин штампа связано с допуском на размер, а значение его регламентируется в пределах допуска на размер или иногда задается точнее.

Если линию разреза штампа сделать по линии контакта двух элементарных поверхностей, характеризующих диаметрами D и d , то в этом случае смещение штампа не будет связано ни с допуском на размер D , ни с допуском на размер d , а будет иметь самостоятельное значение. Для компенсации данного отклонения

необходимо предусмотреть дополнительный припуск на размер d , поскольку размер D является базой (образуется нижней неподвижной половиной штампа).

6. Различают общее и местное отклонение оси детали от прямолинейности (кривизну). Их значение определяют исходя из геометрических соотношений параметров детали.

Так, при установке в центрах (рис. 2, а) общее отклонение

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\kappa} l, \quad (11)$$

а местное отклонение

$$\Delta_{\Sigma_{\text{к.м}}} = \frac{\Delta_{\kappa}(l^2 - l_x^2)}{l(1 + 4\Delta_{\kappa}^2)} \quad (\text{точно});$$

$$\Delta_{\Sigma_{\text{к.м}}} = (l - l_x)\Delta_{\kappa} \quad (\text{приближенно}).$$

При консольном закреплении (рис. 2, б) общее отклонение

$$\Delta_{\Sigma} = l \frac{\Delta_{\kappa}}{\Delta_{\kappa}^2 + 0,25} \quad (\text{точно}); \quad (12)$$

$$\Delta_{\Sigma} = 2\Delta_{\kappa} l \cos[\arctg(2\Delta_{\kappa})] \quad (\text{приближенно}). \quad (13)$$

Здесь Δ_{κ} – отклонение оси детали от прямолинейности, мкм на 1 мм (в справочных материалах далее именуется *кривизной*).

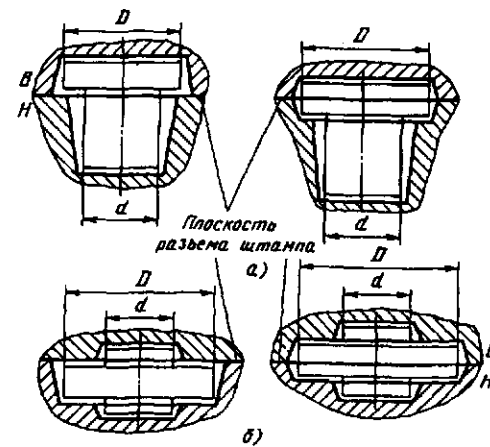


Рис. 1. Примеры, иллюстрирующие правильное и неправильное назначение плоскости разреза штампов

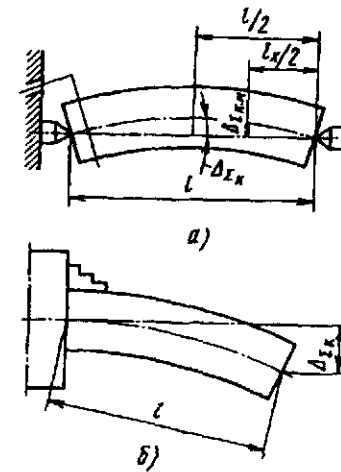


Рис. 2. Обозначения общей и местной кривизны заготовки: а – при ее установке в центрах; б – при консольном креплении

После выполняемого перехода обработки отклонение от расположения или кривизну рассчитывают по точной или приближенной формуле.

7. Суммарное значение двух отклонений расположения определяют как векторную сумму:

$$\bar{\Delta}_{\Sigma} = \bar{\Delta}_1 + \bar{\Delta}_2.$$

Для векторов при направлении:

$$\text{совпадающем } \Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2;$$

$$\text{противоположном } \Delta_{\Sigma} = \Delta_1 - \Delta_2.$$

В тех случаях, когда предвидеть направление векторов трудно, их суммируют:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}. \quad (14)$$

Так, суммарное отклонение расположения при обработке сортового проката круглого сечения (валик) в центрах

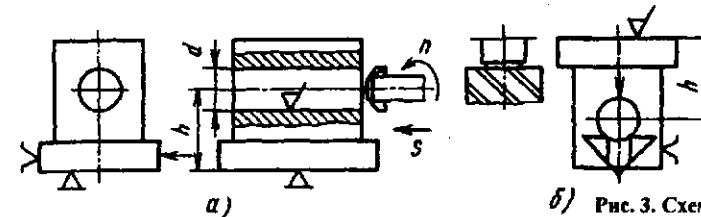


Рис. 3. Схемы для определения отклонения расположения отверстия при обработке его в отливке с базированием на плоскость (а) и отклонения расположения плоскости с базированием отливки по отверстию (б)

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma_{\kappa}}^2 + \Delta_{\Sigma_{\text{ц}}}^2}, \quad (15)$$

где $\Delta_{\Sigma_{\kappa}}$ – общее отклонение оси от прямолинейности [см. формулы (11), (12)]; $\Delta_{\Sigma_{\text{ц}}}$ – смещение оси заготовки в результате погрешности центрования

$$\Delta_{\Sigma_{\text{ц}}} = 0,25\sqrt{T^2 + 1}. \quad (16)$$

При $T \gg 1$ $\Delta_{\Sigma_{\text{ц}}} = 0,25T$. Здесь T – допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центровании, мм.

Суммарное отклонение расположения при обработке отверстий в отливке при базировании на плоскость (рис. 3, а) или при обработке плоскости при базировании по отверстию (рис. 3, б)

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2}, \quad (17)$$

где $\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\kappa} L$ – отклонение плоской поверхности отливки от плоскостности (коробление); $\Delta_{\text{см}}$ – смещение стержня в горизонтальной или вертикальной плоскости, мм; L – длина отливки, мм.

Смещение $\Delta_{\text{см}}$ стержней, образующих отверстие или внутренние полости, следует принимать равным допуску на наибольший размер от оси отверстия или внутренней полости до технологической базы с учетом наибольших размеров отливки.

Суммарные отклонения после сверления отверстия

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta_{\gamma} l)^2 + C_o^2}, \quad (18)$$

где C_o – смещение оси отверстия; Δ_{γ} – значение увода оси сверла; l – длина просверливаемого отверстия, мм.

8. Рассчитанные припуски по всем переходам заносят в расчетную карту.

ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПЕРЕХОДАМ И ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ

1. Расчетные формулы для определения размеров: наружных поверхностей

$$a_{\min i-1} = a_{\min i} + z_{\min i};$$

$$a_{\max i-1} = a_{\min i-1} + T_{i-1}; \quad (19)$$

$$D_{\min i-1} = D_{\min i} + 2z_{\min i};$$

$$D_{\max i-1} = D_{\min i-1} + T_{D i-1}; \quad (20)$$

внутренних поверхностей

$$a_{\max i-1} = a_{\max i} - z_{\min i}; \quad (21)$$

$$a_{\min i-1} = a_{\max i-1} - T_{i-1};$$

$$D_{\max i-1} = D_{\max i} - 2z_{\min i};$$

$$D_{\min i-1} = D_{\max i} - T_{D i-1}; \quad (22)$$

где $z_{\min i}$ — минимальный (расчетный) припуск на сторону на выполняемый технологический переход; $2z_{\min i}$ — минимальный (расчетный) припуск на обе стороны или по диаметру; $a_{\min i-1}$, $D_{\min i-1}$, $a_{\max i-1}$ и $D_{\max i-1}$ — соответственно наименьшие и наибольшие предельные размеры, полученные на предшествующем технологическом переходе; $a_{\min i}$, $D_{\min i}$, $a_{\max i}$ и $D_{\max i}$ — соответственно наименьшие и наибольшие предельные размеры, полученные на выполняемом технологическом переходе.

2. Порядок определения размеров для элементарной поверхности. Из чертежа детали берут и заносят в расчетную карту (см. раздел "Примеры расчета ...") для конечного перехода наименьший для наружных (или наибольший для внутренних) поверхностей размер. Для переходов обработки наружных поверхностей наименьший размер рассчитывают прибавлением к наименьшему предельному размеру по чертежу припуска z_{\min} . При обработке внутренних поверхностей расчетным размером является наибольший размер. Размер на предшествующем переходе определяют путем вычитания z_{\min} .

Наименьшие (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам округляют увеличением (уменьшением) их до того же знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Наибольшие (наименьшие) предельные размеры определяют прибавлением (вычитанием) допуска к округленному наименьшему (из округленного наибольшего) предельному размеру. Находят фактические предельные значения припусков z_{\max} как разность наибольших (наименьших) предельных размеров и z_{\min} как разность наименьших (наибольших) предельных размеров предшествующего и выполняемого переходов (выполняемого и предшествующего переходов).

Общие припуски $z_{o \max}$ и $z_{o \min}$ определяют как сумму промежуточных припусков на обработку.

Правильность проведенных расчетов проверяют по формулам

$$z_{i \max} - z_{i \min} = T_{i-1} - T_i; \quad (23)$$

$$2z_{i \max} - 2z_{i \min} = T_{D i-1} - T_{D i}; \quad (24)$$

$$z_{o \max} - z_{o \min} = T_a - T_d; \quad (25)$$

$$2z_{o \max} - 2z_{o \min} = T_{D_s} - T_{D_d}. \quad (26)$$

При необходимости находят номинальные размеры:

для наружных поверхностей номинальный размер заготовки равен наибольшему размеру, т.е. $a = a_{\max}$; на чертеже указывают $a_{\max} - T$; для внутренних поверхностей номинальный размер заготовки равен наименьшему размеру, т.е. $a = a_{\min}$; на чертеже указывают $a_{\min} + T$.

Если допуск расположен симметрично относительно номинального размера, то

$$a = a_{\max} - \frac{T}{2} = a_{\min} + \frac{T}{2}. \quad (27)$$

На чертеже указывают и $a \pm \frac{T}{2}$.

Методика расчета припусков и промежуточных размеров с использованием ЭВМ базируется на аналитических зависимостях и справочных данных. Для обеспечения автоматизации расчетов по этим зависимостям разрабатывают алгоритмы применительно к определенному классу деталей (валы, рычаги, корпусные детали и др.).

Расчет припусков и промежуточных размеров на ЭВМ может быть как самостоятельным, так и являться одним из этапов автоматического проектирования технологических процессов обработки деталей любых классов.

НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ

Нормативные материалы предназначены для расчета припусков на поверхности типовых деталей машин, обрабатываемых как на предварительно настроенных, так и на универсальных станках.

Нормативы охватывают детали машин, заготовки которых получены из проката, литьем, штамповкой, ковкой (в том числе специальными способами ковки) и механической обработкой. Для каждого вида заготовки и способа обработки в нормативах даны значения Rz , h и отклонения расположения поверхностей (погрешности установки см. в главе 1, табл. 12). Для каждого вида заготовки и способа обработки в нормативных материалах приведены методические указания, отмечающие особенности расчета припусков для данного вида заготовки. Составляющие припуска даны без индекса в связи с тем, что в одном случае эти величины относятся к выполняемому, а в другом — к предшествующему переходу.

Этим материалом технолог должен пользоваться, проявляя творческую инициативу при построении технологических процессов и расчете припусков на обработку.

Заготовки из проката

1. Качество поверхности (мкм) сортового проката

Диаметр проката, мм	Точность прокатки					
	высокая		повышенная		обычная	
	Rz	h	Rz	h	Rz	h
До 30	63	50	80	100	125	150
Св. 30 до 80	100	75	125	150	160	250
" 80 " 180	125	100	160	200	200	300
" 180 " 250	200	200	250	300	320	400

2. Качество поверхности (мкм) поперечно-винтового проката

Диаметр проката, мм	Rz при точности прокатки		h
	повышенной	нормальной	
До 10	63	100	100
" 10 " 18	100	200	180
" 18 " 30	160	320	300
" 30 " 50	320	500	500
" 50 " 80	500	800	800
" 80 " 120	800	1250	1200
120 " 180	1250	1600	2000

Примечание. Качество поверхности поперечно-винтового проката указано после термической обработки (нормализации или улучшения).

3. Точность и качество поверхности после отрезки сортового проката

Способ отрезки	Квалитет	Rz + h, мкм
На ножницах ¹	17	300
Приводными ножовками, дисковыми фрезами на фрезерных станках	14	200
Отрезными резцами на токарных станках	13	200
Отрубка на прессах ¹	17	Rz = 150 ... 300 h = 1000 ... 1600

¹При отрезке на ножницах и отрубке на прессах получается вмятина в направлении, перпендикулярном к поверхности среза, достигающая $0,2D$, и скос по торцу до 3° , которые необходимо учитывать при последующей обработке заготовок как по торцу, так и по диаметру.

4. Кривизна профиля сортового проката, мкм на 1 мм

Характеристика проката	Длина проката, мм				
	До 120	120-180	180-315	315-400	400-500
Без правки при точности прокатки:					
обычной	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
повышенной	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
высокой	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Продолжение табл. 4

Характеристика проката	Диаметр проката, мм				
	До 30	30-50	50-80	80-120	120-180
Без правки после закалки:					
	в печах	2,0	1,3	0,9	0,6
ТВЧ	1,0	0,6	0,45	0,3	0,15
После правки на прессах	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08

Примечание. У поперечно-винтового проката при повышенной точности прокатки $\Delta_x = 2$ мкм на 1 мм длины, а при обычной точности $\Delta_x = 4$ мкм на 1 мм.

5. Точность и качество поверхности заготовок из проката после механической обработки

Способ обработки	Переход	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
<i>Обработка наружных поверхностей</i>				
Обтачивание резцами проката повышенной и обычной точности прокатки	Обдирка	14	125	120
	Черновое	12	63	60
	Чистовое и однократное	10-11	32-20	30
	Тонкое	7-9	6,3-3,2	-
Шлифование в центрах проката обычной точности прокатки	Черновое	8-9	10	20
	Чистовое и однократное	7-8	6,3	12
Бесцентровое шлифование проката повышенной и высокой точности прокатки	Тонкое	5-6	3,2-0,8	6-2
<i>Обработка торцовых поверхностей</i>				
Подрезание резцом на токарных станках	Черновое	12	50	50
	Чистовое	11	32	30
Шлифование на кругло- и торцешлифовальных станках	Однократное	6	5-10	-

¹Значения допусков для квалитетов 5-14 даны в табл. 32.

Указания для расчета припусков и предельных размеров при изготовлении деталей из проката. Для ступенчатых валов расчет ведут по ступени (шейке) с наибольшим диаметром, а при равных диаметрах - по ступени (шейке), к которой предъявляют наиболее высокие требования по точности и качеству поверхности (расчетная ступень).

Расчетный наименьший предельный размер проката

$$D_{\text{д min}} = D_{\text{д min}} + 2z_{\text{о min}}, \quad (28)$$

где $D_{\text{д min}}$ - наименьший предельный размер расчетной ступени по чертежу; $2z_{\text{о min}}$ - расчетный минимальный общий припуск на обработку по диаметру.

Полученный размер $D_{\text{д min}}$ округляют (в большую сторону) до ближайшего по сортаменту диаметра прутка $D'_{\text{д min}}$, наименьший предельный размер которого должен быть не менее $D_{\text{д min}}$, тогда действительный общий припуск на обработку для расчетной ступени

$$2z_{\text{о min}} = D'_{\text{д min}} - D_{\text{д min}}. \quad (29)$$

Напуск, имеющийся на остальных ступенях вала, если это допустимо по глубине резания, снимают при черновой обработке за один рабочий ход; больший напуск удаляют за два рабочих хода: 60-70% за первый и 30-40% за второй. Дальнейшую обработку всех ступеней (шеек) вала ведут в соответствии с расчетными предельными размерами.

Прокат высокой точности прокатки лезвийным инструментом не обрабатывают; прокат обычной точности прокатки обрабатывают на токарных автоматах или револьверных станках; прокат высокой точности прокатки не шлифуют до термической обработки. При шлифовании валов после закалки из расчетной формулы припуска исключают h .

При совмещенных технологической и измерительной базах допуски принимают в соответствии с указанным квалитетом; при несомкнутых - к значению допуска прибавляют погрешность базирования, равную допуску на

размер, связывающий технологическую и измерительную базы. Значения допуска для квалитетов принимают по табл. 32.

При обработке в центрах погрешность базирования заготовки в осевом направлении определяется смещением базового торца заготовки в осевом направлении вследствие погрешности изготовления центрального гнезда в осевом направлении.

Суммарное отклонение расположения при обработке сортового проката в центрах определяют по формуле (11).

Отливки

6. Качество поверхности отливок ($Rz + h$, мкм), достигаемое различными способами формовки

Материал	Отливка	Наибольший размер отливки, мм				
		До 500	Св. 500 до 1250	Св. 1250 до 3150	Св. 3150 до 6300	Св. 6300 до 10 000
Чугун	I	400	600	800	-	-
	II	500	700	900	-	-
	III	600	800	1000	1500	2000
Сталь	I	300	500	700	-	-
	II	400	600	800	-	-
	III	500	700	900	1300	1700
Цветные металлы и сплавы	I	200	400	-	-	-
	II	300	500	-	-	-
	III	400	600	800	1100	-

Обозначения: I - машинной формовкой по металлическим моделям; II - машинной формовкой по деревянным моделям; III - ручной формовкой по деревянным моделям.

7. Качество поверхности отливок, достигаемое специальными способами литья

Литье	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм, для заготовки			
			из чугуна	из стали	из цветных металлов	
В кокиль	14-15	200	300	200	100	
Центробежное	14-15	200	300	200	100	
В оболочковые формы для элементов, получаемых под давлением	в одной полуформе	11-12	40	260	160	100
	в обеих полуформах	14	40	260	160	100
	под давлением	11-12	50	-	-	100
По выплавляемым моделям	11-12	32	170	100	63	

¹Значения допусков для квалитетов 11-15 приведены в табл. 32.

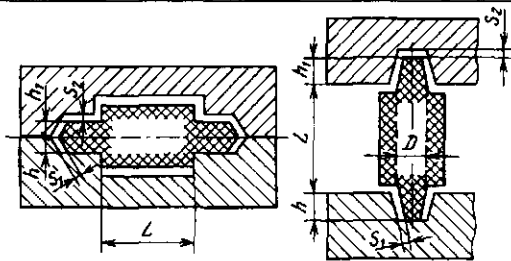
8. Отклонения расположения поверхностей отливок

Отклонения	Литье		
	в песчаные формы	в кокиль	под давлением
Межосевых расстояний отверстий (\pm) $\Delta_{м.о.р.}$, мм	1,2 – 2,0	0,8 – 1,5	0,3 – 0,5
Расположения отверстия относительно технологических баз (\pm) $\Delta_{р.т.б.}$, мм	1,2 – 2,5	0,5 – 1,2	0,10 – 0,35
От параллельности плоскости $\Delta_{оп}$, мкм на 1 мм	1/2 допуска на размер	2,2 – 3,4	1,2 – 2,0
Перекос оси отверстия $\Delta_{п}$, мкм на 1 мм длины для диаметра отверстия d , мм:			
До 10	–	2,5 – 10	2,0 – 4,0
Св. 10 до 30	10 – 20		1,5 – 3,0
" 30 " 50	5 – 15		1,0 – 2,0
" 50	3 – 10		0,7 – 1,5
Коробление ¹ $\Delta_{к}$, мкм на 1 мм длины:			
для корпусных деталей	0,3 – 1,5	–	–
для плит	2,0 – 3,0	–	–

¹Предельные отклонения коробления элементов см. в главе 3.

9. Зазор между знаком формы и стержнем для определения $\Delta_{см}$ у отливок

Размеры, мм



Наибольшая высота знака h или h_1	Длина L или диаметр D стержня										
	До 50	50 – 150	150 – 300	300 – 500	500 – 750	750 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2000	2000 – 2500	2500 – 3000	Св. 3000

Зазор S_1

До 25	$\frac{0,15}{0,5}$	$\frac{0,15}{0,5}$	$\frac{0,25}{0,5}$	–	–	–	–	–	–	–	–
25 – 50	$\frac{0,25}{0,5}$	$\frac{0,25}{0,5}$	$\frac{0,5}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,5}{2,0}$	–	–	–	–	–
50 – 100	$\frac{0,5}{1,0}$	$\frac{0,5}{1,0}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,5}{2,0}$	$\frac{2,0}{2,5}$	$\frac{2,5}{3,0}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{4,0}$	–	–

Продолжение табл. 9

Наибольшая высота знака h или h_1	Длина L или диаметр D стержня										
	До 50	50 – 150	150 – 300	300 – 500	500 – 750	750 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2000	2000 – 2500	2500 – 3000	Св. 3000
100 – 200	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,0}{1,5}$	$\frac{1,5}{2,0}$	$\frac{2,0}{2,5}$	$\frac{2,5}{3,0}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{4,0}$	$\frac{4,0}{4,5}$	–	–
200 – 300	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{4,5}{4,5}$	–	–
300 – 500	–	–	$\frac{2,0}{2,0}$	$\frac{2,0}{2,5}$	$\frac{2,5}{3,0}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{4,0}$	$\frac{4,0}{4,5}$	$\frac{4,5}{5,0}$	–	–
500 – 750	–	–	$\frac{–}{2,5}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{4,5}{4,5}$	$\frac{5,0}{5,0}$	–	–
750 – 1000	–	–	–	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{4,0}$	$\frac{4,0}{4,5}$	$\frac{4,5}{5,0}$	$\frac{5,0}{5,5}$	–	–
1000 – 1250	–	–	–	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{4,0}{4,0}$	$\frac{4,5}{4,5}$	$\frac{5,0}{5,0}$	$\frac{5,5}{5,5}$	–	–
1250 – 1500	–	–	–	$\frac{–}{3,5}$	$\frac{–}{4,0}$	$\frac{–}{4,5}$	$\frac{–}{5,0}$	$\frac{–}{5,5}$	$\frac{–}{6,0}$	$\frac{–}{6,5}$	$\frac{–}{7,0}$
1500 – 2000	–	–	–	$\frac{–}{4,0}$	$\frac{–}{4,5}$	$\frac{–}{5,0}$	$\frac{–}{5,5}$	$\frac{–}{6,0}$	$\frac{–}{6,5}$	$\frac{–}{7,0}$	$\frac{–}{7,5}$
2000 – 2500	–	–	–	–	$\frac{–}{5,0}$	$\frac{–}{5,5}$	$\frac{–}{6,0}$	$\frac{–}{6,5}$	$\frac{–}{7,0}$	$\frac{–}{7,5}$	$\frac{–}{8,0}$
2500 – 3000	–	–	–	–	$\frac{–}{6,0}$	$\frac{–}{6,5}$	$\frac{–}{7,0}$	$\frac{–}{7,5}$	$\frac{–}{8,0}$	$\frac{–}{8,5}$	$\frac{–}{9,0}$
Св. 3000	–	–	–	–	$\frac{–}{6,5}$	$\frac{–}{7,5}$	$\frac{–}{8,0}$	$\frac{–}{8,5}$	$\frac{–}{9,0}$	$\frac{–}{9,5}$	$\frac{–}{10,0}$

Зазор S_2

–	$\frac{0,15}{0,25}$	$\frac{0,25}{0,5}$	$\frac{0,5}{1,0}$	$\frac{1,0}{2,0}$	$\frac{1,5}{3,0}$	$\frac{2,0}{4,0}$	$\frac{3,0}{5,0}$	$\frac{3,5}{5,5}$	$\frac{4,0}{6,0}$	–	–
---	---------------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	---	---

Примечания: 1. В числителе приведены зазоры при формовке по-сырому, в знаменателе – по-сухому.

2. Уклоны у нижнего знака $\beta = 7 \dots 10^\circ$, у верхнего $\beta = 10 \dots 15^\circ$.

3. Для горизонтальных размеров $\Delta_{см} = S_1 / \cos \beta$, для вертикальных $\Delta_{см} = S_2$.

10. Точность и качество поверхности после механической обработки отливок точением, фрезерованием, строганием и шлифованием

Обработка	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм	Обработка	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
Точение, фрезерование, строгание				Литье в кокиль и центробежное			
<i>Литье в песчаные формы, изготовленные:</i>				<i>Литье в оболочковые формы</i>			
1) машинной формовкой по металлическим моделям				Однократная			
Однократная	11 – 12	32	32	Черновая	12	50	50
Черновая	12	50	50	Чистовая	10	20	20
2) машинной формовкой по деревянным моделям				Тонкая			
Черновая	14	100	100	<i>Литье по выплавляемым моделям</i>			
Получистовая	12	50	50	Однократная	10 – 11	25	25
3) ручной формовкой по деревянным моделям				Черновая	11	20	20
Обдирочная	16 – 17	320	320	Чистовая	10	10	10
Черновая	14 – 15	250	240	Тонкая	7 – 9	5	5
Получистовая	11 – 12	100	100	<i>Шлифование отливок, получаемых различными способами</i>			
4) машинной и ручной формовкой по металлическим или деревянным моделям				Однократная	7	5	10
Чистовая	10 – 11	25	25	Черновая	8 – 9	10	20
Тонкая	7 – 9	5	5	Чистовая	6 – 8	5	15
				Тонкая	5 – 6	0,63	–

¹Значения допусков для квалитетов 5 – 17 даны в табл. 32.

При отсутствии информации о знаках формы и стержнях предельные отклонения смещения от номинального положения элементов отливок по плоскости разреза могут быть определены по табл. 8 главы 3.

Указания для расчета припусков и предельных размеров при изготовлении деталей из отливок. Для верхней поверхности (по положению) отливки при заливке металла к сумме $Rz + h$ прибавлять:

0,5 – 3 мм для отливок из серого чугуна;

0,5 – 4 мм для отливок из стали.

Для элементов отливок, обращенных к оси вращения, с целью компенсации ликвационной зоны и неоднородности химического состава металла при центробежном литье и для особо ответственных деталей – задавать 5 – 7,5 мм на сторону.

Базирование заготовок по необработанному отверстию следует использовать только на первой операции.

При обработке отверстия от координированной с ним базы отклонение расположения оси должно быть учтено в припуске на обработку отверстия.

Общие припуски и размеры заготовки, полученные в результате расчета, должны быть скорректированы с учетом следующих дополнений:

назначают необходимые по технологии литья напуски, упрощающие конфигурацию заготовки и сглаживающие местные углубления, переходы и уступы;

проверяют радиусы литых галтелей и линии переходов при изменении сечений отливок, внося соответствующие конструктивные изменения в элементы детали или корректируя расчетные припуски, увеличивая их по сопряженным поверхностям до величины, обеспечивающей необходимый минимальный припуск на угол.

Поковки, изготавливаемые ковкой и штамповкой

11. Качество поверхности поковок ($Rz + h$, мкм), изготавливаемых ковкой

Наибольший размер поковки, мм	Пресс	Молот	Подкладные штампы	
	Точность			
	повышенная	нормальная	нормальная	нормальная
От 50 до 180	800	1000	1000	750
Св. 180 " 500	1000	1500	1500	1250
" 500 " 1250	1500	2000	2000	1500
" 1250 " 3150	2000	2500	2500	–
" 3150 " 6300	2500	3000	3000	–
" 6300 " 10 000	–	3500	3500	–

12. Качество поверхности поковок, изготавливаемых штамповкой

Масса поковки, кг	Rz	h
	мкм	
До 0,25	80	150
Св. 0,25 " 4	160	200
" 4 " 25	200	250
" 25 " 40	250	300
" 40 " 100	320	350
" 100 " 200	400	400

Примечание. Точность поковок, изготавливаемых штамповкой, регламентируется ГОСТ 7505-89. Значения Rz в таблице даны после пескоструйной обработки поверхностей поковки или травления; при дробеструйной или дробеметной обработке Rz принимать равным 400 мкм независимо от массы поковки.

Для поковок, изготавливаемых ковкой на вертикальных радиально-ковочных машинах,

$$Rz + h = AR_6 + 0,01d. \quad (30)$$

13. Значения коэффициента A

$r_n: R_6$	n , об/мин			
	16	22	30	42
0,4	0,0018	0,0018	0,0034	0,0068
0,5	0,0011	0,0020	0,0036	0,0071
0,6	0,0010	0,0019	0,0035	0,0068
0,7	0,0008	0,0016	0,0031	0,0060
0,8	0,0006	0,0012	0,0023	0,0045
0,9	0,0004	0,0008	0,0012	0,0023

Примечание. R_6 – радиус бойка, мм; r_n – радиус поковки, мм; n – частота вращения поковки в процессе ковки.

Значение n принимают равным 16 и 22 об/мин при ковке поковок большого диаметра или из особо прочных сталей; 42 об/мин – при ковке поковок из сравнительно мягких сталей, небольших диаметров и при холодной ковке полых валов (труб), в остальных случаях принимают $n = 30$ об/мин.

14. Точность и качество поверхности поковки, изготавливаемой на ковочно-штамповочном прессе методом выдавливания (деталь типа клапана)

Элемент детали	Допуск, мм	Rz, мкм	h, мкм
Стержень	0,3	40	40
Тарелка	0,6		

15. Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) для поковок

Вид обработки	Диаметр или размер сечения, мм				
	До 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 500
Ковка	3	2	1	0,8	0,6
Механическая обработка:					
обдирочная	1,5	1	0,5	0,4	0,3
черновая	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1
получистовая	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
После термической обработки (закалка) и правки	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02

16. Кривизна Δ_x (мкм на 1 мм) поковок типа валов

Диаметр поковки D, мм	После штамповки	После правки на прессах	После термической обработки	
			в печах	ТВЧ
До 25	4	0,20	2,5	1,25
Св. 25 " 50	3	0,15	1,5	0,75
" 50 " 80	2	0,12	1,5	0,75
" 80 " 120	1,8	0,10	1,0	0,50
" 120 " 180	1,6	0,08	1,0	0,50
" 180 " 260	1,4	0,06	-	-
" 260 " 360	1,2	-	-	-
" 360 " 500	1,0	-	-	-

17. Отклонение от concentричности и коробление поковок типа дисков и рычагов, получаемых на прессах, различной точности

Толщина (высота) или ширина поковок, мм	Отклонение от concentричности отверстий $\Delta_{\text{кв}}$, мм, при точности		Коробление $\Delta_{\text{кр}}$, мм, при точности	
	повышенной	нормальной	повышенной	нормальной
До 50	0,50	0,8	0,5	0,5
Св. 50 " 120	0,63	1,4	0,5	0,5
" 120 " 180	0,80	2,0	0,5	0,7
" 180 " 260	1,00	2,8	0,6	0,9
" 260 " 360	1,50	3,2	0,7	1,0
" 360 " 500	2,50	3,6	0,8	1,1

18. Отклонение от соосности Δ_z (мм) элементов, штампуемых в разных половинах штампа, для поковок типа валов различной точности

Масса поковки, кг	Штамповка на молотах		Штамповка на прессах	
	Повышенная точность	Нормальная точность	Повышенная точность	Нормальная точность
До 0,25	0,30	0,4	0,20	0,3
Св. 0,25 " 0,63	0,35	0,5	0,25	0,4
" 0,63 " 1,60	0,40	0,6	0,30	0,5
" 1,60 " 2,50	0,45	0,8	0,35	0,6
" 2,50 " 4,00	0,50	1,0	0,40	0,7
" 4,00 " 6,30	0,63	1,1	0,45	0,8
" 6,30 " 10	0,70	1,2	0,50	0,9
" 10 " 16	0,80	1,3	0,60	1,0
" 16 " 25	0,90	1,4	0,70	1,1
" 25 " 40	1,00	1,6	0,80	1,2
" 40 " 63	1,20	1,8	-	-
" 63 " 100	1,40	2,2	-	-
" 100 " 125	1,60	2,4	-	-
" 125 " 160	1,80	2,7	-	-
" 160 " 200	2,20	3,2	-	-

19. Кривизна Δ_k (мкм на 1 мм) стержня после высадки фланца на горизонтально-ковочной машине

Длина стержня L, мм	Диаметр стержня d, мм				
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120
До 120	6	8	12	16	20
Св. 120 до 180	4	6	8	12	16
" 180 " 500	2	4	4	6	6
" 500 " 1000	1	2	2	3	3

20. Смещение $\Delta_{\text{см}}$ (мм) оси фланца относительно оси стержня при высадке его на горизонтально-ковочной машине

Высота H фланца или утолщения, мм	Диаметр D фланца или утолщения, мм		
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260
До 18	0,25	0,25	0,50
Св. 18 " 50	0,25	0,50	0,50
" 50 " 120	0,50	0,50	0,75
" 120 " 180	0,50	0,75	0,75

21. Отклонение от перпендикулярности Δ_n (мкм на 1 мм радиуса) торца фланца к оси поковки

Масса поковки, кг	При штамповке	
	на прессе	на ГКМ
До 0,25	0,2	0,3
Св. 0,25 " 1,6	0,3	0,5
" 1,6 " 4	0,4	0,7
" 4 " 10	0,5	0,9
" 10 " 25	0,6	1,1
" 25 " 40	0,7	1,2

22. Кривизна поковки (мкм на 1 мм длины) после ковки на ВРКМ

Диаметр поковки, мм	Δ_x
До 60	2
Св. 60	1

23. Дефекты поковки вследствие отрубки исходной заготовки и последующей ковки на ВРКМ

Диаметр торцовой поверхности	Δ_1 , мкм	Диаметр торцовой поверхности	Δ_2 , мкм
До 30	1,5	Св. 50 до 80	4
Св. 30 до 50	2,5	" 80 " 120	5

Для поковок, получаемых на ковочно-штамповочных прессах методом выдавливания (детали типа клапанов), изогнутость оси $\Delta_{\text{из}} = 0,6$ мкм на 1 мм длины; смещение оси $\Delta_{\text{см}} = 0,12$ мм; суммарное отклонение

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{из}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2} \quad (31)$$

24. Точность и качество поверхности поковок после механической обработки, получаемых ковкой на прессах, молотах и в подкладных штампах

Способ обработки	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм	
				Точение резцами, фрезерование
Точение резцами, фрезерование	обдирочное	17	1250	350
	черновое	15 - 16	250	240
	получистовое	12 - 14	125	120
	чистовое	10 - 11	40	40
Шлифование	тонкое	6 - 7	5	5
	обдирочное	14 - 15	20	20
	черновое	10	15	15
	чистовое	6 - 7	5	5
тонкое	5 - 6	2,5	5	

¹Значения допусков для квалитетов 5 - 17 даны в табл. 32.

25. Точность и качество поверхности штампованных поковок после механической обработки

Способ обработки	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
Валы ступенчатые			
<i>Обтачивание наружных поверхностей</i>			
Однократное	11 - 12	32	30
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	25	25
Тонкое	7 - 9	5	5
<i>Подрезание торцовых поверхностей</i>			
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	32	30
<i>Фрезерование</i>			
Однократное	14	100	100
Диски			
<i>Обтачивание наружных поверхностей</i>			
Однократное	10 - 12	32	30
Черновое	14	100	100
Получистовое	12	50	50
Чистовое	10 - 11	25	25

Продолжение табл. 25

Способ обработки	Квалитет ¹	Rz, мкм	h, мкм
<i>Подрезание торцовых поверхностей</i>			
Однократное	10 – 12	32	30
Черновое	14	100	100
Получистовое	12	50	50
Чистовое	10 – 11	25	25
Рычаги (плоскости, параллельные оси детали, и плоскости разъема головок)			
<i>Фрезерование</i>			
Черновое	12	32	50
Чистовое	11	10	15
<i>Протягивание</i>			
Однократное	10	5	10
<i>Обтачивание стержня</i>			
Черновое	12	50	50
Чистовое	11	25	25
<i>Шлифование валов, дисков, рычагов</i>			
Однократное	7 – 9	5	10
Черновое	8 – 9	10	20
Чистовое	6 – 7	5	15
Тонкое	5 – 6	2,5	5

¹Значения допусков для квалитетов 5 – 14 даны в табл. 32.

Указания для расчета припусков и предельных размеров при изготовлении деталей из поковок. Отклонения расположения торцовых поверхностей:

для заготовки

$$\Delta_{\Sigma n} = \Delta_n D; \quad (32)$$

после черновой обработки

$$\Delta_{\text{чер}} = 0,20(R - r)\Delta_n; \quad (33)$$

после получистовой обработки

$$\Delta_{\text{пч}} = 0,15(R - r)\Delta_n; \quad (34)$$

после чистовой обработки

$$\Delta_{\text{чис}} = 0,10(R - r)\Delta_n. \quad (35)$$

Здесь Δ_n – отклонение от перпендикулярности, мкм на 1 мм длины; при расчете припусков на обработку торцовых поверхностей деталей типа дисков отклонение после термической обработки принимать равным 0,8 мкм на 1 мм длины; D – диаметр торцовой поверхности, мм; R – радиус наружной поверхности, мм; r – радиус внутренней поверхности, мм. При разности $(R - r) < 50$ мм отклонением от перпендикулярности можно пренебречь.

Для промежуточных торцовых поверхностей ступенчатого вала, изготавливаемого на ВРКМ, отклонение от перпендикулярности торца

$$\Delta_{\Sigma n} = \Delta_n \frac{l}{D}, \quad (36)$$

где Δ_n – отклонение от перпендикулярности, равное 0,05 мкм на 1 мм длины для диаметра торцовой поверхности до 60 мм и 0,1 мкм на 1 мм длины для диаметра св. 60 мм; l – расстояние (мм) от середины наибольшего диаметра ступени до торцовой поверхности, для которой определяется отклонение; D – диаметр торцовой поверхности, мм.

Для поверхностей концевых ступеней суммарные отклонения расположения

$$\Delta_{\Sigma n} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}, \quad (37)$$

где Δ_1 – отклонение от перпендикулярности торца; Δ_2 – дефекты поковки вследствие отрубки.

Для поковок, изготавливаемых на ВРКМ, допуск на промежуточные ступени составляет ± 1 мм. При повышенных требованиях к точности и шероховатости поверхности к расчетному припуску прибавляют 0,2 мм. В качестве исходной заготовки рекомендуется брать сортовой прокат высокой точности.

Остаточное отклонение расположения заготовки после обработки определяют расчетом или по приближенной формуле

$$\Delta_{\text{ост}} = K_y \Delta_3, \quad (38)$$

где Δ_3 – кривизна заготовки; K_y – коэффициент уточнения (см. табл. 29).

Полученные в результате расчета общие припуски и размеры заготовки корректируют с учетом следующих дополнений:

1) назначают технологические напуски для крепления заготовки при термической обработке, взятии проб для физико-механических испытаний, а также напуски, упрощающие конфигурацию заготовки или сглаживающие местные углубления, переходы и уступы;

2) назначают радиусы закруглений или размеры фаски в соответствии с размерами заготовки; при необходимости корректируют припуски на обработку исходя из оптимального соотношения

$$r_d \geq r_s - z,$$

где r_d и r_s – радиусы закругления или размеры фаски соответственно у обработанной детали и заготовки; z – номинальный припуск на обработку, рассчитанный по формулам (3) – (6).

При несоблюдении оптимального соотношения целесообразно увеличить радиус

закругления или размер фаски r_d обрабатываемой детали; если по конструктивным соображениям этого сделать нельзя, то корректируют минимальный припуск с z_{min} до z'_{min} , при этом

$$z'_{\text{min}} \geq r_s - r_d + ei_d - ei_s,$$

где ei_d и ei_s – нижние отклонения размера соответственно обрабатываемой детали и заготовки.

Детали, получаемые электроэрозионной обработкой

Высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм,

$$Rz = C \left[\frac{I_{\text{cp}} u_{\text{sm}}}{f} \right]^P, \quad (39)$$

где I_{cp} – сила рабочего тока, А; u_{sm} – напряжение на рабочем промежутке, В; f – частота следования импульсов; C и P – коэффициенты, зависящие от материала обрабатываемой детали:

Обрабатываемый материал	C	P
Углеродистые стали	190	0,35
Жаропрочные сплавы	205	0,38
Твердые сплавы	67	0,38

26. Глубина h (мкм) дефектного поверхностного слоя

Частота импульсов f , Гц	Сила тока I_{cp} , А									
	1	3	7	10	15	20	50	100	200	300
50	–	–	–	200	300	350	420	470	520	630
100	–	–	–	150	170	200	250	310	360	540
400	–	–	–	60	100	150	200	230	260	300
7000	20	30	40	50	60	70	–	–	–	–
22 000	10	20	30	40	50	60	–	–	–	–

Примечание. При расчете припусков на доводку поверхности после ее электроэрозионной обработки на мягких режимах ($I_{\text{cp}} = 4 \dots 5$ А), когда измененный структурный слой не ухудшает качества поверхности, h из расчетной формулы исключают.

Детали, получаемые механической обработкой

27. Качество поверхностей отверстий после обработки

Способ обработки	Диаметр отверстий d, мм	Квалитет	Rz	h	Способ обработки	Диаметр отверстий d, мм	Квалитет	Rz	h					
			мкм					мкм						
Сверление спиральными сверлами	От 3 до 6	12	20	40	Развертывание	От 6 до 30	10	10	20					
	Св. 6 " 10		32	50				точное	8	5	10			
	" 10 " 18		40	60				тонкое	7	3,2	5			
	" 18 " 50		50	70	Отделочные методы	До 80	7-9	5	10					
	" 50 " 80		63	80						шлифование	От 10 до 80	8	4	6
Глубокое сверление специальными сверлами	От 3 до 10	12	16	25	Отделочные методы	" 6 " 80	7	0,63	-					
	Св. 10 " 18		20	30						калибрование шариком	До 80	6-7	0,16	-
	" 18 " 30		32	40						хонингование	До 80	6-7	0,16	-
	" 30 " 50		50	50										
Зенкерование	однократное	До 80	10	32	40	Примечания: 1. Под черновым зенкерованием следует понимать обработку по литому или прошитому при штамповке отверстию: под чистовым - обработку после сверления или черного зенкерования. 2. Виды развертывания (нормальное, точное и тонкое), характеризуются допуском на диаметры разверток. 3. При обработке мерным инструментом (сверлом, зенкером, разверткой, протяжкой, фрезой и т.п.) диаметр инструмента принимают ближайший по сортаменту, причем наименьший предельный размер инструмента должен быть не менее диаметра D _{мин} полученного расчётом. 4. Значения допусков для квалитетов 6 - 12 приведены в табл. 32.	12	40	40					
	черновое	От 18 до 30	11	40	40									
		Св. 30 до 80		50	50									
	чистовое	До 30	10	32	30									
Св. 30 до 80			40	40										
Растачивание	черновое	От 50 до 260	12	40	50	10	20	20						
	чистовое													

28. Увод сверла и смещение оси отверстия при сверлении

Сверло	Диаметр отверстия, мм				
	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50
Увод Δ _у , мкм на 1 мм длины отверстия					
Спиральное	2,1	1,7	1,3	0,9	0,7
Специальное	1,6	1,3	1,0	0,7	0,4
Смещение S _{см} (мкм) оси отверстия относительно номинального положения					
Спиральные и специальные	10	15	20	25	30

29. Коэффициент уточнения K_у для отливок, поковок, штампованных заготовок и сортового проката

Технологический переход	K _у
После obtачивания:	
однократного	0,05
чернового	0,06
получистового	0,05
чистового	0,04
После шлифования:	
чернового	0,03
чистового	0,02

30. Формулы для расчета остаточного отклонения расположения Δ_{ост} после механической обработки

Обработка	Формула для расчета
Точение наружной поверхности на станке	токарном WC _γ s ^γ HB ^α [t ^α - (t - Δ _{тп}) ^α]
	токарном автомате, револьверном WC _γ s ^γ HB ^α [t ^α - (t - Δ _{тп}) ^α]
Симметричное фрезерование плоскости на вертикально-фрезерном станке	0,5WCt ^γ s ^γ zD ^{-γ} × [B ² - (D - Δ _{тп}) ²]
Шлифование наружной поверхности на станке	Круглошлифовальном WK _{кп} v _н ^{0,7} s _н ^{0,7} × [t ^{0,6} - (t - Δ _{тп}) ^{0,6}]
	Бесцентровошлифовальном WC _{рδ1} ^{0,55} v _н ^{0,55} d _н ^{0,55} Δ _{тп}

Обозначения: W - податливость технологической системы, мм/Н (см. гл. 1); C_γ - коэффициент, характеризующий условия резания при точении; s - подача при точении, мм/об; t - глубина резания, мм; HB - твердость обрабатываемого материала по Бринеллю, МПа; C - коэффициент, характеризующий условия резания при фрезеровании; s_γ - подача при фрезеровании, мм/зуб; z - число зубьев фрезы; D - диаметр фрезы, мм; B - ширина фрезеруемой поверхности, мм; C_р - коэффициент, характеризующий условия резания: при бесцентровом шлифовании заготовки из стали 45 непрерывным потоком C_р = 12,28; единичными заготовками C_р = 10,5; при наружном круглом шлифовании кругами шириной 40 мм при обработке заготовки из стали C_р = 2,15 и чугуна C_р = 2,0; K - коэффициент, характеризующий состояние шлифовального круга (при остром круге K = 1,5; при затупленном K = 3); s_н - продольная подача заготовки при шлифовании; v_н - подача при врезном шлифовании; v_к - окружная скорость обрабатываемой заготовки, м/мин; d_н - диаметр обрабатываемой заготовки, мм; Δ_{тп} - исходная кривизна заготовки для первого перехода механической обработки, мм; для последующих переходов - остаточная кривизна заготовки после предшествующего перехода, мм; x, y, n, q, z - показатели степеней в формулах (см. Справочник технолога-машиностроителя, т. 2).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ НА ОБРАБОТКУ

Обработку узлов в сборе (рис. 4) производят для устранения отклонений размеров узлов или деталей, возникающих в процессе сборки. Так, при запрессовке втулки в корпусную деталь происходит усадка отверстия; при напрессовке кольца на вал увеличивается наружный диаметр кольца.

Увеличение наружного диаметра охватываемой детали при напрессовке на вал (рис. 4, а)

$$\Delta_n = \frac{2pDd^2 \cdot 10^3}{E_A(D^2 - d^2)} \quad (40)$$

При запрессовке втулки в корпус или рычаг (рис. 4, б) уменьшение внутреннего диаметра охватываемой детали

$$\Delta_o = \frac{2pd^2d_o \cdot 10^3}{E_B(d^2 - d_o^2)} \quad (41)$$

Здесь D - наружный диаметр кольца, мм; d - наружный диаметр вала, мм; d_о - диаметр отверстия втулки, мм; p - давление на контактных поверхностях;

$$p = \frac{1}{d} \frac{i}{(C_A/E_A + C_B/E_B)} \quad (42)$$

где i - натяг, мм; C_A = $\frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_A$;

C_B = $\frac{d^2 + d_o^2}{d^2 - d_o^2} - \mu_A$; E_A - модуль упругости

материала втулки, Па; E_B - модуль упругости материала вала, Па; μ_A и μ_B - коэффициенты

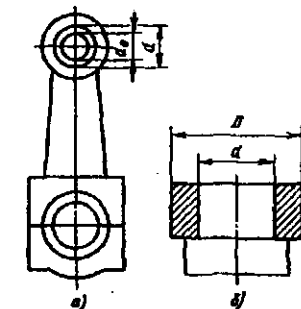


Рис. 4. Примеры, иллюстрирующие необходимость обработки узлов в сборе: а - рычаг; б - вал

31. Значения C_A и C_B

d/d для C_B : d/D для C_A	C_A			C_B		
	Сталь	Бронза	Чугун	Сталь	Бронза	Чугун
0,000	1,30	1,33	1,25	0,70	0,67	0,75
0,100	1,32	1,35	1,27	0,72	0,69	0,77
0,200	1,38	1,41	1,33	0,78	0,75	0,83
0,300	1,49	1,52	1,44	0,89	0,86	0,94
0,400	1,68	1,71	1,63	1,08	1,05	1,13
0,450	1,81	1,84	1,76	1,21	1,18	1,26
0,500	1,95	2,00	1,92	1,37	1,34	1,42
0,550	2,17	2,20	2,12	1,57	1,54	1,62
0,600	2,43	2,46	2,38	1,83	1,80	1,88
0,650	2,77	2,80	2,72	2,17	2,14	2,22
0,700	3,22	3,25	3,17	2,62	2,59	2,67
0,750	3,84	3,87	3,79	3,28	3,25	3,33
0,800	4,85	4,88	4,80	4,25	4,22	4,30
0,850	6,58	6,61	6,53	5,88	5,95	6,03
0,900	9,83	9,86	9,78	9,23	9,20	9,28
0,925	13,18	13,21	13,13	12,58	12,56	12,63
0,950	19,30	19,33	19,25	18,70	18,67	19,75
0,975	39,30	39,33	39,25	38,70	38,67	38,75
0,990	99,30	99,33	99,25	98,70	98,67	98,75

Примечание. Если охватываемая деталь выполнена в виде сплошного вала, то $d_0/d = 0$. Когда охватываемая деталь выполнена в виде плиты или корпуса, принимают $d/D = 0$.

Пуассона для материала охватывающей и охватываемой деталей (для стали $\mu = 0,3$ и для чугуна $\mu = 0,25$) соответственно. Значения C_A и C_B приведены в табл. 31.

Если предусмотрена обработка той или иной поверхности после сборки, то припуски на обработку

$$2z_{Di \min} = \Delta_B + 0,5TD_i; \quad (43)$$

$$2z_{d_i \min} = \Delta_0 + 0,5Td_i, \quad (44)$$

где $0,5TD_i$ или $0,5Td_i$ — дополнительный припуск для компенсации отклонения расположения осей сопрягаемых деталей.

Отклонения элементов конструкции при изготовлении узла на выполняемом переходе

можно учесть включением в расчетную формулу суммарного отклонения расположения, возникающего при сборке,

$$2z_{i \min} = 2(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i + \Delta_{\Sigma_{св}}. \quad (45)$$

Суммарное отклонение расположения поверхностей для компенсации коробления после сварки и механической обработки

$$\Delta_{\Sigma_{св}} = \sqrt{\Delta_{\text{мех}}^2 + \Delta_{\Sigma_{св}}^2}, \quad (46)$$

где $\Delta_{\text{мех}}$ — коробление узла после механической обработки кромок; $\Delta_{\Sigma_{св}}$ — коробление узла в результате осуществления процесса сварки или правки сварной конструкции.

32. Значения допусков T , мкм, для размеров до 500 мм

Размер, мм	Квалитет												
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
" 6 " 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
" 10 " 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
" 18 " 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
" 30 " 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
" 50 " 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
" 80 " 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
" 120 " 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
" 180 " 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
" 250 " 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
" 315 " 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
" 400 " 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРИПУСКОВ И ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ

Карта расчета припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам

Наименование детали — вал. Материал — сталь 40.

Элементарная поверхность для расчета припуска — шейка вала диаметром $50_{-0,05}$ мм.

Элементарная поверхность детали и технологический маршрут ее обработки	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $2z_{\text{прип}}$, мкм	Расчетный минимальный размер, мкм	Допуск на изготовление T_d , мкм	Принятые (округленные) размеры по переходам, мм		Полученные предельные припуски, мкм	
	Rz	h	Δ	ε				d_{max}	d_{min}	$2z_{\text{max}}$	$2z_{\text{min}}$
Штамповка	200	300	200	—	—	51,75	2000	54,00	52,00	—	—
Обтачивание:	черновое	50	50	25	—	1400	500	50,90	50,40	3100	1600
	чистовое	25	25	—	—	250	150	50,25	50,10	650	300
Шлифование:	обдирочное	10	15	—	—	100	100	50,10	50,00	150	100
	чистовое	5	5	—	—	50	50	50,00	49,95	100	50

Проверка расчета: $T_d - T_{d_1} = 1950 = 2z_{0 \text{ max}} - 2z_{0 \text{ min}} = 4000 - 2050$.

Расчет припусков на обработку, номинальных размеров поковки и размеров исходной заготовки для вала, изготавливаемого на ВРКМ (рис. 5)

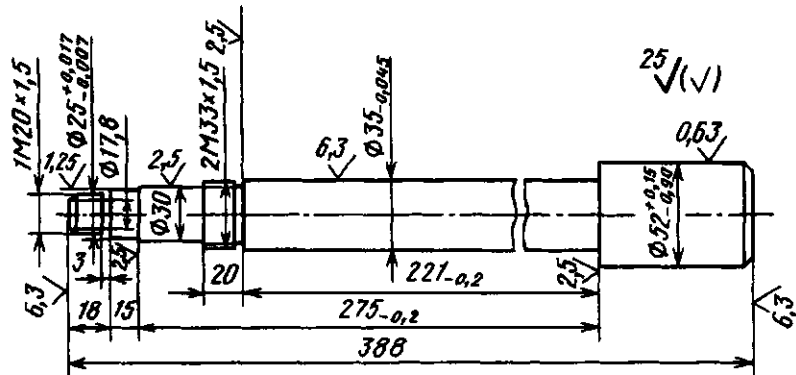


Рис. 5. Рабочий чертеж вала, изготавливаемого ковкой на ВРКМ

Заготовка – поковка, изготавливаемая на вертикальной радиально-ковочной машине (ВРКМ). Материал – сталь 50. С учетом технологических возможностей ВРКМ поковка запроектирована четырехступенчатой с наибольшим обжатием по диаметру 17 мм ($52 - 35 = 17$ мм) и наименьшим – 2 мм ($35 - 33 = 2$ мм). Расчет проведен из следующих условий: $n = 30$ об/мин; $R_\sigma = 30$ мм (диапазон диаметров поковок 30 – 55 мм). Исходная заготовка – сортовой круглый прокат повышенной точности.

Расчет диаметров поковки

Диаметр d , мм	Расчетные данные для определения номинальных диаметров поковки, мм								$d_{\text{пок}}$ принятый, мм	$Td_{\text{пок}}$, мм	Примечание	
	$d_{\text{пот}}$	Rz	h	Δ_1^1	Δ_2^2	Δ_z	нижнее отклонение ei , мм	дополнительный припуск				$d_{\text{пок}}$ расчетный
52	52	0,050	0,52	0,080	0,30	0,310	0,2	0,2	54,56	56,0	1,2	d исходной заготовки $56^{+0,2}_{-1,0}$ мм
35h6	35	0,125	0,35	0,522	0,30	0,602	0,2	–	37,554	37,6	1,2	
2М33	33	0,125	0,33	0,630	0,30	0,690	0,2	–	35,69	35,7	1,2	
25	25	0,100	0,25	0,664	0,30	0,734	0,2	0,2	27,968	28,0	1,2	

¹ Δ_1 – отклонения торца от перпендикулярности.

² Δ_2 – дефект отрезки (смятие по диаметру при отрубке).

Примечания: 1. Rz округлены до числовых значений по ГОСТ 2789-73.

2. $h = 0,01d$, где d – диаметр детали (мм) по чертежу.

3. Дополнительный припуск 0,2 мм учтен в связи с повышенными требованиями к точности и шероховатости поверхностей.

Продолжение табл.

Расчет линейных размеров

l , мм	Расчетные данные для определения номинальных размеров, мм						$l_{\text{пок}}$ принятый	$Tl_{\text{пок}}$, мм	Ступень
	$l_{\text{пот}}$	Rz	h	Δ_z	нижнее отклонение ei , мм	$l_{\text{пок}}$ расчетный			
80	80	0,10	0,8	пр. 4,0 лев. 0,05	1,00	86,8	87	± 1	исходная
221 _{-0,2}	221	0,32	0,5	0,400	1,00	223,22	224	± 1	промежуточная
54	54	0,32	0,5	0,475	1,00	56,295	57	± 1	–
33	33	0,20	0,3	1,630	2,00	37,13	38	$+16$ -2	концевая

Общую длину исходной заготовки определяем как сумму длин каждой ступени. Длина заготовки для каждой ступени с учетом номинальных припусков

$$L_z = \frac{L}{\frac{4z}{d_{\text{пок}}} + 1}, \quad (47)$$

где $d_{\text{пок}}$ – номинальный размер диаметра ступени поковки по расчету; L – длина ступени по расчету; z – напуск.

Для нашего случая

$$L_{z1} = \frac{88}{\frac{4 \cdot 0,2}{56} + 1} = 86,5 \text{ мм};$$

$$L_{z2} = \frac{222}{\frac{4 \cdot 8,7}{37,6} + 1} = 127 \text{ мм};$$

$$L_{z3} = \frac{56}{\frac{4 \cdot 9,7}{35,6} + 1} = 28 \text{ мм};$$

$$L_{z4} = \frac{34}{\frac{4 \cdot 13,5}{28} + 1} = 12 \text{ мм}.$$

Допуск на изготовление концевых ступеней вследствие отклонений исходной заготовки

$$T = \frac{2T_z}{d_z - 4z} L_z = qL_z.$$

Здесь T_z – допуск на размер исходной заготовки; d_z – номинальный размер заготовки;

$$z - \text{напуск}; \quad q = \frac{2T_z}{d_z - 4z}.$$

Подставляя известные данные, получим

$$q_1 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 0,2} = 0,0162;$$

$$T_1 = 0,016 \cdot 86,5 = 1,38 \text{ мм};$$

$$q_2 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 8,7} = 0,0435;$$

$$T_2 = 0,044 \cdot 127 = 5,59 \text{ мм};$$

$$q_3 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 9,7} = 0,0545;$$

$$T_3 = 0,054 \cdot 28 = 1,51 \text{ мм};$$

$$q_4 = \frac{2 \cdot 0,4}{56 - 4 \cdot 13,5} = 0,4000;$$

$$T_4 = 0,400 \cdot 12 = 4,80 \text{ мм.}$$

Допуск на изготовление концевой ступени вследствие отклонений при отрезке

$$T_p = \left(\frac{d_2}{d_{\text{пок}}} \right)^2 T_{\text{рез}}, \quad (49)$$

где $T_{\text{рез}}$ — допуск на отрезку исходной заготовки. Подставляя известные данные, получим

$T_p = \left(\frac{56}{28} \right)^2 1,5 = 3,8 = \pm 1,9$ мм. Торец диаметром 52 мм принимаем за исходный, и назначаем допуск на длину его ступени ± 1 мм; для торца диаметром 25 мм допуск на длину его ступени $5,59 + 1,51 + 4,8 = 11,9$ мм.

С учетом дефектов отрезки допуск составит $11,9 \pm 1,9 = \begin{matrix} +13,8 \\ -1,9 \end{matrix}$.

Скорректируем размеры концевой ступени этого же диаметра с учетом допуска. Ее длина

$$L_{34} = \frac{34 + 14}{\frac{4 \cdot 13,5}{28} + 1} = 16,4;$$

$$T_4 = 0,4 \cdot 16,4 = 6,5 \text{ мм.}$$

Скорректируем размеры четвертой ступени еще раз. Имеем

$$L_{34} = \frac{34 + 16}{\frac{4 \cdot 13,5}{28} + 1} = 17;$$

$$T_4 = 0,4 \cdot 17 = 6,8 \text{ мм.}$$

Допуск 6,8 мм незначительно отличается от допуска 6,5 мм. Округляя полученные данные, примем допуск на длину четвертой ступени равным $\begin{matrix} +16 \\ -2 \end{matrix}$.

Расчетная общая длина исходной заготовки

$$L_3 = L_{31} + L_{32} + L_{33} + L_{34}.$$

Следовательно,

$$L_3 = 86,5 + 127 + 28 + 17 = 258,5 \pm 0,75 \text{ мм.}$$

Диаметр исходной заготовки $56 \begin{matrix} +0,2 \\ -1,0 \end{matrix}$ мм.

Расчет припусков на обработку и предельных размеров по технологическим переходам для крупного вала

Заготовка-поковка I группы точности по ГОСТ 7062-90. Материал — сталь 45. Исходная заготовка — прокат, диаметр $350 \begin{matrix} +0,215 \\ -0,215 \end{matrix}$ мм

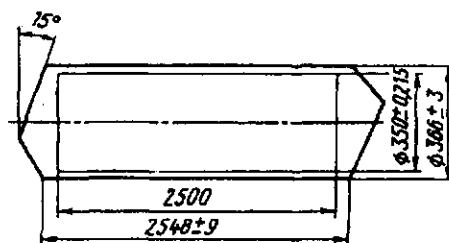


Рис. 6. Рабочий чертеж вала, изготовляемого ковкой на прессе

Минимальный припуск на черновую обработку такого вала

$$2z_{\text{чер min}} = 2 \left(Rz_{\text{пок}} + h_{\text{пок}} + \sqrt{\Delta_{\text{пок}}^2 + \epsilon_{\text{чер}}^2} \right).$$

Принимаем $Rz_{\text{пок}} + h_{\text{пок}} = 1,5$ мм (см. табл. 11). Кривизна заготовки $\Delta_k = 0,8 \cdot 2500 = 2$ мм. Погрешность центрования $\Delta_{\text{ц}} = 0,25Td = 0,25 \cdot 8 = 2$ мм.

Суммарное значение

$$\Delta_{\Sigma \text{пок}} \sqrt{\Delta_k^2 + \Delta_{\text{ц}}^2} = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,82 \text{ мм.}$$

Значение $\Sigma_{\text{чер}}$ принимаем равным 2,3 мм. Таким образом, припуск на черновую обработку

$$2z_{\text{чер min}} = 2 \left(1,5 + \sqrt{2,82^2 + 2,3^2} \right) = 10,28 \text{ мм.}$$

Учитывая, что наибольшая податливость заготовки вала не превышает 0,004 мкм/Н, примем $W_{\text{снст}} = W_{\text{ст}} + W_2 = 0,1$ мкм/Н.

При черновой обработке

$$A = C_y s^y HB^m = 0,00027 \cdot 2^{0,75} \cdot 2000^2 = 1815,$$

где $HB = 2000$ МПа.

Приняв припуск по диаметру на черновую обработку 10,28 мм, получим глубину резания $t = 5,14$ мм и, следовательно,

$$\Delta_{\text{ост}} = 0,1 \cdot 1815 [5,14^{0,9} - (5,14 - 2,82)^{0,9}] = 405 \text{ мкм.}$$

Предельные размеры по технологическим переходам следующие:

Маршрут обработки поверхности вала	Расчетный припуск, мкм	Расчетный размер, мм	Допуск Td , мкм	Предельные размеры, мм		Фактические припуски, мм		
				d_{max}	d_{min}	$2z_{\text{max}}$	$2z_{\text{min}}$	
Поковка	—	362,065	6000	369,0	363,0	—	—	
Черновое обтачивание	10,28	351,785	2300	354,4	351,8	14,6	11,2	
Чистовое обтачивание	2,00	349,785	215(230)	350,0	349,785	4,4	2,015	
						z_0	19,0	13,215

Примечание. Допуск принимаем не по 10-му качеству (230 мкм), а по чертежу (215 мкм).

Коэффициент уточнения при черновой обработке

$$K_y = \frac{0,405}{2,82} = 0,14.$$

Припуск на чистовую обработку

$$\begin{aligned} 2z_{\text{чист min}} &= 2 \left(Rz_{\text{чер}} + h_{\text{чер}} + \sqrt{\Delta_{\text{ост}}^2 + \epsilon_{\text{чист}}^2} \right) = \\ &= 2 \left(250 + 240 + \sqrt{405^2 + 230^2} \right) = \\ &= 1912 \text{ мкм} \approx 2,00 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Общий припуск на обработку

$$2z_{0 \text{ min}} = 10,28 + 2,00 = 12,28 \text{ мм.}$$

Пересчитаем расчетный минимальный припуск на номинальный:

$$\begin{aligned} 2z_{0 \text{ пот}} &= 2z_{0 \text{ min}} + e_{i_3} - e_{i_4} = \\ &= 12,28 + 3 - 0,215 = 15,065 \text{ мм.} \end{aligned}$$

По ГОСТ 7062-90 номинальный припуск на обработку такого вала составляет 22 мм независимо от точности. По ГОСТ 7829-70 припуск на обработку такого вала составляет 19 мм.

Проверка.

$$\begin{aligned} Td_3 - Td_4 &= 2z_{0 \text{ max}} - 2z_{0 \text{ min}} = 6 - 0,215 = \\ &= 19 - 13,215 = 5,785 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Определение припусков и предельных значений выполнено правильно.

НАЗНАЧЕНИЕ ОБЩИХ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Припуски на обработку можно устанавливать по таблицам, приведенным в стандартах. Это позволяет ускорять расчет припусков

и проектирование заготовки. Проверка наиболее точных поверхностей расчетно-аналитическим методом может существенно уточнить выбранные табличные припуски в целом на заготовку.

Прокат. Размеры диаметров заготовок, изготовляемых из круглого сортового проката, приведены в ГОСТ 2590-88 в зависимости от номинального значения максимального диаметра детали и ее общей длины.

Припуски на механическую обработку торца детали даны в табл. 33.

Поковки, получаемые свободной ковкой. Припуски на механическую обработку поковок общего назначения из углеродистой и легированной стали, приведены в ГОСТ 7062-90 (ковка на прессах) и ГОСТ 7829-70 (ковка на молотах).

Поковки, получаемые штамповкой. Припуски на механическую обработку поковок массой до 250 кг, изготавливаемых горячей объемной штамповкой из стали на различных видах кузнечно-прессового оборудования, приведены в ГОСТ 7505-89. Припуски получены с использованием вероятно-статистической методики, и устанавливают их в соответствии с классом точности заготовки и "исходным индексом". Класс точности выбирают по табл. 25 (см. гл. 3), а "исходный индекс" определяют в зависимости от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковки по табл. 27 (см. гл. 3).

Припуски на толщину поковки, подвергаемой холодной или горячей калибровке, даны в табл. 33, а.

Припуск на механическую обработку рассчитывают как сумму основного и дополнительных припусков. При определении основного припуска учитывают получаемые на заго-

товке допуски (через исходный индекс) и шероховатость поверхности после механической обработки (табл. 36). Значения дополнительных припусков зависят от отклонений формы поковки: смещения поковки относительно оси, изогнутости, отклонения от плоскостности и прямолинейности, отклонения межцентрового и межосевого расстояний отверстий, угловых размеров элементов в заготовке.

Дополнительные припуски от смещения поверхности разреза штампов зависят от формы и массы поковки, класса точности и технологии изготовления поковки. Значения дополнительных припусков приведены в табл. 34.

33. Припуски на разрезку и механическую обработку торца проката

Прокат	Способ разрезки	Номинальный диаметр проката или толщина материала, мм				
		До 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80	Св. 80 до 150
<i>Припуск на разрезку или вырезку детали, мм</i>						
Сортовой	Механической ножовкой	2	2	2	2	2
	Дисковой пилой на отрезном станке	—	—	—	6	6
	Резцом на токарном станке	3	4	5	7	—
	Дисковой фрезой на фрезерном станке	3	4	—	—	—
Листовой	Газовая резка:					
	секатором ручная	3-4 3-5	5 6-7	5 7	6 8	7 10
<i>Припуск на механическую обработку торца, мм</i>						
	На подрезку торца после отрезки	2	2	3	3	3
	На обработку по контуру после вырезки	4-5	6	7	9	9

Примечание. Для заготовок, не подвергающихся последующей обработке, оставлять припуск только на ширину реза: при обработке — следует предусматривать дополнительный припуск на обработку торца или по контуру.

33, а. Допуски и припуски на толщину поволоков, подвергаемых холодной и горячей калибровке

Площадь поверхности, подвергаемой калибровке, см ²	Припуск, мм	Поле допуска при K*, мм	
		До 0,5 вкл.	Св. 0,5
До 0,5 вкл.	0,25	0,32	0,26
Св. 2,5 » 6,3 »	0,30	0,36	0,32
» 6,3 » 10,0 »	0,36	0,40	0,36
» 10,0 » 16,0 »	0,40	0,44	0,40
» 16,0 » 25,0 »	0,50	0,50	0,44
» 25,0 » 40,0 »	0,60	0,60	0,50
» 40,0 » 80,0 »	0,70	0,80	0,60

* Отношение толщины (расстояние между калиброванными плоскостями) к ширине поволоки, подвергавшейся калибровке, или ее элемента.

Дополнительные припуски в зависимости от изогнутости и отклонений заготовки от плоскостности и прямолинейности учитывают размеры, класс и технологию изготовления поковки (табл. 35).

Дополнительные припуски в зависимости от отклонений межосевых расстояний определяют по значениям расстояний, технологии и классу точности получения поковки (табл. 37).

Минимальные величины радиуса закруглений наружных углов поволоков устанавливаются по глубине полости ручья штампа (табл. 38).

34. Дополнительный припуск, учитывающий смещение по поверхности разреза штампов

Масса поковки, кг	Припуски для классов точности, мм								
	Плоская поверхность разреза (П)								
	T1	T2	T3	T4	T5				
	Симметрично изогнутая поверхность разреза (И _с)								
					T1	T2	T3	T4	T5
					Несимметрично изогнутая поверхность разреза (И _н)				
					T1	T2	T3	T4	T5
До 0,5 включ.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Св. 0,5 до 1,0									
" 1,0 " 1,8		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
" 1,8 " 3,2									
" 3,2 " 5,6		0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5
" 5,6 " 10,0									
" 10,0 " 20,0		0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6
" 20,0 " 50,0									
" 50,0 " 125,0		0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7
" 125,0 " 250,0									
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	

35. Дополнительный припуск, учитывающий изогнутость и отклонения от плоскостности и прямолинейности

Наибольший размер поковки, мм	Припуски для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
Св. 100 " 160 "	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
" 160 " 250 "	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
" 250 " 400 "	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
" 400 " 630 "	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
" 630 " 1000 "	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
" 1000 " 1600 "	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
" 1600 " 2500 "	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0

36. Основные припуски на механическую обработку (на сторону)

Размеры,

Исходный индекс	Толщина											
	До 25			25 – 40			40 – 63			63 – 100		
	Длина, ширина, диаметр,											
	До 40			40 – 100			100 – 160			160 – 250		
	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25
	12,5	1,6	√	12,5	1,6	√	12,5	1,6	√	12,5	1,6	√
	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
1	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9
2	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9
3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0
4	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1
5	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2
6	0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4
7	0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5
8	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6
9	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8
10	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9
11	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
12	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
13	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
14	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
15	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
16	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3
17	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
18	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
19	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
20	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
21	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
22	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
23	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2

мм

детали														
100 – 160			160 – 250			св. 250								
глубина и высота детали														
250 – 400			400 – 630			630 – 1000			1000 – 1600			1600 – 2500		
100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25	100	10	1,25
12,5	1,6	√	12,5	1,6	√	12,5	1,6	√	12,5	1,6	√	12,5	1,6	√
√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
0,6	0,8	0,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,7	0,9	1,0	0,8	1,0	1,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,8	1,0	1,1	0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	–	–	–	–	–	–
0,9	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	–	–	–	–	–	–
1,0	1,3	1,4	1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	–	–	–
1,1	1,4	1,5	1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0
1,2	1,5	1,6	1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2
1,3	1,6	1,8	1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5
1,4	1,7	1,9	1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7
1,5	1,8	2,0	1,7	2,0	2,2	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0
1,7	2,0	2,0	1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3
1,9	2,3	2,5	2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5
2,0	2,5	2,7	2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8
2,2	2,7	3,0	2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1
2,4	3,0	3,3	2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7
2,6	3,2	3,5	2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1
2,8	3,5	3,8	3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6
3,0	3,8	4,1	3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2
3,4	4,3	4,7	3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8
3,7	4,7	5,1	4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5
4,1	5,1	5,6	4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1
4,5	5,7	6,2	4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	8,7
4,9	6,2	6,8	5,4	6,8	7,5	5,8	7,4	8,1	6,2	7,9	8,7	7,1	9,1	10,0

37. Дополнительный пропуск, учитывающий отклонения межосевого расстояния

Расстояние между центрами, осями, мм	Припуски для классов точности, мм				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 60 включ.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Св. 60 " 100 "	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5
" 100 " 160 "	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
" 160 " 250 "	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
" 250 " 400 "	0,3	0,5	0,8	1,2	1,6
" 400 " 630 "	0,5	0,8	1,2	1,6	2,0
" 630 " 1000 "	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5
" 1000 " 1600 "	1,2	1,6	2,0	2,5	4,0
" 1600 " 2500 "	1,6	2,0	2,5	4,0	6,0

Величина дополнительного припуска, учитывающего отклонения угловых размеров, устанавливается по согласованию между изготовителем и потребителем.

Разрешается округлять линейные размеры поковки с точностью до 0,5 мм.

При назначении величины припуска на поверхность, положение которой определяется двумя и более размерами поковки, устанавливается наибольшее значение припуска для данной поверхности.

38. Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок в зависимости от глубины полости ручья штампа

Масса поковки, кг	Минимальная величина радиусов закруглений, мм, при глубине полости ручья штампа, мм			
	До 10 вкл.	10 – 25	25 – 50	св. 50
До 1,0 включ.	1,0	1,6	2,0	3,0
Св. 1,0 " 6,3 "	1,6	2,0	2,5	3,6
" 6,3 " 16,0 "	2,0	2,5	3,0	4,0
" 16,0 " 40,0 "	2,5	3,0	4,0	5,0
" 40,0 " 100,0 "	3,0	4,0	5,0	7,0
" 100,0 " 250,0 "	4,0	5,0	6,0	8,0

Для поковок класса точности T5, получаемых с применением плазменного нагрева, допускается увеличение припуска:

массой, кг, до 3,2 – до 0,5 мм;
св. 3,2 до 10 – до 0,8 мм;
св. 10 – до 1,0 мм

Такой дифференциальный подход выбора припуска позволяет наиболее полно учесть особенности получения заготовки и ее последующей обработки.

Отливки. Припуски на механическую обработку приведены в ГОСТ 26645-85. При назначении припусков учитывают маршрут изготовления поверхности детали, что делает обоснованным определение размеров заготовки.

Точность отливки характеризуется точностью размеров, степенью коробления, степенью точности формы поверхностей, а также смещением поверхностей относительно базы. Стандартом установлено 22 класса точности размеров элементов отливки. По классу точности размера по таблицам определяют общий допуск, учитывающий погрешности формы и расположения поверхностей отливок. По величине общего допуска в пределах 0 – 10 мм в зависимости от вида окончательной обработки элемента отливки (черновая, получистовая, чистовая и тонкая) и ряда припусков определяют припуск на обработку по табл. 39 – 40.

Припуски на обработку (на сторону) назначают на каждую обрабатываемую поверхность дифференцировано:

– при отсутствии необходимости в повышении точности размеров, формы и расположения обрабатываемой поверхности, для устранения дефектов и уменьшения шероховатости литой поверхности назначают минимальный литейный припуск по табл. 39;

– при необходимости повышения точности обрабатываемого элемента отливки для

устранения погрешностей размеров, формы и расположения, дефектов и неровностей обрабатываемой поверхности назначают общий припуск по табл. 40;

– общие припуски на поверхности вращения и противоположные поверхности, используемые в качестве взаимных баз при обработке, назначают по половинным значениям общих допусков отливки на соответствующие диаметры или расстояния между поверхностями отливки;

– при индивидуальной обработке заготовок с установкой их с выверкой обрабатываемой поверхности припуски назначают по половинным значениям допуска формы и расположения обрабатываемой поверхности при односторонних отклонениях ее формы и расположения и полному допуску формы и расположения при двухсторонних отклонениях формы и расположения обрабатываемой поверхности относительно номинальной поверхности детали.

В табл. 40 приведены общие припуски для отливок, обрабатываемых при среднем уровне точности обработки.

Для отливок мелкосерийного и единичного производства допускается назначать увеличенные значения припусков, соответствующие интервалам общих допусков в табл. 40, соответственно на 1 и 2 строки ниже интервала действительного допуска.

39. Минимальный литейный припуск

Ряд припуска отливки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Минимальный литейный припуск на сторону, мм, не более	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0

Промежуточные припуски на механическую обработку. Минимальные припуски на механическую обработку наружных поверхностей валов, изготавливаемых из проката и штампованных поковок, приведены в табл. 41. Минимальные значения припусков на механиче-

скую обработку плоскостей даны в табл. 42. Минимальные припуски на механическую обработку некоторых элементарных поверхностей из черных металлов приведены в табл. 43 – 50, а из цветных металлов и сплавов – в табл. 51.

40. Величины общих припусков на обрабатываемые поверхности отливок

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
До 0,10	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,10 до 0,11	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,11 до 0,12	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,12 до 0,14	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	1,0	1,3	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,14 до 0,16	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,16 до 0,18	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,18 до 0,20	Черновая	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,2	1,4	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,3	1,5	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 40

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 0,20 до 0,22	Черновая	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1	1,4	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4	1,6	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Св. 0,22 до 0,24	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,8	2,2	2,6	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8	1,1	1,4	1,6	1,9	2,4	3,0	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,1	2,5	3,1	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,3	-	-	-	-	-	-
Св. 0,24 до 0,28	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	-	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,4	1,6	2,0	2,4	3,0	-	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,2	-	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,2	2,6	3,3	-	-	-	-	-	-
Св. 0,28 до 0,32	Черновая	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,2	2,7	3,3	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,5	1,7	2,1	2,4	3,1	3,6	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,2	2,6	3,1	3,6	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,4	3,9	-	-	-	-	-
Св. 0,32 до 0,36	Черновая	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,7	3,3	-	-	-	-	-
	Получистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,1	3,6	-	-	-	-	-
	Чистовая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	-	-	-	-	-
	Тонкая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,4	3,9	-	-	-	-	-
Св. 0,36 до 0,40	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,3	4,3	-	-	-	-
	Получистовая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	3,2	3,7	4,8	-	-	-	-
	Чистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	2,7	3,3	3,8	5,0	-	-	-	-
	Тонкая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	-	-	-	-
Св. 0,40 до 0,44	Черновая	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,8	3,4	4,3	-	-	-	-
	Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,8	-	-	-	-
	Чистовая	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,7	3,4	3,9	5,0	-	-	-	-
	Тонкая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,4	4,0	5,1	-	-	-	-

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 0,44 до 0,50	Черновая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,4	4,4	5,3	-	-	-	-
	Получистовая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,6	1,8	2,2	2,6	3,3	3,8	4,8	5,8	-	-	-
	Чистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	2,8	3,5	3,9	5,2	6,2	-	-	-
	Тонкая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,6	4,1	5,3	6,3	-	-	-
Св. 0,50 до 0,56	Черновая	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,4	2,9	3,4	4,4	5,5	-	-	-
	Получистовая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,3	2,7	3,3	3,8	4,9	5,8	-	-	-
	Чистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	3,4	4,0	5,1	6,1	-	-	-
	Тонкая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,3	5,5	6,3	-	-	-
Св. 0,56 до 0,64	Черновая	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	2,9	3,5	4,4	5,5	6,5	-	-
	Получистовая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,9	5,0	6,0	7,1	-	-
	Чистовая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,6	3,0	3,6	4,1	5,3	6,3	7,3	-	-
	Тонкая	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,2	2,7	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	-	-
Св. 0,64 до 0,70	Черновая	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	2,1	2,5	3,0	3,4	4,5	5,4	6,5	8,5	-
	Получистовая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,8	3,5	3,9	5,0	6,0	7,1	9,3	-
	Чистовая	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,6	1,9	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	5,3	6,3	7,5	9,8	-
	Тонкая	1,1	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,9	4,4	5,6	6,5	7,8	9,8	-
Св. 0,70 до 0,80	Черновая	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,6	5,6	6,5	8,5	-
	Получистовая	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,1	2,5	2,9	3,6	4,0	5,2	6,2	7,3	9,3	-
	Чистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,8	3,1	3,8	4,3	5,4	6,5	7,5	9,8	-
	Тонкая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	-
Св. 0,80 до 0,90	Черновая	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,2	3,7	4,6	5,6	6,7	8,5	10,5
	Получистовая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,1	2,3	2,7	3,1	3,7	4,1	5,3	6,3	7,3	9,5	11,5
	Чистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,2	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Тонкая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,9	8,0	10,5	12,5
Св. 0,90 до 1,00	Черновая	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9	2,3	2,7	3,1	3,6	4,8	5,6	6,7	8,8	10,5
	Получистовая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7	3,2	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,8	6,7	7,8	10,0	12,0
	Тонкая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,3	4,8	6,0	6,9	8,0	10,5	12,5

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 1,00 до 1,10	Черновая	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7	3,3	3,8	4,8	5,8	6,7	8,8	10,5
	Получистовая	1,1	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9	2,2	2,4	2,8	3,1	3,8	4,3	5,3	6,3	7,5	9,5	11,5
	Чистовая	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,9	2,1	2,4	2,6	3,1	3,4	4,1	4,6	5,8	6,7	7,8	10,0	12,5
	Тонкая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,3	3,7	4,4	4,9	6,0	7,1	8,3	10,5	12,5
Св. 1,10 до 1,20	Черновая	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,4	3,8	4,8	5,8	6,9	8,8	11,0
	Получистовая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4	5,4	6,5	7,5	9,8	12,0
	Чистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,6	4,1	4,6	5,8	6,9	8,0	10,0	12,5
	Тонкая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,4	2,7	2,8	3,4	3,8	4,4	4,9	6,2	7,1	8,3	10,5	12,5
Св. 1,20 до 1,40	Черновая	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,5	2,9	3,5	3,9	4,9	6,0	6,9	9,0	11,0
	Получистовая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,4	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	12,0
	Чистовая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,4	3,9	4,5	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	12,5
	Тонкая	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,9	3,2	3,7	4,0	4,8	5,1	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
Св. 1,40 до 1,60	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,0	5,0	6,0	7,1	9,0	11,0
	Получистовая	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,7	2,9	3,3	3,6	4,3	4,8	5,8	6,9	8,0	10,0	12,0
	Чистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	6,3	7,3	8,5	10,5	13,0
	Тонкая	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,1	3,4	3,9	4,3	5,0	5,4	6,7	7,8	8,8	11,0	13,5
Св. 1,60 до 1,80	Черновая	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,7	3,2	3,7	4,1	5,2	6,2	7,1	9,0	11,0
	Получистовая	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,5	3,8	4,4	4,9	6,0	7,1	8,0	10,0	12,5
	Чистовая	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,3	3,8	4,3	4,8	5,3	6,5	7,5	8,5	11,0	13,0
	Тонкая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,2	5,6	6,9	7,8	9,0	11,0	13,5
Св. 1,80 до 2,00	Черновая	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,8	3,3	3,8	4,3	5,1	6,1	7,3	9,3	11,0
	Получистовая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,0	3,1	3,6	4,0	4,6	5,0	6,1	7,1	8,3	10,5	13,0
	Чистовая	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,0	3,4	3,6	4,0	4,4	5,2	5,6	6,9	7,8	8,8	11,0	13,5
	Тонкая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,8	5,5	5,8	7,1	8,0	9,3	11,5	13,5
Св. 2,00 до 2,20	Черновая	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	3,4	3,9	4,4	5,5	6,3	7,3	9,5	11,5
	Получистовая	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	3,2	3,4	3,8	4,1	4,8	5,3	6,3	7,3	8,5	10,5	12,5
	Чистовая	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,8	6,9	8,0	9,0	11,0	13,5
	Тонкая	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,9	4,1	4,6	5,0	5,6	6,1	7,3	8,3	9,5	12,0	14,0

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 2,20 до 2,40	Черновая	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,4	4,0	4,5	5,4	6,5	7,5	9,5	11,5
	Получистовая	2,4	2,5	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,6	4,0	4,4	5,0	5,4	6,5	7,5	8,8	11,0	13,0
	Чистовая	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	3,8	3,9	4,4	4,9	5,5	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
	Тонкая	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	4,8	5,1	5,8	6,3	7,5	8,5	9,8	12,0	14,0
Св. 2,40 до 2,80	Черновая	1,8	1,9	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,9	3,3	3,6	4,1	4,6	5,6	6,7	7,8	9,8	11,5
	Получистовая	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,3	3,6	3,8	4,3	4,6	5,1	5,6	6,7	7,8	9,0	11,0	13,0
	Чистовая	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,8	4,0	4,3	4,8	5,2	5,8	6,1	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
	Тонкая	3,5	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,1	4,4	4,6	5,2	5,4	6,1	6,7	8,0	9,0	10,0	12,5	14,5
Св. 2,80 до 3,20	Черновая	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	3,1	3,4	3,9	4,4	4,9	5,8	6,9	7,8	9,8	12,0
	Получистовая	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,4	3,6	4,0	4,1	4,6	5,0	5,6	6,0	7,1	8,3	9,3	11,5	13,5
	Чистовая	3,4	3,6	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,5	4,6	5,1	5,6	6,1	6,7	7,8	8,8	9,8	12,0	14,5
	Тонкая	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	4,9	5,4	5,8	6,3	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
Св. 3,20 до 3,60	Черновая	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6	4,1	4,6	5,2	6,2	7,1	8,0	10,0	12,0
	Получистовая	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,8	4,0	4,3	4,5	4,9	5,3	5,8	6,3	7,5	8,5	9,5	11,5	14,0
	Чистовая	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,4	4,6	4,9	5,2	5,6	6,0	6,5	7,1	8,3	9,3	10,5	12,5	15,0
	Тонкая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	6,0	6,3	7,1	7,5	8,8	9,8	11,0	13,0	15,5
Св. 3,60 до 4,00	Черновая	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9	4,3	4,8	5,3	6,3	7,3	8,3	10,5	12,5
	Получистовая	3,6	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,8	4,9	5,3	5,6	6,3	6,7	8,0	9,0	9,8	12,0	14,0
	Чистовая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	6,0	6,3	6,9	7,5	8,8	9,8	10,5	13,0	15,0
	Тонкая	4,8	4,9	5,0	5,2	5,1	5,3	5,4	5,8	6,0	6,5	6,9	7,5	8,0	9,3	10,5	11,5	13,5	16,0
Св. 4,00 до 4,40	Черновая	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,3	3,5	3,7	4,0	4,4	4,9	5,5	6,5	7,5	8,5	10,5	12,5
	Получистовая	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,3	4,5	4,8	5,0	5,5	5,8	6,3	6,9	8,0	9,0	10,0	12,0	14,5
	Чистовая	4,5	4,6	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,4	5,8	6,1	6,7	7,3	7,8	9,0	9,8	11,0	13,0	15,5
	Тонкая	4,9	5,0	5,2	5,3	5,3	5,5	5,6	6,0	6,2	6,7	7,1	7,8	8,3	9,5	10,5	11,5	14,0	16,0
Св. 4,40 до 5,00	Черновая	2,9	3,0	3,1	3,1	3,3	3,4	3,6	3,8	4,0	4,4	4,8	5,3	5,8	6,7	7,8	8,8	11,0	13,0
	Получистовая	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,3	5,5	5,8	6,3	6,9	7,3	8,5	9,5	10,5	12,5	14,5
	Чистовая	5,0	5,1	5,3	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3	6,7	7,1	7,8	8,3	9,5	10,5	11,5	14,0	16,0
	Тонкая	5,6	5,8	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9	7,3	7,8	8,5	9,0	10,0	11,0	12,0	14,5	16,5

Общий допуск элемента поверхности, мм	Вид окончательной механической обработки	Общий припуск на сторону, мм, не более, для ряда припуска отливки																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Св. 5,00 до 5,60	Черновая	-	3,3	3,4	3,4	3,6	3,6	3,9	4,1	4,3	4,8	5,2	5,6	6,2	7,1	8,0	9,0	11,0	13,0
	Получистовая	-	4,9	5,0	5,2	5,1	5,3	5,4	5,8	6,0	6,3	6,7	7,3	8,0	9,0	9,8	11,0	13,0	15,5
	Чистовая	-	5,8	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9	7,3	7,8	8,3	8,8	10,0	11,0	12,0	14,5	16,5
	Тонкая	-	6,3	6,5	6,5	6,5	6,7	6,7	6,9	7,3	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	11,0	12,0	13,0	15,0
Св. 5,60 до 6,40	Черновая	-	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,4	4,6	4,8	5,1	5,6	6,2	6,5	7,5	8,5	9,5	11,5	13,5
	Получистовая	-	5,1	5,3	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,3	6,7	7,1	7,8	8,3	9,3	10,5	11,5	13,5	15,5
	Чистовая	-	6,1	6,3	6,3	6,5	6,5	6,7	7,1	7,3	7,8	8,3	8,8	9,3	10,5	11,5	12,5	15,0	17,0
	Тонкая	-	6,9	7,1	7,1	7,3	7,3	7,5	7,8	8,0	8,5	9,0	9,8	10,0	11,5	12,5	13,5	16,0	18,0
Св. 6,40 до 7,00	Черновая	-	-	4,3	4,3	4,4	4,5	4,8	4,9	5,2	5,4	6,0	6,5	6,9	8,0	9,0	9,8	12,0	14,0
	Получистовая	-	-	5,8	6,0	6,0	6,2	6,3	6,7	6,9	7,3	7,5	8,3	8,8	9,8	11,0	12,0	14,0	16,0
	Чистовая	-	-	6,9	7,1	7,1	7,3	7,5	7,8	8,0	8,5	8,8	9,5	9,8	11,0	12,0	13,0	15,5	17,5
	Тонкая	-	-	7,8	7,8	7,8	8,0	8,3	8,5	8,8	9,3	9,5	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
Св. 7,00 до 8,00	Черновая	-	-	4,8	4,8	4,9	5,0	5,1	5,5	5,6	6,0	6,5	6,9	7,5	8,5	9,5	10,5	12,5	14,5
	Получистовая	-	-	6,5	6,5	6,7	6,7	6,9	7,3	7,5	7,8	8,3	8,8	9,3	10,5	11,5	12,5	14,5	17,0
	Чистовая	-	-	8,0	8,0	8,0	8,3	8,5	8,8	9,0	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
	Тонкая	-	-	8,5	8,8	8,8	8,8	9,0	9,3	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5
Св. 8,00 до 9,00	Черновая	-	-	-	5,3	5,4	5,6	5,8	6,0	6,1	6,5	6,9	7,5	8,0	9,0	9,8	11,0	13,0	15,0
	Получистовая	-	-	-	7,3	7,5	7,5	7,8	8,0	8,3	8,8	9,0	9,8	10,0	11,0	12,0	13,5	15,5	17,5
	Чистовая	-	-	-	9,0	9,0	9,3	9,3	9,8	9,8	10,5	10,5	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,5	19,5
	Тонкая	-	-	-	9,8	9,8	9,8	10,0	10,5	10,5	11,0	11,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0	18,5	20,5
Св. 9,00 до 10,00	Черновая	-	-	-	6,0	6,0	6,2	6,3	6,5	6,7	7,1	7,5	8,0	8,5	9,5	10,5	11,5	13,5	15,5
	Получистовая	-	-	-	8,3	8,3	8,5	8,5	9,0	9,0	9,5	9,8	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,5	18,5
	Чистовая	-	-	-	9,8	9,8	9,8	10,0	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	14,0	15,0	16,0	18,5	20,5
	Тонкая	-	-	-	11,0	11,0	11,0	11,5	11,5	12,0	12,5	12,5	13,5	14,0	15,0	16,0	17,0	19,5	22,0
Св. 10,00 до 11,00	Черновая	-	-	-	-	6,5	6,5	6,7	6,9	7,1	7,5	8,0	8,5	9,0	9,8	11,0	12,0	14,0	16,0
	Получистовая	-	-	-	-	8,5	8,8	8,8	9,3	9,3	9,8	10,0	10,5	11,0	12,5	13,5	14,5	16,5	18,5
	Чистовая	-	-	-	-	10,0	10,0	10,5	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,0	18,5	20,5
	Тонкая	-	-	-	-	11,0	11,5	11,5	12,0	12,5	12,5	13,0	13,5	14,0	15,5	16,5	17,5	19,5	22,0

41. Припуски на механическую обработку валов (наружные поверхности вращения)

Размеры в мм

Номинальный диаметр	Способ обработки поверхности	Припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
<i>Точение проката повышенной точности</i>							
До 30	Черновое и однократное	<u>1,2</u>	<u>1,7</u>	—	—	—	—
		1,1	—	—	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u>	<u>0,3</u>	—	—	—	—
		0,25	—	—	—	—	—
	Тонкое	<u>0,12</u>	<u>0,15</u>	—	—	—	—
		0,12	—	—	—	—	—
Св. 30 до 50	Черновое и однократное	<u>1,2</u>	<u>1,5</u>	<u>2,2</u>	—	—	—
		1,1	1,4	—	—	—	—
	Чистовое	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,35</u>	—	—	—
		0,25	0,25	—	—	—	—
	Тонкое	<u>0,15</u>	<u>0,16</u>	<u>0,20</u>	—	—	—
		0,12	0,13	—	—	—	—
Св. 50 до 80	Черновое и однократное	<u>1,5</u>	<u>1,7</u>	<u>2,3</u>	<u>3,1</u>	—	—
		1,1	1,5	2,1	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,4</u>	—	—
		0,20	0,25	0,3	—	—	—
	Тонкое	<u>0,14</u>	<u>0,15</u>	<u>0,17</u>	<u>0,23</u>	—	—
		0,12	0,13	0,16	—	—	—
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	<u>1,6</u>	<u>1,7</u>	<u>2,0</u>	<u>2,5</u>	<u>3,3</u>	—
		1,2	1,3	1,7	2,3	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,3</u>	<u>0,35</u>	—
		0,25	0,25	0,3	0,3	—	—
	Тонкое	<u>0,14</u>	<u>0,15</u>	<u>0,16</u>	<u>0,17</u>	<u>0,20</u>	—
		0,13	0,13	0,15	0,17	—	—
<i>Точение проката обычной точности</i>							
До 30	Черновое и однократное	<u>1,3</u>	<u>1,7</u>	—	—	—	—
		1,1	—	—	—	—	—
	Получистовое	<u>0,45</u>	<u>0,50</u>	—	—	—	—
		0,45	—	—	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u>	<u>0,25</u>	—	—	—	—
		0,20	—	—	—	—	—
	Тонкое	<u>0,13</u>	<u>0,15</u>	—	—	—	—
		0,12	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 41

Номинальный диаметр	Способ обработки поверхности	Припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
Св. 30 до 50	Черновое и однократное	<u>1,3</u>	<u>1,6</u>	<u>2,2</u>	—	—	—
		1,1	1,4	—	—	—	—
	Получистовое	<u>0,45</u>	<u>0,45</u>	<u>0,50</u>	—	—	—
		0,45	0,45	—	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u>	<u>0,25</u>	<u>0,30</u>	—	—	—
		0,20	0,25	—	—	—	—
Тонкое	<u>0,13</u>	<u>0,14</u>	<u>0,16</u>	—	—	—	
	0,12	0,13	—	—	—	—	
Св. 50 до 80	Черновое и однократное	<u>1,5</u>	<u>1,7</u>	<u>2,3</u>	<u>3,1</u>	—	—
		1,1	1,5	2,1	—	—	—
	Получистовое	<u>0,45</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,55</u>	—	—
		0,45	0,45	0,50	—	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u>	<u>0,30</u>	<u>0,30</u>	<u>0,35</u>	—	—
		0,20	0,25	0,30	—	—	—
Тонкое	<u>0,13</u>	<u>0,14</u>	<u>0,18</u>	<u>0,20</u>	—	—	
	0,12	0,13	0,16	—	—	—	
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	<u>1,8</u>	<u>1,9</u>	<u>2,1</u>	<u>2,6</u>	<u>3,4</u>	—
		1,2	1,3	1,7	2,3	—	—
	Получистовое	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,55</u>	—
		0,45	0,45	0,50	0,50	—	—
	Чистовое	<u>0,25</u>	<u>0,25</u>	<u>0,30</u>	<u>0,30</u>	<u>0,35</u>	—
		0,25	0,25	0,25	0,30	—	—
Тонкое	<u>0,15</u>	<u>0,15</u>	<u>0,16</u>	<u>0,18</u>	<u>0,20</u>	—	
	0,12	0,13	0,14	0,17	—	—	
Св. 120 до 180	Черновое и однократное	<u>2,0</u>	<u>2,1</u>	<u>2,3</u>	<u>2,7</u>	<u>3,5</u>	<u>4,8</u>
		1,3	1,4	1,8	2,3	3,2	—
	Получистовое	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,50</u>	<u>0,60</u>	<u>0,65</u>
		0,45	0,45	0,50	0,50	0,55	—
	Чистовое	<u>0,30</u>	<u>0,30</u>	<u>0,30</u>	<u>0,30</u>	<u>0,35</u>	<u>0,40</u>
		0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	—
Тонкое	<u>0,16</u>	<u>0,16</u>	<u>0,17</u>	<u>0,18</u>	<u>0,21</u>	<u>0,27</u>	
	0,13	0,13	0,15	0,17	0,20	—	

Продолжение табл. 41

Номинальный диаметр	Способ обработки поверхности	Припуск на диаметр при длине вала						
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000	
Св. 180 до 260	Черновое и однократное	2,3	2,4	2,6	2,9	3,6	5,0	
		1,4	1,5	1,8	2,4	3,2	4,6	
	Получистовое	0,50	0,50	0,50	0,55	0,60	0,65	
		0,45	0,45	0,50	0,50	0,55	0,65	
	Чистовое	0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40	
		0,25	0,25	0,25	0,30	0,35	0,40	
	Тонкое	0,17	0,17	0,18	0,19	0,22	0,27	
		0,13	0,14	0,15	0,17	0,20	0,26	
	<i>Точение штампованных заготовок</i>							
	До 18	Черновое и однократное	1,5	1,9	-	-	-	-
			1,4	-	-	-	-	-
		Чистовое	0,25	0,30	-	-	-	-
0,25			-	-	-	-	-	
Тонкое		0,14	0,15	-	-	-	-	
		0,14	-	-	-	-	-	
Св. 18 до 30	Черновое и однократное	1,6	2,0	2,3	-	-	-	
		1,5	1,8	-	-	-	-	
	Чистовое	0,25	0,30	0,30	-	-	-	
		0,25	0,25	-	-	-	-	
	Тонкое	0,14	0,15	0,16	-	-	-	
		0,14	0,14	-	-	-	-	
Св. 30 до 50	Черновое и однократное	1,8	2,3	3,0	3,5	-	-	
		1,7	2,0	2,7	-	-	-	
	Чистовое	0,30	0,30	0,30	0,35	-	-	
		0,25	0,30	0,30	-	-	-	
	Тонкое	0,15	0,16	0,19	0,21	-	-	
		0,15	0,15	0,17	-	-	-	
Св. 50 до 80	Черновое и однократное	2,2	2,9	3,4	4,2	5,0	-	
		2,0	2,6	2,9	3,6	-	-	
	Чистовое	0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	-	
		0,30	0,30	0,30	0,35	-	-	
	Тонкое	0,16	0,18	0,20	0,22	0,26	-	
		0,16	0,17	0,18	0,20	-	-	

Продолжение табл. 41

Номинальный диаметр	Способ обработки поверхности	Припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
Св. 80 до 120	Черновое и однократное	2,6	3,3	4,3	5,2	6,3	8,2
		2,3	3,0	3,8	4,5	5,2	-
	Чистовое	0,30	0,30	0,40	0,45	0,50	0,60
		0,30	0,30	0,35	0,40	0,45	-
	Тонкое	0,17	0,19	0,23	0,26	0,30	0,38
		0,1	0,18	0,21	0,24	0,26	-
Св. 120 до 180	Черновое и однократное	3,2	4,6	5,0	6,2	7,5	-
		2,8	4,2	4,5	5,6	6,7	-
	Чистовое	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	-
		0,30	0,30	0,40	0,45	0,55	-
	Тонкое	0,20	0,24	0,25	0,30	0,35	-
		0,20	0,22	0,23	0,27	0,32	-
<i>Шлифование заготовок</i>							
До 30	Предварительное после термообработки	0,30	0,60	-	-	-	-
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	-	-	-	-
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	-	-	-	-
Св. 30 до 50	Предварительное после термообработки	0,25	0,50	0,85	-	-	-
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	-	-	-
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	-	-	-
Св. 50 до 80	Предварительное после термообработки	0,25	0,40	0,75	1,20	-	-
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	-	-
Св. 80 до 120	Предварительное после термообработки	0,20	0,35	0,65	1,00	1,55	-
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	-
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	-

Продолжение табл. 41

Номинальный диаметр	Способ обработки поверхности	Припуск на диаметр при длине вала					
		До 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000
Св. 120 до 180	Предварительное после термообработки	0,17	0,30	0,55	0,85	1,30	2,10
	Предварительное после чистового точения	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Чистовое после предварительного шлифования	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Примечания: 1. Припуски при точении в числителе указаны при установке заготовки в центрах, в знаменателе – в патроне.

2. Если величина припуска при шлифовании не может быть снята за один ход, то 70 % его удаляют на первом и 30 % на втором ходах.

3. Величины припусков на обработку конических поверхностей принимать те же, что и на обработку цилиндрических поверхностей, устанавливая их по наибольшему диаметру.

42. Минимальные припуски на переход при обработке плоскостей

Размеры в мм

Способ обработки плоскости	Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности							
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 260	Св. 260 до 500	Св. 500 до 800	Св. 800 до 1250	Св. 1250 до 2000	Св. 2000 до 3150
Черновая и однократная обработка лезвийным инструментом после литья: в песчаную форму (машинная формовка по металлическим моделям) в песчаную форму (машинная формовка по деревянным моделям) в постоянную форму (в кокиль) в оболочковую форму по выплавляемой модели	0,9	1,1	1,5	2,2	3,1	4,5	7,0	10,0
	1,0	1,2	1,6	2,3	3,2	4,6	7,1	11,0
	0,7	0,8	1,0	1,6	2,2	3,1	4,6	7,0
	0,5	0,6	0,8	1,4	2,0	2,9	–	–
	0,3	0,4	0,5	0,8	–	–	–	–
Получистовая обработка лезвийным инструментом после черновой	0,25	0,25	0,30	0,30	0,35	0,40	0,50	0,65
Чистовая обработка лезвийным инструментом после получистовой	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,20	0,20
Предварительное и однократное шлифование после чистовой обработки лезвийным инструментом	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,08
Чистовое шлифование после предварительного	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05

43. Припуски на обработку отверстия протягиванием

Размеры в мм

Номинальный диаметр отверстия	Припуск на диаметр отверстий, подготовленных с точностью	
	До 11 качества	Грубее 11 качества
До 18	0,5	0,7
Св. 18 до 30	0,6	0,8
" 30 " 50	0,8	1,0
" 50 " 80	1,0	1,2
" 80 " 120	1,2	1,5
" 120 " 180	1,5	1,8

Примечание. Припуски даны на обработку отверстий длиной $l \leq 3d$.

45. Припуски на диаметр при обработке отверстий хонингованием

Размеры в мм

Диаметр отверстия	Припуск на диаметр	
	Сталь	Чугун
До 80	0,05	0,02
Св. 80 до 180	0,06	0,03
" 180	0,07	0,04

47. Припуски на шабрение

Размеры в мм

Ширина плоскости	Плоскости					Отверстия			
	Припуск на сторону при длине плоскости					Диаметр отверстия	Припуск на диаметр при глубине отверстия		
	От 100 до 500	Св. 500 до 1000	Св. 1000 до 2000	Св. 2000 до 4000	Св. 4000 до 6000		До 100	Св. 100 до 200	Св. 200 до 300
До 100	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	До 80	0,05	0,08	0,12
Св. 100 до 500	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	Св. 80 до 180	0,10	0,15	0,25
						" 180 " 360	0,15	0,25	0,35

44. Припуски на обработку отверстия шлифованием

Размеры в мм

Метод обработки	Припуск при диаметре отверстия		
	6–10	10–50	50–180
Шлифование до термообработки	0,2	0,3	0,4–0,5
Шлифование после термообработки:			
	черновое	–	0,2
чистовое	–	0,1	0,2

46. Припуски на притирку отверстий

Размеры в мм

Диаметр отверстия	Припуск на диаметр
До 50	0,010
Св. 50 до 80	0,015
" 80 " 120	0,020

48. Припуски на ширину пазов

Размеры в мм

Ширина паза	Чистовое фрезерование после черного	Шлифование пазов у термически обработанных и необработанных деталей после чистового фрезерования	Ширина паза	Чистовое фрезерование после черного	Шлифование пазов у термически обработанных и необработанных деталей после чистового фрезерования
Св. 6 до 10	2,0	0,7	" 50 " 120	4,0	1,0

Примечание. Размеры пазов: длина до 80 мм, глубина до 60 мм.

49. Припуски на обработку торцов

Размеры в мм

Длина детали	Чистовая подрезка после чистовой			Шлифование после черновой подрезки	
	Припуски при наибольшем размере торца				
	До 30	Св. 30 до 120	Св. 120 до 260	До 120	Св. 120 до 260
До 10	0,5	0,6	1,0	0,2	0,3
Св. 10 до 18	0,5	0,7	1,0	0,2	0,3
" 18 " 50	0,6	1,0	1,2	0,2	0,3
" 50 " 80	0,7	1,0	1,3	0,3	0,4
" 80 " 120	1,0	1,0	1,3	0,3	0,5
" 120 " 260	1,0	1,3	1,5	0,3	0,5

50. Припуск на толщину зуба под чистовое нарезание после черного или под долбление

Размеры в мм

Модуль	Припуск		Модуль	Припуск	
	min	max		min	max
Св. 2 до 3	0,4	0,5	Св. 5 до 7	0,6	0,7
" 3 " 5	0,5	0,6	" 7 " 10	0,7	0,8

51. Припуски на механическую обработку деталей из цветных металлов и сплавов

Размеры в мм

Втулки			
Отверстия, обрабатываемые в сплошном материале			
Способ обработки	Припуск на диаметр при номинальном размере отверстия		
	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 80
Растачивание или зенкерование после сверления	0,80	1,00	1,10
Развертывание или предварительное шлифование после растачивания или зенкерования	0,20	0,25	0,30
Чистовое шлифование после предварительного шлифования; протягивание или точное развертывание после нормального развертывания	0,12	0,14	0,18
Тонкое развертывание или растачивание после протягивания или развертывания	0,10	0,12	0,14
Хонингование после точного развертывания или чистового растачивания	0,008	0,012	0,015
Притирка после тонкого развертывания или тонкого растачивания	0,006	0,007	0,008
Увод оси отверстия после сверления и начальное смещение оси не должны превышать следующих величин:			
Погрешность	Диаметр отверстия в мм		
	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 80
Увод оси отверстия в мкм на 1 мм длины	1,3	0,8	0,5
Начальное смещение оси отверстия в мкм	20	27	35
Погрешность установки втулки в патроне при растачивании или зенкерании не должна превышать в радиальном направлении 0,3 мм			
Внешние поверхности вращения			
Способ обработки	Припуск на диаметр при его номинальном размере		
	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120
Черновое или однократное обтачивание после литья:			
в песчаные формы (в землю)	1,70	1,80	2,00
центробежного	1,30	1,40	1,60
в кокиль или оболочковые формы	0,80	0,90	1,00
по выплавляемым моделям	0,50	0,60	0,70
под давлением	0,30	0,40	0,50
Чистовое обтачивание или предварительное шлифование после черного обтачивания	0,20	0,30	0,40
Чистовое шлифование после предварительного шлифования или шлифование после однократного обтачивания	0,10	0,15	0,20

Продолжение табл. 51

<i>Торцовые поверхности</i>					
Способ обработки	Припуск на торец при диаметре обрабатываемой поверхности				
	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	
Черновое или однократное подрезание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	0,80	0,90	1,00	1,10	
центробежного	0,65	0,70	0,75	0,80	
в кокиль или оболочковые формы	0,40	0,45	0,50	0,55	
по выплавляемым моделям	0,25	0,30	0,35	0,40	
под давлением	0,15	0,20	0,25	0,35	
Чистовое подрезание после черного подрезания	0,12	0,15	0,20	0,25	
Шлифование после чистового подрезания	0,05	0,06	0,08	0,08	

Величина припуска дана на торец при совмещенных установочной и измерительной базах; при несомещении баз к припуску добавляют погрешность базирования, равную допуску на размер, связывающий установочную и измерительную базы

Барабаны

Литые отверстия

Способ обработки	Припуск на диаметр при его номинальном размере					
	до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260
Черновое растачивание или зенкерование после литья:						
в песчаные формы (в землю)	2,70	2,80	3,00	3,00	3,20	3,20
центробежного	2,40	2,50	2,70	2,70	3,00	3,00
в кокиль или оболочковые формы	1,30	1,40	1,50	1,50	1,60	1,60
Чистовое растачивание или протягивание после черного растачивания	0,25	0,30	0,40	0,40	0,50	0,50
Протягивание, тонкое растачивание, нормальное развертывание или шлифование после чистового растачивания	0,10	0,15	0,20	0,20	0,25	0,25
Чистовое шлифование после предварительного шлифования	0,10	0,12	0,15	0,15	0,20	0,20
Точное развертывание после нормального	0,05	0,08	0,08	0,10	0,10	0,15
Притирка после точного развертывания	0,008	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030

Продолжение табл. 51

<i>Внешние поверхности вращения</i>					
Способ обработки	Припуск на диаметр при его номинальном размере				
	до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260
Черновое обтачивание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	2,00	2,10	2,20	2,40	2,60
центробежного	1,60	1,70	1,80	2,00	2,20
в кокиль или оболочковые формы	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
Чистовое обтачивание или предварительное шлифование после черного обтачивания	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
Предварительное шлифование после чистового обтачивания или тонкое обтачивание после чистового обтачивания	0,15	0,20	0,25	0,25	0,30
Чистовое шлифование после черного шлифования	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20
Хонингование, отделка абразивным полотном или тонкое шлифование после чистового шлифования	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030
Притирка, суперфиниширование или полирование после тонкого обтачивания	0,006	0,008	0,010	0,012	0,015

Торцовые поверхности

Способ обработки	Припуск на торец при диаметре обрабатываемой поверхности				
	до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260
Черновое или однократное подрезание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	0,80	0,90	1,10	1,30	0,150
центробежного	0,60	0,70	0,80	0,90	1,20
в кокиль или оболочковые формы	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70
Чистовое подрезание после черного	0,10	0,13	0,13	0,15	0,15
Шлифование после чистового подрезания	0,06	0,08	0,08	0,11	0,11

Продолжение табл. 51

Д и с к и					
<i>Внешние поверхности вращения</i>					
Способ обработки	Припуск на диаметр при его номинальном размере				
	от 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	св. 500 до 630
Черновое обтачивание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	2,70	2,80	3,20	3,60	4,00
в кокиль или оболочковые формы	1,30	1,40	1,60	1,80	2,00
Чистовое обтачивание или предварительное шлифование после чернового обтачивания	0,30	0,30	0,35	0,35	0,40
Шлифование после чистового или однократного обтачивания	0,20	0,20	0,25	0,25	0,30
Тонкое обтачивание после чистового обтачивания	0,05	0,08	0,08	0,10	0,15
Тонкое шлифование после чистового шлифования	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04
<i>Торцовые поверхности</i>					
Способ обработки	Припуск на торец при диаметре обрабатываемой поверхности				
	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	св. 500 до 630
Черновое или однократное подрезание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	1,10	1,30	1,50	1,80	2,10
в кокиль или оболочковые формы	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
Чистовое подрезание после чернового подрезания	0,15	0,15	0,17	0,17	0,20
Шлифование после чистового подрезания	0,11	0,11	0,13	0,13	0,15
<i>Поверхности бобышек и приливов</i>					
Способ обработки	Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности				
	до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	
Цекование, черновое фрезерование, строгание или подрезание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	0,60	0,65	0,70	0,75	
в кокиль или оболочковые формы	0,30	0,35	0,40	0,45	
Чистовое фрезерование, строгание или подрезание после чернового фрезерования, строгания или подрезания	0,08	0,10	0,13	0,17	

Продолжение табл. 51

Корпусные детали												
<i>Плоскости</i>												
Способ обработки	Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности											
	до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500	св. 500 до 630	св. 630 до 800	св. 800 до 1000	св. 1000 до 1250	св. 1250 до 1600	св. 1600 до 2000
Черновое или однократное фрезерование или строгание после литья:												
в песчаные формы (в землю)	0,65	0,75	0,80	0,85	0,95	1,10	1,25	1,40	1,60	1,80	2,10	2,50
в кокиль или оболочковые формы	0,35	0,45	0,50	0,55	0,65	0,85	0,95	1,10	1,30	1,50	—	—
по выплавляемым моделям	0,25	0,32	0,38	0,46	0,56	0,70	0,83	1,00	—	—	—	—
под давлением	0,15	0,25	0,30	0,35	0,45	0,60	0,75	—	—	—	—	—
Чистовое строгание или фрезерование после чернового строгания или фрезерования	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23	0,30	0,37	0,45	0,55	0,65	0,80
Шлифование после чистового строгания или фрезерования	0,04	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30	0,38	0,48	0,60
<i>Литые отверстия</i>												
Способ обработки	Припуск на диаметр при его номинальном размере											
	до 50	св. 50 до 120										
Черновое растачивание или зенкерование после литья:												
в песчаные формы (в землю)	2,80	3,00										
в кокиль или оболочковые формы	1,40	1,50										
по выплавляемым моделям	0,80	0,90										
под давлением	0,40	0,45										
Чистовое растачивание после чернового растачивания или зенкерования	0,30	0,40										
Тонкое растачивание, нормальное развертывание или предварительное шлифование после чистового	0,15	0,20										
Тонкое развертывание после нормального или чистового шлифования после предварительного	0,12	0,18										

Продолжение табл. 51

<i>Торцовые поверхности</i>					
Способ обработки	Припуск на торец при диаметре обрабатываемой поверхности				
	до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
Черновое или однократное подрезание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	0,65	0,70	0,80	0,90	1,00
в кокиль или оболочковые формы	0,35	0,40	0,45	0,55	0,65
по выплавляемым моделям	0,25	0,30	0,35	0,45	0,55
под давлением	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45
Чистовое подрезание после черного подрезания	0,08	0,10	0,13	0,17	0,23
Шлифование после чистового подрезания	0,04	0,05	0,07	0,09	0,12
<i>Литые окна</i>					
Способ обработки	Припуск на две стороны при размере обрабатываемого окна				
	до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260
Предварительное фрезерование или долбление по контуру после литья:					
в песчаные формы (в землю)	1,30	1,40	1,50	1,60	1,80
в кокиль или оболочковые формы	0,70	0,80	0,90	1,00	1,2
по выплавляемым моделям	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
под давлением	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
Чистовое фрезерование или долбление по контуру после предварительной обработки	0,35	0,40	0,45	0,55	0,65
<i>Поверхности бобышек, платиков и приливо</i>					
Способ обработки	Припуск на сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности				
	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	
Цекование, черновое или однократное фрезерование, строгание или подрезание после литья:					
в песчаные формы (в землю)	0,60	0,65	0,70	0,75	
в кокиль или оболочковые формы	0,30	0,35	0,40	0,45	
по выплавляемым моделям	0,20	0,25	0,30	0,35	
под давлением	0,12	0,15	0,20	0,25	
Чистовое фрезерование, строгание или подрезание после предварительной обработки	0,07	0,10	0,13	0,17	

Продолжение табл. 51

<i>Крышки</i>							
<i>Плоскости</i>							
Способ обработки	Припуск на одну сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности						
	до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 260	св. 260 до 360	св. 360 до 500
Черновое или однократное фрезерование или строгание после литья:							
в песчаные формы (в землю)	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,70	2,10
в кокиль или оболочковые формы	0,50	0,60	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80
по выплавляемым моделям	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,30	1,70
под давлением	0,30	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30
Чистовое строгание или фрезерование после черновой обработки	0,08	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23	0,30
Шлифование после чистовой обработки	0,05	0,06	0,07	0,09	0,12	0,15	0,20
Способ обработки	Припуск на одну сторону при наибольшем размере обрабатываемой поверхности						
	св. 500 до 630	св. 630 до 800	св. 800 до 1000	св. 1000 до 1250	св. 1250 до 1600	св. 1600 до 2000	
Черновое или однократное фрезерование или строгание после литья:							
в песчаные формы (в землю)	2,50	3,00	3,60	4,20	5,00	6,00	
в кокиль или оболочковые формы	2,20	2,60	3,00	3,50	4,00	4,50	
по выплавляемым моделям	2,10	2,50	—	—	—	—	
под давлением	1,70	—	—	—	—	—	
Чистовое строгание или фрезерование после черновой обработки	0,37	0,45	0,55	0,65	0,80	1,00	
Шлифование после чистовой обработки	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	

5

Глава

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Рекомендации Р50-54-93-88 устанавливают методические положения по классификации, разработке и применению технологических процессов при подготовке производства изделий машиностроения, приборостроения и средств автоматизации (в дальнейшем – изделий) с учетом рациональных областей применения конкретных видов технологических процессов при организации нового и совершенствовании действующего производства.

ВИДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Технологические процессы классифицируют (рис. 1) на основные виды по следующим признакам:

- форма организации технологического процесса, определяемая числом охватываемых предметов производства или их конструктивных элементов;
- освоенность технологического процесса того или иного вида, определяемого формой его организации, в конкретных производственных условиях.

В зависимости от формы организации технологического процесса различают три его вида:

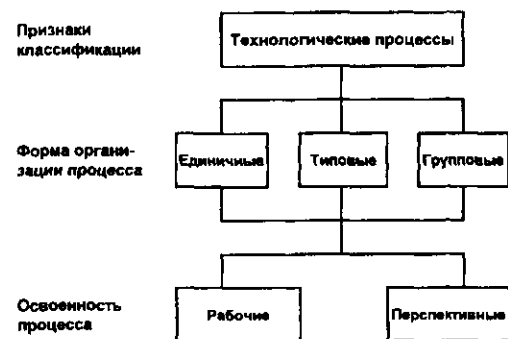


Рис. 1. Принципиальная схема классификации технологических процессов

- единичный;
- типовой;
- групповой.

В зависимости от освоенности производством различают два вида технологического процесса: рабочий и перспективный.

Рабочим технологическим процессом называется процесс изготовления одного или нескольких изделий в соответствии с требованиями принятой для данных условий производство рабочей технологической документации.

Перспективным технологическим процессом называется технологический процесс, разрабатываемый как информационная основа для проектирования рабочих технологических процессов при техническом и организационном перевооружении производства, предусматривающем применение более совершенных методов обработки, более производительных и экономически эффективных средств технологического оснащения и изменение принципов организации производства. Для этого он должен базироваться на таких прогнозируемых достижениях науки и техники, которые способны обеспечить существенное повышение уровня технологии производства и на этой основе выпуск продукции, соответствующей по количеству и качеству возросшим потребностям народного хозяйства.

Единичный технологический процесс разрабатывают только на уровне предприятия и применяют для изготовления или ремонта одного конкретного предмета производства. Разработка рабочих технологических процессов осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 3.1001.

Единичный технологический процесс разрабатывают на основе имеющихся типового и группового технологических процессов изготовления изделий, относящихся к определенной классификационной группе, или единичного технологического процесса изготовления аналогичного изделия.

При определении степени детализации содержания документации единичного рабочего технологического процесса следует исходить из того, что рабочий технологический процесс должен обеспечивать возможность изготовления предмета производства в полном соответствии с рабочей конструкторской документацией на изделие.

Рабочий технологический процесс должен обеспечивать:

реализацию значений базовых показателей технологичности конструкций изготавливаемого изделия;

соблюдение правил техники безопасности и промышленной санитарии, изложенных в системе стандартов безопасности труда (ССБТ), стандартах на типовые технологические процессы, инструкциях и других нормативных документах по безопасности жизнедеятельности.

Единичный перспективный технологический процесс разрабатывают на конкретное изделие серийного или массового производства, если технически и экономически целесообразно внедрить содержащиеся в этом процессе решения не с момента запуска изделия в производство, а лишь с определенной серии изделия или этапа производства после проведения запланированного на перспективу комплекса мероприятий (по реконструкции, переоснащению производства и т.п.).

Групповой технологический процесс разрабатывается с целью экономически целесообразного применения методов и средств крупносерийного и массового производства в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства. Обязательным этапом, предшествующим разработке групповых процессов, является группирование предметов производства по технологическому подобию с учетом основных факторов организации производства.

Группирование предметов производства следует осуществлять на основе их классификации и результатов комплексного анализа:

- состава и программ выпуска изделий;
- существующей структуры производственных подразделений;
- технико-экономических показателей производства.

Групповой технологический процесс охватывает комплексы групповых технологических операций, выполняемых на специализиро-

ванных рабочих местах в последовательности технологического маршрута изготовления определенной группы изделий.

Групповую технологическую операцию следует разрабатывать для выполнения технологически однородных работ при изготовлении группы изделий на специализированном рабочем месте при условии возможности подналадки средств технологического оснащения. Ее можно создавать и применять как составную часть группового технологического процесса и отдельную групповую операцию.

При разработке групповой технологической операции предусматривают достаточную величину суммарной трудоемкости технологически однородных работ для обеспечения непрерывной загрузки средств технологического оснащения без их полной переналадки в течение экономически целесообразного периода. Допускается только частичная подналадка средств технологического оснащения.

Групповые технологические операции осуществляют с учетом специализации рабочих мест путем:

- применения высокопроизводительных средств технологического оснащения; специализированных взамен универсальных и универсально-переналаживаемых;
- целевой модернизации оборудования;
- целевой наладки оборудования.

Основой разработки группового технологического процесса и выбора общих средств технологического оснащения для совместной обработки группы изделий служит комплексное изделие.

При разработке комплексного изделия следует учитывать, что его конструкция должна содержать основные подлежащие обработке элементы всех изделий группы.

Комплексное изделие может быть:

- одним из изделий группы;
- реально существующим, но отсутствующим в группе;
- искусственно созданным (условным).

При значительном разнообразии конструкций сочетающихся поверхностей деталей, затрудняющих искусственное создание комплексного изделия, его заменяют двумя или несколькими характерными деталями группы.

Групповые технологические процессы и операции разрабатывают для всех типов производства только на уровне предприятия.

Групповой перспективный технологический процесс разрабатывают в случаях, когда для экономически обоснованного повышения уровня использования метода групповой обработки на предприятии требуется провести большой комплекс подготовительных мероприятий по переоснащению действующего производства.

Типовой технологический процесс должен быть рациональным в конкретных производственных условиях, характеризоваться единством содержания и последовательности большинства технологических операций для группы изделий, обладающих общими конструктивными признаками. Разрабатывают его на основе анализа множества действующих и возможных технологических процессов на типовые представители групп изделий.

Типизация технологических процессов базируется на классификации объектов производства. Она должна обеспечивать устранение многообразия технологических процессов обоснованным сведением их к ограниченному числу типов и служить базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Классификация объектов производства заключается в разделении их по признакам, содержащимся в конструкторской документации, на отдельные группировки, для которых возможна разработка общих технологических процессов или операций.

Типизация технологических процессов осуществляется на уровнях предприятия или отрасли.

На отраслевом уровне выполняется разработка типовых технологических процессов соответственно межотраслевого и внутриотраслевого применения.

На уровне предприятия производится разработка и применение типовых технологических процессов для перспективной номенклатуры однотипных объектов производства.

Разработка типовых технологических процессов на каждом уровне базируется на внедрении научно-технических достижений и передового опыта промышленности в области технологии машиностроения и рациональном использовании материальных и трудовых ресурсов производства с учетом конкретных производственных условий.

Типовой перспективный технологический процесс разрабатывают на группу изделий, обладающих общими показателями функцио-

нального назначения (например, на совокупность моделей, образующих вид изделия, и т.п.) или общими технологическими признаками (например, общность метода обработки, единство средств технологического оснащения и т.д.), если технически и экономически целесообразно внедрить этот процесс лишь с определенной модели или этапа производства изделий после необходимого технического и организационного перевооружения производства.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Технологический процесс разрабатывается для изготовления нового или модернизируемого изделия и совершенствования действующего технологического процесса в соответствии с достижениями науки и техники.

Разрабатываемый технологический процесс должен быть *прогрессивным* и обеспечивать повышение производительности труда и качества изделий, сокращение трудовых и материальных затрат на его реализацию, уменьшение вредных воздействий на окружающую среду.

Прогрессивность технологического процесса оценивается по показателям, установленным системой аттестации технологических процессов в отрасли и на предприятии.

Технологический процесс должен соответствовать требованиям экологии и безопасности жизнедеятельности, изложенным в системе соответствующих стандартов.

Документы на технологические процессы всех видов следует оформлять в соответствии с требованиями стандартов Единой системы технологической документации (ЕСТД).

Разработка рабочих технологических процессов проводится для изготовления или ремонта изделий, конструкции которых обязательно должны быть отработаны на *технологичность*. Технологический процесс должен обеспечивать реализацию значений базовых показателей технологичности конструкций изготавливаемого или ремонтируемого изделия.

Единый технологический процесс разрабатывают на основе имеющегося типового или группового технологического процесса. При отсутствии типового или группового технологического процесса изготовления изделия, относящегося к определенной классификационной группе, технологический процесс создается на основе использования ранее принятых

прогрессивных решений, содержащихся в действующих единичных технологических процессах изготовления аналогичных изделий.

Объекты производства, на которые разрабатывают перспективные технологические процессы, и стадии разработки конструкторской документации, после завершения которых целесообразно разрабатывать перспективный технологический процесс, устанавливают с учетом специфики разрабатываемого изделия (например, конструкция изделия требует применения новых физических способов воздействия, новых требований к материалам и т.п.) и наличия исходной информации, достаточной для разработки процесса в заданные сроки.

При организации производства нового изделия перспективные технологические процессы разрабатывают после завершения стадий эскизного или технического проектов разработки конструкторской документации на изделие. В технически обоснованных случаях их разрабатывают после завершения стадии разработки рабочей документации опытного образца (партии).

Разработка перспективных технологических процессов должна быть основана на результатах проведения научно-исследовательских, опытно-технологических, опытно-конструкторских работ, прогнозирования новых методов обработки, разработки и исследования перспективных технологических возможностей предприятий, анализа опыта применения новых методов и средств технологического оснащения другими предприятиями.

Показатели и методы оценки технико-экономической эффективности рабочих и перспективных технологических процессов выбирают по отраслевым методикам оценки технического уровня технологических процессов и организационно-технического уровня производства.

ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Исходную информацию для разработки технологических процессов подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

Базовая информация содержит данные, имеющиеся в конструкторской документации на изделие, и программу выпуска этого изделия.

Руководящая информация содержит данные, имеющиеся в следующих документах:

стандартах и руководящих материалах, устанавливающих требования к технологиче-

ским процессам и методам управления ими, а также стандартах на оборудование и оснастку; программах и планах повышения технического уровня производства и совершенствования его организации;

документации на перспективные технологические процессы и на действующие единичные, типовые и групповые технологические процессы;

классификаторах технико-экономической информатики;

производственных инструкциях; материалах по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков, норм расхода материалов и др.);

документации по технике безопасности и промышленной санитарии.

Справочная информация включает данные, содержащиеся в следующих документах:

технологической документации опытного производства;

описаниях прогрессивных методов обработки;

каталогах, паспортах, справочниках, альбомах компоновок прогрессивных средств технологического оснащения;

методических материалах по типовым методам расчета производительности, точности и стабильности технологических процессов;

планировках производственных участков; методических материалах по управлению технологическими процессами.

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В общем случае разработка единичных, групповых и типовых технологических процессов (ЕТП, ГТП, ТТП) состоит из этапов, приведенных в табл. 1. Необходимость каждого этапа, состав задач и последовательность их решения определяются в зависимости от типа производства и готовности предприятия к освоению технологического процесса.

Степень углубленности технологических разработок зависит от типа производства. В машиностроении различают три типа производства: *единичное, серийное, массовое* и два метода работы: *точный и неточный*.

Основные задачи, решаемые на каждом этапе разработки технологических процессов, основные документы, обеспечивающие решение этих задач, приведены в табл. 2 (единичные, групповые и типовые технологические процессы) и табл. 3 (перспективные технологические процессы).

1. Этапы разработки технологического процесса (ТП)

Этап разработки ТП	Применимость этапа при разработке		
	ЕТП	ГТП	ТПП
Анализ исходных данных для разработки ТП	+	+	+
Классификация и группирование объектов производства	+	+	+
Количественная оценка групп объектов производства		+	+
Анализ типовых представителей объектов производства			+
Выбор действующего типового или группового ТП	+		
Выбор исходной заготовки и методов ее изготовления	+	+	+
Выбор технологических баз	+		+
Выбор вида обработки	+		+
Составление технологического маршрута	+	+	+
Разработка технологических операций	+	+	+
Расчет точности, производительности и технико-экономической эффективности вариантов ТП	+	+	+
Нормирование ТП	+	+	
Разработка технических мероприятий по реализации ТП		+	
Оформление документации на ТП	+	+	+

2. Основные задачи, решаемые на этапах разработки единичных, групповых и типовых технологических процессов

№№ п/п	Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, необходимые для решения задач
1. Единичные технологические процессы			
1	Анализ исходных данных для разработки технологического процесса	Предварительное ознакомление с назначением и конструкцией предмета труда, с требованиями к изготовлению и эксплуатации	Сведения о программе выпуска изделия. Конструкторская документация на изделие
		Составление перечня дополнительной справочной информации, необходимой для разработки технологического процесса, и ее выбор	Архив производственно-технической документации
2	Выбор действующего типового, группового технологического процесса или поиск аналога единичного процесса	Формирование технологического кода изделия по технологическому классификатору	Конструкторская документация на изделие. Технологический классификатор изделий
		Отнесение обрабатываемого изделия к соответствующей классификационной группе на основе технологического кода*	
		Отнесение обрабатываемого изделия по его технологическому коду к действующему типовому, групповому или единичному технологическому процессу	Документация на типовые, групповые и единичные технологические процессы для данной группы изделий
3	Выбор исходной заготовки и методов ее изготовления	Определение вида исходной заготовки (или уточнение заготовки), установленной типовым технологическим процессом	Документация на типовой или групповой технологический процесс. Классификатор заготовок
		Выбор метода изготовления исходной заготовки	Методика расчета и технико-экономической оценки выбора заготовок
		Технико-экономическое обоснование выбора заготовки	Стандарты и технические условия на заготовки и основной материал

* При отсутствии соответствующей классификационной группы технологический процесс разрабатывается как единичный.

Продолжение табл. 2

№№ п/п	Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, необходимые для решения задач
4	Выбор технологических баз	Выбор поверхности базирования или базовых составных частей изделия. Оценка точности и надежности базирования по производительности технологического процесса	Классификатор способов базирования. Методика выбора технологических баз
5	Составление технологического маршрута обработки	Определение последовательности технологических операций (или уточнение последовательности операций по типовому или групповому технологическому процессу). Определение состава средств технологического оснащения	Документация типового, группового или единичного технологического процесса
6	Разработка технологических операций	Разработка (или уточнение) последовательности переходов в операции	Документация типовых, групповых или единичных технологических операций
		Выбор средств технологического оснащения (СТО) операции (или уточнение их)	Классификатор технологических операций
		Определение потребности СТО, заказ новых СТО, в том числе средств контроля и испытаний с учетом метрологического обеспечения и требований ГСИ. Выбор средств механизации и автоматизации элементов процесса и внутрицеховых средств транспортирования	Стандарты по выбору средств технологического оснащения. Каталоги (альбомы и картотеки) на СТО
	Назначение и расчет режимов обработки	Материалы по выбору технологических нормативов (режимов обработки, припусков и пр.)	
7	Нормирование технологического процесса	Установление исходных данных, необходимых для расчетов, норм времени и расхода материалов	Нормативы времени и расхода материала

Продолжение табл. 2

№№ п/п	Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, необходимые для решения задач
7	Нормирование технологического процесса	Расчет и нормирование затрат труда на выполнение процесса. Расчет норм расхода материалов, необходимых для реализации процесса. Определение разряда работ и обоснование профессий исполнителей для выполнения операций в зависимости от сложности этих работ	Методика разработки норм времени. Классификаторы разрядов работ и профессий. Дифференцированные нормативы времени (для установления расчетных и других уточненных норм)
8	Определение требований экологии и безопасности жизнедеятельности	Разработка или подбор имеющихся требований безопасности и производственной санитарии к условиям производства (шуму, вибрации, радиации, загазованности, опасным и вредным веществам в воздухе рабочей зоны и т.п.). Разработка требований, выбор методов и средств обеспечения устойчивости экологической среды	Стандарты ССБТ. Инструкции по технике безопасности и производственной санитарии
9	Расчет экономической эффективности технологического процесса	Выбор оптимального варианта технологического процесса	Методика расчета экономической эффективности процессов
10	Оформление технологических процессов	Нормоконтроль технологической документации. Согласование документации технологических процессов со всеми заинтересованными службами и ее утверждение	Стандарты ЕСТД

2. Групповые технологические процессы

1	Анализ исходных данных для разработки технологического процесса	Предварительное ознакомление с назначением и конструкцией предметов производства, с требованиями к их изготовлению и эксплуатации	Задание на разработку групповых технологических процессов, содержащее сведения о программе выпуска изделий. Конструкторская документация на анализируемые изделия
---	---	---	--

Продолжение табл. 2

№№ п/п	Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, необходимые для решения задач
2	Группирование изделий	Анализ действующих единичных, типовых и групповых технологических процессов изготовления предметов производства	Документация единичных, типовых и групповых технологических процессов, действующих на предприятии
		Создание укрупненных групп предметов производства, обладающих общностью технологических характеристик (на основе общности их обработки)	Рабочие чертежи и технические условия на предметы производства. Классификаторы предметов производства
		Разработка или выбор комплексного изделия для каждой группы. Разработка предложений по унификации изделий и их элементов	Руководящие технические, методические и справочные материалы по группированию изделий
3	Количественная оценка групп предметов производства	Определение типа производства для каждого комплексного изделия (единичное, серийное, массовое). Определение ориентировочной трудоемкости изготовления каждой группы предметов производства	Спецификации конструкторских документов. Плановые задания Ведомости трудоемкости изготовления изделия
4	Разработка маршрута группового технологического процесса	Разработка маршрута изготовления комплексного изделия	Чертеж комплексного изделия. Рабочие чертежи и технические условия на изделия, входящие в группу
		Определение количества и последовательности групповых технологических операций процесса	Документация действующих единичных, типовых и групповых технологических процессов. Документация перспективных технологических процессов

Примечание. В дальнейшем этапы разработки ГТП сводятся к разработке групповых технологических операций, расчету точности, производительности и экономической эффективности вариантов ГТП, нормированию ГТП, разработке мероприятий для реализации производства, оформлению документации на ГТП и операции. Задачи, решаемые на этапах, определяются ранее разработанным маршрутом изготовления комплексного изделия.

Продолжение табл. 2

№№ п/п	Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, необходимые для решения задач
3. Типовые технологические процессы			
1	Классификация объектов производства	Создание групп объектов производства, обладающих общностью конструктивно-технологических характеристик. Выбор типовых представителей групп объектов производства	Методика классификации. Классификаторы объектов производства
2	Количественная оценка групп объектов производства	Определение типа производства для каждого типового представителя групп объектов производства (единичное, серийное и массовое)	Спецификации конструкторских документов. Плановые задания
3	Анализ конструкций типовых представителей объектов производства по чертежам и техническим условиям, программ выпуска и типа производства	Разработка основных маршрутов изготовления объектов производства, включая заготовительные процессы	Рабочие чертежи и технические условия на объекты производства. Действующие типовые технологические процессы для данного класса деталей
4	Выбор заготовки и методов ее изготовления	Определение вида исходной заготовки. Выбор метода изготовления исходной заготовки. Технико-экономическая оценка выбора заготовки	Основные маршруты изготовления объектов производства. Классификатор заготовок. Методика технико-экономической оценки выбора заготовки
5	Выбор технологических баз	Выбор поверхностей базирования. Оценка точности и надежности базирования	Классификатор способов базирования. Методика выбора технологических баз
6	Выбор вида обработки (литье, обработка давлением, механическая обработка резанием и др.)	Выбор вида обработки. Оценка точностных характеристик видов и качества поверхностей. Выбор метода обработки	Классификаторы изделий и операций. Методика оценки точности и качества поверхностей деталей
7	Составление технологического маршрута обработки	Определение последовательности операций. Определение групп оборудования по операциям	Классификаторы технологического оборудования

Продолжение табл. 2

№№ п/п	Этапы разработки ТП	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, необходимые для решения задач
8	Разработка технологических операций	Рациональное построение технологических операций. Выбор структуры операции	Общая структурная схема, формулы и модели развития технологических операций
		Установление рациональной последовательности переходов в операции. Выбор оборудования, обеспечивающего оптимальную производительность при условии достижения требуемого качества. Расчет загрузки технологического оборудования. Выбор конструкции оснастки. Установление принадлежности выбранной конструкции к стандартным системам оснастки	Методика установления рациональной последовательности переходов. Стандарты на технологическое оборудование. Классификаторы технологического оборудования. Таблицы технологических компоновок станков для различных методов обработки поверхностей деталей РД 50-54-11
		Установление исходных данных, необходимых для расчетов, расчет припусков на обработку и межоперационных припусков. Установление исходных данных, необходимых для расчетов оптимальных режимов обработки. Установление исходных данных, необходимых для расчетов норм времени. Определение разряда работ и обоснование профессий исполнителей для выполнения операций в зависимости от сложности этих работ	Стандарты на технологическую оснастку. Классификаторы технологической оснастки. Методики и стандарты по расчету режимов обработки. Методики разработки норм времени. Классификаторы разрядов работ и профессий
9	Расчет точности, производительности и экономической эффективности вариантов типовых технологических процессов	Выбор оптимального варианта	Методика расчета экономической эффективности. Методики расчета точности
10	Оформление типовых технологических процессов	Согласование типовых технологических процессов со всеми заинтересованными службами и утверждение их	Стандарты ЕСТД

3. Основные задачи, решаемые на этапах разработки перспективных технологических процессов

Этапы разработки перспективных процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, обеспечивающие решение задач
Анализ конструкций объектов производства	Ознакомление с назначением и конструкцией объектов производства, с требованиями к изготовлению и эксплуатации их	Чертежи и технические условия на объекты производства
	Контроль перспективного развития конструкций объектов производства	Карты технического уровня и качества продукции
	Уточнение перечня объектов производства, на которые необходимо разработать перспективные технологические процессы	Техническое задание на разработку перспективных технологических процессов
Анализ плановых заданий по выпуску объектов производства	Уточнение объемов выпуска объектов производства на перспективу. Определение типов (единичный, серийный, массовый) и организационных форм производства	Плановые задания по выпуску объектов производства на перспективу
Определение вида и степени детализации содержания перспективных технологических процессов	Классификация объектов производства и определение вида перспективных технологических процессов (единичный, типовой). Определение степени детализации содержания перспективных технологических процессов	Классификаторы объектов производства. Методика классификации
Анализ и уточнение исходной информации для разработки перспективных технологических процессов	Анализ достаточности исходной информации и составление перечня недостающей информации. Подбор недостающей информации. Разработка мероприятий по обеспечению исходной информацией, не содержащейся в ИПС	Массивы информации, содержащиеся в фондах документации на типовые технологические процессы, и средства технологического оснащения в информационно-поисковых системах (ИПС)
Разработка перспективных технологических процессов	Задачи, решаемые в зависимости от вида процессов в соответствии с правилами разработки рабочих процессов или типовых технологических процессов с учетом требуемой степени детализации содержания	Исходная информация

Продолжение табл. 3

Этапы разработки перспективных процессов	Задачи, решаемые на этапе	Основные документы и данные, обеспечивающие решение задач
Оценка технико-экономической эффективности перспективных технологических процессов	Определение уровня перспективной технологии производства	Методика определения уровня и нормативные показатели уровня технологии производства
	Определение срока окупаемости дополнительных капиталовложений, связанных с планируемым внедрением перспективных процессов. Расчет и сравнение приведенных затрат	Методика определения экономической эффективности перспективных технологических процессов

4. Приближенный выбор типа производства

Тип производства	Крупные изделия тяжелого машиностроения	Изделия средних размеров	Мелкие изделия
	Число изделий		
Единичное	< 5	< 10	< 100
Мелкосерийное	5 – 100	10 – 200	100 – 500
Среднесерийное	100 – 300	200 – 500	500 – 5000
Крупносерийное	300 – 1000	500 – 5000	5000 – 50 000
Массовое	1000	5000	50 000

Тип производства определяют приближенно, руководствуясь данными, приведенными в табл. 4.

Тип производства определяют также по коэффициенту закрепления операции $K_{3.0}$, определение и значения которого для различных типов производства даны в ГОСТ 14.004-83 (в ред. 1988 г.).

Значение коэффициента $K_{3.0}$ на этой стадии разработки процессов обработки вычисляют по формуле:

$$K_{3.0} = \frac{Q}{P},$$

где Q – число всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих вы-

полнению в течение месяца; P – число рабочих мест.

По значению $K_{3.0}$ принимают решение о типе производства. Если, например, $K_{3.0} = 1$, то производство – массовое.

Решение по типу производства, установленное с помощью коэффициента $K_{3.0}$, сравнивают с типом производства, выбранным по табл. 1. При несовпадении решений следует принять тип производства, выбранный по коэффициенту закрепления операций.

Кроме типа производства при разработке ТП необходимо установить еще и метод работы.

В машиностроении применяют два метода работы: *поточный* и *непоточный*.

Поточный метод наиболее полно реализуется в одноименном производстве. Поточное производство характеризуется расположением средств технологического оснащения (СТО), в последовательности выполнения операций ТП и определенным интервалом выпуска изделий.

Интервал времени, через который периодически производят выпуск изделий или заготовок определенных наименований, типоразмера и исполнения, называют *тактом* выпуска t_0

$$t_0 = \frac{60\Phi_0}{N},$$

где Φ_0 – действительный фонд времени в планируемом периоде (год, месяц, сутки, смена), ч; N – объем выпуска за этот же период, шт.

Действительный фонд времени работы оборудования учитывает потери времени на ремонт оборудования и этим отличается от номинального (календарного) фонда времени.

При *поточном методе* основной организационной формой работы является *поток*. В потоке (поточной линии) на каждом рабочем месте выполняют одну технологическую операцию, а оборудование располагают по ходу ТП. На каждой линии производят обработку отдельной детали (сборку отдельного изделия или его составной части). Если длительность операции на всех рабочих местах одинакова, то работа на линии выполняется непрерывной передачей объекта производства с одного рабочего места на другое (*непрерывным потоком*). Достигнуть равенства штучного времени на всех операциях не удается. Это предопределяет технологически неизбежное различие загрузки оборудования по рабочим местам поточной линии.

В общем случае условием организации потока является кратность *времени выполнения* каждой технологической операции *такту* выпуска

$$\frac{t_{шi}}{t_0} = K \quad (K = 1, 2, 3, \dots),$$

где $t_{шi}$ – штучное время i -й операции; t_0 – такт выпуска.

Приведение длительности операций к указанному условию называют *синхронизацией*.

При выполнении синхронизации иногда возникает необходимость соответствующего расчленения ТП на операции и в некоторых случаях дублирования станков.

Поточный метод в форме непрерывного потока характерен для массового и крупносерийного производств.

При значительных объемах выпуска, соответствующих указанным типам производства, в процессе синхронизации наиболее часто возникает необходимость уменьшения длительности операций. Это достигается за счет дифференциации и совмещения во времени переходов, входящих в состав технологических операций.

В массовом и крупносерийном типах производств при необходимости каждый из технологических переходов может быть выделен в отдельную операцию, если будет выполнено условие синхронизации. За время, равное такту выпуска, с поточной линии сходит единица продукции. Производительность труда, соответствующая выделенному производственному участку (линии, участку, цеху), определяется *ритмом выпуска*.

Ритм выпуска – число изделия (или заготовок) определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемое в единицу времени.

Обеспечение заданного ритма выпуска является важнейшей задачей при разработке ТП массового и крупносерийного производств.

В серийном производстве организовать непрерывный поток изготавливаемых изделий часто невозможно из-за низкой загрузки оборудования поточных линий в условиях небольших объемов выпуска. Кроме того, даже при массовом и крупносерийном производствах при большом различии штучного времени отдельные рабочие места имеют малую загрузку. В этих случаях применяют модификацию поточного метода, именуемого *переменно-поточным методом*.

При *переменно-поточном методе* за каждым станком линии (участка) закреплено по несколько операций для технологически однотипных деталей, запускаемых в производство попеременно. В течение определенного периода времени (обычно несколько смен) на линии ведется обработка заготовок определенного типоразмера. Затем линию переналаживают для обработки закрепленных за данной линией заготовок другого типоразмера.

В серийном производстве при построении технологических операций применяют как дифференциацию, так и концентрацию технологических переходов. Применение поточного

метода в серийном производстве требует, как правило, при построении операций приоритета дифференциальных переходов.

При незначительных объемах выпуска, частых сменах вышеуказанных изделий, а также невозможности использования поточного метода применяют *непоточный метод* работы.

Этот метод используют в условиях серийного производства, он является наиболее характерным для мелкосерийного и единичного производств.

При непоточном методе работы строгого закрепления операций за конкретными рабочими местами не проводят, длительность операций не синхронизируют по такту выпуска, на рабочих местах создают заделы заготовок (сборочных единиц), необходимые для обеспечения загрузки рабочих мест. При непоточном методе стремятся на каждом рабочем месте осуществить максимальное технологическое воздействие на предмет труда, уменьшить число операций в ТП, строить технологические операции на основе *концентрации переходов*. Степень концентрации возрастает по мере уменьшения объема выпуска.

Необходимым является *проведение технологического контроля* детали (изделия) на соответствие требований технологичности для условий данного или проектируемого предприятия.

Заготовку выбирают исходя из минимальной себестоимости готовой детали для заданного годового выпуска. Чем больше форма и размеры заготовки приближаются к форме и размерам готовой детали, тем дороже она в изготовлении, но тем проще и дешевле ее последующая механическая обработка и меньше расход материала. Задача решается на основе минимизации суммарных затрат средств на изготовление заготовки и ее последующую обработку.

При выборе заготовки следует учитывать, что руководящим положением об экономии материалов, создании безотходной и малоотходной технологии и интенсификации технологических процессов в машиностроении отвечает тенденция использования более точной и сложной заготовки. Для таких заготовок требуется более дорогая технологическая оснастка в заготовительном цехе (сложные штампы или комплекты модельной оснастки), затраты на которую могут оправдать себя лишь при достаточно большом объеме годового выпуска заготовок.

Для того чтобы применить точные горячештапованные заготовки в серийном производстве, при технологической подготовке производства предусматривают применение одной групповой (комплексной) заготовки для нескольких близких по конфигурации и размерам деталей. Таким образом, в результате суммирования выпуска всех деталей группы увеличивается объем годового выпуска заготовок, и становится экономически целесообразным применять сложные штампованные заготовки вместо проката.

Размеры, припуски на обработку и механические свойства материала поступающих на обработку заготовок должны соответствовать величинам, принятым при проектировании и изложенным в утвержденных технических условиях.

Стабильность характеристик качества заготовок существенно влияет на протекание технологических процессов. В автоматизированном производстве при этом создаются условия для осуществления статистически управляемого технологического процесса, обеспечивающего получение деталей с заданными параметрами качества при минимальных затратах времени на регулирование хода технологического процесса.

Применение прогрессивных заготовок со стабильными характеристиками качества является важным условием организации гибкого автоматизированного производства, требующего быстрой переналадки оборудования и оснастки.

При низкой точности размеров заготовок, увеличенных припусках, больших колебаниях твердости материала, плохом состоянии необработанных баз нарушается безотказность работы приспособлений, ухудшаются условия работы инструментов, снижается точность обработки, возрастает простои оборудования.

Выбор заготовки после соответствующих технико-экономических обоснований оформляют назначением класса точности по соответствующему ГОСТу на заготовки и указанием на чертеже заготовки технологических баз. После определения припусков на обработку на чертеж заготовки наносят общие припуски и обозначают отверстия, которые образуются в результате обработки, а в заготовке отсутствуют.

Качество детали обеспечивают постепенным ужесточением параметров точности и выполнением остальных технических требова-

ний на этапах превращения заготовок в готовую деталь. Точность и качество поверхностного слоя отдельных поверхностей формируют в результате последовательного применения нескольких методов обработки. Поэтому составление маршрута изготовления детали в целом обычно предшествует определению маршрута обработки отдельных поверхностей заготовки. Разработка маршрута обработки заготовок неразрывно связана с выбором технологических баз, т.е. поверхностей или выполняющих ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для придания заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат (базирования).

На этапе разработки маршрута обработки производят расчет припусков на обработку и предельных размеров обрабатываемой заготовки по технологическим переходам.

Маршрутную технологию разрабатывают, выбирая технологические базы и схемы базирования для всего технологического процесса. Выбирают две системы баз – основные базы и черные базы, используемые для базирования при обработке основных баз.

Всю механическую обработку распределяют по операциям и, таким образом, выявляют последовательность выполнения операций и их число; для каждой операции выбирают оборудование и определяют конструктивную схему приспособления. В поточном производстве на данной стадии проектирования продолжительность выполнения операций соразмеряют с ранее рассчитанным тактом выпуска (синхронизация операций по такту будет проведена при разработке операционной технологии).

На первых (одной – двух) операциях при базировании по черным базам обрабатывают основные технологические базы. Затем выполняют операции формообразования детали до стадии чистовой обработки (точность 7 – 9-го качества). Далее осуществляют операции местной обработки на ранее обработанных поверхностях (фрезеруют канавки и лыски, нарезают резьбу и зубья, сверлят отверстия и т.д.). Затем выполняют отделочную обработку основных, наиболее ответственных поверхностей (точность 7-го качества); при необходимости за этим следует дополнительная обработка самых ответственных поверхностей с точностью 6 – 7-го качества и параметром шероховатости поверхности Ra 0,32 и менее.

Построение маршрутной технологии во многом зависит от конструктивно-технологических особенностей детали и требований точности, предъявляемых к ее основным, наиболее ответственным поверхностям. Для основных поверхностей с учетом точности выбранной заготовки и достижимых коэффициентов уточнения при обработке, выбирают методы обработки, назначают число и последовательность выполняемых переходов, определяют содержание операций. Место обработки менее ответственных поверхностей определяется конкретными условиями и не является принципиально важным. Если обработку этих поверхностей по расположению и видам применяемых инструментов можно вписать в основные операции, то ее включают в состав этих операций в качестве переходов, выполняемых на черновой и чистовой стадиях обработки.

Деление всего объема обработки на операции, выбор оборудования, формирование операций по содержанию зависят также от условий производства. В поточном производстве штучное время любой операции должно соответствовать такту выпуска, а для этого в некоторых случаях требуется применять специальные приспособления, инструментальные наладки и станки. При обработке на универсальных станках стремятся к более полному использованию их возможностей. Наиболее точные станки используют для чистовой и отделочной обработки, выделяемой в отдельные операции.

Чтобы избежать трудоемких переустановок крупногабаритных и тяжелых заготовок, черновую и чистовую обработку таких заготовок выполняют за одну операцию. Такое же построение маршрутной технологии характерно для любых деталей в мелкосерийном производстве. Во всех случаях выполнения черновой и чистовой обработки за одну операцию рекомендуется сначала провести черновую обработку всех поверхностей, а затем выполнить чистовую обработку тех поверхностей, для которых она необходима.

В маршрутной технологии в процессе обработки предусматривают контроль с целью технологического обеспечения заданных параметров качества обрабатываемой детали. Технолог устанавливает объект контроля и его место, обращая внимание на операции, при которых точность обеспечивается наиболее трудно; назначает методы и средства контроля, выдает задание на их конструирование.

В массовом производстве необходимо качество обработки обеспечивается установлением условий статистического управления и регулированием технологического процесса.

Операционную технологию разрабатывают с учетом места каждой операции в маршрутной технологии. К моменту проектирования каждой операции известно, какие поверхности и с какой точностью были обработаны на предшествующих операциях, какие поверхности и с какой точностью нужно обрабатывать на данной операции.

Проектирование операций связано с разработкой их структуры, с составлением схем наладок, расчетом настроечных размеров и ожидаемой точности обработки, с назначением режимов обработки, определением нормы времени и сопоставлением ее с тактом работы (в поточном производстве). При расчетах точности и проверке производительности может возникнуть необходимость в некоторых изменениях маршрутной технологии, выбора оборудования, содержания операции или условий ее выполнения.

Операционная технология позволяет выдать задание на конструирование специального оборудования, средств механизации и автоматизации, на разработку средств технологического оснащения и метрологического обеспечения процесса.

Проектирование операции – задача многовариантная; варианты оценивают по производительности и себестоимости, руководствуясь технико-экономическими принципами проектирования, имея в виду максимальную экономию времени и высокую производительность.

Стадии разработки и виды документов, применяемых для технологических процессов изготовления или ремонта изделий, установлены в соответствии с требованиями стандартов ЕСТД, ГОСТ 3.1102-81 (в ред. 1990 г.). Виды документов, применяемые для оформления технологических процессов изготовления или ремонта изделия, определяются стадией разработки рабочей технологической документации и устанавливаются разработчиком документации.

На стадии разработки конструкторской документации "Техническое предложение" технологическая документация не разрабатывается.

В зависимости от назначения технологические документы подразделяют на основные и вспомогательные.

Основные технологические документы содержат сводную информацию, необходимую

для решения одной или комплекса инженерно-технических, планово-экономических и организационных задач, а также полностью и однозначно определяющие технологический процесс (операцию) изготовления или ремонта изделия.

Основные технологические документы подразделяют на документы общего и специального назначения.

Документы общего назначения содержат технологические документы, применяемые в отдельности или в комплексах документов на технологические процессы (операции), независимо от применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделий (составных частей изделий), например, карта эскизов, технологическая инструкция.

Документы специального назначения содержат технологические документы, применяемые при описании технологических процессов и операций в зависимости от типа и вида производства и применяемых технологических методов изготовления или ремонта изделия (составных частей изделий), например, маршрутная карта, карта технологического процесса, карта типового (группового) ТП, ведомость изделий (деталей, сборочных единиц) к типовому (групповому) технологическому процессу (операции), операционная карта и др.

К вспомогательным относят документы, применяемые при разработке, внедрении и функционировании ТП и операций, например, карта заказа на проектирование технологической оснастки, акт внедрения ТП и др.

Виды основных технологических документов, их названия, условные обозначения, применение их в зависимости от типа производства, степени детализации описания технологических процессов, а также стадии разработки технологической документации приведены в табл. 5.

Завершающим этапом разработки технологических процессов является нормоконтроль. Содержание и порядок нормоконтроля технологической документации по соблюдению в ней норм и требований, устанавливаемых стандартами и другими нормативно-техническими документами (НТД), предусмотрены ГОСТ 3.1116-86.

Необходимость каждого этапа, состав задач и последовательность их решений определяются в зависимости от видов и типа производства и устанавливаются стандартами предприятия.

5. Виды основных технологических документов

Вид документа	Условные обозначения документа	Тип производства		
		Единичный, мелкосерийный	Серийный, массовый	
		Степень описания технологического процесса		
		Маршрутное, маршрутно-операционное	Операционное	
		Разработка технологической документации на стадии		
		Предварительный проект	Опытный образец	Серийного, массового производства
		Единичного производства		
Документы общего назначения				
Титульный лист	ТЛ			
Карта эскизов	КЭ	○	○	●
Технологическая инструкция	ТИ	●	●	●
Документы специального назначения				
Маршрутная карта	МК	●	●	●
Карта технологического процесса	КТП	○	○	●
Карта типового (группового) технологического процесса	КТТП	●	●	●
Операционная карта	ОК	○	○	●
Карта типовой (групповой) операции	КТО	●	●	●
Карта технологической информации	КТИ			
Комплектовочная карта	КК	○	○	●
Технико-нормировочная карта	ТНК	○	○	●
Карта кодирования информации	ККИ			
Карта наладки	КН	●	●	●
Ведомость технологических маршрутов	ВТМ			●
Ведомость оснастки	ВО	○	○	●
Ведомость оборудования	ВОБ			

Продолжение табл. 5

Вид документа	Условные обозначения документа	Тип производства			
		Единичный, мелкосерийный	Серийный, массовый		
		Степень описания технологического процесса			
		Маршрутное, маршрутно-операционное		Операционное	
		Разработка технологической документации на стадии			
		Предварительный проект	Опытный образец	Серийного, массового производства	
		Единичного производства			
Ведомость материалов	ВМ	●	●	○	
Ведомость специфицированных норм расхода материалов	ВСН	○	○	●	
Ведомость удельных норм расхода материалов	ВУН				
Технологическая ведомость	ТВ				
Ведомость применяемости	ВП				
Ведомость сборки изделий	ВСИ				
Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовым (групповым) технологическим процессам (операциям)	ВТП (ВТО)	●	●	●	
Ведомость деталей, изготовленных из отходов	ВДО				
Ведомость дифектации	ВД				
Ведомость технологических документов	ВТД				
Ведомость держателей подлинников	ВДП				

Примечания: 1. Данные по ГОСТ 3.1102-81 и ГОСТ 3.1119-83.

2. ● – документ, необходимый для разработки; ○ – документ, выбираемый по усмотрению разработчика.

3. Необходимость применения остальных документов, указанных в таблице (не имеющих индексов ○, ●), устанавливается в отраслевых нормативно-технических документах (НТД).

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В основу разработки любых ТП (единичных, типовых, групповых) закладываются два принципа: технологичный и экономический. В соответствии с этими принципами проектируемый технологический процесс должен полностью обеспечить выполнение всех требований рабочего чертежа и технических условий на изготовление заданного изделия, при этом обеспечить минимальные затраты труда и издержки производства. ТП изготовления изделия должен выполняться с наиболее полным использованием технических возможностей средств производства, при наименьшей затрате времени и наименьшей стоимости изделия.

Для одной и той же детали при одинаковой производственной программе может быть разработано несколько вариантов технологических процессов. В зависимости от опыта технического персонала и местных производственных условий эти варианты иногда отличаются друг от друга маршрутом и содержанием операций, являясь в то же время достаточно равноценными по технико-экономической эффективности. На разработку таких процессов в отдельности затрачивается много времени и средств, так как работа технологов многократно повторяется.

Предложенная профессором А. П. Соколовским технологическая классификация деталей, предусматривающая 14 классов, характеризуется общностью технологических задач, решаемых с учетом определенной конфигурации деталей. Она имеет обшемашиностроительный характер (валы, втулки, диски, рычаги и др.) и может быть расширена добавлением новых классов деталей, характерных для отдельных отраслей промышленности (например, турбинные лопатки, шариковые подшипники). Деление классов на группы и подгруппы заканчивается *типом* (типовая деталь).

Типовая деталь объединяет совокупность деталей, имеющих одинаковый план (маршрут) операций, осуществляемых на однородном оборудовании с применением однотипных приспособлений и инструментов. Разработка классификаций деталей сочетается с унификацией и нормализацией их конструкций. Это позволяет укрупнить партии деталей, применить при их изготовлении более прогрессив-

ную технологию, а также сократить номенклатуру режущих и измерительных инструментов.

Типовые технологические процессы разрабатывают на типовые представители групп изделий.

Единичный технологический процесс применяется для изготовления изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства. Документацию на единичный технологический процесс выполняют, как правило, в виде рабочей технологической документации на изготовление этого изделия.

Групповой технологический процесс применяется для совместного изготовления группы изделий различной конфигурации, но с общими технологическими признаками в конкретных производственных условиях на специализированных рабочих местах. Документацию на данный процесс выполняют в виде рабочей технологической документации при наличии необходимой информации для изготовления конкретной группы изделий.

НТД на типовые технологические процессы в зависимости от конкретных задач технологической подготовки производства применяются в качестве:

- рабочей документации для изготовления изделий;
- информационной основы при разработке рабочих технологических процессов;
- исходной базы при разработке стандартов на типовые технологические процессы;
- исходной базы при формировании информационных фондов отрасли и предприятия.

Принципиальная схема технологического проектирования, основанного на использовании разработанного массива технологических процессов, изображена на рис. 2. В табл. 6 приведены возможные варианты последовательности выполнения процедур проектирования *рабочего технологического процесса (РТП)*.

При организации технологического проектирования на основе типовой технологии следует учитывать, что типовая форма технологического процесса должна сочетаться с его прогрессивным содержанием, т.е. *перспективными технологическими решениями*. В этом случае создаются благоприятные условия для значительного сокращения сроков освоения технологических нововведений и их широкого распространения в промышленности.

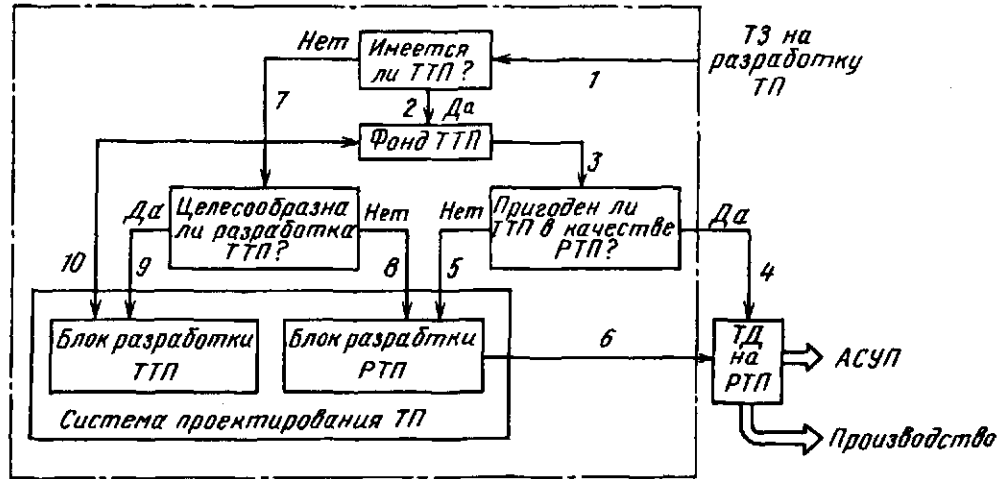


Рис. 2. Принципиальная блок-схема проектирования технологических процессов на основе типовых решений

6. Особенности разработки РТП (см. рис. 2)

Схема процесса технологического проектирования	Особенности разработки РТП
1-7-8-6	Разработка процесса осуществляется в последовательности, принятой для проектирования оригинальных ТП в связи с отсутствием или нецелесообразностью применения типовых технологических решений
1-2-3-4	Экономически наиболее благоприятный вариант, поскольку исключает необходимость разработки нового исполнения технологической системы и позволяет полностью использовать имеющиеся средства технологического оснащения
1-2-3-5-6	Разработка процесса значительно проще, чем при проектировании оригинального ТП благодаря высокому уровню преемственности технологических решений
1-7-9-10-3-4	Разработка трудоемка на первом этапе технологического проектирования, однако первоначальное увеличение объема работ и трудоемкости их выполнения оправданы, если на следующих этапах развития технологии и смены объектов производства можно существенно упростить и сократить цикл технологического проектирования и более эффективно использовать технические средства производства

Перспективные технологические процессы применяются при:

- конструкторской подготовке производства - для обеспечения заданных показателей качества изделия, в том числе технологичности его конструкции;
- технологической подготовке действующего производства как основы для разработки рабочих процессов в случаях:
 - постановки на производство новых изделий,
 - модернизации освоенных изделий,
 - значительного увеличения объема выпуска освоенных изделий;
 - технологической подготовки реконструируемого и вновь создаваемого производства при разработке технологической части проекта и ее технико-экономическом обосновании.

При перспективном планировании развития производства перспективные технологические процессы являются основной информацией на этапе прогнозирования и планирования повышения организационно-технического уровня производства (технологии, механизации и автоматизации, форм организации производства и т.д.).

Технико-экономический уровень перспективных технологических процессов рекомендуется оценивать по двум взаимосвязанным направлениям:

- 1) определение повышения уровня технологии производства за счет применения перспективных технологических процессов;
- 2) выполнение укрупненного расчета сроков окупаемости перспективных технологических процессов.

Состав показателей, по которым определяют уровень технологии производства, в общем случае должен отражать:

- структуру основных частей технологических процессов по методу их выполнения (литье, обработка давлением, обработка резанием, сборка и т.д.) с указанием удельных весов прогрессивных методов обработки;
 - структуру технологического оборудования, его возрастной состав, удельный вес прогрессивного высокопроизводительного оборудования;
 - состояние механизации и автоматизации производственных процессов;
 - состояние специализации производства;
 - использование материалов.
- Срок окупаемости перспективных технологических процессов определяют как отноше-

ние величины дополнительных затрат, связанных с планируемым внедрением процессов, к обеспечиваемой этим внедрением условно-годовой экономии.

Экономический эффект разработки новой техники должен рассчитываться по действующей в отрасли методике определения экономической эффективности внедрения новой техники.

Эффективность новой технологии оценивают по уровню изменения основных показателей производства (рост производительности труда и т.д.), отнесенных к единице затрат на разработку и внедрение перспективных технологических процессов.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Методы уменьшения нормы времени. Разрабатывая любой вариант операции, технолог стремится к снижению нормы времени, что достигается уменьшением основного t_0 и вспомогательного t_b времени. Время технического обслуживания и время организационного обслуживания рабочего места, а также время регламентированных перерывов берут в процентах от оперативного времени ($t_{0,п} = t_0 + t_b$), и, таким образом, от построения операций они непосредственно не зависят.

Возможность сокращения слагаемых основного времени операции связана с совершенствованием конструкций режущих инструментов, качеством инструментальных материалов, правильным подбором смазочно-охлаждающей жидкости, хорошей обрабатываемостью материала детали, уменьшением припусков на обработку и уменьшением числа рабочих ходов за счет повышения точности заготовок, поступающих для обработки.

Слагаемые вспомогательного времени уменьшаются с помощью приспособлений с быстродействующими зажимами, путем повышения скоростей перемещения суппортов, головок столов станков, уменьшения числа рабочих и вспомогательных ходов при более рациональном построении технологического процесса обработки.

Основным источником снижения нормы времени является такое построение операций, при котором открываются возможности для одновременного (совмещенного во времени) выполнения нескольких технологических переходов и совмещенного во времени выполнения

вспомогательных переходов с технологическими. При одновременном выполнении тех или иных переходов в норму времени входят лишь наиболее продолжительные (лимитирующие) переходы из числа всех совмещенных.

Слагаемые вспомогательного времени. Методология технического нормирования станочных операций основана на делении вспомогательного времени только на два слагаемых: время установка и снятия заготовок и время, связанное с переходом. Если время установка и снятия заготовки зависит от выбранной схемы базирования и типа приспособления, то время, связанное с переходом, включает комплекс специфических для данной операции приемов. При конкретном анализе содержания операции вспомогательное время делят на четыре – пять слагаемых.

Для выполнения каждой операции требуется время $t_{уп}$ на управление станком, т.е. время на переключение подач и частот вращения, изменение направления вращения шпинделей или перемещение суппортов, головок и кареток, время на возвратные ходы столов, суппортов или головок, время вывода сверла для удаления стружки.

Работа на станках часто связана со сменой инструментов в процессе выполнения отдельных технологических переходов. Время $t_{с.н}$ смены инструментов – это время последовательных установок инструментов в быстросменном патроне сверлильного станка (сверло – зенкер – развертка; сверло – зенковка – метчик и т.д.), смены быстросменных кондукторных втулок, смены расточных блоков в борштангах и вставки сменных борштанг при расточных работах.

Одним из слагаемых вспомогательного времени операции может являться время $t_{инд}$ индексации. Оно затрачивается на перевод шпиндельных блоков, барабанов, столов в новые позиции с фиксацией в них (позиционирование); переключение перемещаемых столов и головок на обратный ход (маятниковая подача); подвод в рабочее положение инструментов путем поворота револьверных головок или резцедержателей; поворот делительных приспособлений и кантующихся кондукторов.

Время установки инструмента при пробном рабочем ходе и время $t_{изм}$ на контрольные измерения учитывают только при работе методом индивидуального получения размеров. Применяя автоматизированные методы кон-

троля в процессе обработки, можно избежать включения времени $t_{изм}$ в норму времени.

В любой станочной операции присутствует время $t_{ус}$ установки заготовки для обработки и время съема ее со станка по окончании обработки. К этому же времени относится время установки штучных заготовок в разнообразные приспособления, на столы или на шпиндели станков, без выверки или с выверкой, а также время установки сменных приспособлений-дублеров или приспособлений-спутников в рабочие позиции. Для прутковых работ $t_{ус}$ включает время разжима цанги, подачи прутка до упора и зажима цанги. При работе на универсальных станках в серийном производстве $t_{ус}$ составляет до 50 – 60 % во вспомогательном и до 30 – 40 % в штучном времени и представляет резерв снижения трудоемкости.

Вспомогательное время $t_{в}$ операций, типовых по структуре и технологической оснащенности, выполняемых на универсальных станках в серийном производстве, составляет 25 – 55 % штучного времени.

Вспомогательное время операций, выполняемых на станках с программным управлением, по составу слагаемых мало отличается от вспомогательного времени операций, выполняемых на соответствующих универсальных станках. Однако абсолютная величина составляющих вспомогательного времени для программных станков значительно меньше из-за больших скоростей автоматических перемещений, уменьшения перебегов, полного устранения измерений в процессе выполнения операций. Для обработки на многооперационных станках типа обрабатывающего центра характерны многократное позиционирование стола с заготовкой (или шпинделя с инструментом) на следующую координату оси обрабатываемого отверстия, индексация поворотного стола для обработки заготовки с нескольких сторон, многократная смена инструментов. Время $t_{пзд}$ позиционирования и время индексации $t_{инд}$ поворотных столов определяются временем срабатывания механизмов быстрого и замедленного перемещений подвижного узла и закрепления. На каждое позиционирование затрачивается 5 – 10 с, на индексацию поворотного стола – 4 – 5 с. Заготовки для обработки устанавливаются непосредственно в рабочей позиции станка или в запасной позиции – на втором столе или в приспособлении-спутнике. В последнем случае в норму времени вместо $t_{ус}$

заготовки входит время $t_{с.с}$ смены спутника, которое в 4 – 5 раз меньше $t_{ус}$ ($t_{с.с} = 0,2t_{ус}$).

Время управления станком $t_{уп}$ затрачивается на переключение частот вращения и скоростей подач, подвод и отвод инструментов, возвратные ходы и т.п.; некоторые приемы управления (например, изменение частот вращения шпинделя и подачи) можно совместить с автоматической сменой инструмента.

Время смены инструмента $t_{с.н}$ в процессе выполнения операции включает время на снятие инструмента, отыскание, захват, перенос, установку и закрепление инструмента. Для станков с револьверными головками время перевода инструмента в рабочее положение поворотом головки относят к времени смены инструмента. Для смены одного инструмента требуется 3 – 7 с, а суммарное время смены инструмента составляет в среднем 15 % штучного времени.

Время измерения $t_{изм}$ затрачивается только при отладке программы и в штучное время не входит.

Вспомогательное время операций, выполняемых на агрегатных станках, незначительно. Для станков с многопозиционными поворотными столами и барабанами вспомогательное время содержит время управления станком (пуск, останов станка, подвод, отвод инструмента) и время индексации (поворот стола или барабана в следующую позицию и фиксация); установка и снятие заготовок выполняется в загрузочной позиции и обычно совмещаются по времени с временем обработки заготовок в рабочих позициях.

На автоматических линиях вспомогательное время включает: время установки $t_{ус}$ заготовок в рабочих позициях (фиксация – зажим, разжим – расфиксация); время индексации $t_{инд}$ (передача заготовок конвейером в следующую рабочую позицию); время управления $t_{уп}$ (пуск, останов, быстрый подвод и отвод головок с инструментом). Контрольные операции на автоматических линиях выполняются в одном режиме с основными операциями, и дополнительного времени на измерение не требуется. Однако, несмотря на большое число составляющих вспомогательного времени, условия выполнения операций позволяют свести его до 10 – 20 с.

Время $t_{в}$ зависит от размеров, массы, конфигурации заготовки, конструкции механизмов фиксации, длины хода и скорости пе-

ремещения конвейера. Для автоматических линий корпусных деталей среднего размера слагаемые $t_{в}$ составляют: $t_{инд} = 3 \dots 5$ с – ход конвейера; $t_{ус} = 3 \dots 10$ с – фиксация, зажим, расфиксация, отжим; $t_{уп} = 4 – 5$ с – подвод и отвод головок.

Схемы построения операций и состав оперативного времени. Возможность совмещения элементов оперативного времени при выполнении станочных операций зависит от схемы построения операции. Схема построения операции характеризуется числом заготовок, устанавливаемых для обработки, инструментами, участвующими в обработке, и порядком обработки поверхностей заготовок инструментами.

По числу устанавливаемых заготовок схемы обработки можно разделить на одностепенные и многостепенные. По числу инструментов, участвующих в выполнении операций, схемы обработки могут быть одноинструментными и многоинструментными. Последовательная или параллельная работа инструментов при обработке поверхностей заготовки, а также последовательное или параллельное расположение нескольких заготовок относительно инструментов обеспечивают схемы, различные по возможностям совмещения переходов по времени. В зависимости от порядка выполнения технологических переходов операции могут быть последовательного, параллельного и параллельно-последовательного выполнения.

Одностепенные схемы обработки позволяют совмещать технологические переходы, но возможность совмещения вспомогательного времени с основным отсутствует. Состав основного времени зависит от порядка выполнения технологических переходов. При последовательном выполнении переходов одним или несколькими инструментами (рис. 3, а – в) основное время операции включает сумму времени выполнения всех технологических переходов:

$$t_0 = \sum_{i=1}^n t_{0i} \quad (1)$$

При параллельной схеме обработки (рис. 3, г) основное время операции определяется только одним лимитирующим (наиболее продолжительным) переходом по обработке поверхности t_1 :

$$t_0 = t_{0л} \quad (2)$$

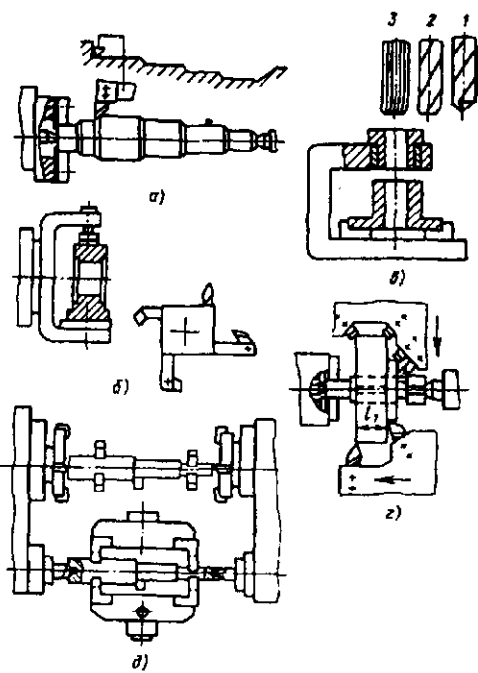


Рис. 3. Примеры одностепенных схем обработки

Параллельно-последовательные схемы создаются при обработке нескольких поверхностей заготовки одновременно и в нескольких позициях последовательно. При этом заготовка либо переходит на новые позиции станка, либо не меняет позиций, а обработка выполняется режущими инструментами, подводимыми в зону обработки с помощью поворотной головки, барабана или подвижного стола (рис. 3, д). Во всех случаях основное время операции включает сумму и последовательно выполняемых в позициях лимитирующих переходов:

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{o,li} \quad (3)$$

При всех одностепенных схемах обработки вспомогательное время операции содержит сумму времени всех m вспомогательных переходов:

$$t_b = \sum_{i=1}^m t_{bi} \quad (4)$$

Во вспомогательное время всегда входит время t_{yc} установки и снятия заготовки и время $t_{уп}$ управления станком. Состав других слагае-

мых зависит от характера операции; некоторые операции включают время $t_{инд}$ индексации поворотных и передвижных столов и головок (рис. 3, д), другие – время $t_{с.и}$ смены инструментов (рис. 3, в). Структура основного и вспомогательного времени для типовых одностепенных схем обработки приведена в табл. 7.

Совмещение вспомогательных переходов с технологическими возможно при многостепенных схемах обработки. Многостепенные схемы операций осуществляются в тех случаях, когда заготовки: 1) обрабатывают одной операционной партией, устанавливаемой на станке и снимаемой со станка одновременно (например,

7. Структура времени t_o и t_b для одностепенных схем обработки

Схема обработки	Основное время t_o	Вспомогательное время t_b
Последовательная: одноинструментная (рис. 3, а)	$\sum_{i=1}^n t_{oi}$	$t_{yc} + t_{уп}$
многоинструментная (рис. 3, б и в*)		$t_{yc} + t_{уп} + t_{инд};$ $t_{yc} + t_{уп} + t_{с.и}$
Параллельная многоинструментная (рис. 3, з)	$t_{o,л}$	$t_{yc} + t_{уп}$
Параллельно-последовательная многоинструментная (рис. 3, д**)	$\sum_{i=1}^n t_{o,li}$	$t_{yc} + t_{уп} + t_{инд}$

*1 Отверстие последовательно обрабатывается сверлом, зенкером, разверткой (технологические переходы 1, 2, 3) при смене инструментов в быстросменном патроне и смене быстросменных кондукторных втулок.

**2 Схема обработки одностепенная: после подрезки торцов фрезерные головки отходят, вводя в зону обработки сверлильные головки, оснащенные центровочными инструментами; n – число технологических переходов.

шлифование партии мелких деталей на магнитном станке плоско-шлифовального станка); 2) устанавливаются в приспособления независимо от других заготовок (или групп заготовок) и обрабатывают поочередно (например, при фрезеровании заготовок маятниковой подачей или в поворотных приспособлениях); 3) обрабатывают на непрерывно вращающемся столе или барабане, а устанавливают и снимают – на ходу, без остановки станка.

При многостепенных схемах с одновременной установкой и снятием всех заготовок операционной партией (рис. 4) время на одну заготовку определяется путем деления общих затрат времени на число заготовок в операционной партии:

$$t_o = \frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{N} \quad (5)$$

$$t_b = \frac{\sum_{i=1}^m t_{bi}}{N} \quad (6)$$

Основное время обработки одной заготовки в таких многостепенных схемах существенно сокращается за счет времени врезания и сбега инструмента. Затраты вспомогательного времени t_{yc} при установке на станке операционной партии N заготовок несколько возрастают, но на одну заготовку они значительно меньше, чем в одностепенных схемах.

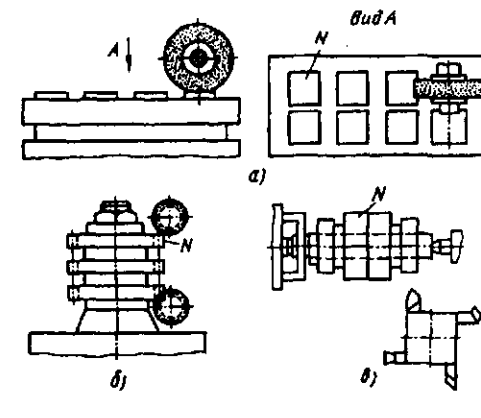


Рис. 4. Примеры многостепенных схем обработки с общим закреплением заготовок операционной партии

В многостепенных схемах обработки с независимым (раздельным) закреплением заготовки или групп заготовок (рис. 5) основное время, как и в других случаях параллельной и параллельно-последовательной обработки, определяется временем выполнения лимитирующего перехода, деленным на число заготовок:

$$t_o = \frac{t_{o,л}}{N} \quad (7)$$

При этих схемах появляется возможность полного совмещения времени установки и снятия заготовок с основным временем, если $t_{yc} < t_{o,л}$. При использовании маятниковой подачи (рис. 5, а) и поворотного стола (рис. 5, б) во время обработки заготовок в одной рабочей позиции другая рабочая позиция используется для снятия обработанных и установки новых заготовок. На станке с многопозиционным поворотным столом (рис. 5, в) появляется возможность выделить загрузочную позицию I, а в трех рабочих позициях (II, III, IV) последовательно провести многопереходную обработку одной заготовки (возможна установка по две или несколько заготовок одного или разных наименований). В этих случаях $t_b = t_{уп} + t_{инд}$, а $t_{yc} = 0$.

При выполнении операции на станке с непрерывно вращающимся барабаном или столом (рис. 6) обработка осуществляется при непрерывной рабочей подаче, а установка и снятие заготовок производится на ходу станка в его загрузочной зоне. Вспомогательное время полностью перекрывается основным, и в штучном времени отсутствует время $t_b = 0$.

Структура основного и вспомогательного времени для многостепенных схем обработки приведена в табл. 8.

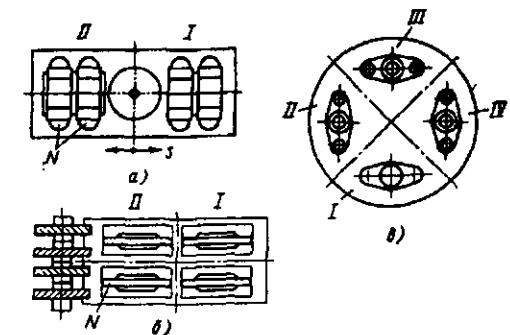


Рис. 5. Примеры многостепенных схем обработки с раздельным закреплением заготовок

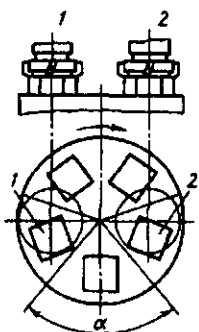


Рис. 6. Схема многоместной параллельно-последовательной обработки на двухшпиндельном вертикально-фрезерном станке с карусельным столом: α – зона загрузки; 1 и 2 – фрезы

Рассмотренные схемы обработки и структуры нормы времени применяются и к групповым наладкам, в которых предусмотрена обработка деталей разных наименований или одной детали с нескольких сторон при промежуточных переустановках. Высокопроизводительные многоместные многоинструментные параллельные и параллельно-последовательные схемы обработки эффективно использовать и при недостаточном объеме выпуска одноименных деталей. Групповые наладки возможны на любых станках. В операционные партии деталей, обрабатываемых при многоместных схемах (см. рис. 4 – 6), могут входить детали разных наименований. На вертикальном многошпиндельном полуавтомате при двухцикловой настройке и перекладывании заготовки из первой загрузочной позиции во вторую заготовка в нечетных позициях обрабатывается с одной стороны, а в четных – с другой.

Параллельно-последовательная обработка на продольно-фрезерном станке (рис. 7) шести поверхностей заготовки призматической формы при последовательном перекладывании ее в позициях I – IV позволяет при каждом рабочем ходе стола снять со станка одну обработанную со всех сторон заготовку. Необработанная заготовка устанавливается в позицию I для обработки поверхностей 1 и 3, перекладывается в позицию II для обработки поверхностей 2 и 4, затем последовательно в позиции III и IV – для обработки поверхностей 5 и 6 соответственно. Фреза $\Phi 1$ для обработки поверхности 1 настраивается на размер H_1 , а после перекладывания заготовки в позицию II фрезой $\Phi 2$ обрабатываются поверхности 2 до размера H_2 .

8. Структура времени t_o и t_b для многоместных схем обработки

Схема обработки	Основное время t_o	Вспомогательное время t_b
Последовательная с одновременным закреплением заготовок: одноинструментная (рис. 4, а, б)	$\frac{\sum_{i=1}^n t_{oi}}{N}$	$\frac{t_{yc} + t_{yn}}{N}$
многоинструментная (рис. 4, в)		$\frac{t_{yc} + t_{yn} + t_{инд}}{N}$
Параллельная с отдельным закреплением заготовок, одноинструментная (рис. 5, а) и многоинструментная (рис. 5, б)	$\frac{t_{о.л}}{N}$	$\frac{t_{yn} + t_{инд}}{N}$
Параллельно-последовательная с отдельным закреплением заготовок, многоинструментная (рис. 5, в)	$t_{о.л}$	$\frac{t_{yn} + t_{инд}}{N}$
Параллельно-последовательная с непрерывной рабочей подачей (рис. 6)	$t_{о.л}$	0

Расположение заготовок позволяет фрезой $\Phi 3$ обработать поверхности 3 и 6, а фрезой $\Phi 4$ – поверхности 4 и 5. При такой схеме обработки используются все четыре фрезерные головки, площадь стола и длина хода стола, обеспечивается непрерывное питание поточной линией обработанными заготовками; вспомогательное время

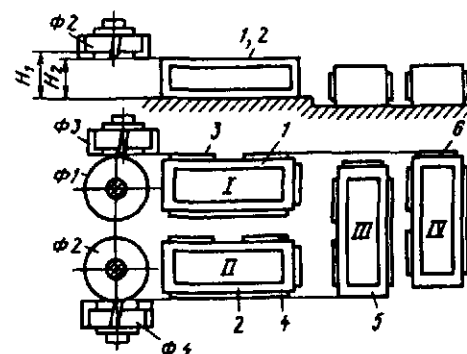


Рис. 7. Многоместная многоинструментная параллельно-последовательная схема обработки с перекладыванием заготовок в позициях I – IV

$$t_b = t_{yc} + t_{yn}$$

Формулы (2), (3), (7) основного времени при параллельных и параллельно-последовательных схемах обработки дают лишь качественную характеристику этих схем.

Степень интенсификации операции количественно оценивается по отношению основного времени t_o , учитываемого в штучном времени, к сумме основного времени всех совмещаемых технологических переходов. Коэффициент совмещенности основного времени

$$K_{c.o} = \frac{t_o}{\sum_{i=1}^n t_{oi}} \quad (8)$$

При последовательном выполнении всех переходов $K_{c.o} = 1$, а при совмещении переходов $K_{c.o} < 1$; чем большее число переходов совмещается, тем меньше $K_{c.o}$.

Операция в целом может характеризоваться отношением оперативного времени с учетом совмещенности технологических и вспомогательных переходов к сумме всех элементов основного и вспомогательного времени операции.

Для сверлильно-фрезерно-расточных станков с программным управлением характерны многоинструментные последовательные схемы построения операций при большом числе технологических и вспомогательных переходов. Технологический маршрут обработки включает две-три сложные многопереходные операции вместо 5 – 15 операций при обработ-

ке той же детали на универсальных станках. При обработке на этих станках условия для совмещения основного времени всех переходов почти отсутствуют, и основное время, учитываемое в штучном, можно принять равным сумме времени всех переходов. Однако возможности совмещения переходов во времени имеются при применении многолезвийных инструментов для обработки ступенчатых отверстий, а также при применении сменных многошпиндельных головок с осевыми инструментами для обработки групп отверстий. Эти головки устанавливают в шпинделе станка наряду с обычными сменными инструментами. Но даже при последовательном выполнении переходов основное время обработки на многооперационных станках сокращается в 1,5 – 5 раз по сравнению с временем обработки на универсальных станках за счет применения оптимальных для каждого инструмента режимов резания и устранения при программном управлении пробных рабочих ходов.

Вспомогательное время в общем случае

$$t_b = t_{yc} + t_{yn} + t_{пзц} + t_{инд} + t_{с.и}$$

Время установки и снятия заготовки t_{yc} может быть полностью или частично совмещено с основным временем. Это достигается с помощью одной-двух запасных установочных позиций, в которых заготовка устанавливается во время обработки другой заготовки, или применением двухместного приспособления на поворотном столе. Время позиционирования $t_{пзц}$, индексации стола $t_{инд}$, смены инструмента $t_{с.и}$ представляет собой суммы ряда элементарных слагаемых каждого вида. Вспомогательное время для типовых операций обработки корпусных деталей составляет 50 – 60 % штучного времени.

Особенности построения операций в различных уровнях производства. При разработке схему обработки выбирают из числа немногих сопоставимых схем, так как многие варианты схем отпадают сразу же после общей оценки условий производства и конструктивных особенностей детали. Так, при малом годовом выпуске отпадают многоместные многоинструментные параллельные схемы обработки, требующие применения специального оборудования и сложной технологической оснастки, в то время как при большом выпуске их применение предопределяется заданной производительностью.

От размеров и расположения обрабатываемых поверхностей зависят возможности размещения параллельно работающих инструментов. Габариты и конфигурация при многоместной обработке определяют возможную операционную партию, порядок расположения заготовок на столе или в приспособлении, сложность наладки станков, величину вспомогательных ходов. Большие габариты деталей исключают возможность многоместной обработки; малые габариты, наоборот, благоприятствуют применению многоместных схем, но исключают многоинструментные схемы из-за трудности размещения инструментов в наладке или из-за увеличения нагрузок от сил резания.

Любая интенсификация процесса обработки сопровождается увеличением воздействия сил на технологическую систему и увеличением погрешности обработки из-за упругих деформаций. Поэтому нежесткость конструкции детали может послужить причиной отказа от одновременной (параллельной) обработки несколькими инструментами. Это заставляет выделять обработку поверхностей деталей с высокими требованиями к точности и шероховатости в особые операции, причем в таком случае при любом объеме годового выпуска возможно применение одностанных, одноинструментных и последовательных схем обработки.

Крупногабаритные детали, изготавливаемые обычно в небольших количествах, обрабатывают на универсальных станках, часто без приспособлений, с установкой по выверке. Время на установку таких деталей велико, поэтому при разработке технологических процессов стремятся к сокращению числа операций и к выполнению с одного установа наибольшего числа переходов с помощью многократно сменяемых инструментов и последовательной их работы. Для интенсификации таких операций и снижения трудоемкости создают сборные установки (рис. 8, а) из унифицированных переносных расточных головок или установки с использованием универсальных переносных станков (рис. 8, б) различных типов (расточных, сверлильных, долбежных, строгальных) для многоинструментной параллельной обработки поверхностей детали. На плите (см. рис. 8, а) рядом с заготовкой 1 на заданных межосевых расстояниях A_1 и A_2 установлены переносные расточные головки 2, 4, 6; переносные опоры 3, 5 и 7 служат для поддержания и направления расточных борштанг 8. В дополнение к

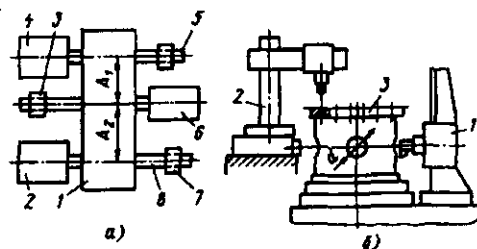


Рис. 8. Установки для параллельной обработки поверхностей крупногабаритных деталей

расточному станку 1 с поворотным столом, обрабатывающему отверстия d крупногабаритной детали 3, устанавливают переносный радиально-сверлильный станок 2 для обработки крепёжных отверстий в торцевой поверхности детали (рис. 8, б). В обоих случаях основное время операций

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{o,i}$$

Специфика принятых при обработке крупногабаритных деталей решений подтверждает общность направлений в построении высокопроизводительных станочных операций в машиностроении. При ограниченных возможностях применения многоместных схем операций в некоторых случаях возможно совмещение времени установки и снятия одной заготовки с временем обработки другой при использовании дополнительной загрузочной позиции, располагаемой в зоне обслуживания шпинделем станка (например, в зоне вылета рукава радиально-сверлильного станка).

РАЗРАБОТКА МНОГОИНСТРУМЕНТНЫХ НАЛАДОК

Выявление лимитирующего перехода.

При разработке операций с совмещением во времени технологических переходов (параллельные схемы обработки) необходимо выявить лимитирующий технологический переход и сопоставить время его выполнения $t_{o,l}$ с допустимой величиной $t_{o,p}$ в принятом такте выпуска, и в случае, если $t_{o,l} > t_{o,p}$, принять меры для уменьшения $t_{o,l}$.

Одностанная многоинструментная параллельная обработка (рис. 9) выполняется при общей частоте вращения шпинделя с заготовкой и общей для всех резцов минутной подаче.

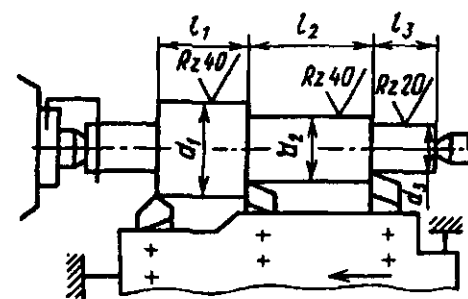


Рис. 9. Схема для определения времени лимитирующего перехода на операции с $n = \text{const}$; $s_m = \text{const}$

На основании данных чертежа принимаем: размеры шеек $d_1 > d_2 > d_3$; длины шеек $l_2 > l_1 > l_3$; наиболее жесткие требования предъявляются к шейке с d_3 ($Rz 20$).

Режимы резания назначаем из следующих соображений: глубина резания одинакова для всех шеек (при ступенчатой заготовке) и равна максимальному расчетному припуску ($t = z_{\text{max}}$). Лимитирующей будет подача, необходимая для обеспечения наиболее жестких требований качества, т.е. $s_{o,l} = s_{o,3}$ мм/об. Скорость резания определяется расчетом для шейки наибольшего диаметра (v_1 для шейки с d_1); от этой скорости зависит частота вращения заготовки $n_1 = 1000 v_1 / (\pi d_1)$. Длина рабочего хода определяется наиболее длинной шейкой (с d_2 , $l_2 = l_n$).

Таким образом, обтачивание валика на многорезцовом полуавтомате должно выполняться при $t = z_{\text{max}}$, $s_{o,3}$ и v_1 , а время лимитирующего перехода (мин/шт)

$$t_{o,l} = \frac{l_2}{n_1 s_{o,3}}$$

Одностанная многоинструментная параллельная обработка четырех отверстий выполняется на двустороннем станке с помощью агрегатных головок А и Б (рис. 10) с двумя инструментами. Головка А перемещается с минутной подачей s_{mA} , шпиндели вращаются с частотами n_1 и n_2 . Головка Б работает с подачей s_{mB} при частотах вращения шпинделей n_3 и n_4 . Проектирование операции начинается с определения условий для каждого из четырех инструментов. Выбирают метод обработки, вид

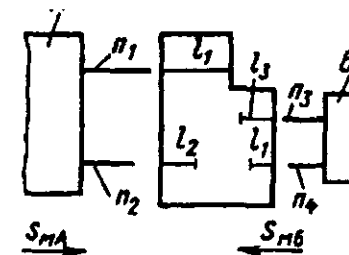


Рис. 10. Схема для определения времени лимитирующего перехода на операции с $n = \text{var}$; $s_m = \text{var}$

инструмента, режимы резания (t , s_o и v) в соответствии с требованиями точности и шероховатости поверхности. Затем для каждого шпинделя рассчитывают частоту вращения $n = \frac{1000v}{\pi d}$ и соответствующую каждому инструменту минутную подачу $s_{m,i} = n s_{o,i}$.

Лимитирующую подачу для каждой агрегатной головки находят из сравнения расчетных минутных подач для обоих шпинделей. Полагая для агрегатной головки А $s_{m1} > s_{m2}$, принимаем в качестве лимитирующей для этой головки подачу s_{m2} , определяемую вторым шпинделем: $s_{m,l} = s_{m2}$. Приняв длину обрабатываемой поверхности $l_1 > l_2$ и сохранив это соотношение для длин рабочих ходов, определяем время лимитирующего перехода для головки А:

$$t_{o,l}^A = \frac{l_1}{s_{m2}}$$

Проведя аналогичные расчеты для агрегатной головки Б и приняв $s_{m4} > s_{m3}$, $l_3 > l_4$, определяем время $t_{o,l}^B$ лимитирующего перехода для этой головки и сравниваем его с $t_{o,l}^A$.

Если $t_{o,l}^A > t_{o,l}^B$, то лимитирующей для всей рабочей позиции является головка А, и наоборот, при $t_{o,l}^B > t_{o,l}^A$ лимитирующей является головка Б. Время лимитирующего перехода $t_{o,l}$ сопоставляют с t_o , допустимым тактом выпуска t_d деталей (с учетом вспомогательного времени расчетная норма времени $t_{ш} \leq t_d$).

Корректировка условий работы инструментов. При благоприятном результате расчетные режимы для лимитирующего перехода сохраняются. Для всех других переходов про-

водится корректировка с целью улучшения условий работы инструментов на нелIMITирующих позициях и переходах и обеспечения согласованности работы всех инструментов. При корректировке "выравнивают" время работы инструментов по соотношению $S_{mi} = S_{m,l}$ или $n_i s_{oi} = n_{m,l} s_{o,l}$. Для i -го нелIMITирующего шпинделя частота вращения

$$n_i = n_l \frac{S_{o,l}}{S_{oi}}$$

$$\text{подача } S_{oi} = S_{o,l} \frac{n_l}{n_i}$$

При назначении режимов резания для многоинструментных схем обработки на агрегатных станках и автоматических линиях исходят из стойкости инструментов, при которой инструменты менялись бы 1 раз в смену и не более чем 2 раза в смену. При значительной разнице в стойкости инструментов, работающих в наладке при разных условиях (например, при больших перепадах диаметров или длин обрабатываемых поверхностей), используют инструменты из различных материалов, например: из твердых сплавов только в наиболее трудных условиях, на других переходах – из быстрорежущей стали. При проектировании многоинструментных операций необходимо предусмотреть дробление и удаление стружки.

При проектировании обработки на любых многопозиционных станках проводят аналогичные расчеты. Для агрегатных станков с многопозиционными делительными столами и барабанами и для вертикальных многошпиндельных полуавтоматов при одно- и двухцикловой наладке рассчитывают режимы резания для каждой позиции и, определив время лимитирующего перехода, определяют штучное время с учетом вспомогательного времени. За этим следует корректировка режимов на нелIMITирующих позициях и переходах.

Пути уменьшения времени лимитирующего перехода. Если расчетное время на лимитирующем переходе $t_{o,l}$ не удовлетворяет заданной производительности, то его уменьшают до требуемой величины либо повышением режимов резания (часто применяя более дорогой инструмент), либо изменением схемы обработки с уменьшением длины рабочего хода на лимитирующем переходе. Длину рабочего хода можно уменьшить путем замены продольной подачи поперечной (работая мето-

дом врезания) либо делением длины обрабатываемой поверхности на участки. При работе с поперечной подачей (например, при точении широким резцом) резко сокращается основное время, так как длина обрабатываемой поверхности определяется снимаемым припуском.

Длину поверхности при многолезцовом обтачивании делят с помощью установки дополнительного резца. При обработке отверстий их длина делится на участки, обрабатываемые либо с двух сторон одновременно (на двухстороннем станке), либо с одной стороны последовательно в двух-трех позициях станка или рабочих позициях автоматической линии. В этом случае время обработки определяется длиной одного участка. При последовательном "досверливании" отверстия в двух-трех позициях диаметр сверл уменьшается, что приводит к образованию ступеньки высотой 0,5 мм. Если ступеньки недопустимы, то их устраняют последующей сквозной обработкой.

Определение допустимого числа инструментов в наладке. С увеличением числа инструментов в наладке при многоинструментных параллельных схемах обработки нормы времени на операцию уменьшаются в результате снижения времени t_0 ; однако при чрезмерном увеличении числа инструментов время $t_{ш}$ может возрасти, что приведет к снижению производительности за смену. Это объясняется возрастанием затрат времени в смену на техническое обслуживание рабочего места с увеличением числа инструментов и приводит, таким образом, к увеличению затрат времени, отнесенных к одной операции (детали). Одновременно по мере увеличения числа инструментов падает интенсивность снижения времени t_0 . С увеличением числа параллельно работающих инструментов могут возникнуть ограничения по мощности электродвигателей, по силовому нагружению технологической системы и др., что приведет к необходимости уменьшить скорость резания или подачу.

Вспомогательное время операции включает несовмещаемую долю времени управления станком и других элементов и не зависит от числа инструментов в наладке.

С учетом производительности иногда оказывается целесообразным использовать вместо многоинструментной наладки наладку с небольшим числом инструментов, работающих на высоких режимах резания без необходимости их снижения. Например, токарно-многолезцовые полуавтоматы с числом резцов

в наладке более 10 целесообразно заменить станком с ЧПУ или токарным гидрокопировальным полуавтоматом. При этом точность обработки может повыситься в связи с уменьшением нагрузок в технологической системе и повышением сменной производительности.

Документация типовых ТП включает классификатор деталей и карты типовых процессов обработки.

Оформление типовых ТП производят в соответствии со стандартами ЕСТП.

По ГОСТ 14.303 необходимость каждого этапа, состав задач и последовательность их решения определяется разработчиком типового ТП в зависимости от готовности предприятия к моменту разработки.

РАЗРАБОТКА ГРУППОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В условиях единичного, мелкосерийного и серийного производства возникают значительные потери времени на переналадку оборудования при переходе от одной технологической операции к другой. Величина этих потерь зависит от величины подготовительно-заключительного времени $T_{пз}$ и величины партии $N_{п}$, поскольку штучно-калькуляционное время

$$t_{ш-к} = t_{ш} + T_{пз}/N_{п}$$

$t_{ш}$ – штучное время на операцию.

Графически это представлено на рис. 11. Потери времени на наладку оборудования стремятся сократить увеличением размера партии, но при этом возрастают потери $\Pi_{пз}$, связанные с незавершенным производством, поскольку возрастает время нахождения деталей и заготовок на складах в ожидании следующей операции технологического процесса, а следовательно, и длительность производственного цикла изготовления изделия. Указанное противоречие решает групповой метод обработки, при котором наладка выполняется для изготовления не для одной детали, а для нескольких n_i деталей, при этом для i -й операции

$$t_{ш-кi} = t_{ш} + T_{пз}/n_i N_{пi}$$

При этом становится возможным эффективно работать с малыми партиями заготовок, а подготовительно-заключительное время $T_{пз}$ на выполнение групповой операции распределяется на общее количество различных по конфигурации деталей n_i наименований. При

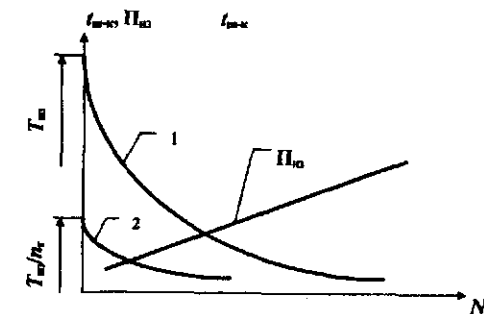


Рис. 11. Зависимость штучно-калькуляционного времени $t_{ш-к}$ от размера партии $N_{п}$ при изготовлении по единичным 1 и групповым 2 технологическим процессам; $\Pi_{пз}$ – потери от связывания оборотных средств в незавершенном производстве

этом сокращаются как потери времени на наладку оборудования, так и потери, связанные с незавершенным производством.

Метод групповой обработки, созданный проф. С. П. Митрофановым для изготовления изделий сериями, можно сравнить по своему значению с введением в начале XX века поточного метода в массовом производстве.

В основу группового метода положена технологическая классификация изделий, заканчивающаяся формированием группы. Если при типовой технологии в тип объединяются изделия по общности конфигурации, технологического маршрута и содержания основных операций, то при групповой обработке группа представляет совокупность деталей, характеризующихся общностью используемого при изготовлении оборудования, оснастки, наладки всего технологического процесса или операций.

Группу деталей (операций) создают для выполнения групповой операции на одном и том же станке при неизменной наладке. Групповая операция включает соответствующее число операций. В отдельных случаях при переходе от изготовления одной детали группы к другой (от одной детали-операции к другой) допускается незначительная подналадка станка (замена отдельных режущих инструментов, сменных установочных или зажимных элементов группового приспособления, регулировка упоров и т.п.).

Совокупность групповых технологических операций, обеспечивающих изготовление различных деталей группы (или нескольких групп) по общему технологическому маршру-

ту, представляет собой *групповой технологический процесс*. При изготовлении некоторых деталей или их групп отдельные технологические операции могут быть пропущены.

Принципиальными основами группового метода являются: 1) классификация и группирование деталей; 2) группирование операций и технологических процессов; 3) разработка конструкций групповых приспособлений и другой технологической оснастки; 4) целевая модернизация и специализация оборудования; 5) внедрение поддетально-специализированных цехов и участков и в отдельных случаях многоменклатурных групповых поточных линий; 6) создание системы оперативно-календарного планирования производства, обеспечивающей запуск в производство комплектно-составных деталей изделий в составе групп.

Основным признаком для объединения изделий в группы является общность обрабатываемых поверхностей или их сочетаний при обработке или выполняемых соединений или работ при сборке. Поскольку из одних и тех же поверхностей могут быть образованы различные детали, то в состав группы включают детали различной конфигурации. В этом смысле понятие группы значительно шире понятия типа деталей для типового технологического процесса.

В качестве дополнительных признаков при группировании деталей используют:

- габаритные размеры деталей из условий обеспечения возможности обработки на одинаковом оборудовании с использованием одинакового инструмента;
- конфигурация изделия и характер базовых поверхностей для возможности обработки или сборки в одинаковом приспособлении;
- точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей;
- одинаковость исходных заготовок и материала;
- серийность, размеры партии, комплектность и некоторые другие организационно-плановые вопросы, определяющие одновременный запуск в производство.

Создание технологических групп – это наиболее ответственный этап, требующий высокой квалификации, знания технологических возможностей оборудования, оснастки и определенных навыков.

Разработка групповых процессов изготовления деталей может базироваться на трех методах группирования.

1. Группирование деталей по преобладающим видам обработки (типам оборудования) и общности наладки с разработкой комплексных деталей.

2. Группирование деталей по комплексу признаков, в качестве которых выступают общие элементарные поверхности и схемы установки.

3. Группирование деталей по конструктивно-технологическому сходству (группы валов, втулок, шестерен и т.д.), когда в основу кладется типовой технологический процесс с групповым содержанием операций.

В условиях мелкосерийного и среднесерийного производства для разработки групповых операций и технологических процессов наибольшее применение получил первый метод. При этом методе детали предварительно группируют по видам обработки (автоматная, револьверная, токарная, фрезерная и т.д.), а затем формируют группы, при обработке которых требуются не только один вид станка, но и единая оснастка и общая наладка. Особенно эффективен этот метод группирования для деталей, изготавливаемых за одну технологическую операцию. Если при этом обеспечивается значительная загрузка станка данной групповой операцией, то это создает условия для специализации и модернизации станка, оснащения его производственной оснасткой.

Для разработки групповых операций в этом случае часто прибегают к созданию *комплексной детали*. Под комплексной деталью понимают реальную или условную (искусственно созданную) деталь, содержащую в своей конструкции все основные обрабатываемые поверхности деталей данной группы. Комплексная деталь является конструктивно-технологическим представителем группы (рис. 12). Конструирование комплексной детали *K* производится методом наложения, когда технолог из ряда деталей группы выбирает одну наиболее характерную, и затем дополняет ее недостающими элементами, присущими остальным деталям группы. В нашем случае наружная поверхность комплексной детали принята по детали 4 и дополнена внутренними поверхностями деталей 5 ... 7. Точность и шероховатость обработанных поверхностей комплексной детали назначают по деталям группы, имеющим наиболее высокие показатели. При этом предполагается, что при изготовлении деталей, имеющих более грубые аналогичные поверхности, часть инструментов групповой

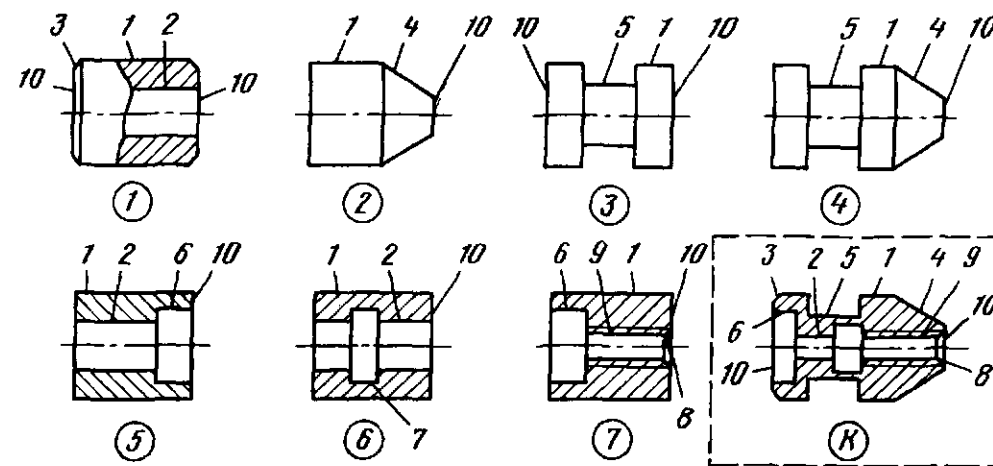


Рис. 12. Создание комплексной детали: 1 – 7 – детали группы; 1 – 10 – элементарные обрабатываемые поверхности

наладки использоваться не будет. Комплексная деталь служит основой для разработки группового процесса и групповых оснасток. Технологический процесс, разработанный на комплексную деталь, может быть применен для изготовления любой детали, входящей в группу.

Связь между элементарными поверхностями и деталями группы можно представить матрицей $L = [i, j]$, построенной по следующему правилу:

$$l_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я деталь содержит} \\ & j\text{-ю поверхность;} \\ 0, & \text{если } i\text{-я деталь не содержит} \\ & j\text{-ю поверхность.} \end{cases}$$

В этой матрице каждая деталь описывается вектором-строкой, так, например, деталь 4 на рис. 12 можно описать строкой: $l_4 = 1001100001$, а комплексную – $l_k = 1111111111$. Данную матрицу можно рассматривать как математическую модель группы и, используя логические функции, решать некоторые технологические задачи с помощью вычислительной техники. Так, например, при включении в состав группы новой детали l_j можно проверить, все ли ее обрабатываемые поверхности есть в составе комплексной детали. Для этого используют следующую логическую функцию: $r = (l_j \oplus l_k) \wedge l_j$, где \oplus – операция дизъюнктивного сложения, определяющая несовпа-

дающие поверхности рассматриваемой и комплексной детали; \wedge – конъюнкция, определяющая совпадающие элементы. Если $r = 0$, то поверхностей, не включенных в состав комплексной детали у новой детали нет, и она может быть включена в состав группы. В противном случае $r \neq 0$.

Группирование деталей на основе комплекса признаков применяют в тех случаях, когда не удастся создать комплексную деталь для разработки групповых операций. Так при обработке сложных корпусных деталей совместно с плитами, рычагами и другими деталями на станках с ЧПУ невозможно создать комплексную деталь. И вообще, чем большими технологическими возможностями обладает станок, тем в большей степени ослабляется связь конструкция – технология. Поэтому в подобных случаях применяется методический прием, при котором комплексная деталь не создается, а определяется комплекс основных признаков, позволяющих объединить различные детали в одну классификационную группу.

Для заготовок, обрабатываемых на металлорежущих станках, этими признаками являются:

- вид элементарных поверхностей;
- параметры обрабатываемых поверхностей (размеры, качества, шероховатости и др.);
- расположение обрабатываемых поверхностей (с одной стороны, с нескольких сторон),

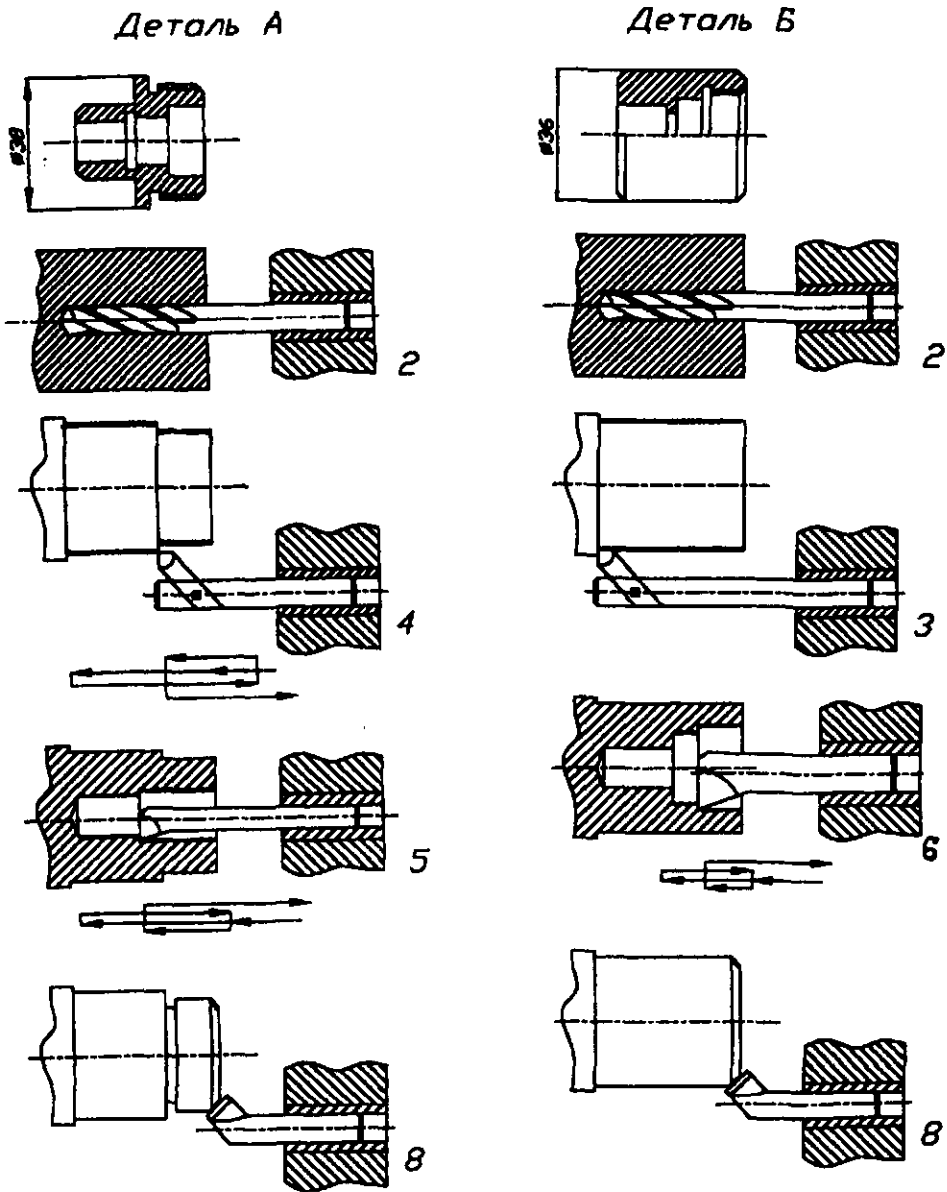


Рис. 13. Пример выполнения двух операций на токарно-револьверном станке с горизонтальной осью
револьверной головки:
1 ... 6, 8 ... 11, 13, 15 – позиции револьверной головки; 17, 18 – позиции резьбонарезного суппорта

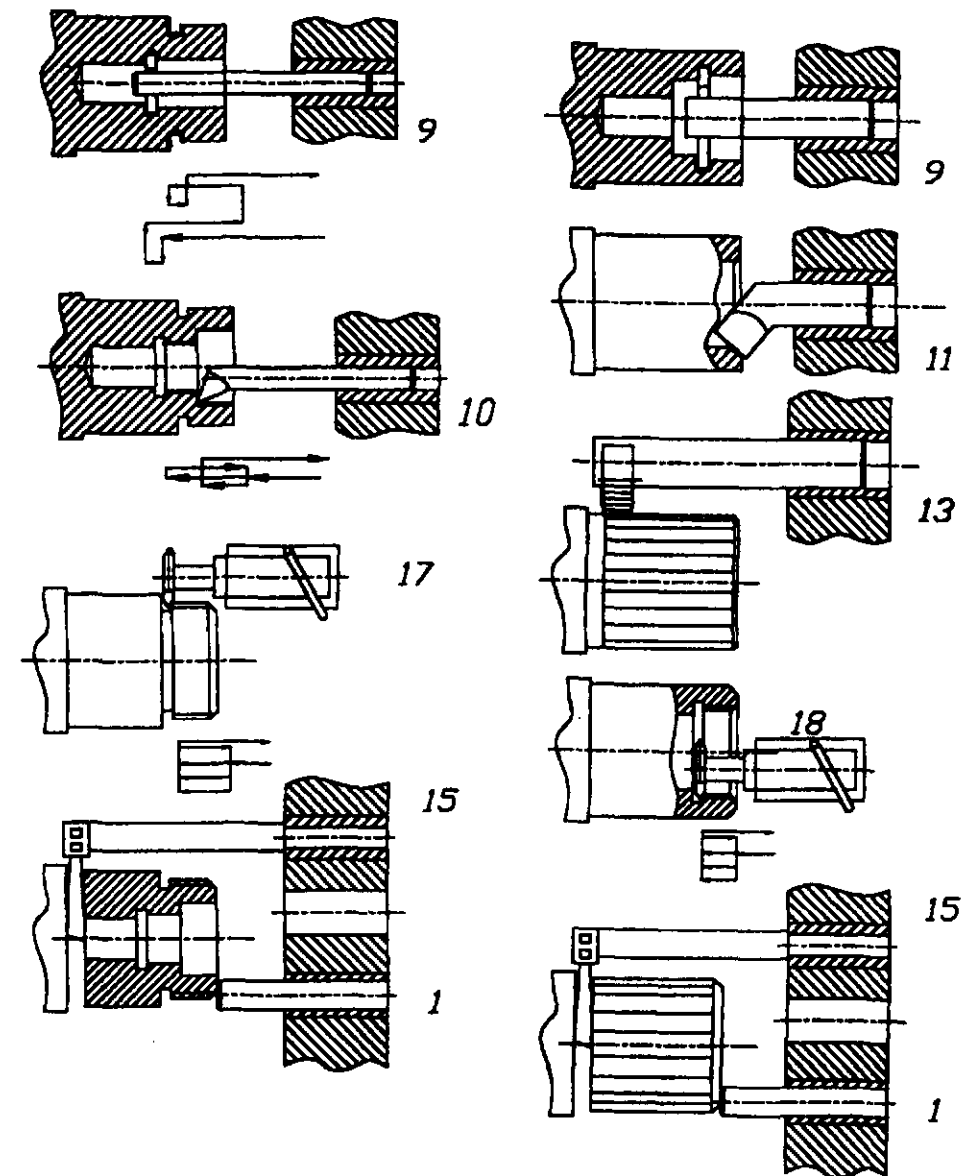


Рис. 13. Продолжение

угловое расположение, допускаемые погрешности;

– схемы установки заготовок.

Для каждой элементарной поверхности создается свой технологический маршрут и операция изготовления любой детали группы получается как комбинация стандартных маршрутов обработки элементарных или комплексов поверхностей. При этом успешно может быть использован метод адресации к типовым решениям с оптимизацией последовательности выполнения технологических переходов в каждой операции. Матричное представление комплекса признаков позволяет использовать вычислительную технику для формирования групп.

Группирование деталей по конструктивно-технологическому сходству применяется для конструктивно подобных деталей, имеющих в определенном диапазоне размеров общий, как правило, многооперационный технологический маршрут обработки, и значительные объемы выпуска. Основой разбивки на группы служат конструктивно-технологические признаки. В результате классификации определяются группы различных деталей (корпусные детали, типа валов, втулок, дисков, рычагов, плоских деталей), имеющие общий технологический маршрут. Создаваемая наладка на каждую операцию должна обеспечить возможность изготовления без или с минимальной переналадкой всех деталей группы в определенном диапазоне типоразмеров. При обеспечении достаточной загрузки оборудования на операциях группового технологического маршрута возможно создание групповых поточных линий.

Особенности разработки групповых операций и наладок рассмотрим применительно к обработке на токарно-револьверных станках, токарных автоматах и станках с ЧПУ.

При разработке групповых операций на токарно-револьверных станках в мелкосерийном производстве целесообразно: обеспечить обработку максимального числа поверхностей на одном станке; применять последовательную обработку нормализованным инструментом; предусматривать по возможности полный комплект инструментов для всех деталей группы; использовать групповые, в основном универсальные приспособления.

Подналадка при изготовлении деталей группы в основном сводится к перестановке и регулировке упоров, определяющих линейные

или диаметральные размеры детали. Замена инструментов при подналадке допускается как исключение и, в основном, для мерного инструмента – сверл, зенкеров, разверток и т.д.

Применительно к условиям мелкосерийного производства на рис. 13 даны эскизы выполнения двух деталей *A* и *B* на токарно-револьверном станке модели 1A140 с использованием общей групповой наладки. Обработка заготовок ведется из прутка диаметром 40 мм. В первой позиции установлен упор для подачи прутка и с помощью регулировочного винта устанавливается заданный вылет прутка. Из 16-ти позиций револьверной головки при выполнении данных операций задействованы одиннадцать и две позиции 17 и 18 резьбового копировального суппорта, причем часть инструментов (поз. 1 – 3, 7, 10, 15) используются для изготовления обеих деталей, остальные – только одной.

В серийном производстве возможно использование в структуре групповых операций не только последовательной обработки поверхностей, но и совмещенных переходов, а в обоснованных случаях – применение специального инструмента. Для установки заготовок наряду с универсальными приспособлениями применяют специализированные групповые более высокопроизводительные приспособления.

При переходе от одной операции к другой возможна не только регулировка упоров и замена осевого инструмента, но и регулировка вылета резцов в державках, удаление или замена части инструментов (сверл, патронов с метчиками, плашками), дополнительная установка инструментов, замена вкладышей, цанг или кулачков приспособлений.

В условиях крупносерийного производства при проектировании групповых операций на токарно-револьверных станках предусматривают: одновременную обработку нескольких поверхностей заготовки разными инструментами в одной позиции; применение фасонного режущего инструмента, высокопроизводительных приспособлений для закрепления деталей, постоянного комплекта инструментов, установленного в державках для отдельных операций с настройкой вне станка. Переход на другую операцию группы осуществляется использованием других позиций револьверной головки; сменой державок и блоков с настроенными инструментами; сменой съемных револьверных головок.

Разработка групповой обработки на токарных автоматах с кулачковыми валами имеет определенную специфику, связанную с необходимостью использования одного комплекта кулачков для изготовления всех деталей группы. Для этого в одну группу объединяют детали (операции), при изготовлении которых можно использовать равноценные или условно равноценные переходы. К равноценным относятся переходы, характеризующиеся единством рабочего инструментами и режима резания. Условно-равноценными переходами являются переходы, выполняемые при одинаковом перемещении рабочих органов станков-автоматов от одного участка кривой кулачка, но различными инструментами, заменяемыми при переналадке. Для автоматов с постоянными кулачками (многошпиндельных) это – переходы, выполняемые в одной позиции разными инструментами, заменяемыми при изготовлении различных деталей группы.

Например, при обработке на токарно-револьверном автомате с учетом принципа условной равноценности переходов при изготовлении двух разных деталей, приведенных на рис. 14, можно использовать один и тот же комплект кулачков.

Переходы сверления отверстий сначала под резьбу М10, а затем Ø6 мм детали 1 условно равноценны переходам обтачивания уступов под резьбу М6 и Ø7 мм детали 2. Кулачок поперечного суппорта для обтачивания Ø10 мм детали 1 можно использовать для накатывания рифлений детали 2.

Для разработки групповой операции и комплекта кулачков автомата создают комплексную деталь, конфигурация, которой с целью упрощения, часто определяется только поверхностями, обработка которых выполняет-

ся несомещенными переходами в каждой позиции револьверной головки или суппорта. Это возможно потому, что наличие совмещенных переходов, выполняемых с помощью одного исполнительного органа станка, не влияет на профиль кулачка, осуществляющего его движение.

Размеры каждой из обрабатываемых поверхностей комплексной детали устанавливают по наибольшему размеру соответствующих поверхностей детали группы. Например, длину сверления в комплексной детали задают по детали группы с наибольшей длиной сверления. Поэтому при обработке других деталей будут возникать естественные потери машинного времени. С целью сокращения потерь машинного времени целесообразно стремиться к созданию групп, различающихся по размерам обрабатываемых поверхностей не более чем на 20 ... 40 %.

Указанные ограничения не относятся к групповым операциям, выполняемых на автоматах продольного точения и автоматах, оснащенных механизмами быстрого вращения распределительного вала, где предусмотрена возможность изменения длины рабочего хода исполнительных органов без смены кулачков.

При обработке на многошпиндельных автоматах, имеющих постоянные кулачки, операции изготовления деталей группы должны иметь одинаковое число и примерно одинаковую продолжительность несомещенных переходов. Основными затратами времени при переналадке этих автоматов являются затраты времени на смену цанг (от 40 до 90 мин). Поэтому в ряде случаев целесообразно комплектование группы деталей, изготавливаемых из прутков одного диаметра, но не имеющих единого плана обработки.

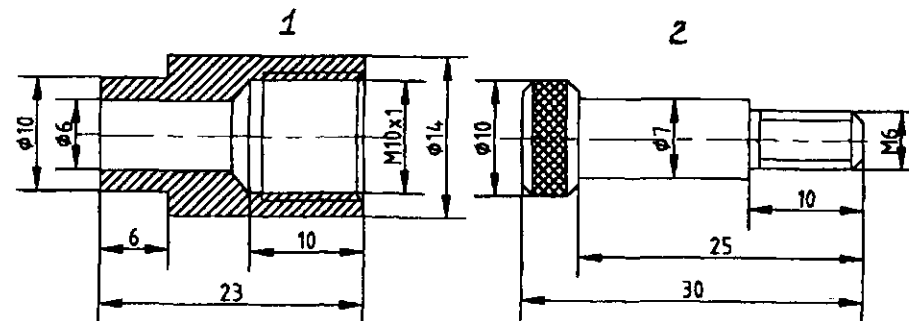


Рис. 14. Детали, при изготовлении которых используется принцип условной равноценности переходов

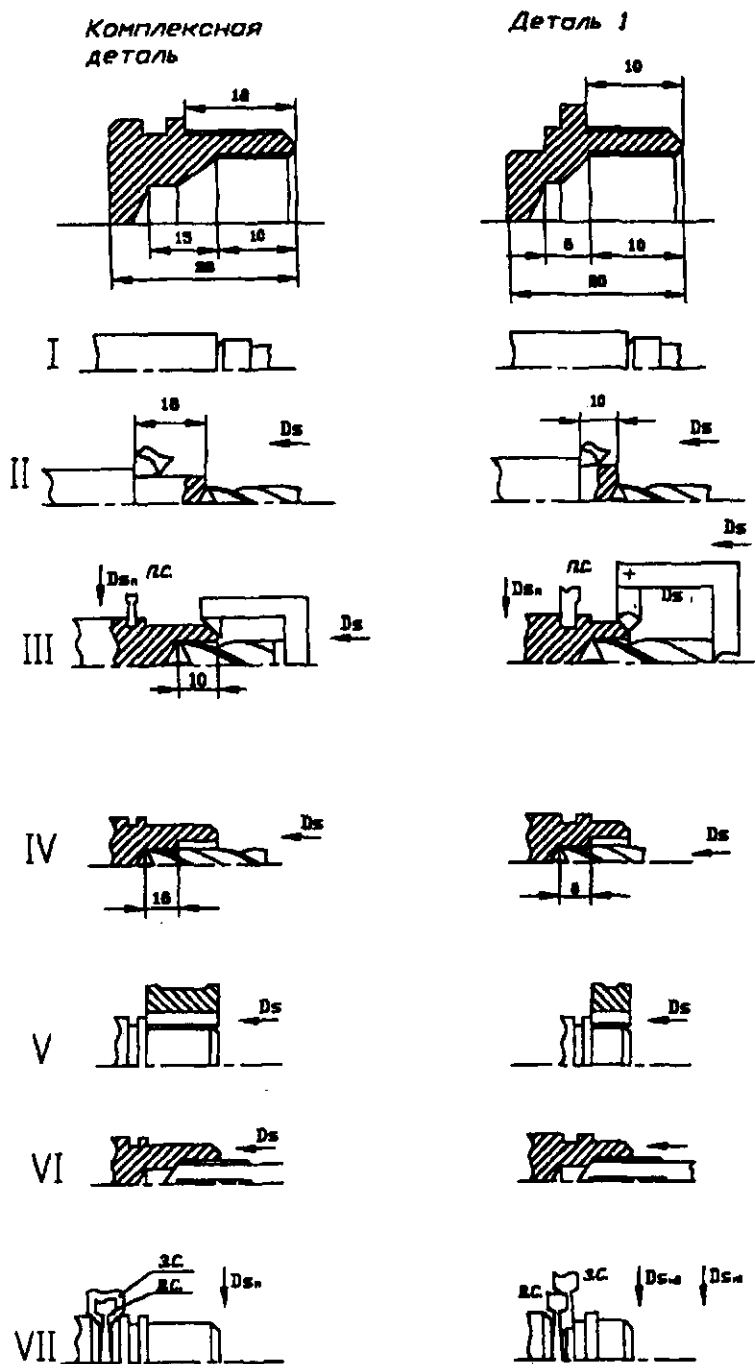
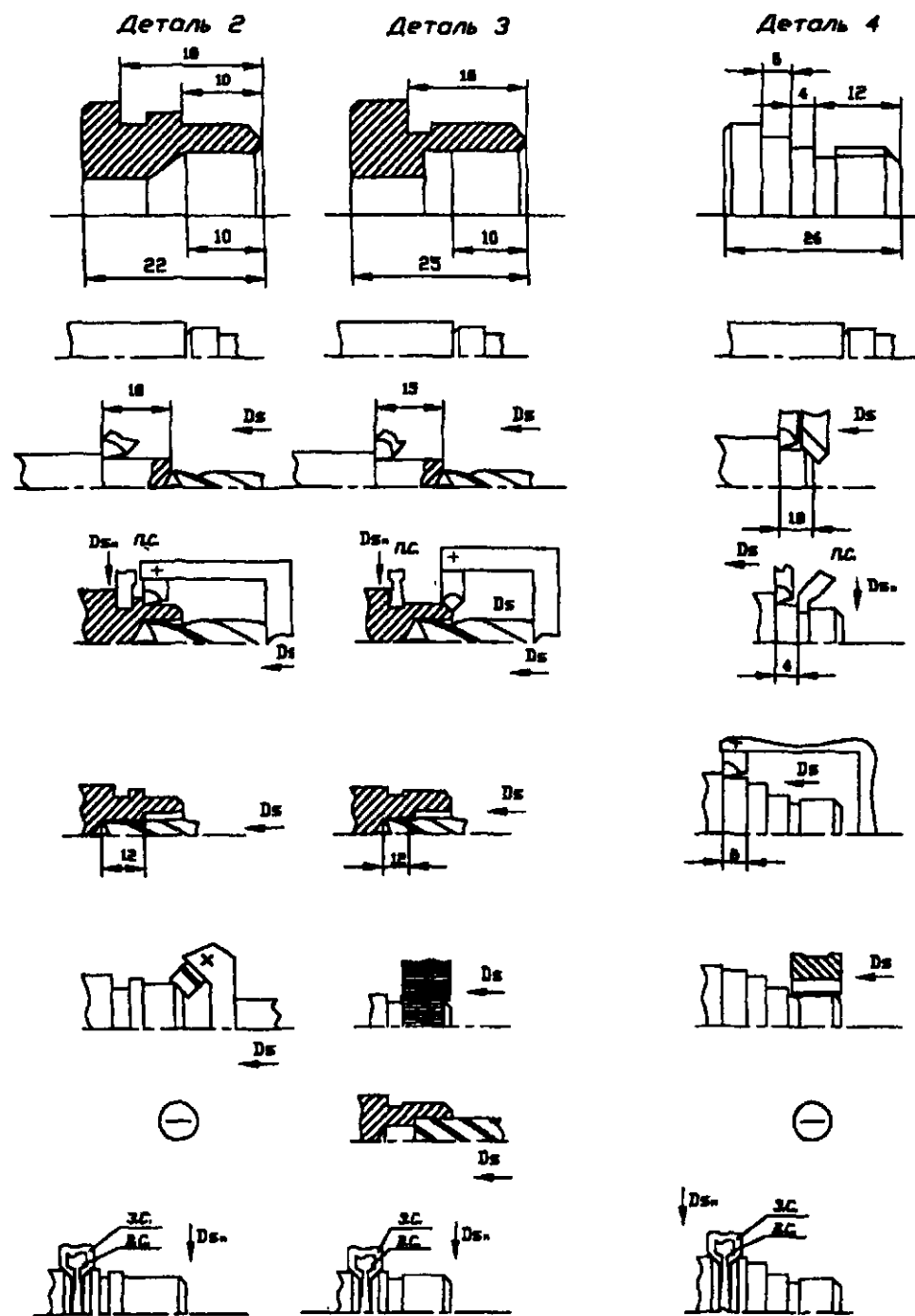


Рис. 15. Групповая наладка токарно-револьверного автомата по комплексной детали и \ominus – позиция при изготовлении данной детали не используется



последовательность изготовления четырех деталей группы:

Пример групповой операции, выполняемой на токарно-револьверном автомате мод. 1118 дан на рис. 15. В группу включены детали разного вида диаметром до 18 мм. В конструкцию комплексной детали включены только те поверхности, которые обрабатываются в неперекрываемое машинное время, а их размеры обеспечивают наибольшие длины рабочих ходов, необходимые для обработки всех поверхностей деталей группы.

При изготовлении деталей группы используются 6 позиций револьверной головки и три поперечных суппорта – передний (ПС), задний (ЗС) и верхний (ВС). При изготовлении деталей 2 и 4 позиция VI револьверной головки не используется, а при изготовлении деталей 2 и 3 в позиции V револьверной головки участок кулачка, предназначенный для нарезания резьбы, используется для снятия фаски и накатывания рифлений. Аналогично принцип условной равноценности переходов используется в позициях II, III, IV при изготовлении детали 4.

Расчетная карта разрабатывается на комплексную деталь по общепринятой методике и рассчитанное число оборотов шпинделя для выполнения цикла $n_{цк}$ заносится в операционную карту на комплексную деталь. Если возникает необходимость корректировки подачи для изготовления отдельных деталей группы из других материалов, то число оборотов шпинделя для изготовления i -й детали группы определяют по формуле

$$n_{цi} = n_{цк} k_i,$$

где k_i – поправочный коэффициент на величину подачи. Необходимая скорость резания в соответствии с обрабатываемыми материалами обеспечиваются соответствующим набором сменных шестерен.

При разработке групповых операций на станках с ЧПУ необходимо иметь в виду, что это оборудование имеет самую высокую гибкость при смене объекта. Осуществление любых перемещений каждого инструмента в рабочей зоне по программе позволяет обрабатывать разные поверхности как одной, так и разных заготовок одним инструментом, автоматическая смена предварительно настроенного инструмента с помощью револьверных головок или инструментальных магазинов обеспечивает возможность выполнения группы технологических операций практически без переналадки. При этом отпадает необходимос размер-

ной привязки инструментов для каждой операции. Переход от одной операции к другой осуществляется сменой управляющей программы и, если необходимо, заменой отдельных инструментов.

Поэтому определяющими факторами для группирования деталей являются типаж и число применяемых для обработки инструментов, а также схема установки и вид приспособления.

При одновременном или последовательном изготовлении разных деталей определяющим фактором становится марка материала с точки зрения возможности смешивания стружки различных материалов.

При разработке групповых операций на многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станках возможны два варианта:

1. Одновременное выполнение нескольких операций в многоместном приспособлении. Это часто делают с использованием куба, с разных сторон которого располагают обрабатываемые заготовки группы.

2. Последовательное изготовление разных деталей или партий деталей группы с использованием либо группового приспособления (на станках без магазина палет), либо разных приспособлений, устанавливаемых на разных палетах (для станков с магазином палет и в ГПС).

Высшей формой реализации группового метода являются ГПС, обладающие возможностью автоматической переналадки в определенном диапазоне типоразмеров. Здесь состав группы деталей ограничивается только технологическими возможностями и характеристиками оборудования. Так, например, в ГПС АЛП-3-2, предназначенной для изготовления сложных корпусных деталей гидроавтоматики время перехода от одной операции к другой составляет 25 с – это время смены палеты.

Для моделирования процессов наладки и переналадки станков, а также для синтеза групповых операций используют модель производственной среды (МПС). Под производственной средой P понимают множество технологических составляющих производственной системы, требующих проведения наладочных работ при переходе к выполнению очередной операции. Такими составляющими \mathcal{E} элементами производственной среды (ЭПС) являются: рабочие места, станки, приспособления, режущие и вспомогательные инструменты, кассеты и схваты ГПС, то есть $P: \{\mathcal{E}\}$.

Каждый ЭПС описывается некоторым набором технологических характеристик X , определяющих возможность совместного использования с другим, то есть $\mathcal{E}_u: \{X\}_u$. Технологическая операция O_i выделяет в производственной среде множество ЭПС, необходимых для ее выполнения: $O_i: \{\mathcal{E}\}_i; \{\mathcal{E}\}_i \subset \{\mathcal{E}\}$. Следовательно, объектами моделирования являются производственная среда и множество технологических операций.

С целью оценки возможности совместного использования ЭПС в той или иной операции в рассматриваемый момент времени T необходимо учесть производственную ситуацию ψ^T . При этом можно выделить два вида состояния ЭПС. Первый из них ψ_p^T – характеризует наличие в данный момент работоспособного ЭПС или его отсутствие (например, в ремонте). Второй вид состояния ψ_o^T отражает, занят ли тот или иной ЭПС при выполнении другой операции или нет.

Таким образом, состояние производственной среды ϕ^T в интервале времени T дописывается четырьмя составляющими: $\phi^T = \langle P, \{O\}^T, \psi_p^T, \psi_o^T \rangle$. При моделировании производственной среды в разные моменты

времени меняются множество операций и производственная ситуация.

Математически производственную среду представляют в виде взвешенного ориентированного графа $P(\mathcal{E}, R)$, вершинами которого являются множество ЭПС $\{\mathcal{E}\}$, а дугами – множество технологических взаимоотношений $\{R\}$, отражающих отношения между ЭПС, устанавливаемые в процессе выполнения наладки и переналадки (рис. 16).

Первый вид отношений R_p характеризует возможность совместной наладки ЭПС и ее трудоемкость:

$$R_p(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, & \text{если } \mathcal{E}_v \text{ не применяется} \\ & \text{вместе с } \mathcal{E}_u; \\ T_{uv}, & \text{если трудоемкость} \\ & \text{наладочных работ равна } T_{uv}; \\ 0, & \text{если затрат времени на} \\ & \text{наладочные работы не} \\ & \text{требуется.} \end{cases}$$

Второй вид отношений R_o устанавливает принадлежность каждого ЭПС к той или иной операции, так для i -й технологической операции:

$$R_o(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, & \text{если } \mathcal{E}_v \notin \mathcal{E}_i; \\ 0, & \text{если } \mathcal{E}_v \in \mathcal{E}_i. \end{cases}$$

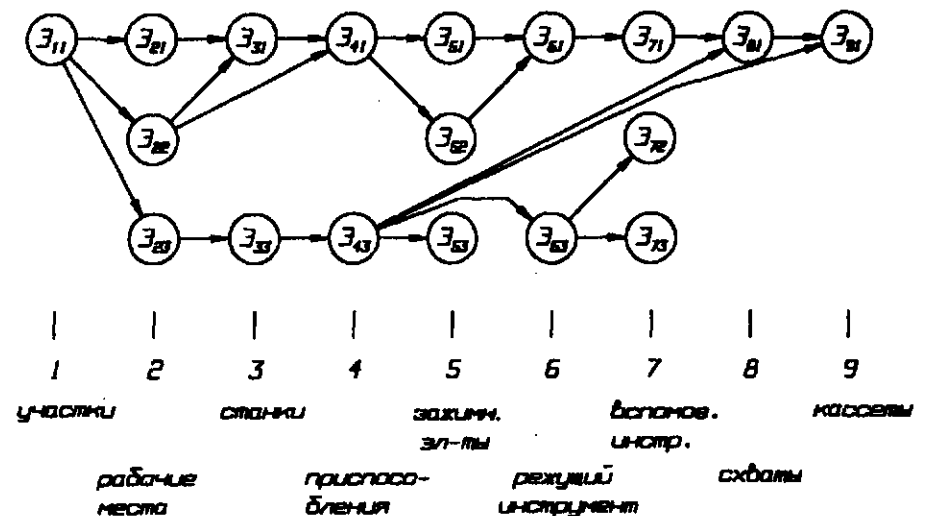


Рис. 16. Фрагмент граф производственной среды

Таким образом на графе $P(\mathcal{E}, R)$ выделяется подграф каждой технологической операции $G_i(\mathcal{E}, R)$, причем $G_i(\mathcal{E}, R) \in P(\mathcal{E}, R)$.

Третий и четвертый вид отношений отражает производственную ситуацию ψ :

$$R_{\psi_p}(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, & \text{если } \mathcal{E}_v \text{ отсутствует или} \\ & \text{находится в неработоспособном} \\ & \text{состоянии;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$$R_{\psi_o}(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} \infty, & \text{если } \mathcal{E}_v \text{ уже используется} \\ & \text{в другой операции;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Таким образом, модель производственной среды представляет собой систему из ЭПС, взаимосвязи между которыми определяются процессами наладки оборудования.

При использовании группового метода выполнение группы технологических операций $\Omega_k: O_1, O_2, \dots, O_m$, производится с использованием множества ЭПС групповой операции $Q_k: \{\mathcal{E}\}_k$ при условии, что $\{\mathcal{E}\}_i \subseteq \{\mathcal{E}\}_k$. Если данное условие не обеспечивается, то при выполнении отдельных операций потребуются соответствующая переналадка.

При математическом моделировании используются основные положения теории графов и математический аппарат нечетких множеств. С помощью математических операций над отношениями между ЭПС возможно моделирование процессов наладки и переналадки, оценка возможной экономии затрат подготовительно-заключительного времени при различных вариантах группирования операций и последовательности их выполнения.

Так с помощью операции объединения можно выявить все этапы и трудоемкость наладочных работ групповой операции:

$$R_i(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) \cup R_j(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \max(t_{uv_i}; t_{uv_j}),$$

а с помощью операции пересечения – только общие этапы и трудоемкость наладочных работ для рассматриваемой группы технологических операций:

$$R_i(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) \cap R_j(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \min(t_{uv_i}; t_{uv_j}).$$

На основе операции алгебраической суммы можно определить состав и трудоемкость наладочных работ при выполнении операций с

полной переналадкой (при работе по единичным технологическим процессам):

$$R_i(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) \hat{+} R_j(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) =$$

$$= \begin{cases} t_{uv_i}, & \text{если } t_{uv_j} = \infty; \\ t_{uv_j}, & \text{если } t_{uv_i} = \infty; \\ t_{uv_i} + t_{uv_j}, & \text{в других случаях.} \end{cases}$$

С помощью операции алгебраической разности можно определить состав и трудоемкость работ по переналадке с одной (j -й) операции на другую (i -ю) или оценить состав и объем работ, незавершенных в рассматриваемый момент:

$$R_i(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) \hat{-} R_j(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) =$$

$$= \begin{cases} \infty, & \text{если } t_{uv_i} = \infty; \\ t_{uv_i}, & \text{если } t_{uv_j} = \infty; \\ \max(0; t_{uv_i} - t_{uv_j}), & \text{в других случаях.} \end{cases}$$

Дизъюнктивная сумма определяет несовпадающие этапы наладочных работ и их трудоемкость в рассматриваемых операциях:

$$R_i(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) \oplus R_j(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = (R_i \cap \bar{R}_j) \cup (\bar{R}_i \cap R_j),$$

а разность – несовпадающие этапы наладочных работ и их трудоемкость при переходе одной от одной (j -й) операции к другой (i -й):

$$R_i(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) - R_j(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = R_i \cap \bar{R}_j.$$

Здесь \bar{R}_i и \bar{R}_j соответственно отрицание R_i и R_j , причем:

$$\bar{R}(\mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v) = \begin{cases} 0, & \text{если } t_{uv} = \infty; \\ \infty, & \text{если } t_{uv} \neq \infty. \end{cases}$$

Подграф технологической операции $G_i(\mathcal{E}, R)$ выделяет подмножество ЭПС на графе $P(\mathcal{E}, R)$, необходимые для ее выполнения и граф наладки на данную операцию можно представить в виде их пересечения (рис. 17):

$$\theta_{ni} = P \cap G_i.$$

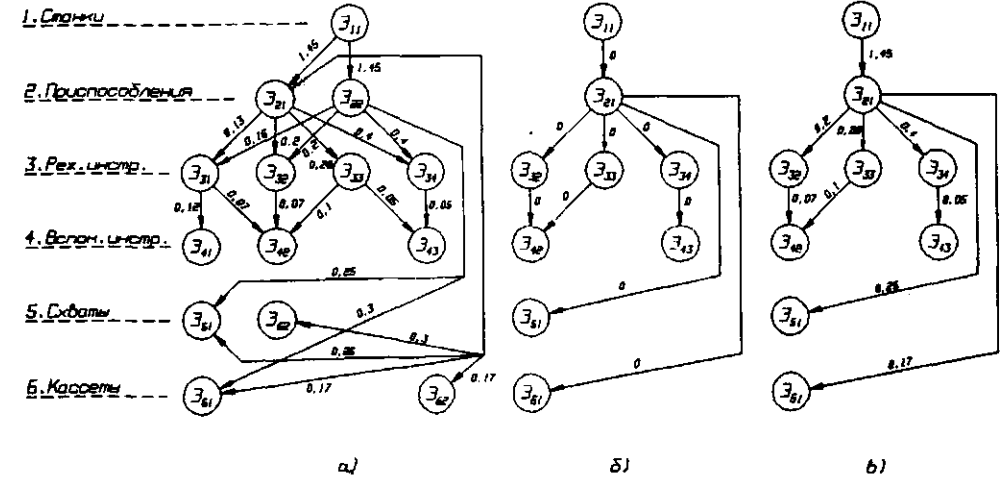


Рис. 17. Моделирование процесса наладки: а – граф P ; б – граф G_i ; в – граф θ_{ni}

Цифрами на дугах этих графов указаны затраты времени на выполнение наладочных работ, связанных с применением соответствующих ЭПС.

Обозначим через C сумму весов дуг, связывающих попарно вершины графа θ ,

$$C(\theta) = \sum_{uv=1}^n t_{uv}, \quad \mathcal{E}_u, \mathcal{E}_v \in \theta(\mathcal{E}, R),$$

где n – число вершин графа $\theta(\mathcal{E}, R)$. Очевидно, что сумма весов дуг результирующего графа θ_n равна времени наладки (T_n) на данную ТО: $T_{ni} = C(\theta_{ni})$. В примере на рис. 17, в $T_{ni} = 2,93$ ч.

Процесс переналадки с i -й ТО на j -ю моделируется с помощью графа θ_{npj} , устанавливающего недостающие этапы наладочных работ (рис. 18, а, б):

$$\theta_{npj} = (P \cap G_j) - (P \cap G_i) = P(G_j - G_i) = \theta_{nj} - \theta_{ni},$$

трудоемкость которых равна

$$T_{npj} = C(\theta_{npj}).$$

При неизвестном порядке следования технологических операций, выполняемых с частичной переналадкой, более удобно применять математическую модель наладочных работ с переналадкой, которая представляется графом θ_{npj} :

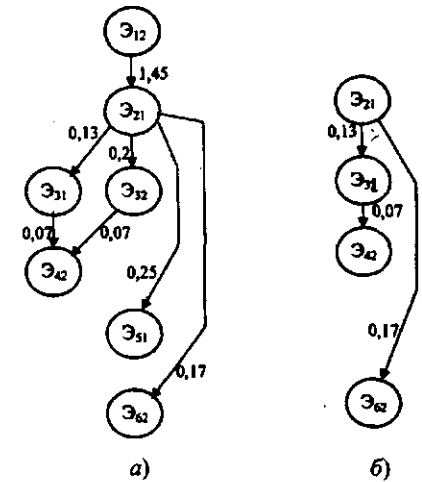


Рис. 18. Моделирование процесса переналадки: а – граф θ_{n2} ; б – граф θ_{n12}

$$\theta_{npj} = (P \cap G_j) \cup (P \cap G_i) = P \cap (G_i \cup G_j) = (\theta_i \hat{+} \theta_j),$$

а при выполнении операций с полной переналадкой – графом θ_{npj} :

$$\theta_{npj} = (P \cap G_i) \hat{+} (P \cap G_j) = (\theta_i \hat{+} \theta_j),$$

и, соответственно,

$$T_{npj} = C(\theta_{npj}), \quad T_{npj} = C(\theta_{npj}).$$

Эти графы для рассмотренных выше операций 1 и 2 даны на рис. 19, а и б.

Множество ЭПС (вершин графа $\theta_{нрп}$) распадается на два подмножества: общие ЭПС (граф $\bar{\theta}$), наладку которых выполняют один раз и применяют во всех операциях группы, и индивидуальные ЭПС (граф S) (рис. 19, в и з), переналаживаемые при любой последовательности выполнения ТО:

$$\theta_{нрп ij} = \bar{\theta}_{ij} \cup S_{ij} = \theta_{ни} \cap \theta_{н j},$$

где

$$\bar{\theta}_{ij} = P \cap (G_i \cap G_j) = \theta_{ни} \cap \theta_{н j};$$

$$S_{ij} = P \cap (G_i \oplus G_j) = \theta_{ни} \oplus \theta_{н j}.$$

Трудоемкость выполнения общих наладочных работ ЭПС ($T_{но}$) и индивидуальных ($T_{ни}$) равна:

$$T_{но ij} = C(\bar{\theta}_{ij}), \quad T_{ни ij} = C(S_{ij}).$$

Приведенные зависимости можно распространить на множество технологических операций группы Ω_k :

$$\theta_{нрп k} = P \cap \left(\bigcup_{i=1}^m G_i \right); \quad \theta_{нрп k} = \bigcap_{i=1}^m (P \cap G_i);$$

$$\bar{\theta}_k = P \cap \left(\bigcap_{i=1}^m G_i \right); \quad S_k = P \cap \left(\bigoplus_{i=1}^m G_i \right),$$

где m — число операций в группе Ω_k .

При групповом методе работы без переналадки групповая наладка включает все ЭПС, используемые при выполнении всех операций группы Ω_k : $\Omega_k \cup \{Э\}$, $O_i \in \Omega_k$. Граф наладки групповой операции Q_k в этом случае равен:

$$Q_k = P \cap \left(\bigcup_{i=1}^m G_i \right),$$

при условии, что $G_i \in \Omega_k$. Следовательно, $\theta_{нрп k} = Q_k$, а $S_k = 0$. При работе по единичным технологическим процессам, т.е. с полной переналадкой, $\theta_k = 0$, а $\theta_{нрп k} = S_k$.

Для оценки принимаемых решений при группировании операций используют коэффициент принадлежности операций, равный отношению возможной экономии времени на наладку в результате исключения повторяющихся этапов при переналадке ЭПС к общему времени наладки на данные операции при их выполнении с полной переналадкой:

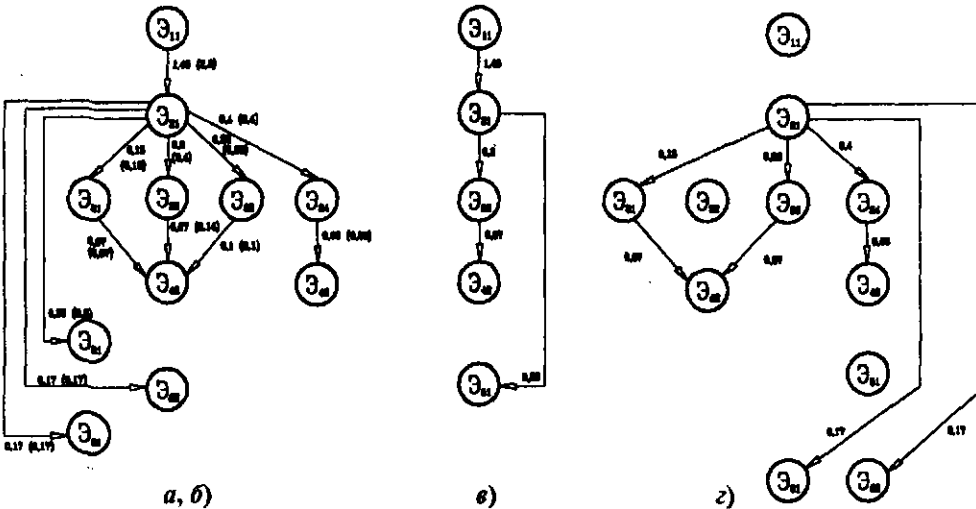


Рис. 19. Моделирование комплекса наладочных работ: а — граф $\theta_{нрп 12}$ (времена без скобок); б — граф $\theta_{нрп 12}$ (времена в скобках); в — граф общих наладочных работ $\theta_{но 12}$; з — граф индивидуальных наладочных работ S_{12}

$$K_{н ij} = \frac{T_{ни} + T_{н j} - T_{ни j} - T_{н j i}}{T_{ни} + T_{н j}} = \frac{T_{но j}}{T_{нр ij}} = \frac{C(\theta_{но j})}{C(\theta_{нр ij})}.$$

Данные формулы являются обобщенными, так как они отражают принадлежность двух операций друг к другу при любом порядке следования.

Если порядок следования операций известен, например $O_i \supset O_j$ и наладка на i -ю операцию уже выполнена ($T_{ни} = 0$, и $T_{н j i} = 0$), то формулы упрощаются:

$$K_{н j}(O_i) = \frac{T_{н j} - T_{ни j}}{T_{н j}} = \frac{T_{но j}}{T_{н j}} = \frac{C(\theta_{но j})}{C(\theta_{н j})}.$$

Распространив данные формулы на некоторое множество технологических операций Ω_k с помощью коэффициента принадлежности можно оценить их общность:

$$K_{н k} = \frac{T_{но k}}{T_{нр k}} = \frac{C(\theta_{но k})}{C(\theta_{нр k})}.$$

При этом его значение может быть в пределах от 0 до 1 ($K_n \rightarrow [0, 1]$). Для групповой обработки без переналадки $K_n = 1$. При работе по единичным технологическим процессам, т.е. с полной переналадкой $K_n = 0$.

Таким образом, с использованием модели производственной среды (МПС) по величине K_n можно оценить эффективность группирования тех или иных операций.

При синтезе технологических операций, их групп и последовательностей необходимо обеспечить использование такого множества ЭПС, при котором обеспечивается наибольшая экономия времени на переналадку. Также необходимо учитывать производственную ситуацию в каждый момент времени t , которую описывают графом:

$$\psi^t = \psi_p^t \cap \psi_o^t.$$

Среда группирования технологических операций $\psi_{гр}$ отражает исключаемые этапы наладочных работ при рассматриваемом варианте состава группы по сравнению с вариантом выполнения этих же операций с полной переналадкой:

$$\psi_{гр}^t = \left\{ \bigcap_{i=1}^m (P \cap G_i) \right\} \cap P \cap \left(\bigcup_{i=1}^m G_i \right) \cap \psi^t.$$

Среда планирования технологических операций $\psi_{пл}$ позволяет выбрать такое множество ЭПС, использование которых при групповом методе обеспечивает экономию времени на переналадку за счет упорядочения пар операций:

$$\psi_{пл}^t = P \cap \left[\left(\bigcup_{i=1}^m G_i \right) \cap \left(\bigcup_{j=1}^n G_j \right) \right] \cap \psi^t.$$

где m, n — число выполненных и назначаемых операций.

Вес графов $\psi_{гр}$ и $\psi_{пл}$ равен суммарной экономии времени наладок $T_{эп}$, ожидаемой в результате принимаемых решений по группированию операций и определению последовательности их выполнения:

$$T_{эп} = C(\psi_{гр}^t, \psi_{пл}^t).$$

Рассматривая в диалоговом режиме различные варианты состава групповых операций, технолог отдает предпочтение тем вариантам, которые обеспечивают максимальную экономию времени на наладку и переналадку оборудования.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В условиях рынка расширена номенклатура изделий, выпускаемых предприятием, поэтому необходима частая перестройка производства, нередко непредсказуемая во времени, например, из-за неожиданного появления выгодного заказа и др. В связи с этим предприятие должно быть способным к производству любых изделий, любой серийности, а это значит, что оно должно отличаться высокой гибкостью и мобильностью.

Однако большое различие в технологическом обеспечении, условиях производства и форм его организации, связанных с разнообразием изготавливаемых изделий, ограничивает предприятие в номенклатуре выпускаемой продукции. Поэтому в условиях рынка задача расширения номенклатуры выпускаемой продукции является для предприятия одной из актуальных. С другой стороны, чтобы предприятие могло быть конкурентоспособным,

оно должно переходить на выпуск нового изделия в кратчайшие сроки при минимальных издержках.

Для успешного решения указанных задач предлагается новая форма организации технологического обеспечения машиностроительного производства, в основу которого положен модульный принцип.

Модульный принцип известен давно и широко применяется в промышленности. В строительной промышленности строят дома из блоков, в судостроении корабли строят из модулей и т.д.

Применение модульного принципа показало его высокую эффективность. Однако применение этого принципа в машиностроительном производстве до сих пор осуществляется бессистемно, фрагментарно, что не позволяет использовать все его возможности в повышении эффективности производства.

Модульная технология устраняет эти недостатки и открывает путь к созданию высокоэффективного производства, способного быстро и с минимальными издержками переходить на выпуск новых изделий.

Известно, что любое множество объектов можно классифицировать по разным признакам. Выбор признаков определяется целью классификации.

При разработке типовых технологических процессов целью классификации является группирование изделий таким образом, чтобы изделия, попавшие в одну группу-тип, обладали близкими характеристиками.

На построение такой классификации большое влияние оказывает выбор объекта классификации.

Чем большим числом характеристик описывается объект, тем труднее объекты объединить в группы под один типовой процесс. Если, например, группа объектов имеет три одинаковые характеристики, то их различие по другим характеристикам может не позволить применить один технологический процесс.

Таким образом, желательно, чтобы объект был по возможности прост, т.е. описывался бы небольшим числом характеристик.

Проиллюстрируем это на примере деталей. Пусть имеется некоторое множество деталей, которое надо классифицировать так, чтобы в тип входили детали, близкие по своим характеристикам. В силу того, что деталь описывается достаточно большим числом характеристик (конструкция, геометрическая форма,

набор размеров, набор требований к качеству, марка материала), получим при большом числе разных деталей в типе значительные отклонения рабочих процессов от типового процесса или, если продолжить делить детали на более мелкие группы, большое число типов с малым числом деталей в типе. При этом надо иметь в виду, что согласно объективному закону развития исходное множество непрерывно изменяется.

Например, в каждом новом изделии примерно 20 % деталей являются оригинальными, следовательно, непрерывно будет изменяться как число типов, так и их состав.

Из изложенного следует, что объект должен быть не только по возможности простым, но и отличаться высокой устойчивостью, т.е. долгое время не изменяться. Чем дольше сохраняется объект, тем дольше можно пользоваться типовым процессом, тем выше эффективность от применения типизации.

Таким образом, объект классификации нужно искать на уровне ниже детали, так как деталь не только сложный объект, но к тому же отличается и низкой устойчивостью во времени.

Задача заключается в поиске так называемой "элементарной частицы" детали. В ряде работ в поисках такого объекта деталь рассматривают как совокупность элементарных поверхностей и в качестве объекта в одних случаях принимают элементарную поверхность, а в других случаях – набор элементарных поверхностей, объединенных возможностью его изготовления по одному технологическому процессу (т.е. приспособляясь к технологии).

В первом случае одна и та же элементарная поверхность может выполнять разные функции, и потому для одной и той же поверхности могут потребоваться разные технологические процессы.

Во втором случае на разных предприятиях в зависимости от условий конкретного предприятия одна и та же деталь может быть представлена разными наборами поверхностей.

Отсюда следует, что для придания типовым процессам межотраслевого характера должна быть обеспечена однозначность представления деталей совокупностью элементарных объектов.

Таким образом, отсюда вытекает еще одно требование к объекту – однозначность его определения.

В качестве такого элемента был предложен модуль поверхностей, положенный в основу модульной технологии.

На основе анализа выполнения деталями своего служебного назначения было установлено, что деталь выполняет свое назначение не отдельными поверхностями, а их сочетаниями, выполняющими те или иные функции. В соответствии с этим было введено понятие *модуля поверхностей* (МП), представляющего собой сочетание поверхностей, с помощью которых деталь выполняет ту или иную служебную функцию [1]. Отличительной особенностью МП является то, что сочетание поверхностей, образующих модуль, не случайно, а является необходимым для выполнения соответствующей функции. Отсюда вытекает главное достоинство МП – однозначность его формирования из числа поверхностей детали. По этому признаку любой грамотный конструктор или технолог безошибочно определит у любой детали модуль поверхностей, из которых она состоит.

С использованием МП появляется возможность единого, объективного описания изделия.

На рис. 20 приведена классификация МП, примеры конструктивного оформления каждого МП показаны на рис. 21.

Как следует из классификации МП, их номенклатура ограничена 26-ю наименованиями, что открывает широкие возможности для типизации и унификации технологического обеспечения, их изготовления. Однозначность определения МП позволяет воспользоваться их технологическим обеспечением любому машиностроительному предприятию.

Все МП делятся по служебному назначению на три класса: 14 базисных (МПБ); шесть рабочих (МНР) и шесть связующих (МПС). С помощью МПБ деталь базируется в машине или механизме, с помощью МНР деталь выполняет ту или иную рабочую функцию, например, передает крутящий момент, и с помощью МПС базисные и рабочие модули связываются в единое пространственное тело, образуя деталь.

Пользуясь приведенной классификацией МП, можно представить любую деталь как совокупность составляющих МП.

Представление любого изделия множеством МП ограниченной номенклатуры открывает широкие возможности для создания типового технологического обеспечения, отличающе-

гося высокой универсальностью. Для этого надо предварительно унифицировать характеристики типов МП каждого наименования. С этой целью для каждого типа МП разрабатывается его классификация по таким важным признакам, как размеры, точность, шероховатость. Далее под типовые МП с унифицированными характеристиками разрабатываются унифицированные модули технологического процесса их изготовления и модули технологических средств.

При изготовлении МП начинают действовать законы технологии, требующие проработки МП на технологичность, без чего нельзя построить эффективную технологию. Проработка на технологичность требует в ряде случаев объединения МП в группы, что приводит к появлению изменений в составе поверхностей в МП, его конструктивном исполнении.

Группа МП, изготавливаемых по одному модулю технологического процесса, получила название модуль поверхностей интегральный (МПИ).

Если в основу объединения МП в группы положить общность технологии их изготовления, т.е. технологические признаки, то разнообразие таких групп увеличится. На каждом предприятии в силу его конкретных производственных условий будут формировать свои МПИ. Чтобы избежать этого и создать банк типовых МПИ, МП следует объединять в группы по конструктивным признакам, отражающим их связь со служебным назначением. Такие МПИ могут применяться на любых предприятиях.

Как правило, МПИ образуются присоединением к базисным МП связующего МП или к рабочему МП связующего МП.

Каждое наименование МП или МПИ – это ограниченное множество модулей, различающихся размерами, соотношением размеров, требованиями к качеству.

Под изготовление конкретного МП или МПИ разрабатывается соответствующий *технологический модуль* (МТИ), представляющий собой часть технологического процесса. МТИ содержит перечень переходов определенной последовательности, обусловленных конструктивным оформлением МП или МПИ детали, его размерами, требованиями к качеству. По существу МТИ является планом обработки для получения заданного МП или МПИ.

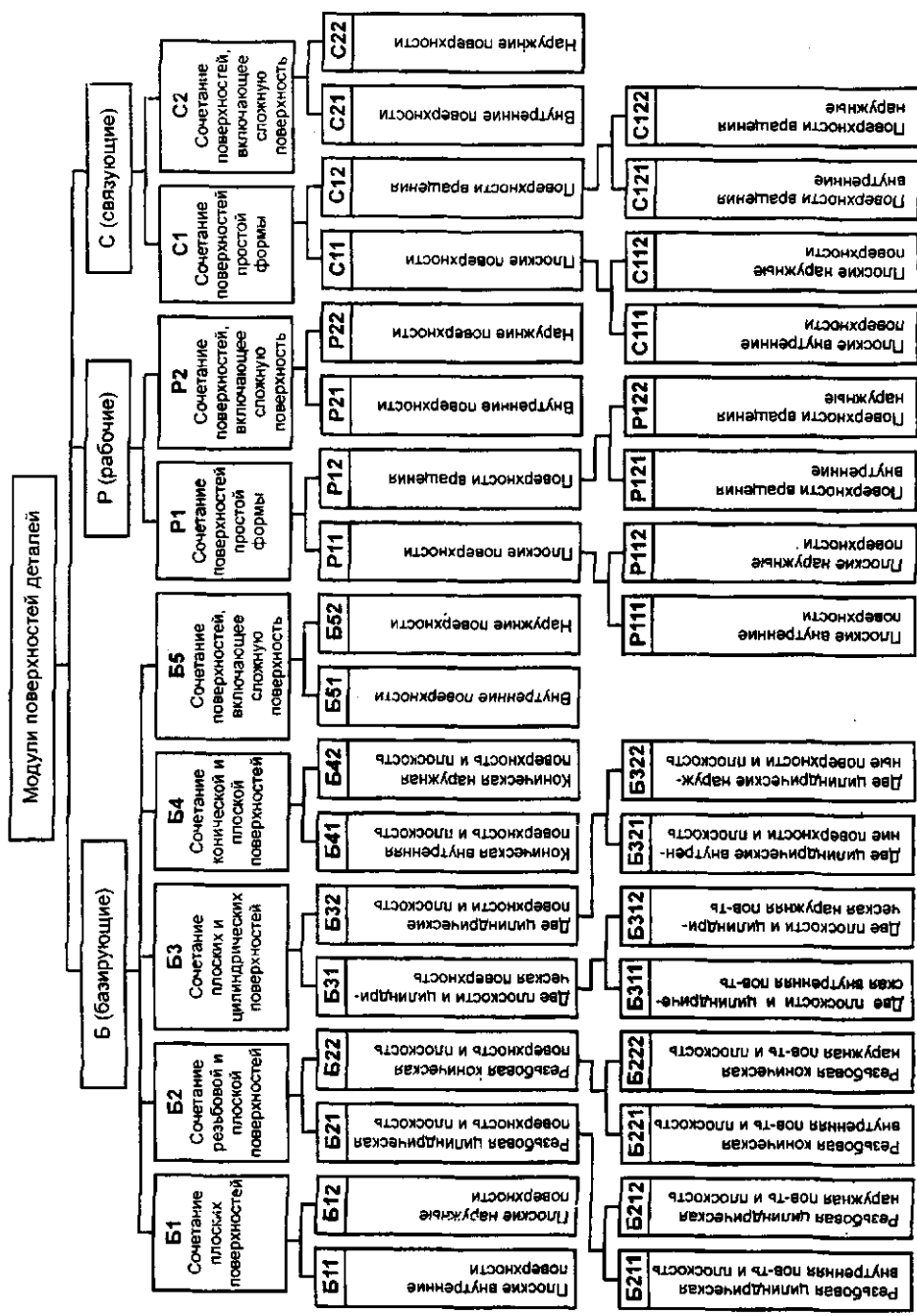


Рис. 20. Классификация МП

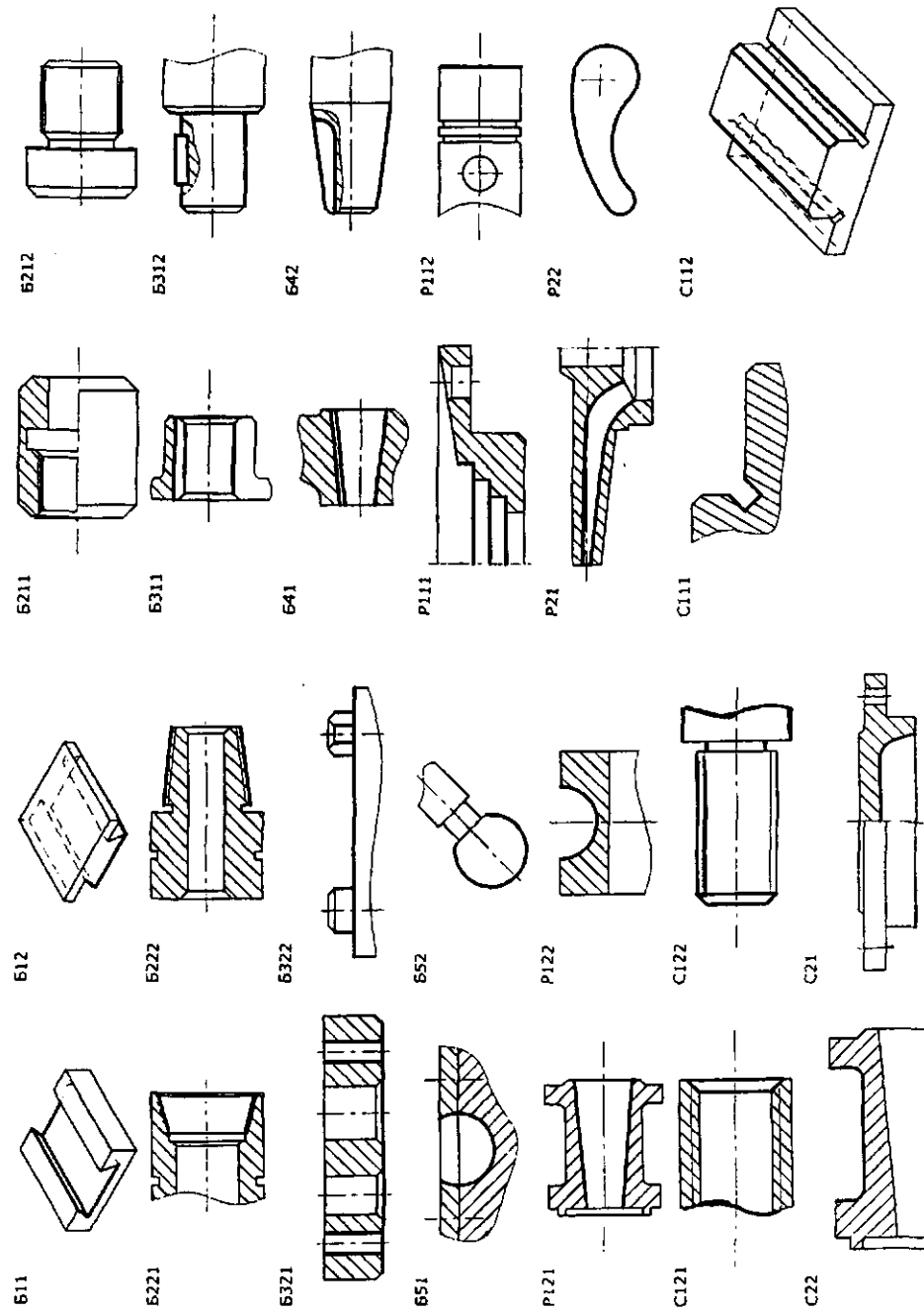


Рис. 21. Примеры конструктивного оформления МП

Под каждый типовой МТИ создается типовое технологическое оснащение в виде модуля оборудования (МО), модуля приспособления (МПр), модуля инструментальной наладки (МИ) и модуля контрольно-измерительных средств (МКИ).

Разработка модульного технологического процесса изготовления детали требует построения чертежа детали в модульном исполнении и наличия технологического обеспечения на модульном уровне.

На предприятии, где действует модульная технология, предполагается наличие технологического обеспечения, в состав которого входят МП, МТИ, МИ, МО, МПр, МКИ, и представление чертежа детали в модульном исполнении.

Построение чертежа детали в модульном исполнении

Для построения чертежа детали в модульном исполнении необходимо ее изображение и чертеж сборочной единицы, в состав которой она входит.

На основании анализа, сборочного чертежа и технической документации устанавливается служебное назначение каждой поверхности детали, которые затем объединяются в соответствующие МП.

Начинать надо с выявления МПБ, затем МПР и в последнюю очередь МПС.

Далее вычерчивается контур детали как на конструкторском чертеже, и с помощью выносных линий указываются составляющие ее МП. В качестве примера на рис. 22 показан чертеж фланца в модульном исполнении.

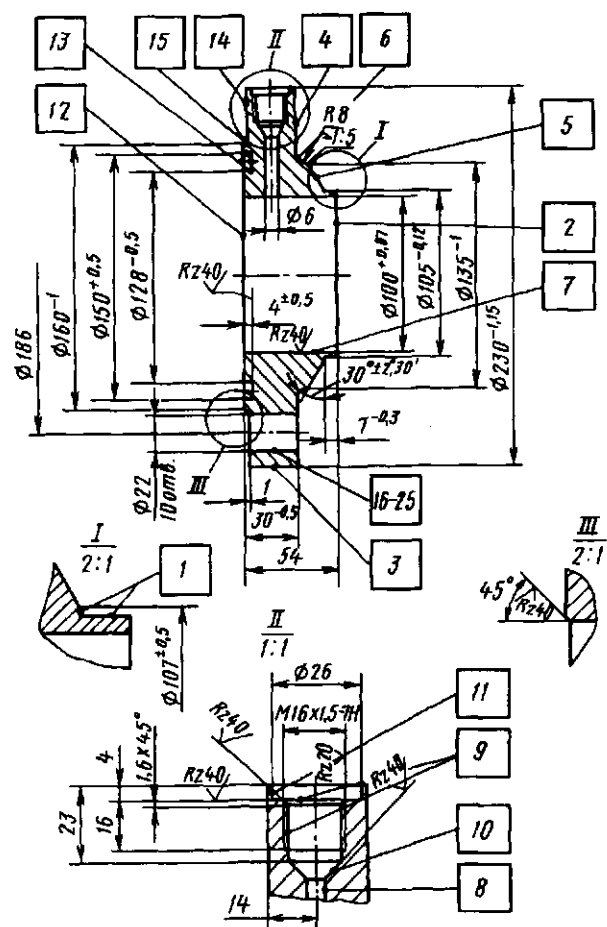


Рис. 22. Чертеж детали в модульном исполнении

Вместо традиционных на чертеже наносятся следующие размеры:

1) для координации положения МП относительно МП, выступающего в качестве его конструкторской базы (поскольку МП является пространственной фигурой, постольку для определения его положения необходимо шесть размеров – три линейных и три угловых);

2) для координации положения поверхностей, составляющих МП;

3) описывающие геометрию поверхностей, например, диаметр, ширина паза и т.п.;

4) габаритные размеры.

На рис. 23 показано условное изображение каждого вида размера.

Чтобы разгрузить чертеж от размеров, следует составить таблицу-спецификацию, в которой приводится перечень всех МП, составляющих деталь, МП конструкторских баз и шесть координирующих размеров с допусками, определяющими положение первых МП.

Разработка модулей технологического процесса (МТИ) изготовления МП, МПИ

Проектирование модульного технологического процесса изготовления детали осуществляется методом компоновки его из модулей. Под модулем технологического процесса понимается часть технологического процесса (МТИ) по изготовлению МП или МПИ.

В технологии машиностроения широко используются такие термины как технологический переход, операция. При изготовлении МП или МПИ, вследствие того, что он содержит несколько поверхностей, потребуется несколько технологических и вспомогательных переходов.

Этот набор переходов в определенной последовательности и получил название модуля технологического процесса.

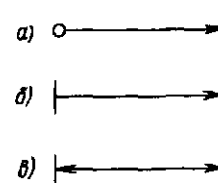


Рис. 23. Условные обозначения размеров, описывающих деталь в модульном исполнении: а – координирующий размер МП; б – координирующий размер поверхности МП; в – размер поверхности

Исходными данными для разработки МТП являются чертеж МП (МПИ), размерные и качественные характеристики МП (МПИ), материал заготовки, количество МП (МПИ) изготавливаемых в единицу времени.

В задачу разработки МТИ входит, прежде всего, выбор методов обработки каждой поверхности МП (МПИ), обеспечивающих заданную точность, шероховатость поверхностей и точность их относительного положения.

В зависимости от характера заготовки, требований к точности и качеству поверхностного слоя поверхность может быть получена в несколько рабочих ходов.

В связи с этим под МТИ понимается такая совокупность технологических и вспомогательных переходов, в которой каждая поверхность МП (МПИ) обрабатывается только за один рабочий ход.

В связи с этим появилась необходимость в таком понятии как *заготовительный модуль поверхностей* (МПз). Действительно, чтобы разработать МТИ и получить требуемые качественные характеристики МП (МПИ) детали, необходимо иметь соответствующую заготовку, в роли которой в нашем случае выступает заготовительный модуль поверхностей.

Для определения размеров МПз необходимо рассчитать значения припусков, снимаемых с каждой поверхности в один рабочий ход. Прибавляя припуски к размерам поверхностей МП (МПИ), получаем чертеж МПз.

На практике часто, чтобы из заготовки получить ту или иную поверхность детали требуемого качества, приходится припуск снимать в несколько рабочих ходов. В этом случае число заготовительных модулей, подлежащих обработке для получения МП (МПИ) детали, будет зависеть от числа рабочих ходов.

В общем виде схема заготовительных модулей для получения МП будет иметь вид:

$$\text{МП} - \text{МПз}_1 - \text{МПз}_2 - \dots - \text{МПз}_n$$

где МПз₁ – заготовительный модуль для получения МП (МПИ); МПз₂ – заготовительный модуль для получения МПз₁; МПз₃ – заготовительный модуль для получения МПз₂; МПз_n – заготовительный модуль для получения МПз_{n-1}.

В этой схеме МПз могут отличаться по своей конструкции от МП (МПИ) и друг от друга. Это зависит от конфигурации заготовки, способа получения МП (МПИ), технологических особенностей изготовления МП.

Разработка МТИ начинается с выбора методов обработки поверхностей заготовительного модуля для получения МП (МПИ). Выбираемый метод обработки должен обеспечить требуемую точность, а также качество поверхностного слоя при наивысшей производительности.

Известно, что часто одно и то же качество поверхности детали может быть получено разными методами обработки, а их выбор определяется эффективностью и типом производства. Поэтому при разработке МТИ необходимо учитывать серийность производства.

Одним из преимуществ модульной технологии является возможность использования прогрессивных технологических процессов массового производства в серийном и даже в единичном производстве. Отсюда при разработке модулей технологического процесса надо ориентироваться на методы, применяемые в крупносерийном и массовом производстве.

При разработке МТИ выбирается метод обработки для получения каждой поверхности МП (МПИ). При этом отбираются конкурирующие методы обработки при условии, что они обеспечивают заданные качественные характеристики. Весьма вероятно, что для разных поверхностей МП будут выбраны разные методы обработки. В этом случае надо учитывать размеры МП (МПИ), конкретные условия реализации данной технологии и в первую очередь станок, на котором будет осуществляться обработка. Эти условия и определяют выбор из перечня конкурирующих методов наиболее подходящего. При этом может оказаться, что разные поверхности МП (МПИ) будут обрабатываться разными методами, что потребует корректировки решения.

Далее определяются режущий инструмент, последовательность технологических переходов, назначаются режимы обработки с тем, чтобы обеспечить заданную точность обработки поверхностей МП (МПИ) по размерам, геометрической форме, уровню шероховатости относительно расположения поверхностей.

Итогом разработки МТИ является технологическая карта, где будут указаны все данные, как в операционной карте, и должны быть приведены чертежи заготовительного и получаемого модулей.

В основу разработки модульного технологического процесса положены следующие основные принципы:

1. Деталь должна быть представлена совокупностью МП и МПИ.

2. Все поверхности одного МП или МПИ должны изготавливаться на одной операции.

3. Технологический процесс должен быть индивидуальным и учитывать все особенности детали.

4. Операция модульного процесса должна компоноваться из МТИ.

Разработка модульного технологического процесса включает следующие этапы:

анализ исходных данных;
формирование интегральных модулей поверхностей;

проектирование чертежа заготовки;
разработку маршрута изготовления детали;
проектирование операций;

оформление технической документации.

Для разработки модульного технологического процесса необходимы следующие исходные данные: чертеж детали в модульном исполнении, спецификация МП, граф МП детали, банк МТИ, МТБ (модуль технологических баз, представляющий собой комплект технологических баз), МО, МИ, МПр, МКИ.

Граф размерных связей МП фланца (рис. 24) строится следующим образом. Сначала на основе анализа сборочного чертежа определяется служебное назначение каждой поверхности детали, которые затем объединяются в соответствующие МП. Далее определяется МПБ, являющийся комплектом основных баз детали и устанавливаются МП, выступающие в качестве конструкторских баз для других МП, а также вскрываются размерные связи между конструкторскими базами.

На основе этой информации строится граф, где на первом уровне располагается МПБ, выступающий в роли комплекта основных баз детали, на втором уровне размещаются МП, базой которых является МПБ первого уровня. На третьем уровне размещаются МП, базой которых являются МП второго уровня и т.д. до последнего МП.

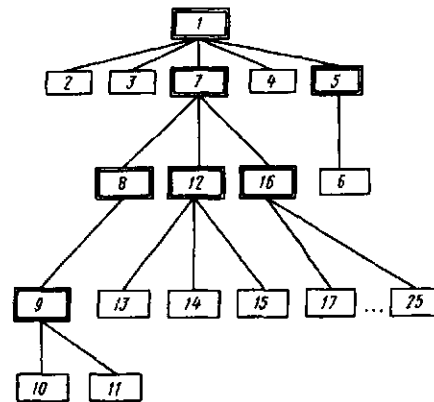


Рис. 24. Граф размерных связей МП фланца

Полученный граф МП детали показывает номенклатуру и число МП, входящих в состав детали, их конструкторские размерные связи, а приведенные на ребрах графа значения качества характеризуют уровень точности положения каждого МП относительно его конструкторской базы.

Построенный граф МП детали существенно упрощает задачу анализа, так как представляет собой достаточно емкую и обозримую информацию, в которой находит отражение уровень точности координирующих размеров, конструкторские базы, связи между МП. Это позволяет оценить требуемый уровень точности обработки, проверить правильность простановки на рабочем чертеже координирующих размеров, их избыточность или недостаточность и др.

Маршрут модульного технологического процесса должен строиться как единичный процесс, что позволяет учитывать специфику конкретной детали, ее заготовку и приблизить тем самым процесс к оптимальному.

Маршрут модульного процесса должен строиться таким образом, чтобы изготовление всех поверхностей МП или МПИ осуществлялось на одной операции и желательно за один установ. Это гарантирует высокую точность относительного положения его поверхностей.

В модульном процессе все поверхности МП, МПИ выполняются на одной операции, что упрощает размерные связи процесса и делает их в значительной степени обозримыми. Это позволяет оценить влияние изменения последовательности обработки МП, МПИ на погрешность обработки и допустимость этого изменения.

Таким образом, модульный технологический процесс приобретает гибкость, позволяя в определенных границах в случае надобности изменять последовательность операций.

Разработка маршрута модульного технологического процесса включает определение последовательности изготовления МП и МПИ детали и выбор технологических баз, установление МПИЗ по каждому МП и МПИ детали, последовательности обработки МПИЗ и формирование операций.

Определение последовательности изготовления МПИ детали и выбор технологических баз проводится на основе анализа перечня МП и МПИ детали и их размерных связей. Анализ начинается с изучения графа конструкторских размерных связей МП. Затем проводится корректировка простановки координирующих размеров на чертеже детали в

связи с формированием МПИ. Например, если МП, вошедший в состав МПИ, был координирован относительно МП, не вошедшего в состав этого МПИ, то необходимо внести соответствующие изменения в координирующие размеры.

При определении последовательности изготовления МП и МПИ детали необходимо придерживаться известных рекомендаций, по определению последовательности изготовления поверхностей детали.

Выбор комплектов технологических баз (МТБ) следует начинать с анализа конструкторских размерных связей МП детали и попытки реализовать принцип единства баз. С этой целью проводится поиск у детали такого МП, относительно которого можно обработать все или большинство МП. Граф МП, отражающий конструкторские размерные связи модулей поверхностей, помогает поиску такого модуля.

Поиск МТБ рекомендуется проводить в такой последовательности. Сначала составляют список модулей поверхностей, претендующих на роль единых технологических баз. В него включают все МП, выполняющие роль конструкторских баз. Вошедшие в этот список модули поверхностей оцениваются по числу заданных относительно них МП, уровню точности относительного положения. В итоге в качестве МТБ выбирается тот МП, относительно которого задано большее число модулей с наиболее высокими требованиями к точности их положения.

Далее оценивается возможность обработки всех МП относительно выбранного в качестве технологической базы. Если среди них окажутся МП, которые не могут быть изготовлены, например невозможен доступ к ним, или высокие требования к точности, или другие причины, то для них по той же методике выбирают в качестве технологических баз другой МП.

Так продолжается до тех пор, пока не будут определены все МТБ, обеспечивающие изготовление всех модулей поверхностей.

В итоге получается необходимый перечень модулей технологических баз (МТБ) для изготовления всех МП и МПИ детали.

Принимая во внимание все МТБ, их очередность, МП и МПИ, изготавливаемые от каждого МТБ и уровень качества модулей поверхностей, устанавливается ориентировочная последовательность изготовления последних. Эта последовательность может быть представлена в виде схемы, пример которой представлен ниже:

1МПИ - 3МП - 7МПИ - 2МП - 4МПИ
 1МТБ 1МТБ 1МТБ 2МТБ 2МТБ и т.д.

Следующим этапом является определение для каждого МП и МПИ их заготовительных модулей (МПз, МПИз). Заготовительный модуль поверхностей (МПз, МПИз) отличается от МП, МПИ величиной припуска. Чтобы определить МПз, МПИз, надо рассчитать по известной методике величины припусков на каждую поверхность каждого МП, МПИ детали.

Далее переходят к выбору МТБ на первой операции, руководствуясь известной методикой.

Как правило, сьем всего слоя материала заготовки для получения каждого МП, МПИ детали приходится осуществлять в несколько переходов. Поэтому надо установить перечни МПз по каждому из них.

Результат этого можно изобразить в виде развития предыдущей схемы изготовления МП, МПИ детали путем включения в нее под каждый МП, МПИ детали все их заготовительные модули. Для удобства записи МТБ будем указывать на верхнем уровне технологические базы, ниже МП, МПИ детали и еще ниже столбиком МПз и МПИз по каждому МП, МПИ детали, как это видно из следующей схемы:

0МТБ	1МТБ	1МТБ	1МТБ	1МТБ	1МТБ
0МПз	- 1МПИз ₂	- 1МПИз ₁	- 3МПз ₁	- 7МПИз ₂	- 7МПИз ₂
МТБ	1МПИз ₁	1МПИ	3МП	7МПИз ₂	7МПИз ₁
- 2МТБ (3МП)	2МТБ	термо- обра- ботка	3МТБ	2'МТБ	2'МТБ
- 2МПз ₂	- 4МПИз ₂	-	2МТБ	- 2МПз ₁	- 4МПз ₁
- 2МПз ₁	4МПИз ₁		2'МТБ	2МП	4МП
					7МПИ

Как следует из приведенной схемы последовательности обработки заготовки до получения готовой детали, каждая позиция состоит из трех уровней. На верхнем уровне указан модуль технологических баз, на втором уровне заготовительный модуль поверхностей, подлежащий обработке, и на третьем уровне - модуль поверхностей, который получается в результате обработки; он может быть или следующим заготовительным модулем или готовым модулем поверхности детали.

1МТБ 1МТБ 1МТБ 2МТБ 2МТБ
 1МНИ - 3МП - 7МПИ - 2МП - 4МПИ
 1МПИз₁ 3МПз₁ 7МПИз₁ 2МПз₁ 4МПИз₁
 1МПИз₂ 7МПИз₂ 2МПз₂ 4МПИз₂
 7МПИз₂

На схеме нумерация заготовительных модулей поверхностей начинается от детали.

Следующим этапом является установление последовательности обработки заготовительных модулей поверхностей до получения всех МП и МПИ. За основу принимается последняя схема последовательности получения МП, МПИ детали.

При определении последовательности обработки заготовки в нее надо включить подготовку технологических баз (1МТБ, 2МТБ, ...), учесть необходимость разделения обработки на предварительную и окончательную, осуществление термообработки, если она предусматривается, и др.

С учетом изложенного приведенная выше последовательность изготовления МП, МПИ может быть представлена следующей уточненной схемой, которая начинается с подготовки 1МТБ от комплекта технологических баз (0МТБ) первой операции, а вторым комплектом баз 1МТБ является, к примеру, модуль детали 3МП. Тогда схема последовательности обработки заготовки примет следующий вид:

На основе анализа схемы последовательности обработки МПз, МПИз необходимо объединить их в операции и, таким образом, получить маршрут модульного технологического процесса.

Маршрут обработки заготовки должен обеспечить заданное качество кратчайшим путем при наивысшей производительности и с наименьшими затратами.

Основным принципом построения маршрута модульного технологического процесса

является формирование операций по обработке не отдельных поверхностей, а модулей поверхностей. На одной операции можно обрабатывать один или несколько МПз, МПИз одного или нескольких наименований. На объединение модулей поверхностей в операции важное влияние оказывают требования к качеству и производительности обработки, тип производства, масса и габариты заготовки, ее конструктивные особенности, станки с их технологическими и техническими характеристиками.

Следующим этапом является разработка операции. В результате разработки операции должна быть выбрана схема базирования заготовки, определена последовательность обработки модулей поверхностей, рассчитаны затраты штучно-калькуляционного времени и составлена технологическая карта. Проектирование операции предполагает, что известны МП, МПИ, которые необходимо обрабатывать, и МТИ их изготовления.

Технологическая операция получается путем компоновки из модулей технологического процесса изготовления МП, МПИ.

Заканчивается разработка операции заполнением технологической карты, в которой, в отличие от операционной карты традиционного технологического процесса, указываются только последовательность обработки МПз и МПИз, МТИ их обработки и вспомогательные переходы между последними. К операционной карте должны прикладываться карты соответствующих МТИ, в которые заносятся числовые значения режимов резания, наименование и характеристики инструмента и другая необходимая информация.

Модульный технологический процесс объединяет в себе преимущества всех типов технологий, так как учитывает специфику изготавливаемой детали как единичный процесс, сохраняет типизацию решений на уровне МТИ как типовой процесс и решает задачу объединения деталей в партии по общности МП как групповой процесс, а также приобретает гибкость, позволяя в определенных границах изменять последовательность МТИ и операций.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНОБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Методы проектирования

Под автоматизацией проектирования понимают систематическое использование компьютеров для решения технологических задач.

Различают проектирование трех видов: неавтоматизированное, автоматизированное и автоматическое. При неавтоматизированном проектировании все преобразования описаний объекта и (или) алгоритма его функционирования или алгоритма процесса, а также представление описаний на различных языках осуществляет человек. При автоматизированном проектировании все вышесказанное осуществляется в результате взаимодействия человека и компьютера, а при автоматическом проектировании - без участия человека.

При автоматизированном проектировании проектировщик должен решать творческие задачи, а компьютер - задачи, функции которых связаны в основном с выполнением нетворческих или умственно-формальных процессов при проектировании.

Дальнейшее развитие теории проектирования и вычислительной техники позволяет постепенно передавать компьютеру (далее по тексту ЭВМ) решение и творческих задач.

Производительность труда технолога-проектировщика повышается: 1) совершенствованием системы проектирования, включая систематизацию самого процесса проектирования и улучшение труда проектировщиков; 2) комплексной автоматизацией нетворческих функций проектировщика в процессе проектирования; 3) разработкой имитационных моделей для автоматического воспроизведения деятельности человека, его способности принимать решения в условиях полной и частичной неопределенности создавшихся ситуаций.

По степени углубленности разработок различают несколько уровней проектирования: разработку принципиальной схемы технологического процесса, проектирование технологического маршрута обработки детали, проектирование технологических операций, разработку управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением.

Технологический процесс механосборочного производства и его элементы являются дискретными, поэтому задача синтеза заключается в определении их структуры. Если среди вариантов структуры ищут наилучший в некотором смысле, то такую задачу синтеза называют *структурной оптимизацией*.

Расчет оптимальных параметров технологического процесса или операции (перехода) при заданной структуре с позиции некоторого критерия называют *параметрической оптимизацией*. Возможности постановки и решения задач структурной оптимизации ограничены, поэтому под оптимизацией часто понимают только параметрическую оптимизацию. Следо-

вательно, параметрическая оптимизация – это определение таких значений параметров x , при которых некоторая функция $F(x)$, называемая целевой, или функцией эффективности, принимает экстремальное значение.

На каждом уровне процесс технологического проектирования (проектирование технологических процессов и их оснащение) представляется как решение совокупности задач (рис. 25).

При решении технологической задачи взаимодействие технолога-проектировщика с ЭВМ представляет процесс обмена информацией в определенном режиме. Различают два основных режима: *пакетный* (автоматический) и *диалоговый* (оперативный).

При пакетном режиме технолог-пользователь и программист, как правило, не имеют прямой связи с ЭВМ. Тексты программ, результаты их проверки и решения технологической задачи передаются через оператора машины. Пакет прикладных программ представляет комплекс программ, работающих под управлением программы-монитора, и предназначен для решения определенного класса близких друг другу технологических задач, например проектирование технологического маршрута обработки деталей определенного класса (группы), сборки узлов и сборочных операций заданного типа.

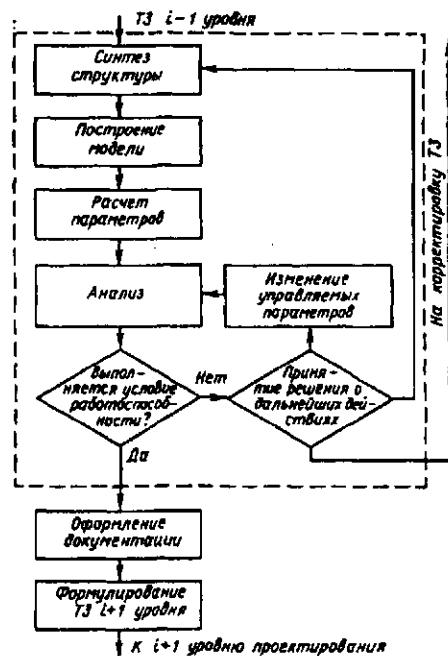


Рис. 25. Схема процесса проектирования на i -м уровне

При оперативном режиме технолог – проектировщик – пользователь непосредственно связан с ЭВМ через индивидуальный терминал или абонентский пункт (пишущую машинку, телетайп, дисплей). Он получает сообщение ЭВМ достаточно быстро, через интервал времени, не нарушающий естественного хода его мысли. Диалоговый режим целесообразно применять тогда, когда этот метод является единственным или он эффективен.

Диалоговый режим эффективен при решении творческих задач, когда требуется зрительский подход (распознавание геометрических образов деталей, размерных и топологических связей между элементарными геометрическими образами с целью оптимального выбора схем базирования, проектирование маршрута обработки, сборки и др.). Эти и многие другие задачи могут быть решены эффективно лишь путем синтеза творческих процессов человека и "способностей" машинных программ.

Вместе с тем при диалоговом режиме значительно увеличиваются затраты на создание программного обеспечения, возрастают затраты на проектирование. Можно создавать пакеты программ, позволяющих накапливать опыт проектирования и формировать алгоритмы классификации, генерирования понятий, поведения. Поэтому возникла и решается задача создания автоматизированных систем проектирования технологических процессов в режиме диалога с последующим переходом к пакетному (автоматическому) режиму более высокого уровня путем использования программ обучения.

Характеристики и основные принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП)

К числу наиболее сложных и наукоемких систем в современной технике относят системы автоматизированного проектирования (САПР), разработка которой включает следующие основные задачи:

анализ процессов технологического проектирования (разработка технологических процессов ТП и средств оснащения), алгоритмизация проектных задач на базе методов оптимизации, математического моделирования, дискретной математики, искусственного интеллекта;

разработка программных комплексов для решения задач проектирования производственных и технологических систем; создание проектов САПР, включая выбор и адаптацию программных и технических средств, разработку операционных сред САПР.

Все рассмотренное выше является комплексом задач, решаемых разработчиком САПР при участии специалиста в предметной области (технолога-машиностроителя).

При создании систем автоматизированного проектирования (САПР), в том числе проектирования технологических процессов, учитывают ряд положений.

САПР создается как система, в которой проектирование ведется с помощью ЭВМ.

САПР строится как открытая развивающаяся система. САПР разрабатывают продолжительное время, поэтому экономически целесообразно вводить ее в эксплуатацию по частям по мере готовности. Созданный базовый вариант системы может расширяться. Кроме того, возможно появление новых, более совершенных математических моделей и программ, изменяются также и объекты проектирования.

САПР создается как иерархическая система, реализующая комплексный подход к автоматизации на всех уровнях проектирования. Так, в САПР технологических процессов обычно включают подсистемы структурного, функционально-логического и элементного проектирования (разработки принципиальной схемы технологического процесса, проектирования маршрута, проектирования операции, разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ). Иерархическое построение САПР относится также к специальному программному обеспечению и к техническим средствам (центральный вычислительный комплекс и автоматизированные рабочие места).

САПР представляет собой совокупность информационно-согласованных подсистем. Обслуживание всех или большинства последовательно решаемых задач ведется информационно-согласованными программами. Плохая информационная согласованность приводит к тому, что САПР превращается в совокупность автономных программ.

САПР должна быть инвариантной системой, т.е. универсальной или типовой. Структурными частями САПР являются подсистемы. Подсистема – выделяемая часть системы, с помощью которой можно получить законченные результаты проектирования. Каждая подсистема содержит элементы обеспечения. Пре-

дусматриваются следующие обеспечения автоматизированного (автоматического) проектирования:

методическое обеспечение – совокупность документов, устанавливающих состав и правила отбора и эксплуатации средств обеспечения проектирования, необходимых для выполнения автоматизированного проектирования;

информационное обеспечение – совокупность сведений, необходимых для выполнения проектирования, представленных в заданной форме;

математическое обеспечение – совокупность математических методов математических моделей и алгоритмов, необходимых для проектирования, представленных в заданной форме;

лингвистическое обеспечение – совокупность языков проектирования, включая термины и определения, правила формализации естественного языка и методы сжатия и развертывания текстов, необходимых для проектирования, представленных в заданной форме;

программное обеспечение – совокупность машинных программ, необходимых для проектирования, представленных в заданной форме; программное обеспечение делят на две части:

1) общее программное обеспечение (*операционная система*), которое необходимо для функционирования ЭВМ;

2) специальное программное обеспечение, которое включает все программы решения конкретных проектных задач;

техническое обеспечение – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих технических средств, предназначенных для проектирования. К техническому обеспечению предъявляются следующие требования: достаточность вычислительных ресурсов (производительность и емкость памяти) для решения всех основных проектных задач; приближенность к рабочим местам проектировщиков, создание дружественного интерфейса пользователь-ЭВМ; обеспечение коллективного выполнения проектирования. Главное направление ускорения вычислений в современных ЭВМ – *распараллеливание вычислений*. Высокопроизводительные вычисления требуются, в частности, для обработки графической информации в *интерактивном (в реальном масштабе времени) режиме* при разработке конструкторско-технологической документации;

организационное обеспечение – совокупность документов, устанавливающих состав

проектной организации и ее подразделений, связи между ними, их функции, а также форму представления результата проектирования и порядок рассмотрения проектных документов, необходимых для выполнения проектирования.

Основные виды перечисленных обеспечений требуют разработки баз данных и, как следствие, их дальнейшего развития и интеллектуализации – *разработку баз знаний*.

База данных (БД) – структурированная совокупность данных. Наименьшая единица описания данных называется элементом описания. Совокупность элементов описания, объединенных отношением принадлежности к одному описываемому объекту, называемому записью. Если элементы описания соответствуют отдельным свойствам объекта, то запись описывает объект в целом. Например, код типа операции, логическая функция, коэффициент разветвления в совокупности составляют запись и описывают свойства конкретного объекта – технологической операции.

Система управления базами данных (СУБД) состоит из языковых и программных средств, предназначенных для создания и использования базы данных прикладными программами, а также непосредственно пользователями-непрограммистами.

Банк данных (БНД) – совокупность базы данных и системы управления базами данных (например, нормативно-технологическая информация).

Переход от данных к знаниям – логическое следствие развития и усложнения информационных структур, обрабатываемых на ЭВМ (например, методики выбора маршрутов обработки, параметров технологических операций и т.д.). Основными отличиями знаний и данных являются:

1) **интерпретируемость** означает то, что данные, помещенные в ЭВМ, могут содержательно интерпретироваться лишь соответствующими программами. В отрыве от программы данные не несут никакой содержательной информации. Знания отличаются тем, что возможность содержательной интерпретации присутствует в них всегда;

2) наличие классифицирующих отношений заключается в следующем: несмотря на разнообразие форм хранения данных, возможности компактного описания всех связей между различными типами данных ограничены;

3) **ситуативные связи** определяют ситуативную совместимость отдельных событий или фактов, хранимых или вводимых в память, и позволяют строить процедуры анализа знаний.

При автоматизированном проектировании оптимальных технологических процессов механосборочного производства нужно учитывать:

1) системность автоматизированного проектирования на основе характера и взаимосвязи факторов, влияющих на построение технологического процесса, определяющих обеспечение заданного качества изготавливаемых изделий и экономическую эффективность разрабатываемой технологии;

2) оптимизацию проектируемого технологического процесса, предусматривающую комплексную взаимосвязь его структуры, параметров качества изготавливаемого изделия и режимов обработки;

3) рациональное сочетание типовых и индивидуальных технологических решений на всех уровнях проектирования.

Повышение уровня типизации, унификации и стандартизации при разработке технологических процессов во многом определяет эффективность автоматизированного проектирования.

Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) включает проектирование технологических процессов как заготовительного производства, так и обработки резанием и сборки, проектирование технологической оснастки, специального инструмента и нестандартного оборудования.

Под **рабочим процессом в информационной системе** понимают преобразование входных данных в выходные. В данной подсистеме это означает преобразование информации о детали, представленной в виде чертежа, в технологическую документацию. Обычно этот процесс включает:

разработку принципиальной схемы технологического процесса; проектирование технологического маршрута обработки детали;

проектирование технологических операций с выбором оборудования, приспособлений и инструмента, а также с назначением режимов резания и норм времени; разработку управляющих программ для станков с ЧПУ;

расчет технико-экономических показателей технологических процессов;

разработку необходимой технологической документации.

Непосредственное участие проектировщика позволяет принимать решения об оптимальном распределении функций между ЭВМ и человеком. Другим важным и необходимым

элементом рабочего процесса является *информационное обеспечение* – характеристика обрабатываемых материалов, каталоги станочного оборудования, режущего и измерительного инструмента и т.д.

Функционирует множество систем проектирования ТП: информационно-поисковые системы, основанные на адресации деталей к унифицированным ТП (типовым и групповым ТП), которая позволяет формировать базы данных по технологическому оснащению, типовым деталям и т.п.; большая группа систем основана на синтезе структуры ТП из обобщенной структуры (рис. 26). Обобщенная структура M_y , состоящая из типовых индивидуальных маршрутов M_i , представляется как пересечение множеств $M_y = \cup M_i$ и $M_i \subset M_y$. Необходимым условием включения индивидуального маршрута M_k в обобщенную структуру является наличие непустой области пересечения M_y и M_k . Учитываются условия назначения операций (переходов) в маршруты. *Модель эксперта* включает алгоритмы выделения ТП (маршрута или операции) из обобщенной структуры для конкретных условий по определенным правилам (машина вывода).

Выделение конкретной структуры из обобщенной происходит по нисходящим, восходящим и комбинированным направлениям. Предложенные автоматизированные системы САПР ТП являются многоуровневыми от разработки принципиальной схемы технологического процесса до подготовки УП для изготовления деталей на станках с ЧПУ. В частности

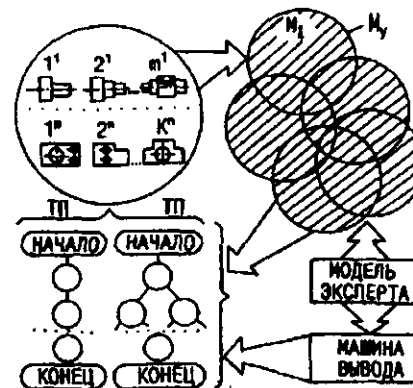


Рис. 26. Схема синтеза структуры (структурного технологического маршрута) из обобщенной структуры

такие системы основываются: на многошаговом синтезе; использовании таблиц применимости; на поэтапном преобразовании описания изделия в описание технологического процесса изготовления этого изделия; на основе иерархической системы, математического моделирования на различных уровнях абстрагирования (САПР сборки).

Основными уровнями технологического проектирования процессов сборки в системе являются: выбор схемы базирования; определение конструктивной схемы сборочного приспособления; определение последовательности установки сборочных единиц; проектирование технологических процессов сборки.

Структурный синтез

В основе решения задач структурного синтеза различной сложности лежит перебор вариантов счетного множества. При переборе каждая проба включает: создание (поиск) очередного варианта, принятие решения о замене ранее выбранного варианта новым и продолжение или прекращение поиска новых вариантов.

Задачи структурного синтеза при автоматизированном технологическом проектировании зависят от уровня сложности. В наиболее простых задачах синтеза (первого уровня сложности) задаются структурой технологического процесса или его элементов (операции, перехода). В этом случае часто используют таблицы применимости (*табличные модели*).

Для полного перебора вариантов структуры из конечного множества необходимо задавать перечень всех элементов этого множества (*второй уровень сложности структурного синтеза*). Такой перечень создается в виде каталога типовых вариантов структуры, например, типовых технологических маршрутов. Тогда для данного класса (группы, подгруппы или вида) деталей устанавливается так называемый обобщенный маршрут (*обобщенная структура*) обработки. Он включает перечень операций обработки, характерный для определенного класса, подкласса или группы деталей. Перечень является упорядоченным и представляет собой множество существующих индивидуальных маршрутов. Эти маршруты имеют типовую последовательность и содержание, причем для предприятия или отрасли они отражают передовой производственный опыт.

Важной характеристикой (критерием оптимальности) формирования обобщенного маршрута является мощность пересечения множества ($M_{пер}$) операций индивидуальных маршрутов [число одинаковых операций, входящих в это пересечение без учета отношения порядка элементов (операций) множества]:

$$|M_{пер}| = \bigcap_{i=1}^n M_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \rightarrow \max,$$

тогда мощность обобщенного маршрута должна стремиться к минимуму:

$$|M_y^*| = \bigcap_{i=1}^n M_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \rightarrow \min,$$

где \cap, \cup – знаки пересечения и объединения множеств.

Каждой операции обобщенного маршрута соответствует логическая функция. Логическая функция зависит от условий, учитывающих геометрические особенности поверхностей, вид заготовки, требуемую точность обработки, качество поверхностного слоя детали, размер партии, габариты деталей.

В общем случае логическая функция выбора k -й операции

$$f_k = \bigvee_{j=1}^{n_2} \left(\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i \right)_j,$$

где A_i – условие по справочнику условий для класса (группы) деталей; $i = 1, 2, \dots, n_1$ – число условий, связанных конъюнкцией; $j = 1, 2, \dots, n_2$ – число условий, связанных дизъюнкцией.

Тогда логическая функция, определяющая обобщенный маршрут,

$$\Phi \equiv \bigvee_{k=1}^{n_3} \left(\bigvee_{j=1}^{n_2} \left(\bigwedge_{i=1}^{n_1} A_i \right)_j \right)_k, \quad (9)$$

где $k = 1, 2, \dots, n_3$ – число кодов C_k операций в обобщенном маршруте; код операции характеризует вид операции (токарные, фрезерные и т.д.) и особенности операции (например, обработка в центрах, патроне, люнете и т.д.); \wedge – знак "И" – логическое произведение (конъюнкция); \vee – знак "ИЛИ" – логическая сумма (дизъюнкция); \bigvee – знак "ЛИБО" – логическая сумма (дизъюнкция).

Синтез индивидуальных технологических маршрутов осуществляется путем их выделения из обобщенного маршрута. Исходными данными для такого выделения являются условия L^k , характерные для конкретной детали класса (группы). Обобщенный маршрут содержит элементарные логические функции, соответствующие каждой операции:

$$f_k = \left\{ \bigvee_{j=1}^{n_2} \left(\bigwedge_{i=1}^{n_1} (A_i)_j \right) \right\}_k,$$

где $k = 1, 2, \dots, n$ – число операций в обобщенном маршруте. Схема алгоритма решения данной задачи представлена на рис. 27. Блок 1 вызывает обобщенный маршрут обработки деталей с кодами операций и логическими функциями f_k . Блок 2 осуществляет вызов условий, характерных для данной детали L^k (например, особенности геометрии, точность, качество поверхностного слоя, требования к контролю и др.). Блок 3 производит вызов k -й операции обобщенного маршрута M_k^* с логической функцией f_k . Если логическая операция $f_k = 1$, то один из наборов логической функции f_k

$$\left(\bigwedge_{i=1}^{n_1} (A_i)_j \right) = L^k.$$

Если $f_k = 0$, то из блока 5 дается команда на вызов следующей операции обобщенного маршрута M_{j+1}^* до тех пор, пока не будут рассмотрены все операции M_k^* .

При третьем уровне сложности структурного синтеза решаются задачи выбора варианта структуры в множестве с большим, но конечным результатом известных вариантов. Для решения таких задач используют: алгоритмы направленного перебора (например, алгоритмы дискретного линейного программирования), алгоритмы последовательные, итерационные и др.; сведение задачи к полному перебору путем ограничения области поиска на стадии формирования исходных данных. Например, оптимизация плана обработки поверхности представляет задачу структурного синтеза, когда выбор варианта плана происходит во множестве с большим, но конечным количеством известных вариантов. Для поиска оптимального варианта используют алгоритмы дискретного программирования, находят условия, которым должен

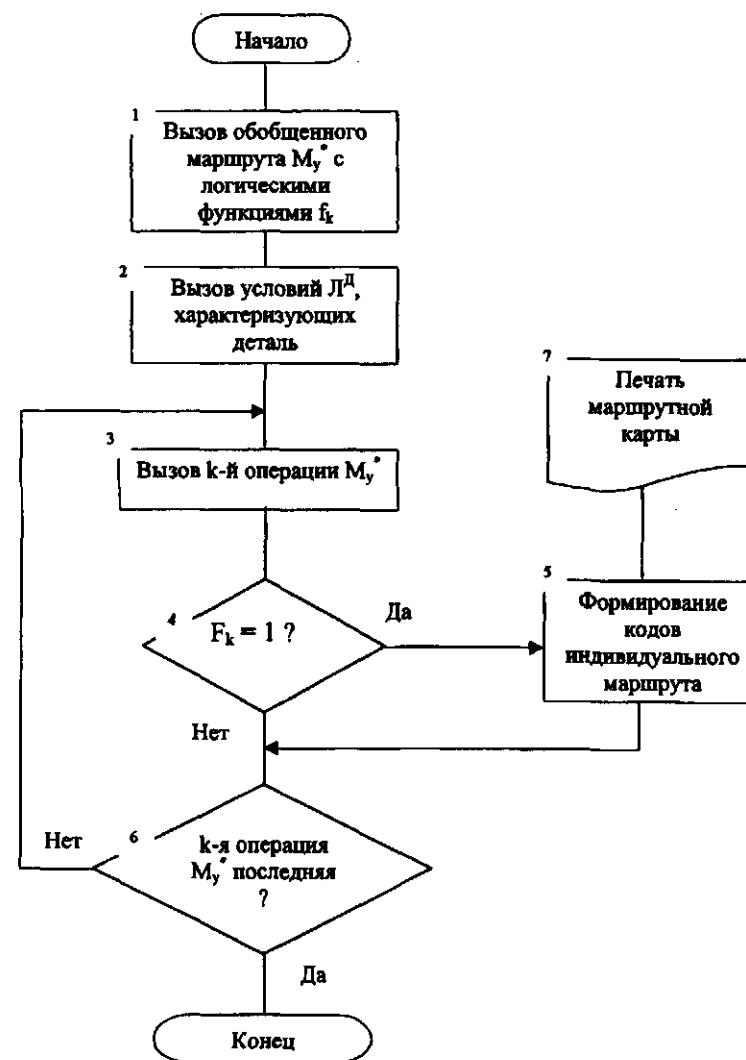


Рис. 27. Алгоритм синтеза маршрута (маршрутов) из обобщенной структуры

удовлетворять оптимальный многошаговый процесс принятия решений.

Подобный анализ называют динамическим программированием. Оптимальная стратегия обладает тем свойством, что, каков бы ни был путь достижения некоторого состояния (технологического перехода), последующие решения должны принадлежать оптимальной стратегии для части плана обработки поверхности, начинающегося с этого состояния (технологического перехода). Для того, чтобы учесть сформулированный принцип оптимальности, можно использовать следующие обо-

значения: $f_n(p_i)$ – технологическая себестоимость, отвечающая стратегии минимальных затрат для плана обработки от технологического перехода p_i до последнего перехода (если до него остается n шагов); $j_n(p_i)$ – решение, позволяющее достичь $f_n(p_i)$.

Общей особенностью всех моделей динамического программирования является сведение задач принятия решения к получению рекуррентных соотношений, которые можно представить как

$$f_n(p_i) = \min[C_{p_i} + f_{n-1}(p_i)], \quad (10)$$

где C_{p_i} – технологическая себестоимость при выполнении технологического перехода p_i .

Возможные варианты плана обработки поверхности представляют собой сеть или граф. Рекуррентное соотношение (10) позволяет из множества сформированных вариантов выбрать один или несколько лучших с указанием глубин резания, подачи и скорости резания по технологическим переходам, а также заготовку.

К третьему уровню сложности структурного синтеза технологического процесса и его элементов также относятся задачи целочисленного программирования; при этом программировании к требованиям линейности критерия и ограничений добавляется условие целочисленности переменных. Например, имеющуюся совокупность $\{p\}$ переходов необходимо распределить по позициям станка (вертикального и горизонтального многшпиндельных токарных полуавтоматов, пруткового автомата и др.), для чего вводят переменные

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й переход выполняется на} \\ & j\text{-й позиции;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где $i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m$.

Учитывают основные группы ограничений, связанных:

1) с необходимостью закрепления определенных переходов за позициями станка:

$$\sum_{j \in A_i} x_{ij} = 1,$$

где A_i – множество индексов позиций, на которых может быть выполнен i -й переход;

2) с требованием определенной очередности выполнения переходов:

$$x_{ij} \leq \sum_{v=1}^j x_{i'v} \quad \text{для всех } i' \in B_i; j \in A_i, \quad (11)$$

где B_i – множество индексов переходов, без выполнения которых нельзя выполнить переход с индексом i ;

3) с возможностью совмещения нескольких переходов на одной позиции $\sum_i x_{ij} \leq k$, при котором суммирование ведется по индек-

сам рассматриваемых переходов. Целое число k означает количество совмещенных на одной позиции переходов.

Если при указанных ограничениях требуется найти минимум целевой функции

$$Z = \sum_i \sum_j C_{ij} x_{ij}, \quad (12)$$

где C_{ij} – себестоимость i -го перехода на позиции j , то задача целочисленного программирования с булевыми переменными может быть решена методом частичного перебора (аддитивный алгоритм).

Задачи структурного синтеза четвертого уровня сложности (выбор вариантов во множестве с заранее неизвестным числом элементов или вообще в бесконечном множестве) решаются при активном участии технолога-проектировщика и реализуются в режиме диалога с ЭВМ. Например, при проектировании инструментальной наладки для пруткового автомата в режиме диалога устанавливается определенный порядок взаимодействия технолога и машины (рис. 28). Технолог, работающий в режиме диалога с ЭВМ, выбирает такой вариант структуры, который представляет собой оптимальный компромисс между производительностью работы автомата и вероятностью

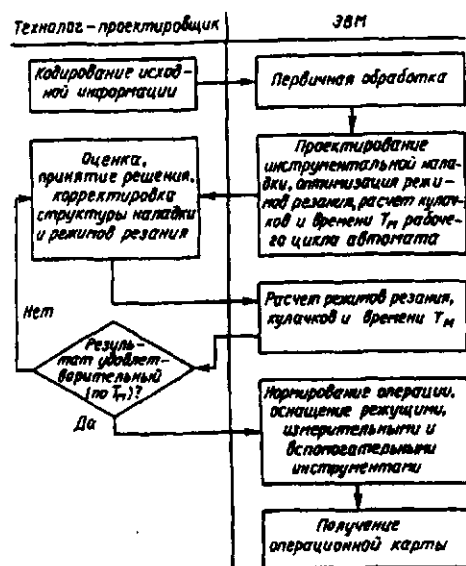


Рис. 28. Схема взаимодействия технолога-проектировщика и ЭВМ при проектировании автоматной операции

обеспечения заданного качества обрабатываемой детали. ЭВМ помогает технологу принять решение об изменении структуры, рассчитав по программе режимы резания и производительность автомата.

Общую трудоемкость проектирования наладки можно уменьшить с помощью перехода от диалогового режима к пакетному. Подобные задачи решают путем применения процедур обучения (процедур формирования понятий). В качестве процедур обучения используют программы распознавания и классификации. При этом происходит перераспределение рутинной и творческой работы при использовании пакетного режима более высокого уровня, технолог занимается подготовкой исходных данных и проверяет окончательный результат.

Пятый, самый сложный, уровень структурного синтеза направлен на создание принципиально новых технологических процессов и решается так называемым поисковым конструированием (искусственный интеллект).

Одним из путей поискового конструирования является использование метода эвристических приемов: 1) уяснение или формулирование ТЗ; 2) выбор одного или нескольких аналогов (прототипов) технологического процесса; 3) анализ прототипов, выявление их недостатков и формулирование постановки задачи в виде ответов на вопросы: а) какие показатели качества в прототипе синтезирующего технологического процесса и насколько желательно их улучшить? б) какие новые параметры качества детали должен обеспечить создаваемый технологический процесс и какие параметры качества должен утратить рассматриваемый прототип? 4) решение задачи.

Большие трудности, возникающие при поисковом конструировании и эвристическом программировании привели к появлению экспертных систем. В основе экспертных систем лежит база данных, используемая экспертом (технологом-пользователем) в режиме диалога. Недостатком таких систем явилась зависимость качества проектных технологических решений (в частности, проектирование маршрутной и операционной технологий) от уровня подготовки эксперта. Другой недостаток заключается в ограничении круга решаемых задач их размерностью.

Необходимость повышения уровня интеллектуализации автоматизированного процесса синтеза технологических решений при высоких размерностях решаемых задач потре-

бовало разработку принципиально новых решений, одним из которых явилось создание и использование метода генетических алгоритмов.

Применение генетических алгоритмов предполагает отображение возможной структуры технологического процесса в виде хромосомы (фреймов), состоящей из генов (полей). Каждый ген является аналогом операции в технологическом маршруте.

При формировании структуры технологического процесса используется набор эвристических правил, позволяющий эффективно формировать конкретные структуры. Оценка эффективности проводится на основе расчета значений целевой функции и анализа полученных результатов. Реализация такого подхода осуществляется на основе алгоритма, представленного на рис. 29.

Совокупность возможных структур технологического процесса, представленная в виде хромосом, образует популяцию. Процесс решения задачи сводится к формированию новых популяций путем модификации предыдущих.

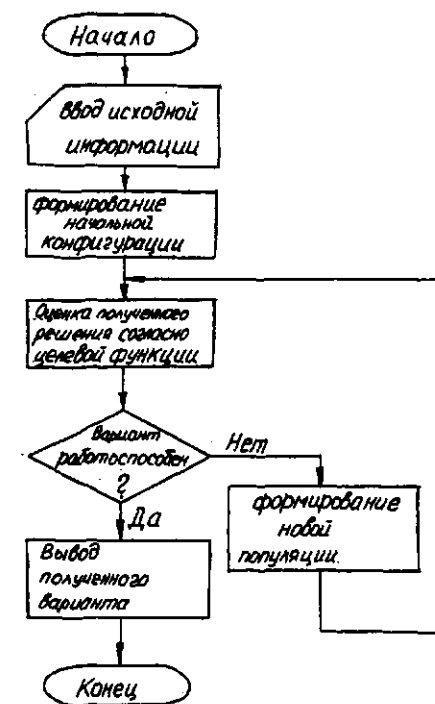


Рис. 29. Алгоритм формирования технологического маршрута (маршрутов) с использованием генетических алгоритмов

Модификация основана на формировании новых хромосом путем скрещивания лучших (согласно целевой функции) хромосом из предыдущей популяции. Это позволяет достаточно быстро находить работоспособный вариант при решении задач высокой размерности.

Математические модели

Под *математической моделью (ММ)* технологического процесса и его элементов понимают систему математических соотношений, описывающих с требуемой точностью изучаемый объект и его поведение в производственных условиях. При построении математических моделей используют различные математические средства описания объекта – теорию множеств, теорию графов, теорию вероятностей, математическую логику, математическое программирование, дифференциальные или интегральные уравнения и др.

К математическим моделям предъявляют требования высокой точности, экономичности и универсальности. Экономичность математических моделей определяется затратами машинного времени (работы ЭВМ). Степень универсальности математических моделей определяется возможностью их использования для анализа большего числа технологических процессов и их элементов. Требования к точности, экономичности и степени универсальности математических моделей противоречивы. Поэтому необходимо иметь удачное компромиссное решение.

Основные признаки классификации и типы ММ, применяемые в САПР, приведены в следующей таблице:

Признак классификации	Математические модели
Характер отображаемых свойств объекта	Структурные, функциональные
Принадлежность к иерархическому уровню	Микроуровня, макроуровня, метауровня
Степень детализации описания внутри одного уровня	Полные, макро-модели
Способ представления свойств объекта	Аналитические, алгоритмические, имитационные
Способ получения модели	Теоретические, эмпирические

По характеру отображаемых свойств объекта ММ делятся на структурные и функциональные.

Структурные ММ предназначены для отображения структурных свойств объекта. Различают структурные ММ топологические и геометрические.

Описание математических соотношений на уровнях структурных, логических и количественных свойств принимает конкретные формы в условиях определенного объекта. Например, множество параметров, влияющих на выбор скорости резания при различных методах обработки, можно представить в виде

$$M_v = \{T_n, m, t, s, d, B, c_v, k_v, x_v, y_v, z_v, r_v\}, \quad (13)$$

где T_n – стойкость инструмента, мин; m – показатель относительной стойкости инструмента; t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об (мм/зуб, мм/дв.ход, мм/мин); d – диаметр обрабатываемой поверхности или диаметр инструмента; B – ширина обрабатываемой поверхности, мм; c_v – коэффициент, характеризующий условия обработки; k_v – поправочный коэффициент на скорость резания; x_v, y_v, z_v, r_v – показатели степени.

Логические соотношения между приведенными выше параметрами и скоростью резания v имеют вид

$$v = T_n \wedge m \wedge c_v \wedge k_v [(t \wedge x_v) \vee (s \wedge y_v) \vee (d \wedge z_v) \vee (B \wedge r_v)], \quad (14)$$

причем T_n, m, c_v и k_v всегда истинны, а истинные значения других переменных зависят от метода обработки резанием.

Формулы количественных соотношений между параметрами с учетом истинности их логических значений имеют вид:

$$v = \frac{c_v k_v}{T_n^m t^{x_v} s^{y_v}}; \quad (15)$$

при сверлении

$$v = \frac{c_v k_v d^{z_v}}{T_n^m s^{r_v}}. \quad (16)$$

и т.д. Следовательно, формулы (13) – (16) представляют математические модели расчета скорости резания на различных уровнях абстрагирования.

При технологическом проектировании на различных уровнях абстрагирования используют структурные, структурно-логические модели или теоретические модели.

Структурные или структурно-логические модели согласно ГОСТ 14.416-83 подразделяются на табличные, сетевые и перестановочные, которые определяются строками булевой матрицы:

$$[S_i \times F(S)] = \begin{matrix} F_G & F_n & F_\lambda & F_a \\ 1 & 1 & 1 & 1 & S_1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & S_2 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & S_3 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & S_4 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & S_5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & S_6 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & S_7 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & S_8 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & S_9 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & S_{10} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & S_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{12} \end{matrix}, \quad (17)$$

где S_i – свойства моделей, влияющих на содержание проектирования; $F(S)$ – набор свойств; F_G – набор свойств, если все графы объектов A_k , проектируемых по данной модели, суть простые пути или цепи $F_G = 1$ и $F_G = 0$ в противном случае; F_n – набор свойств, учитывающих число элементов во всех вариантах объектов A_k ($F_n = 1$ – число элементов a_i одинаково, $F_n = 0$ в противном случае); F_λ – набор свойств, учитывающих отношение между любыми элементами объекта $a_i a_j \in A_k$ во всех вариантах объектов A_k ($F_\lambda = 1$ отношение не меняется, $F_\lambda = 0$ – в противном случае); F_a – набор свойств, учитывающих состав элементов a_i в A_k ($F_a = 1$ – состав одинаков, $F_a = 0$ в противном случае).

В матрице (17) модели класса S_1 называют табличными. В *табличной* модели каждому набору свойств $F(A_k)$ соответствует единст-

венный вариант проектируемого объекта A_k . Поэтому табличные модели используют для поиска стандартных, типовых или готовых проектных решений. Модели остальных классов применяют для получения типовых унифицированных и индивидуальных проектных решений при наличии их вариантов и необходимости оптимизации решения.

Модели классов S_2, S_5, S_7, S_8 и S_{11} называют *сетевыми*. Структура элементов сетевой модели описывается ориентированным графом, не имеющим ориентированных циклов. В этой модели может содержаться несколько вариантов проектируемого объекта A_k , однако во всех вариантах сохраняется неизменным соотношение порядка между входящими элементами.

Модели классов $S_3, S_4, S_6, S_9, S_{10}$ и S_{12} называют *перестановочными*. Соотношение порядка между элементами проектируемого объекта A_k в перестановочных объектах обычно задается с помощью графа, содержащего ориентированные циклы, причем все варианты объектов A_k , проектируемые по перестановочным моделям, различаются порядком между элементами, входящими в них.

Объектом проектирования A_k может быть технологический процесс, операция или технологический переход.

Если рассматривать технологический процесс в качестве объекта проектирования, то операции будут элементами. При проектировании операции элементами будут технологические переходы.

Если A_k должен содержать фиксированный набор элементов $a_i \in A$, то

$$A_k = a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_i \wedge \dots \wedge a_n = \bigwedge_{i=1}^n a_i;$$

если A_k может содержать любой элемент $a_i \in A$, то

$$A_k = a_1 \vee a_2 \vee \dots \vee a_i \vee \dots \vee a_n = \bigvee_{i=1}^n a_i;$$

а если какой-либо единственный элемент $a_i \in A$, то

$$A_k = a_1 \nabla a_2 \nabla \dots \nabla a_i \nabla \dots \nabla a_n = \nabla_{i=1}^n a_i.$$

Ниже приведены табличная, сетевая и перестановочная модели.

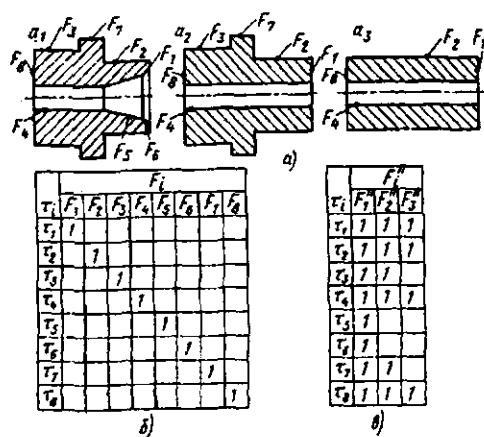


Рис. 30. Табличные модели проектирования маршрута обработки детали на прутковом автомате: а – группа деталей; б и в – матрицы; τ_i – операторы (технологические переходы); τ_1 – подрезка торца; τ_2, τ_3, τ_7 – обтачивание поверхностей; τ_4 – сверление отверстия; τ_5 – зенкерование; τ_6 – растачивание фаски; τ_8 – отрезка

При обработке группы деталей (рис. 30, а) на токарном прутковом автомате с помощью табличной модели устанавливается последовательность обработки поверхностей. Каждая деталь имеет поверхности F_1, F_2, \dots, F_8 с определенными свойствами, поэтому состав свойств поверхностей, относящихся к группе деталей, будет

$$F(A) = (F_1 \wedge F_2 \wedge F_4 \wedge F_8) \vee F_3 \vee F_5 \vee F_6 \vee F_7. \quad (18)$$

Если ввести совокупность свойств более высокого уровня: $F'_1 = \{F_1, F_2, F_4, F_8\}$, то получим

$$F'(A) = F'_1 \vee F_3 \vee F_5 \vee F_6 \vee F_7, \quad (19)$$

а если совокупности свойств для деталей 1-, 2-, 3-й групп (соответственно элементам a_1, a_2, a_3 группы А деталей, т.е. $a_1, a_2, a_3 \in A$)

$$F'_1 = F(a_1) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8\};$$

$$F'_2 = F(a_2) = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_7, F_8\};$$

$$F'_3 = F(a_3) = \{F_1, F_2, F_4, F_8\},$$

то получим

$$F''(A) = F'_1 \vee F'_2 \vee F'_3. \quad (20)$$

Табличные модели представляют матрицы (рис. 30, б и в), в которых $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_8$ – операторы (технологические переходы при выполнении автоматной операции).

Сетевая модель включает матрицу свойств детали, описание логических отношений между свойствами и граф $G = (T, C)$ взаимосвязи операторов ($T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$; $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ – дуги графа) по возможной последовательности их использования. Например, в логической сетевой модели класса $S_5(T)$ изготовление зубчатого колеса (рис. 31), смежность и порядок операторов (операций) заданы графом.

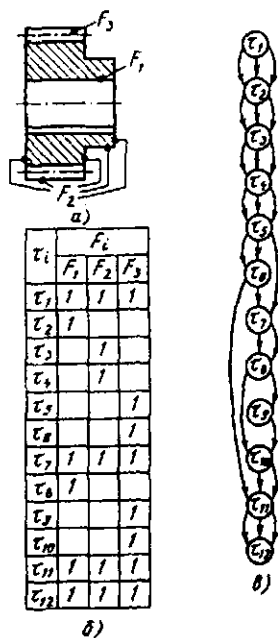


Рис. 31. Сетевая логическая модель операторов (операций) технологического маршрута изготовления зубчатого колеса: а – зубчатое колесо; б – матрица операторов τ_i (операций); в – граф взаимосвязи операторов. Операторы (операции): τ_1 – штамповка заготовки; τ_2 – протягивание отверстия и шпоночного паза; τ_3 – черновое обтачивание зубчатого колеса; τ_4 – чистовое обтачивание зубчатого колеса; τ_5 – нарезание зубчатого профиля; τ_6 – шевингование зубчатого профиля; τ_7 – термическая обработка; τ_8 – отделка базового отверстия; τ_9 – шлифование зубчатого профиля; τ_{10} – притирка зубчатого профиля; τ_{11} – мойка; τ_{12} – контроль

Проектирование технологического процесса изготовления изделия характеризуется различными уровнями: самый высокий уровень – разработка принципиальной схемы технологического процесса, который включает отдельные этапы, причем этап может содержать несколько операций или одну операцию. В данном случае оператором будет являться этап технологического процесса. Моделирование технологических процессов разного уровня происходит с помощью моделей $S_i(T)$. При этом операторам модели $S_i(T)$ более высокого уровня – этапам технологического процесса, соответствуют операции и переходы, входящие соответственно в маршрут и операцию, проектируемые по моделям $S_j(T)$ более низкого уровня.

Граф перестановочной модели класса $S_6(T)$ расцеховки при изготовлении изделия приведен на рис. 32.

При рассмотрении иерархических уровней ММ будут представлять собой модели на микроуровне, макроуровне и метауровне. Особенностью ММ на микроуровне является отображение физических процессов в непрерывном пространстве и времени. С помощью дифференциальных уравнений в частных производных рассчитываются поля механических напряжений и деформаций.

На макроуровне используют укрупненную дискретизацию пространства по функциональному признаку, что приводит к представлению ММ на этом уровне в виде обыкновенных дифференциальных уравнений. В этих моделях имеются две группы переменных – независимых (время) и зависимых (фазовых). Такими переменными являются силы и скорость перемещения в механических системах, напряжение и сила тока в электрических системах и т.п.



Рис. 32. Граф перестановочной модели расцеховки при изготовлении изделия. Операторы (цехи): p_1 – литейный; p_2 – кузнечный; p_3 – механический; p_4 – термический; p_5 – сборочный; p_6 – лакокрасочный; p_7 – испытания и упаковки

ММ на метауровне описывают укрупненно рассматриваемые объекты (технологические системы и т.п.). В качестве математического аппарата используют обыкновенные дифференциальные уравнения, теорию массового обслуживания, элементы дискретной математики (сети Петри и т.д.).

Теоретические модели строят на основании изучения закономерностей. В отличие от формальных моделей они в большинстве случаев более универсальны и справедливы для широких диапазонов изменения технологических параметров. Теоретические модели могут быть линейными и нелинейными, а в зависимости от мощности множества значений переменных модели делят на непрерывные и дискретные. При технологическом проектировании наиболее распространены дискретные модели, переменные которых дискретные величины, а множество решений счетно. Различают также модели динамические и статические. В большинстве случаев проектирования технологических процессов используют статические модели, уравнения которых не учитывают инерционность процессов в объекте.

В полной ММ учитываются связи всех элементов проектируемого объекта, например, маршрутная технология. Макро ММ отображает значительно меньшее число межэлементных связей. Аналитические ММ представляют собой функциональные модели (теоретические или эмпирические) и, как правило, используются при параметрической оптимизации технологических процессов. Алгоритмическая ММ представляется в виде алгоритма. Имитационная модель является алгоритмической, отражающей поведение исследуемого объекта во времени при заданных внешних воздействиях на объект (например, процесс подготовки управляющих программ для роботизированной сборки).

Выбор типа математического моделирования, наиболее эффективного в условиях конкретной задачи, определяется ее технологической сущностью, формой представления исходной технологической информации, общей целью исследования. Функциональная ММ процесса в общем виде

$$F = f(x, y),$$

где x – управляемые переменные; y – неуправляемые переменные; F – ожидаемая эффективность.

Ограничения, входящие в модель, имеют вид $\varphi(x, y) = 0$. Решения на модели получаются путем определения значения x (как функции от y) максимизирующего (минимизирующего) F .

В зависимости от сложности задачи используются различные принципы построения моделей. Зачастую возникает необходимость разработки менее точной модели, но тем не менее более полезной для практики. Возникают две задачи: с одной стороны, — нужно разработать модель, на которой проще всего получать численное решение, а с другой стороны, — обеспечить максимально возможную точность модели. С целью упрощения модели используются такие приемы, как исключение переменных, изменение характера переменных, изменение функциональных соотношений между переменными (например, линейная аппроксимация), изменение ограничений (их модификация, постепенный ввод ограничений в условие задачи). Модели, являясь эффективным средством исследования структуры задачи, позволяют обнаружить принципиально новые стратегии.

Параметрическая оптимизация

Расчет оптимальных параметров (режимов резания, параметров качества и др.) технологического процесса или операции при заданной структуре с позиции некоторого критерия называют параметрической оптимизацией, которая предусматривает определение таких значений параметров x , при которых некоторая функция $F(x)$, называемая целевой функцией, или функцией эффективности (например, приведенные затраты, технологическая себестоимость, штучное время, штучная производительность, технологическая производительность, вспомогательное время и др.), принимает экстремальное значение.

Для решения задач оптимизации в технологическом проектировании используют математические модели и такие методы математического программирования, как линейное, целочисленное, динамическое, геометрическое и др.

В технологическом проектировании операционные модели, описанные методами математического программирования, записывают в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} F(x_1, x_2, \dots, x_n) &\rightarrow \min(\max); \\ g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq b_j, \quad j = \overline{1, m}; \\ a_{ij} &\leq x_i \leq a_{2i}, \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

где все управляемые x_i могут принимать значения из множества $[a_{1i}, a_{2i}]$ действительных чисел; $F(x)$ и $g_j(x)$ — скалярные функции своих аргументов; b_j — заданные действительные функции.

Задачи подобного типа в технологии машиностроения возникают при определении оптимальных режимов обработки. В этом случае могут быть использованы методы линейного и нелинейного программирования.

Применение метода линейного программирования вызывает трудности, связанные с линейностью критерия оптимальности и ограничений. Например, при назначении плана черновой обработки поверхности заготовки должны быть учтены ограничения, связанные с техническими данными оборудования, характеристиками режущего инструмента, размерами детали и др. Эти ограничения выражаются через параметры переходов (рабочих ходов) — режимы резания (t — глубина резания, s — подача, v — скорость резания) и соответствующие величины, характеризующие условия обработки (мощность привода оборудования: допустимая сила, действующая на механизм подачи станка; прочность и стойкость режущего инструмента; допустимое перемещение заготовки под действием сил резания),

$$\left. \begin{aligned} g_1(t, s, v) &\leq b_1; \\ g_2(t, s, v) &\leq b_2; \\ \dots & \\ g_n(t, s, v) &\leq b_n. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для согласования значений подачи s и частот вращения шпинделя n с паспортными данными оборудования используют коэффициенты геометрических рядов подач (φ_s) и частот вращения шпинделя (φ_n):

$$\left. \begin{aligned} s &= s_1 \varphi_s^{z_s - 1}; \\ n &= n_1 \varphi_n^{z_n - 1}. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Лучшему варианту плана обработки будут соответствовать минимальные затраты

$$C = \sum_{i=1}^p C_i, \quad (24)$$

где C_i — затраты на выполнение перехода (рабочего хода); p — число переходов (рабочих ходов).

Путем логарифмирования ограничений (22) и целевой функции (24), связанных с одним переходом (рабочим ходом), получают линейную задачу

$$Z = k_0 + k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3 \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^3 a_{ij} x_j \leq b_i; \quad i = \overline{1, n},$$

где $x_1 = \ln t$; $x_2 = z_s$; $x_3 = z_n$; t, s — соответственно глубина резания и подача при рассматриваемом переходе; a_{ij} — коэффициенты, зависящие от показателей степени при глубине резания, подачи и скорости резания в формулах сил и скорости резания, а также от коэффициентов геометрических рядов подач и частот вращения шпинделя; k_0, \dots, k_3, b_i — коэффициенты и величины ограничений, зависящие от конкретных условий обработки.

Одним из возможных методов решения широкого класса нелинейных задач является метод геометрического программирования, который позволяет рассматривать задачи с учетом особенностей их инженерной постановки. Основное требование геометрического программирования состоит в том, чтобы все технические характеристики были выражены в виде положительных полиномов (позиномы) от регулируемых параметров, т.е. в виде функций

$$g(x) = \sum_{i=1}^n c_i \prod_{j=1}^m x_j^{\alpha_{ij}},$$

где c_i и α_{ij} — постоянные; $c_i \geq 0$; $x_j > 0$.

Во многих технологических задачах зависимости между параметрами приводят к функциям типа позиномов. Так, при построении операций при врезном шлифовании на одно- и многокруговых шлифовальных полуавтоматах ставилась задача выбора режимов обработки, которые обеспечивают минимальное время обработки при достижении заданной точности. С учетом ограничений по суммарным значени-

ям радиальных сил, по суммарной мощности, необходимой для резания, и ограничения, обеспечивающего размерную стойкость круга при черновой обработке, формулируется следующая задача геометрического программирования:

$$\begin{aligned} g_0(\bar{x}) &= c_1 x_1^{-1} x_2^{-1} + c_2 x_1 x_2^{1,75} + \\ &+ c_3 x_2^{-1} x_3^{-1} \rightarrow \min; \\ g_1(\bar{x}) &= c_4 x_1^{0,8} x_2^{0,8} \leq 1; \\ g_2(\bar{x}) &= c_5 x_2 \leq 1; \\ g_3(\bar{x}) &= c_6 x_1 + c_7 x_3 \leq 1; \\ x_i &> 0 \quad (i = \overline{1,3}); \quad c_j > 0 \quad (j = \overline{1,7}), \end{aligned} \quad (25)$$

где $x_1 = s_j$ — подача; $x_2 = n$ — частота вращения заготовки; переменная x_3 носит вспомогательный характер. Геометрическое программирование более чем другие методы нелинейного программирования приспособлено для использования ЭВМ. В процессе решения появляется возможность анализировать поведение целевой функции $g_0(\bar{x})$ при изменении различных параметров, входящих в задачу.

Для параметрической оптимизации может быть использован метод динамического программирования, который сводится к рекуррентным соотношениям [например, распределение припуска по технологическим переходам, см. формулу (10)]. Динамическое программирование является вычислительным методом, приводящим к глобальному оптимуму.

Используют также различные методы поиска, исключаяющие полный перебор (например, регулярного поиска для определения оптимальных режимов резания при обработке ступенчатых валов на токарном гидрокопировальном полуавтомате). Задает исходные данные (размеры и материал детали, режущий инструмент, глубину резания, жесткость узлов станка, цикловые и внецикловые потери времени работы оборудования). Требуется найти режим обработки s, n , удовлетворяющий условиям по точности обработки, шероховатости поверхности, мощности, расходуемой на резание, кинематике станка и приводящий целевую функцию к максимуму.

$$\left. \begin{aligned} \Delta \sum f &\leq \delta_f; \\ \Delta y_{f \max} &\leq k_1 \delta_f; \\ \Delta u_{\max} &\leq k_2 \delta_f; \\ Rz_{f \max} &\leq Rz_{f \text{ доп}}; \\ \sum_{i=1}^{q+1} N_{\text{рез}f} &\leq N_d \eta k_n; \\ \sum_{i=1}^q N_{\text{рез}f} &\leq N_d \eta k_n; \\ s_{\min} &\leq s_j \leq s_{\max}; \\ v_{\min} &\leq v_i \leq v_{\max}; \end{aligned} \right\} (26)$$

$$Q = \frac{k}{kt_x + k(\sum C_i + t_e) + 1}, \quad (27)$$

где δ_f – заданный допуск на диаметр ступени f ; $\Delta \sum f$ – ожидаемая суммарная погрешность; Δy , Δu – составляющие суммарной погрешности; k_1 , k_2 – экспериментальные коэффициенты; N_d – мощность электродвигателя; k_n – коэффициент перегрузки электродвигателя; η – КПД; $q+1$ и q – индексы резцов, установленные соответственно на гидрокопировальном и поперечном суппортах; k – технологическая производительность; t_x – время на холостые перемещения инструмента; $\sum C_i$ – потери времени, связанные с эксплуатацией режущего инструмента; t_e – внецикловые потери времени.

Ограничения (26) определяют возможные варианты обработки деталей. Для каждой обрабатываемой поверхности детали имеется набор возможных сочетаний s_j и n_i , выбор которых обусловлен приведенными выше ограничениями. Множество допустимых для f -й поверхности детали пар (s_j, n_i) обозначают $R_f = \{(s_j, n_i)^f\}$, где $f = \overline{1, k}$.

Возможный вариант обработки детали в целом может быть реализован с параметрами s_j , n_i , принадлежащими всем множествам R_f , т.е. область R их пересечения $s_j, n_i \in \bigcap_{f=1}^k R_f$ (рис. 33, а). Для начала перебора находят один

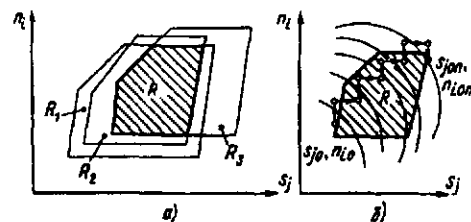


Рис. 33. Схема образования области допустимых режимов резания (а) и геометрическая интерпретация нахождения оптимальных режимов резания с наложением уровней целевой функции (б)

допустимый режим $(s_{j \text{ опт}}, n_{i \text{ опт}})$ и, двигаясь от него вдоль границы области пересечения (рис. 33, б), определяют оптимальный режим $s_{j \text{ опт}}, n_{i \text{ опт}}$, приводящий целевую функцию (27) к максимуму.

Влияние ограничений на значение целевой функции и область допустимых решений задачи будет различным. Например, анализ результатов моделирования операции обработки на токарных гидрокопировальных полуавтоматах показал, что изменение заданного допуска на диаметр δ_f ступени вала влияет на значение целевой функции Q (рис. 34, а) и число возможных вариантов обработки (рис. 34, б).

При параметрической оптимизации математические модели оценивают с точки зрения пригодности их использования для решения технологических задач в производственных условиях. Их оценивают с помощью статистического анализа путем: 1) сравнения двух методов решения конкретной технологической задачи – математического моделирования и использования нормативных данных: при этом

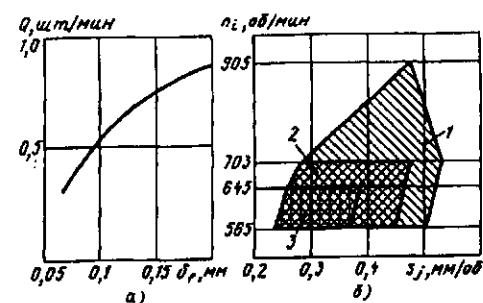


Рис. 34. Зависимость $Q = (\varphi(\delta_f))$ (а) и изменение областей допустимых режимов резания от δ_f (б): 1) $\delta_f = 0,2$ мм; 2) $\delta_f = 0,15$ мм; 3) $\delta_f = 0,1$ мм (для диаметров $D_f = 60$ мм)

проверяют гипотезу соответствия значений двух выборок; 2) проверки математической модели на чувствительность влияния случайных факторов; 3) проверки математической модели на ее адекватность реальному технологическому процессу.

Развитие систем САПР ТП

Эффективность создания и эксплуатации автоматизированных производственных систем обеспечивается интеграцией отдельных автоматизированных систем: АСНИ, САПР К, САПР ТП (АСТПП), АСУТП, АСУ. За рубежом такие системы получили название *CIM* (*Computer Integrated Manufacturing*).

Основой для объединения различных по назначению автоматизированных систем в комплексное автоматизированное производство является общность стратегии создания систем и применение для разработки составляющих их подсистем и основных средств обеспечения инструментальных средств.

Дальнейшее развитие систем автоматизированного проектирования в машиностроении связывается с интенсивным развитием НИОКР в области компьютерных технологий, созданием компьютерных виртуальных конструкций, технологии, оснастки, инструментов, производств, приведет к значительному ускорению освоения выпуска новых изделий. Использование методов промышленной логистики дает возможность на стадии проектирования минимизировать издержки на освоение новой продукции.

Методология проектирования собственной продукции, а также специальное программное обеспечение относится к категории "ноу-хау" и будет составлять коммерческую тайну предприятия. Поэтому использование инвариантных систем проектирования, поставляемых зарубежными фирмами, будет иметь ограниченный характер, так как они не обеспечивают скачок в повышении качества продукции. Получение экономической отдачи от вложенных средств в компьютерные технологии проектирования и производства будет требовать от предприятий поэтапного и системного подхода к проведению работ по компьютеризации, созданию определенной "критической массы" специализированного программного

продукта, обеспечивающего окупаемость произведенных затрат и получении прибыли.

Предпочтение будет даваться интеллектуальным системам. Основой для создания таких САПР является искусственный интеллект на базе эвристического программирования. В этом случае значимы эвристики, основанные на дальнейшем развитии научных основ технологии машиностроения, в частности, на создании теории и практики принятия решений, в том числе формализованных.

Дальнейшее развитие систем автоматизированного проектирования связано с глобальными процессами информатизации и компьютеризации, что открывает широкие возможности повышения эффективности в машиностроении. Эти возможности стали реальностью в развивающейся совокупности методов и средств *CALS-технологий*, представленных в серии международных стандартов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация проектирования технологических процессов в машиностроении / В. С. Корсаков, Н. М. Капустин, К. Х. Темпельгоф и др. М.: Машиностроение, 1985. 204 с.
2. Автоматизация проектирования технологических процессов и средств оснащения / А. Г. Ракович, Г. К. Гаранский, Л. В. Губич, В. И. Махнач и др. Минск, ИТК АН Беларусь, 1997. 276 с.
3. Димитров В. И., Норенков И. П., Павлов В. В. К проекту Федеральной Программы "Развитие CALS – технологий в России" // Информационные технологии. 1998. № 4. С. 2 – 11.
4. Жук Д. М. CAD/CAE/CAM – системы высокого уровня для машиностроения // Информационные технологии. 1995. № 0. С. 22 – 26.
5. Капустин Н. М. Развитие систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) в машиностроении // Информационные технологии. 1996. № 5. С. 13 – 15.
6. Капустин Н. М., Васильев Г. Н. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования. Система автоматизиро-

важного проектирования. Кн. 6. М.: Машиностроение, 1986. 191 с.

7. Капустин Н. М., Кузнецов П. М. Структурный синтез при автоматизированном проектировании технологических процессов деталей с использованием генетических алгоритмов // Информационные технологии. 1998. № 4. С. 34 – 37.

8. Норенков И. П. Принципы построения и структура. Системы автоматизированного

проектирования. Кн. 1. М.: Высшая школа, 1986. 127 с.

9. Норенков И. П. Разработка САПР. МГТУ им. Баумана, 1994. 206 с.

10. Павлов В. В. Типовые математические модели в САПР ТП. Мосстанкин, 1989. 76 с.

11. Трудоношин В. А., Пивоварова Н. В. Математические модели технических объектов. Кн. 4. М.: Машиностроение, 1986. 159 с.

ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

К токарным относится большая группа станков, предназначенных в основном для обработки поверхностей вращения, соосных оси шпинделя (цилиндрических, конических, фасонных, винтовых, а также торцовых). Для обработки наружных поверхностей деталей типа валов применяют как центровые, так и бесцентровые токарные станки. Концентрические поверхности деталей типа втулок и колец обрабатывают на токарно-центровых и патронных токарных станках. Детали типа дисков (со значительными по размеру торцовыми поверхностями) обрабатывают на лоботокарных станках, которые занимают меньшую площадь, чем центровые станки, и лучше приспособлены для обработки наружных и внутренних торцовых поверхностей детали. Лоботокарные станки имеют устройства для поддержания постоянной скорости резания, а также устройства для нарезания торцовых резьб (спиралей).

Обработку на токарных бесцентровых станках осуществляют вращающимися много-резцовыми головками при продольной подаче заготовок. На этих станках обтачивают трубы, сортовой прокат цилиндрической формы. Станки характеризуются высокой производительностью; они относятся к группе специальных станков. Широко применяют в промышленности универсальные токарные патронно-центровые станки горизонтальной компоновки.

Обрабатываемые детали и их установка.

На станках токарной группы обрабатывают разнообразные по форме и размерам детали, в основном относящиеся к классу тел вращения. Среди них детали типа валов имеют длину в несколько раз большую диаметра; у деталей типа дисков диаметр больше длины, а у деталей типа втулок, цилиндров диаметр и длина – одного порядка. Различие форм и размеров деталей влияет на способ установки заготовок для обработки и последовательность обработки. Но в то же время у этих деталей есть и мно-

Глава

6

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ

го общего. Объединяющим признаком является то, что они образованы в основном наружными, внутренними и торцовыми поверхностями, имеющими общую ось вращения. Поэтому при обработке таких деталей помимо общей задачи получения заданных размеров стоит технологическая задача обеспечения соосности этих поверхностей и точного расположения торцов относительно оси детали. Эти требования обеспечиваются следующими способами установки и обработки заготовок на токарных станках:

1) обработкой соосных поверхностей с одного установа;

2) обработкой в два установа – сначала наружных поверхностей, а затем внутренних с базированием детали по наружной поверхности (обработка от наружной поверхности);

3) обработкой в два установа – сначала внутренней поверхности, а затем наружной с базированием по внутренней поверхности (обработка от отверстия).

Обработка за один установ обеспечивает при изготовлении деталей высокой жесткости малые отклонения от соосности и перпендикулярности торцов оси детали. Сказанное относится и к обработке валов с установкой на центры, хотя эта обработка соответствует третьему способу. При зацентровке вала можно обрабатывать и отверстия. Переустановка вала не вызывает больших отклонений расположения поверхностей. Рассмотренные второй и третий способы относятся к обработке деталей, закрепляемых в патроне и на оправке.

Обработка от наружной поверхности (с базированием по этой поверхности при обработке отверстия) обеспечивает надежное закрепление и передачу большого крутящего момента. Однако точность установки детали в патронах по наружной поверхности низкая, так как на размеры наружной поверхности назначают широкие допуски и погрешность установки в патроне высока. Но в некоторых случаях использование этого способа диктуется особенностями технологического процесса.

Если используется третий способ (обработка от отверстия), то окончательная обработка детали проводится с установкой ее на оправке, что во многих случаях обеспечивает высокую точность расположения поверхностей (сравнимую с точностью обработки за один установ) и позволяет использовать более простые и точные приспособления (оправки). Крупногабаритные детали на оправках не обрабатывают.

Кроме рассмотренных способов возможны и другие. Так, на станках с ЧПУ обработку выполняют за два установка. Сначала деталь обрабатывают с одной стороны, затем поворачивают ее на 180° и обрабатывают с другой стороны. В этом случае поверхности, связанные жесткими допусками, желательно обрабатывать за один установ.

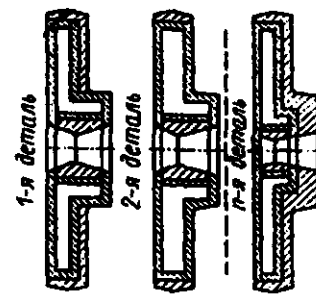
В качестве заготовок при обработке на токарных станках можно использовать поковки, отливки, штучные заготовки из проката. В автоматизированном производстве, в частности при обработке на станках с ЧПУ, использование заготовок с низкой точностью недопустимо. В этом случае допуски и припуски заготовок должны быть на 10–30% меньше, чем при обработке на станках с ручным управлением.

Валы перед обработкой должны подвергаться правке и термической обработке для улучшения обрабатываемости и снятия остаточных напряжений. Термической обработке подвергают и другие детали.

Ужесточение требований по точности и свойствам материала заготовок, обрабатываемых на станках с ЧПУ, объясняется необходимостью уменьшить нагрузку на станок, стремлением уменьшить количество стружки, образующейся при обработке, создать наиболее благоприятные условия работы режущего инструмента. Станок, на котором проводятся обдирочная и черновая обработки, требует постоянного внимания оператора. Следовательно, при этом нельзя организовать многостаночное обслуживание и включить станок в состав гибких производственных модулей и систем.

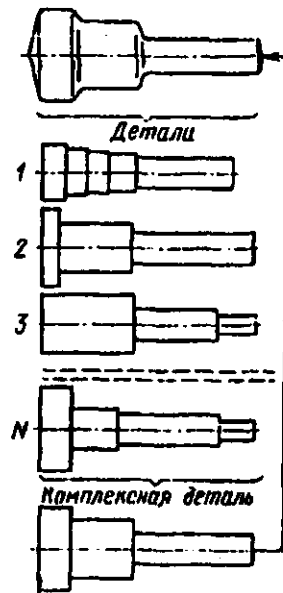
В некоторых случаях целесообразно при изготовлении деталей применять комплексные заготовки. Из комплексной заготовки можно обработать несколько деталей, различных, но близких по форме и размерам (рис. 1).

В качестве заготовки (особенно при автоматизированном производстве: массовом – при



а)

Комплексная заготовка



б)

Рис. 1. Схемы образования комплексных заготовок для деталей: а – типа дисков; б – типа валов с односторонним расположением ступеней

обработке на автоматах и полуавтоматах и серийном – при обработке на станках с ЧПУ) часто используют прокат. Прокат разрезают на части мерной длины на отрезных станках: ножовочных, ленточнопильных и круглопильных. Точность выполнения этой операции влияет на последующую токарную операцию. Необходимо, чтобы отклонение от перпендикулярности торца наружной поверхности было минимальным.

Наиболее производительными способами являются отрезка проката дисковыми пилами и абразивными кругами. Наибольшая точность обеспечивается при вращении отрезаемой заго-

товки. При диаметре заготовки более 50 мм – заготовка штучная (на одну деталь); при меньшем диаметре одну заготовку можно использовать для нескольких деталей.

После получения штучной заготовки вала среднего размера обрабатывают технологические базы – два торца и центровые отверстия. Центровые отверстия и торцы валов являются базой не только на токарной, но и на шлифовальной операциях, а также при ремонте деталей. Поэтому к выполнению их предъявляют высокие требования по соосности, постоянству глубины, диаметра и угла конуса. Для выполнения этой операции применяют центральные, центrovально-подрезные, фрезерно-центrovальные, центrovально-отрезные станки, а также универсальные токарные, фрезерные, сверлильные и другие станки.

Обработка может вестись с последовательным или с параллельно-последовательным выполнением переходов. Целесообразность выполнения того или иного варианта обработки определяется технико-экономическим расчетом. Как правило, совмещение переходов и применение станков для комплексной обработки во многих случаях целесообразно даже при небольшой загрузке станков (10% и более). Кроме того двусторонние станки обеспечивают при обработке более высокую точность расположения поверхностей (торцов и центровых отверстий) технологических баз. Так, при обработке на двустороннем центrovальном автомате 2910 отклонение от соосности центrovого отверстия к наружной поверхности не превышает 0,072–0,120 мм; допуск на глубину центrovого отверстия составляет 0,18–0,30 мм.

Двусторонние центrovально-подрезные станки (например, МР179, 2931, 2932 и др.) позволяют также обтачивать концы валов, снимать фаски, сверлить и растачивать отверстия, нарезать резьбу. Применение оборудования подобного типа существенно влияет на последующую токарную обработку – во многих случаях вал можно обработать за один установ, т.е. нет необходимости его переустанавливать, так как наружная поверхность крайних шеек уже обработана.

Если токарная операция выполняется на станках с ЧПУ, то обработку технологических баз целесообразно выполнять на центrovально-подрезных станках. Кроме того, после обработки на центrovально-подрезных станках не требуется дополнительная подрезка торца на

токарном станке (после фрезерования торцов их подрезка на токарном станке обязательна). Допуск на длину заготовок перед обработкой на станках с ЧПУ – не более 0,6 мм.

При последующей обработке валов (после термической обработки) требования к точности обработки центровых отверстий повышаются. При шлифовании центровых отверстий на специальных станках (3922Р, 3922Е, МВ-119 и др.) обеспечивается отклонение от круглости 1–3 мкм, отклонение от прямолинейности образующей до 4–6 мкм; шероховатость поверхности до $Ra 0,63$.

Правильный выбор технологических баз определяет отклонение расположения поверхностей заготовки в рабочей зоне станка, а следовательно, равномерность припуска при обработке, точность обработки взаимосвязанных поверхностей, жесткость крепления заготовки и производительность обработки.

На токарных станках патронного типа заготовки закрепляют: в патроне, на планшайбе, на угольнике, расположенном на планшайбе. Наиболее часто используют автоматические (с приводом) быстропереналаживаемые трехкулачковые патроны. При этом базой у заготовки служат торец, цилиндрическая и коническая (длиной не менее 8–10 мм) наружные поверхности. Кулачки могут быть закаленными или незакаленными. Закаленные кулачки применяют для крепления заготовок с необработанными поверхностями. Для зажима штампованных заготовок или отливок, имеющих уклоны, рабочим поверхностям кулачков можно придать коническую форму. В некоторых случаях применяют специальные кулачки с качающимися вставками, обеспечивающими контакт по большей длине. Незакаленные кулачки обеспечивают высокую точность установки, так как сами кулачки перед обработкой партии деталей непосредственно обрабатывают на станке, а у заготовки используют ранее обработанные поверхности.

При выборе баз и конструкции сменных кулачков стремятся закрепить заготовку возможно ближе к патрону и в качестве базы использовать цилиндрическую поверхность наибольшего диаметра. Однако иногда используют торец и предварительно обработанную внутреннюю цилиндрическую поверхность. Этот вариант базирования менее предпочтителен по условиям жесткости и точности обработки.

Специальные патроны позволяют без смены кулачков обработать деталь с двух сторон (рис. 2).

Применяют также специальные патроны, обеспечивающие обработку деталей арматуры типа крестовин с двух и четырех сторон с поворотом на определенный угол для совмещения оси обрабатываемого элемента с осью шпинделя. У обычных патронов ход кулачков относительно небольшой.

На станках, входящих в гибкие производственные модули, применяют патроны с большим ходом кулачков, патроны с быстросменными системами замены кулачков и т.д.

Проектирование токарной операции является частью более общей задачи разработки технологического процесса изготовления детали (см. гл. 5).

Способы установки и выверки заготовок.

Установку на центрах наиболее часто применяют для валов, барабанов, цилиндров, а также различных заготовок, закрепленных на оправках. Мелкие и средние по массе заготовки устанавливают на цельные упорные центры (рис. 3, а). В случае подрезания торца заготовки со стороны задней бабки используют полуцентр. Задние центры при обработке с высокими скоростями резания выполняют вращающимися (масса деталей до 20 т). Точность установки на таких центрах ниже, чем на цельных (радиальное биение допускается до 0,007 и 0,015 мм соответственно для центров повышенной и обычной точности).

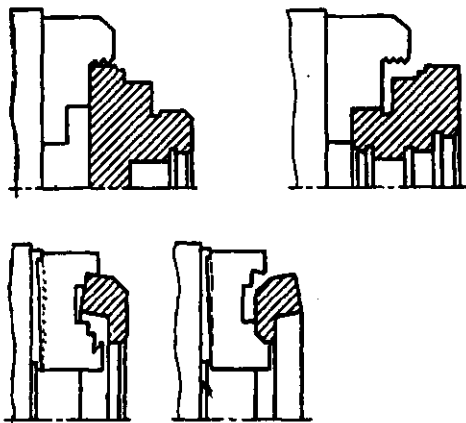


Рис. 2. Схемы использования кулачков для полной обработки деталей за два установа

Заготовки с отверстием устанавливают на центры увеличенного диаметра со срезанной вершиной конуса (*грибковые центры*). На рис. 3, б задний центр — *грибковый* вращающийся, передний — *рифленый*. Применение рифленого центра (трехгранного или многозубого) позволяет полностью обработать гладкий вал или цилиндр по наружной поверхности и подрезать оба торца у заготовки, так как обработку ведут без поводка. Однако установка на рифленые центры не обеспечивает высокой точности (радиальное биение до 0,5 мм), допускает только однократное использование базы вследствие ее повреждения при первой установке.

Заготовки малого диаметра устанавливают на обратные центры (рис. 3, в), используя при этом конусные фаски на наружной поверхности. Передача крутящего момента при чистовой обработке таких заготовок возможна без поводка. Обработку конусов методом смещения задней бабки осуществляют с установкой на шаровые центры (рис. 3, г).

Установка на *плавающий передний центр* (рис. 3, д) с базированием заготовки по торцу обеспечивает высокую точность размеров по оси (при способе автоматического получения размеров). Для уменьшения вибрации системы предусматривают стопорение центра вручную — винтом 1 или автоматически — при заклинивании центра плунжерами 2 (рис. 3, е). Наличие в конструкции поводковой шайбы 3 позволяет вести обработку заготовки за один установ, так как отпадает необходимость применения поводкового устройства. Эту схему применяют при обработке заготовок диаметром до 80 мм, длиной до 400 мм. При черновой обработке шайбу выполняют трехзубой (рис. 3, ж), при чистовой — многозубой (рис. 3, з). В последнем случае от зубьев поводкового устройства на торце детали остаются более мелкие следы.

Заготовки с отверстием большого диаметра устанавливают на центры с помощью пробок или крестовин (рис. 3, и — н). Пробки выполняют цельными для $D = 10 \dots 150$ мм (рис. 3, к), разжимными для $D = 40 \dots 350$ мм (рис. 3, л), саморазжимными для $D = 70 \dots 450$ мм (рис. 3, и). Регулируемые крестовины применяют при $D = 400 \dots 1500$ мм (рис. 3, м); при $D > 1500$ мм используют сварные крестовины (рис. 3, н).

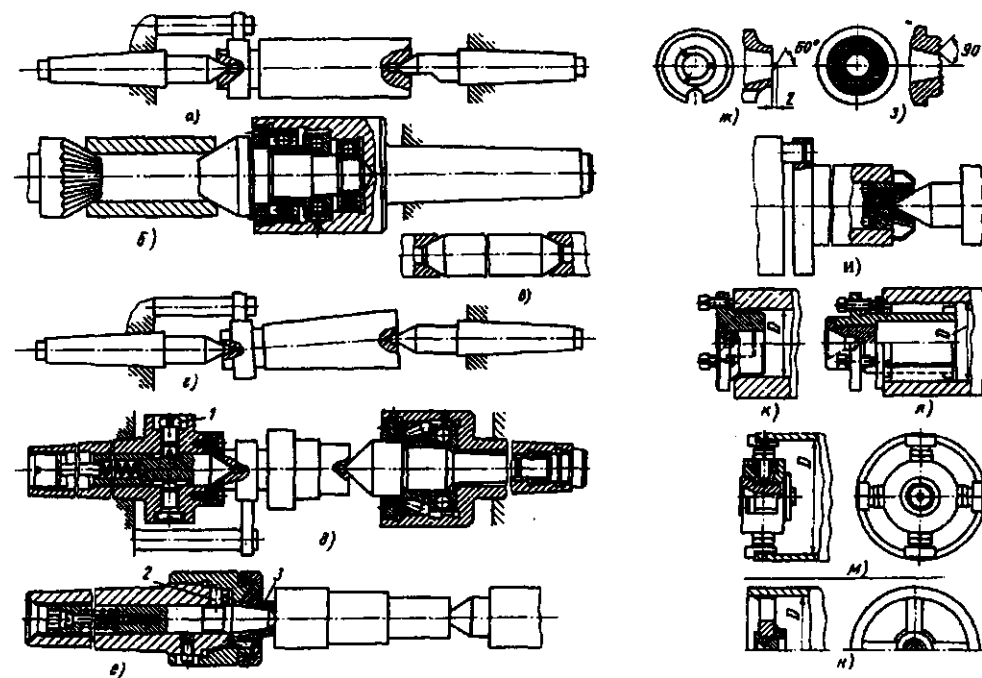


Рис. 3. Схемы заготовок на центрах

Установку на пробках выполняют без выверки с точностью 0,03 — 0,10 мм, на сварных крестовинах — с точностью 0,2 мм. В случае установки заготовки на регулируемые крестовины контролируют радиальное биение и положение детали в горизонтальной и вертикальной плоскостях с точностью 0,03 — 0,05 мм. Без выверки устанавливают заготовки в специальных патронах (рис. 4, в).

Установку в патроне и на заднем центре применяют в случае обработки заготовок больших диаметра и длины, при отсутствии центрального отверстия со стороны передней бабки. Точность установки в самоцентрирующихся патронах 0,05 — 0,10 мм; при использовании четырехкулачкового патрона установку выполняют с выверкой положения заготовки со стороны патрона по высоте и биения с точностью 0,05 мм.

Установку в патроне и на неподвижном люнете используют для обработки отверстия и торца заготовки, а также участка заготовки, расположенного между люнетом и патроном.

При обработке тяжелых заготовок применяют люнеты открытого типа, в других случаях — закрытого типа. Под люнетом протачивают (рис. 4, а) специальные пояски. В некоторых случаях валы диаметром 30 — 200 мм мож-

но устанавливать без обработки поясков с помощью регулируемых муфт (рис. 4, б). Установку заготовок проводят с выверкой положения в горизонтальной и вертикальной плоскостях и биения с точностью 0,03 — 0,05 мм. Без выверки устанавливают заготовки в специальных патронах (рис. 4, в).

Установку на центрах с использованием подвижного люнета используют при обработке нежестких заготовок (рис. 5). К установочной поверхности под люнет предъявляют высокие требования по суммарным отклонениям и допускам формы и расположения поверхностей.

При установке в патронах обрабатывают заготовки небольшой длины. Наибольшая жесткость системы обеспечивается при креплении заготовки за наружную или внутреннюю поверхность обода (венца), а наименьшая — при креплении за ступицу. Установку в самоцентрирующихся патронах проводят без выверки с точностью 0,1 мм; в разрезной втулке или незакаленных кулачках — 0,03 мм; в четырехкулачковых патронах с выверкой по наружному диаметру и торцу — с точностью 0,05 мм.

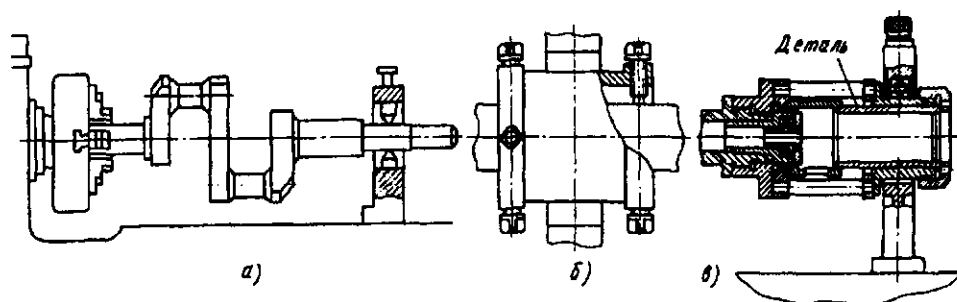


Рис. 4. Схема установки заготовок в патроне и на неподвижном люнете

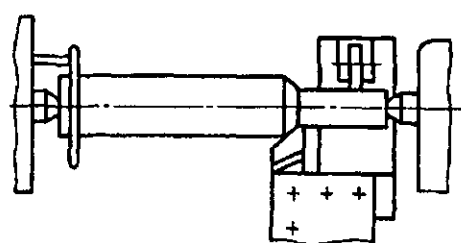


Рис. 5. Схема установки заготовки на центрах с использованием подвижного люнета

Заготовки с отверстием при высоких требованиях к расположению баз и обрабатываемых поверхностей *устанавливают на концевых или центровых оправках*. Применяют оправки гладкие с зазором (рис. 6, а), конические (рис. 6, б), кулачковые (рис. 6, в), шариковые (рис. 6, г), роликовые самозаклинивающиеся (рис. 6, д), цанговые (рис. 6, е), с тарельчатыми пружинами (рис. 6, ж), с гидропластом (рис. 6, з), упругими элементами гофрированного типа (рис. 6, и), с натягом (рис. 6, к) и т.д.

На кулачковой оправке (см. рис. 6, в) заготовка закрепляется несколькими кулачками 1, которые при установке оправки на центрах разводятся пальцами 2. Для закрепления заготовки на шариковой оправке (рис. 6, г) сепаратор с шариками необходимо сместить вдоль оси влево. Шарик при этом заклинивается между заготовкой и втулкой 1. Роликовая оправка (рис. 6, д) — самозаклинивающаяся. В начальный момент обработки заготовка несколько проворачивается относительно корпуса 1; ролики 2 при этом заклиниваются между поверхностью отверстия и лысками корпуса. На оправки с упругими элементами (рис. 6, е — и) заготовку устанавливают с зазором, затем

деформируют упругий элемент, с помощью которого устраняют зазор.

Оправка с натягом (рис. 6, к) позволяет за один установ обрабатывать наружную поверхность и торцы заготовки, в результате чего обеспечивается высокая точность расположения поверхностей. На таких оправках часто обрабатывают зубчатые колеса перед нарезанием зубьев. При запрессовке заготовки на оправку необходимо точно выдерживать размер L . Для облегчения установки на оправке имеется направляющая часть 1 с направляющей шпонкой 2. Оправки такого типа применяют также для установки заготовок с гладким и шлицевым отверстием. Наибольшую точность расположения поверхностей обеспечивают оправки с натягом и оправки с упругими элементами.

Детали сложной формы (рычаги, корпусные детали) при обработке на токарных станках *устанавливают на планшайбе*. Правильность установки проверяют выверкой положения цилиндрических поверхностей, торца и плоскости разреза. Для уменьшения вибрации применяют балансир.

Установку на угольнике применяют при обработке корпусных деталей, подшипников и т.д. Заготовку крепят в специальных приспособлениях (рис. 7) без выверки (точность установки 0,1 мм) или на универсальном угольнике с выверкой по разметке или обработанному ранее поверхностям и плоскости разреза — точность установки 0,5 мм. Крепление на угольнике часто применяют при обработке системы соосных отверстий разного диаметра в корпусных деталях на станках с ЧПУ. Смещением реза по радиусу можно получить заданные размеры отверстий. На расточных станках с ЧПУ это сделать сложнее.

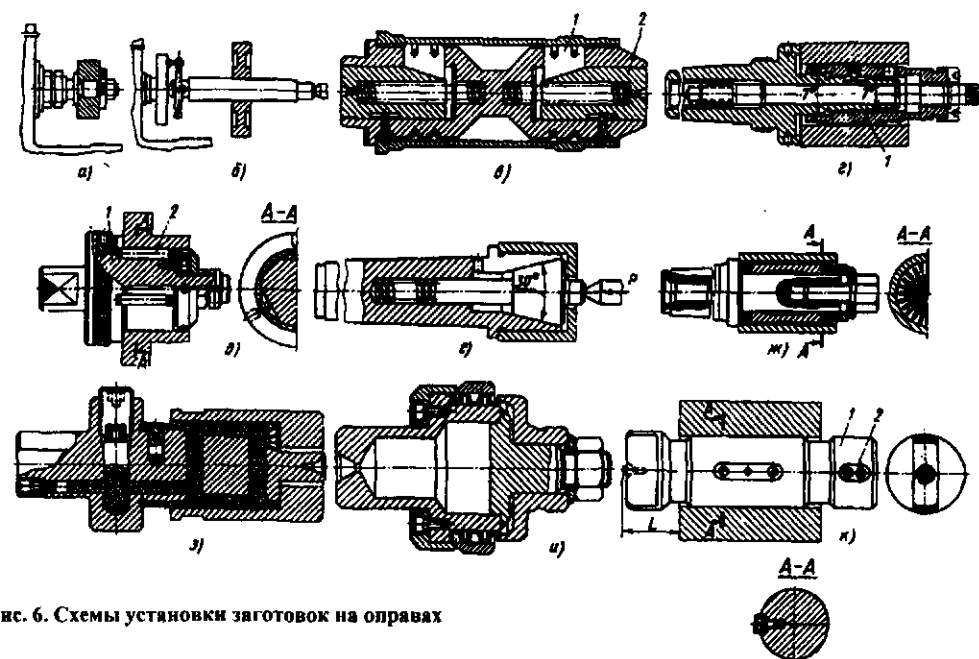


Рис. 6. Схемы установки заготовок на оправках

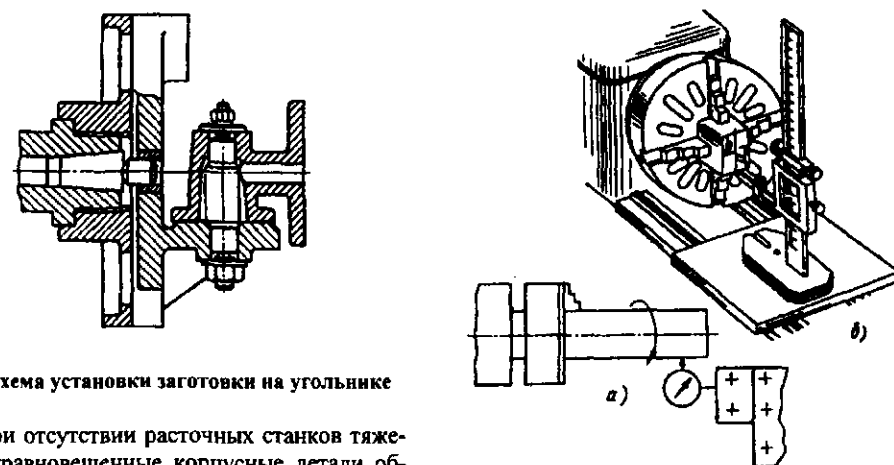


Рис. 7. Схема установки заготовки на угольнике

При отсутствии расточных станков тяжелые неуравновешенные корпусные детали обрабатывают на токарных станках с *установкой заготовки на суппорте*; инструмент крепят в шпинделе с дополнительной опорой на задней бабке.

При выверке цилиндрических заготовок, устанавливаемых в трех- и четырехкулачковых патронах, проверяют биение заготовки¹ (рис. 8, а) и правильность расположения ее в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

¹ При большой длине биение проверяют у патрона и у свободного конца

Рис. 8. Схемы установки заготовок в патронах с выверкой

Контрольный инструмент при этом закрепляют на суппорте или на станине станка. Правильное положение заготовки прямоугольной формы обеспечивают следующими способами. При первом способе (рис. 8, б) заготовка поступает на токарную обработку с нанесенными на торце

разметочными рисками, находящимися на расстоянии a и b от граней. При установке заготовки точку пересечения рисок необходимо совместить с осью вращения. Для этого измеряют расстояние от горизонтально расположенной риски (например, a) до направляющих или суппорта. После двух измерений (при исходном положении и после поворота патрона на 180°) определяют необходимое смещение заготовки. Путем ослабления одного и поджатия противоположного кулачка заготовку смещают в необходимое положение.

При втором способе для ускорения установки точку пересечения рисок кернят, заготовку поджимают центром, а затем осторожно подводят кулачки.

Для выверки положения составных заготовок размечают положение диаметральной плоскости, а затем индикатором проверяют положение стыка (добиваются горизонтального положения плоскости стыка и совмещения ее с осью вращения).

При установке в патроне и неподвижном люнете контролируют биение заготовки у патрона. Затем проверяют положение вала около люнета следующими методами. При наличии центрального отверстия положение заготовки проверяют по кольцевому зазору между отверстием и центром с помощью шупа (рис. 9, z). Отклонение от соосности пиноли задней бабки или осевого инструмента контролируют инструментом, закрепленным на пиноли или на заготовке (рис. 9, a).

Правильность положения в вертикальной и горизонтальной плоскостях оценивают по зазору между иглой рейсмуса и поверхностью заготовки (рис. 9, b), с помощью индикаторов. Индикаторы можно закреплять на специальном приспособлении (рис. 9, $в$). Показания индикаторов корректируют с учетом фактического диаметра заготовки в месте контроля. Некоторые

заготовки после выверки (роторы турбин, генераторов и т.п.) окончательно устанавливают по методу, схема которого приведена на рис. 9, $в$. Отклонение от соосности с контрольным пояском, расточенным в люнете, контролируют путем измерения расстояния от этого пояса до поверхности заготовки в трех точках.

Обтачивание одним резцом — основной метод обработки на токарных станках. Вылет резца принимают не более $1,0 - 1,5$ высоты его стержня соответственно для резцов с пластинками из твердого сплава и быстрорежущей стали. Вершину резца устанавливают на высоте центров или несколько выше (черновое обтачивание) или ниже (чистовое обтачивание).

При $R > 50$ мм смещение проводят на величину $h \leq 0,01 R$ (где R — радиус обрабатываемой заготовки). При чистовой обработке такая установка предохраняет от возможного брака вследствие деформации резца. Положение вершины резца проверяют по риску, нанесенной на пиноли задней бабки, по центру или с помощью специальных шаблонов.

Наладку инструмента на размер по диаметру ведут методом пробных ходов. Партию заготовок обрабатывают методом автоматического получения размеров без смещения резца в поперечном направлении по лимбу, с помощью индикаторных и жестких упоров.

При обработке ступенчатых заготовок используют поворотные многопозиционные упоры в сочетании с мерными плитками (рис. 10, a). Продольные размеры выдерживают по лимбу, по размеченным ранее рискам, по упорам¹ (рис. 10, $б$). Обтачивание с использованием многорезцовой наладки позволяет сократить время обработки партии деталей.

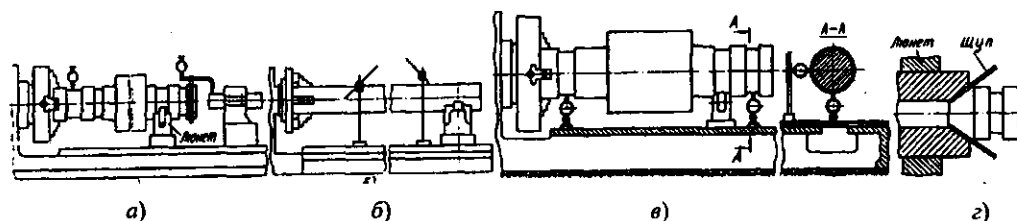


Рис. 9. Схемы установки заготовок в патроне и неподвижном люнете с выверкой

¹ Упоры могут быть жесткими, жесткими с плитками, барабанными и индикаторными.

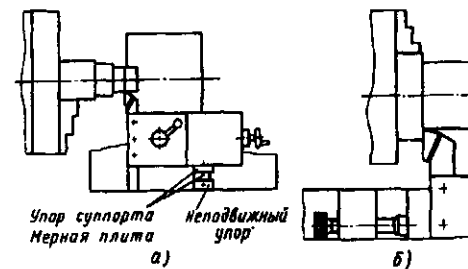


Рис. 10. Схемы обработки заготовок с использованием упоров

Обработка торцов одним резцом. При обработке заготовок, закрепленных в патроне, применяют проходные резцы. Применение подрезных резцов при снятии больших припусков с подачей к центру приводит к образованию вогнутости. Поэтому чистовую обработку торцов ведут с подачей резца от центра к периферии. С такой же подачей обрабатывают торцы у заготовок больших размеров, так как в результате изнашивания резца образуется менее опасное при сборке деталей отклонение — вогнутость.

Обработка отверстия осевым режущим инструментом. Инструмент (сверло, зенкер, развертку) крепят в задней бабке или суппорте. Сверление спиральным сверлом ведут при $l/d < 10$. Инструментом для глубокого сверления (рис. 11) обрабатывают отверстия с отношением $l/d > 10$. Отверстия значительной длины для уменьшения вибраций и повышения точности обрабатывают с "обратной подачей" (оправка работает с растяжением).

Обработка отверстий расточным резцом. Отверстия $d < 70$ мм, $l < 150$ мм при $l/d < 5$ обрабатывают резцом, закрепленным в суппорте (рис. 12, a); при $d > 70$ мм, $l > 150$ мм, $l/d < 5$ — резцом, закрепленным в расточной оправке (рис. 12, $б$); при $l/d > 5$ устанавливают дополнительную опору в шпинделе (рис. 12, $в$); при $l/d > 10$ применяют расточные головки с направляющими колодками (рис. 12, $г$). Закрытые отверстия, например камеры валков, обрабатывают специальными инструментами. После ввода инструмента в отверстие вершина резца рычажным или иным механизмом устанавливается в рабочую позицию.

Обработка отверстия абразивным инструментом. Используя специальные приспособления, отверстия обрабатывают путем внутреннего шлифования (рис. 13), суперфиниширования, хонингования.

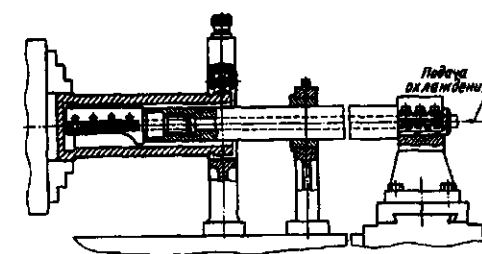


Рис. 11. Схемы обработки глубоких отверстий

Прорезание канавок и отрезка. Обработка одним резцом — основной метод обработки простых канавок и отрезки деталей. Резцы устанавливают строго по высоте центров, без перекаса к оси заготовки. Узкие (шириной до 20 мм) канавки невысокой точности прорезают за один рабочий ход, более точные канавки — за три рабочих хода. Широкие канавки низкой точности прорезают сразу за несколько рабочих ходов; для канавок высокой точности после черновой выполняют чистовую обработку боковых стенок. Неответственные фасонные канавки прорезают за один рабочий ход.

В других случаях обработку ведут вначале прорезным резцом, а затем фасонным. Прямым резцом отрезают тонкостенные детали, отогнутым — толстостенные и валы. С использованием специальной наладки (рис. 14) можно отрезать несколько деталей или прорезать одновременно наружную и внутреннюю канавки на детали.

Обработка конусных поверхностей. Фасонным резцом обрабатывают короткие наружные и внутренние конусы. Обработку можно вести с продольной и поперечной подачами. При высоких требованиях к точности инструмент устанавливают по шаблону с учетом деформации системы.

Внутренние конусы (центрирующие фаски) при $d < 1000$ мм и конические отверстия обрабатывают специальными зенковками, зенкерами и развертками. Стандартизованные конусные отверстия (в насадных инструментах и т.п.) обрабатывают комплектом разверток после сверления (диаметр сверла на $0,5 - 1,0$ мм меньше номинального размера первой развертки). При обработке с поворотом верхних салазок суппорта наибольшая длина конуса ограничена, так как определяется ходом верхних салазок суппорта.

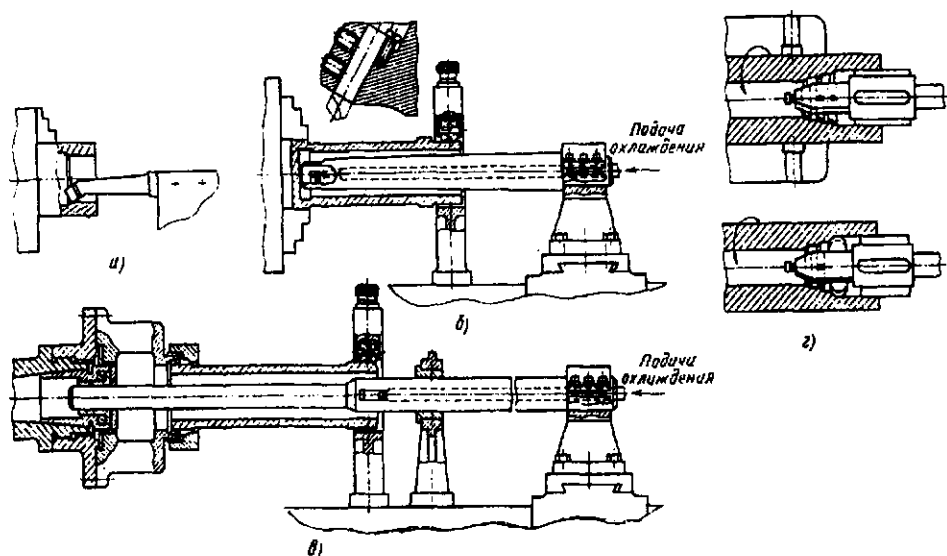


Рис. 12. Схемы обработки отверстий расточным резцом

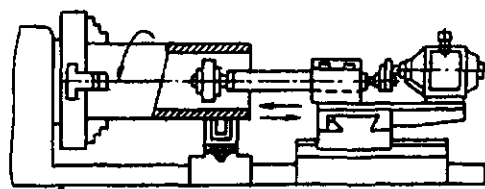


Рис. 13. Схема обработки отверстий абразивным инструментом

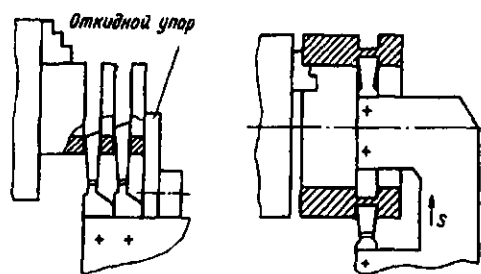


Рис. 14. Схема обработки с использованием многоинструментальной наладки

Способом смещения задней бабки обрабатывают пологие наружные конусы невысокой точности. Метод прост, так как не требует специальной оснастки. При обработке происходит смятие центрального гнезда, поэтому для

установки лучше применять шаровой центр. Необходимое смещение задней бабки (обычно на величину не более 0,01 длины конусной поверхности заготовки) устанавливают по шкале, нанесенной на этой бабке, по индикатору или по лимбу суппорта (при контроле с помощью щупа и бруска, закрепленного в суппорте).

По конусной линейке обрабатывают конусы с углом наклона до 12° . Способ обеспечивает более высокую точность по сравнению с предшествующим. Обработка по копиру с помощью электрических или гидравлических устройств по сравнению с обработкой по конусной линейке обеспечивает большую точность и меньший износ копира. Обратная конусность не более $30 - 40^\circ$. С помощью гитары поперечной подачи резцу задаются одновременная продольная и поперечная подачи. Метод получения конуса при одновременной осевой и радиальной подачах широко применяют на станках с ЧПУ.

Обработка фасонных поверхностей. Фасонными резцами обрабатывают поверхности длиной до 60 мм (на крупных станках длиной до 150 мм) и переходные поверхности радиусом до 20 мм. Черновую обработку для повышения производительности ведут обычными резцами. При использовании поворотных приспособлений вершина резца перемещается на

угол α по дуге окружности радиусом R , обрабатывая при этом сферическую наружную (рис. 15, а) и внутреннюю поверхности (рис. 15, б) или бочкообразный профиль (рис. 15, в) заготовки. Резец перемещают обычно с помощью червячной передачи (рис. 15, г).

Сферические поверхности заготовок средних размеров обрабатывают с помощью рычажных приспособлений разных конструкций. Например, одну опору рычага закрепляют на станине (рис. 16), другую — на суппорте. При подаче суппорта к оси резец перемещается по радиусу R , обрабатывая сферическую поверхность.

При обработке по копиру применяют приспособления прямого действия (сила резания действует на копир; износ и упругие деформации копира велики, точность обработки низкая) и приспособления с усилительным элементом. В приспособлениях прямого действия копир устанавливают соосно с деталью, крепят на задней бабке с помощью кронштейна сзади или спереди (рис. 17, а) станка. При этом

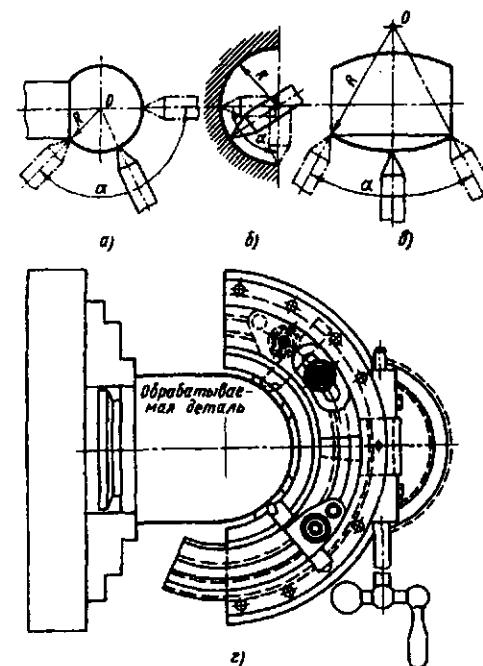


Рис. 15. Схемы обработки фасонных поверхностей заготовок

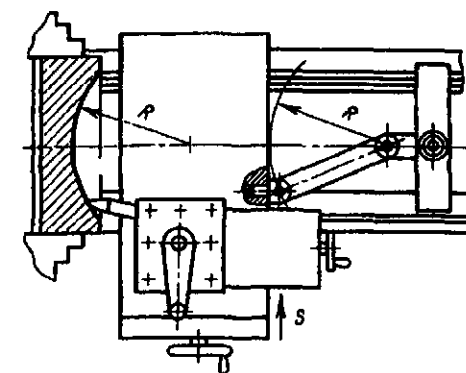


Рис. 16. Схема обработки сферических поверхностей заготовок

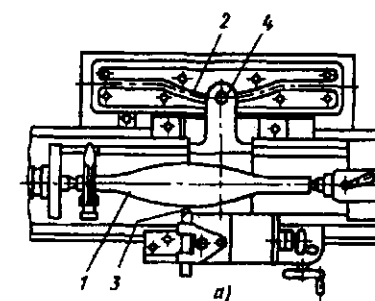


Рис. 17. Схемы обработки фасонных поверхностей заготовок по копиру: 1 — заготовка; 2 — копир; 3 — резец; 4 — щуп

ролик прижимается к копиру с разной силой (рис. 17, б). При чистой обработке применяют схему II, на легких работах – схему I, при черновой обработке на тяжелых работах – схему III.

В наиболее точных приспособлениях вместо ролика используют ножевой шуп. Для обработки поверхностей с углами подъема профиля более 35° применяют растянутые копирные линейки. С помощью специального механизма такая линейка перемещается относительно шупа с большей скоростью, что позволяет на линейке сделать углы подъема меньшими, чем на детали.

С помощью гидросуппорта можно обработать поверхности с возрастающими диаметрами и убывающими, но не более чем на величину $D - d \leq l$, где l – длина обрабатываемого участка. Применение гидросуппорта обеспечивает повышение производительности в 1,5 – 2 раза.

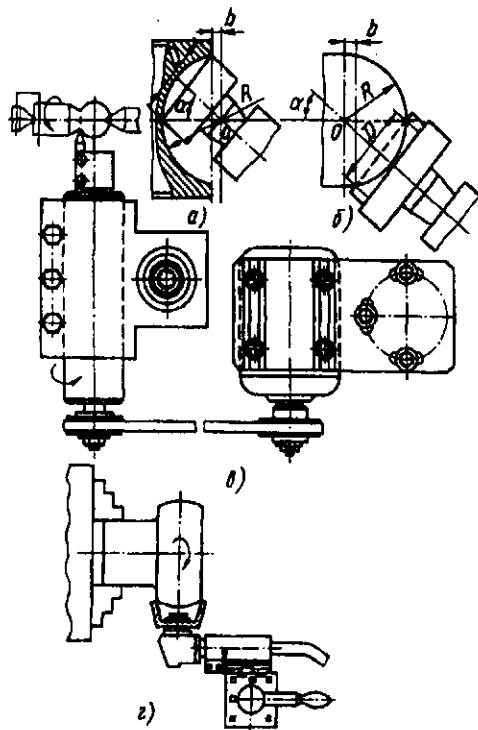


Рис. 18. Схемы обработки заготовок чашечными инструментами

Специальными чашечными инструментами обрабатывают сферические внутренние (рис. 18, а) и наружные (рис. 18, б – з) поверхности радиусом R . Шпиндель инструмента установлен под углом α :

$$\sin \alpha = \frac{D}{2R}; \quad D = \sqrt{2R(R-b)},$$

где D – диаметр чашечного инструмента; b – расстояние между вершиной инструмента и центром сферы. Инструмент при обработке вращается от специального привода.

Обработка кулачков, криволинейных канавок. По копиру, установленному соосно с деталью, обрабатывают кулачки небольшой длины.

Рычажное приспособление (рис. 19, а) применяют при перепадах профиля $R_{\max} - R_{\min} \leq 0,5 R_{\min}$, но не более 150 мм. Аналогично обрабатывают спиральные канавки.

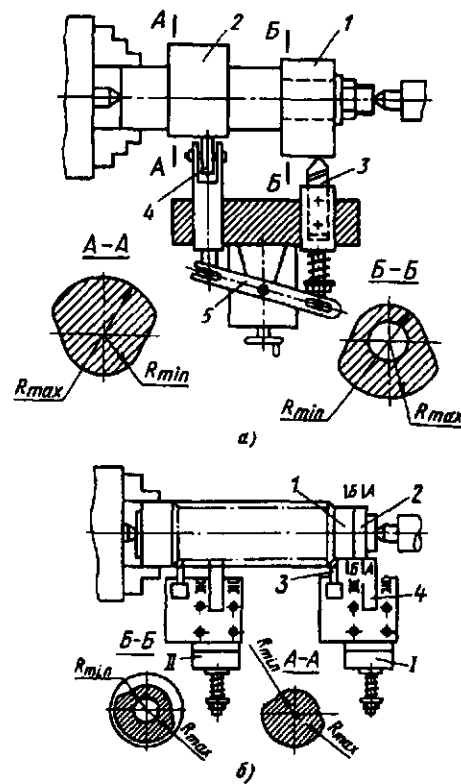


Рис. 19. Схемы обработки кулачков по копиру: 1 – заготовка; 2 – копир; 3 – резец; 4 – шуп; 5 – рычаг. Положения: I – в начале обработки; II – в конце обработки

При изготовлении кулачка по копиру и обработанной поверхности копир небольшой толщины крепят к торцу заготовки (рис. 19, б). По нему обрабатывают небольшой начальный участок; далее ролик перемещается по обработанному ранее участку поверхности. Этот метод применяют при обработке плавных кулачков с перепадом $R_{\max} - R_{\min} \leq 0,2 R_{\min}$, но не более 100 мм. Точность обработки низкая.

Обработка эксцентрических поверхностей. При эксцентриситете более 8 – 10 мм в валах с эксцентриками сверлят смещенные центровые отверстия (рис. 20, а) по разметке или кондуктору. Детали с отверстиями устанавливают на оправки (рис. 20, б). При большом эксцентриситете применяют центросмесители (бугели); для $D = 45 \dots 860$ мм – цельные (рис. 20, в), для $D = 55 \dots 250$ мм – разъемные (рис. 20, з). При креплении на консольных оправках обработку выполняют без выверки. Точность обработки зависит от погрешности базирования детали на оправке (рис. 20, д).

Положение смещенной заготовки при использовании четырехкулачкового патрона (рис. 21, а) контролируют с точностью 0,05 мм (по чисто обработанной поверхности). При использовании трехкулачковых патронов (рис. 21, б) толщина мерной пластинки

$$b = 1,5e[1 + e/(2D)],$$

где D – диаметр базы; e – эксцентриситет.

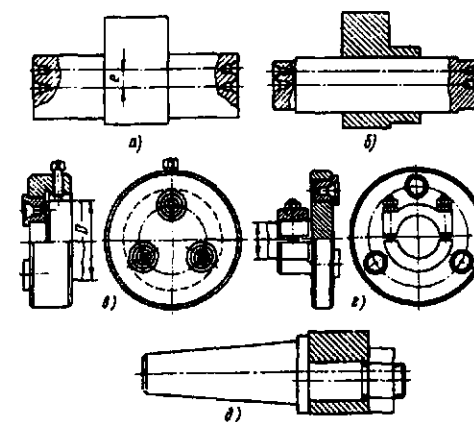


Рис. 20. Схемы обработки эксцентрических поверхностей заготовок при установке их на смещенные центровые отверстия

Эксцентрические поверхности обрабатывают также с помощью специальных патронов (рис. 21, в), состоящих из трехкулачкового патрона 1, поворотного стола 2 и суппорта 3 для создания эксцентриситета. При установке детали в специальные кольца (рис. 22) растачивают отверстия, расположенные эксцентрично и под углом к наружной поверхности. При установке колец необходимо обеспечить их правильное расположение (обычно выверку проводят по риску, нанесенной на торцах колец и образующей детали). При обработке правое кольцо крепят в патроне, левое – на люнете.

Обработка резьб. На токарных станках наружную резьбу можно получать различными инструментами: плашками, резцами, гребенками, дисковыми и групповыми фрезами. Мелкие резьбы как правило нарезаются плашками. Более крупные резьбы резьбовыми резцами.

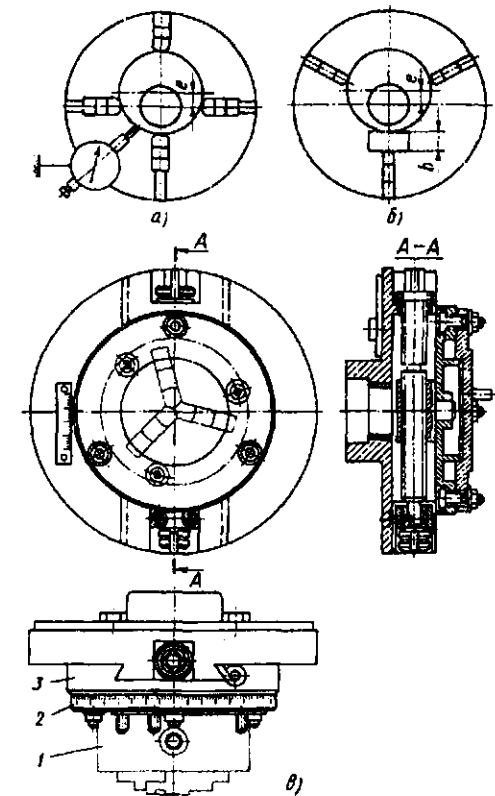


Рис. 21. Схема обработки эксцентрических поверхностей заготовок при установке их в патроне со смещением

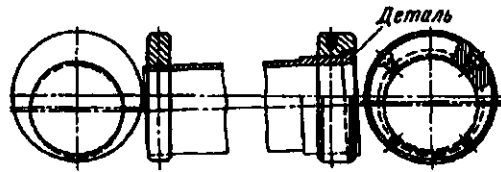


Рис. 22. Схема обработки отверстия детали при установке их в специальные кольца

Получение профиля резьбы обеспечивается профилем резца и правильной его установкой в резцедержателе (рис. 23). Нарезание резьбы производится за несколько рабочих ходов. Работа значительно облегчается, если для быстрого отвода резцов используются специальные автоматические устройства. Для уменьшения числа рабочих ходов резьбы могут нарезаться гребенками.

Для нарезания трапецидальной и прямоугольной резьбы используют различные схемы (рис. 24). Процесс нарезания таких резьб трудоемкий, выполняется за несколько технологических переходов и рабочих ходов и требует высокой квалификации токаря. Прямоугольные и трапецидальные резьбы могут нарезаться *вихревым методом* (рис. 25) с внутренним (а) и внешним (б) касанием. Заготовка закрепляется в центрах или патроне. В процессе обработки она медленно вращается с круговой подачей S_c . В специальной головке, установленной в суппорте станка и повернутой относительно оси детали на угол подъема винтовой канавки,

закрепляются 1, 2 или 4 резца. Головка вращается от специального привода и периодически за каждый оборот прорезает на детали часть канавки резьбы. За каждый оборот вращающейся детали при перемещении вращающейся головки вдоль оси детали на величину шага резьбы на детали будет образован один виток резьбы.

Фрезерование резьбы производится дисковой или групповой фрезой, установленной в специальной головке с приводом в суппорте токарновинторезного станка.

Фрезерование дисковой фрезой применяют для резьб с большим шагом и крупным профилем. Нарезание производится за 1 ... 3 рабочих хода. Фрезерование групповой фрезой используют для коротких резьб с мелким шагом. Групповую фрезу устанавливают параллельно оси детали, а не под углом как дисковую фрезу. Предварительно производят врезание на глубину резьбы, а затем за один оборот заготовки вращающаяся фреза перемещается на один шаг резьбы. Образование резьбы происходит за 1,2 оборота заготовки (0,2 оборота необходимы для врезания фрезы и перекрытия места врезания).

При обработке внутренних резьб на токарных станках инструмент (метчик, раскатник, метчик-раскатник) устанавливают в задней бабке или (резьбовой резец, многониточный резец-гребенка) резцедержателе.

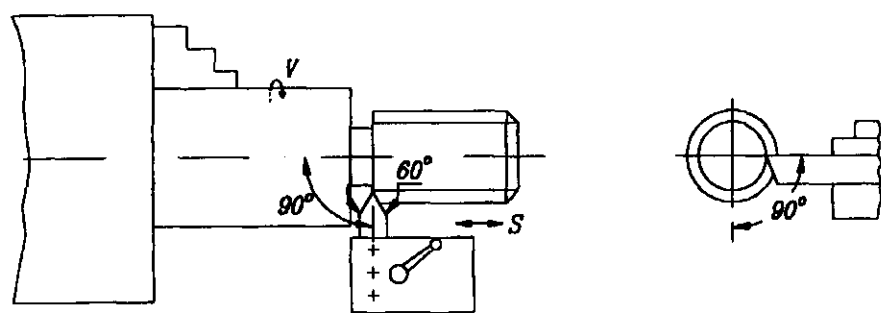


Рис. 23. Схема обработки наружной резьбы резцом

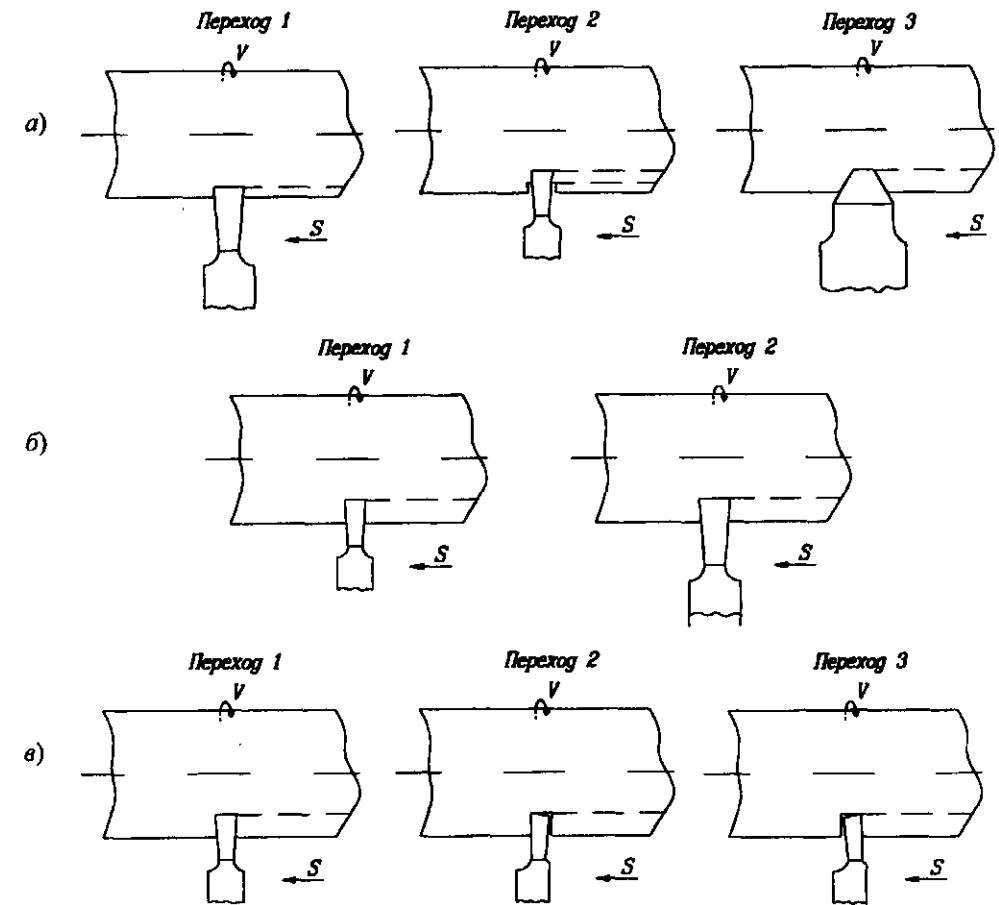


Рис. 24. Схема нарезания трапецидальной (а) и прямоугольной (б и в) резьбы

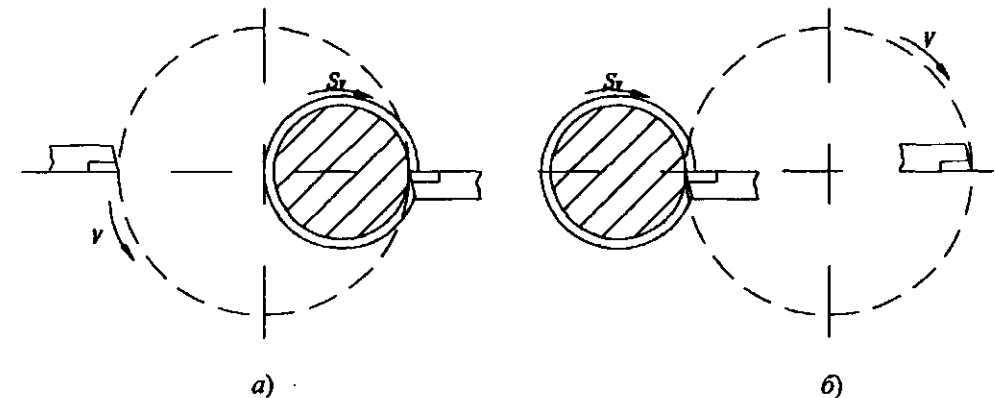


Рис. 25. Схемы нарезания резьб вихревым методом

ОБРАБОТКА НА ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

На универсальных токарно-карусельных станках обрабатывают заготовки разнообразной формы, больших диаметров (до 10 000 мм) при относительно малой длине ($L/D \leq 1$); на станках специального исполнения обрабатывают заготовки диаметром до 20 000 мм и более.

Станки предназначены для черновой и чистовой обработки разнообразных заготовок из черных и цветных металлов. Основными типами токарно-карусельных станков являются:

а) одностоечные (1508, 1510, 1512, 1516 и др.) с одним вертикальным суппортом с пятипозиционной револьверной головкой и боковым суппортом с четырехрезцовым поворотным резцедержателем;

б) двухстоечные (1520, 1525, 1Л532, 1540, 1550 и др.) с двумя вертикальными и одним боковым суппортами.

Основные параметры, размеры, а также нормы точности и жесткости одностоечных и двухстоечных станков общего назначения классов точности Н и П приведены в ГОСТ 44-93.

Данные станки с устройством цифровой индикации (исполнение Ф1) или без него позволяют выполнять обтачивание и растачивание цилиндрических, конических и фасонных поверхностей тел вращения; обтачивание торцовых поверхностей; подрезание уступов; прорезание кольцевых канавок и отрезание; сверление и рассверливание, зенкерование и развертывание отверстий. Наличие прямого и обратного вращения планшайбы расширяет эксплуатационные возможности станков.

С помощью специальных приспособлений можно выполнять операции: нарезание резьбы, фрезерование, растачивание глубоких отверстий, шлифование, суперфиниширование, обкатывание роликами и притирку.

При чистовой обработке на данных станках достигается точность 7 – 8-го квалитета и шероховатость поверхности $Ra = 3,2 \dots 6,3$.

Токарно-карусельные станки с ЧПУ позволяют автоматизировать процесс обработки и в 2 – 2,5 раза повысить производительность.

При обработке деталей диаметром до 2000 мм станки с ЧПУ обеспечивают точность 8 – 9-го квалитета, а диаметром св. 2000 мм – 6 – 7-го квалитета.

Схемы обработки элементарных поверхностей. Наружные цилиндрические поверхности обтачивают с помощью вертикаль-

ного (рис. 26, а) или бокового суппорта (рис. 26, б). Предпочтение отдается первому способу, так как второй способ применяют только при сравнительно небольшом вылете l ползуна бокового суппорта. Однако большую точность при обработке сравнительно высоких заготовок обеспечивает боковой суппорт из-за постоянства сил отжатий. Черновую обработку двумя резцами и более по методу деления припуска (рис. 26, в) применяют для заготовок с большими припусками, а черновую и получистовую обработку по методу деления длины (рис. 26, г) – для заготовок с небольшими припусками и при обработке ступенчатых цилиндрических поверхностей.

Торцовые поверхности обрабатывают как вертикальным (рис. 27, а), так и боковым (рис. 27, б) суппортом. Вертикальный суппорт позволяет обрабатывать поверхности любых размеров с направлением подачи от периферии к центру. Подачу от центра применяют при обработке закрытых поверхностей. Боковым суппортом обрабатывают неширокие торцовые поверхности, расположенные в зоне действия суппорта. Точность обработки снижается с увеличением вылета l . Обтачивание несколькими резцами по методу деления длины с увеличенной подачей применяют при черновой и получистовой обработке широких кольцеобразных торцовых поверхностей (рис. 27, в).

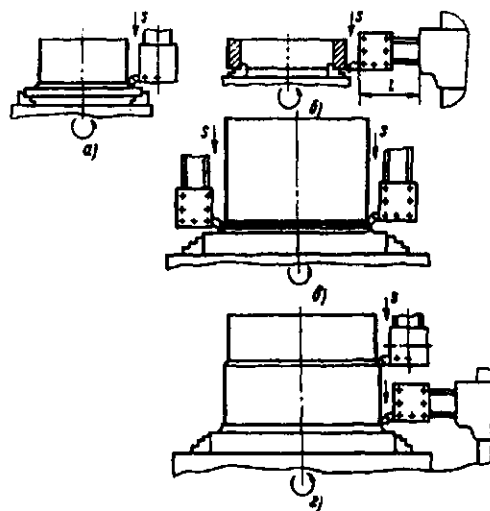


Рис. 26. Схемы обтачивания цилиндрических поверхностей

Резцы размещают со сдвигом относительно друг друга. Обтачивание несколькими резцами по методу деления припуска применяют при черновой обработке торцовых поверхностей с большими припусками (рис. 27, з).

Небольшие кольцеобразные торцы шириной до 50 мм подрезают специальными пластинами или торцовыми зенкерами при осевой подаче.

Уступы шириной не более 20 мм можно подрезать резцом с $\phi = 90^\circ$ при вертикальной подаче (рис. 28, а). Путь резания определяется припуском h на обработку. Затраты времени минимальны. Однако возможно возникновение вибраций. При подрезании уступа с горизонтальной подачей инструмента (рис. 28, б) путь резания равен ширине уступа l , и трудоемкость обработки соответственно возрастает.

Обработку уступов большой ширины осуществляют за несколько проходов при сочетании вертикальной и горизонтальной подач (рис. 28, в и г); чистовой переход проводят подрезным резцом при горизонтальной подаче.

Цилиндрические отверстия диаметром $d < 40$ мм сверлят одним сверлом; при $d > 40$ мм применяют сверление с рассверливанием; диаметр первого сверла 20 мм. Кольцевое сверление используют для отверстий диаметром 60 – 200 мм и длиной до 500 мм в сплошном материале.

Зенкерование применяют при обработке отверстий диаметром до 100 мм вместо рассверливания или как метод предварительной обработки отверстий в отливках и штампованных заготовках. Развертыванием окончательно обрабатывают отверстия диаметром до 100 мм.

Растачивание – наиболее распространенный способ обработки отверстий, получаемых при литье, штамповке или сверлении. При глубине резания св. 10 мм растачивание выполняют двумя резцами. Чистовое растачивание осуществляют одним резцом.

Конические поверхности с длиной образующей l до 100 мм обрабатывают широким резцом (рис. 29, а). Способ производителен. Точность и качество обработанной поверхности невысокие из-за вибрации.

Путем поворота вертикального суппорта обычным резцом обрабатывают конические поверхности любой длины с углами уклонов в пределах $0 - 45^\circ$ (рис. 29, б и в). Способ производителен.

Подбором сменных зубчатых колес на станках, имеющих гитару, конические поверхности обрабатывают резцами. Способ сложный, требует предварительного расчета и наладки станка.

С помощью конусной линейки или копирных приспособлений с отключением салазок суппорта от ходового винта обрабатывают конические поверхности с углами уклонов $0 - 12^\circ$. Способ удобен и производителен.

При использовании конусной линейки (рис. 29, з), закрепляемой на поперечине станка, вертикальным суппортом с вертикальной подачей инструмента обрабатывают конические поверхности. Конусы обтачивают с использованием копирных приспособлений (рис. 29, д) при вертикальной подаче бокового суппорта сверху вниз (для наружного конуса) или горизонтальной подаче в направлении к центру планшайбы (для внутреннего конуса) при соответствующем расположении копира.

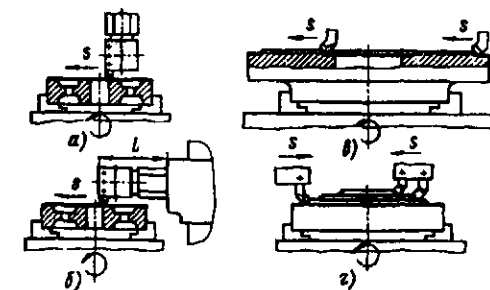


Рис. 27. Схемы обработки торцовых поверхностей

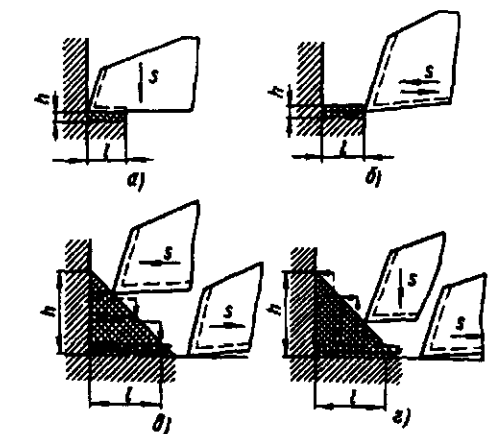


Рис. 28. Схемы подрезания уступов

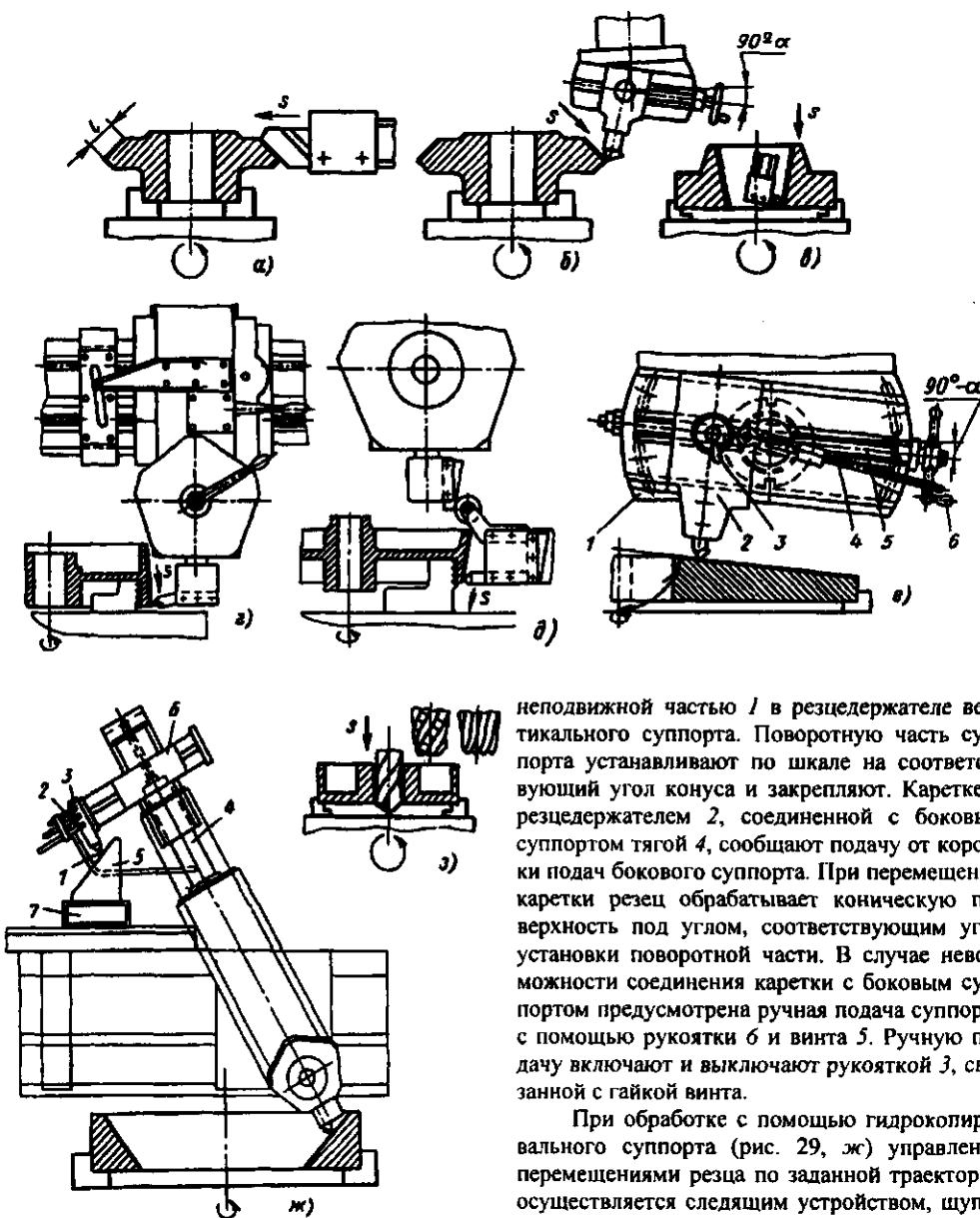


Рис. 29. Схемы обработки конических поверхностей

С помощью специальных суппортов обрабатывают конические поверхности с любым углом уклона (обратная конусность не более 30°). Способ обеспечивает высокую производительность и точность. На рис. 29, е показан универсальный суппорт, жестко закрепленный

неподвижной частью 1 в резцедержателе вертикального суппорта. Поворотную часть суппорта устанавливают по шкале на соответствующий угол конуса и закрепляют. Каретке с резцедержателем 2, соединенной с боковым суппортом тягой 4, сообщают подачу от коробки подач бокового суппорта. При перемещении каретки резец обрабатывает коническую поверхность под углом, соответствующим углу установки поворотной части. В случае невозможности соединения каретки с боковым суппортом предусмотрена ручная подача суппорта с помощью рукоятки 6 и винта 5. Ручную подачу включают и выключают рукояткой 3, связанной с гайкой винта.

При обработке с помощью гидроконтрольного суппорта (рис. 29, ж) управление перемещениями резца по заданной траектории осуществляется следящим устройством, шуп 1 которого скользит по копиру 5. При этом вертикальный суппорт имеет горизонтальную подачу. Гидроцилиндр 4 следящего устройства помещен позади вертикальных салазок вертикального суппорта. На связанной с этими салазками поперечине 6 размещают направляющий распределитель 2 с маховичком 3, которым регулируют положение шупа 1. Копир 5 закрепляют в державке 7, установленной на траверсе станка. Боковой суппорт в этом слу-

чае можно использовать для обработки других поверхностей заготовки.

Канавки шириной до 25 мм, к которым не предъявляют высоких требований по точности размеров и расположению, прорезают одним или несколькими резцами за один рабочий ход (рис. 30, а). При повышенных требованиях к точности обработку осуществляют за два рабочих хода: черновой и чистовой тем же резцом. Канавки шириной более 25 мм (рис. 30, б) и фасонные канавки (рис. 30, в) прорезают за несколько рабочих ходов одним или несколькими резцами.

С применением специальных оправок канавки прорезают на налаженных станках, когда смещение суппорта нежелательно (рис. 30, г). Оправка с резцами для растачивания трех канавок при движении револьверной головки

вниз доводится до осевого упора. При дальнейшем движении головки канавочные резцы (с помощью внутреннего механизма с клиновыми элементами) выдвигаются в радиальном направлении и прорезают канавки. При отводе оправки от осевого упора резцы возвращаются в исходное положение, и оправка выводится из отверстия заготовки.

Операции отрезки осуществляют одним или несколькими отрезными резцами (рис. 31).

Сферические поверхности при длине дуги $l \leq 100$ мм обрабатывают фасонными резцами. При больших размерах поверхностей используют обычный резец с подачей по дуге окружности. Сферические поверхности обрабатывают также обычным резцом с помощью различных рычажных и копировальных устройств.

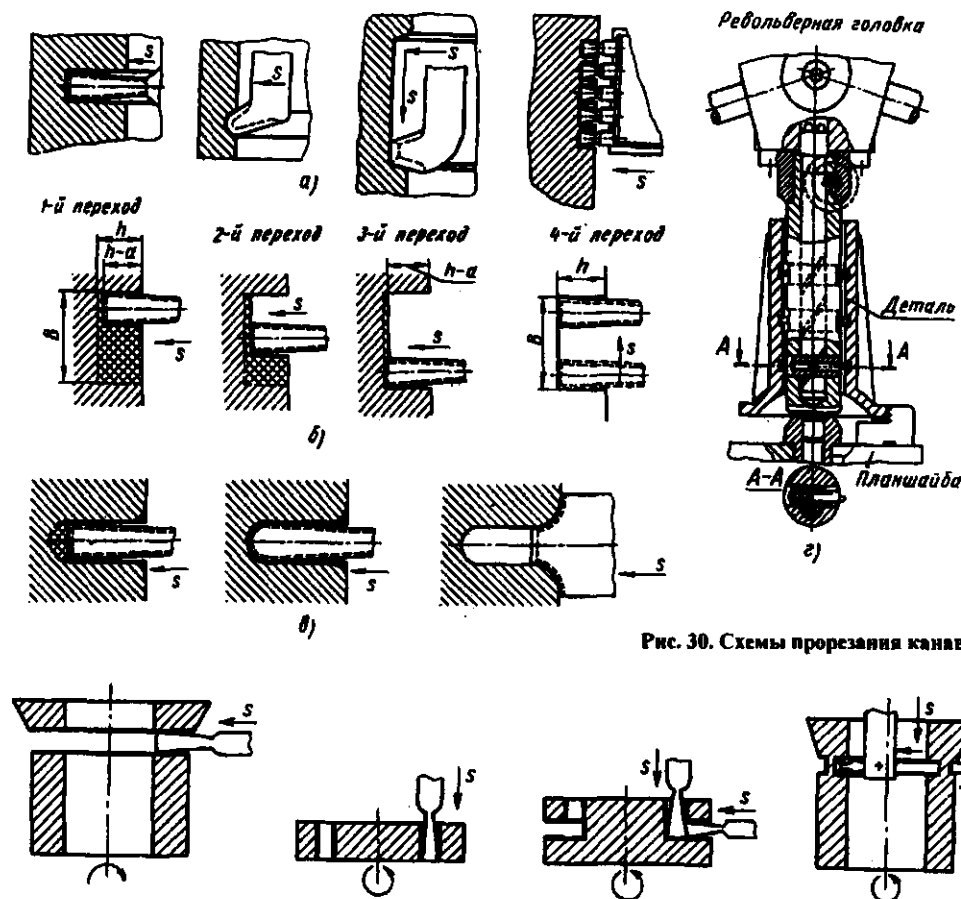


Рис. 30. Схемы прорезания канавок

Рис. 31. Схемы отрезания и вырезания

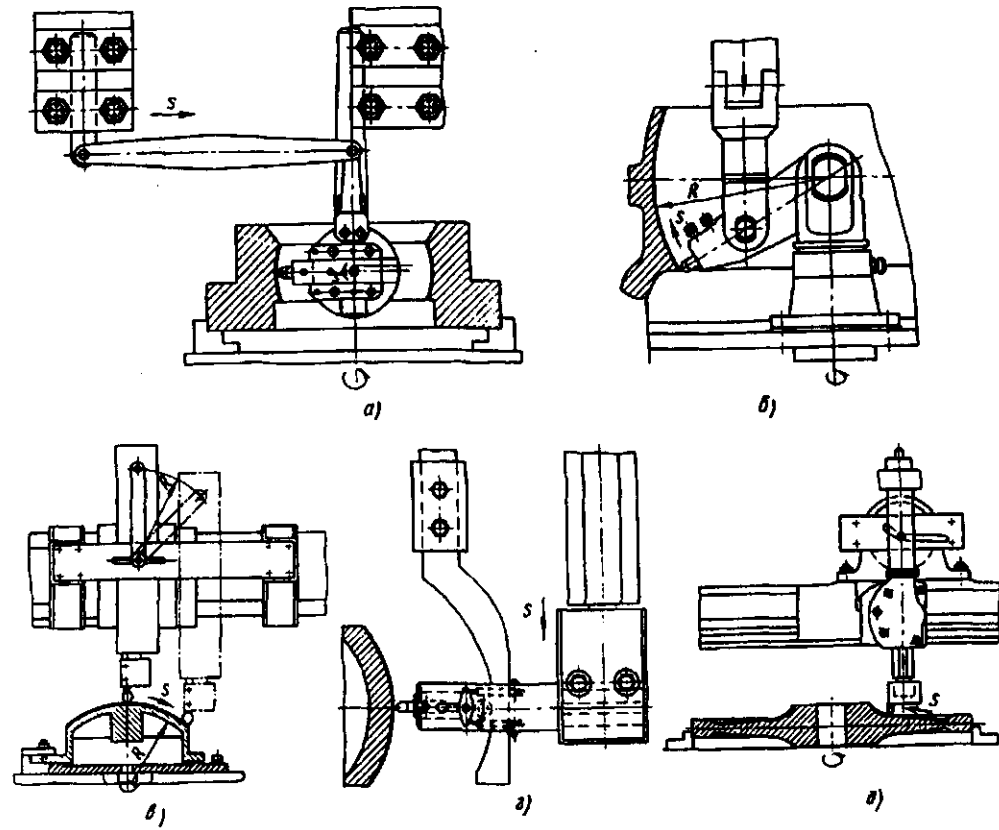


Рис. 32. Схемы обработки сферических и фасонных поверхностей

Используя рычажные приспособления и оба вертикальных суппорта (рис. 32, а) или один вертикальный суппорт и специальную стойку (рис. 32, б), обрабатывают поверхности в виде сфер; угол поворота резца вокруг оси поворотного резцедержателя не более 45° . Такие поверхности можно обрабатывать резцом с помощью тяг с использованием вертикального суппорта (рис. 32, в) или с помощью копировальных приспособлений с использованием вертикального (рис. 32, г) или бокового суппорта (рис. 32, д). При минимальных зазорах в сопряжениях обеспечиваются высокие производительность, точность и качество обработанной поверхности.

Отделочную обработку выполняют широким резцом (ширина режущей кромки 60 – 80 мм) с достижением шероховатости $Ra = 2,5 \dots 1,25$; при обкатке роликами $Ra = 1,25 \dots 0,32$; при шлифовании с помощью

приспособления, закрепленного в суппорте, $Ra = 1,25 \dots 0,63$; при суперфинишировании с помощью пневматического приспособления $Ra = 0,16 \dots 0,08$.

Установка заготовок и применяемые приспособления. При установке заготовок (литых, сварных или обработанных давлением) на станке необходимо точно совместить ось симметрии заготовки с осью вращения планшайбы станка. Выбор метода установки и крепления заготовки на станке определяется конфигурацией заготовки, серийностью изготовления и принятым методом обработки.

Методы установки и крепления заготовок на станке существенно влияют на точность, качество обрабатываемых поверхностей и на общую продолжительность обработки.

Заготовки типа тел вращения устанавливают на станке по отверстию и торцу или по наружному диаметру и торцу. Установку заго-

товок в зависимости от их конфигурации и размеров и от состояния опорных поверхностей производят на подкладки, опорные поверхности кулачков или непосредственно на планшайбу станка. Закрепляют заготовки с помощью универсальных крепежно-зажимных приспособлений или кулачков (рис. 33, а). Тонкостенные заготовки закрепляют кулачками двустороннего действия (рис. 33, б). При закреплении корпусных деталей кулачки располагают на планшайбе станка в соответствии с конфигурацией заготовки.

Для правильного и надежного закрепления заготовок различных конфигураций применяют специальные съемные губки, приспособленные к конфигурации и размерам обрабатываемых заготовок (рис. 34). Для обеспечения concentricity поверхностей заготовок, обрабатываемых при разных установках, целесообразно применять специальные центрирующие приспособления (рис. 35): оправки, шайбы и планки, устанавливаемые на планшайбе станка с базированием по центрирующему отверстию в планшайбе диаметром 150Н7 мм (1512, 1516) и 260Н7 мм (1525, 1532 и др.) или Т-образному пазу шириной 28Н13 мм.

Установка заготовки с выверкой проводится по разметочным рискам с помощью иглы, закрепленной в суппорте станка, или непосредственно по обработанным поверхностям с помощью индикатора (табл. 1). Выверяют заготовку при медленном вращении планшайбы.

1. Погрешности (мм) установки заготовки с выверкой

Метод выверки	Размеры поверхностей, м				
	до 1	св. 1 до 3	св. 3 до 6	св. 6	
Иглой по разметке	0,5	1	2	3	
Индикатором:	по предварительно обработанной поверхности	0,15	0,2	0,4	0,6
	по чисто обработанной поверхности	0,05	0,08	0,10	0,15

($n = 2$ об/мин). Положение заготовки в процессе установки исправляют перемещением кулачков, подклиниванием заготовки и другими методами.

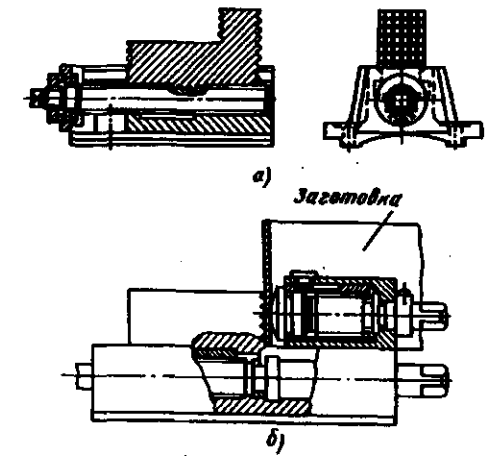


Рис. 33. Зажимные кулачки

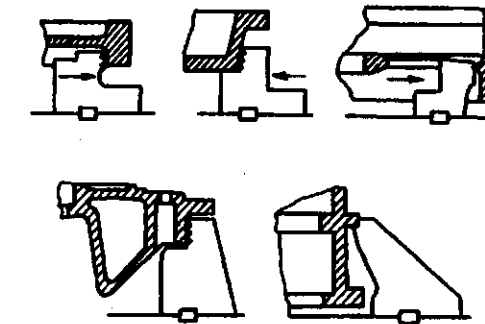


Рис. 34. Схемы закрепления заготовок на планшайбе станка

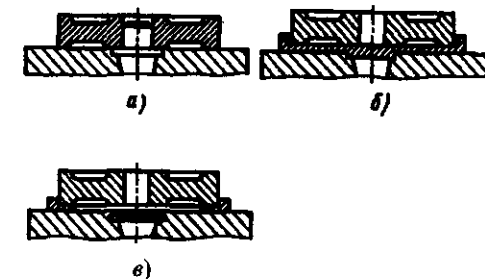


Рис. 35. Схемы применения центрирующих оправок (а), шайб (б), планок (в)

Специальные приспособления применяют преимущественно при серийном изготовлении деталей, а также при изготовлении особо точных конструктивно сложных и тонкостенных деталей.

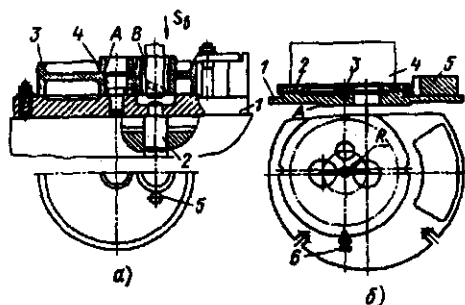


Рис. 36. Схемы обработки отверстий с параллельными осями

Для обработки сложных деталей с параллельными осями применяют специальные поворотные приспособления.

Приспособление (рис. 36, а) состоит из вспомогательной планшайбы 1, центрируемой на основной планшайбе станка с помощью оправки 2. Заготовку 3 отверстием А, ранее обработанным при первом установе (при закреплении кулачками), устанавливают эксцентрично на планшайбе с помощью оправки 4. Расстояние между осями оправок соответствует расстоянию между осями отверстий А и В.

Правильное угловое положение отверстия В заготовки обеспечивается упором 5. После закрепления заготовки прихватами и установки противовеса на планшайбе растачивают отверстие В.

При растачивании трех отверстий и более с параллельными осями, расположенных по окружности, применяют поворотное приспособление (рис. 36, б), состоящее из двух дисков: неподвижного 1 и вращающегося 2. Неподвижный диск 1 выступом А центрируется на планшайбе стола. С помощью болта 3 на нем крепится вращающийся диск 2 и противовес 5. Ось вращения диска 2 смещена относительно оси вращения планшайбы на величину R, равную радиусу окружности, проходящей через центр обрабатываемых отверстий. Благодаря этому при повороте диска 2 с заготовкой 4 каждое из обрабатываемых отверстий совмещается с осью вращения планшайбы станка. Фиксация диска 2 в заданном положении осуществляется с помощью фиксатора б.

Режущий инструмент и его установка. В качестве основного режущего инструмента при работе на станках применяют проходные, расточные, подрезные, прорезные, канавочные,

фасонные и резьбовые резцы с пластинками из твердых сплавов ВК4, ВК6, ВК8 для обработки заготовок из чугуна и сплавов Т5К10, Т15К6, Т30К4, Т14К8 для обработки заготовок из стали, а также осевой инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры, развертки). Крепят инструмент в резцедержателях суппортов или оправках, устанавливаемых в отверстие диаметром 70Н7 мм в револьверной головке.

Для сокращения времени на переналадку инструмента желательно применять резцы с механическим креплением непереключаемых твердосплавных пластин, которые благодаря стабильности размеров граней позволяют вести обработку заготовок без коррекции на вылет резца после их поворота и закрепления в резцедержателе.

Весь объем обработки одной и той же заготовки на универсальном станке может быть расчленен на большее или меньшее число операций. Это зависит от размеров и массы заготовки, программы выпуска, характера обработки, условий и трудоемкости установки и выверки заготовки на станке. Небольшие заготовки диаметром до 600 мм, изготавливаемые серийно, целесообразно обрабатывать с расчленением процесса обработки на несколько простых операций с использованием револьверной головки на предварительно настроенных станках. В наладках предусматривают упоры, применяют простейшие устройства и приспособления для ускорения настройки станков, для установки, крепления и снятия детали и для контроля.

Обработку крупных и тяжелых заготовок, а также обработку единичных и небольших партий заготовок более целесообразно выполнять при минимальном числе операций, используя одновременно в работе два суппорта и более (рис. 37) обычно за два установа. При первом установе обрабатывают поверхности со стороны прибыли или литника, принимая за технологическую базу необработанную поверхность, обладающую достаточными размерами, и самую ровную. При втором установе заготовку выверяют по ранее обработанным поверхностям и производят ее окончательную обработку. При повторных установках в качестве технологических баз используют только обработанные поверхности. Часто черновую и чистовую обработку ведут на одних и тех же станках, иногда даже не прерывая процесса обработки.

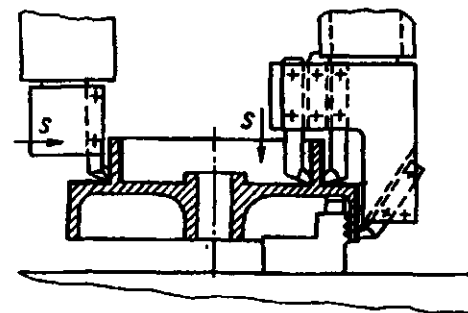


Рис. 37. Схема многоинструментной обработки крупногабаритной заготовки

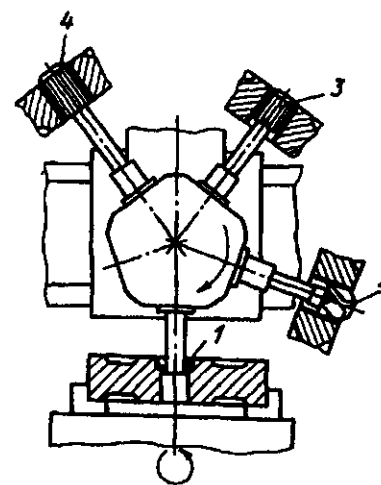


Рис. 38. Схема обработки отверстия осевым инструментом

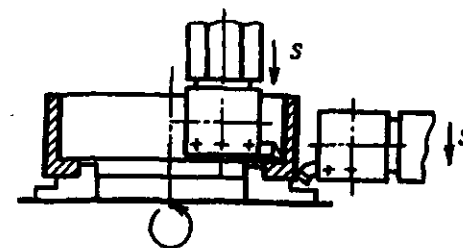


Рис. 39. Схемы обработки тонкостенной заготовки

Окончательный размер обработанной поверхности при чистовой обработке, заданный чертежом, обеспечивается с помощью рабочих ходов и пробных проточек, число которых зависит от требуемой точности обрабаты-

ваемых поверхностей и квалификации токаря-карусельщика. Чистовое растачивание отверстий с точностью 7-го качества выполняют за два-три рабочих хода и пять-шесть пробных проточек с измерением полученного размера; растачивание отверстий с точностью 8-го качества - за один-два рабочих хода и три-четыре пробные проточки; отверстия с точностью 9-го качества растачивают за один рабочий ход с двумя пробными проточками.

Отверстия диаметром до 250 мм обрабатывают на станках с револьверной головкой. Весь необходимый режущий инструмент устанавливают в определенной последовательности в позициях 1 - 4 револьверной головки (рис. 38).

Отверстия в сплошном материале на карусельных станках обрабатывают сравнительно редко. Более распространена обработка отверстий, полученных в отливках и поковках. При этом целесообразно сначала расточить отверстие, приняв за базу наружную поверхность (для устранения отклонения соосности), а затем на базе отверстия обточить наружную поверхность. При обратной последовательности обработки с наружной поверхности снимается значительно больше (по объему) металла.

При обработке нежестких заготовок, склонных к деформации, после обдирки назначают операцию естественного или искусственного старения, а также применяют такие способы установки и крепления заготовок, при которых деформации минимальны. Если возможно, рекомендуется одновременная обработка тонкостенной заготовки несколькими резцами, радиальные силы резания от которых направлены навстречу друг другу, что уменьшает деформацию обрабатываемой заготовки (рис. 39).

ОБРАБОТКА НА ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫХ СТАНКАХ

Благодаря совмещению в одной операции нескольких переходов и применению многоинструментных наладок в серийном производстве на токарно-револьверных станках осуществляют разнообразную многопереходную обработку деталей вместо раздельного исполнения тех же переходов на токарных, сверлильных и других станках. В массовом производстве токарно-револьверные станки не находят применения, так как подобную обработку деталей проводят на автоматизированном оборудовании. На то-

карно-револьверных станках обрабатывают разнообразные детали из пруткового материала или из отдельных заготовок (валики, втулки, арматуру, шкивы, маховички, корпусные детали и т.п.); обтачивают и растачивают цилиндрические, конические, шаровые и профильные поверхности, подрезают торцы, вытачивают канавки, нарезают и накатывают резьбы, рифления и т.п. Без применения мерного инструмента достигается точность 12 – 13-го качества, а с применением разверток и головок – 8 – 10-го качества. Нарезание или накатывание резьбы обеспечивает поле допуска $6H/6H - 7h/7H$.

Различают токарно-револьверные станки с вертикальной или горизонтальной осью вращения револьверной головки, при повороте которой происходит автоматическая смена режимов резания. Перемещение головки ограничивают регулируемые упоры, выключающие подачу. На станках первого типа револьверная головка, обычно с шестью гнездами для закрепления инструментов, совершает продольное поступательно-возвратное движение, а поперечный суппорт с передней четырехрезцовою головкой и задней державкой может перемещаться в продольном и поперечном направлениях. На станках второго типа револьверная головка с 12 – 16 гнездами для инструментов также имеет продольное поступательно-возвратное движение и в результате вращения вокруг оси – поперечное. При наличии копира совмещение этих двух движений допускает обработку конусов и профилей. Станки обоих типов оснащают также накладным устройством для нарезания резьбы резцом, гребенкой или резьбонарезной головкой с подачей на шаг сменными копирами.

Обработка отверстий. Сверление проводят после подрезания торца и центрования под углом 90° сверлом с коротким вылетом. Отверстия обрабатывают спиральными цилиндрическими, ступенчатыми или комбинированными сверлами и зенкерами с достижением точности 12 – 14-го качества и допустимого биения в пределах допуска на диаметр. При более жестком допуске на биение короткие отверстия небольшого диаметра обрабатывают полукруглыми сверлами без предварительного центрования или растачивают. В случае обработки полых или корпусных деталей зенкеры и развертки можно направлять по втулке, смонтированной в зажимное приспособление (см. рис. 43). Развертки закрепляют в револьверной головке в плавающих или качающихся патронах.

Торцы подрезают резцами с поперечной подачей или цековкой, закрепленной в револьверной головке, с продольной подачей. Торцы ступенчатых валиков или ступенчатых отверстий можно подрезать резцом с осевой подачей.

Резьбообразование. Машинные метчики, плашки, резьбонарезные и резьбонакатные головки закрепляют в револьверной головке. Они работают с осевой подачей по принципу самозатягивания, так как станки не имеют ходовых винтов. В начальный момент резьбообразования револьверной головке с инструментом сообщают принудительную осевую подачу, соответствующую шагу резьбы, а затем выключают ее, и головка перемещается вследствие самозатягивания. Учитывая массивность револьверной головки, резьбообразующий инструмент рекомендуется закреплять в выдвинутой державке, допускающей осевое перемещение инструмента при неподвижной головке. Державки должны выходить из поводка после достижения заданной глубины нарезания. Применение резьбонарезных или резьбонакатных автоматически открывающихся головок не требует реверсирования. Поверхность заготовок под накатывание резьбы протачивают резьбонарезными головками с гладкими гребенками.

Совмещение переходов обработки (рис. 40) является типичным для револьверных станков. Обычно совмещают черновые переходы: обтачивание и сверление, растачивание и обтачивание, подрезание торцов и снятие фаски и т.п. Не рекомендуется производить одновременно черновую и чистовую обработки: сверление и развертывание, грубое обтачивание и чистовое растачивание, так как в этом случае несовместимы режимы резания, а возникающие при черновой обработке вибрации вызывают появление погрешностей при чистовых переходах.

На револьверных станках осуществляют **групповую обработку** однотипных деталей с минимальной затратой времени на переналадку. Детали, сходные по конфигурации и переходам обработки, объединяют в группы. Детали одной группы, близкие по размерам, обрабатывают на револьверных станках одной модели одинаковыми методами, с применением типовой оснастки. Групповой технологический процесс разрабатывают на комплексную деталь, т.е. на условную деталь, подвергаемую обработке, присущей всем деталям данной группы. Для обработки комплексной детали

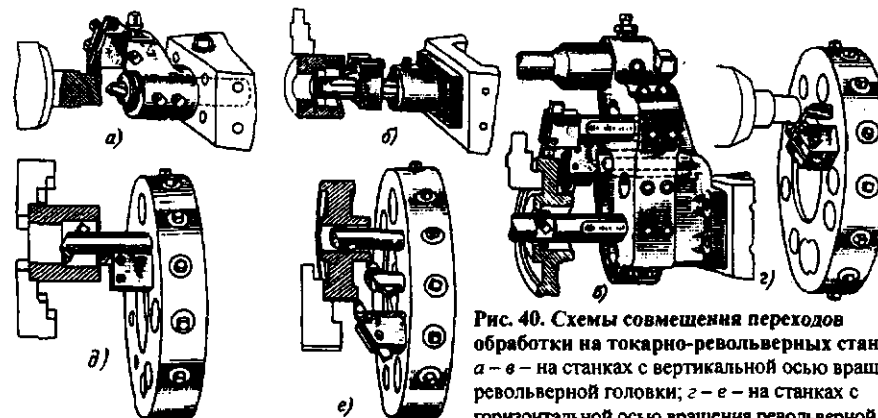


Рис. 40. Схемы совмещения переходов обработки на токарно-револьверных станках: а – в – на станках с вертикальной осью вращения револьверной головки; с – е – на станках с горизонтальной осью вращения револьверной головки

создают универсальное приспособление и универсальную групповую наладку, допускающие обработку любой детали данной группы с наименьшими переналадками. Групповую наладку фиксируют в наладочной карте, в которой указывают все переходы обработки, шифр инструментов, места их закрепления, случаи замены и прочие сведения, необходимые для осу-

ществления групповой обработки. На рис. 41 приведена групповая наладка для обработки типовых деталей типа втулок на револьверном станке с горизонтальной осью вращения головки. Если число инструментов превышает число гнезд в головке, применяют быстросменный патрон для последовательного ввода их в работу.

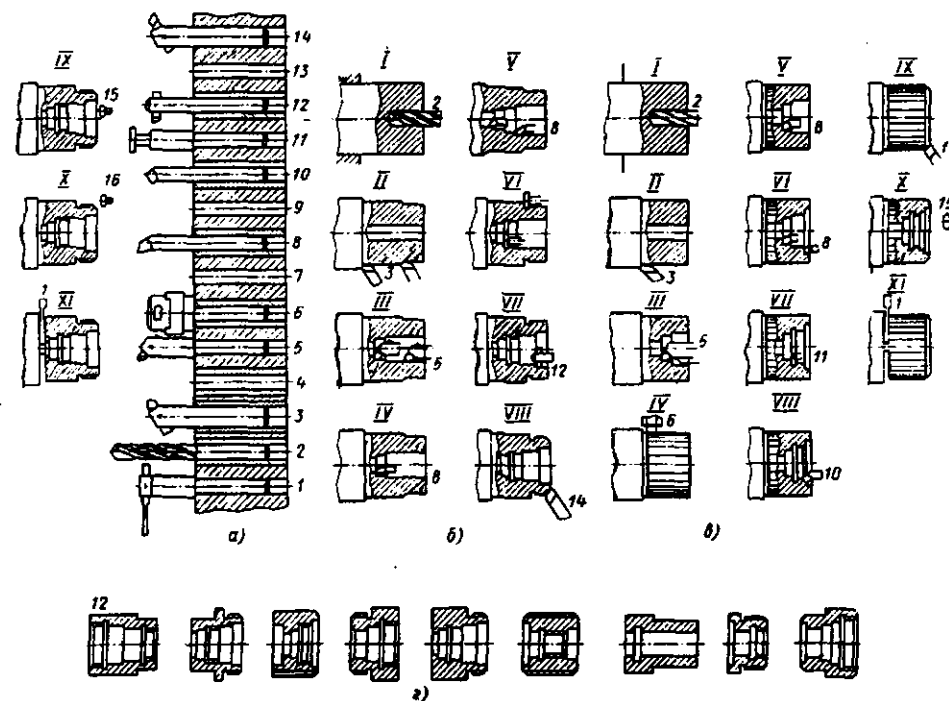


Рис. 41. Схемы настройки револьверной головки для групповой обработки деталей: а – револьверная головка с комплектом инструмента; б, в – примеры выполняемых переходов обработки; г – типовые детали. I – XVI – переходы обработки; I – 16 – позиции инструментов в револьверной головке

Обработка на станках с вертикальной осью вращения револьверной головки. Для устранения влияния погрешностей индексации и фиксации револьверной головки на точность обработки, а также повышения жесткости технологической системы пользуются направляющей штангой, укрепляемой на шпиндельной бабке и дополнительно центрирующей головку (рис. 42), или направляют закрепленный в головке инструмент по втулке, вмонтированной в приспособление (рис. 43) для закрепления штучной заготовки. Режущий инструмент устанавливают в револьверной головке с учетом наименьшего влияния на точность обработки погрешности индексации (рис. 44). Для вытачивания канавок применяют рычажные, реечные или винтовые приспособления (рис. 45). Профильные поверхности обрабатывают фасонными резцами, установленными на суппорте (рис. 46), или с помощью копирных устройств (рис. 47, 48).

Нежесткие заготовки обтачивают с поддержкой центром, установленным в револьверной головке (рис. 49).

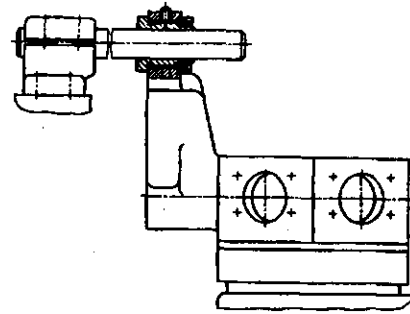


Рис. 42. Схема центрирования револьверной головки направляющей штангой

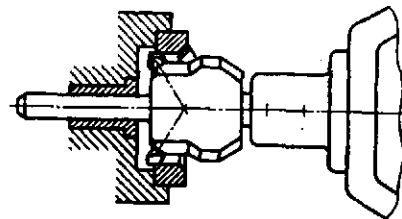


Рис. 43. Расточная скалка с направляющей частью

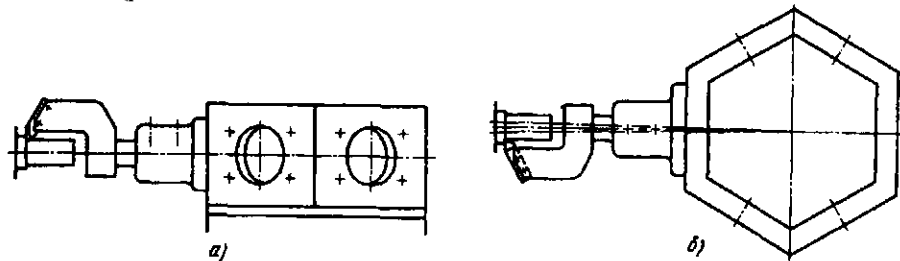


Рис. 44. Схемы расположения резца относительно оси револьверной головки: а – правильно, б – неправильно

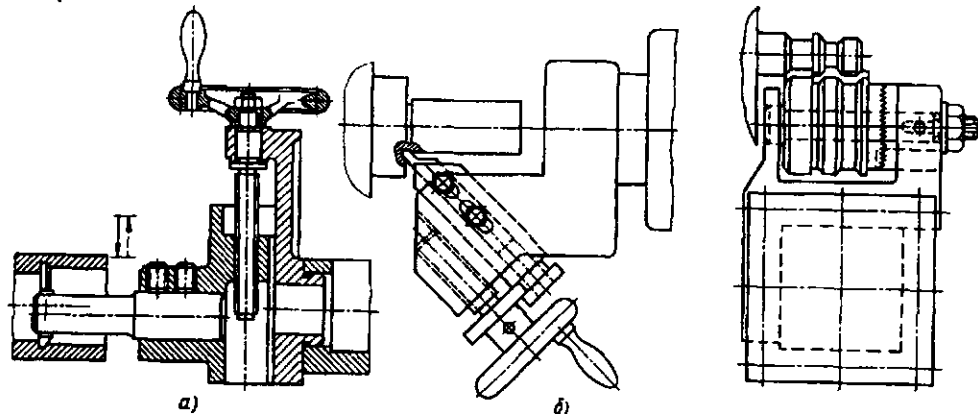


Рис. 45. Винтовые приспособления: а – для растачивания канавок, б – для протачивания канавок на ступенчатых валиках

Рис. 46. Державка с дисковым фасонным резцом, закрепленная на суппорте

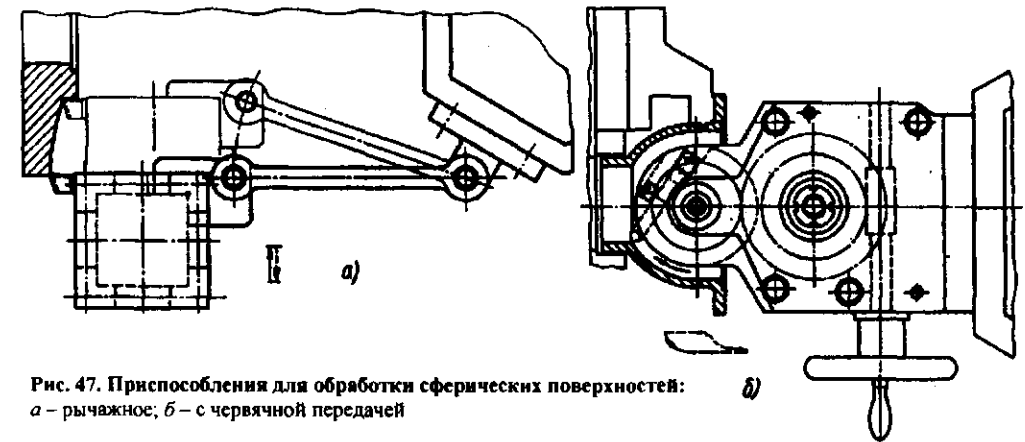


Рис. 47. Приспособления для обработки сферических поверхностей: а – рычажное; б – с червячной передачей

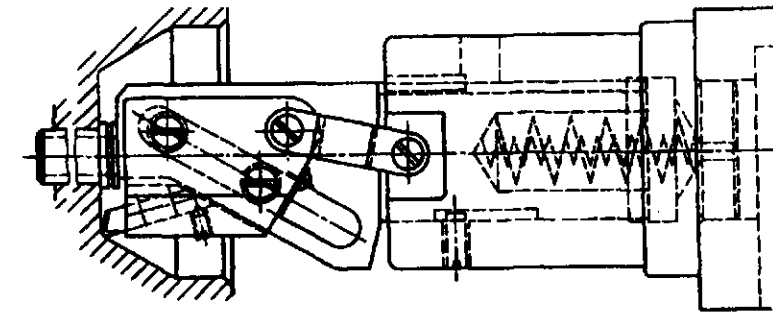


Рис. 48. Копирная державка для растачивания конуса

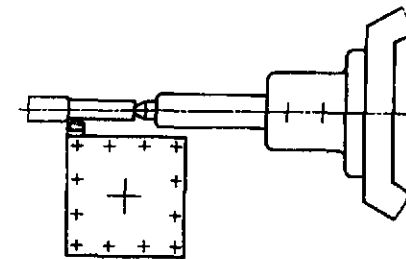


Рис. 49. Схема установки центра в револьверной головке

Примеры наладок (рис. 50 – 53). Наладку на рис. 50 характеризует использование многолезвевых державок для обтачивания стержня и снятия фаски, а также фасонного резца для получения сферической поверхности. Угловой канавочный резец одновременно уменьшает припуск на последующее обтачивание по сфере.

Стержень пальца (рис. 51) обтачивают под резьбу державкой с лонетом, что предохраняет пруток от вибрации и отжима. Резьбу нарезают резьбонарезной головкой, закрепленной в выдвижной державке, облегчающей самозатягивание инструмента. Перед отрезкой пруток дополнительно выдвигают до упора на нужную длину. Использование комбинированного многолезвийного инструмента (рис. 52, 53) позволяет совместить ряд переходов обработки и упростить настройку.

Обработка на станках с горизонтальной осью вращения револьверной головки. Большое число гнезд для инструмента и возможность круговой подачи создают благоприятные условия для многопереходной и групповой обработки.

Благодаря круговому размещению гнезд для закрепления инструмента представляется возможность при многопереходной обработке использовать простые инструменты вместо

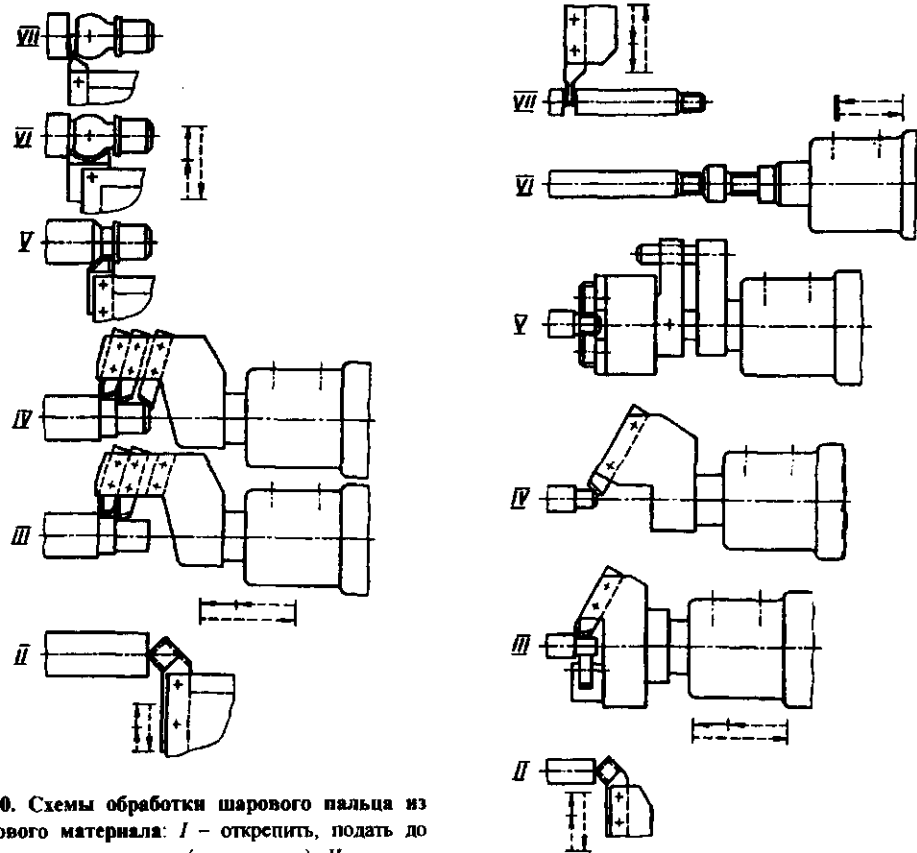


Рис. 50. Схемы обработки шарового пальца из пружинного материала: I – открепить, подать до упора и закрепить пруток (не показано); II – подрезать торец; III – обточить стержень по двум диаметрам предварительно; IV – обточить стержень по двум диаметрам окончательно и снять фаску; V – обточить шейку; VI – обточить палец по сфере; VII – отрезать деталь

комбинированных (рис. 54). На рис. 55 приведены схемы многопереходной обработки детали из пружинного материала, а на рис. 56 – из штампованной заготовки. Резьбу на конце вала (рис. 56) нарезают малогабаритной головкой с радиальными гребенками, закрепленной в наклонном рычаге резьбонарезного устройства.

Интенсификация обработки на револьверных станках связана с применением инструментов с СМП: резцов, расточных головок, однолезвийных разверток типа "Мапал", модульной системы сборных инструментов – блоков, а также с сокращением времени на смену и настройку инструмента.

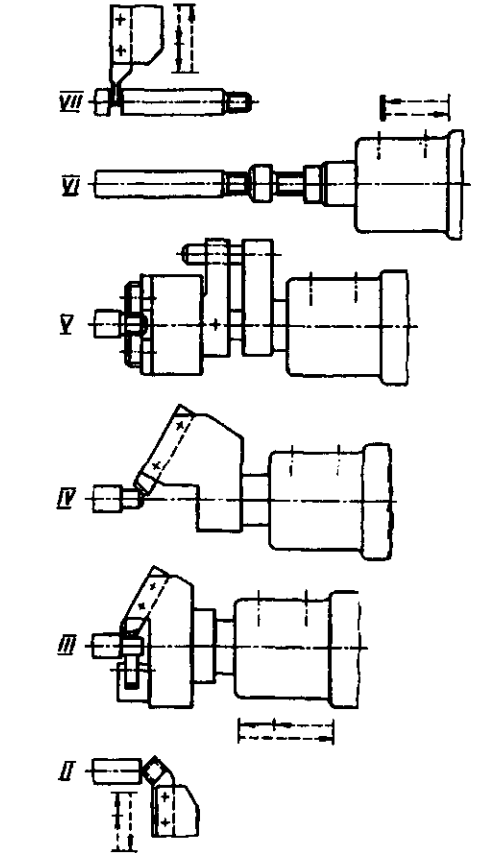


Рис. 51. Схемы обработки резьбового пальца из пружинного материала: I – открепить, подать до упора и с малым вылетом закрепить пруток (не показано); II – подрезать торец; III – обточить конец под резьбу; IV – снять фаску; V – нарезать резьбу; VI – подать пруток до упора на длину детали и закрепить пруток; VII – отрезать деталь

Использование на станках с вертикальной осью вращения револьверной головки эжекторных сверл позволяет за один переход обработать в заготовке отверстие с точностью 10–12-го качества и шероховатостью поверхности $Ra = 0,63 \dots 1,25$ мкм, но станок для этого требуется модернизировать. Схема наладки револьверного станка с использованием стандартных резцов с СМП и эжекторного сверла для обработки ступенчатой втулки представлена на рис. 57, а. В позициях 1, 3, 4 револьверной головки закреплены проходные упорные резцы, в позициях 2, 6 – эжекторное сверло и

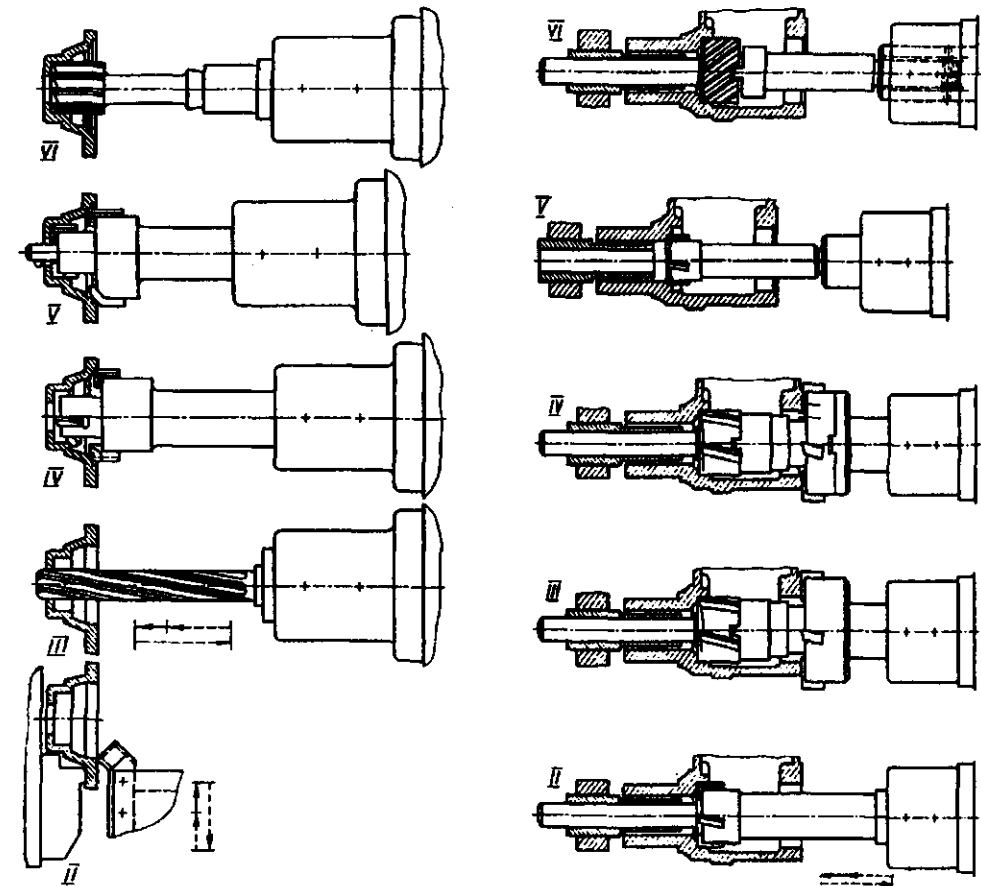


Рис. 52. Схемы обработки крышки из штучной заготовки: I – снять и закрепить заготовку (не показано); II – подрезать торец; III – зенкеровать центральное отверстие диаметром 24 мм; IV – предварительно расточить отверстия диаметром 44,5; 71 и 80 мм; снять фаску; V – окончательно расточить отверстия диаметром $25^{+0,21}$ и $72^{+0,12}$ мм; предварительно расточить отверстие диаметром 45,5 мм и притупить острые кромки; VI – развернуть отверстие диаметром $46^{+0,062}$ мм

трубопровод вывода стружки, в позиции 5 – резцы для снятия наружной и внутренней фасок. На позиции 1 (рис. 57, б) резцовой головкой суппорта закреплен подрезной канавочный резец; на позициях 2, 4 – фасочные резцы; на позиции 3 – канавочный резец. В случае, когда сверлят сквозное отверстие, для обеспечения возврата СОЖ в трубопровод вывода стружки в зажимной патрон монтируют заглушку с сальником (рис. 57, з).

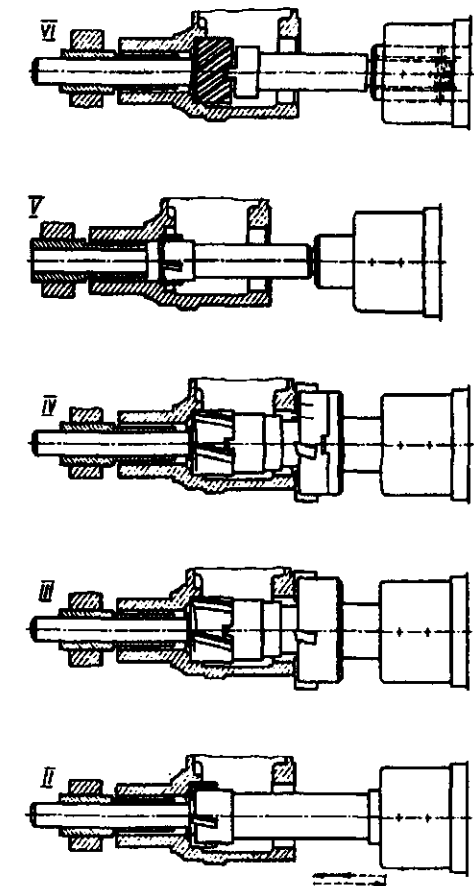


Рис. 53. Схемы обработки корпусной детали: I – снять и закрепить заготовку (не показано); II – зенкеровать два отверстия диаметром 68 мм "в линию"; III – зенкеровать два отверстия диаметром 70 мм "в линию" и предварительно подрезать наружный торец; IV – зенкеровать два отверстия диаметром 71,5 мм "в линию", снять фаску и окончательно подрезать наружный торец; V – снять фаску; VI – развернуть два отверстия диаметром $72^{+0,03}$ мм "в линию"

Для сокращения вспомогательного времени при наличии в револьверной головке свободных гнезд устанавливают дублирующие комплекты инструментов, чтобы несколько раз повторять цикл обработки за полный оборот головки. Сокращения времени на подналадку достигают путем настройки инструмента вне станка, по приборам, использования легкосменных, заранее налаженных, блоков инструментов или смены целиком револьверной головки в сборе с инструментами.

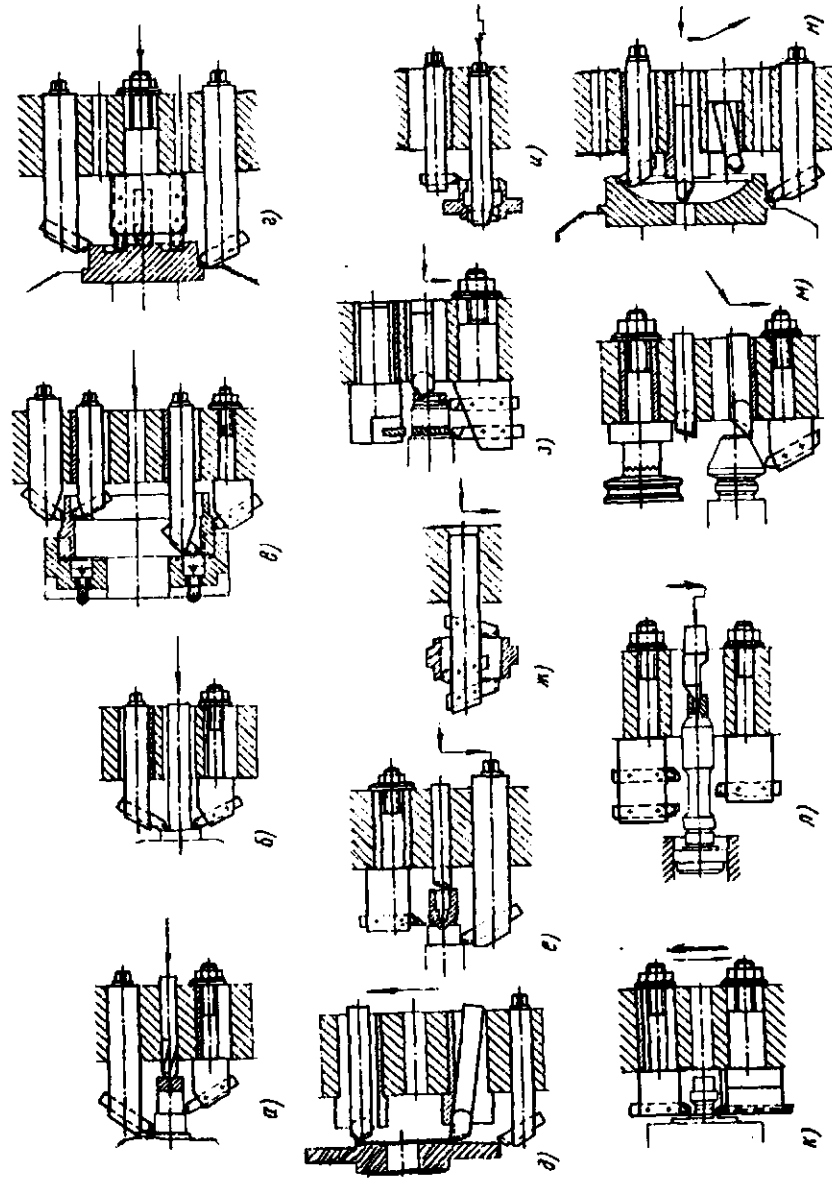


Рис. 54. Примеры совмещения переходов обработки на станках с горизонтальной осью вращения револьверной головки:
а - д - с осевой подачей; е - н - с осевой и поперечной подачей

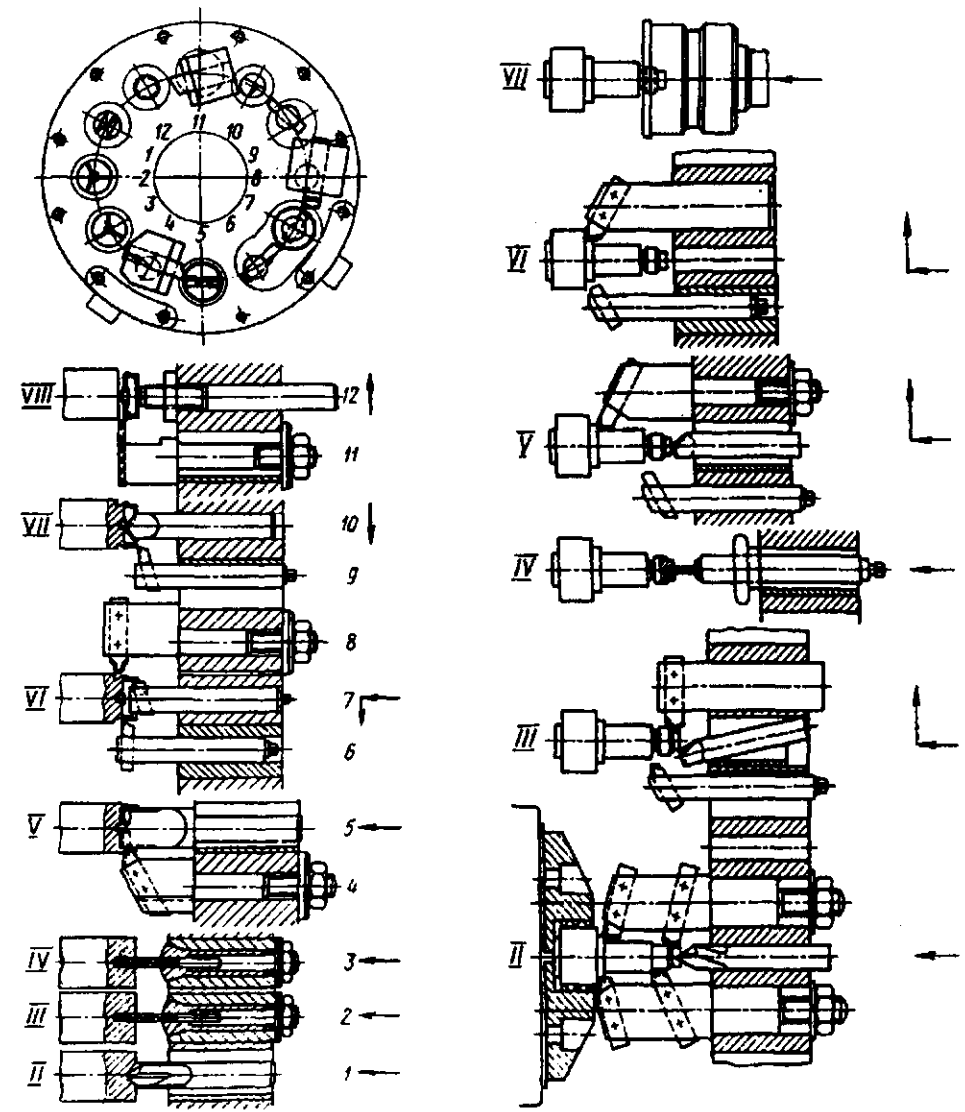


Рис. 55. Схемы обработки колпачка из пруткового материала:
I - открепить, подать до упора и закрепить пруток (не показано); II - центровать; III - предварительно рассверлить отверстие; IV - окончательно рассверлить отверстие; V - обточить и предварительно зенкеровать отверстие; VI - обточить, окончательно расточить отверстие, надрезать заготовку; VII - подрезать внутренний и наружный торцы; VIII - отрезать деталь; 1 - 12 - номера гнезд для закрепления инструментов

Рис. 56. Схемы обработки ступенчатого валика из штампованной заготовки:
I - снять и закрепить заготовку (не показано); II - обточить четыре ступени и центровать; III - обточить цапфу, подрезать торец, проточить канавку для выхода резьбы; IV - сверлить отверстие; V - окончательно обточить хвостовик, подрезать торец и галтель; VI - обточить уступ и галтель; VII - нарезать резьбу

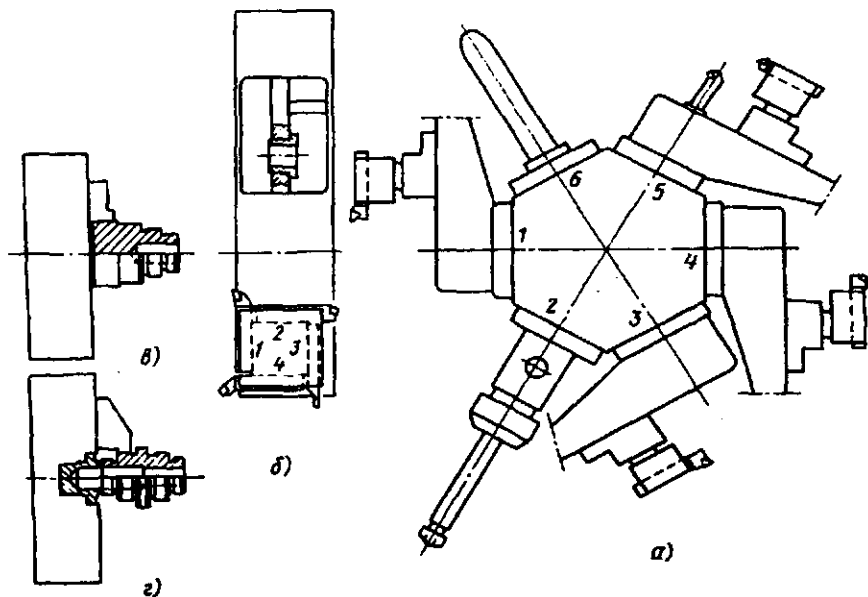


Рис. 57. Схемы: а – в – расположения инструмента и закрепления заготовки при сверлении глубокого отверстия; з – закрепления заготовки при сквозном отверстии

ОБРАБОТКА НА ОДНОШПИНДЕЛЬНЫХ ТОКАРНО-МНОГОРЕЗЦОВЫХ ПОЛУАВТОМАТАХ

Токарные многорезцовые и многорезцовые копировальные полуавтоматы обычно выполняют одношпиндельными с горизонтальной компоновкой; однако в типаже многорезцовых копировальных станков имеются вертикальные

одно- и двухшпиндельные, а также одно- и двухшпиндельные фронтальные полуавтоматы.

На токарных многорезцовых копировальных полуавтоматах возможна обработка цилиндрических, фасонных, конических и торцовых поверхностей деталей (рис. 58). Станки серийного выпуска позволяют обрабатывать заготовки диаметром до 500 мм, длиной до 1500 мм. Обработку длинных деталей проводят в центрах, за исключением вертикальных и фронтальных станков.

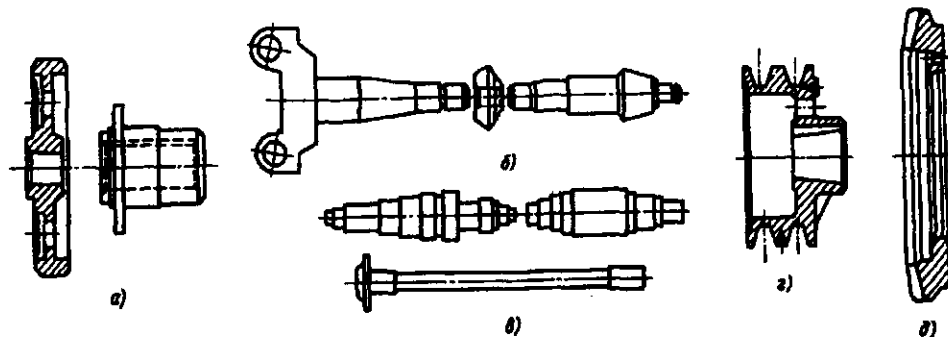


Рис. 58. Типовые детали, обрабатываемые на токарных многорезцовых копировальных полуавтоматах: а – заготовки цилиндрического зубчатого колеса и фланца; б – заготовки с фасонными и коническими поверхностями; в – ступенчатые валы; г – шкив; д – заготовка конического зубчатого колеса

Проектирование наладок. На токарных многорезцовых копировальных полуавтоматах обеспечивается точность обработки 11 – 13-го качества. При правильном выборе наладки и технологической оснастки точность может быть повышена до 6 – 9-го качества.

Проектируя наладки, необходимо стремиться к одновременной работе инструментов, установленных на продольных и поперечных суппортах. Совместно работающие резцы размещают так, чтобы силы резания от одних резцов уравновешивались силами от других резцов.

Ступенчатые детали обтачивают с меньшего диаметра; одновременно снимают фаски и подрезают торцы.

В наладках, оснащенных резцами из быстрорежущей стали, увеличивают число резцов на продольном суппорте, так как это уменьшает длину хода и тем самым сокращает основное время операции. Однако выигрыш во времени обработки из-за увеличения числа резцов обеспечен только до тех пор, пока время работы поперечного суппорта меньше времени работы продольного; иначе говоря, должно быть выдержано соотношение

$$L_{пр} \geq L_{поп} \frac{S_{пр}}{S_{поп}},$$

где $L_{пр}$, $L_{поп}$ – длина рабочего хода соответственно продольного и поперечного суппортов; $S_{пр}$ и $S_{поп}$ – допустимая подача соответственно продольного и поперечного суппортов.

Увеличивая число одновременно работающих резцов, необходимо учитывать жесткость станка, детали и крепления ее на станке.

Число резцов в наладке не должно быть чрезмерным также и потому, что увеличивающиеся при этом вибрации станка и увеличение сил резания приводят к повышенному износу инструмента и более частому регулированию и смене его. В результате достигнутое сокращение основного времени может быть сведено на нет увеличением времени на подналадку и наладку станка. Кроме того, при большом числе резцов в наладке усложняется конструкция державок и затрудняется обслуживание станка.

При проектировании наладок с инструментами, оснащенными твердосплавными пластинками, не следует значительно увеличивать число резцов, так как большинство многорезцовых полуавтоматов не обладает большой жесткостью и при работе на высоких скоростях резания возникает интенсивные вибрации,

вызывающие выкрашивание твердосплавных резцов, особенно в момент врезания. Часто мощность многорезцовых полуавтоматов оказывается недостаточной для работы на высоких скоростях резания, что также требует сокращения числа одновременно работающих резцов в наладках. С целью более полного использования многорезцовых полуавтоматов при работе на скоростных режимах резания выгодно вместо многоинструментных применять наладки с одним или двумя резцами, работающими по копиру. При этом достигается повышение производительности на 25 % в результате увеличения скорости резания и подачи, а также сокращения времени на наладку и подналадку станка; кроме того, сокращается расход инструмента.

В некоторых случаях при работе на высоких режимах резания копировальные и фронтальные полуавтоматы целесообразно использовать вместо вертикальных многошпиндельных токарных полуавтоматов непрерывного и последовательного действия без снижения производительности. Простота наладки этих станков позволяет применять их в серийном производстве.

Важным фактором повышения производительности является применение быстросменных наладок – блоков, настраиваемых вне станка. Одновременное выполнение переходов предварительной и чистовой обработки на многорезцовых полуавтоматах допустимо в случаях, если такое совмещение не снижает точности и не увеличивает параметров шероховатости поверхности. Применять многорезцовые наладки при чистовом обтачивании длинных гладких деталей не рекомендуется.

Из-за погрешностей наладки нескольких резцов на один размер и неравномерности отжатия резцов во время работы обрабатываемая поверхность получается ступенчатой. Поэтому предварительную обработку гладких поверхностей выполняют несколькими резцами, а окончательную одним резцом.

При чистовом обтачивании на многорезцовых полуавтоматах ступенчатых деталей необходимо каждую ступень обрабатывать одним резцом; можно также применять сдвоенные суппорты, допускающие индивидуальное регулирование каждого резца на размер.

Обработку многоступенчатых деталей рекомендуется выполнять при смешанных наладках: поверхности большого диаметра обрабатывать инструментами, армированными

твердым сплавом, а малых диаметров – инструментами из быстрорежущей стали.

Для получения более высокой точности (6–9-го качества) при обработке ступенчатых деталей наладку оснащают широкими фасонными или брейющими резцами, работающими на поперечных суппортах; при этом следует учитывать, что резцы, армированные твердым сплавом, работают на врезание значительно хуже резцов из быстрорежущей стали. Во избежание поломок твердосплавного инструмента следует предусматривать последовательную работу продольного и поперечного суппортов.

При обработке брейющим резцом (рис. 59) необходимый профиль детали получается благодаря касательному перемещению резца (расстояния l). Наладку на размер проводят по наименьшему диаметру D , а все остальные размеры получаются с помощью профиля резца.

Наружные цилиндрические поверхности шириной до 90 мм следует обрабатывать фасонными резцами, если на это потребуется меньше времени. При обработке фасонными резцами технологическая система должна быть более жесткая; достигаемая точность обработки – 8–11-го качества. При разработке наладки для станков 1А720, 1А730 и других, у которых длина хода поперечного суппорта связана с ходом продольного суппорта, необходимо иметь в виду, что получить диаметры с точностью 6–11-го качества с помощью фасонных резцов можно лишь в тех случаях, если в конце рабочего хода суппорта обеспечивается калибрование за счет нескольких оборотов шпинделя без перемещения суппорта.

Для повышения точности ступеней детали по длине следует при обработке в жестких центрах строго выдерживать размер входного диаметра центрального гнезда или использовать плавающий передний центр. Базовые отверстия заготовок для установки их на оправках обрабатывают с точностью 6-го качества. Установка заготовок на оправках с натягом приводит

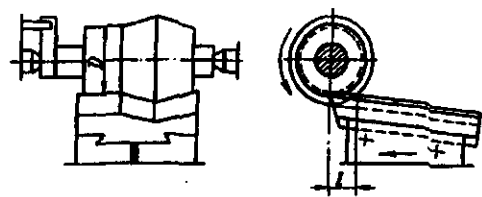


Рис. 59. Схема работы брейющего резца

к задирам на поверхности отверстия и отклонениям формы поверхности в процессе обработки, что устраняется дополнительной обработкой.

Наиболее высокой точности достигают применением оправок различных конструкций типа оправок с центрирующим разжимным элементом для беззазорного центрирования.

Высокая точность достигается путем одновременной обработки отверстия и торца детали. При обработке деталей малой жесткости во избежание их деформаций целесообразно применять зажимные приспособления, обеспечивающие большие силы при черновой обработке, а перед чистовой обработкой – разжим и зажим детали с минимальной силой.

Расчет копира. Копиры для гидрокопировальных станков 1712, 1722, 1732, 1708, 1713 и других рассчитывают по диаметральным и линейным размерам. Для расчета по диаметрам за базовую принимают шейку заготовки, обрабатываемую с наиболее жестким допуском (диаметром $25_{-0,05}$ мм, рис. 60, а). Если несколько шеек заготовки обрабатывают с одинаковым допуском, то в качестве базовой может быть принята любая из них, но наиболее удобной является шейка, с которой начинается обработка (диаметром $25_{-0,2}$ мм, рис. 60, б).

Размер копира по базовой шейке задают с ужесточенным допуском, который составляет 25–30 % допуска на шейку валика; для шейки диаметром $25_{-0,2}$ мм допуск на изготовление копира

$$T_1 = \frac{0,2 \cdot 30}{100} = 0,06 \text{ мм.}$$

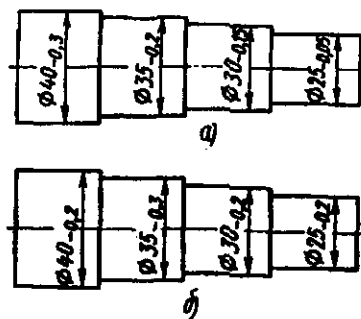


Рис. 60. Эскизы для расчета копира: а – с неповторяющимися допусками; б – с повторяющимися допусками

Найденное значение T_1 распределяется от предельных размеров шейки валика (диаметром $25 - 24,8$ мм) равномерно, образуя предельные значения базового размера D_6 копира (рис. 61, а):

$$D_{6 \max} = 25 - \frac{T_1}{2} = 24,97 \text{ мм;}$$

$$D_{6 \min} = 24,8 + \frac{T_1}{2} = 24,83 \text{ мм.}$$

Перепады h на копире и допуски на их выполнение рассчитывают по следующим формулам:

для шеек диаметром $D > D_6$

$$h_{\max} = \frac{D_{\max} - D_{6 \max}}{2}; \quad h_{\min} = \frac{D_{\min} - D_{6 \min}}{2};$$

для шеек диаметром $D < D_6$

$$h_{\max} = \frac{D_{6 \min} - D_{\min}}{2}; \quad h_{\min} = \frac{D_{6 \max} - D_{\max}}{2},$$

где h_{\max} и h_{\min} – максимальный и минимальный перепады на сторону, мм; D_{\max} и D_{\min} – предельные диаметры обрабатываемых поверхностей, мм; D_6 – диаметр, принятый в качестве базы, мм.

Пример расчета перепадов на копире (рис. 61, а и 61, б):

$$h_{\max} = \frac{30 - 24,97}{2} = 2,515 \text{ мм;}$$

$$h_{\min} = \frac{29,8 - 24,83}{2} = 2,485 \text{ мм;}$$

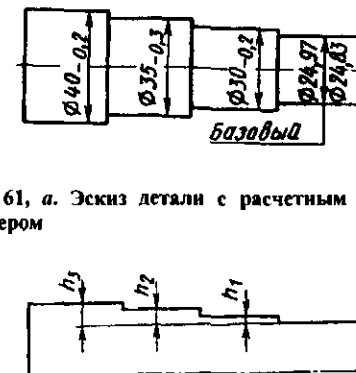


Рис. 61, а. Эскиз детали с расчетным базовым размером

Рис. 61, б. Копир с перепадами по высоте

первый перепад $h_1 = 2,515_{-0,03}$ мм.

$$h_{\max} = \frac{35 - 24,97}{2} = 5,015 \text{ мм;}$$

$$h_{\min} = \frac{34,7 - 24,83}{2} = 4,935 \text{ мм;}$$

второй перепад $h_2 = 5,015_{-0,08}$ мм.

$$h_{\max} = \frac{40 - 24,97}{2} = 7,515 \text{ мм;}$$

$$h_{\min} = \frac{39,8 - 24,83}{2} = 7,485 \text{ мм;}$$

третий перепад $h_3 = 7,515_{-0,03}$ мм.

Рабочие поверхности копира выполняют шероховатостью $Ra = 0,63$ мкм.

Если окончательные линейные размеры детали получают методом подрезания торцов с копировального суппорта без использования поперечных подрезных суппортов, то линейные размеры копира должны в точности соответствовать линейным размерам детали (рис. 62, а). При использовании поперечных подрезных суппортов необходимо учитывать припуски на подрезание и соответственно скорректировать линейные размеры копира на припуск (рис. 62, б). При точении конических поверхностей с последующей обработкой сопряженной поверхности (рис. 63) необходимо в линейном размере копира (размер a) предусмотреть поправку на величину $X = z \operatorname{ctg} \alpha$, где z – припуск на окончательную обработку шейки на сторону, мм; α° – угол конуса.

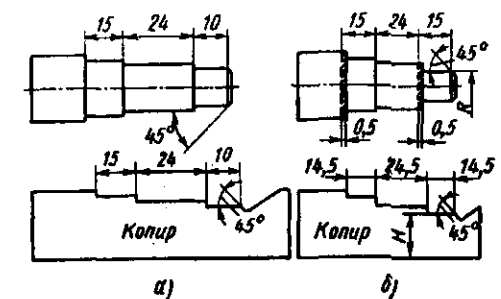


Рис. 62. Эскизы к расчету копира по линейным размерам: а – без припуска на подрезание торцов; б – с припусками на подрезание торцов

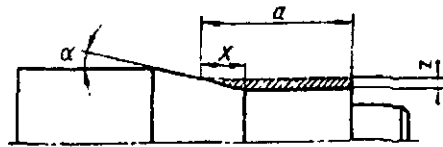


Рис. 63. Эскиз для расчета копира при обработке конической поверхности с последующей обработкой сопряженной поверхности

Наименьшая высота ступени копира H (рис. 62, б) зависит от наименьшего радиуса обрабатываемой шейки. Для копиров, устанавливаемых в Т-образные пазы станка при обычно применяемом вылете резца, работающего с копировального суппорта, от кромки стола на 40 – 45 мм, значение H принимают по табл. 2.

2. Наименьшая высота ступени копира, мм

R	H	R	H
11 – 31	41	63 – 73	83
32 – 41	52	74 – 83	94
42 – 52	62	84 – 94	104
53 – 62	73		

Для секторных копиров значение H может быть на 15 мм меньше табличного (рис. 64).

Во избежание посадки резца на задний центр и для снятия начальной фаски на детали копир лучше выполнять в соответствии с

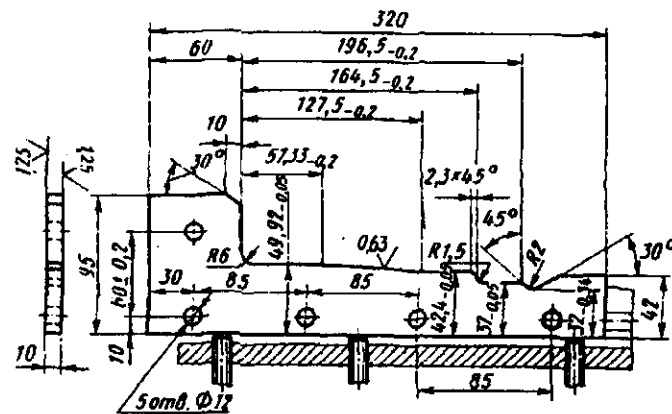


Рис. 66. Рабочий чертеж копира с установкой его на станке

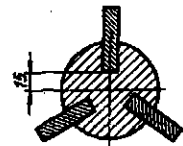


Рис. 64. Схема установки копиров в барабан

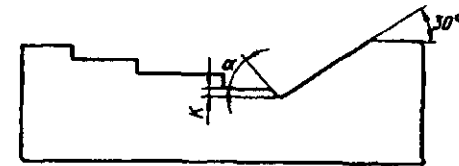


Рис. 65. Эскиз оформления защитной части копира

рис. 65: участок под углом 30° является защитной частью копира; α - угол фаски на детали; размером K обеспечивается образование фаски на детали:

$$K = r + f + (1,5 - 2),$$

где r - радиус закругления вершины резца; f - фаска на детали, мм.

Для получения точного профиля детали радиус копировального шупа должен точно соответствовать радиусу при вершине резца. На рис. 66 дан чертеж копира для обработки одной из деталей и показана установка его на станке.

Примеры наладок. Наладки для обработки чугуных заготовок гильз блока цилиндров на станках 1А730 показаны на рис. 67 и 68. Гильзы (рис. 67) обрабатывают с продольного суппорта резцами с механическим креплением пластин твердого сплава. При точном изготовлении державок резцов подналадка инструмента после поворота пластин не требуется.

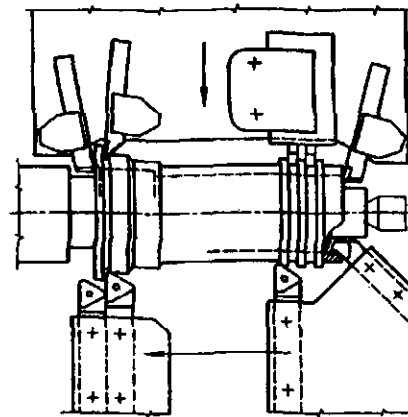
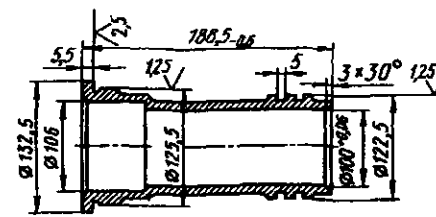


Рис. 67. Наладка полуавтомата 1А730 для обработки чугуных гильз цилиндров двигателей

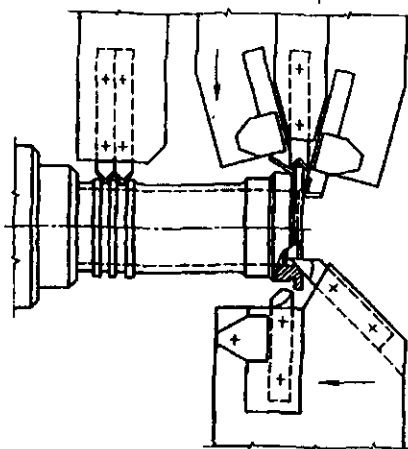
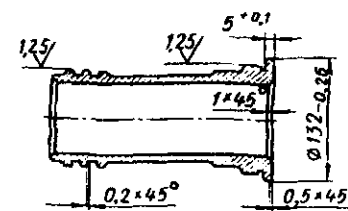


Рис. 68. Наладка полуавтомата 1А730 для обработки гильз цилиндров двигателей

С поперечного суппорта подрезают торцы и прорезают канавки. Блок резцов для прорезания канавок налаживают вне станка на специальном приспособлении.

Особенностью наладки для окончательной обработки гильзы является применение цанговой оправки (рис. 68). С помощью продольного суппорта обтачивают буртик и снимают фаску по внутреннему диаметру. С помощью поперечного суппорта снимают фаски на буртике, канавках и подрезают торцы буртика. В наладке фасочный резец для одновременного снятия двух фасок на буртике и подрезные резцы размещены в разных плоскостях.

С помощью специальных державок шкив может быть полностью обработан на одном станке (рис. 69). Специальная державка на продольном суппорте позволяет осуществлять радиальную (поперечную) подачу. Снятие фасок ручьев можно выделить в отдельную операцию. В первом случае основное время на 25 % меньше, чем во втором.

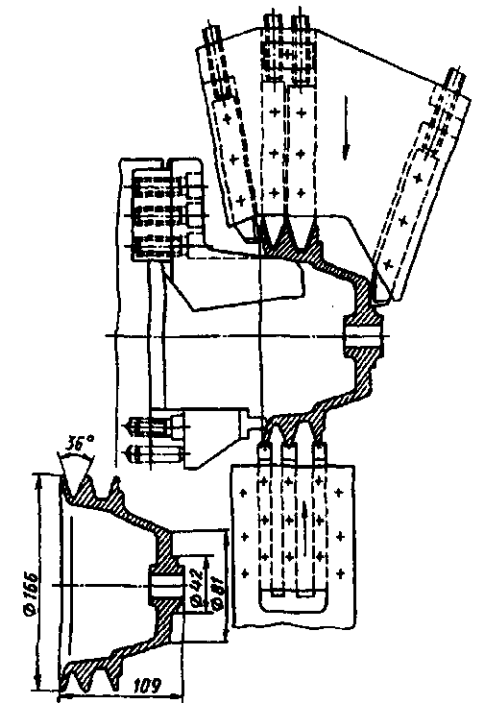


Рис. 69. Наладка полуавтомата с применением специальной державки для обработки шкивов

В наладке для обработки корпуса масляного насоса (рис. 70) подрезные резцы на поперечном суппорте работают с ударной нагрузкой. Поэтому для обеспечения высокой точности (9-го качества) и малого параметра шероховатости поверхностей шеек 1 и 2 резцы продольного суппорта начинают их обработку после того, как закончит свою работу поперечный суппорт.

На рис. 71 показаны схемы наладок двух многорезцовых полуавтоматов, на которых обрабатывают ступенчатый вал с двух сторон. В наладках применены резцы, армированные твердым сплавом, и резцы из быстрорежущей стали. Резцы, установленные на продольном и поперечном суппортах, работают одновременно.

На рис. 72 представлена наладка многорезцового полуавтомата типа 116 для обработки одной стороны ведущего конического зубчатого колеса. Наладка оснащена двумя проходными резцами на продольном суппорте; резец, обтачивающий конус, работает по копиру. Применение трех фасонных резцов на поперечном суппорте позволяет исключить вторую операцию.

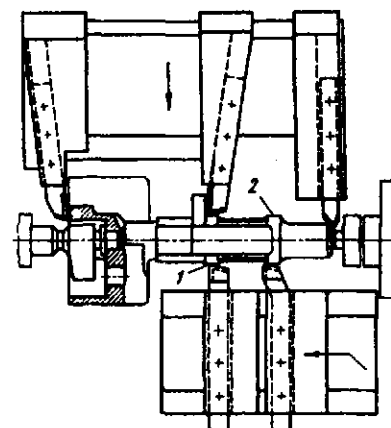
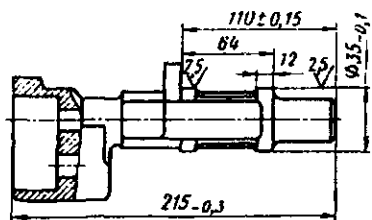


Рис. 70. Наладка полуавтомата для работы с ударной нагрузкой

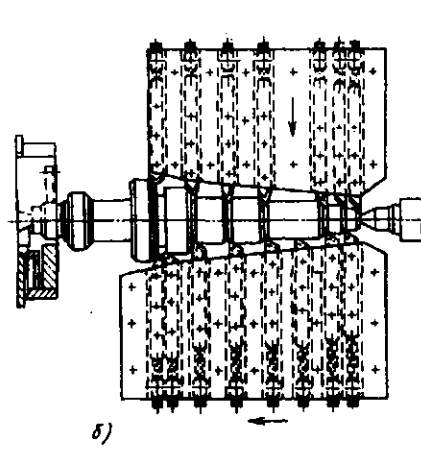
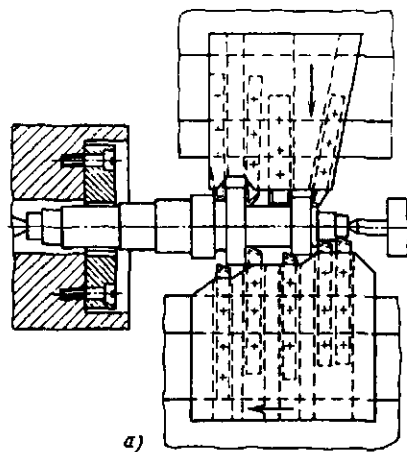
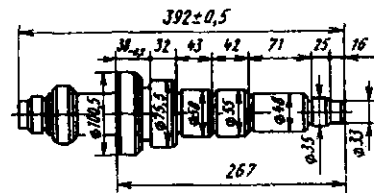
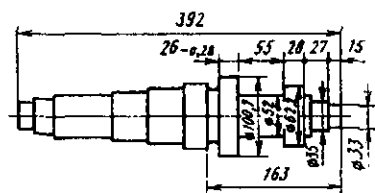


Рис. 71. Наладка двух односторонних полуавтоматов для полной токарной обработки ступенчатого валика: а – обработка одной стороны; б – обработка другой стороны

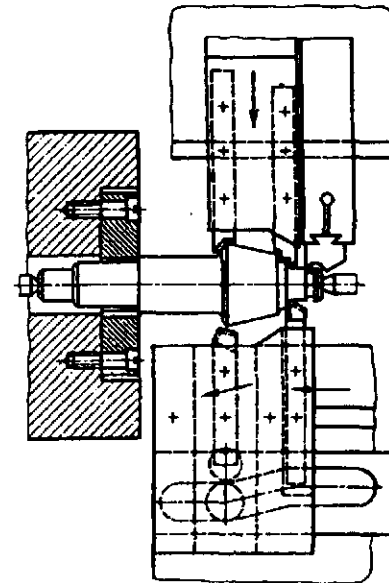
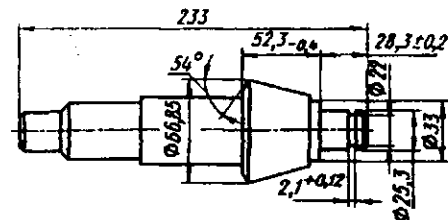


Рис. 72. Наладка полуавтомата 116 для обработки одной стороны заготовки ведущего конического зубчатого колеса

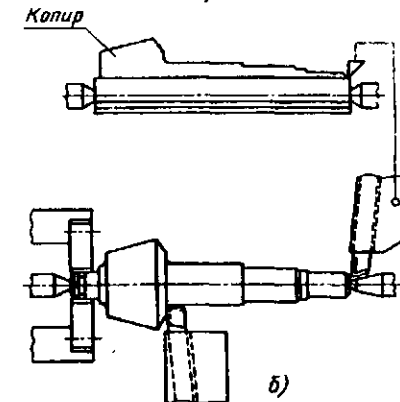
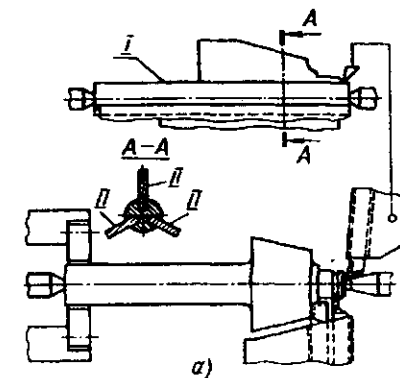
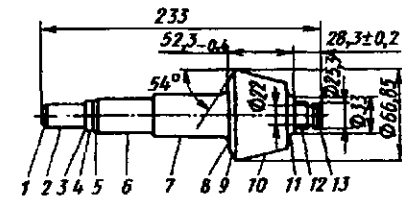


Рис. 73. Наладка копируемых полуавтоматов для обработки заготовки ведущего конического зубчатого колеса: а – схема обработки одного конца (поверхности 10 – 13); 1 – валик крепления копиров; II – копиры; б – схема обработки другого конца (поверхности 1 – 9)

Для сравнения на рис. 73 показана наладка копируемых полуавтоматов для полной токарной обработки заготовок ведущего конического зубчатого колеса. Для быстрой переналадки полуавтомата на другую операцию применяют трехсекторный копир: при этом два сектора копира используют для обработки детали одного наименования с двух сторон, а третий сектор предназначен для обработки другой детали.

Наладки для обработки хвостовика поворотного кулака представлены в двух вариантах. В первом случае (рис. 74, а) предусмотрено многорезцовое обтачивание; резец, обтачивающий конус, работает по копиру. Во втором случае (рис. 74, б) на продольном копируемом суппорте установлен один резец, обтачивающий по копиру поверхности 1 – 4. С помощью поперечного суппорта подрезают торец,

обрабатывают канавки и снимают фаски. Применение копира позволяет проводить обработку на повышенных режимах, сократить время наладки и подналадки станка на 20 – 25 % и увеличить производительность.

На рис. 75 представлена наладка полуавтомата с двумя копируемыми суппортами, работающими навстречу друг другу, для обработки ступенчатого вала с двух сторон. Наладки такого типа значительно повышают производительность и сокращают необходимое количество оборудования.

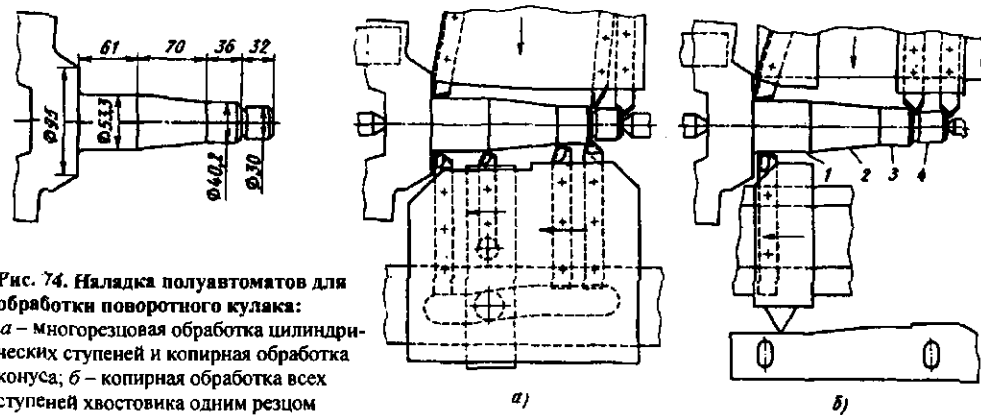


Рис. 74. Наладка полуавтоматов для обработки поворотного кулака: а – многорезцовая обработка цилиндрических ступеней и копирная обработка конуса; б – копирная обработка всех ступеней хвостовика одним резцом

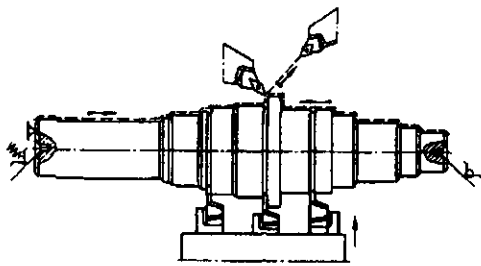


Рис. 75. Наладка полуавтомата с двумя копирвальными суппортами для обработки ступенчатого вала

На рис. 76 показаны два варианта обработки заготовок промежуточных зубчатых колес на многорезцовом полуавтомате с использованием специальных копирных державок на продольном и поперечном суппортах (рис. 76, а) и более производительная обработка на копиральных полуавтоматах 1708, 1712 (рис. 76, б). Во второй наладке предусмотрен осевой инструмент для снятия фаски, установленный в державке на продольных салазках копирального суппорта. Это позволяет исключить дополнительную операцию снятия фаски на сверлильном станке и на 20 % снижает время обработки. Наладка копирального полуавтомата для обработки фланцев (рис. 77) позволяет обработать внутреннюю фаску резцом, установленным на суппорте. Данные примеры показывают, что при творческом подходе к проектированию наладок можно расширить технологические возможности оснащаемого оборудования.

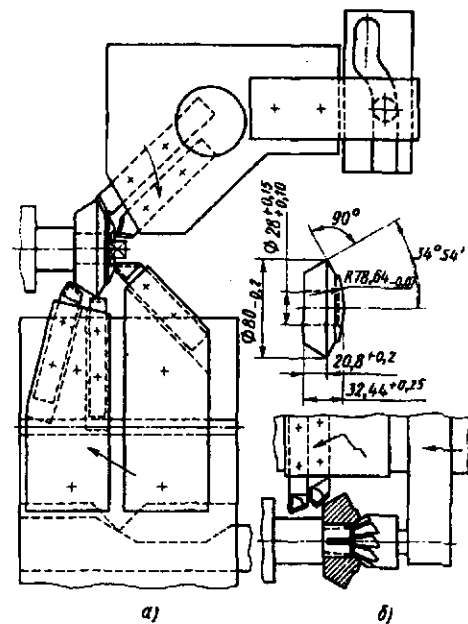


Рис. 76. Наладка полуавтоматов для обработки заготовок промежуточных зубчатых колес: а – на полуавтомате 1А730; б – на полуавтомате 1712

Полная токарная обработка заготовок зубчатых колес на двухшпиндельном горизонтальном полуавтомате за два установа показана на рис. 78. Возможен вариант обработки последовательно на двух станках с двумя одинаковыми наладками на каждом. Однако второй вариант менее целесообразен, так как выход из строя одного станка вызывает задержку и затруднения в обеспечении программы выпуска.

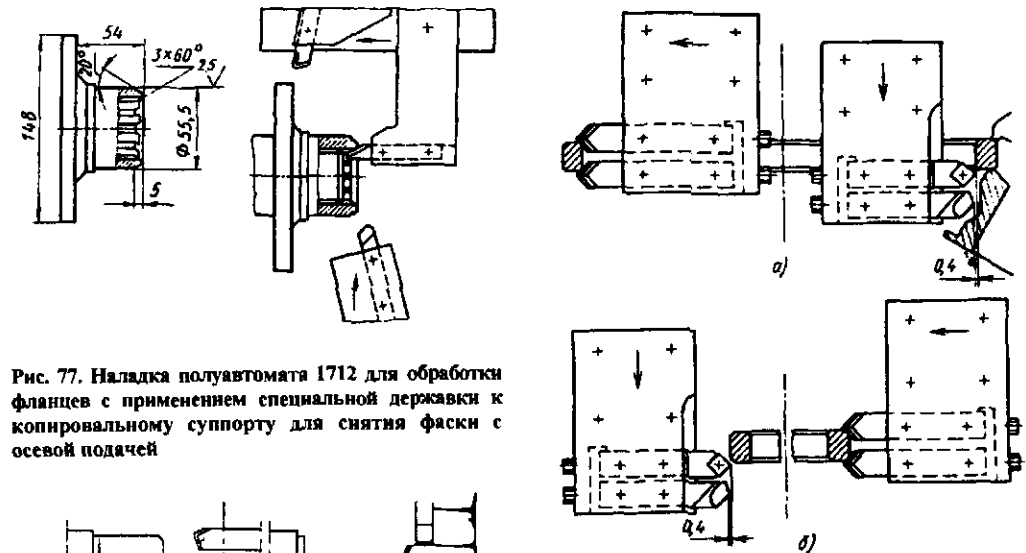


Рис. 77. Наладка полуавтомата 1712 для обработки фланцев с применением специальной державки к копиральному суппорту для снятия фаски с осевой подачей

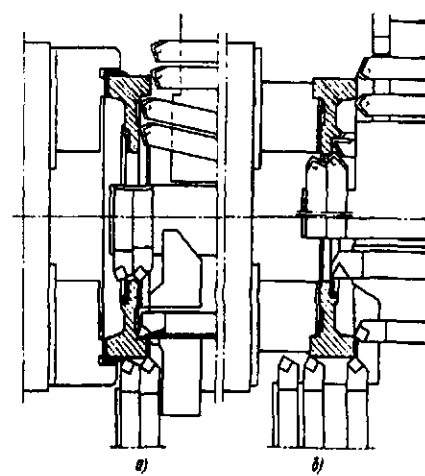


Рис. 78. Наладка горизонтального двухшпиндельного фронтального полуавтомата для обработки заготовок зубчатых колес: а – обработка при первом установе; б – обработка при втором установе

На рис. 79 представлена наладка двухшпиндельного вертикального полуавтомата для обработки венца маховика. На первом шпинделе (рис. 79, а) деталь базируется по наружному диаметру и торцу, растачивается отверстие и снимаются фаски. Деталь переставляется на второй шпиндель, на котором она базируется по расточенному отверстию и торцу; затем проводится обтачивание по наружному диаметру и снимаются фаски по наружным кромкам (рис. 79, б).

Рис. 79. Наладка двухшпиндельного вертикального полуавтомата СМ869 для обработки венца маховика: а – схема обработки на первом шпинделе; б – схема обработки на втором шпинделе

ОБРАБОТКА НА ОДНОШПИНДЕЛЬНЫХ И МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ АВТОМАТАХ И ПОЛУАВТОМАТАХ

Одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы 11Ф16, 11Ф25, 11Ф40 предназначены для обработки деталей из прутка диаметром до 40 мм; автоматы 1Б023, 1Б032 применяют для изготовления деталей из стальной проволоки диаметром до 8 мм и латунной проволоки диаметром до 10 мм, свернутой в бунт. На фасонно-отрезных автоматах обрабатывают детали длиной до 100 мм, для которых не требуется высокая точность. На этих автоматах ни прутки (проволока), ни шпиндельная бабка в процессе обработки продольного перемещения не имеют.

Обработка ведется методом врезания фасонными, отрезными и другими резцами, установленными в резцовой вращающейся головке (поперечных суппортах). Некоторые станки имеют устройство для продольного точения, а также агрегатные головки для сверления, нарезания резьбы, фрезерования.

Одношпиндельные автоматы продольного точения (1103, 1Б10В, 1М06ДА, 1М10В, 1М10А, 11Г16В, 1Д25В, 1М32В и др.) предназначены для обработки деталей из прутка диаметром до 30 мм и длиной до 100 мм с точностью 5 – 6-го квалитета по диаметру и 6-го квалитета по длине и с шероховатостью поверхности $Ra = 5 \dots 1,25$ мкм.

На автоматах продольного точения шпиндельная бабка имеет продольное поступательное перемещение. Все суппорты (которых может быть четыре-пять) расположены веерообразно вокруг обрабатываемого прутка и имеют только поперечное перемещение. При одновременном согласованном перемещении шпиндельной бабки с прутком и поперечных суппортов с инструментами на этих автоматах возможна обработка конических и фасонных поверхностей без применения фасонных резцов.

Разместив в стойке вертикальных суппортов дополнительную опору для прутка (неподвижный лонет), на автоматах продольного точения можно обрабатывать с высокой точностью достаточно длинные детали небольшого диаметра ($l/d \leq 10$). При обработке заготовок из квадратного и шестигранного прутка используют вращающийся лонет. Шпиндель в автоматах продольного точения всегда вращается в одну сторону и имеет левое вращение. Поэтому правую резьбу на них нарезают методом обгона.

Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы (1Е110П, 1Ц110П, 1Л116П, 1Е125П, 1Е140П, 1Е165П и др.) предназначены для обработки деталей сложной формы из прутков диаметром 10 – 63 мм; на полуавтоматах из штучных заготовок обрабатывают детали диаметром до 160 мм. Наличие в токарно-револьверных автоматах трех (а в некоторых – и четырех) поперечных суппортов и продольного суппорта с шестипозиционной револьверной головкой (в которой помещают державки со сверлами, зенкерами, развертками, резцами, резьбонарезными и другими инструментами) значительно расширяет их технологические возможности. Передний поперечный суппорт является отрезным, а на заднем и вертикальном обычно устанавливают резцы для обработки фасок, канавок, фасонных поверхностей, накатные и другие инструменты.

Большинство технологических переходов выполняется при более быстром левом вращении шпинделя, а нарезание резьбы, развертывание и некоторые другие переходы – при более медленном правом вращении шпинделя.

Переключение вращения шпинделя осуществляется автоматически.

Многошпиндельные горизонтальные автоматы (1Б216, 1Б225, 1В225, 1Б240, 1Б265, 1Б290 и др.) предназначены для изготовления деталей из калиброванных прутков круглого, квадратного или шестигранного сечения из стали и цветных металлов диаметром 12 – 100 мм, длиной до 160 мм (в зависимости от модели автомата), а полуавтоматы – из штучных заготовок диаметром до 200 мм (в зависимости от модели). В качестве заготовок могут использоваться также трубы.

На многошпиндельных горизонтальных автоматах и полуавтоматах обработка проводится последовательно на четырех, шести или восьми позициях по числу шпинделей станка. Восьмишпиндельные автоматы и полуавтоматы можно настраивать на двойную индексацию, в этих случаях шпиндельный блок поворачивается сразу на две позиции.

Шестишпиндельные автоматы и полуавтоматы также выпускают с двойной индексацией, но в отличие от восьмишпиндельных, они не могут быть переналажены на обработку с одинарной индексацией. Для выполнения в составе автоматной операции таких работ, как фрезерование шлицев и лысок на торцах и цилиндрических поверхностях деталей, сверление радиальных отверстий и других предусматривается исполнение автоматов с остановом и фиксированным остановом отдельных шпинделей, а также исполнение их с независимой частотой вращения шпинделей.

Многошпиндельные горизонтальные автоматы и полуавтоматы отличаются от одношпиндельных большей производительностью и позволяют вести обработку более сложных деталей, хотя точность обработки ниже.

Токарные одно- и многошпиндельные горизонтальные автоматы предназначены для обработки цилиндрических, конических, шаровых, фасонных поверхностей вращения.

На базе одношпиндельных токарно-револьверных, фасонно-отрезных, продольного точения и многошпиндельных автоматов возможна обработка штучных заготовок в автоматическом цикле при механизации и автоматизации загрузки и выгрузки заготовок либо в полуавтоматическом цикле с ручной загрузкой. Переналадка автомата или полуавтомата на обработку другой детали занимает не менее 3 – 5 ч, поэтому применять эти станки целесообразно только в случае длительной обработки

одной партии деталей; переналадка на обработку других деталей ранее чем через 30 – 45 ч непрерывной работы не рекомендуется.

При расчете наладок в операционно-наладочной карте приводят схему наладки станка по переходам, расчет режимов резания и производительности. При проектировании наладок для повышения производительности и удобства наладки станка, а также для снижения брака при наладке следует по возможности применять быстросменные наладки-блоки и наладку инструментов на размер вне станка с использованием измерительных приспособлений.

На одношпиндельных токарно-револьверных автоматах и полуавтоматах наружные поверхности обрабатывают с помощью продольных и поперечных суппортов. Обработку с продольной подачей осуществляют с револьверной головки инструментальным шпинделем или специальными приспособлениями. Конусные поверхности можно обработать при применении копирных державок либо инструментами, установленными в специальной державке поперечного суппорта; продольное перемещение осуществляется револьверной головкой. Резьбу нарезают с револьверной головки метчиками, плашками и, главным образом, самооткрывающимися головками. Сверление отверстий и зацентровку выполняют с револьверной головки. Соответствующие скорости резания и подачи при сверлении глубоких отверстий малого диаметра обеспечиваются приспособлениями для быстрого сверления. Развертывание, растачивание, цекование торцов производят с продольного суппорта.

Точность обработки на токарных автоматах и полуавтоматах достигается с допуском 0,03 – 0,06 мм по диаметру и 0,08 – 0,15 мм по линейным размерам. В некоторых случаях при применении специальной технологической оснастки может быть достигнута более высокая точность.

Шероховатость поверхности при обработке на автоматах и полуавтоматах $Ra = 5 \dots 1,25$ мкм.

Разрабатывая наладки на одношпиндельные автоматы и полуавтоматы, следует совмещать работу инструментов, размещенных на поперечном суппорте и в револьверной головке, не совмещать обдирочную обработку с чистовой, не ослаблять сечение детали на первых переходах обработки во избежание вибрации и отжаты при последующих переходах.

Во избежание нестабильности размеров и появления уступов на обработанной поверхности необходимо совмещать моменты начала и окончания работы различных инструментов. Окончательную обработку наружных поверхностей тонкостенных деталей следует предусматривать после обработки отверстий, так как при сверлении, зенкерования и развертывании отверстий наблюдается увеличение наружных размеров.

С целью получения малых параметров шероховатости поверхности и стабильных размеров деталей при обработке фасонными резцами с поперечных суппортов необходимо пользоваться упором для зачистки; центровочные сверла следует задерживать в конце подачи на несколько оборотов для зачистки.

Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей револьверной головкой целесообразно совмещать с обработкой отверстий, а обработку фасок и наружных торцов деталей совмещать с отрезкой; совершенно недопустимо совмещение отрезки с обдирочными или другими переходами, требующими больших сил.

Резьбу следует нарезать после обдирочных переходов, но при неослабленной детали во избежание скручивания. В резьбовых отверстиях, нарезаемых метчиком, для компенсации погрешностей наладки и размещения стружки необходимо предусмотреть зазор между дном отверстия и торцом метчика в конечном положении длиной не менее трех витков резьбы. Для предотвращения поломок сверл при обработке глубоких отверстий требуется осуществлять прерывистую подачу.

При наличии свободных гнезд для инструментов в револьверной головке выгодно длину сверления распределить на несколько позиций.

В случаях обработки штучных заготовок малой жесткости на полуавтоматах для обеспечения точности и уменьшения влияния сил зажима на деформацию детали целесообразно использовать зажимные приспособления, обеспечивающие при черновых переходах большую силу, затем разжим и зажим с меньшими силами для чистовых переходов.

На многошпиндельных автоматах и полуавтоматах наружные поверхности обрабатывают как с продольных, так и с поперечных суппортов. С поперечных суппортов обрабатывают фасонные поверхности деталей, у которых длина контурной линии относительно диаметра невелика ($l/d \leq 1,5$), и окончательно обтачива-

ют детали для получения точных линейных размеров. Длинные детали обрабатывают с использованием люнетных державок.

В некоторых случаях для обработки широких деталей сложного профиля применяют копирное приспособление, устанавливаемое вместо переднего поперечного суппорта. Отверстия обрабатывают с продольных суппортов, в которые устанавливают инструменты для центрования, сверления, зенкерования, развертывания, растачивания, снятия фасок. Выточки в отверстиях получают резцами, закрепленными в специальных державках. Резец получает поперечное перемещение после упора державки в неподвижную стойку. Внутренние конусные поверхности растачивают с помощью специальных качающихся державок с продольного суппорта.

Внутренние резьбы нарезают метчиками, наружные резьбы – самооткрывающимися головками с продольных суппортов. Накатывать резьбы можно как с продольных, так и с поперечных суппортов с помощью специальных головок. Рифления накатывают роликами с продольного и поперечного суппортов с применением люнетных державок. Детали отрезают с поперечного суппорта.

При проектировании наладок на автоматы и полуавтоматы необходимо стремиться к максимальному совмещению работы продольных и поперечных суппортов. При этом следует избегать совмещения обдирочных и чистовых переходов. Тяжелую обдирочную обработку рекомендуется выполнять в первую очередь, а окончательную доводочную обработку выносить на отдельные позиции. Для обработки фасонных поверхностей с точностью линейных размеров 0,08 – 0,15 мм и диаметральных размеров 0,08 – 0,2 мм следует применять не менее двух фасонных резцов – для черновых и чистовых переходов.

При обработке многогранных прутков для облегчения последующей работы фасонных резцов целесообразно обдирочные операции осуществлять простыми резцами с продольного либо поперечного суппорта. Для обеспечения точных диаметральных размеров с допуском 0,03 – 0,05 мм необходимо использовать специальные качающиеся роликовые державки с бредущими резцами, работающие с поперечных суппортов.

При работе с поперечных суппортов для получения стабильных размеров детали следу-

ет предусматривать выдержку без подачи в течение 7 – 10 оборотов.

При особых требованиях к concentричности наружных и внутренних поверхностей окончательную их обработку рекомендуется выполнять на одной позиции.

Последовательность переходов обработки целесообразно назначать так, чтобы заготовка на первых позициях не была ослаблена протачиванием канавок или фасонных поверхностей около зажимного патрона.

Чтобы избежать появления рисок от резца на обработанной поверхности при обратном ходе суппортов, рекомендуется оставлять минимальные припуски на окончательную обработку, устанавливать резец несколько выше линии центров и совмещать окончательное обрабатывание с отрезкой детали так, чтобы к моменту обратного хода суппорта деталь была отрезана. Для этих целей целесообразно применять специальные державки с "отскоком" резца при обратном ходе суппорта.

Нарезание резьбы на автомате нельзя совмещать в одной позиции с другими переходами, а иногда целесообразно выделять его в отдельную операцию.

Увода сверла можно избежать при применении предварительного центрования детали центровочным сверлом. Предварительное центрование件лезно и при тяжелых поперечных нагрузках, когда короткое сверло служит в качестве поддерживающего центра в момент обработки других поверхностей.

При обработке ступенчатых отверстий рекомендуется вначале сверлить отверстия большего диаметра. Глубокие отверстия необходимо сверлить с перерывами, чтобы избежать заедания и поломки сверла.

Отрезку детали можно совмещать с окончательными переходами. Для сокращения пути отрезного резца при отрезке жестких деталей выгодно предварительно осуществлять прорезку под отрезной резец; с этой же целью следует пропускать сверло на расстояние, превышающее длину детали.

Применяя специальные дополнительные механизмы с приводом от кинематической цепи станка, можно расширить технологические возможности токарных автоматов путем осуществления при обработке деталей дополнительных переходов, не выделяемых в так называемые доделочные операции. Так, на токарных автоматах осуществляют поперечное сверление, сверление и снятие фасок со сторо-

ны отрезки, фрезерование шлицев, прошивание фасонных отверстий, развальцовывание, накатывание клейм и др.

Сверление поперечных или эксцентрично расположенных отверстий, как правило, проводят с остановкой шпинделя.

Примеры наладок. На рис. 80 представлена схема наладки типовой детали из бунта на фасонно-отрезном автомате. После отрезки заготовки резцы 1 и 2 вращающейся головки отходят, и бунт подается вперед, выталкивая изготовленную деталь (рис. 80, а); затем бунт зажимается. Далее происходит быстрый под-

вод резца 1 (рис. 80, б) для обрабатывания по диаметру 2,5 мм и фаски отрезаемой детали, резец 2 подрезает торец, отрезает деталь и обрабатывает конус последующей детали.

Обработка типовой детали на автомате продольного точения (рис. 81) осуществляется путем последовательного чередования (переходы I – XIII) продольного перемещения шпиндельной бабки с прутком и поперечных перемещений резцов. Только на XIII переходе готовая деталь отрезается при одновременном перемещении прутка с бабкой и отрезного резца.

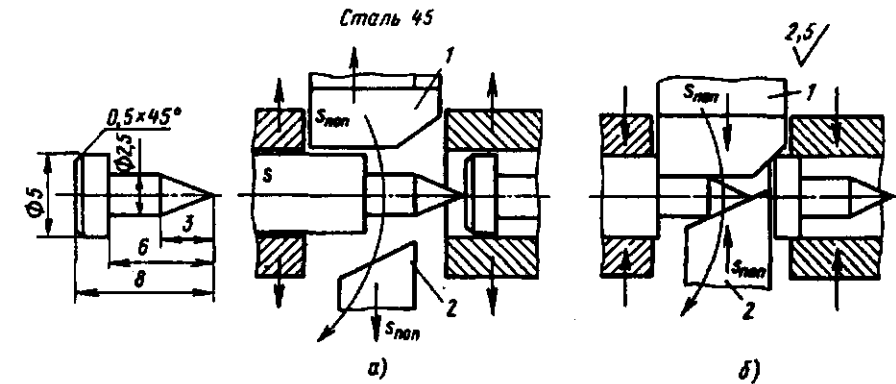


Рис. 80. Схема наладки типовой детали из бунта на фасонно-отрезном автомате

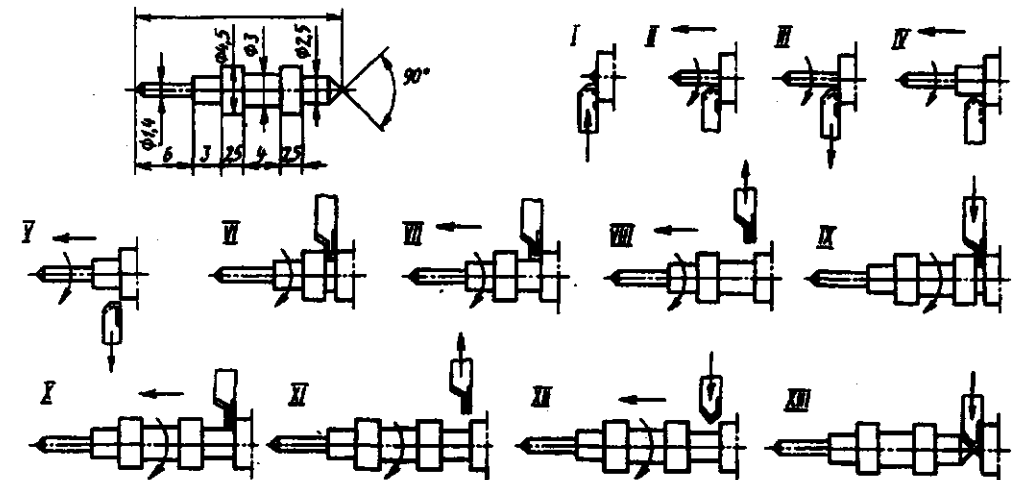


Рис. 81. Схема наладки типовой детали на автомате продольного точения

На рис. 82 представлена наладка одношпиндельного токарно-револьверного автомата для одновременной обработки деталей двух наименований. За пять (I – V) переходов подачу прутка до упора проводят на длину двух деталей с припуском для отрезки. Отверстие диаметром 5 мм сверлят на глубину, которая обеспечивает получение фаски у следующей детали.

Комбинированным отрезным резцом поочередно отрезают сначала первую деталь, затем вторую.

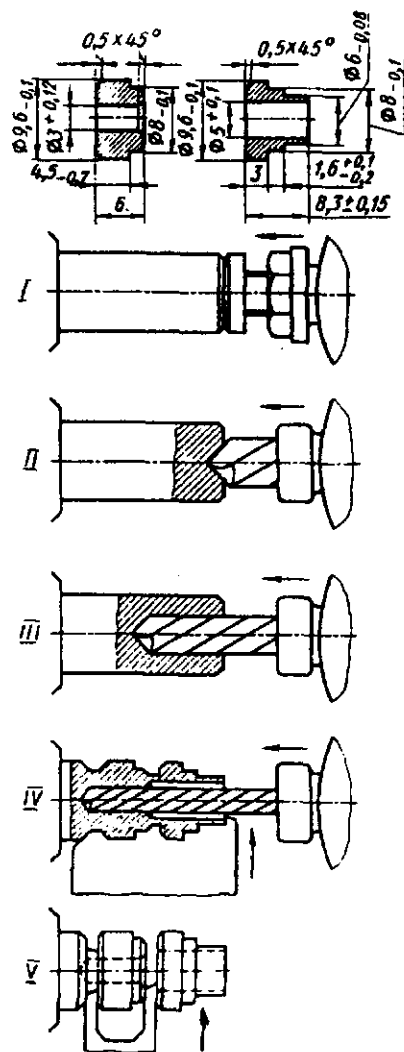


Рис. 82. Наладка одношпиндельного токарно-револьверного автомата для одновременной обработки деталей двух наименований

На рис. 83 показана наладка токарно-револьверного автомата для обработки детали за шесть переходов с использованием роликового накатника, установленного в револьверной головке.

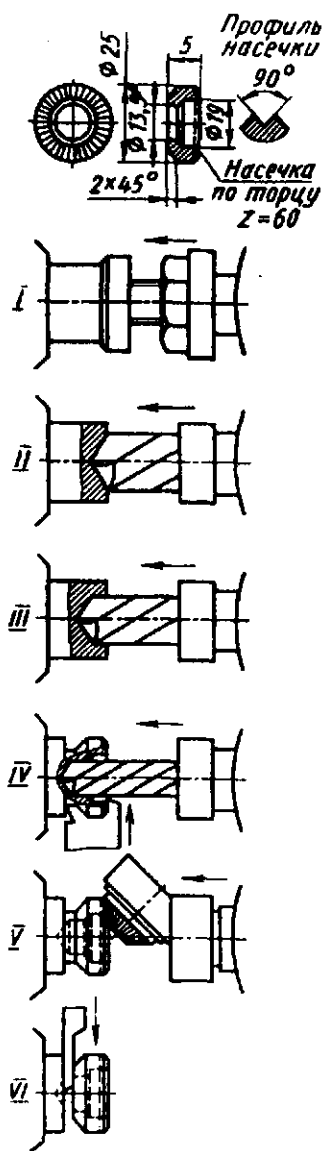


Рис. 83. Наладка одношпиндельного токарно-револьверного автомата для обработки детали с насечкой по торцу

Наладка одношпиндельного токарно-револьверного автомата для полной механической обработки детали за пять переходов показана на рис. 84.

В наладку включены три "доделочные" операции. На переходе III при невращающемся шпинделе фрезеруют две лыски до размера 4,5 мм и сверлят отверстие диаметром 7 мм комбинированным сверлом. Сверление отверстия диаметром 6,6 мм и снятие фаски осуществляются с помощью вспомогательного устройства (переход IVa) после отрезки детали ("обратная обработка").

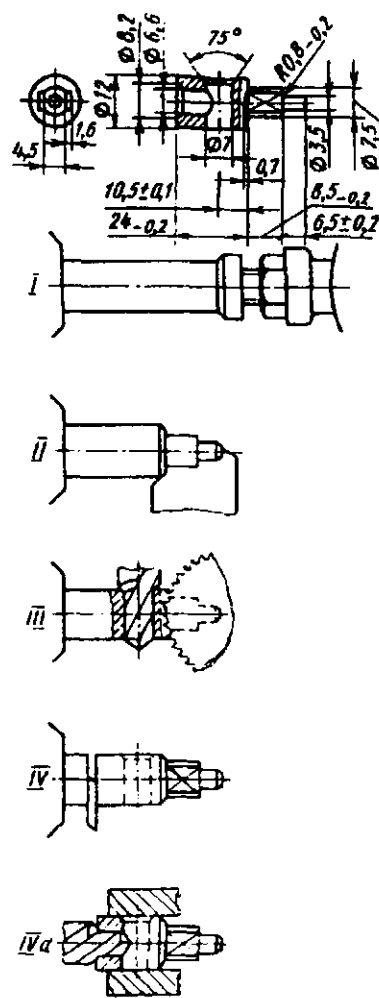


Рис. 84. Наладка одношпиндельного токарно-револьверного автомата для полной механической обработки детали, включая "доделочные" операции

Наладка четырехшпиндельного автомата (рис. 85) позволяет рационально использовать обрабатываемый материал. На позиции I трубчатый сверлом высверливают среднюю часть прутка в виде стержня, из которого изготавливают втулку меньшего диаметра (на позициях II – IV). Аналогично этому обрабатывают другие мелкие детали (шпильки, штифты и т.п.).

На рис. 86 показана наладка четырехшпиндельного автомата для одновременной обработки трех гаек за один рабочий цикл.

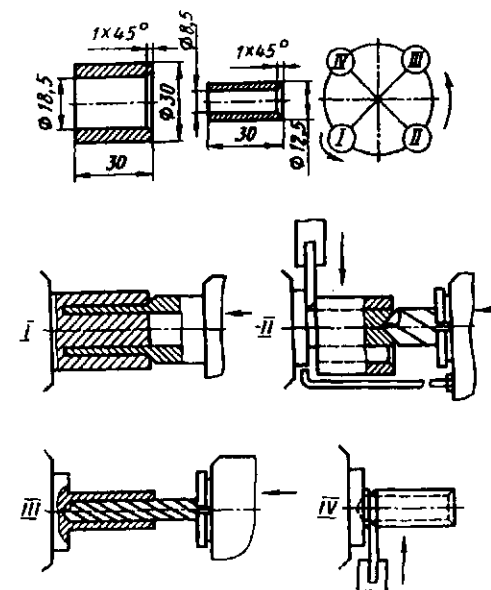


Рис. 85. Наладка четырехшпиндельного автомата для одновременной обработки двух деталей

Наладка восьмишпиндельного автомата (рис. 87) для обработки поршня тормозной пневмосистемы из латуни обеспечивает точность поверхностей с допуском 0,043 – 0,065 мм и Ra 1,25. Обработка наружных поверхностей осуществляется в основном твердосплавным инструментом на скоростях резания до 145 м/мин. В наладке предусмотрено использование специальных приспособлений для фрезерования лысок (позиция VII), нарезания резьбы гребенкой (позиция VI), обтачивания фасонным брекующим твердосплавным резцом с поддержкой роликом (позиция V). Внутренние поверхности обрабатываются ступенчатыми сверлами и развертками из быстрорежущей стали (позиции I, IV), а поверхности диаметром 24 мм и более – твердосплавным ступенчатым

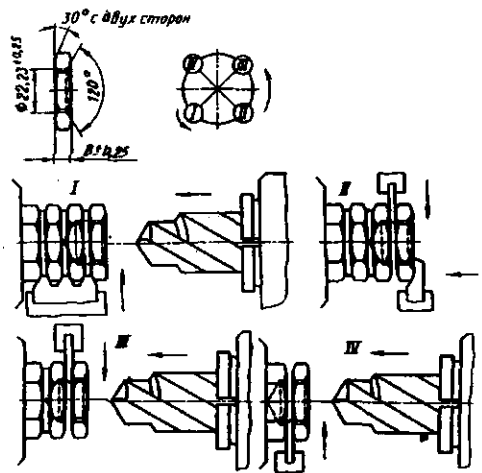


Рис. 86. Наладка четырехшпиндельного автомата для обработки гаек одинакового размера

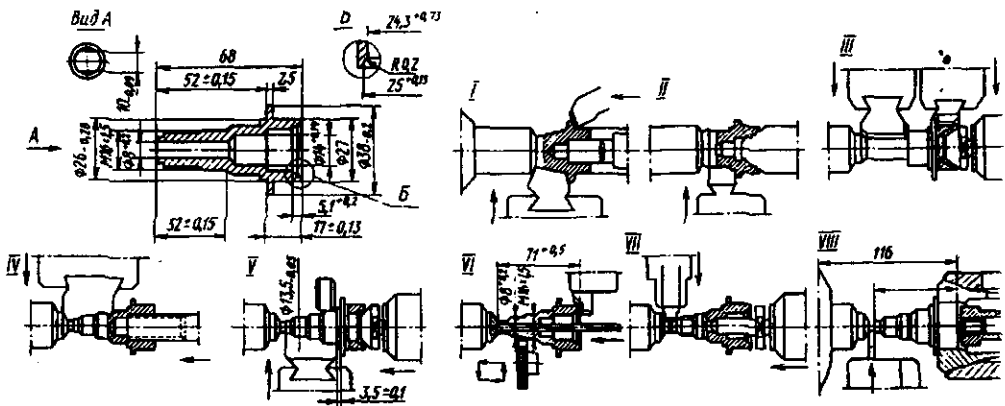


Рис. 87. Наладка восьмишпиндельного автомата для обработки поршня тормозной пневмосистемы

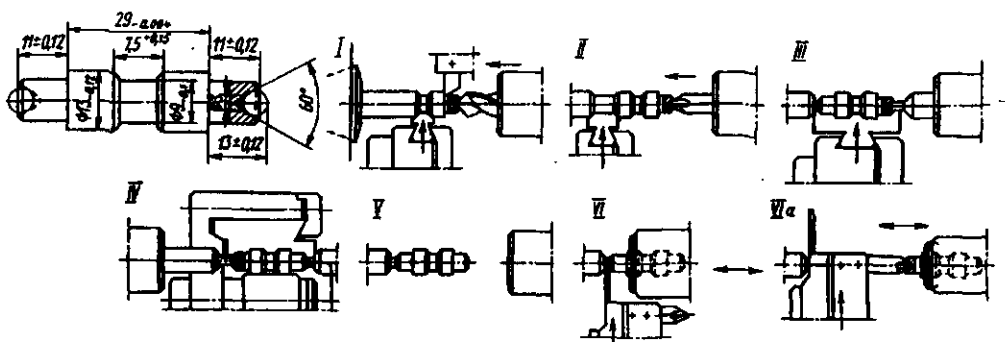


Рис. 88. Наладка шестишпиндельного автомата для обработки пальца синхронизатора с использованием устройства для "обратной обработки"

зенкером. На позиции VI с помощью специального приспособления проводится глубокое сверление отверстия диаметром $8^{+0,2}$ мм. На позиции VIII деталь перехватывается специальным цанговым зажимом, после чего отрезается без заусенцев на торце.

На рис. 88 показана наладка шестишпиндельного автомата для обработки пальца синхронизатора. Для обеспечения точности обработки на позиции IV применены брезючий фасонный резец и поддерживающий ролик. На позиции VI дополнительно установлены специальный цанговый зажимной патрон и приспособление для обработки с обратной стороны после отрезки детали (позиции VIa).

Наладка шестишпиндельного автомата для обработки специальной гайки (рис. 89) предусматривает применение приспособлений для фрезерования шлица на позиции III, для фрезерования внутренней канавки на позиции IV и нарезания резьбы на позиции V.

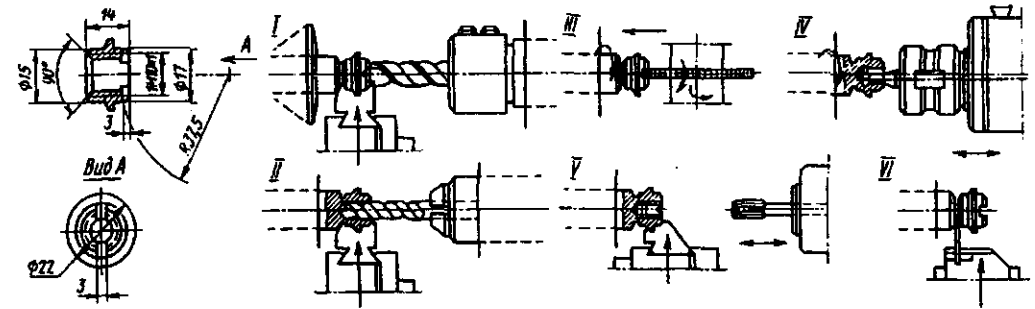


Рис. 89. Наладка шестишпиндельного автомата для обработки специальной гайкой с использованием приспособления для фрезерования шлица

Наладка восьмишпиндельного автомата для обработки поршня резцами с механическим креплением неперегачиваемых пластин твердого сплава показана на рис. 90. Особенностью этой наладки является применение фрезерной головки на позиции V для фрезерования пазов. В момент фрезерования шпиндель останавливается. На позиции VIII осуществляется перехват детали в специальную головку, и поршень обрабатывается с обратной стороны.

На рис. 91 приведена наладка шестишпиндельного автомата, в которой предусмотрен максимальный съем стружки на первых позициях. В позиции I сверление предусматривается без предварительного центрирования ввиду небольшой его глубины – 1,4 диаметра. Сверло должно быть комбинированным для образования фаски в отверстии, а его общий вылет не должен превышать четырех диаметров. В позиции II диаметр сверла на 0,2 мм меньше с целью устранения быстрого изнашивания по наружной поверхности, которое может быть вызвано отклонением от соосности с

ли выполняется и предварительное формирование торцевой поверхности следующей детали. Полуцистовое огтачивание торцов выполняется в позиции IV, где нет больших осевых сил, а чистовая точная обработка с помощью брезючей державки – в позиции V.

Отверстия сложной формы обрабатываются во всех шести позициях с продольного суппорта, причем для получения наименьшего рабочего хода продольного суппорта сверление разбито на три перехода, выполняемых в позициях I – III. В позиции I сверление предусматривается без предварительного центрирования ввиду небольшой его глубины – 1,4 диаметра. Сверло должно быть комбинированным для образования фаски в отверстии, а его общий вылет не должен превышать четырех диаметров. В позиции II диаметр сверла на 0,2 мм меньше с целью устранения быстрого изнашивания по наружной поверхности, которое может быть вызвано отклонением от соосности с

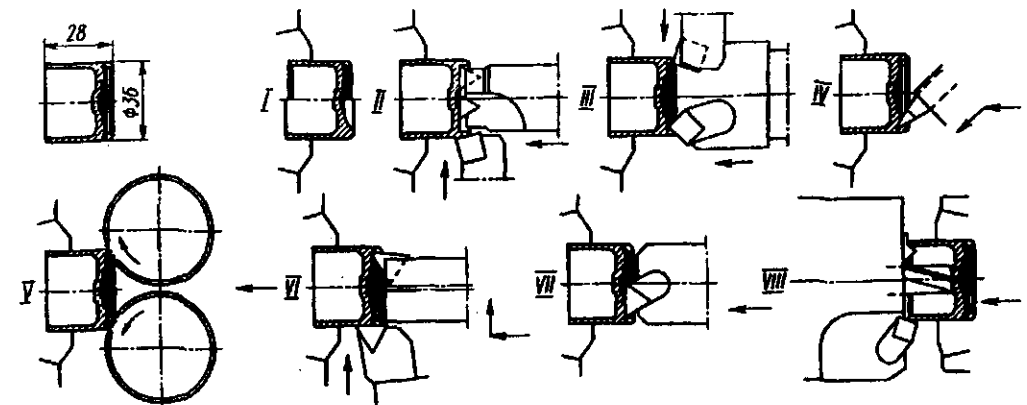


Рис. 90. Наладка восьмишпиндельного автомата для обработки поршня

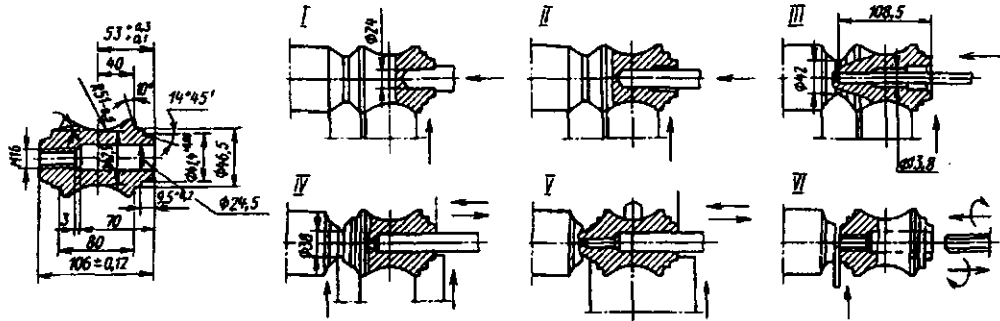


Рис. 91. Наладка шестишпиндельного автомата для обработки червяка

обрабатываемой детали. В позиции III сверлится отверстие под резьбу; учитывая его малый диаметр, для обеспечения благоприятных режимов резания применено быстросверлильное устройство. Предварительно просверленное отверстие создает направление для сверла в этой позиции.

В позиции IV установлен зенкер для полуступенчатой обработки отверстия под развертку и снятия ступеньки от применения сверл разных диаметров. Рабочий ход зенкера должен быть вдвое больше рабочего хода продольного суппорта, что обеспечивается применением устройства с независимой подачей от кулачков

инструментального барабана. В позиции V чистовая обработка отверстия проводится разверткой. При этом используется устройство с независимой подачей для получения нужной длины рабочего хода. В позиции VI нарезаются резьбы, для чего устанавливается резьбонарезное устройство с реверсированием и применяется независимая подача инструмента. После выхода из детали резьбонарезного инструмента заканчивается ее отрезка.

На рис. 92 представлена наладка горизонтального шестишпиндельного полуавтомата для обработки корпусной детали из штучной заготовки. Заготовка из алюминиевого сплава,

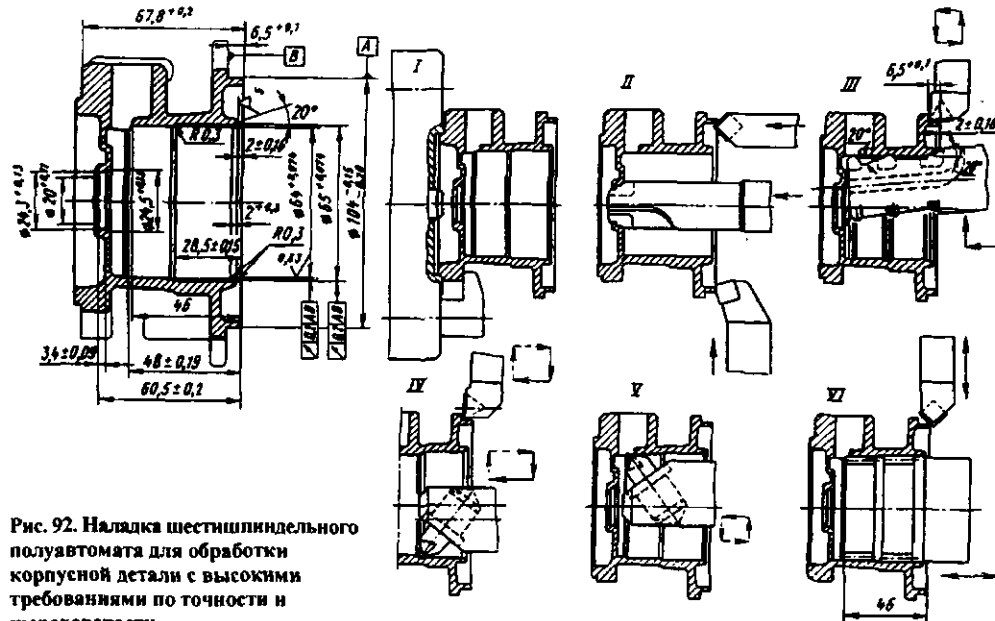


Рис. 92. Наладка шестишпиндельного полуавтомата для обработки корпусной детали с высокими требованиями по точности и шероховатости

полученная методом точного литья, обрабатывается на расточном станке, на котором обрабатывается базовый пояс и торец, после чего она поступает на полуавтомат. В наладке применены специальные приспособления для отвода реза при обратном ходе во избежание получения рисок и повреждения поверхностей при обтачивании по наружному диаметру $104^{+0.15}_{+0.20}$ мм, растачивании отверстий диаметром $64^{+0.074}$ и $65^{+0.074}$ мм на позициях III и IV. Для обеспечения малого параметра шероховатости поверхностей диаметром 64 и 65 мм на позиции VI в шпинделе с независимой подачей применена двухступенчатая раскатка. Предусмотрены также резцы с механическим креплением неперетачиваемых твердосплавных пластин с наладкой на размер вне станка на

специальных приспособлениях. Режим резания: скорость резания 500 м/мин; подача 0,01 – 0,16 мм/об, цикл обработки детали 37 с.

Для обтачивания длинных деталей из штучных заготовок (рис. 93) требуются лонетные державки (позиция II). Шейки диаметром $9,27_{-0,09}$ и $10,27_{-0,09}$ мм обтачивают брезюшными резцами на позициях III и IV.

На рис. 94 показана двухиндексная наладка восьмишпиндельного полуавтомата для полной токарной обработки заготовок зубчатых колес с двух сторон. На позициях III, V, VII проводится обработка в патроне отверстия, торцов и фасок с одной стороны, затем на позиции II заготовку устанавливают по обработанному отверстию и торцу, и в позициях IV, VI, VIII ведется обработка наружной поверхности, торцов и фасок с другой стороны.

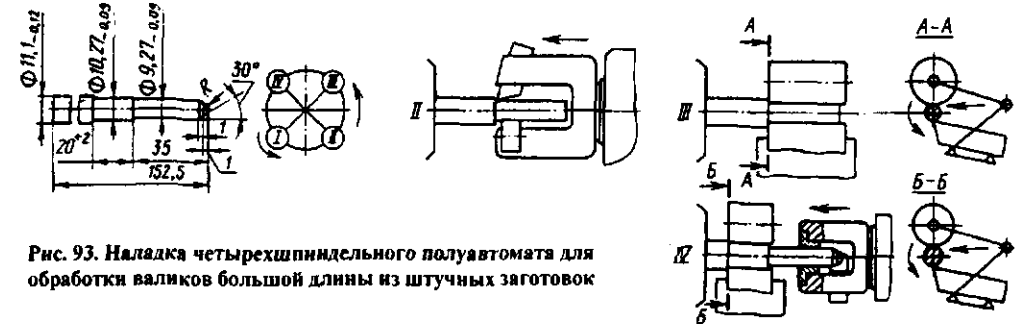


Рис. 93. Наладка четырехшпиндельного полуавтомата для обработки валков большой длины из штучных заготовок

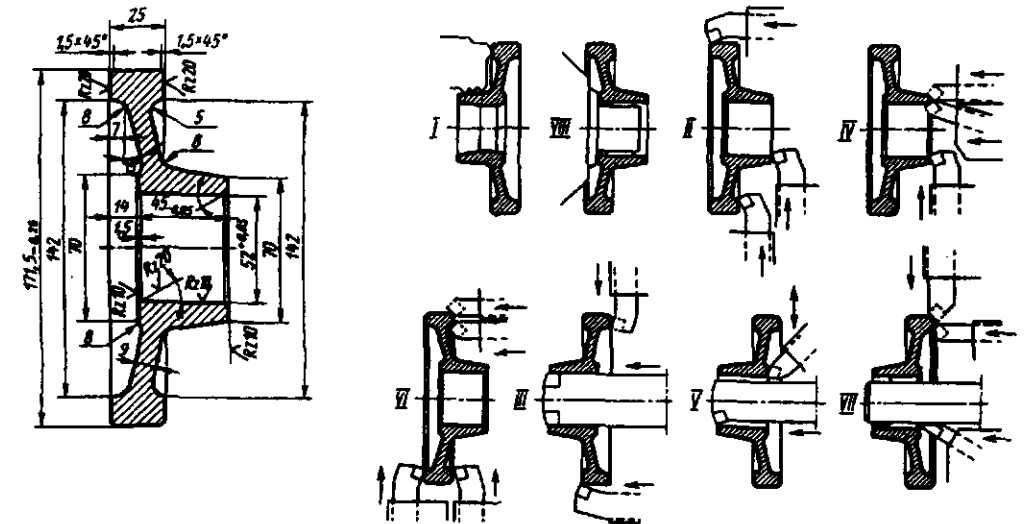


Рис. 94. Двухиндексная наладка восьмишпиндельного полуавтомата для обработки заготовок зубчатых колес

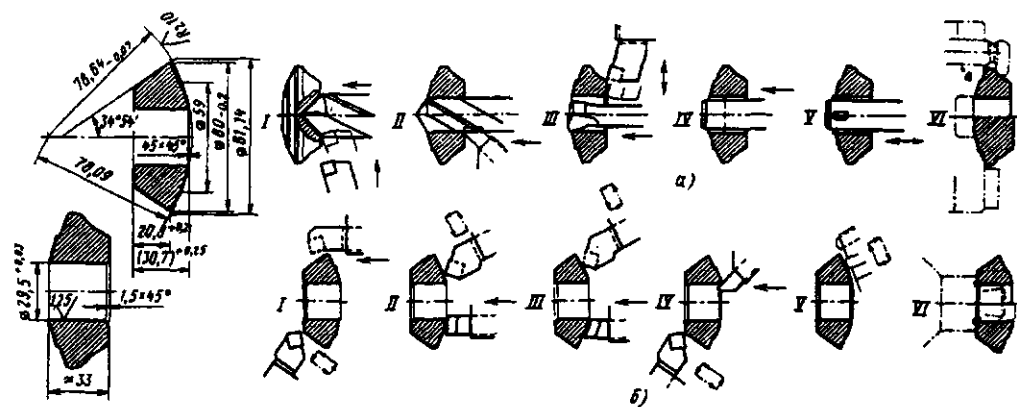


Рис. 95. Наладки шестишпиндельных полуавтоматов для обработки штучных заготовок промежуточных зубчатых колес: а – базирование по наружной поверхности; б – базирование по обработанному внутреннему отверстию и торцу

Наладки шестишпиндельных полуавтоматов для обработки штучных заготовок промежуточных зубчатых колес представлены на рис. 95. Требования по точности и параметрам шероховатости высоки. Для обеспечения указанных требований на позиции V обоих станков применены при первом зажиме раскатка (рис. 95, а), а также специальное приспособление для окончательного обтачивания и выглаживания сферы (рис. 95, б).

ОБРАБОТКА НА МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТОКАРНЫХ ПОЛУАВТОМАТАХ

В машиностроении используют многошпиндельные полуавтоматы двух типов: последовательного и непрерывного (параллельного) действий.

На станках последовательного действия за одну установку на всех рабочих позициях обрабатывают деталь, перемещая ее последовательно из одной позиции в другую, и выполняют на каждой из них свои переходы обработки. Обработку проводят как бы на нескольких одношпиндельных полуавтоматах с различными наладками.

На станках непрерывного (параллельного) действия за одну установку заготовку обрабатывают только на одной позиции, причем в обработке находится одновременно несколько (по числу шпинделей без одного) заготовок.

Следовательно, несколько заготовок обрабатывают как бы одновременно на нескольких одношпиндельных полуавтоматах, наложенных на одну и ту же операцию.

Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы для выполнения наиболее распространенных видов обработки оснащают суппортами следующих основных типов:

вертикальным для обработки, осуществляемой при вертикальном перемещении; универсальным для последовательного продольного, а затем поперечного точения с возвратом в исходное положение по той же траектории;

параллельного действия (полууниверсальным) для обработки заготовки инструментами двух групп, одна из которых имеет вертикальное перемещение, а другая – последовательно-вертикальное и затем горизонтальное. Этот суппорт имеет наименьшую жесткость и применяется исключительно при недостатке рабочих позиций.

Система управления полуавтомата может обеспечивать максимально четыре цикла работы суппортов: быстрый подвод – малая подача – большая подача – быстрый отвод; быстрый подвод – большая подача – быстрый отвод.

Специальные суппорты изготавливают для обработки заготовок, которые не могут быть обработаны с использованием стандартных суппортов. К ним относятся сдвоенные суппорты, суппорт с приводом сверлильной головки и суппорт с расточной головкой.

Сдвоенные суппорты снабжены двумя салазками (вертикальными и горизонтальными); салазки работают одновременно, что позволяет удобно совмещать в одной позиции вертикальное и горизонтальное обтачивание.

Выпускают сдвоенные суппорты шести вариантов: 1) "к центру 1 : 1"; 2) "к центру 2 : 1"; 3) "к центру 3 : 1"; 4) "от центра 1 : 1"; 5) "от центра 2 : 1"; 6) "от центра 3 : 1".

Обозначения "к центру" и "от центра" указывают направление рабочей подачи горизонтальных салазок; рабочая подача вертикальных салазок всегда направлена вниз.

Отношения 1 : 1; 2 : 1; 3 : 1 показывают соотношения длин ходов вертикальных и горизонтальных салазок. Например, 3 : 1 означает, что ход и, следовательно, подача на оборот шпинделя у вертикальных салазок в 3 раза больше, чем у горизонтальных.

Суппорт с приводом сверлильной головки применяют при обработке нецентральных отверстий планетарными головками без остановки шпинделя в соответствующей позиции.

Суппорт с расточной головкой, имеющий индивидуальный привод, предназначен для чистовой обработки центральных отверстий (поверхностей) диаметром 20 – 100 мм с шероховатостью $Ra = 2,5 \dots 1,25$.

В качестве инструмента применяют расточные борштанги с резами.

На рис. 96 показаны схемы наладки полуавтоматов и условные обозначения позиций и движения суппортов.

На многошпиндельных вертикальных полуавтоматах последовательного действия обрабатывают шестерни, ступицы, муфты, шкивы, фасонные и некоторые корпусные детали. На них обтачивают цилиндрические и конические поверхности, подрезают торцы, растачивают отверстия, прорезают канавки, сверлят, зенкеруют и развертывают отверстия, расположенные по оси вращения и удаленные от этой оси.

Заготовки закрепляют в патронах или специальных приспособлениях. На этих станках достигается точность обработки наружных и внутренних поверхностей 6 – 9-го качества; точность обработки зависит не только от возможностей оборудования, но и от правильного выбора наладки и технологической оснастки.

Многошпиндельные полуавтоматы непрерывного (параллельного) действия предназначены для обработки деталей несложной формы в центрах или патронах. На этих стан-

ках обеспечивается точность 10 – 11-го качества и шероховатость обработанной поверхности $Ra 2,5$. Точность 6 – 9-го качества может быть обеспечена при применении специального инструмента (плавающих головок и др.). На указанных станках обтачивают поверхности, растачивают отверстия, подрезают торцы или осуществляют комбинацию этих переходов при предварительной и окончательной обработке.

Технологические возможности станков непрерывного действия, предназначенных для обработки заготовок в патронах, не позволяют определить область их применения; некоторые заготовки можно обрабатывать как на станке последовательного действия, так и на станке непрерывного действия.

На многошпиндельных вертикальных полуавтоматах непрерывного действия при установке в центрах обрабатывают детали типа валов, при установке в патронах – типа барабанов.

На одно- и двухшпиндельных полуавтоматах вертикального и горизонтального исполнения при монтаже добавочных силовых головок выполняют, кроме токарной обработки, сверление, фрезерование, нарезание резьб и другие операции.

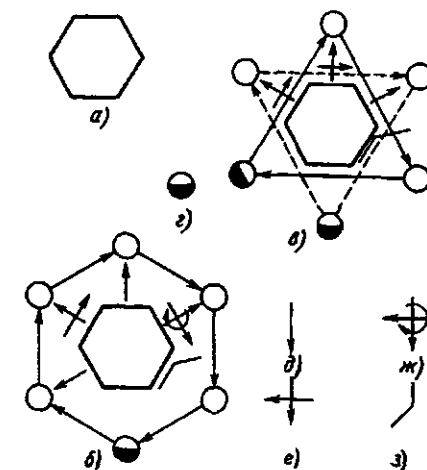


Рис. 96. Схемы наладки полуавтоматов и условные обозначения позиций и движения суппортов: а – колонка станка; б – схема одноциклового наладки станка; в – схема двухциклового наладки станка; г – загрузочная позиция; д – вертикальный суппорт; е – горизонтальный (полууниверсальный) суппорт; ж – универсальный суппорт; з – сдвоенный угловой суппорт

Проектирование наладок на полуавтоматы последовательного действия. Проектирование наладок и расчет режимов резания производят для всех суппортов – позиций раздельно. Затем выполняют дополнительные расчеты, связанные с координацией работы отдельных суппортов – позиций. Режимы резания назначают с таким расчетом, чтобы продолжительность работы всех суппортов была приблизительно одинаковой. Это позволяет повысить стойкость инструмента на нелимитирующих позициях и тем самым сократить время на подналадку станка, а также более рационально использовать все суппорты станка, не допуская перегрузки их в отдельных позициях.

Многошпиндельные полуавтоматы последовательного действия при обработке сравнительно простых деталей с небольшим числом переходов настраивают на одно-, двух- и трехцикловую работу. На загрузочных позициях производят загрузку и съем одновременно одной, двух или трех заготовок. При двух- и трехцикловых наладках можно обрабатывать детали типа валов и шестерен с двух сторон с поворотом или обрабатывать однотипные детали различных наименований.

При проектировании наладок для позиций предварительной обработки по условиям производительности целесообразно увеличивать число одновременно работающих инструментов до шести-восьми. При большем числе инструментов в позиции вследствие усиления вибраций и увеличения мощности резания наблюдается повышенный износ инструментов и требуется более частая подналадка станка. Практически на подналадку станка затрачивают 1 – 1,5 ч в смену, и дальнейшее увеличение числа подналадок может свести на нет достигнутое за счет увеличения числа инструментов сокращение основного времени. Необходимо также учитывать жесткость технологической системы. Большое число инструментов усложняет конструкцию державок и затрудняет процесс наладки.

Для обработки стальных заготовок с большой разницей диаметров рекомендуется применять смешанные наладки: поверхности больших диаметров, когда скорости резания благоприятны для твердого сплава, обрабатывают инструментами, армированными твердым сплавом; поверхности меньших диаметров – инструментами из быстрорежущей стали (при $v \leq 30$ м/мин). Такое оснащение наладки по-

зволяет применять скоростные режимы обработки, создает нормальные условия для работы инструментов и обеспечивает их стойкость не менее одной смены для условий поточно-массового производства.

Наладки с использованием инструмента, армированного твердым сплавом и из быстрорежущей стали для работы на скоростных режимах следует оснащать минимальным числом инструментов – не более трех-четырех на каждой позиции.

В некоторых случаях, например при обработке валов, стаканов и других деталей с небольшой разницей диаметров целесообразно применять обработку одним-двумя резами по копиру.

Для переходов с точностью обрабатываемых поверхностей 6 – 7-го качества необходимо выделять отдельные позиции. При обработке наружных поверхностей и торцов с допусками биения 0,03 – 0,05 мм, а по диаметру и длине ступеней – 0,1 – 0,15 мм, обработку стальных заготовок следует осуществлять в три перехода; чугунных – в два перехода. Для уменьшения основного времени обрабатываемые поверхности большой длины целесообразно делить на участки и выполнять обработку на двух-трех позициях. Длину обрабатываемых поверхностей можно сократить также применением большего числа резцов, обрабатывающих данную поверхность в одной позиции. Однако такая рекомендация справедлива только для предварительной обработки, так как при чистовой обработке образование ступенек и рисок на поверхности не допускается.

Во избежание образования резцом рисок на обработанной поверхности при обратном ходе суппорта необходимо применять специальные копирные державки для отвода инструментов от поверхности в конце рабочего хода (рис. 97). Державка 1 имеет ползун 2, в котором закрепляют резец. В момент подвода и рабочего хода суппорта закаленный выступ 4 ползуна скользит по прямолинейной поверхности копира 5, а в конце рабочего хода входит в вырез копира под действием пружины 3, отводя резец от обработанной поверхности. При обратном ходе суппорта копир 5 поднимается до упора гайк 6 в закрепленном на станине станка кронштейн 7. Гайки 6 регулируют таким образом, чтобы до окончания обратного хода суппорта выступ 4 вышел из паза копира.

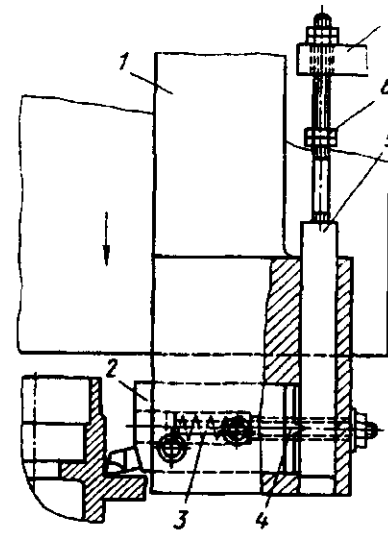


Рис. 97. Копирная державка для отвода инструментов от обработанной поверхности в конце рабочего хода

Точные внутренние и наружные поверхности на полуавтоматах последовательного действия обрабатывают плавающими головками. На хвостовике 1 (рис. 98), закрепленном в державке суппорта, монтируют неподвижно две направляющие планки 2. Ползун 4, несущий два резца, настроенных на размер, посредством шариков 3 (восемь шариков) свободно

перемещается относительно направляющих планок 2. Вследствие легкого перемещения ползуна 4 относительно хвостовика 1 устраняется погрешность индексации станка.

Для полустойковой обработки отверстий в отливках и поковках следует применять зенкеры.

Если длина отверстий $L \geq (2 \dots 3)d$, предварительную обработку для сокращения времени осуществляют в нескольких позициях. Соосно расположенные внутренние поверхности следует обрабатывать в одних и тех же позициях, чтобы избежать влияния погрешностей индексации стола (несовпадение осей на различных позициях при поворотах стола достигает 0,03 мм).

Отверстия с точностью 6 – 7-го качества обрабатывают плавающей или качающейся разверткой после двукратного растачивания. При обработке центральных отверстий малого диаметра (до 25 мм) применяют специальный шпиндель. Относительная частота вращения, при которой будет осуществляться сверление, $n = 2,5n_{ш}$, где $n_{ш}$ – частота вращения шпинделя, установленная для данной наладки на станке.

Сверление, зенкерование и развертывание отверстий, расположенных на расстоянии от оси вращения заготовки, осуществляют специальными многошпиндельными головками. Относительная неподвижность головки и заготовки обеспечивается в результате совместного их вращения во время обработки.

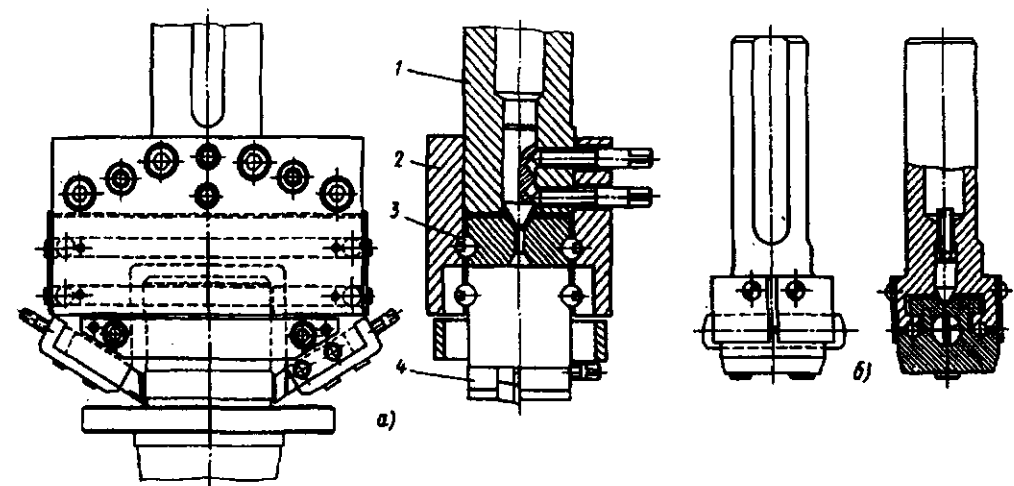


Рис. 98. Плавающая головка конструкции ЗИЛ: а – для наружного обтачивания; б – для растачивания внутренних поверхностей (отверстий)

Отдельные отверстия, расположенные на расстоянии от оси вращения заготовки, обрабатывают сверлами, зенкерами, развертками, цековками и зенковками с помощью инструментальной головки (рис. 99). Головку устанавливают на суппорте станка стандартного исполнения, имеющего вертикальное перемещение. В расточную борштангу 12 вмонтирован планетарный механизм, к которому относятся зубчатые колеса 2 и 11, крышки 4 и 5, шарики 7 и ролики 13. Три мерные стойки 6 связывают планетарный механизм в одно целое. На хвостовике зубчатого колеса 2 закреплен осевой инструмент 3 (зенковка). Частота вращения инструмента в минуту

$$n_2 = \frac{z_{11}}{z_2} n_w,$$

где z_{11} — число зубьев колеса 11 с внутренним зацеплением; z_2 — число зубьев колеса 2; n_w — частота вращения детали 1 в минуту. Передаточное отношение возможно в пределах $z_{11}/z_2 = 2 \dots 8$.

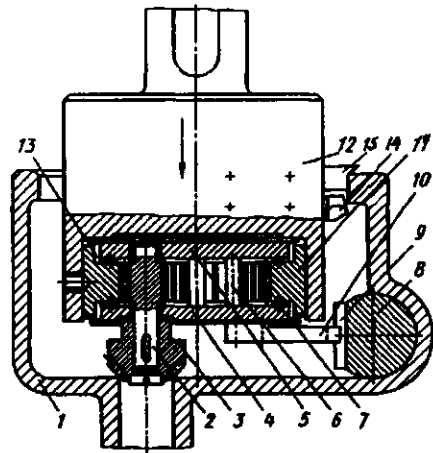


Рис. 99. Инструментальная головка конструкции ЗИЛ для обработки отверстий, расположенных на расстоянии от оси вращения заготовки

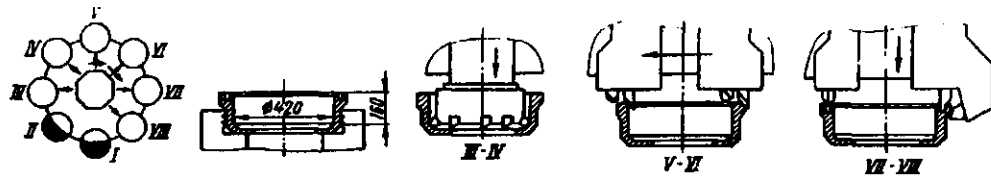


Рис. 100. Групповая наладка восьмишпиндельного полуавтомата для обработки тормозных барабанов двух размеров

В процессе работы установка осевого инструмента относительно обрабатываемого отверстия производится посредством ловителя 10 через шпонку 9 и базирующий палец 8 приспособления. При вращении шпинделя с закрепленной в приспособлении деталью 1 на рабочей подаче суппорт опускается в полость детали; ловитель 10 приводит в движение планетарный механизм. Одновременно со снятием фаски зенковкой 3 осуществляется растачивание отверстия и снятие фаски резцами 14 и 15. В момент соприкосновения инструмента с деталью ловитель отключается, и механизм вращается самой деталью.

Фасонные и конические поверхности обрабатывают с применением универсальных и специальных суппортов, а также специальных копирных державок и сложного фасонного инструмента.

Для обработки однотипных деталей, имеющих много одинаковых размеров, рекомендуется применять групповые наладки.

В наладке, предназначенной для обработки двух деталей с различной высотой (рис. 100), на позициях III, IV и VII предусмотрены регулируемые державки.

Проектирование наладок на полуавтоматы непрерывного действия. Наладки проектируют как для нескольких (по числу шпинделей — рабочих позиций) одношпиндельных многорезцовых копировальных полуавтоматов, причем режимы резания рассчитывают для одной наиболее нагруженной позиции. При проектировании наладок на полуавтоматы непрерывного действия необходимо руководствоваться теми же соображениями, что и для токарных многорезцовых копировальных полуавтоматов и вертикально-многошпиндельных полуавтоматов последовательного действия, с учетом особенностей кинематики станков непрерывного действия. На этих станках целесообразно осуществлять наладку на двух-

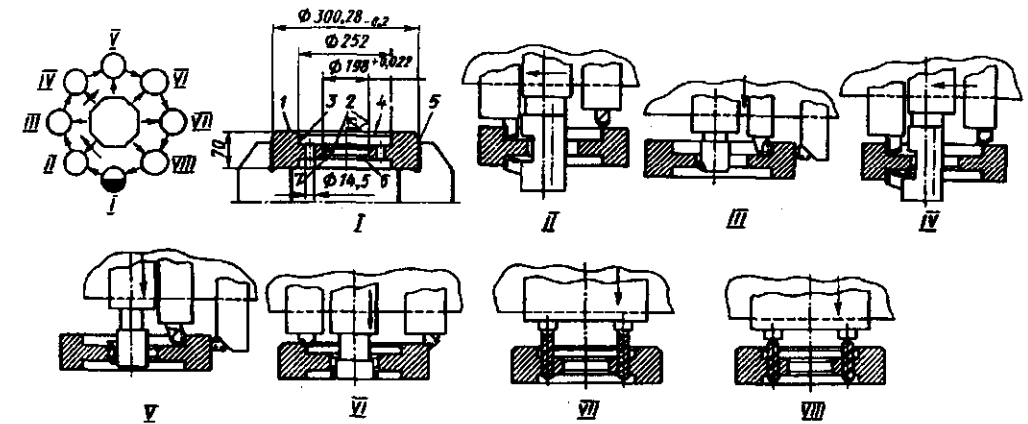


Рис. 101. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата для обработки заготовок зубчатых колес со сверлением удаленных от центра отверстий

и трехцикловую работу. При обработке ступенчатых валов допустима установка на каждой позиции более 10 резцов для обработки всех поверхностей. Для разгрузки суппортов и шпинделей рекомендуется применять копирное точение.

При обработке ступенчатых деталей в центрах необходимо выдерживать размер входного диаметра центрального гнезда во избежание смещения ступеней по длине.

Примеры наладок. На рис. 101 — 106 представлены схемы наладок вертикально-многошпиндельных полуавтоматов для обработки заготовок зубчатых колес. Обработка заготовок такого типа возможна на многорезцовых токарных полуавтоматах, поэтому выбор оборудования и схемы обработки будут зависеть от технических требований и типа производства данного предприятия.

В наладке, показанной на рис. 101, параллельность поверхностей 1, 2 и 6 обеспечивается комплексной обработкой резцами, закрепленными в различных державках на данном суппорте (позиции II — IV). Для обработки отверстия (поверхность 7) применяют плавающую развертку (позиция VI). На позициях VII и VIII для сверления и зенкерования восьми отверстий используют специальные многошпиндельные головки. Поверхности 4 и 5 обрабатывают инструментом, армированным твердосплавными пластинами; остальные поверхности обрабатывают инструментом из быстрорежущей стали. На позиции III обрабатывают поверхности 3, 5, 7.

Для сравнения на рис. 102 показан метод обработки этой же заготовки на вертикальном двухшпиндельном многорезцовом полуавтомате. В этой наладке используют резцы с механическим креплением неперетачиваемых твердосплавных пластин, а также применен специально встроенный суппорт для подрезания нижнего торца.

Наладка для обработки двух различных заготовок зубчатых колес показана на рис. 103. Наличие специальных (угловых) суппортов на всех рабочих позициях (III — VIII) расширило возможности полуавтомата и позволило провести обработку в два цикла (каждый цикл на обработку заготовки одного наименования).

На рис. 104 представлена дублированная наладка для обработки заготовок одного и того же зубчатого колеса.

В наладке, показанной на рис. 105, растачивание отверстия взамен зенкерования и протягивания позволяет обеспечить перпендикулярность отверстия к базовому торцу, необходимую для получения требуемой точности на

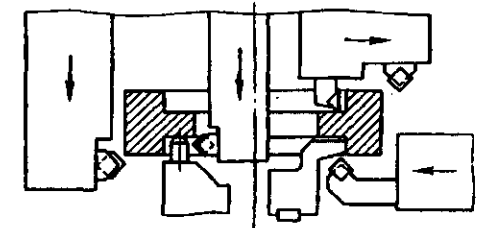


Рис. 102. Наладка двухшпиндельного вертикального токарного полуавтомата для обработки заготовки зубчатого колеса

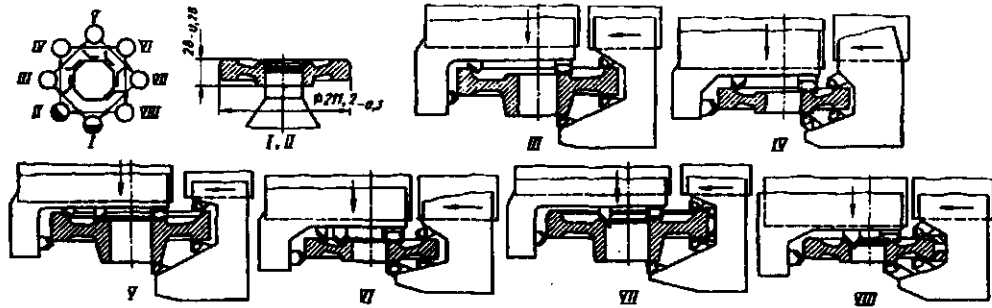


Рис. 103. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата для обработки двух различных заготовок зубчатых колес

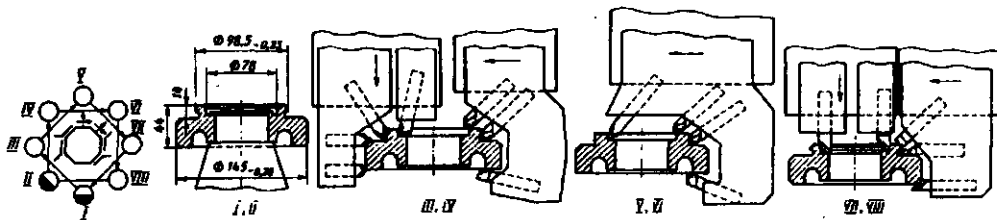


Рис. 104. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата для двухцикловой обработки заготовок зубчатых колес

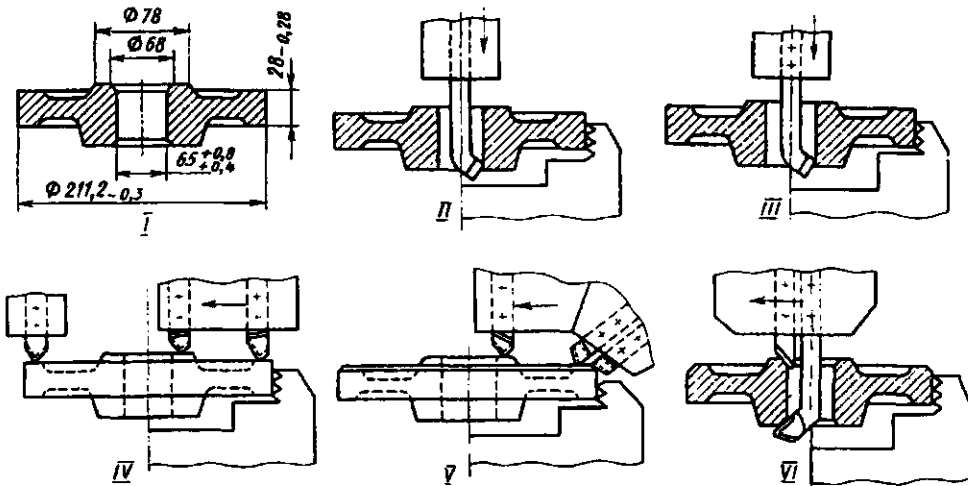


Рис. 105. Наладка шестишпиндельного полуавтомата для обработки заготовок зубчатых колес в патроне

последующих операциях. На рис. 106 представлена наладка восьмишпиндельного полуавтомата для обработки заготовки конического колеса. Заготовку обрабатывают с двух сторон в два цикла (рис. 106, а). Для обработки конических поверхностей 1 и 2 применены специ-

альные суппорты с наклонными направляющими, а канавку на позиции VIII обрабатывают с помощью специальной копирной державки. Эту же заготовку можно обрабатывать без применения специальных суппортов с измененной на позициях III, VII, VIII наладкой

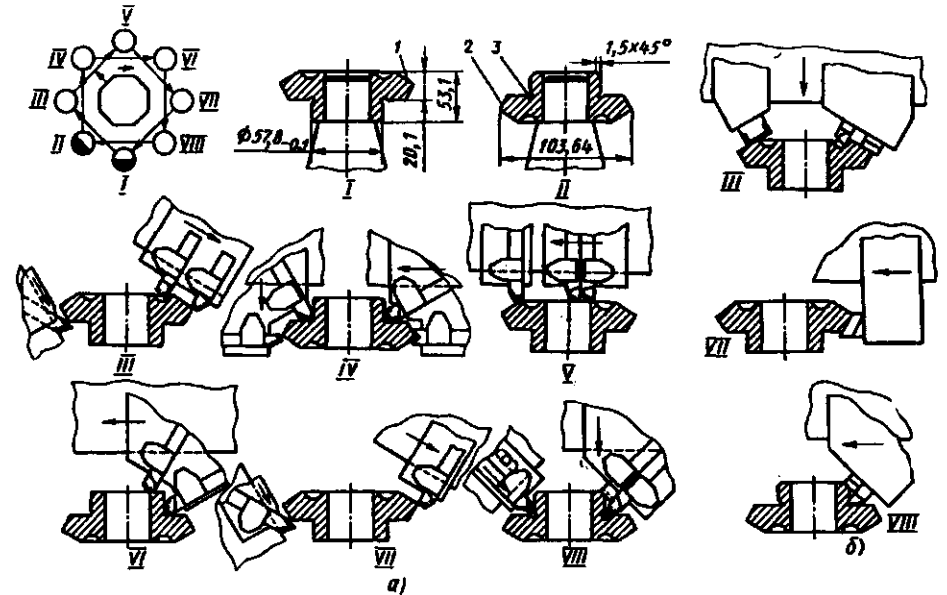


Рис. 106. Наладки восьмишпиндельного полуавтомата для обработки конического колеса

(рис. 106, б), однако условия резания в этом случае значительно хуже, что снижает стойкость инструмента.

На рис. 107 – 110 представлены наладки вертикально-многошпиндельных полуавтоматов для обработки фланцев. В наладке шестишпиндельного полуавтомата для предварительной и окончательной обработки фланца (рис. 107) на позициях II, III, V используют широкие резцы для обработки соответствующих поверхностей и осевой инструмент для снятия фаски на позиции VI.

С целью повышения производительности при двухцикловой обработке фланца в наладке восьмишпиндельного полуавтомата (рис. 108, а) на позициях III, IV применена комбинированная цековка-зенковка, а на позициях V, VI – специальная многоножевая головка типа "гольпан". В наладке для обработки поверхностей 1 и 2 на позициях III и IV того же фланца с другой стороны (рис. 108, б) применены специальные ступенчатые головки.

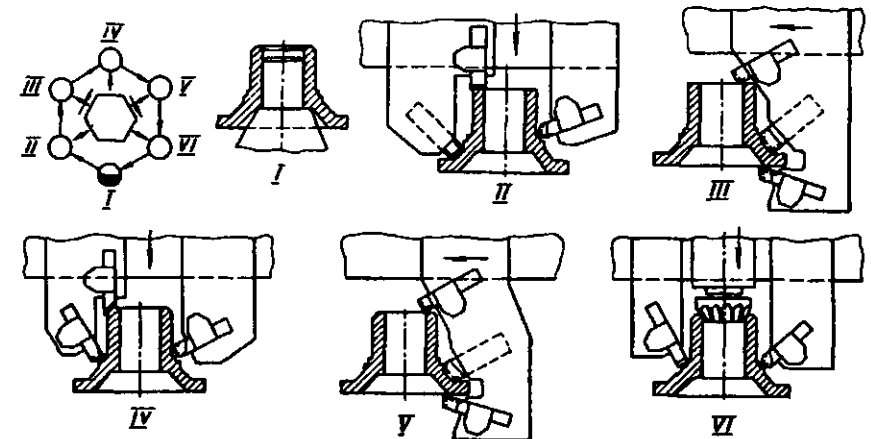


Рис. 107. Наладка шестишпиндельного полуавтомата для одноцикловой обработки фланца

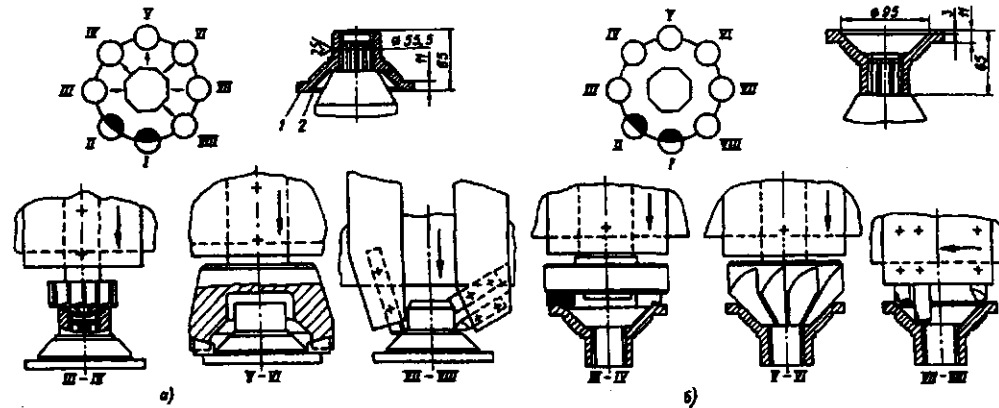


Рис. 108. Наладки восьмишпиндельного полуавтомата для двухциклового обработки фланца

Обработку фланца (рис. 109, а) осуществляют в два цикла (обработка с двух сторон с переворотом) на восьмишпиндельном полуавтомате. Деталь напрессовывают ранее обработанным отверстием на оправку в загрузочных позициях I и II пневматическим приспособлением. Соосность поверхностей 8 и 10 достигается применением расточных борштаг для совместной обработки этих поверхностей на позициях III и V. Кроме того, на позиции VII для обеспечения точности диаметральных размеров поверхностей 8 и 10 их соосности применена специальная заблокированная головка, в которой использованы резцы и развертка. Резцы установлены в блоке на шариках для обеспечения горизонтального перемещения, а развертка имеет ось качения в самом блоке. Для компенсации упругих деформаций поверхности 6 и 7 обрабатывают на позициях III и V; одновременно в процессе подрезания обтачиваются также поверхности 5 и 12.

Возможна обработка этой детали по схеме, показанной на рис. 109, б. Однако такая наладка не обеспечивает нужной точности размеров при обработке поверхностей 6 – 8, 10. В связи с большой разницей размеров обрабатываемых поверхностей фланца применяют смешанную наладку: поверхности 1 – 4 и 11 обрабатывают резцами из быстрорежущей стали, а поверхности 7 – 9 и 13 резцами, армированными пластинами из твердого сплава.

В наладке, показанной на рис. 110, а на позиции II, во избежание ударных нагрузок при снятии штамповочного уклона, применена специальная цековка. Использование осевого инструмента на позиции IV вызвано также

ударными нагрузками при удалении металла в двух секторах. Предварительное обтачивание поверхности 2 проводится на позиции IV резцом, закрепленным в специальной державке,

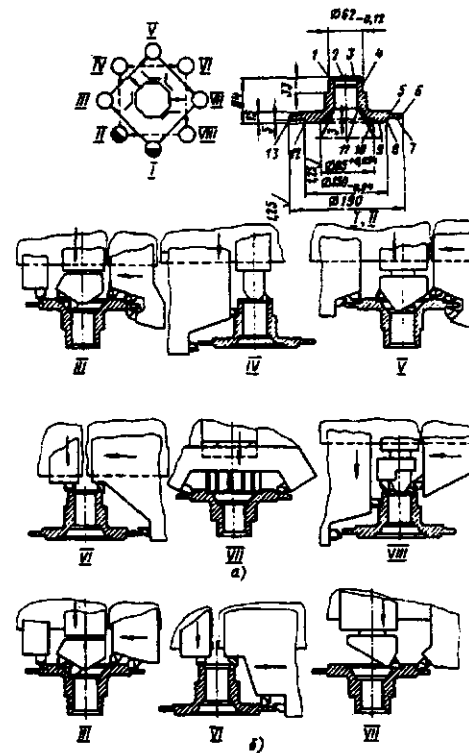


Рис. 109. Наладки восьмишпиндельного полуавтомата для двухциклового обработки фланца

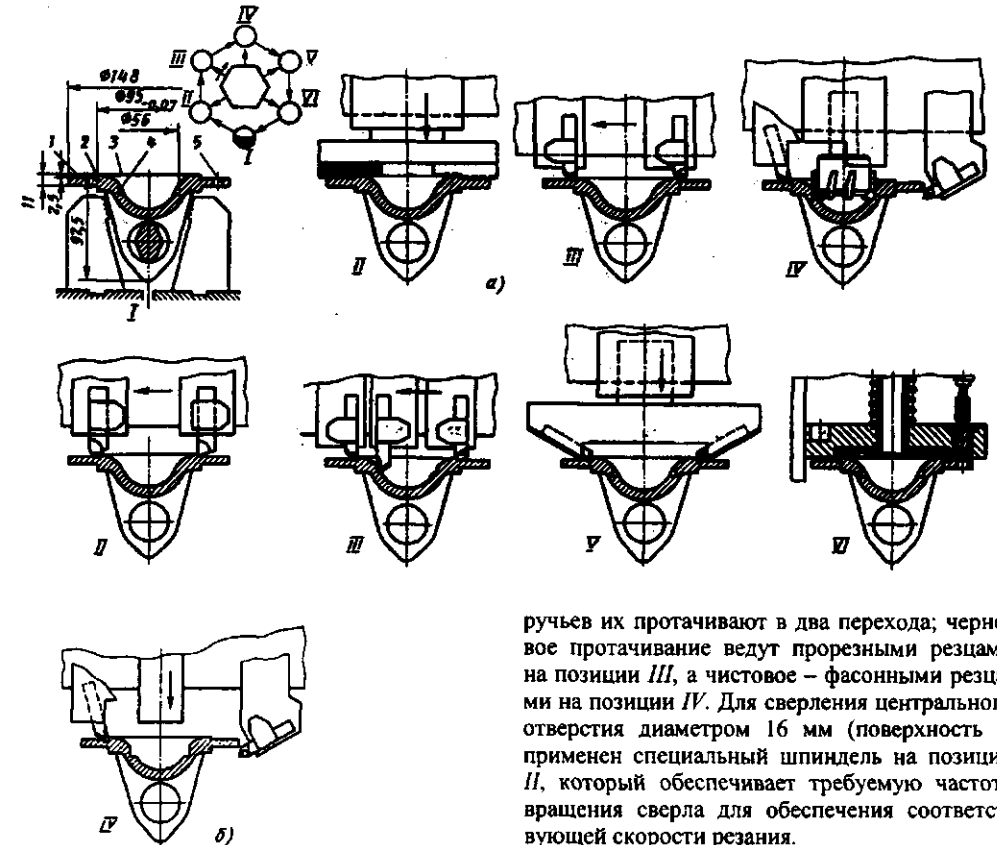


Рис. 110. Наладка шестишпиндельного полуавтомата для одноциклового обработки фланца

расположенной перпендикулярно суппорту. На позиции V эта поверхность обрабатывается плавающей головкой, применение которой вызвано неточностью индексации шпинделей. На позиции VI использована многошпиндельная головка с комбинированным осевым инструментом для обработки четырех отверстий 5 во фланце.

Эта деталь может быть обработана по другой схеме (рис. 110, б). В позициях II – IV поверхности 1 – 4 обрабатывают резцами вместо специального инструмента, однако в этом случае стойкость резцов, работающих с ударной нагрузкой, значительно снижается.

Особенностью наладки для обработки шкивов (рис. 111, а) является применение копирной державки для обтачивания поверхности 2 на позиции II и многошпиндельной головки для обработки отверстий на позиции VIII. Во избежание вибрации в процессе обработки

ручьев их протачивают в два перехода; черновое протачивание ведут прорезными резцами на позиции III, а чистовое – фасонными резцами на позиции IV. Для сверления центрального отверстия диаметром 16 мм (поверхность 1) применен специальный шпindel на позиции II, который обеспечивает требуемую частоту вращения сверла для обеспечения соответствующей скорости резания.

В наладке для обработки шкива идентичной конструкции (рис. 111, б) также применена копирная обработка на позициях II и IV, а центральное отверстие диаметром 40 мм с выточкой на внутренней поверхности канавок обрабатывается специальными резцами на позициях VI и VII.

На рис. 112 показана наладка для одноциклового обработки чугунной ступицы, в которой для получения соосности поверхностей 2, 3 и 4 их предварительную и окончательную обработку ведут одновременно на позициях II, III, VII. Кольцевая выточка (поверхность 1) обрабатывается на двух позициях последовательно. На позиции V для черновой обработки применены два резца, работающие "в разгон" с целью облегчения работы резцов и увеличения возможного числа их переточек; на позиции VII кольцевая выточка калибруется мерным резцом. Для окончательной обработки отверстия диаметром 135 мм с жестким допуском применена плавающая расточная головка.

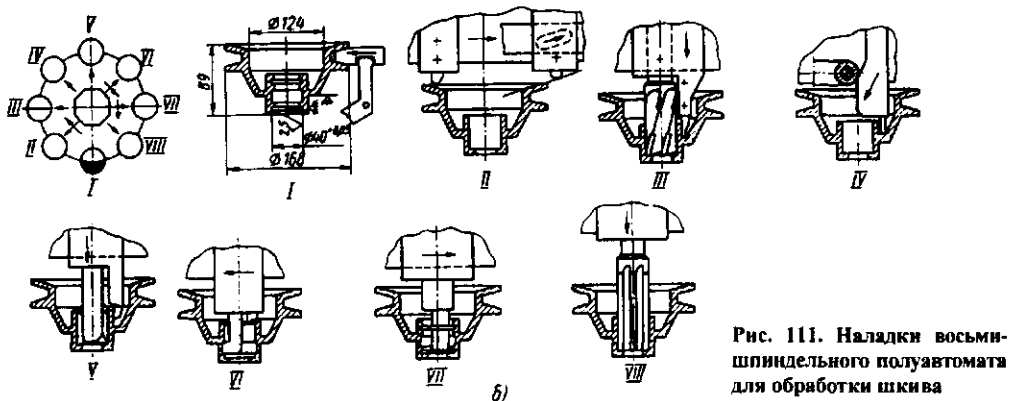
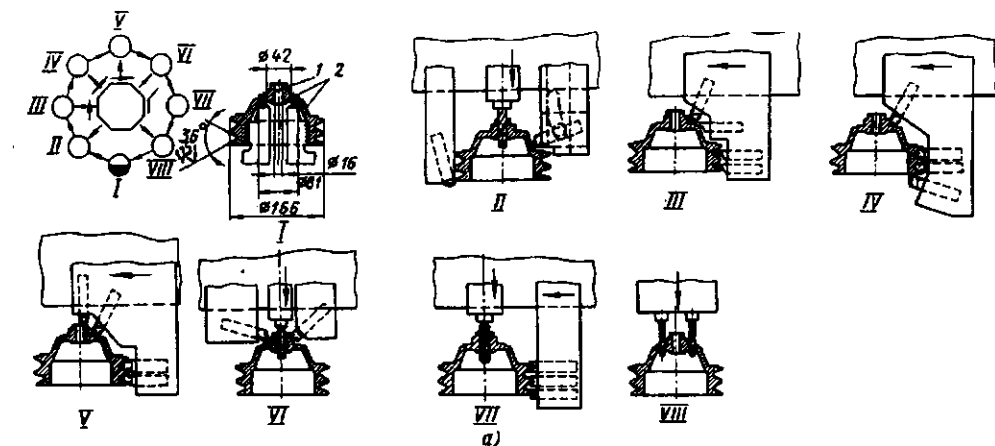


Рис. 111. Наладки восьмишпиндельного полуавтомата для обработки шкива

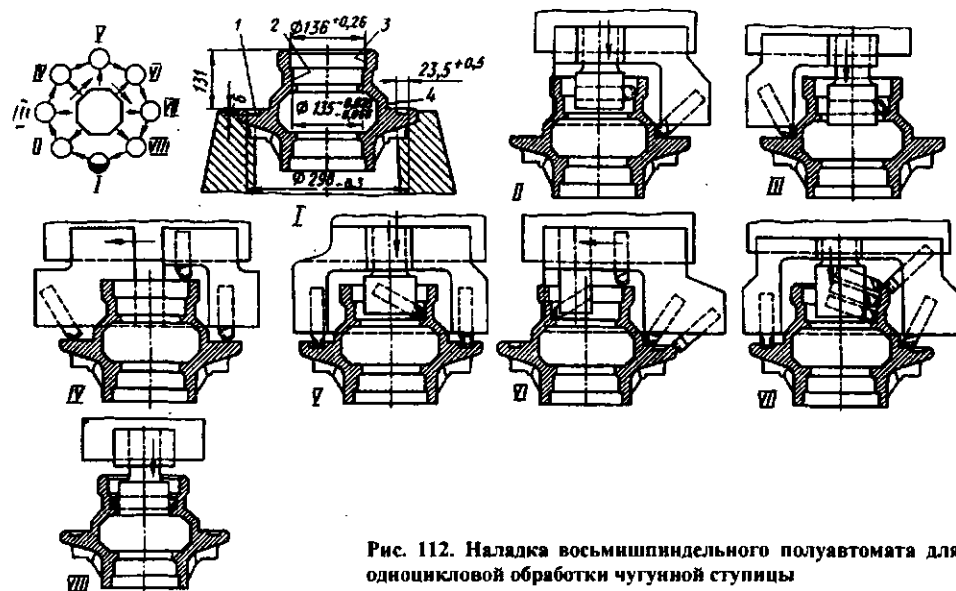


Рис. 112. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата для одноциклового обработки чугунной ступицы

Наладка для обработки чашки дифференциала (рис. 113) характерна применением двух специальных обдирочных резцов для предварительного растачивания сферы на позиции II и применением специальных поворотных суппортов для чистового растачивания сферы на позициях VI и VII. Для калибровки сферы и внутреннего диаметра под подшипник (поверхность 3) на позиции VIII использована трехблочная плавающая головка, позволяющая выдержать размеры поверхностей 1 – 3 с точностью 6 – 7-го качества и соосность 0,04 мм.

На рис. 114 показана наладка для обработки шаровой опоры, в которой на позициях III, V, VI применены специальные суппорты

для внутреннего растачивания и наружного обтачивания сфер. Применением державки конструкции ЗИЛ на позиции VIa обеспечивается необходимая шероховатость поверхности и точность 9 – 11-го качества при обработке наружной сферы. Эта державка позволяет изменять радиус обрабатываемой сферы и дает хорошие результаты в условиях ударных нагрузок. Обработка сферической поверхности возможна по методу обката (позиция VIб), однако вследствие быстрого износа зубьев рейки нарушается равномерность рабочей подачи, снижается точность и увеличивается шероховатость поверхности.

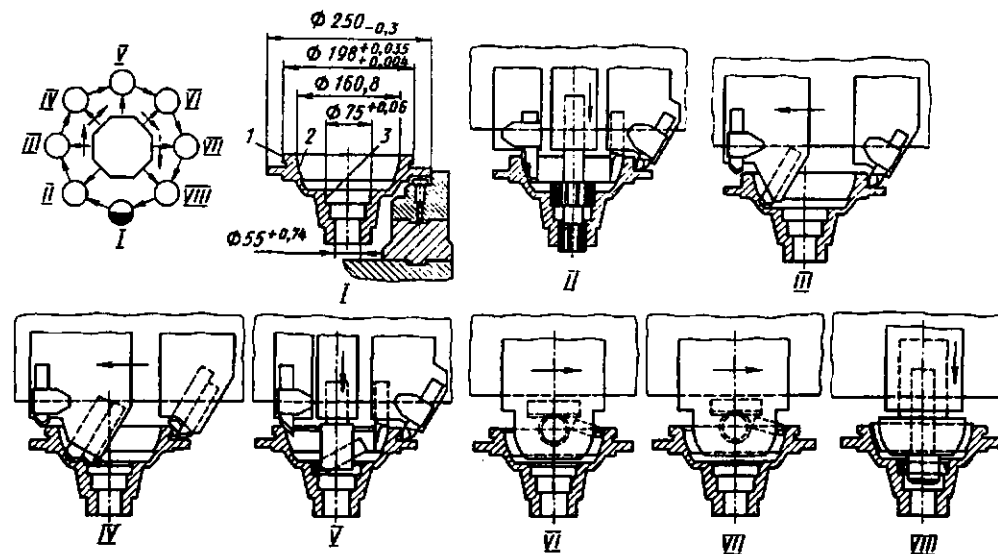


Рис. 113. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата для обработки фасонной заготовки

В наладке, показанной на рис. 115, предусмотрена полная обработка хвостовой части ступицы шаровой опоры, включая отверстие. Копирная державка на позиции IV в конце рабочего хода отводится от обрабатываемой поверхности, в результате чего исключается образование на ней риски при обратном ходе резца. Плавающий блок на шариках в позиции VI обеспечивает высокую точность и низкий параметр шероховатости поверхности. Применение этой наладки позволяет наиболее полно использовать возможности станка и исключить операции обработки на агрегатно-сверлильном и шлифовальных станках.

На рис. 116. представлена наладка для обработки цапфы поворотного кулака с применением копирного обтачивания. Наружная ступенчатая поверхность детали во избежание деформаций и вибраций в процессе обработки обтачивается по копии с помощью копирных державок. Поверхности 1 – 4 обтачивают на позициях III, V и VI, а поверхность 5 на позициях VII и VIII. Для увеличения хода суппорта с 200 до 250 мм применена пневматическая державка (рис. 117), вступающая в работу после окончания механической подачи суппортов. Через распределитель 1 сжатый воздух поступает в пневмоцилиндр 2 и через шток 3

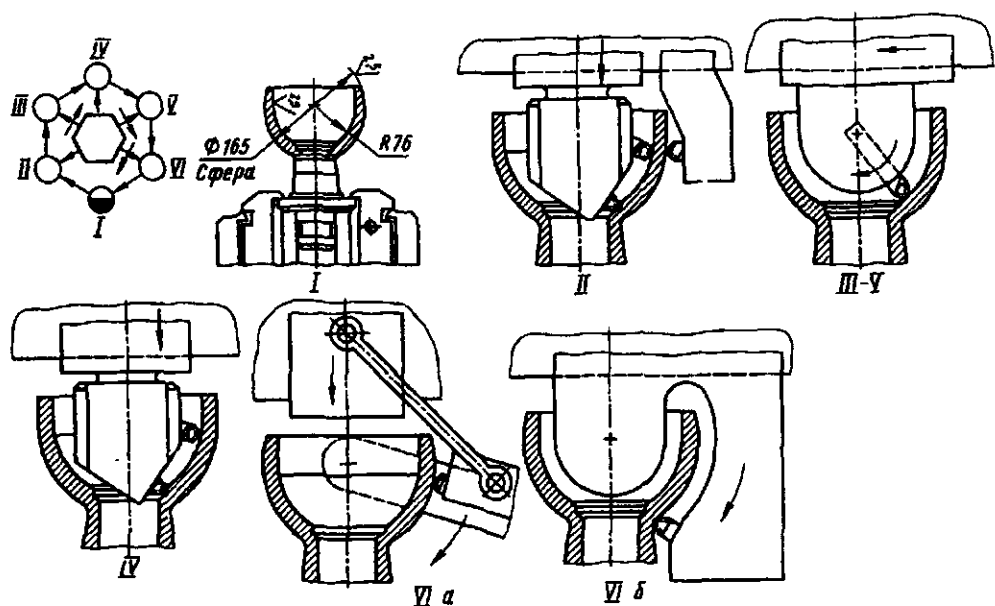


Рис. 114. Наладка шестишпиндельного полуавтомата для обработки шаровой опоры с применением специальных суппортов для растачивания и обтачивания сферических поверхностей

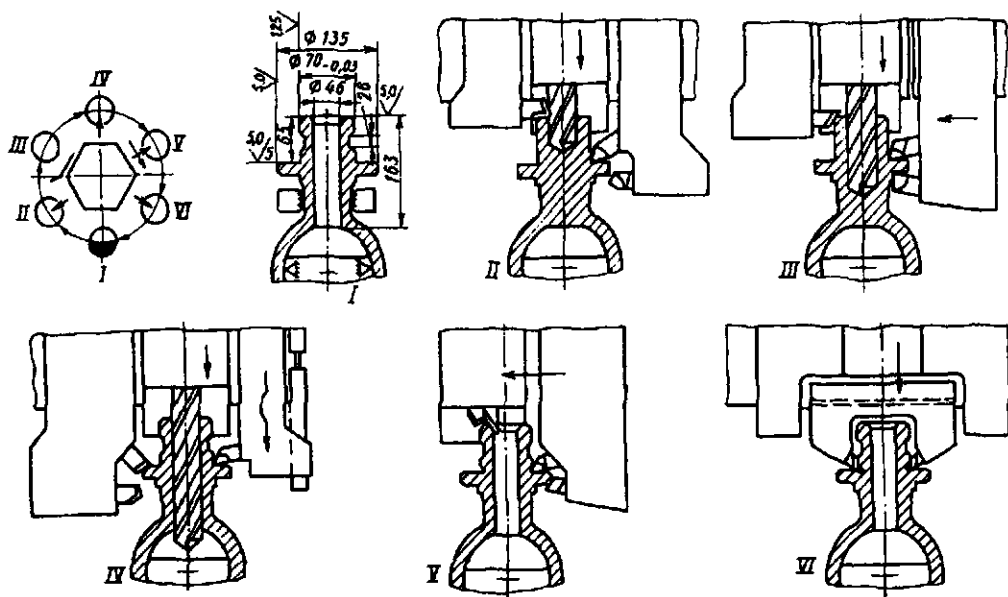


Рис. 115. Наладка шестишпиндельного полуавтомата для полной обработки ступицы шаровой опоры

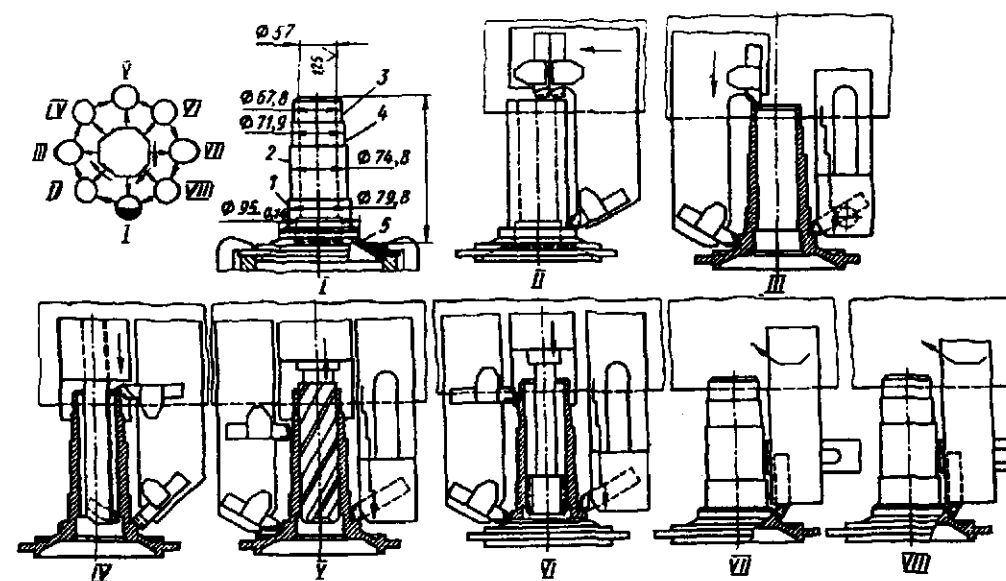


Рис. 116. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата для одноциклового обработки тонкостенной детали большой длины

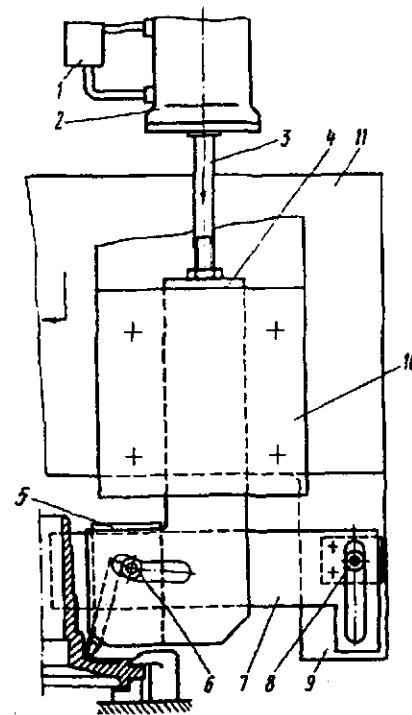


Рис. 117. Пневматическая державка, работающая по копиру, с увеличенным вертикальным ходом

перемещает вниз державку 4, вмонтированную в основную державку 10. Из этого положения (с увеличенной длиной вертикального перемещения) осуществляется поперечная подача суппорта II. На направляющей суппорта 9 закреплен посредством ролика 8 копира 7, который обеспечивает перемещение державки 5 с помощью ролика б по кривой копира.

На рис. 118 и 120 показаны наладки для обработки корпусных деталей. Особенностью наладки для обработки крупной корпусной детали (рис. 118) является применение на позициях III, V, VI, VIII телескопических суппортов, обеспечивающих обработку поверхностей 1, 2 и 3 по длине, превосходящей паспортную характеристику полуавтомата. На позиции VIII использована двухступенчатая плавающая головка для одновременной обработки двух поверхностей с целью обеспечения допуска соосности.

Для обработки деталей такого типа наиболее целесообразно применять рессорную державку (рис. 119).

При вертикальном перемещении суппорта 3 одновременно перемещается державка 1, в которую вмонтированы рейки 2 и 4; рейка 4 жестко прикреплена к станине станка и через зубчатое колесо 5 может перемещать рейку 2 с двумя подрезными резцами. Таким образом,

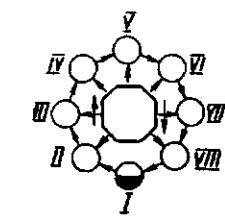


Рис. 118. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата для одноциклового обработки корпусной детали с применением телескопических суппортов

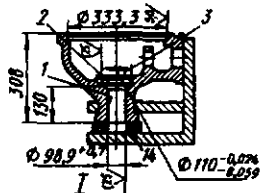
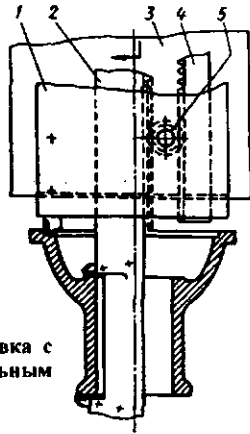
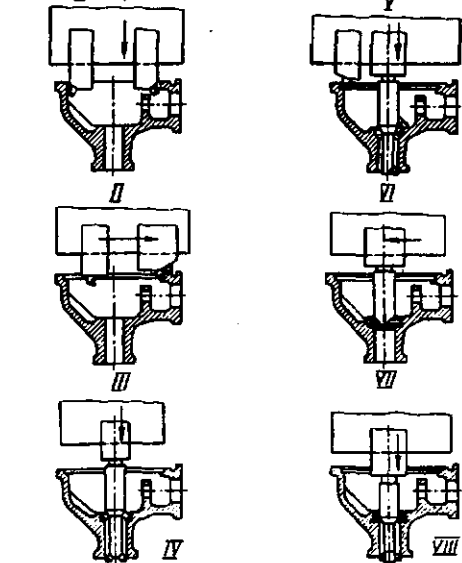


Рис. 119. Реечная державка с увеличенным вертикальным ходом



резцы вместе с рейкой перемещаются относительно державки, и их вертикальное перемещение равно удвоенному перемещению державки.

Наладка для двухциклового обработки картера промежуточной опоры представлена на рис. 120. Особенностью данной наладки является применение на позиции V специальной откидной борштанги конструкции ЗИЛ вместо жесткой скалки, что позволило сократить в 2,7 раза основное время токарной обработки корпусной детали.

На рис. 120 – 124 показаны наладки для обработки различных типовых деталей на вертикально-многошпиндельных полуавтоматах непрерывного действия.

Наладка шестишпиндельного полуавтомата непрерывного действия для трехциклового обработки заготовки ведущего цилиндрического колеса показана на рис. 122. Заготовку на этом станке обрабатывают последовательно на трех позициях: с позиции I переставляют на позицию II, с позиции II – на позицию III.

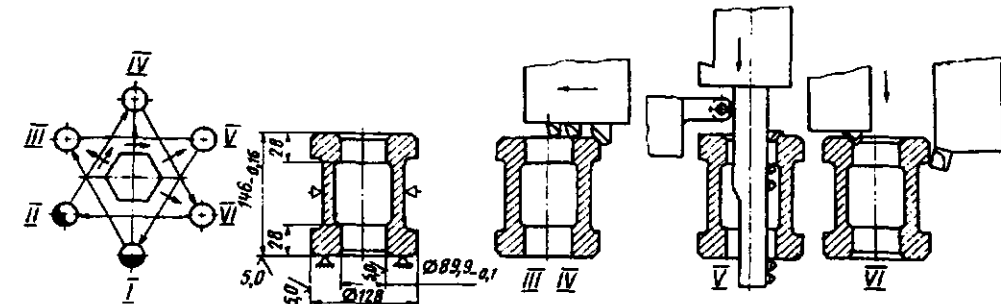


Рис. 120. Наладка шестишпиндельного полуавтомата для двухциклового обработки корпусной детали с применением откидной борштанги

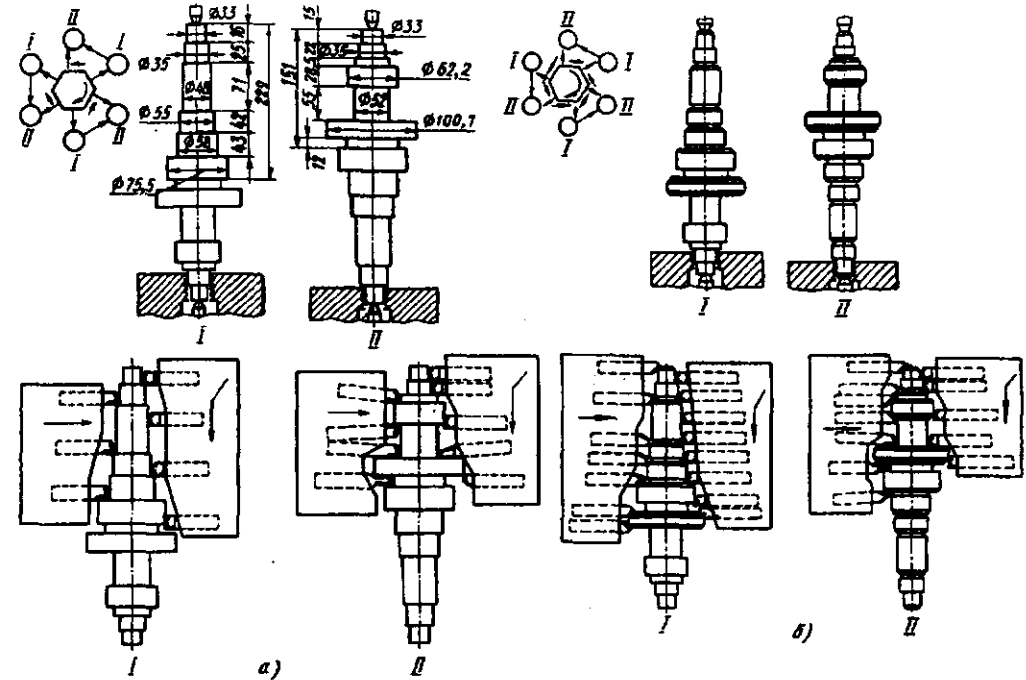


Рис. 121. Наладки шестишпиндельного полуавтомата непрерывного действия для двухциклового обработки ступенчатого вала: а – черновой; б – чистовой

В наладке шестишпиндельного полуавтомата непрерывного действия для двухциклового обработки поворотного кулака (рис. 123) использована копирная державка. Коническая поверхность 3 обрабатывается на позициях I.

На позициях II окончательно обрабатываются поверхности 1, 2, 4 и 5. Однако обработка таких кулаков на многолезковых копировальных полуавтоматах типа 1732, 1722 более производительна, так как полуавтомат оснащен меньшим числом резцов и требуется значительно меньшее время на наладку и под-

наладку. Кроме того, на полуавтомате можно применить значительно более высокие режимы резания.

На восьмишпиндельном полуавтомате непрерывного действия (рис. 124) для обработки внутренних поверхностей тормозных барабанов на позициях III и IV применяются сборные головки, в которых резцы устанавливаются и настраиваются на размер вне станка. Кроме того, на позициях VII и VIII производится выточка канавок большого диаметра, что ранее делалось на других операциях.

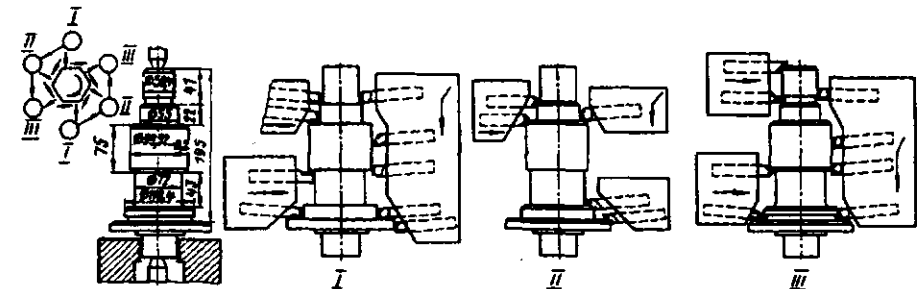


Рис. 122. Наладка шестишпиндельного полуавтомата непрерывного действия для трехциклового обработки заготовок шестерен

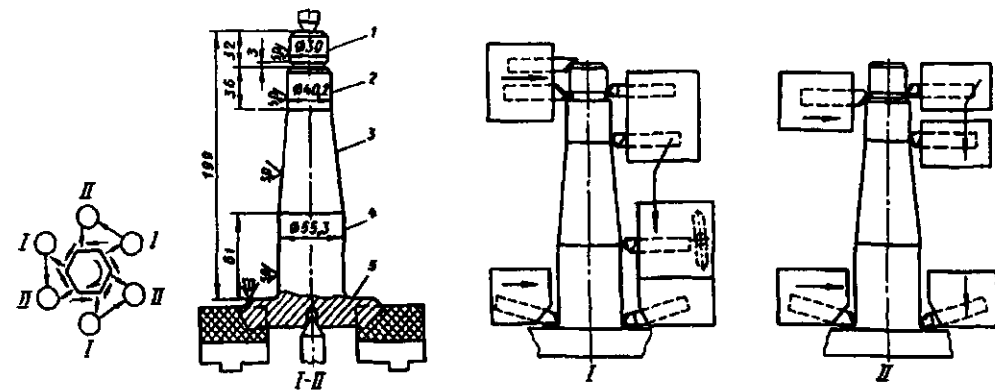


Рис. 123. Наладка шестишпиндельного полуавтомата непрерывного действия для двухциклового обработки поворотных кулаков с применением специальных копирных державок

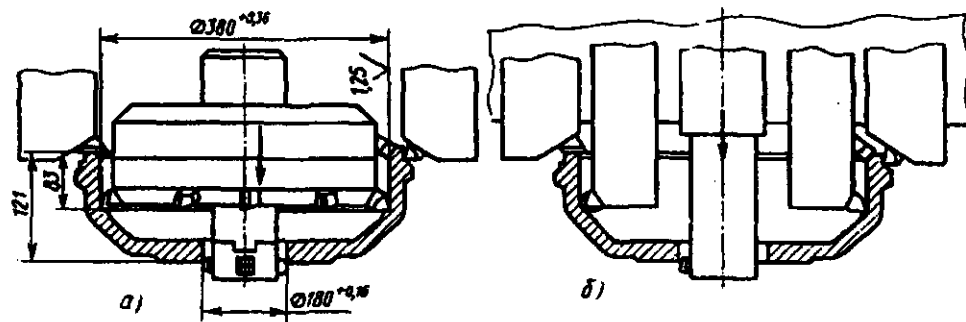


Рис. 124. Наладка восьмишпиндельного полуавтомата непрерывного действия для обработки тормозных барабанов: а и б – специальные сборные головки для обработки внутренней поверхности

ОБРАБОТКА НА ВЕРТИКАЛЬНО-И РАДИАЛЬНО-СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКАХ

На станках сверлильной группы кроме обычных операций обработки отверстий (сверления, зенкерования, снятия фасок и развертывания) подрезают торцы, растачивают отверстия и канавки, обтачивают наружные цилиндрические и конические поверхности, нарезают и накатывают резьбы, обкатывают и раскатывают поверхности. Выполнение нескольких переходов обработки за один рабочий ход комбинированным инструментом, а также быстрое закрепление инструмента сокращают машинное и вспомогательное время.

Выбор метода сверления зависит от диаметра отверстия, глубины сверления, точности отверстия и расположения его оси, обрабатываемого материала и других факторов (табл. 3).

Спиральные сверла (рис. 125, а) обеспечивают при обработке деталей в кондукторах точность расположения отверстий $\pm 0,15$ мм. Применение кондукторных втулок удлиняет сверла и снижает их стойкость. При достаточной жесткости шпинделей предпочтительно не пользоваться кондукторными втулками, обеспечив минимальный вылет сверл из патронов и регулирование длины инструмента после переточки. Биение режущих кромок, образование нароста, отклонения от соосности инструмента

3. Область применения сверл

Сверло	Диаметр сверла d , мм		Отверстие			СОЖ ^{*4}		Назначение
	Диапазон	Наиболее употребительный	Квалитет	Ra , мкм	Глубина сверления, мм	Давление ^{*5} , МПа	Подача, л/мин	
Спиральное (рис. 125, а)	0,15 – 80	1 – 20	12 – 13	6,3 – 15	$(5 \dots 10)d^{*3}$	–	–	Универсальное
	2 – 10	4 – 8	12 – 13	6,3 – 15	$20d$	–	–	Для смазочных каналов
	10 – 40 ^{*2}	16 – 30	12 – 13	6,3 – 15	$10d$	0,4 – 0,3	–	Для повышения производительности
Полукруглое (рис. 125, б)	0,08 – 25	0,15 – 12	10 – 11	0,63 – 0,25	$\frac{3d^{*4}}{10d}$	–	–	Для отверстий повышенной точности
Пластинчатое (рис. 125, в)	16 – 250	25 – 80	13 – 14	15 – 40	$\frac{10d^{*4}}{40d}$	0,4 – 0,3	–	Для грубых отверстий
С СМП ^{*1} (рис. 125, з)	16 – 75	25 – 60	13 – 14	15 – 40	$(2 \dots 3)d$	0,4 – 0,2	20 – 50	Для повышения производительности
Одностороннее (рис. 125, д)	2 – 50	4 – 20	8 – 10	1 – 2,5	$100d$	10 – 5	5 – 12	Для коротких и длинных отверстий, повышенной точностей
ВТА ^{*7} (рис. 125, е)	5 – 65	12 – 60	8 – 10	1 – 2,5	$100d$	3 – 1	120 – 900	диаметра и расположения геометрической оси
	65 – 300 ^{*6}	65 – 200 ^{*6}						
Эжекторное (рис. 125, ж)	18 – 65	20 – 60	10 – 12	1,25 – 3,2	$50d$	1,5 – 0,8	50 – 400	
Эжекторное с СМП ^{*1} (рис. 125, з)	65 – 500	80 – 200	10 – 12	1,25 – 3,2	$50d$	1 – 0,5	200 – 500	
Трепанирующее (рис. 125, и)	45 – 600	45 – 250	–	–	$100d$	2 – 0,3	300 – 600	Для кольцевого сверления

^{*1} Со сменными многогранными пластинами. ^{*2} С каналами для подвода СОЖ. ^{*3} Больше значение для малых диаметров. ^{*4} В числителе указана глубина сверления при вертикальном положении инструмента, в знаменателе – при горизонтальном. ^{*5} Порядок цифр соответствует возрастанию диаметра d . ^{*6} С СМП. ^{*7} Одностороннее резания с внутренним отводом СОЖ.

увеличивают диаметр отверстия сверх номинального диаметра d инструмента на величину $(0,05 + 0,12 d)$ мм, а истирание ленточек сверла, обратный конус при переточках и усадка материала детали уменьшают диаметр отверстия. Целесообразно назна-

чать отклонение диаметра отверстия после сверления с допуском \pm , например $18_{-0,07}^{+0,24}$, для чего номинальный диаметр сверла принимают $d + \Delta$ (табл. 4). На станках с ЧПУ и при повышенных требованиях к точности отверстий используют сверла точного исполнения с шлифованными канавками.

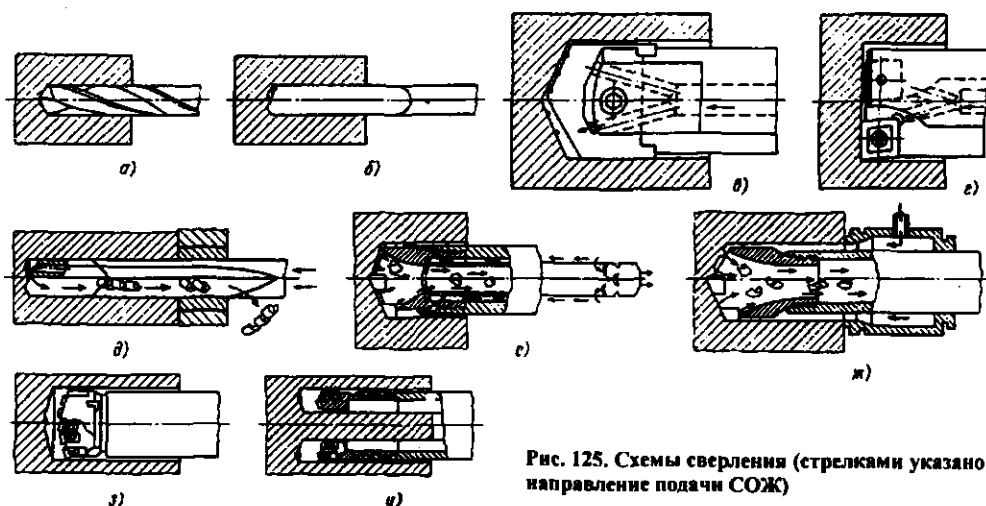


Рис. 125. Схемы сверления (стрелками указано направление подачи СОЖ)

4. Увеличение Δ номинальных диаметров осевых инструментов для обеспечения верхнего отклонения диаметра отверстия

Размеры, мм

Допуск на отверстие после сверления	Δ	Допуск на отверстие после зенкерования	Δ
0,12 – 0,28	0	0,20 – 0,34	0,05
0,28 – 0,52	0,1	0,34 – 0,52	0,10
0,52 – 0,72	0,2	0,52 – 0,72	0,15
0,09 – 0,20	0	0,72 – 1,00	0,20

Режимы резания для спиральных сверл приведены в табл. 5, 6. Глубокие отверстия в деталях из чугуна обрабатывают спиральными сверлами с плавным переходом между вершинной и цилиндрической частью. Дробления стружки при обработке деталей из вязкой стали достигают подточкой "порожка" на передней поверхности, применением сверл со специальной ступенчатой стружечной канавкой или путем прерывистой (ступенчатой) подачи.

Для тяжелых условий обработки, например сверления косых глубоких смазочных отверстий в колечных валах, применяют сверла с утолщенной перемычкой [$b \approx (0,3 \dots 0,4) d$], углом подъема винтовой линии $\omega \approx 36^\circ$, с подточкой перемычки и углом при вершине $2\varphi \approx 100^\circ$, а также "шнковые" спиральные

сверла повышенной жесткости [$\omega = 50^\circ \dots 65^\circ$; $b = (0,30 \dots 0,35) d$; $2\varphi = 120^\circ \dots 130^\circ$; профиль стружечных канавок – угловой].

Полукруглые сверла (рис. 125, б) – разновидность сверл одностороннего резания ("ружейных") пригодны для обработки деталей из материалов, дающих короткую хрупкую стружку (латунь, бронза, чугун). Полукруглое сверло представляет собой цилиндрический стержень из быстрорежущей стали или твердого сплава, на рабочей части которого передняя поверхность расположена выше центра на 0,03 – 0,08 мм параллельно оси. У заборной части главный угол в плане $\varphi = 30^\circ$ на длине 0,25d и вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 20^\circ$. Таким образом, главная режущая кромка как бы растачивает отверстие, а вспомогательная – обтачивает конус в центральной части. Для глухих отверстий используют сверла с $\varphi = 0^\circ$ на длине, переходящей за ось на 0,1 – 0,3 мм (торцовая заточка), и $\varphi_1 = 10 \dots 15^\circ$.

Полукруглые сверла отличает повышенная жесткость, простота изготовления (в том числе для обработки ступенчатых отверстий), обеспечение точного расположения оси отверстия, возможность работы без СОЖ. В начальный период сверления, пока цилиндрическая часть сверла не войдет в отверстие, оно слегка увеличивает диаметр отверстия. Этот недостаток устраняет направление сверла по кондукторной втулке или по предварительно засверленному отверстию на небольшую глубину.

5. Скорость резания для спиральных сверл из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	v, м/мин
Алюминевый сплав	60 – 90
Цинковый сплав (литые под давлением)	90 – 120
Магниевый сплав	75 – 120
Бронза, латунь	45 – 90
Чугун:	
серый:	
до 180 НВ	22 – 40
180 ... 280 НВ	15 – 30
св. 280 НВ	3 – 6
ковкий	24 – 27
Сталь:	
углеродистая, содержащая, %:	
0,2 – 0,3 С	24 – 30
0,4 – 0,5 С	21 – 24
инструментальная, содержащая 1,2 % С	15 – 18
Сталь:	
высокопрочная с HRC:	
35 – 40	9 – 12
40 – 45	7 – 10
45 – 50	4 – 7
50 – 55	2 – 4
жаропрочная	2 – 6
коррозионно-стойкая	
легкообрабатываемая	9 – 30
хромоникелевая	6 – 18
хромомартенситная	3 – 9
Титан	5 – 18

6. Подача для спиральных сверл из быстрорежущей стали

Диаметр сверла, мм	s_0 , мм/об
До 3	0,02 – 0,05
Св. 3 до 6	0,05 – 0,10
" 6 " 12	0,10 – 0,18
" 12 " 25	0,18 – 0,38
" 25	0,38 – 0,65

Полукруглые сверла из быстрорежущей стали или твердого сплава работают на тех же скоростях резания, что и спиральные сверла, но с уменьшенной вдвое подачей.

Пластинчатые сверла (рис. 125, в) – простые по конструкции инструменты для сверления в сплошном металле или рассверливания грубых отверстий. Сверла центрируют замковой частью и закрепляют винтом в оправке, через каналы в которой подают СОЖ в зону резания. Направление пластинчатого сверла по кондукторной втулке в начальный момент обработки повышает точность расположения оси отверстия. Втулку располагают на расстоянии не более 0,3d от торца детали. Длинные отверстия рекомендуется сверлить за два перехода без предварительной зацентровки: сперва с короткой жесткой оправкой на глубину (1,5 ... 2) d, а затем с длинной оправкой – на всю длину. Для сверления в сплошном металле необходима достаточная жесткость и мощность станка. Например, при сверлении отверстия $d = 100$ мм в деталях из мягкой стали $v = 18$ м/мин; $s_0 = 0,5$ мм/об; осевая сила $P \approx 36$ кН; $M_{кр} \approx 140$ Н·м; $N \approx 8$ кВт. Предварительное сверление отверстия диаметром (0,5 ... 0,7)d и последующее сверление отверстия диаметром d снижают силу резания и мощность. Скорость резания пластинчатых сверл из обычной быстрорежущей стали составляет 0,7 – 0,8 скорости резания спиральных сверл. Подача $s_0 = 0,4 \dots 1,25$ мм/об способствует дроблению стружки.

Сверла с СМП (рис. 125, г) применяют для сверления в сплошном металле или рассверливания неглубоких отверстий с высокой скоростью резания на станках, обладающих достаточной жесткостью и мощностью. Например, при сверлении отверстия $d = 50$ мм в деталях из легированной стали $v = 100$ м/мин; $s_0 = 0,25$ мм/об; осевая сила $P \approx 8$ кН; $N \approx 14$ кВт. Режимы резания приведены в табл. 7.

7. Режимы резания для сверл с СМП

Обрабатываемый материал	v , м/мин	s_0 , мм/об
Сталь:		
конструкционная	90 – 150	0,15 – 0,25
коррозионно-стойкая	45 – 90	0,11 – 0,20
Чугун	90 – 150	0,25 – 0,35
Алюминиевый сплав	150 – 300	0,15 – 0,30

Ружейные сверла – сверла одностороннего резания с внешним отводом СОЖ (рис. 125, д) используют для сверления в сплошном металле коротких или длинных отверстий при высоких требованиях к параметрам шероховатости поверхности, точности геометрических параметров и расположению оси. Предпочтительно вращение инструмента (быстрое) и детали (медленное) в противоположных направлениях. Сверло точно направляют по твердосплавной втулке, минимально удаленной от торца обрабатываемой детали. После фильтрации в СОЖ допускаются механические частицы размером 10 – 20 мкм.

Сверла ВТА (рис. 125, е) – одностороннего резания с внутренним отводом СОЖ.

Эжекторные сверла, предназначенные для высокопроизводительного сверления отверстий, состоят из неперетачиваемой коронки с припайными твердосплавными пластинами (рис. 125, ж) или с СМП (рис. 125, з) и двух трубок. СОЖ, поступая в пространство между стенками трубок, частично проходит сквозь отверстия в резьбовом хвостовике, охлаждает режущие кромки и направляющие планки, а затем вместе со стружкой устремляется через сопло в центральную полость внутренней трубки и далее – в приемный бак. Другая часть СОЖ проникает в центральную полость через щели во внутренней трубке и создает разрежение, отсасывающее стружку. Режимы резания для сверл ВТА и эжекторных приведены в табл. 8.

Трепанирующие сверла (рис. 125, и) служат для сверления в сплошном материале кольцевой канавки и потому оставляют в качестве отходов стержень и сравнительно небольшое количество стружки. СОЖ подается через инструмент, а стружка выходит наружу или

внутрь. Трепанирующие сверла выполняют из быстрорежущей стали, с припайными твердосплавными пластинами или с СМП. При кольцевом сверлении сверлом с СМП отверстия $d = 300$ мм в детали из легированной стали с $200 - 275$ НВ, $v = 10$ м/мин; $s_0 = 0,25$ мм/об; осевая сила $P \approx 23$ кН; мощность $N \approx 55$ кВт.

Зенкерование – предварительная обработка литых, штампованных или просверленных отверстий под последующее развертывание, растачивание или протягивание. При точности отверстий 11 – 13-го качества и шероховатости поверхности $Ra = 10 \dots 5$ мкм зенкерование может быть окончательной операцией. Диаметры отверстий после зенкерования предпочтительно назначать с отклонением \pm , например $18^{+0,240}_{-0,035}$, и увеличивать номинальный диаметр зенкера на величину Δ (см. табл. 4).

Зенкеры направляют по кондукторным втулкам. Торцовое затачивание $2\varphi = 180^\circ$ уменьшает увод инструмента.

Развертывание – чистовая обработка отверстий с точностью 7 – 11-го качества, неизменяющая положения их осей. Для отверстий, пересеченных пазами, а также для устранения огранки применяют развертки с левым направлением винтовых канавок, нечетным числом зубьев и с неравномерным угловым шагом. Отверстия с шероховатостью поверхности $Ra 5$ развертывают после сверления с припуском по диаметру 0,3 – 0,5 мм; с $Ra 2,5$ – после зенкерования с припуском 0,25 – 0,4 мм; с $Ra 1,25$ – после черного развертывания с припуском 0,15 – 0,25 мм (меньшее значение для $d \leq 10$ мм, большее для $d > 30$ мм). Допуск соосности двух или нескольких отверстий обеспечивают обработкой "в линию".

Предварительно отверстие сверлят напроход или с двух сторон с поворотом кондуктора, а зенкуют и развертывают "в линию" – за один рабочий ход. Длину верхней и нижней направляющих частей зенкера выбирают такой, чтобы в начале зенкерования они находились в верхней и нижней кондукторных втулках. Зенкеры закрепляют в плавающих или быстросменных патронах. Развертывание выполняют аналогично зенкеранию; допускается развертывание без нижнего направления. При большом расстоянии между отверстиями или при пониженных требованиях к допуску соосности

8. Режимы резания для сверл ВТА и эжекторных

Обрабатываемый материал	v , м/мин	Подача (мм/об) при диаметре сверла, мм				
		12	25	50	100	200
Алюминиевый сплав	70 – 200	0,10	0,30	0,38	0,48	0,55
Чугун:						
серый	60 – 100	0,10	0,25	0,38	0,45	0,55
ковкий	70 – 120	0,05	0,12	0,25	0,28	0,35
Сталь:						
коррозионно-стойкая	30 – 75	0,03	0,10	0,12	0,18	0,22
конструкционная	60 – 100	0,05	0,12	0,15	0,18	0,22
175 – 225 НВ	70 – 120	0,05	0,12	0,15	0,18	0,22
250 – 300 НВ	60 – 80	0,05	0,10	0,13	0,18	0,22
быстрорежущая	40 – 60	0,05	0,10	0,13	0,18	0,22

($H7/d9$, $H9/d10$, $H11/d11$) для сокращения длины инструмента применяют зенкеры и развертки с укороченными нижними направляющими, входящими в нижние кондукторные втулки, только при обработке последнего отверстия в заготовке. Если нижнее отверстие глухое, инструмент направляют по втулке, вмонтированной в промежуток между ступенями. Зенкерование и развертывание "в линию" отверстий разного диаметра выполняют ступенчатым инструментом.

При высоких требованиях к шероховатости поверхности ($Ra = 1 \dots 0,1$ мкм) и точности 6 – 7-го качества применяют однолезвийные выравнивающие развертки типа Малап (ФРГ) с СМП и направляющими твердосплавными планками (рис. 126) диаметром 8 – 80 мм с подачей СОЖ под давлением 0,4 – 0,6 МПа по внутренним каналам в инструменте. При обработке заготовок из металлов, дающих сливную стружку, припуск на развертывание составляет в среднем 0,3 мм на диаметр, хрупких – 0,4 мм. Режущая твердосплавная пластина – двусторонняя с передним углом $\gamma = 0^\circ$ для хрупких металлов и $\gamma = 12^\circ$ для металлов, дающих сливную стружку. Заборная часть приведена в табл. 9.

В радиальном направлении пластину регулируют двумя винтами и устанавливают с возвышением над направляющими планками на 0,01 – 0,04 мм (в среднем 0,02 мм) с обратным конусом по длине пластины 0,01 – 0,02 мм. Например, для получения отверстия диаметром

$20^{+0,021}_{-0,005}$ мм диаметр направляющих планок 19,99 $_{-0,005}$ мм, а нож устанавливают с превышением над планками на 0,02 мм, т.е. на размер 20,01 $_{-0,005}$ мм. Пластины регулируют в центрах специального контрольного приспособления по индикаторам с ценой делений 1 мкм. Жестким микрометром пользоваться нельзя. В осевом направлении пластина не регулируется и выступает за торец направляющих планок на 0,2 – 0,4 мм, т.е. несколько больше подачи на оборот.

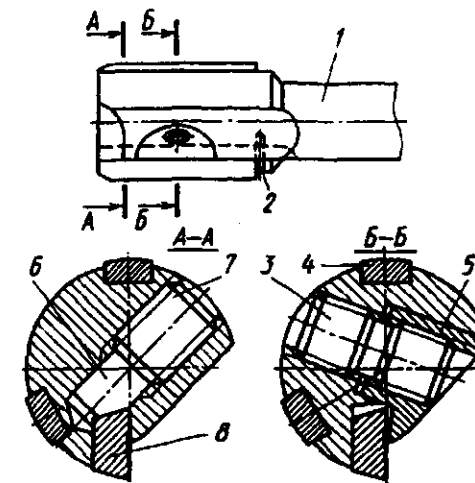
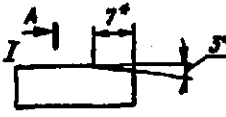
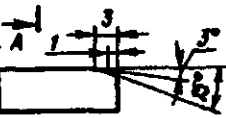
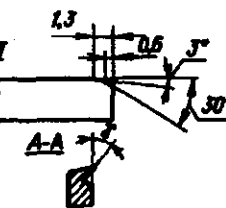


Рис. 126. Однолезвийная развертка типа Малап: 1 – корпус; 2 – упорный штифт; 3 – крепежный винт; 4 – твердосплавная планка; 5 – пружина; 6 – сухарь; 7 – регулировочный винт; 8 – твердосплавная режущая пластина

9. Заборная часть разверток Мапал

Заборная часть	Максимальная глубина резания, мм	Параметр шероховатости поверхности Ra , мкм	Обработка заготовок
	0,25	0,12 – 0,4	Из чугуна и стали с $Ra \leq 0,25$. При обработке деталей из чугуна $v \leq 20$ м/мин, из стали $v \leq 15$ м/мин
	0,25	0,12 – 0,5	Из всех материалов при v меньшей, чем v для заборной части III
	0,25	0,25 – 0,8	Из всех материалов с максимальным значением v

* При $\gamma = 12$ угол подточки передней поверхности $\lambda = 6^\circ$ (левый скос на длине 7 мм),

Пластины закрепляют прижимной планкой с винтом с правой и левой резьбой. Шероховатость поверхности направляющих планок, припаянных к корпусу, $Ra = 0,25 \dots 0,1$ мкм. При длине заборной части 7 мм $v = 4 \dots 10$ м/мин; $s_0 = 0,2 \dots 0,5$ мм/об; при длине 1,3 – 3 мм $v = 20 \dots 100$ м/мин; $s_0 = 0,1 \dots 0,3$ мм/об. Развертку закрепляют в плавающем патроне, не направляя по кондукторной втулке. Режимы резания однолезвийными развертками Мапал приведены в табл. 10.

В отличие от разверток Мапал твердосплавные пушечные развертки монолитные. Их чередующиеся режущие и направляющие зубья (ленточки) шлифуют до одинакового диаметра. Заборная фаска режущих зубьев опережает фаску направляющих на величину, немного превышающую подачу на оборот. При $d = 10$ мм число

чередующихся режущих и направляющих зубьев $z = 4$; при $d = 15$, $z = 6$. Тщательно очищенную СОЖ подают в зону резания через каналы в инструменте под давлением 0,4 – 0,6 МПа. Необходимые точность отверстия и расположение его оси обеспечивают направлением инструмента по твердосплавной втулке, максимально приближенной к торцу детали с зазором по диаметру 2 – 3 мкм. При обработке деталей из чугуна $v = 90 \dots 110$ м/мин; $s_0 = 0,1 \dots 0,15$ мм/об.

Развертки из сверхтвердых материалов (СТМ) применяют для обработки неполных или пересеченных поперечными каналами точных отверстий в деталях гидроагрегатов и других изделиях с отклонением диаметра до 5 мкм и шероховатостью поверхности $Ra = 0,5 \dots 0,3$ мкм. Развертка представляет собой

10. Условия работы однолезвийных разверток Мапал (I – III см. табл. 9)

Обрабатываемый материал	γ°		v^1 , м/мин		s_0^2 , мм/об		Припуск ³ на диаметр, мм	Охлаждение ⁴
	0	12	I	II, III	I	II, III		
Сталь с σ_s , МПа:								
<400		+	4 – 10	$\frac{8-20}{20-90}$	0,2 – 0,5	0,1 – 0,3	0,1 – 0,5	Эмульсией "Укринол-1", сульфидфрезолом
<750		+	4 – 10	$\frac{8-20}{20-70}$	0,2 – 0,5	0,1 – 0,3	0,1 – 0,5	
<900		+	6 – 12	$\frac{8-20}{15-50}$	0,2 – 0,5	0,1 – 0,3	0,1 – 0,5	
>900	+		6 – 12	$\frac{8-20}{15-30}$	0,2 – 0,5	0,1 – 0,3	0,1 – 0,5	
Сталь:								
хромоникелевая		+	4 – 7	$\frac{7-20}{8-50}$	0,2 – 0,5	0,1 – 0,5	0,2 – 0,5	
коррозионно-стойкая		+	2 – 8	$\frac{5-12}{10-50}$	0,1 – 0,3	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	
Чугун:								
СЧ 18	+		6 – 15	$\frac{6-20}{10-40}$	0,3 – 0,5	0,2 – 0,4	0,3 – 0,5	Полусинтетической эмульсией Аквол-10М, 90 % керосина и 10 % масла И-20А
СЧ 25	+		6 – 15	$\frac{6-20}{10-40}$	0,3 – 0,5	0,2 – 0,4	0,3 – 0,5	
СЧ 40	+		6 – 15	$\frac{6-20}{10-30}$	0,3 – 0,5	0,2 – 0,4	0,3 – 0,5	
Чугун ковкий	+	+	5 – 10	$\frac{6-15}{15-50}$	0,2 – 0,4	0,1 – 0,3	0,2 – 0,4	Эмульсией "Укринол-1", сульфидфрезолом
Алюминиевый сплав с содержанием кремния, %:								
<5		+	–	$\frac{8-20}{10-20}$	–	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	Эмульсией "Укринол-1", сульфидфрезолом, 90 % керосина и 10 % масла И-20А
<5	+	+	3 – 8	$\frac{8-20}{30-80}$	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	
Цинковый сплав		+	7 – 15	$\frac{6-20}{20-100}$	0,1 – 0,5	0,1 – 0,3	0,1 – 0,5	Эмульсией "Укринол-1", 90 % керосина и 10 % масла И-20А

Продолжение табл. 10

Обрабатываемый материал	γ°		v^1 , м/мин		s_0^2 , мм/об		Припуск ³ на диаметр, мм	Охлаждение ⁴
	0	12	I	II, III	I	II, III		
Дюралюминий	+	+	4-9	$\frac{9-20}{30-150}$	0,2-0,5	0,1-0,3	0,1-0,4	Эмульсией "Укринол-1", сульфифрезолом
Медь:								
	мягкая	+	4-6	$\frac{6-20}{15-50}$	0,1-0,3	0,1-0,3	0,2-0,3	Эмульсией "Укринол-1", сульфифрезолом
твердая	+		5-10	$\frac{5-20}{15-60}$	0,2-0,5	0,1-0,3	0,3-0,4	
Латунь, имеющая стружку:								
	сыпучую	+	6-12	$\frac{10-20}{20-80}$	0,2-0,5	0,1-0,3	0,1-0,5	Эмульсией "Укринол-1"
сливную		+	3-7	$\frac{7-15}{10-40}$	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,2	
Бронза фосфорная	+		5-10	$\frac{6-20}{30-80}$	0,2-0,4	0,1-0,3	0,2-0,5	Сжатым воздухом
Пластмасса твердая	+		6-20	$\frac{6-20}{30-150}$	0,1-0,4	0,3-0,5	0,3-0,5	Сжатым воздухом. Водой

¹ При большой скорости резания v применять меньшие подачи s_0 ; для разверток с заборной частью l скорость резания v и подача s_0 не зависят от способа подачи СОЖ; при заборных частях II и III разверток скорости резания в числителе – без внутреннего подвода СОЖ, в знаменателе – с внутренним подводом СОЖ.

² Для разверток диаметром 20 мм подача СОЖ под давлением 0,4 – 0,6 МПа; с уменьшением диаметра – давление повышать.

³ При обработке металлов, дающих сливную стружку, припуск в среднем 0,3 мм, сыпучую – 0,4 мм на диаметр.

⁴ Внутренняя подача 10 – 16 %-ной эмульсии в зону резания особенно предпочтительна для глубоких отверстий и при плохом доступе к ним.

Обеднение эмульсии ухудшает качество поверхности и создает опасность образования нароста на режущей пластине и направляющих планках.

Примечание. Знаком "+" обозначен рекомендуемый угол γ разверток деталей в зависимости от материала.

закаленную стальную оправку, на конус которой, заканчивающийся резьбой и гайкой, насажена чугунная втулка со спиральным разрезом и продольными канавками. На поверхность втулки наносят мелкозернистые поликристаллические синтетические алмазы или кубический нитрид бора. При $d \geq 20$ мм используют тонкостенную стальную разрезанную вдоль втулку, на поверхность которой припаивают четыре бруска из СТМ, применяемых при хонинговании (рис. 127). Отверстие во втулке имеет одинаковый с оправкой тщательно притертый конус, что позволяет регулировать гайкой диаметр брусков путем продольного перемещения втулки на оправке. Развертку закрепляют в плавающем патроне.

При развертывании отверстия в детали гидроагрегата из серого чугуна СЧ 20, высотой 105 мм, диаметром $25^{+0,08}$ мм (с делением поля допуска на 20 групп) алмазной разверткой, последнюю налаживают в интервале диаметров одной из групп с отклонением 4 мкм. Предварительно отверстие развертывают двухступенчатой твердосплавной разверткой с припуском 0,03 мм на диаметр под полуцистовую развертку с алмазными брусками АСМ60/40. Алмазная развертка с брусками АСМ28/20 снимает припуск 0,010 – 0,012 мм на диаметр. Развертывание проводят за 1 – 3 дв. хода с подачей СОЖ (70 – 90 % керосина и 10 – 30 % масла И-20А) поливом или через инструмент; $v = 20$ м/мин; $s_0 = 1 \dots 4,5$ мм/об. Стойкость развертки – приблизительно 400 отверстий до регулирования; суммарная наработка – приблизительно 70 тыс. отверстий.

Конические отверстия обрабатывают в несколько переходов в зависимости от конусности (рис. 128). Отверстия с конусностью K от 1 : 50 до 1 : 30 после сверления до диаметра $d_c = d_k - (0,2 \dots 0,3)$ развертывают конической разверткой до диаметра d_k . Отверстия с конусностью $K = 1 : 20$ сверлят до диаметра $d_c = d_k - (0,3 \dots 0,5)$, затем развертывают последовательно двумя коническими развертками до диаметра d_k . Отверстия с конусностью K от 1 : 16 до 1 : 8 сверлят до диаметра $d_c = d_k - (1 \dots 1,2)$, зенкеруют коническим зенкером до диаметра $d_1 = d_k - (0,3 \dots 0,5)$ и развертывают конической разверткой до диаметра d_k . У заготовок с отверстием диаметром $d_c = d_k - (3 \dots 5)$ зенкеруют цилиндрическое отверстие диаметром $d'_c = d_k - (1 \dots 1,2)$, затем зенкеруют коническое отверстие диаметром

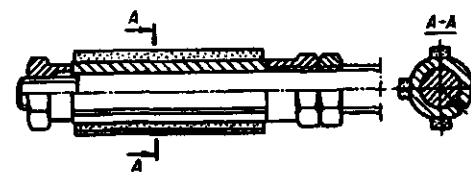


Рис. 127. Развертка с брусками из СТМ

$d_1 = d_k - (0,3 \dots 0,5)$ и развертывают коническое отверстие до диаметра d_k . Под конический зенкер целесообразно сверлить (зенкеровать) ступенчатое отверстие с диаметром второй ступени $d'_c = d_k + 0,5lK - (1 \dots 1,2)$.

Для праворежущих конических инструментов рекомендуется левый наклон винтовых зубьев под углом 30 – 45°. При $\delta/K \geq 0,8$ используют станочный упор, ограничивающий осевое перемещение инструмента; при $\delta/K < 0,8$ (ручная подача) применяют упорные оправки, ограничивающие осевое перемещение инструмента при упоре в торец детали или в кондукторную втулку (δ – допуск на диаметр отверстия, мм). При высоких требованиях к точности конического отверстия (прилегание калибра-пробки по краске на поверхности не менее 75 %) применяют конические однолезвийные выглаживающие развертки типа Мапал. Припуск после предварительного развертывания обыкновенной конической разверткой 0,4 – 0,6 мм на диаметр; $v = 6 - 8$ м/мин; $s_0 = 0,4 \dots 0,6$ мм/об. Цилиндрические и конические отверстия с $Ra = 0,5 \dots 0,15$ мкм после развертывания обрабатывают роликовыми раскатками.

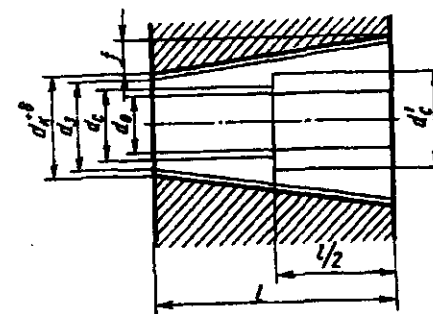


Рис. 128. Схема обработки конических отверстий; диаметры: d_0 – литого (штампованного) отверстия; d_c и d'_c – после сверления; d_1 – после конического зенкера; d_k – после конической развертки; l – длина отверстия; $K = \frac{2f}{l}$ – конусность отверстия

Снятие фасок в отверстиях не представляет технологических затруднений, если должна быть обеспечена шероховатость поверхности $Ra \geq 10$ мкм и не оговаривается строгое расположение оси. При диаметре отверстия до 10 мм фаски снимают сверлом с соответствующим углом при вершине; при диаметре отверстия 10 – 40 мм – зенковкой; при диаметре отверстия св. 40 мм – пластинчатой зенковкой (рис. 129). Снятие фасок часто вызывает вибрацию и образование рифленой поверхности. Направление инструмента по кондукторной втулке или штифтом в отверстии, нечетный и неравномерный шаг зубьев зенковки с ленточками на задней поверхности шириной 0,1 – 0,2 мм без заднего угла, снижение подачи и "выхаживание" улучшают качество поверхности. В деталях из металлов, дающих сливную стружку (алюминий, латунь и т.п.), фаски снимают трехзубыми затылованными зенковками (рис. 130) с передним углом $\gamma = 15^\circ$ и стружечными канавками, образованными конической поверхностью. Благодаря

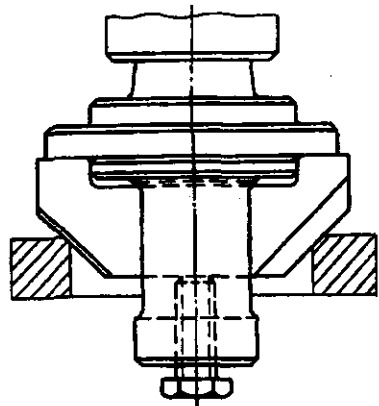


Рис. 129. Пластинчатая зенковка для снятия фаски в отверстия большого диаметра

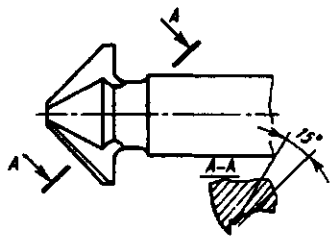


Рис. 130. Зенковка с конической поверхностью стружечных канавок

радиусной канавке переменного профиля и указанным геометрическим параметрам достигаются шероховатость поверхности фасок $Ra 1,25$ и хорошее отделение стружки в виде коротких завитков без забивания канавки. При шероховатости поверхности фасок $Ra < 1,25$ применяют конические раскатки. Снятие фасок часто совмещают со сверлением отверстия (ступенчатыми сверлами) или цекованием торца (комбинированными цековками), а также с центрованием под последующее сверление отверстия. Диаметр $d_3 = d + 2C$ (рис. 131), где d – диаметр отверстия; C – размер фаски.

Снятие фасок (притупление острых кромок) на торцах и в проушинах вилок за одну операцию при диаметрах отверстий 5 – 30 мм проводят пружинными зенковками при прямом и обратном ходе инструмента (рис. 132). С внутренней стороны каналов, выходящих в центральное отверстие, фаски снимают шароили веретенообразными бор-фрезами при установке обрабатываемой детали под соответствующим углом (рис. 133).

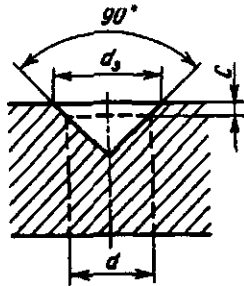


Рис. 131. Схема центрования с сохранением фаски после сверления

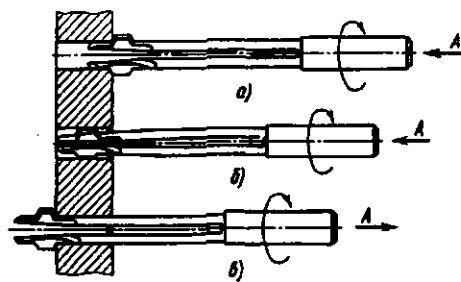


Рис. 132. Схемы работы пружинной зенковки: а – снятие фаски с наружного торца детали; б – промежуточное положение зенковки; в – снятие фаски с внутреннего торца; А – направление подачи

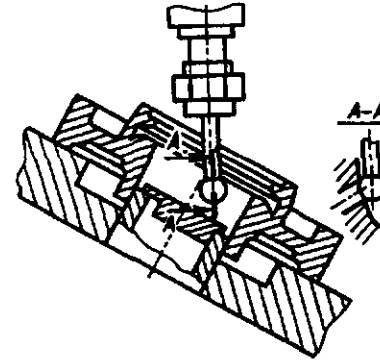


Рис. 133. Схема снятия фаски в косом канале

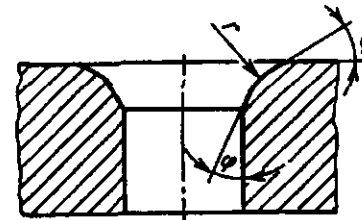


Рис. 134. Схема скругления кромки отверстия

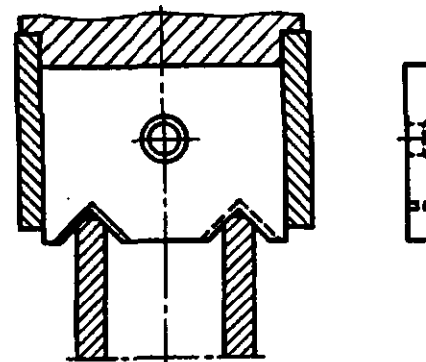


Рис. 135. Схема снятия фасок в трубках пластинчатой зенковкой

Для скругления кромки отверстия (рис. 134) при условии ограничения радиуса r касательными под углом $\varphi \geq 10^\circ$ применяют профильные затылованные инструменты. Снятие фасок в отверстиях трубок небольшого диаметра объединяют со снятием наружных фасок пластинчатой зенковкой, укрепленной в корпусе оправки (рис. 135).

Бобышки или углубления цекуют при наличии центрального отверстия цековками, подрезными пластинами или зенкерами с торцевой заточкой. Инструмент рекомендуется направлять по отверстию в детали или по кондуктор-

ной втулке. Для устранения вибрации и лучшего отвода стружки торцевые зубцы смещают относительно оси в сторону вращения на величину $H \approx 0,1D$, где D – диаметр цековки. В конце рабочего хода необходимо "выхаживание" на нескольких оборотах без подачи.

Торцевые поверхности, не имеющие отверстия, подрезают периферией цековки (рис. 136, а), цековкой с центрованием (рис. 136, б) или цековкой с отверстием d_0 , смещенным относительно оси вращения на величину $E = d_0/2 + (0,3 \dots 0,5)$ (рис. 136, в). Цекование обеспечивает биение обрабатываемой поверхности до 0,1 мм на радиусе 100 мм и $Ra 2,5$. Торцевые поверхности с $Ra 2,5$ после цекования выглаживают роликовой раскаткой.

Комбинированные инструменты позволяют выполнить несколько переходов обработки за один рабочий ход. Применение комбинированных инструментов может быть обусловлено специальными техническими требованиями. Например, ступенчатый зенкер применяют для обработки "в линию" двух отверстий различных диаметров, сверло-цековку – для обеспечения перпендикулярности торца и отверстия.

Не следует применять комбинированные инструменты с чрезмерно большим числом ступеней (более пяти) и такие сочетания инструментов, при которых неизбежно неравномерное изнашивание из-за различия в подачах на зуб и скоростях резания (например, развертку-цековку).

Для комплексной обработки отверстий, торцов и фасок применяют многоленточные комбинированные инструменты с чередующимися зубьями, сверла при отношении $D/d \leq 2$ (рис. 137) и цековки (рис. 138). Отверстие диаметром D , пересекающее другое, смещенное и расположенное перпендикулярно отверстию

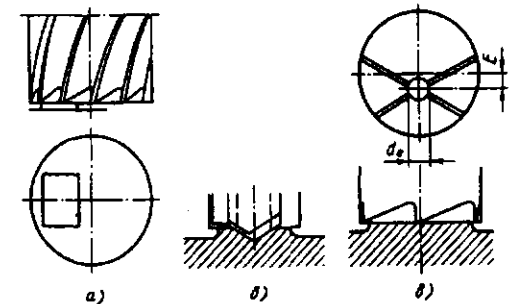


Рис. 136. Схемы цекования: а – бобышки (платика) периферией цековки; б – торца с одновременным центрованием; в – бобышки цековкой с эксцентрическим отверстием

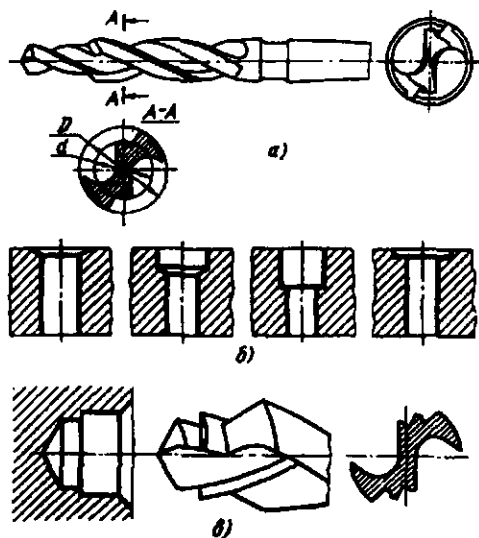


Рис. 137. Схемы обработки отверстий комбинированными сверлами: а – четырехленточное сверло; б – примеры обработки четырехленточными сверлами; в – обработка отверстия шестиленточным сверлом

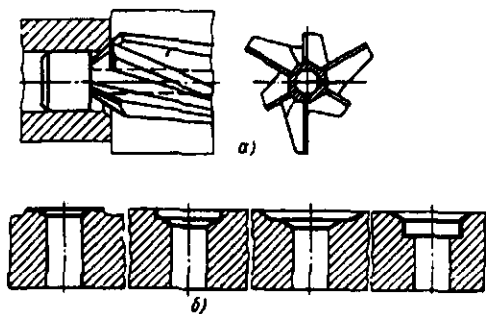


Рис. 138. Схемы подрезания торцов и снятия фасок: а – цековка-зенковка; б – внутренних фасок; в – наружных фасок

диаметром d , сверлят комбинированным ступенчатым сверлом (рис. 139), чтобы избежать отжимов и выкрашивания режущих кромок при вступлении их в зону "пустоты". Нижняя ступень сверла диаметром $D_1 = 2[l - (d/2 + \Delta)]$, где $\Delta = 1 \dots 3$ мм, находясь в сплошном сечении заготовки, выполняет функцию направляющей части, препятствуя смещению инструмента.

Дальнейшую обработку отверстия диаметром D_1 , если к нему предъявляют повышенные требования по точности, расположению и шероховатости поверхности, проводят однолезвийными, пушечными или алмазными развертками.

Фасонные отверстия обрабатывают (центрируют, закругляют острые кромки, рас-сверливают, снимают фаски и подрезают торцы) комбинированными затыланными или острозаточенными инструментами (рис. 140).

Для многопереходной обработки отверстия – рассверливания под резьбу, снятия фаски и подрезания торца в отлитых под давлением алюминиевых деталях служит комбинированный инструмент (рис. 141), армированный твердым сплавом. Изготовление и переточку такого инструмента осуществляют алмазным кругом на профишлифовальном станке. При скорости резания $v = 100 \dots 110$ м/мин, подаче $s_0 = 0,05 \dots 0,8$ мм/об стойкость инструмента – 5 тыс. отверстий.

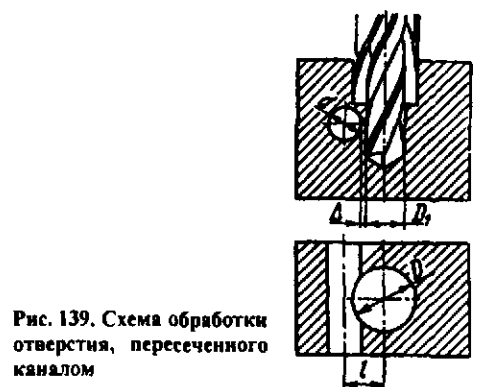


Рис. 139. Схема обработки отверстия, пересеченного каналом



Рис. 140. Схемы многопереходной обработки отверстий затыланным комбинированным инструментом

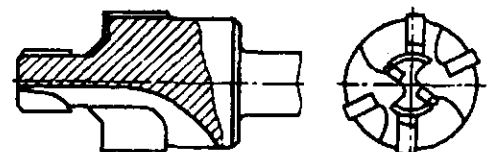


Рис. 141. Комбинированный твердосплавный зенкер

Канавки в отверстиях растачивают с помощью специальных патронов, преобразующих ручную осевую подачу шпинделя в радиальную подачу резца (рис. 142). Обработка предусматривает направление патрона по кондукторной втулке. В ползуне 2 с косыми пазами под вилку оправки 3 винтами 10 и сухарями 11 закрепляют хвостовой канавочный резец. В буртике резца заподлицо с передней поверхностью шлифована угловая канавка, фиксирующая положение режущей кромки относительно центра отверстия с помощью штифта 9, запрессованного в ползун. Паз в корпусе 8 под ползун закрыт крышкой 1, прикрепленной винтами 13. Крутящий момент передает сегментная шпонка 12. Под воздействием пружины 5 винт 4 удерживает корпус в исходном положении и резец находится на минимальном расстоянии от центра патрона. Опуская шпиндель станка, патрон вводят в направляющую втулку до упора в торец гайки 6 с шайбой 7. Продолжая осевую подачу, продвигают вперед оправку 3 с косорасположенной вилкой, которая, взаимодействуя с пазом ползуна 2, перемещает его вместе с резцом в радиальном направлении. Обратным движением шпинделя резец смещают к центру и выводят из детали.

Наружные поверхности (выступы, шейки, хвостовики, стержни под нарезание или накатывание резьбы) обтачивают монолитными или сборными головками с резцами (гребенками) из быстрорежущей стали и армированными твердым сплавом. Обтачивание без направления инструмента по кондукторной втулке обеспечивает точность 11 – 12-го качества, а с направлением инструмента – 8 – 9-го качества и при условии тщательной заточки. Шероховатость поверхности $Ra \geq 2,5$. Для обтачивания используют резбонарезные головки с гладкими дисковыми гребенками и углом в плане $\varphi = 30 \dots 45^\circ$ (рис. 143). Раскрытие головки в конце рабочего хода исключает образование канавок на обработанной поверхности при обратном ходе.

В головку может быть встроен резец или зенковка для снятия наружной или внутренней фаски. Обтачивание коротких цилиндрических или конических поверхностей, например под резьбу, выполняют комбинированными гребенками (рис. 144) с одновременным снятием фаски.

Резьбы с полем допуска $6h/6H - 7h/6H$ и с шагом $P \leq 2,5$ мм нарезают и накатывают за один ход на заготовках с заплечиком при наличии сбega и недореза достаточной длины (рис. 145): $f \geq 2P$; $C \geq 1,5$ мм – для резбона-

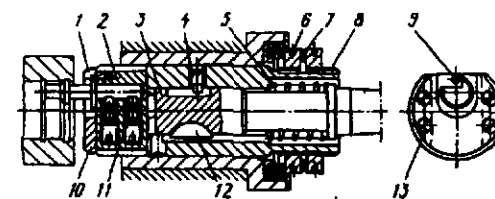


Рис. 142. Типовая конструкция патрона, преобразующего осевую подачу шпинделя в поперечное перемещение резца

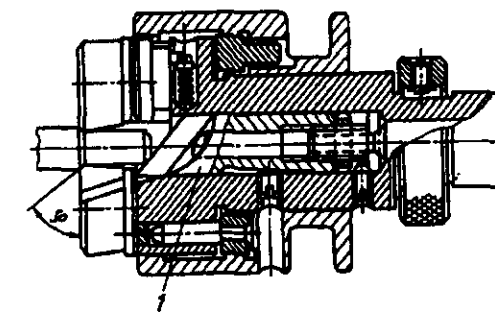


Рис. 143. Обточная головка: 1 – фасочный резец

Рис. 144. Комбинированная гребенка к головке

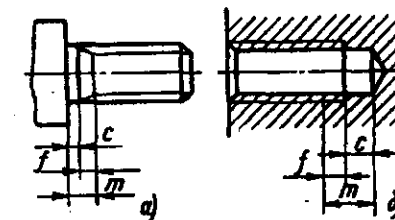
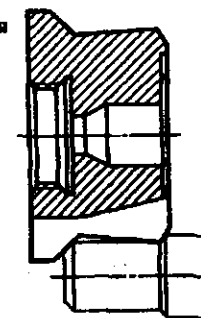


Рис. 145. Сбег и недорез резьбы: а – наружной; б – внутренней; m – недорез резьбы; f – сбег резьбы; c – гарантированный зазор ($m = f + c$)

резной головки; $f \geq 1,5P$; $C \geq P$ – для резьбонакатной головки; $f \geq 3P$; $C \geq 2P$ – для метчика в глухом отверстии.

Выточки и проточки обязательны только для сборки резьбовой пары в упор. Фаски под наружную и внутреннюю резьбу снимают под общим углом 90° (в гайках – под углом 120°). При накатывании резьбы на стержнях должна быть обеспечена фаска с общим углом $30 - 60^\circ$ (меньший угол – для твердых металлов). Нарезание и накатывание резьбы на сверлильных станках выполняют с ручной подачей самозатягиванием плавающего инструмента при жестком закреплении заготовки или при жестко закрепленном инструменте и свободном перемещении заготовки.

Внутреннюю резьбу нарезают машинными (закрепленными или падающими) гаечными метчиками (табл. 11) и гайконарезными головками. При работе машинными метчиками вместо реверсирующих патронов применяют электропереключатели, приводимые в действие от станочного упора и автоматически реверсирующие вращение шпинделя. Падающие и гаечные метчики, а также гайконарезные головки не требуют реверсирования, что сокращает машинное время.

Рекомендуется сверлить отверстие и нарезать резьбу за один установ заготовки, применяя кондуктор с откидной крышкой. В пластичных металлах (цинково-алюминиевых сплавах, мягкой стали и т.п.) внутреннюю резьбу с полем допуска $4H - 6H$ накатывают бесстружечными метчиками, что повышает

производительность, сокращает поломки и повышает стойкость инструмента. Наружную резьбу предпочтительно нарезать не круглыми плашками, а головками (рис. 146) или накатными роликами, не требующими реверсирования. Резьбу, пересеченную шпоночным пазом, нарезают головкой с числом гребенок $z > 4$; после нарезания резьбы на сплошной заготовке фрезеруют паз и зачищают заусенцы.

Многопереходную обработку деталей на сверлильных станках выполняют простыми или комбинированными быстросменными инструментами за несколько рабочих ходов. Глубину отверстий или высоту ступеней при ручной подаче и точности линейных размеров до $0,2$ мм обеспечивают вращающимися ограничительными упорами на инструменте или приспособлении.

Один из переходов обработки может фиксироваться станочным упором, выключающим автоматическую подачу. В этом случае необходимо рассчитать длину инструментов так, чтобы упор вступал в работу только при выполнении данного перехода. При автоматической подаче на всех переходах обработки применяют регулируемые сменные втулки, уравнивающие вылет шпинделя станка, что позволяет использовать для выключения подачи станочный упор (рис. 147). Инструмент настраивают по длине вне станка так, чтобы в конце рабочего хода упор выключал подачу, так как для всех переходов устанавливают постоянный вылет шпинделя относительно торца детали.

11. Скорость резания для машинных метчиков

Обрабатываемый материал	v, м/мин	Обрабатываемый материал	v, м/мин
Сталь с σ_s , МПа:		Ковкий чугун	8 – 11
		Титан, тантал	3 – 4
конструкционная:	≤ 700	Латунь, имеющая стружку:	сыпучую
	700 – 900		
легированная:	700 – 900	сливную	14 – 18
	900 – 1100	Бронза, имеющая стружку:	сыпучую
Стальные отливки	5 – 8	сливную	10 – 15
	700 – 900	Алюминиевые сплавы	3 – 6
Серый чугун, HB:	5 – 8		14 – 25
	≤ 180		
	9 – 13		
	> 180		
	3 – 5		

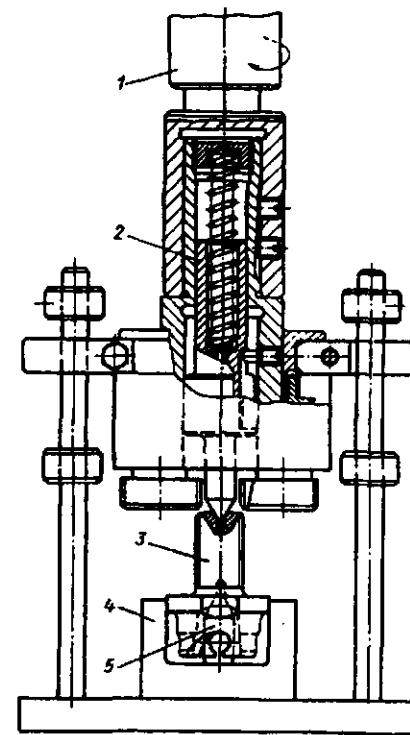


Рис. 146. Схема нарезания наружной резьбы головкой с пружинным центром: 1 – шпиндель станка; 2 – пружинный центр; 3 – нарезаемая деталь; 4 – приспособление; 5 – нижний центр

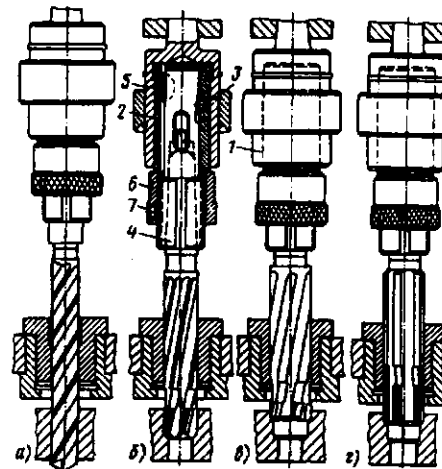


Рис. 147. Схемы последовательной обработки (а – г) заготовки на одношпиндельном сверлильном станке: 1 – быстросменный патрон; 2 – промежуточная втулка; 3 – винт; 4 – регулируемая втулка; 5 – сегментная шпонка; 6 – гайка; 7 – винт

Схемы последовательной обработки корпусных деталей на радиально-сверлильных станках с быстросменным закреплением инструмента представлены на рис. 148, 149.

На рис. 148 показаны схемы обработки в картере двух отверстий "в линию": верхнего диаметром $74H7$ мм и нижнего диаметром $72H7$ мм, ось которых перпендикулярна и пересекает ось горизонтального отверстия с отклонением до $0,07$ мм, а также подрезания торца с биением до $0,05$ мм. Деталь базируют в стационарном кондукторе по двум ранее обработанным горизонтальным отверстиям. Инструмент направляют верхней кондукторной втулкой с упорным подшипником и нижней, вмонтированной в центрирующий палец. В гнезде оправки 3 с упорными гайками 1, после того как оправка введена в кондуктор, клином закрепляют подрезную пластину 2. Этим достигают уменьшения диаметра верхнего направления и массы инструмента. Кондукторная втулка одна и та же на всех позициях.

Схемы последовательной обработки корпусной детали в поворотном кондукторе приведены на рис. 149. В шпинделе станка 1 с быстросменным патроном 2 поочередно закрепляют инструменты, предназначенные для данной операции. После выполнения переходов а и б кондуктор поворачивают на 180° и последовательно выполняют переходы в – к. Для сокращения габаритов кондуктора инструменты 3 и 4 меняют вместе со втулкой 5.

Последовательное выполнение переходов обработки связано с потерей времени на переключение частоты вращения шпинделя и подачу, а работа с постоянной скоростью резания приводит к нерациональной эксплуатации инструмента.

Оснащение одношпиндельных сверлильных станков многошпиндельными головками (МГ) устраняет этот недостаток и повышает производительность в результате одновременного выполнения нескольких переходов. Применение поворотных столов с одной загрузочной и несколькими рабочими позициями повышает эффективность использования МГ путем совмещения с машинным временем вспомогательного времени на снятие и установку заготовок.

Нарезание резьбы. Принудительная подача при нарезании резьбы на МГ достигается: а) сочетанием одной из ступеней механической подачи с зубчатыми колесами МГ; б) сообще-

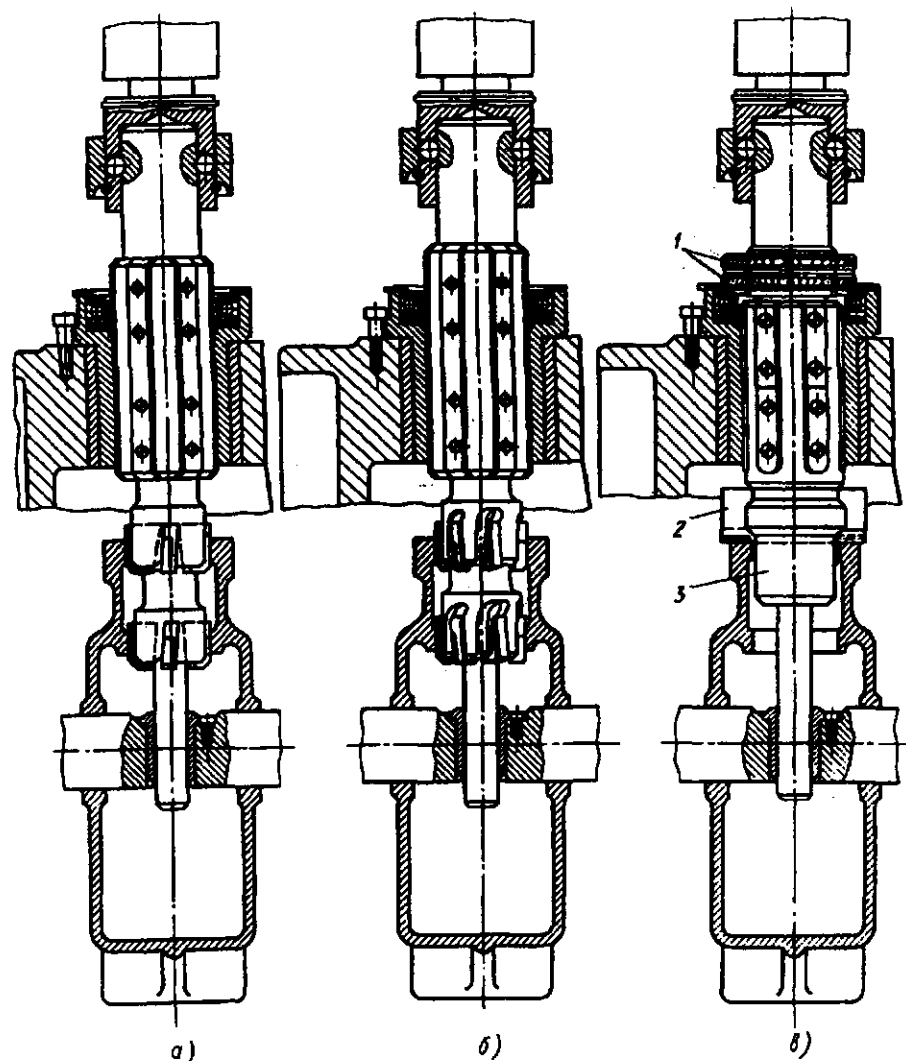


Рис. 148. Схемы последовательной обработки в корпусе двух отверстий на радиально-сверлильном станке: а - черновое и полуступенчатое зенкерование двух отверстий "в линию"; б - развертывание двух отверстий "в линию"; в - подрезание фланца

нием МГ рабочей подачи копирным винтом соответствующего шага; в) применением резьбовых копирных оправок на каждом шпинделе МГ, обеспечивающих рабочую подачу метчиков и возвращение их в исходное положение после реверсирования двигателя.

В комбинированных МГ (нарезание резьбы, сверление, цекование и т.п.) для нарезания резьбы устанавливают отдельный электродвигатель с переключателем обратного хода, а для

других переходов используют привод станка. Шпиндели, не требующие реверсирования, снабжают обгонными муфтами, сохраняющими направление вращения при переключении МГ на обратный ход. Конструкция МГ и приспособлений к ним может предусматривать групповую обработку деталей. Дальнейшее совершенствование комплексной обработки связано с использованием агрегатных станков и автоматических линий.

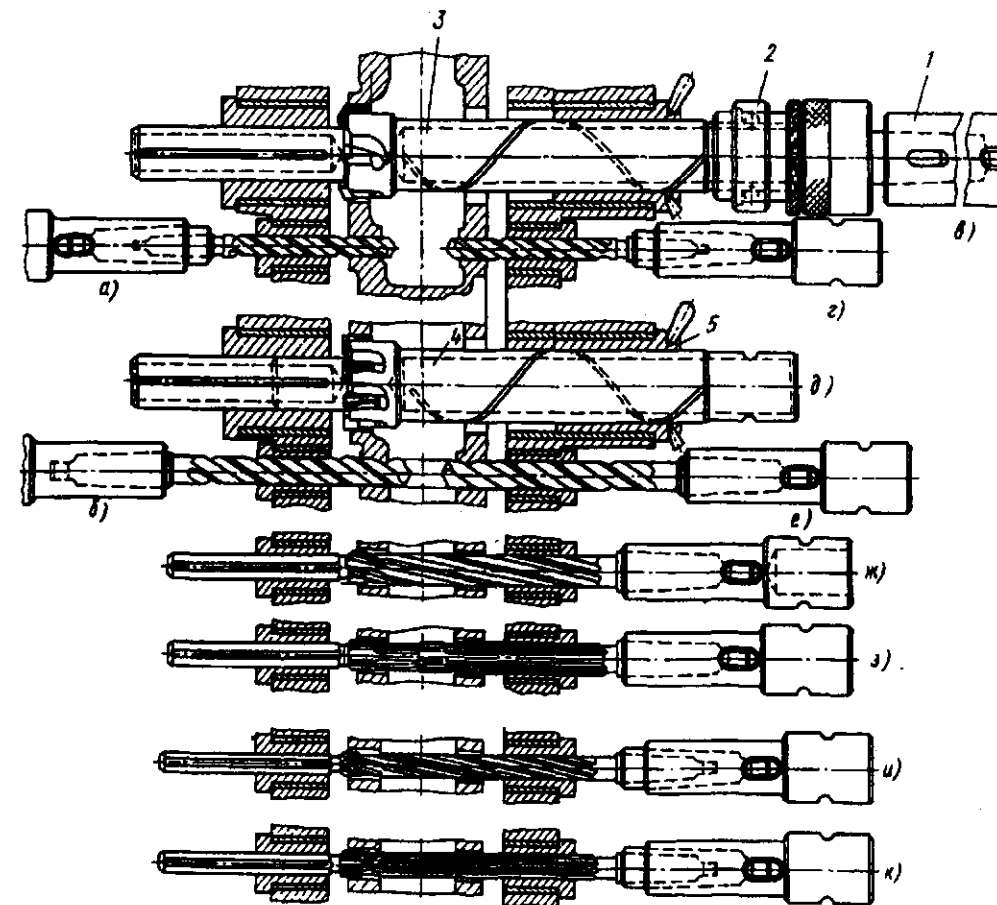


Рис. 149. Схемы последовательной обработки корпусной детали в поворотном кондукторе

ОБРАБОТКА НА РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

Обработка на горизонтально-расточных станках

Горизонтально-расточные станки (ГРС) служат для обработки заготовок крупногабаритных массивных деталей типа корпусов (редукторов, бабок и др.), станин, цилиндрических втулок и других деталей.

На ГРС в основном обрабатывают отверстия в условиях мелко- и среднесерийного производства. Большинство ГРС оснащено поворотным столом, который может перемещаться в продольном и поперечном направлениях.

Главное вращательное движение режущим инструментам сообщается от приводов шпинделя и планшайбы, смонтированных на шпиндельной бабке. Шпиндель может перемещаться вдоль своей оси и в вертикальной плоскости совместно со шпиндельной бабкой.

В крупногабаритных ГРС подвижный и поворотный столы заменены неподвижной плитой и подвижной шпиндельной колонкой, посредством которой шпиндель может перемещаться в горизонтальной плоскости. Вертикальное перемещение шпинделя осуществляется перемещением шпиндельной бабки по колонке. Использование различных универсальных приспособлений позволяет значительно расширить технологические возможности станков.

ГРС обладают широкой универсальностью, на них можно выполнить различные виды обработки (рис. 150). Заготовки устанавливаются и закрепляются на столе (плите) ГРС или в специальных приспособлениях. Режущие инструменты устанавливаются и крепятся с помощью вспомогательного инструмента (оправки, борштанги, резцедержатели) в шпинделе, радиальном суппорте планшайбы или специальных расточных приспособлениях (летучие суппорты).

При сверлении, рассверливании, зенкерование, развертывании и растачивании отверстий необходимая подача обеспечивается при выдвижении шпинделя или перемещении стола в направлении, параллельном оси вращения режущего инструмента; при фрезеровании плоскостей – выдвижением шпинделя или перемещением стола в направлении, перпендикулярном оси вращения шпинделя.

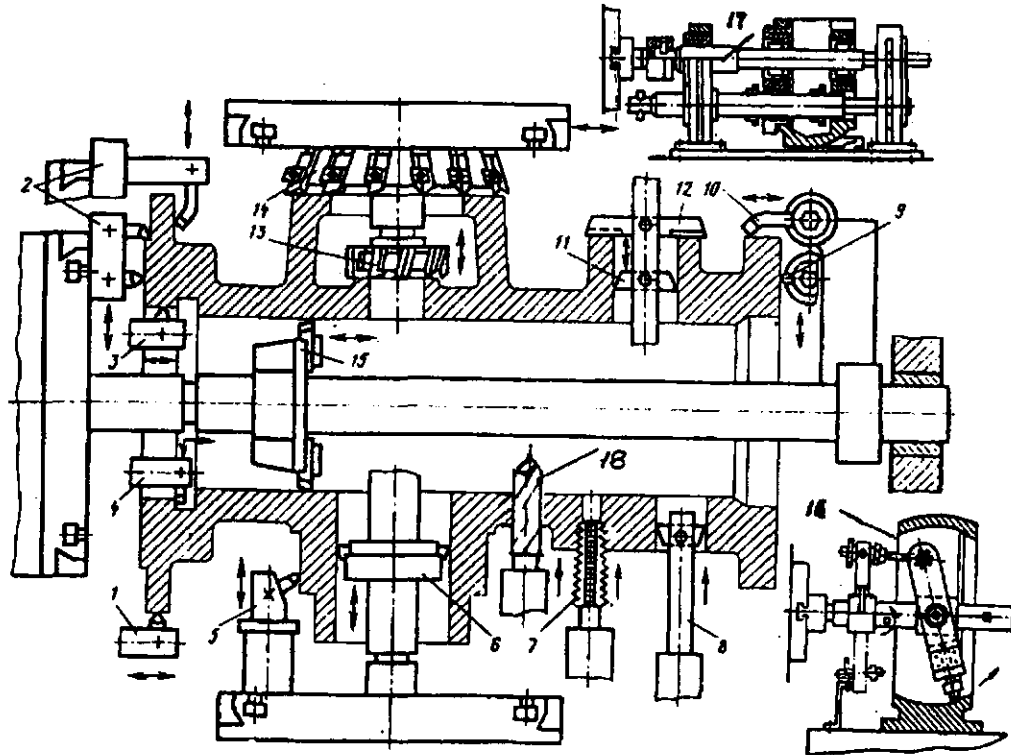


Рис. 150. Виды обработок, выполняемых на горизонтально-расточных станках, и необходимые направления подачи: 1 – обточка фланца резцом, закрепленным на планшайбе; 2 – подрезка торцов резцами, закрепленными в радиальном суппорте планшайбы; 3 – растачивание отверстия резцом, закрепленным на консольной оправке в шпинделе или радиальном суппорте; 4 – расточка канавки резцом, закрепленным в радиальном суппорте; 5 и 6 – одновременное обтачивание наружной цилиндрической поверхности резцом, закрепленным на планшайбе, и растачивание отверстия резцовой пластинкой, установленной в борштанге на выдвижном шпинделе, при продольной подаче стола; 7 – нарезание резьбы метчиком; 8 – растачивание отверстия пластиной, установленной на консольной оправке, закрепленной в шпинделе; 9 – подрезка торца резцом, закрепленным в летучем суппорте; 10 – наружное обтачивание фланца с помощью летучего суппорта; 11 и 12 – растачивание отверстия пластиной и последующая подрезка торца; 13 – фрезерование торца с продольной подачей фрезы; 14 – фрезерование торца с поперечной подачей фрезы; 15 – растачивание отверстия резцовой головкой на борштанге, закрепленной в шпинделе люнетной стойки; 16 – растачивание сферических поверхностей; 17 – растачивание отверстий по кондуктору с установкой его на столе станка; 18 – сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание отверстий

Подготовка к обработке заготовок на ГРС включает установку и закрепление заготовок на столе, плите или в приспособлении, установку и закрепление инструмента, координацию его положения и настройку на заданный размер.

Установка заготовки предусматривает придание ей определенного заданного положения относительно рабочих органов ГРС или направления их перемещений, необходимых для обеспечения при обработке требуемого расположения обрабатываемых поверхностей заготовки относительно других ее поверхностей. Схемы установки и выверки заготовок на ГРС приведены в табл. 12.

1. Заготовки, устанавливаемые на подставку 1 одной обрабатываемой плоской поверхностью, выверяют только в одном направлении (разметочная риска 2).

2. При установке на необработанные поверхности заготовки выверяют в трех плоскостях по разметочным рискам 1–3.

3. Установка по необработанной цилиндрической поверхности требует выверку по горизонтальной разметочной риске. Для этого используют регулируемые призмы, предварительно выверенные относительно оси шпинделя станка.

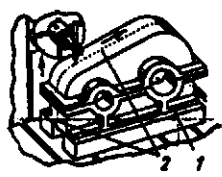
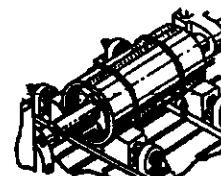
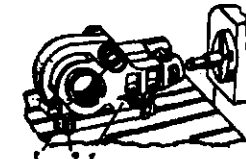
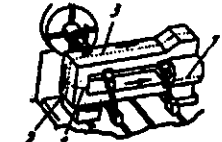
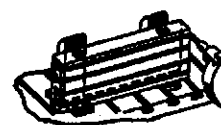

4. При установке заготовки обработанными плоскими поверхностями к угольнику и на подставке необходимость в выверке отпадает.

5. Установка в приспособлении при базировании по плоскости основания 1, боковым упорам 2 и торцовому упору 3, а также при базировании по плоскости 1 и двум отверстиям, в которые входят цилиндрический 2 и срезаемый 3 пальцы (п. 6), исключают необходимость какой-либо выверки.

Применяют следующие способы установки заготовок: по упорам и с выверкой их положения.

Первый способ обычно используют в среднесерийном производстве при установке по предварительно обработанным поверхностям (базам), относительно которых координируется положение поверхностей, подлежащих обработке. Заготовки устанавливают либо в специальных расточных приспособлениях, либо в универсальных установочных приспособлениях, определенным образом расположенных и закрепленных на столе (или плите), либо непосредственно на рабочей поверхности стола (или плиты) станка. При использовании специальных приспособлений выверка заготовки не требуется. Для ориентации заготовок в горизонтальной плоскости на столе (или плите)

12. Основные схемы установки заготовок для обработки на расточных станках

Базовые поверхности и способы выверки	Базовые поверхности и способы выверки	Базовые поверхности и способы выверки
1. Установка на одну обработанную плоскость	3. Установка на необработанную цилиндрическую поверхность	5. Установка в приспособлении по трем плоскостям
		
2. Установка на необработанные поверхности	4. Установка на две обработанные плоскости	6. Установка в приспособлении по одной плоскости и двум отверстиям
		

предварительно устанавливают упоры, положение которых выверяют относительно рабочих органов станка. Затем заготовку вручную или посредством боковых прижимов прижимают к упорам, что и обеспечивает ее требуемое относительное положение.

Второй способ установки заготовок применяют в единичном и мелкосерийном производствах, когда в качестве баз используются необработанные поверхности (*черновые базы*). Заготовки устанавливают на регулируемые опоры, расположенные на столе (или плите) станка. Положение заготовки выверяют (регулируют) в вертикальной плоскости клиновыми домкратами или боковыми прижимами.

Закрепление заготовок осуществляют с помощью набора универсальных крепежных приспособлений, входящих в комплект оснащения ГРС. Для повышения жесткости и сокращения деформаций, возникающих от сил закрепления, под заготовку перед ее закреплением подводят дополнительные опоры. Постоянство положения заготовки в горизонтальной плоскости обеспечивают боковые упоры и прижимы.

Выверка и закрепление заготовки сопровождается возникновением погрешностей, которые существенно влияют на точность обработки, особенно на точность расположения обработанных поверхностей. Поэтому, а также в связи со значительной трудоемкостью процесса выверки, особенно крупногабаритных заготовок, при проектировании расточных операций назначают такие способы установки, которые в условиях рассматриваемого варианта выполнения операции обеспечили бы заданную точность обработки при наименьшем вспомогательном времени.

Координация инструмента имеет целью придать шпинделю или борштанге положение, обеспечивающее точность расположения обрабатываемых поверхностей, что особенно важно при обработке отверстий.

Принадлежности и приспособления для установки, выверки и закрепления заготовок на ГРС входят в комплект станка. К ним относятся (рис. 151, 152): *прижимные планки* (прихваты) односторонние и быстръемные для закрепления заготовок на столе (или плите) станка; *упоры*, устанавливаемые в

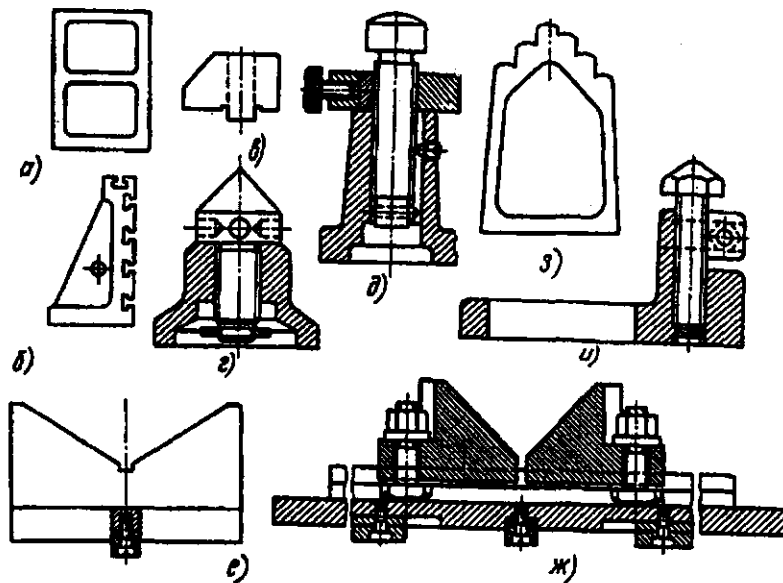


Рис. 151. Принадлежности для установки заготовок на расточных станках: а – подкладка чугуная; б – угольник; в – упор; г – домкрат для черных баз; д – домкрат для обработанных баз; е – призма нерегулируемая; ж – призма регулируемая; з – подставка ступенчатая; и – подставка раздвижная

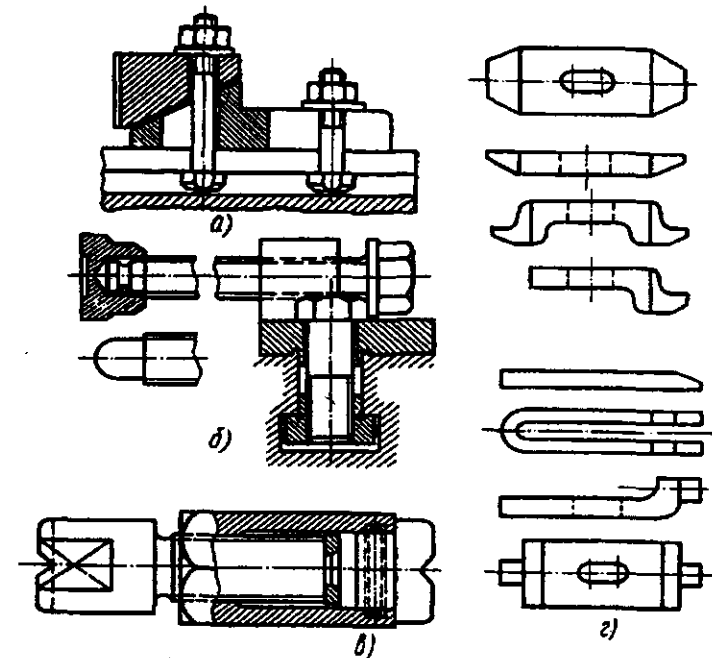


Рис. 152. Принадлежности для крепления заготовок на расточных станках: а – прижим клиновой; б – прижим винтовой; в – распорный винт; г – прихваты

Т-образные пазы стола для выверки положения заготовки, параллельно пазу стола и для ее бокового закрепления, используются как опоры; *боковой прижим* (винтовой или клиновой) – для точной выверки положения заготовки при ее установке (используется также как боковой прижим для предотвращения смещения заготовки в процессе обработки); *домкраты* (клиновые и винтовые) – для установки заготовок по необработанной поверхности по уровню или разметочным рискам; *распорные винты* – для малых перемещений крупногабаритных тяжелых заготовок при их выверке (используются также как боковые прижимы); *регулируемые (подводимые) опоры* – для надежного закрепления крупногабаритных тяжелых заготовок и предотвращения их деформаций от сил закрепления; *винты и крепежные приспособления* – для закрепления заготовок на станках с использованием Т-образных пазов.

Выбор приспособлений, необходимых для закрепления заготовок, определяется их формой и размерами, выбранной схемой базирования и закрепления заготовки, содержанием операции (число и взаимное расположение

поверхностей, подлежащих обработке, вид обработки, условия ее выполнения).

Приспособления и принадлежности для установки, закрепления и направления режущих инструментов в процессе обработки заготовок. К ним относятся: оправки, державки, борштанги, головки, патроны, переходные втулки и т.п.

Инструменты, оправки и борштанги с коническим хвостовиком крепят в шпинделе станка с помощью инерционного клина, обыкновенного клина или штифта. Более предпочтительно бесклиновое крепление инструмента или оправок.

Консольные короткие расточные оправки (рис. 153) применяют при обработке неглубоких отверстий, диаметр которых превышает диаметр шпинделя станка. Конструктивные размеры оправок и их исполнение выбирают в соответствии с размерами режущих инструментов и отверстий, подлежащих обработке.

Для обработки глубоких отверстий или нескольких соосных отверстий на ГРС используют борштанги (рис. 154), которые имеют конусный или цилиндрический хвостовик.

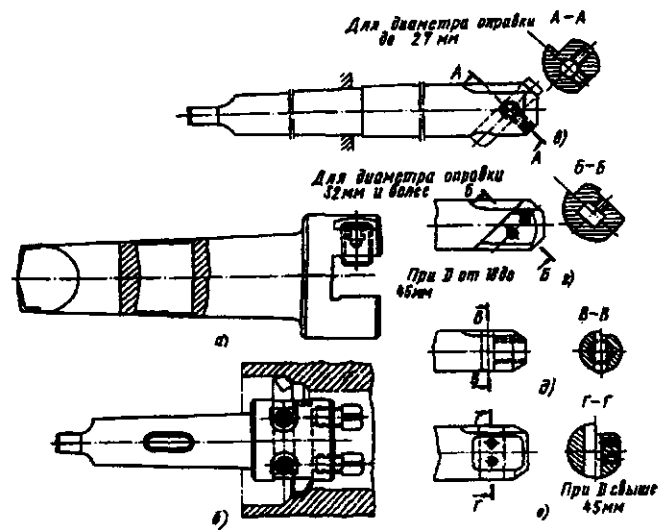


Рис. 153. Консольные оправки для крепления режущих инструментов: а – короткая для одного реза; б – то же, для двух резов; в – удлиненная с наклонным креплением резов и круглым окном; г – то же, с прямоугольным окном; д – удлиненная с прямым креплением резов и квадратным окном; е – то же, с прямоугольным окном

Конусным хвостовиком борштанги закрепляют в шпинделе, цилиндрическим – в переходных патронах, имеющих конический хвостовик, и устанавливаемых в шпинделе. Для закрепления резов, расточных пластин и плавающих разверток по всей длине борштанги выполняют окна круглой или прямоугольной формы в зависимости от конструкции режущего инструмента. Для измерения диаметра обработанного отверстия без снятия борштанги в ней перед каждым окном сделаны овальные отверстия, через которые может проходить жесткий или микрометрический штихмас. Отверстия под резцы обычно располагают под углом 90° к оси оправки или борштанги, реже под углом 60° или 45° .

Пластинчатые резцы (рис. 155, а – ж) применяют для черновой и чистовой расточки сквозных и глухих отверстий. Для чистовой обработки используют пластинчатые регулируемые резцы (рис. 155, з). Пластинчатые резцы в борштанге закрепляют непосредственно винтом с конической частью или через сухарь.

Расточные блоки используют для черновой и чистовой обработки одного или нескольких отверстий как сквозных, так и глухих. Блоки с резцами крепят в борштан-

ге. Для чистовой расточки отверстий диаметром более 100 мм применяют однорезцовые блоки с точным регулированием по диаметру дифференциальным микрометрическим винтом.

Расточные головки применяют для предварительной обработки отверстий диаметром св. 150 мм (рис. 156). Они бывают цельными и разъемными, с двумя и более резцами из быстрорежущей стали и с пластинками твердого сплава.

Борштанги обычно изготавливают диаметром 40 – 100 мм (меньшего или большего диаметра считают специальными). Длина борштанги, как правило, 1000 – 2500 мм, хотя в отдельных случаях применяют борштанги диаметром до 250 мм и длиной до 6 м. Для установки расточных головок по всей длине борштанги делают шпоночный паз. Биение борштанги 0,02 – 0,04 мм, конусообразность и овальность не более половины допуска на ее диаметральный размер. Окна под плавающие развертки должны быть тщательно притерты и симметричны относительно оси борштанги. Смещение не более 0,1 мм. Опорные плоскости должны быть перпендикулярны к оси борштанги. Отклонение от перпендикулярности не более 0,03 на 100 мм длины.

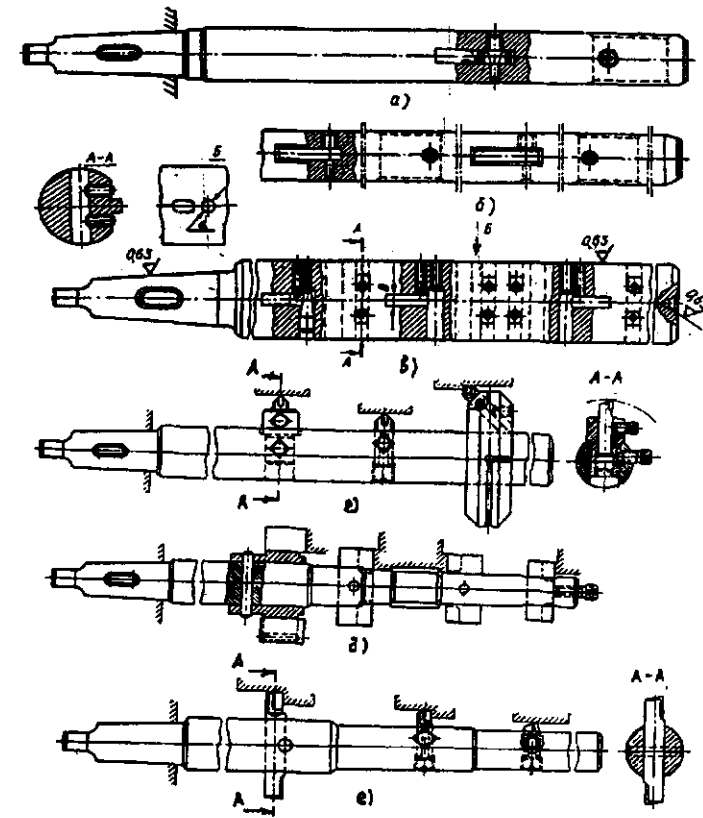


Рис. 154. Борштанги для горизонтально-расточных станков: а – короткая с одним - двумя окнами; б, в – длинная с числом окон более двух; г, д, е – специальные оправки для обработки несколькими резцами

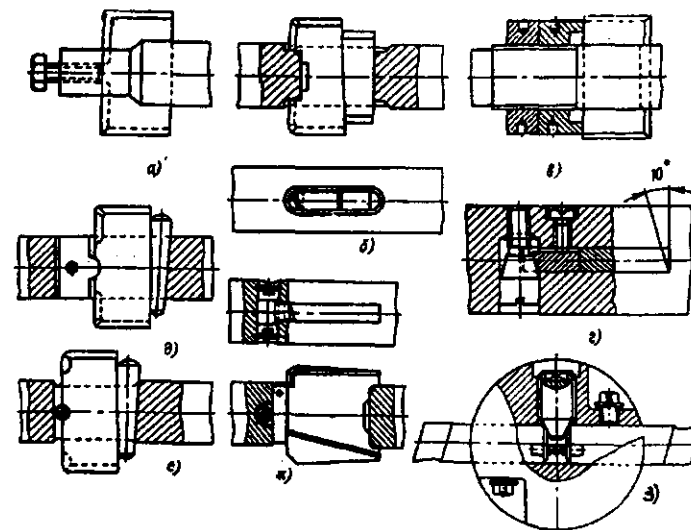


Рис. 155. Способы крепления пластинчатых резов в борштангах

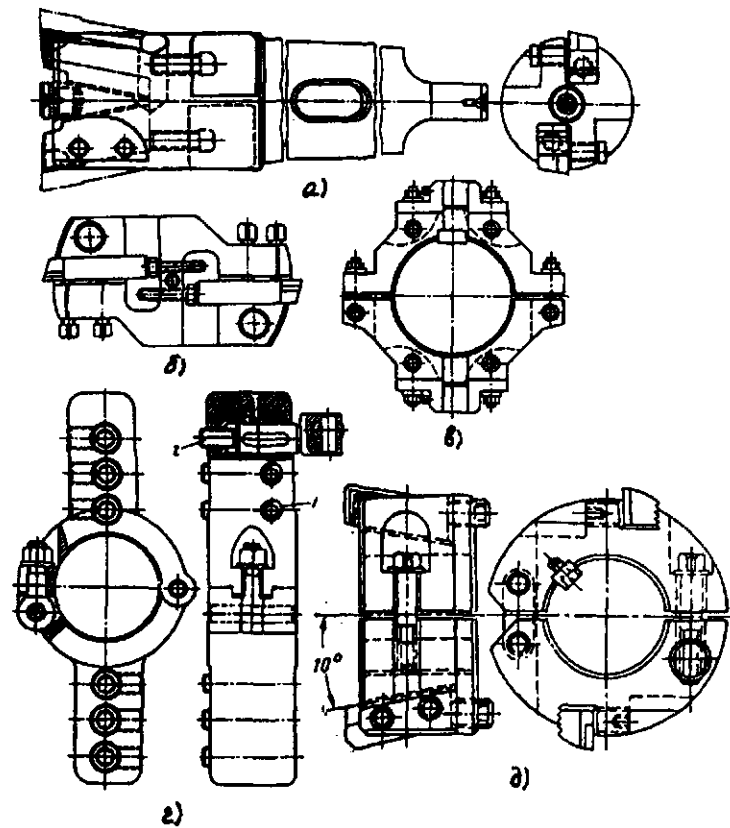


Рис. 156. Расточные головки: а – двухрезцовая концевая; б – насадная; в – разъемная; з – для упоров, применяемая при подрезке торцов и расточке выточек; д – разъемная расточная с двумя резцами для установки на борштанге

Обработка отверстий на ГРС. Точность обработки на ГРС приведена в табл. 13 – 15. Консольную обработку отверстий выполняют инструментом, установленным на консольных оправках (рис. 155) различной конструкции. Последовательность переходов при консольной обработке отверстий приведена в табл. 16, соосных отверстий – в табл. 17.

Консольная обработка целесообразна при $L < (5 \dots 6)d$, где L – длина оправки; d – диаметр обрабатываемого отверстия. Увеличение вылета оправок уменьшает жесткость и виброустойчивость технологической системы. Это снижает производительность обработки. Обычно с помощью консольных оправок без поворота заготовки со столом обрабатывают сравнительно короткие отверстия или систему отверстий в близко расположенных одна к другой стенках заготовок.

Обработку отверстий в заготовках с широко расставленными стенками проводят или за одну установку в двух позициях (с поворотом стола) или за две установки (на станках колонкового типа). В последнем случае консольная обработка по сравнению с обработкой борштангами утрачивает свои преимущества, которые заключаются в следующем. На установку и выверку консольных оправок затрачивается значительно меньше времени. Облегчена настройка режущего инструмента на размер и измерения обрабатываемого отверстия. Короткие и жесткие консольные оправки в сочетании с многорезцовыми головками позволяют производить обработку с более высокими скоростями резания, большими подачами и глубинами резания. Это обеспечивает снижение затрат вспомогательного времени.

13. Точность и шероховатость поверхностей отверстий, обрабатываемых на горизонтально-расточных станках

Вид обработки отверстий	Квалитет	Шероховатость поверхности Ra , мкм
Сверление, рассверливание	12 – 14	6,3 – 25
Зенкерование:		
черновое	12–13	12,5 – 25
чистовое	10 – 11	3,2 – 6,3
Развертывание:		
получистовое	9 – 10	6,3 – 12,5
чистовое	7 – 8	1,6 – 3,2
тонкое	6 – 7	0,4 – 0,8
Растачивание:		
черновое (по корке)	14 – 17	50 – 100
получистовое	12 – 14	12,5 – 25
чистовое	8 – 11	1,6 – 3,2
тонкое	7 – 8	0,4 – 0,8
Раскатывание и алмазное выглаживание	6 – 8	0,08 – 0,63

Если конструкция заготовки не позволяет подвести планшайбу к обрабатываемому отверстию, то для уменьшения вылета оправки можно устанавливать специальные башмаки на планшайбу (люнеты перед обрабатываемой заготовкой) или же лунетные втулки в уже обработанное в передней стенке заготовки отверстие. Эти способы повышают жесткость технологической системы, просты по конструкции и не требуют больших затрат вспомогательного времени. Однако погрешности в центрировании передней опоры относительно оси оправки приводят к искривлению оси обрабатываемых отверстий. Подача при обработке с помощью оправок осуществляется столом или шпинделем. При подаче столом вылет шпинделя, жесткость технологической системы остаются практически постоянными по всей длине обработки. Поэтому значительно уменьшается конусообразность отверстия, которая имеет место при обработке с подачей шпинделем на различных вылетах.

Растачивание борштангами применяют при обработке сквозных отверстий с длиной, значительно превышающей их диаметр, а также нескольких отверстий, расположенных на одной оси. Применяемые для обработки режущие инструменты закрепляют в борштангах.

14. Точность расположения осей отверстий, растачиваемых на горизонтально-расточных станках, при различных методах координации инструмента

Метод координации инструмента		
	Отклонение δL , мм	Отклонение Δ , мм, на длине $L = 100$ мм
По разметке	$\pm (0,4 - 0,6)$	0,1 – 0,5
По шкале с нониусом	$\pm (0,2 - 0,4)$	–
По координатному шаблону	$\pm (0,08 - 0,2)$	–
По концевым мерам	$\pm (0,05 - 0,1)$	–
По кондуктору или индикаторному упору	$\pm (0,04 - 0,08)$	0,04 – 0,20
Поворотом заготовки на столе с выверкой индикатором	–	0,05 – 0,15
Поворотом стола	–	0,06 – 0,30

15. Смещение осей отверстий от номинального положения на горизонтально-расточных станках при различных методах координации инструмента

Метод координации инструмента	Смещение осей отверстий (мм) от номинального положения при расстоянии между ними, мм			
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500
По разметке	±0,4	±0,6	±0,7	±0,8
По шкале с нониусом	±0,15	±0,2	±0,3	±0,4
По штихмасу	±0,05	±0,07	±0,1	±0,12
По конечным мерам	±0,03	±0,04	±0,05	±0,06

16. Последовательность переходов при консольной обработке отверстий на горизонтально-расточных станках

Номер перехода	Переходы при обработке отверстий	
	в сплошном материале	имеющихся в заготовке
1	Предварительное сверление	Черновое растачивание односторонним резцом
2	Рассверливание	Второе черновое растачивание
3	Предварительное растачивание	Получистовое растачивание
4	Снятие фасок	Чистовое растачивание
5	Зенкерование	Снятие фасок
6	Предварительное развертывание	Предварительное развертывание
7	Чистовое развертывание	Чистовое развертывание

Борштанги имеют опоры в шпинделе и люнетной втулке задней опоры или могут быть установлены в двух люнетных втулках, расположенных впереди и сзади обрабатываемой заготовки. В последнем случае борштанга шарнирно соединяется со шпинделем, что исключает влияние геометрических погрешностей ГРС на точность обработки. Прямолинейность осей отверстий обеспечивается соосностью люнетных втулок и прямолинейностью оси борштанги.

На рис. 157 приведены основные схемы расположения направляющих устройств при обработке отверстий. При обработке по схеме рис. 157, а инструмент имеет дополнительное

направление впереди отверстия. Инструмент закреплен в шпинделе станка жестко. Шпиндель должен быть очень точно установлен по оси кондукторной втулки, что связано с затратами вспомогательного времени. Преимущество этой схемы – простота конструкции приспособления.

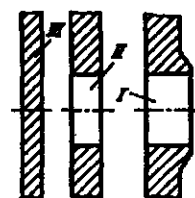
При обработке по схеме (рис. 157, б) возможно дополнительное направление сзади обрабатываемого отверстия. Инструмент закреплен в шпинделе жестко. Установка последнего должна быть точной. Данная схема применяется при обработке литых или заранее просверленных отверстий, которые используются для прохода направляющей части инструмента.

В схемах на рис. 157, в и г инструмент соединен со шпинделем шарниром. Шарнирное соединение сокращает вспомогательное время, затрачиваемое на установку и выверку шпинделя по оси обрабатываемого отверстия.

Схема обработки трех соосных отверстий с помощью борштанги показана на рис. 158. При черновом растачивании (переход I) все отверстия одновременно обрабатываются резцами, закрепленными в гнездах борштанги (рис. 158, а) или закрепленными на борштанге насадными или разъемными расточными головками (рис. 158, б). Для крепления насадного режущего инструмента на борштанге используют байонетный затвор. Получистовое растачивание (переход II, рис. 158, в) выполняют одновременно тремя резцами. При окончательной обработке (переход III, рис. 158, г) каждое отверстие растачивают отдельно.

Торцовые поверхности бобышек, приливов заготовок следует обрабатывать за одну установку с обработкой отверстий, что обеспечивает перпендикулярность этих поверхностей осям отверстий. Способы обработки торцовых поверхностей небольших размеров приведены в табл. 18.

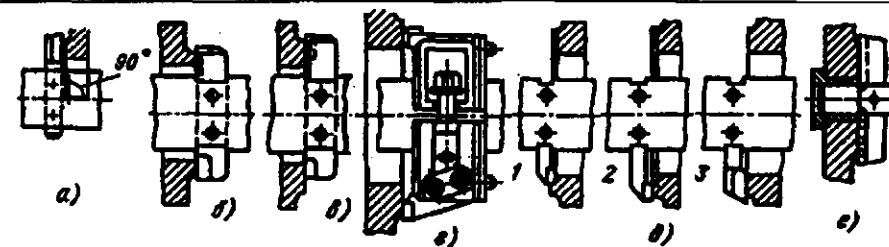
17. Последовательность переходов при консольной обработке двух соосных отверстий



Обозначения: I – отверстие в стенке заготовки, ближайшей к шпинделю станка; II – отверстие в дальней стенке заготовки; III – глухая стенка заготовки

Номер перехода	Переход	Номер перехода	Переход
1	Черновое растачивание отверстия I	4	Чистовое растачивание отверстия II
2	Черновое растачивание отверстия II	5	Чистовое развертывание отверстия I
3	Чистовое растачивание отверстия I	6	Чистовое развертывание отверстия II

18. Основные способы обработки небольших торцовых поверхностей на горизонтально-расточных станках



Эскиз	Описание способа обработки
а	Подрезка торца одним резцом, закрепленным в оправке или борштанге, при малых подачах и скоростях резания. Режущая кромка резца должна быть выставлена перпендикулярно оси вращения оправки или борштанги
б	Подрезка торца двусторонним симметричным пластинчатым резцом, режущие кромки которого перекрывают обрабатываемую поверхность
в	Подрезка торца двусторонним несимметричным пластинчатым резцом. Процесс резания облегчен, так как снимаемая стружка разделяется по ширине
г	Подрезка с помощью двухрезцового разъемного блока, каждый резец которого обрабатывает часть торцовой поверхности. Суммарная длина режущих кромок резцов должна быть несколько больше ширины обрабатываемой поверхности
д	Обработка одним резцом за два перехода – 1 и 2 – с разделением припуска и последующей зачисткой торца широким резцом 3
е	Обработка двусторонним резцом с канавками для дробления стружки. Втулка, установленная в предварительно обработанное отверстие, служит дополнительной опорой

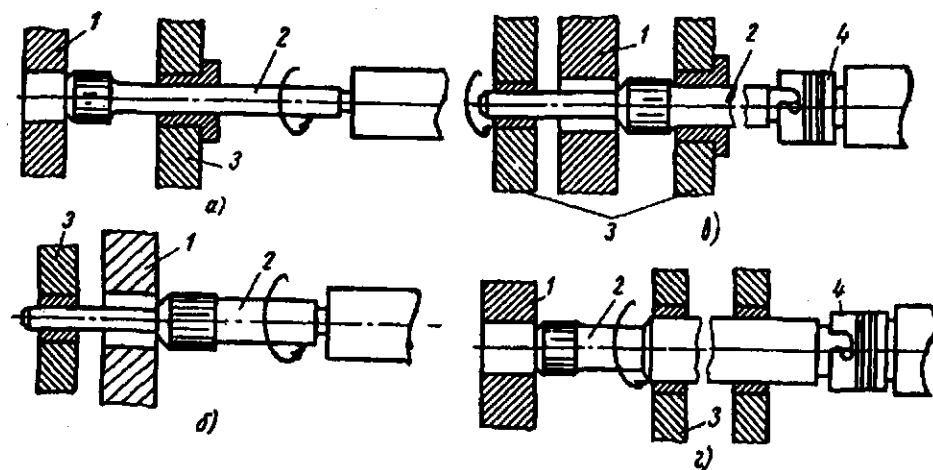


Рис. 157. Схемы расположения направляющих устройств при растачивании корпусных деталей

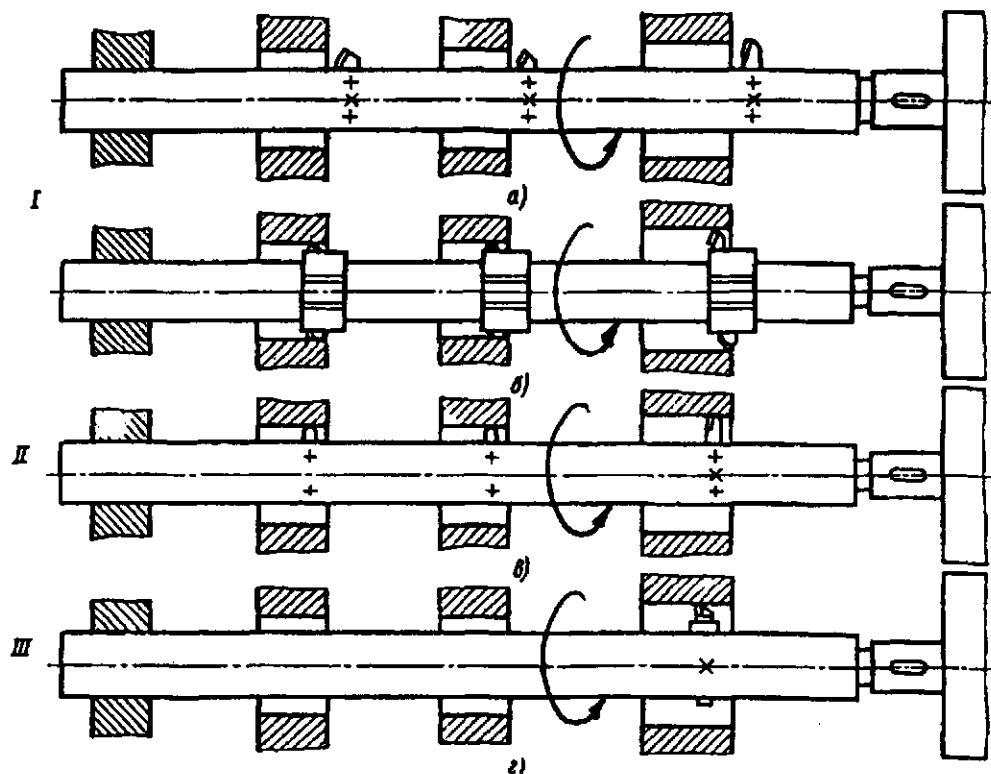


Рис. 158. Схема обработки трех соосных отверстий с использованием борштанги

Подачу при работе борштангами осуществляет стол или шпиндель. В случае подачи столом жесткость технологической системы по всей длине растачивания практически постоянна, повышается точность обработки, но расстояние L между шпинделем и люнетом должно в этом случае свыше 2 раз превышать длину растачивания l . Это снижает жесткость борштанги, виброустойчивость технологической системы и производительность обработки. При работе с подачей шпинделем обеспечивается более высокая жесткость технологической системы, но ее величина изменяется по длине обработки.

При обработке отверстий в заготовках крупногабаритных деталей, когда длина растачивания превышает максимальный ход шпинделя или стола, используют дифференциальные борштанги, у которых подачу осуществляет резцовая головка.

Режимы обработки отверстий назначают в зависимости от характеристик материалов заготовок, вида обработки, требуемой точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, материала режущего инструмента, жесткости станка и т.п.

Скорости резания при обработке отверстий в стальных заготовках инструментом из быстрорежущих сталей назначают в следующих пределах (м/мин): при сверлении 10 – 27, зенкерование 3 – 12, черновом растачивании 30 – 100, тонком растачивании 150 – 300.

Нарезание резьбы в отверстиях резцами и метчиками. При нарезании резьбы резцом на шпинделе ГРС устанавливают специальный резцедержатель, позволяющий устанавливать резец на требуемую глубину резания. Осевую подачу резца выполняют перемещением шпинделя, в цепи подачи которого устанавливают необходимый набор сменных зубчатых колес. Резьбу нарезают за несколько рабочих ходов. Резец устанавливают на глубину резания после каждого рабочего хода. Этот способ малопродуктивен. При нарезании резьбы метчиками используют специальные предохранительные патроны для закрепления метчиков.

Фрезерование на горизонтально-расточных станках. Фрезерование рекомендуется проводить в тех случаях, когда предъявляются требования к взаимному расположению фрезеруемых поверхностей и осей обрабатываемых отверстий. Выполнение этих требований упрощается, если обработку отверстий и фрезе-

рование плоскостей выполнять за один установ заготовки. Фрезерование плоскостей с разных сторон заготовки удобнее выполнять также за один установ на поворотном столе станка. При отсутствии стола используют наборы фрез или обрабатывают каждую сторону заготовки, каждый раз вновь устанавливая заготовку и выверяя ее положение.

Выбор фрез зависит от формы обрабатываемой поверхности: открытые вертикальные плоскости обрабатывают торцовыми фрезами; горизонтальные – цилиндрическими; торцы, пазы, уступы – дисковыми, трехсторонними, концевыми и пазовыми фрезами.

Для повышения жесткости шпинделя ГРС при фрезеровании плоскостей с большим вылетом шпинделя применяют кронштейны, которые закрепляют на планшайбе.

Обработка на координатно-расточных станках

Координатно-расточные станки (КРС) служат в основном для обработки цилиндрических отверстий с повышенными требованиями к точности их диаметральных размеров, геометрической формы (в продольном и поперечном сечениях) и расположения осей отверстий относительно друг друга и относительно технологических баз заготовок.

На КРС можно производить другие виды обработки: растачивание конических отверстий; протачивание канавок; обтачивание торцовых поверхностей и небольших выступов; нарезание резьбы метчиками; тонкое фрезерование плоскостей и криволинейных поверхностей заготовок (копиров, шаблонов, кулачков и т.п.); нанесение точных линейных и круговых шкал. КРС применяют также для точной координатной разметки заготовок и в качестве измерительного устройства для контроля точности размеров, геометрической формы и расположения поверхностей деталей.

Технологические возможности КРС определяются их техническими характеристиками, параметрами главных столов, точностью отсчетно-измерительных систем, используемыми приспособлениями и принадлежностями. КРС оснащают высокоточными отсчетно-измерительными системами различных типов, обеспечивающими отсчет линейных перемещений заготовок относительно системы координат КРС с точностью до 0,001 мм.

Одностоечные КРС с вертикальным шпинделем и крестовым столом (рис. 159, а)

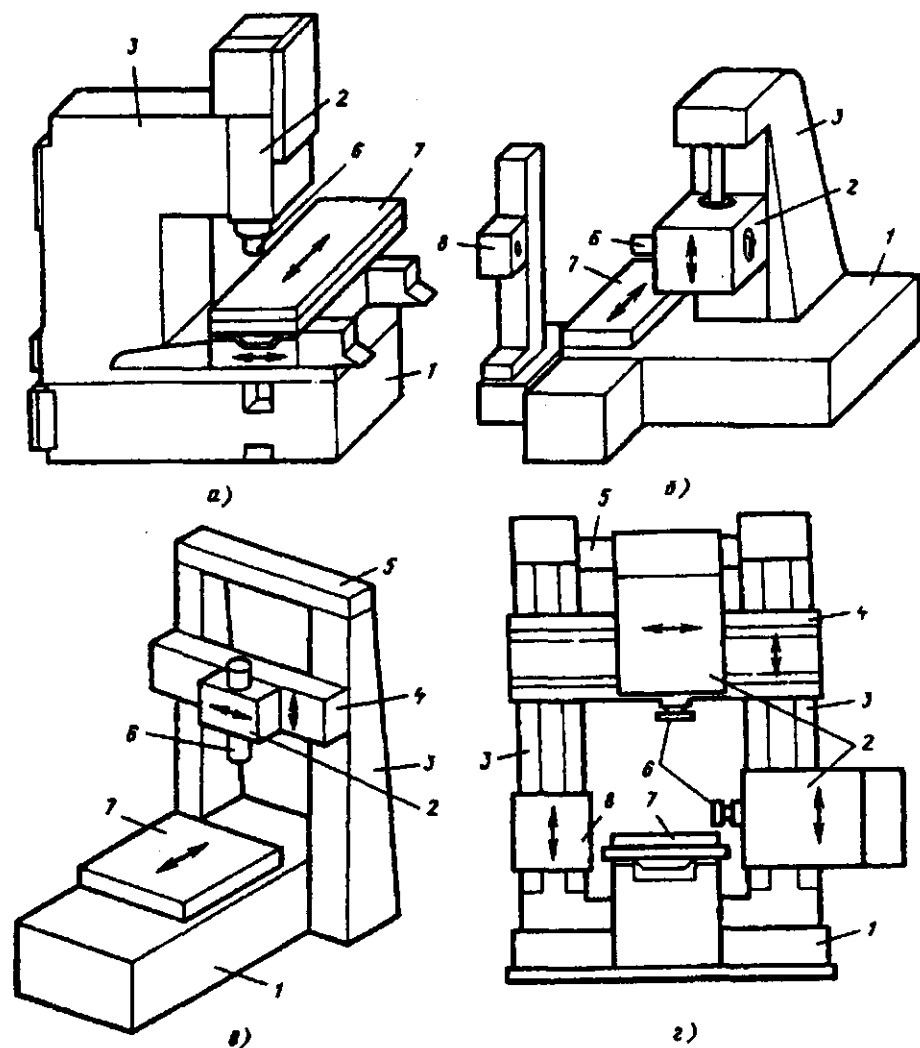


Рис. 159. Типовые компоновки КРС: 1 – станина; 2 – шпиндельная бабка; 3 – стойка; 4 – траверса; 5 – поперечина; 6 – шпиндель; 7 – стол; 8 – люнет

отличаются свободным доступом к зоне обработки, что облегчает установку, закрепление заготовок и снятие деталей, установку и настройку режущих и измерительных инструментов. Недостатки этих КРС – небольшой ход шпиндельной бабки и меньшая по сравнению с другими компоновками КРС жесткость. Одностоечные КРС (рис. 159, б) с горизонтальным расположением шпинделя имеют большую жесткость и обеспечивают обработку с помощью борштанги и люнета глубоких отверстий.

Двухстоечные КРС (рис. 159, в и г) имеют по сравнению с одностоечными КРС большую жесткость; ход траверсы, на которой смонтирована шпиндельная бабка, обеспечивает обработку заготовок большей высоты.

Точность обработки (табл. 19) заготовок на КРС определяется многими факторами: геометрической точностью станка и отсчетно-измерительной системы, жесткостью технологической системы, выбранной схемой базирования заготовки и точностью ее установки,

19. Точность обработки отверстий на КРС

Виды обработки	Квалитет диаметра	Шероховатость поверхности Ra , мкм	Отклонения расстояний между осями отверстий, мм
Разметка, сверление	11	1,6 – 3,2	$\pm 0,1$
Разметка, сверление, развертывание	9	0,32 – 2,5	$\pm 0,05$
	6 – 7	0,32 – 2,5	$\pm (0,005 – 0,01)$
Разметка, сверление, растачивание, развертывание	7 – 9	0,32 – 1,25	$\pm (0,01 – 0,05)$

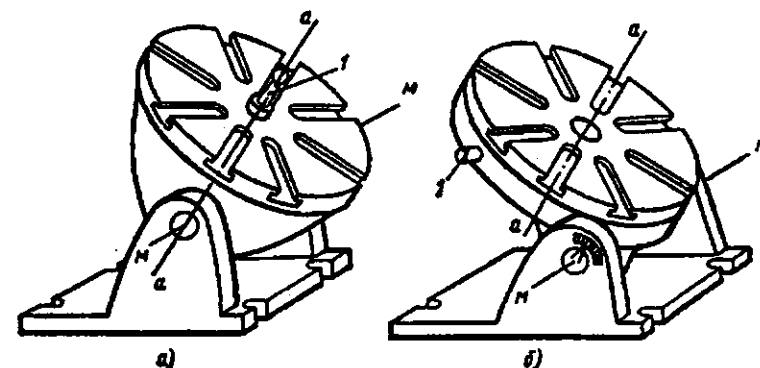


Рис. 160. Универсальные поворотные-делительные столы с пересекающимися (а) и непересекающимися (б) осями: aa – ось поворота планшайбы; MM – ось наклона планшайбы; l – установочный палец

используемой схемой обработки, наличием температурных деформаций. Последние оказывают существенное влияние на точность обработки. Поэтому КРС устанавливают в термостатированном помещении.

Технологическая оснастка КРС. Приспособления и принадлежности, которыми оснащают КРС, подразделяют на группы: настольные приспособления; принадлежности и приспособления для установки и закрепления заготовок; приспособления для выверки и закрепления режущего инструмента.

К настольным относят приспособления, устанавливаемые на главном столе КРС. Это поворотные-делительные столы: горизонтальный (ГПДС) и универсальный (УПДС).

Планшайба ГПДС имеет возможность поворота на 360° вокруг вертикальной оси. ГПДС используют для установки и закрепления заготовок, расположения обрабатываемых поверхностей которых задано в полярной системе координат.

УПДС применяют для установки и закрепления заготовок, обрабатываемые поверхно-

сти которых расположены под различными углами к технологическим базам. Планшайба этого стола может поворачиваться на 360° вокруг оси, перпендикулярной рабочей плоскости планшайбы и наклоняться в пределах угла 90° (от вертикального до горизонтального положения). В зависимости от взаимного расположения осей поворота и наклона планшайбы различают два типа УПДС (рис. 160): с перекрещивающимися и неперекрещивающимися (пересекающимися) осями.

Для выполнения высокоточных работ и измерения на КРС используют оптические делительные столы (ОДС) и оптические делительные головки (ОДГ) различных типов (табл. 20). Кроме этого применяют вспомогательные и прямоугольные столы, угольники и другие приспособления.

Для установки и закрепления заготовок используют крепежные комплекты и приспособления, к которым относятся параллельные и мерные подкладки, прижимные планки, ступенчатые, цилиндрические и винтовые подставки,

20. Значения предельной погрешности показаний ($\pm C$) отсчетных устройств при использовании ОДС и ОДГ

Предельная погрешность показаний	ОДС	ОДС-1	ОДГ-2-Э	ОДГ-5	ОДГ-10	ОДГ-60
При измерениях	15	10	2	5	10	20
При обработке	20	15	-	-	20	30

установочные угольники, призмы, шпильки, болты, сухари, гайки. Выбор приспособлений для установки и закрепления заготовок осуществляют в зависимости от их формы и размеров, а также принятой схемы установки и закрепления. При обработке партии заготовок целесообразно использовать трехкулачковые патроны, станочные тиски, цанги, которые предварительно закрепляют на главном столе КРС.

Для выверки положения заготовок на КРС и определения координат базовых поверхностей заготовок используют установочные линейки, жесткие валики и валики с подвижной шайбой, установочные оправки и центры, визирный микроскоп и различные индикаторные центронкатели.

Для обработки заготовок на КРС применяют стандартные и специальные режущие инструменты, которые устанавливают и закрепляют в сверлильных и цанговых патронах, универсальных расточных патронах, консольных оправках и борштангах.

Заготовки закрепляют либо прижимами и прихватами, собираемыми из крепежного комплекта КРС, либо с помощью универсальных приспособлений (патронов, тисков и т.п.). При установке и закреплении нежестких заготовок или с поверхностями, подлежащими обработке и расположенными на большом расстоянии от мест крепления, применяют дополнительные подводимые опоры. При этом необходимо контролировать возможные деформации заготовки индикаторами.

Обработка отверстий на КРС. Обработку системы отверстий в заготовке следует выполнять за одну ее установку, что обеспечивает большую точность межосевых расстояний и расположения осей относительно технологических баз. Для повышения производительности и уменьшения вероятности ошибок при

отчете координат при обработке системы отверстий используют координатную записку, представляющую собой таблицу. В последней указаны номера отверстий, определяющие последовательность их обработки, диаметральные размеры отверстий с допускаемыми отклонениями, требующая шероховатость и координаты центров отверстий, подлежащих обработке в принятой для данной заготовки системе координат.

Необходимый набор видов обработки и последовательность их выполнения выбирают в зависимости от заданной точности диаметрального размера отверстия, его геометрической формы, шероховатости.

При обработке отверстий в сплошном материале применяют: разметку, сверление, рассверливание, растачивание, развертывание. Отверстия диаметром 40 – 100 мм следует предварительно обрабатывать на сверлильных или расточных станках, оставляя припуск 2-3 мм на сторону под окончательную обработку на КРС. Отверстия диаметром св. 100 мм рекомендуется предварительно фрезеровать по разметке на фрезерных станках, оставляя припуск 3-4 мм на сторону под растачивание на КРС.

Разметка отверстий имеет целью предварительно определить и зафиксировать на поверхности заготовки положение осей отверстий. Оси отверстий с малым диаметральным размером (св. 1,2 мм) размечают центрами, рискообразовательными или автоматическими кернами. Этими инструментами выдавливаются керны-лунки. Для отверстий диаметром до 3 мм сверлят лунки центровочными сверлами с длиной поперечной кромки 0,1 – 0,2 мм. Отверстия диаметром св. 3 мм размечают центровочными сверлами. На точность разметки существенно влияет точность установки сверла в шпинделе КРС. Перед выполнением разметки следует проверить положение сверла на отсутствие биения.

При выполнении работ повышенной точности разметку осуществляют в два этапа: сначала сверлят лунки диаметром 1 мм, контролируют точность разметки и затем углубляют лунки до заданных размеров. Диаметральные размеры лунки должны несколько превышать длину поперечной кромки сверла, которым предполагается сверление отверстия, но не больше диаметра сверла. Разметочные лунки сверлят при частоте вращения шпинделя 1200 – 1500 об/мин.

Сверление и рассверливание отверстий на КРС выполняют спиральными быстрорежущими или твердосплавными сверлами. Материал сверла, форму и углы заточки выбирают в зависимости от материала заготовки. Рекомендуется применять сверла с обратной конусностью, что уменьшает трение ленточек сверла об обрабатываемую поверхность и снижает вероятность его защемления при нагреве. При сверлении отверстий малого и среднего диаметров следует периодически выводить сверло из обрабатываемого отверстия и очищать его от стружки.

Растачивание отверстий на КРС выполняют после сверления или рассверливания отверстий. Растачивание позволяет исправить положение осей отверстий, обеспечивает высокую точность диаметральных размеров и геометрической формы, и хорошее качество поверхности. Растачивание осуществляют специальными расточными резами, закрепленными в расточных оправках, головках и универсальных расточных патронах, входящих в комплект КРС. Точность растачивания зависит от многих факторов, в том числе и от типа применяемого резцедержателя.

Развертывание отверстий на КРС выполняют после предварительного рассверливания или растачивания. Используют обычные или упорно-цилиндрические развертки. Последние закрепляют с помощью конического хвостовика и затяжного болта, что обеспечивает присоединение инструмента и высокую точность центрирования. Это дает при обработке высокую точность диаметральных размеров отверстий, хорошее направление их осей. Припуск на развертывание отверстий выбирают в пределах 0,05 – 0,15 мм. Скорость резания при обработке такими развертками 5 – 10 м/мин при подаче 0,1 – 0,2 мм/об. В общем случае режимы резания при развертывании назначают в зависимости от свойств материала заготовки и требований к качеству обработки. Развертывание выполняют с применением СОЖ (например, смесь керосина и касторового масла в соотношении 1 : 1).

Отверстия диаметром 10 – 30 мм после предварительного растачивания раскатывают для получения высоких качеств поверхности, точности отверстий и упрочнения (наклепа) их поверхностного слоя.

Фрезерование на КРС плоскостей, прямолинейных и фигурных пазов, криволинейных поверхностей и другие виды фасонного

фрезерования рекомендуется выполнять только в тех случаях, когда требования точности поверхностей или их расположения не могут быть обеспечены на станках других типов. Фрезерование осуществляют концевыми, торцовыми и фасонными фрезерами из быстрорежущей стали или твердых сплавов.

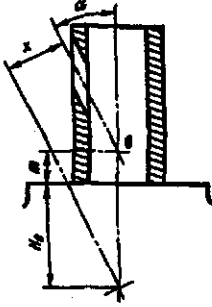
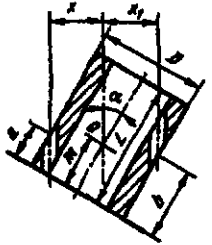
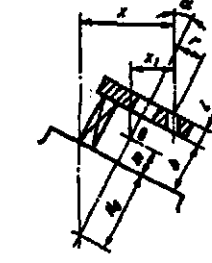
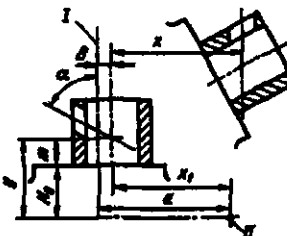
Особенности обработки заготовок на КРС с использованием поворотного делительного стола (ГПДС и УПДС). Для обработки с использованием ГПДС системы отверстий или других поверхностей заготовки, положение которых задано в полярной системе координат, нужно совместить начало координат (полос) с осью вращения планшайбы ГПДС. При этом возможны два случая: первый – когда на заготовке имеется базовое отверстие, ось которого совпадает с началом (полосом) полярной системы координат обрабатываемых поверхностей заготовки; второй – когда базового отверстия в заготовке нет, а положение начала полярной системы координат поверхностей заготовки закоординировано размерами относительно базовых поверхностей заготовки.

В обоих случаях для совмещения начала координат заготовки с осью вращения планшайбы необходимо предварительно, до установки на стол заготовки, совместить ось вращения шпинделя с осью вращения планшайбы ГПДС, закрепленного на главном столе станка. Затем на планшайбу устанавливают заготовки и совмещают начало системы координат заготовки с осями вращения планшайбы и вращения шпинделя; в этом положении заготовку закрепляют и разворотом планшайбы добиваются параллельности полярной оси системы координат заготовки относительно какой-либо оси прямоугольной системы координат станка. При обработке заготовок координаты обрабатываемых поверхностей задаются разворотом планшайбы, а линейные – перемещением главного стола.

Перед обработкой заготовок УПДС рекомендуется проверить параллельность плоских поверхностей планшайбы и главного стола, перпендикулярность плоской поверхности планшайбы к осям вращения шпинделя и планшайбы при ее вертикальном и горизонтальном положениях.

Для расчета углов наклона планшайбы в вертикальной плоскости и перемещений главного стола, необходимых для обеспечения требуемого положения обрабатываемых поверхностей заготовки, нужно знать точные значения геометрических констант УПДС (табл. 21).

21. Примеры расчета координат при обработке заготовок на КРС с применением универсальных поворотных столов

Эскиз	Пример расчета
<i>Обработка на столах с пересекающимися осями</i>	
	<p>Определить перемещение стола x после наклона планшайбы на угол α (ось отверстия проходит через точку O).</p> $x = (H_0 - m) \sin \alpha$
	<p>Определить перемещение x и x_1 стола после наклона планшайбы на угол α.</p> $x = 0,5D \cos \alpha + (m - a) \sin \alpha;$ $x_1 = 0,5D \cos \alpha + (b - m) \sin \alpha$
	<p>Определить перемещение x и x_1 стола после наклона планшайбы на угол α.</p> $x = (H_0 + b + l + r / \operatorname{tg} \alpha) \sin \alpha;$ $x_1 = (l + b - m) \sin \alpha + r \cos \alpha$
<i>Обработка на столах с непересекающимися осями</i>	
	<p>Определить перемещение стола x после наклона планшайбы на угол α.</p> <p>Если $x_1 \cos \alpha < y \sin \alpha$, то $x = x_1 + y \sin \alpha - x_1 \cos \alpha$; если $x_1 \cos \alpha > y \sin \alpha$, то $x = x_1 - x_1 \cos \alpha + y \sin \alpha$, где $x_1 = a - B$; $y = H_0 + m$</p>
<p>Оси планшайбы: <i>I</i> – вращения; <i>II</i> – наклона</p>	
<p>Обозначения: H_0 и a – константы столов; m – расстояние от центра шарового наконечника (точка O) установочного стержня до плоской поверхности планшайбы</p>	

Основной геометрической характеристикой столов с пересекающимися осями является константа стола H_0 – расстояние от плоской поверхности планшайбы до оси наклона стола. УПДС с непересекающимися осями характеризуются двумя константами: расстоянием H_0 от плоскости планшайбы до оси наклона стола и расстоянием a между осью вращения планшайбы и осью наклона стола.

Константы столов записывают в паспортах станков и наносят с помощью клеймения на поверхности столов. В процессе эксплуатации плоская поверхность планшайбы изнашивается и константа H_0 изменяется, что вызывает необходимость периодических проверок констант столов.

Установка и выверка положения заготовок на планшайбе УПДС аналогичны установке заготовок на ГПДС.

Углоизмерительные системы УПДС позволяют отсчитывать углы наклона планшайбы с точностью $1' - 3'$. Если такая точность недостаточна, для более точного определения угла наклона используют специальный центрирующий стержень с шаровым наконечником, который у столов с пересекающимися осями укрепляют в центральном отверстии планшайбы, так как ось отверстия планшайбы должна совпадать с осью ее вращения.

Например, для того чтобы наклонить планшайбу на угол α (рис. 161), достаточно при горизонтальном положении планшайбы совместить ось шпинделя с осью вращения планшайбы, переместить главный стол станка на величину B и наклоном планшайбы добиться совмещения оси шпинделя с центром шарового наконечника установочного стержня *I*. Для совмещения оси шпинделя с центром шарового наконечника можно использовать ватерпас *2*.

Необходимое перемещением стола

$$B = (H_0 + m) \sin \alpha,$$

где H_0 – константа УПДС; m – расстояние от центра шарового наконечника до плоскости планшайбы (величина выгравирована на установочном стержне); α – требуемый угол наклона планшайбы.

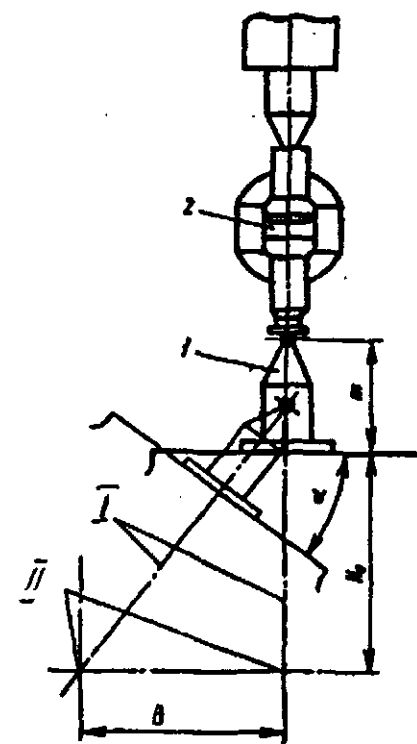


Рис. 161. Схема точного наклона планшайбы на угол α с помощью установочного стержня и ватерпаса. Оси планшайбы: *I* – вращения; *II* – наклона

ОБРАБОТКА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Фрезерование. На фрезерных станках отрезают заготовки, фрезеруют плоские поверхности, пазы, уступы, криволинейные и винтовые поверхности, тела вращения, резьбы. Различают фрезерные станки с прерывистым циклом обработки (простые и универсальные, резбозфрезерные и др.), предусматривающие вспомогательный обратный ход или выключенные подачи для снятия и закрепления заготовок, и станки с непрерывным циклом (с вращающимся столом, барабаном или конвейерного типа), на которых заготовки снимают и закрепляют во время рабочего хода.

Вибро- и износостойкость фрез повышает механическое крепление сменных многогранных пластин на рабочей части винтом (рис. 162). Тангенциальное расположение пластин позволяет значительно увеличивать подачу на зуб

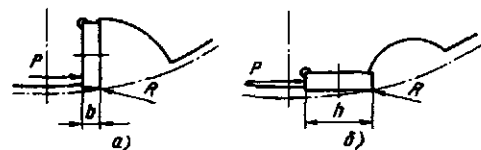


Рис. 162. Схемы крепления СМП винтом: *a* – радиально; *b* – тангенциально; *P* – сила резания; *R* – реактивная сила

фрезы s_z , так как силу деформации воспринимает пластина высотой $h > b$.

Производительность фрезерования характеризует минутная подача

$$s_m = 3185 s_z v K,$$

где s_z – подача на зуб, мм; v – скорость резания, м/мин; $K = z/D$ (число зубьев z на 1 мм диаметра фрезы D).

На эффективность обработки кроме формирования режимов резания влияет сокращение вспомогательного времени на управление станком, закрепление заготовки, смену и настройку инструмента. Высокопроизводительное фрезерование сопровождается значительными силами резания, резко колеблющимися по величине, поэтому следует уделять особое внимание жесткости технологической системы.

22. Шаг зубьев пил T , мм

Отрезаемая заготовка		e	T
Сечение	Материал		
	Алюминий, медь, стальные отливки, сталь конструкционная и жаропрочная	–	$d^{0,49} + 2,5$
	Латунь, бронза, чугун, инструментальная сталь	–	$d^{0,45} + 2,0$
	Стальной прокат	–	$d^{0,45} + 2,0$
	Стальные трубы	0,1d	$d^{0,43} + 1,7$
		0,05d	$d^{0,41} + 1,5$
		0,025d	$d^{0,35} + 1,3$

Отрезка. На универсально-фрезерных станках отрезают литники и прибыли: набором дисковых отрезных фрез отрезают крышки коренных подшипников двигателя, отлитые в общий блок и подвергнутые ранее механической обработке, а также выполняют другие операции, используя фрезы: из быстрорежущей стали диаметром 20–315 мм, $b = 0,2 \dots 6,0$ мм; сборные с вставными ножами диаметром 125–315 мм, $b = 5 \dots 12$ мм; твердосплавные монолитные диаметром 20–125 мм, $b = 0,2 \dots 1,6$ мм; с припайными пластинами диаметром до 315 мм, $b \geq 1,6$ мм. При отрезке твердосплавными фрезами заготовок из черных металлов $v = 50 + 180$ м/мин, $s_z = 0,01 \dots 0,04$ мм/зуб; при отрезке заготовок из цветных металлов $v = 80 \dots 400$ м/мин, $s_z = 0,02 \dots 0,10$ мм/зуб.

Заготовки из проката отрезают на фрезерно-отрезных станках дисковыми пилами: монолитными диаметром 210 ... 315 мм, $b = 1,6 \dots 3$ мм; сегментными диаметром 210–1800 мм, $b = 3 \dots 15$ мм; дисковыми с диаметром 210–1800 мм, $b = 4 \dots 12,5$ мм с припайными твердосплавными пластинами; диаметром 210–2000 мм, $b = 6,35$ мм с механическим креплением твердосплавных пластин. Шаг зубьев пил приведен в табл. 22.

Для отрезки заготовок из черных металлов пилами $v = 9 \dots 30$ м/мин, $s_m \leq 800$ мм/мин; пилами с припайными твердосплавными пластинами $v = 70 \dots 150$ м/мин, $s_z = 0,15 \dots 0,22$ мм/зуб; заготовок из алюминия $v = 500 \dots 2000$ м/мин, $s_m \leq 1500$ мм/мин.

Плоские поверхности предпочтительно фрезеровать торцовыми фрезами с СМП с углом в плане ϕ , равным 45, 60 и 75° (рис. 163, табл. 23), или с круглыми пластинами. Для плоских поверхностей с прямым уступом $\phi = 90^\circ$. При черновом фрезеровании глубина резания (снимаемый припуск a) лимитируется длиной режущей поверхности пластины; при чистовом фрезеровании $a = 0,5 \dots 1$ мм. Шпиндель чистовой фрезы устанавливают с уклоном 0,0001, чтобы исключить контакт с обработанной поверхностью зубьев, не участвующих в резании. Диаметр торцовой фрезы $D \geq 1,2B$, где B – ширина фрезеруемой плоской поверхности, мм. Режимы резания торцовыми фрезами приведены в табл. 24.

Фирма Сандвик Кормант (Швеция) производит торцовые фрезы с креплением твердосплавных пластин подпружиненными плунжерами (рис. 164), что ускоряет процесс смены пластин. Корпус торцовой фрезы состоит из

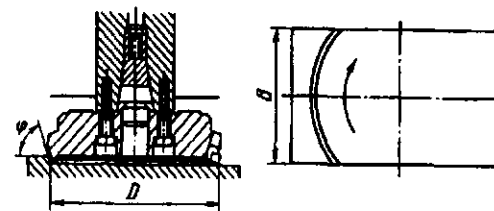


Рис. 163. Схема фрезерования открытых плоских поверхностей торцовой фрезой

23. Угол в плане ϕ° торцовых фрез

Обрабатываемый материал	Фрезерование		
	черновое	получистовое	чистовое ¹
Сталь	45; 60	75	45; 75
Чугун	45; 60	75	45; 75
Алюминиевый сплав	75	75	75

¹С зачистными торцовыми кромками.

массивной планшайбы 1 (закрепленной на шпинделе станка постоянно) и съемной ажурной обоймы 2 с режущими пластинами 3, которая прикрепляется к планшайбе центральным болтом 4, благодаря чему значительно облегчена смена инструмента диаметром 315–500 мм.

Торцовыми фрезами с механическим креплением минералокерамических пластин – многозубыми ($K = 0,06 \dots 0,075$) и однозубыми при достаточной жесткости СПИД возможна обработка плоских поверхностей с повышенными режимами резания (табл. 25). Торцовые фрезы, оснащенные сверхтвердым материалом (СТМ), используют для чистовой обработки заготовок из закаленных сталей и чугунов повышенной твердости, а также цветных металлов (например, при фрезеровании заготовок из легированного чугуна 58 ... 60 HRC фрезой диаметром 100 мм, $z = 7$, с пластинами из кубического нитрида бора диаметром 9,5 мм, $a = 0,5$ мм; $B = 65$ мм, $s_z = 0,28$ мм/зуб, $v = 200$ м/мин; при фрезеровании заготовок из алюминиевого сплава, содержащего 8–10 % Si, фрезой, оснащенной пластинами из поликристаллического синтетического алмаза, $a = 0,2$ мм, $s_z = 0,08$ мм/зуб, $v = 1480$ м/мин, $Ra = 0,6 \dots 0,3$).

На многошпиндельных фрезерных станках с непрерывным циклом проводят последовательную обработку плоских поверхностей черновыми и чистовыми фрезами, а при двусторонней обработке поверхностей – с переключением заготовок (рис. 165, 166), обеспечивая их высоту с точностью 11–13-го качества и шероховатостью поверхности $Ra = 3,2 \dots 1,25$. Особенно двусторонней обработки плоских поверхностей чугуна блока автомобильного двигателя набором торцовых фрез (рис. 166),

24. Режимы резания торцовыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами [$s_z = (0,4 \dots 0,1)$ мм/зуб¹]

Обрабатываемый материал	v , м/мин
Сталь:	
углеродистая, 150HB	100–200
литая нелегированная, 225HB	80–150
аустенитная, 200HB	100–160
Чугун серый, 300HB	75–125

¹ При тангенциальном расположении режущих пластин $s_z = 1,5$ мм/зуб; для меньших значений s_z принимать большие значения v .

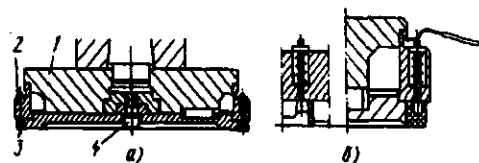


Рис. 164. Торцовая фреза с креплением твердосплавных пластин подпружиненным плунжером: а – фреза; б – узел крепления

25. Режимы резания торцовыми фрезами, оснащенными минералокерамическими пластинами

Обрабатываемый материал	Фреза	
	s_z , *1 мм/зуб	v , м/мин
Чугун серый:		
250HB	$\frac{0,2}{0,5-5}$	$\frac{100-1000}{100-1000}$
500HB	$\frac{0,05}{0,5}$	$\frac{80-350}{80-350}$
Сталь:		
цементованная, улучшенная	$\frac{-}{0,5}$	$\frac{-}{100-750}$
закаленная, 60HRC	$\frac{-}{0,5}$	$\frac{-}{60-150}$

*1 При $s_z \leq 1,5$ мм/зуб $a \leq 0,2$ мм.

Примечание. В числителе режимы резания при обработке многозубой фрезой, в знаменателе – однозубой.

оснащенных твердым сплавом (1 и 2 – черновых, 4 и 5 – чистовых на карусельно-фрезерном станке с непрерывно вращающимся барабаном), является применение "пульсирующего" шпинделя с фрезой 3. Этот шпиндель получает добавочное перемещение на 150 мм от копира, смонтированного на барабане с таким расчетом, чтобы траектория относительного движения фрезы 3 была параллельна основанию блока (вид А) и при вращении барабана эта фреза не срезала нижнего уступа блока, выступающего за пределы фрезеруемой поверхности. За каждый оборот барабана снимают одну обработанную деталь и на ее место устанавливают заготовку.

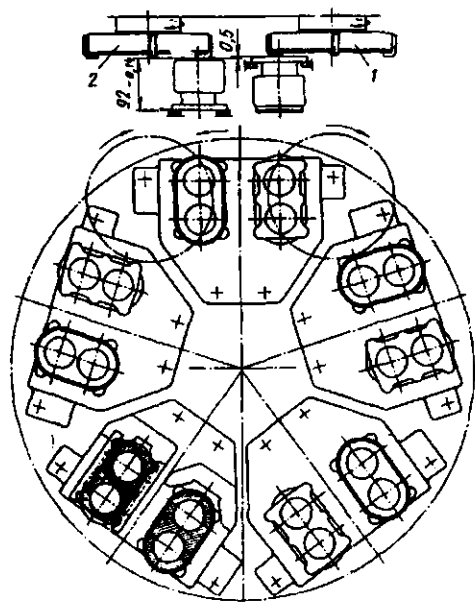


Рис. 165. Схема фрезерования торцов заготовок на двухшпиндельном фрезерном станке с вращающимся столом: 1 – черновая фреза; 2 – чистовая фреза

На рис. 167 показана наладка фрезерно-центровочного станка. Применение торцовых фрез с СМП точного исполнения исключает подналадку при повороте и смене пластин. Центровочные сверла закрепляют в сменных втулках с регулируемым упором, что позволяет налаживать вылет сверл вне станка.

Плоские поверхности обрабатывают цилиндрическими фрезами с встречной или попутной подачей. Попутное фрезерование способствует повышению стойкости фрез и уменьшению шероховатости обработанной поверхности, но для его осуществления требуется устройство, компенсирующее зазоры в механизме подачи. На станках с обычной гайкой ходового винта рекомендуется встречное фрезерование. Направление винтовых зубьев цилиндрических фрез выбирают из расчета действия осевой составляющей силы резания в сторону шпинделя станка (рис. 168).

Уменьшения параметра шероховатости поверхности и вибраций достигают, работая фрезами минимально возможного диаметра D с малым шагом, закрепленными на коротких бесконсольных оправках.

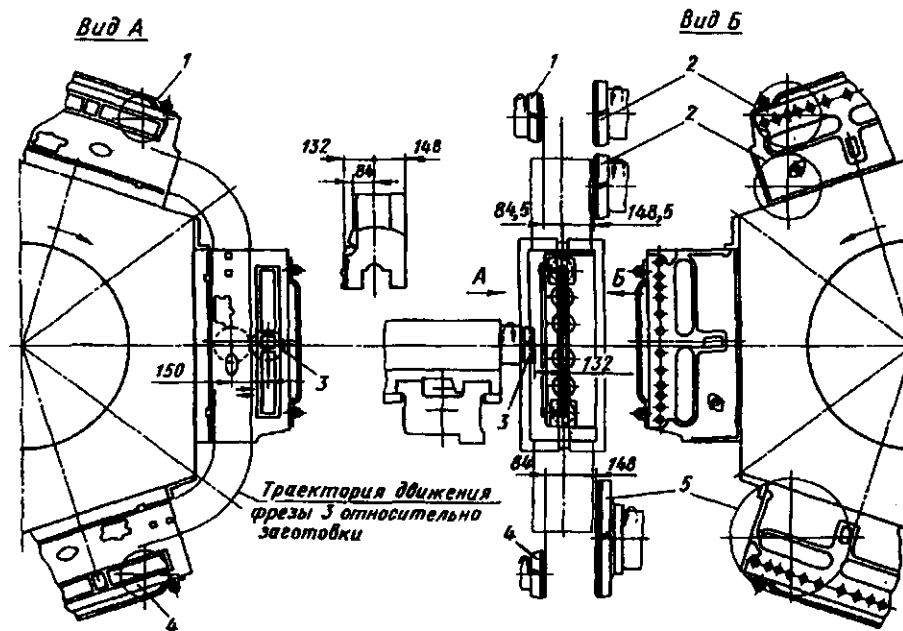


Рис. 166. Схема фрезерования плоских поверхностей блока на карусельном барабанно-фрезерном станке

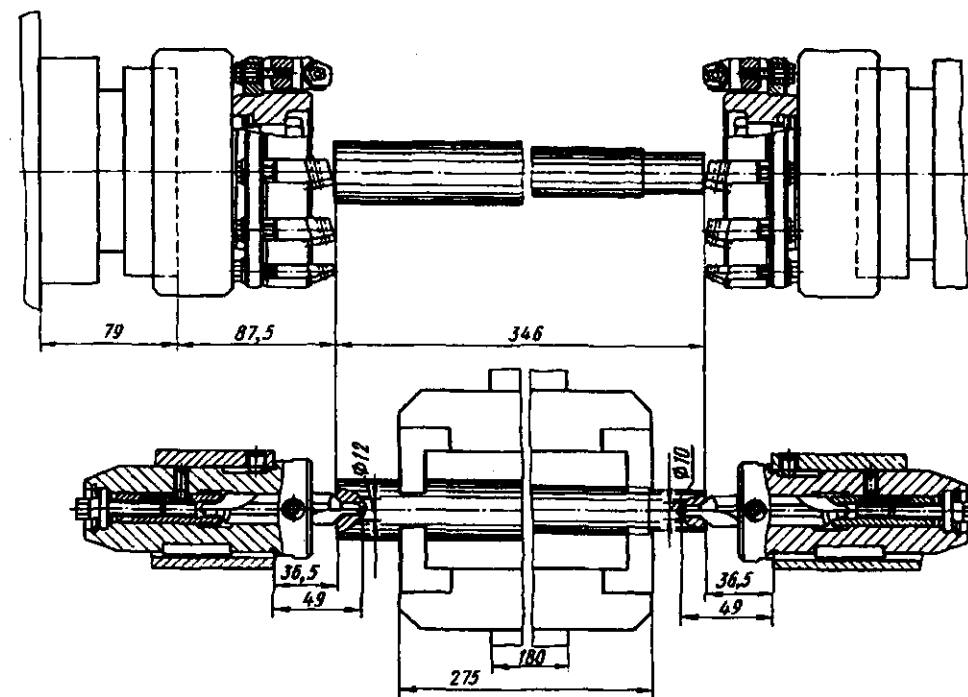


Рис. 167. Наладка фрезерно-центровочного станка

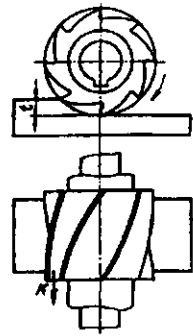


Рис. 168. Схема фрезерования плоской поверхности цилиндрической фрезой: K — осевая составляющая силы резания; t — глубина резания

Уступы, пазы и проушины обрабатывают двумя способами: дисковыми или концевыми (торцовыми насадными) фрезами. Выбор варианта зависит от конструктивно заданного на изделии выхода инструмента и от высоты (глубины) обрабатываемой поверхности H (рис. 169), которую лимитируют диаметры D дисковой фрезы и d_1 проставочных колец или длина режущей части концевой фрезы l ; $H > (D - d_1)/2$, $H < l$.

Фрезерование нескольких уступов или пазов наборами фрез с МКНРП следует выполнять на мощных станках, используя оправку наименьшей возможной длины с поддержкой в подшипниках кронштейнов с маховиком для снижения крутильных колебаний (рис. 170).

Режущую часть концевых и насадных торцовых фрез для обработки уступов изготавливают из быстрорежущей стали или твердого

сплава: монолитными, с припаянными пластинами и с СМП. Фрезы из быстрорежущей стали имеют угол подъема винтовых канавок $\omega \approx 40^\circ$, неравномерный угловой шаг и небольшое число зубьев; фрезы с припаянными винтообразными пластинами: чистовые имеют угол $\omega \approx 30^\circ$ (рис. 171, а); черновые с волнистой режущей кромкой ("кукурузные") угол $\omega \approx 30^\circ$ (рис. 171, б); концевые фрезы диаметром 32 – 100 мм (рис. 169, в) и торцовые насадные фрезы диаметром 80 – 125 мм (рис. 172) с привернутыми твердосплавными пластинами, расположенными в шахматном порядке на винтовых зубьях, имеют угол $\omega \approx 20^\circ$.

Концевыми и насадными торцовыми фрезами обрабатывают открытые пазы с продольной подачей на всю глубину. Для обработки закрытых пазов ("карманов") предварительно сверлят отверстие на глубину паза, предпочтительно сверлом с СМП, а затем вводят в отверстие концевую фрезу и с продольной подачей проводят обработку на заданной длине.

Однако с применением сверлопазовых фрез возможна комбинированная обработка заготовок из алюминиевых и титановых сплавов с осевой подачей на глубину паза (рис. 173, а) и с продольной подачей на его длину (рис. 173, б). Один из двух зубьев сверлопазовой фрезы состоит из припаянной твердосплавной пластины 1, работающей периферией и торцовой режущей кромкой длиной, равной половине диаметра, а второй — из припаянной периферийной пластины 2.

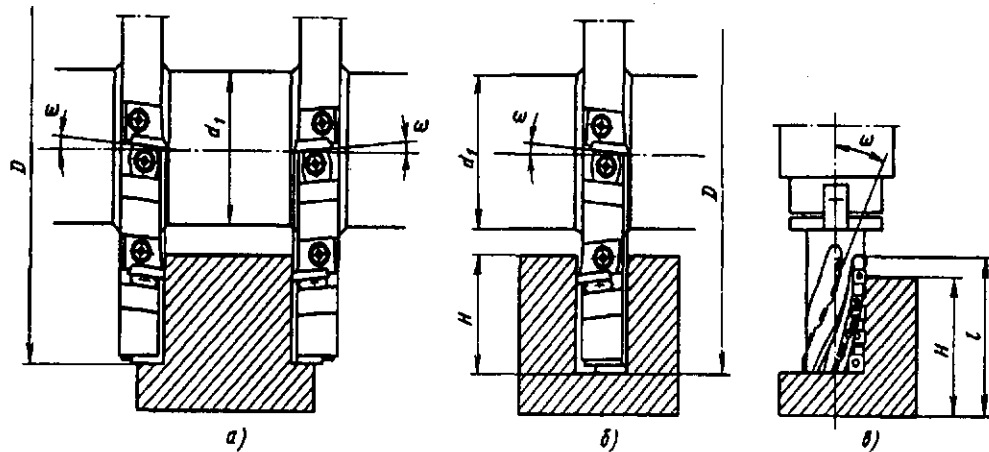


Рис. 169. Схемы фрезерования: а — выступов набором двусторонних фрез; б — паза трехсторонней дисковой фрезой; в — уступа концевой фрезой

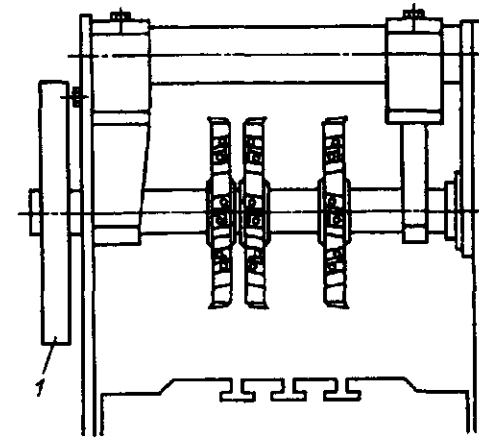


Рис. 170. Набор дисковых фрез для обработки пазов: 1 — маховик

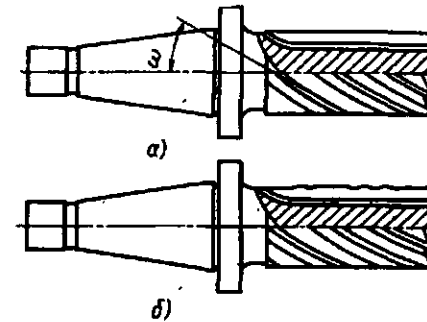


Рис. 171. Концевая фреза с винтовыми твердосплавными пластинами: а — чистовая; б — черновая

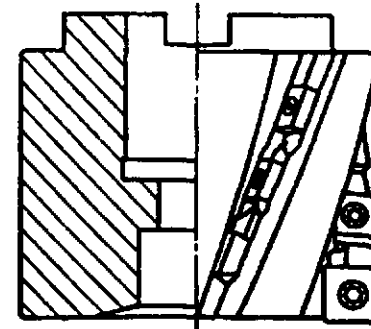


Рис. 172. Торцовая насадная фреза с квадратными пластинами, чередующимися от зуба к зубу в шахматном порядке

Шпоночные пазы закрытого типа обрабатывают на валах двухзубой концевой фрезой по "челночной" схеме с ручной или автоматической осевой подачей в конце каждого продольного хода. Шпоночные пазы, расположенные последовательно с поворотом вокруг оси, а диаметрально расположенные пазы — одновременно на двусторонних фрезерных станках. Для компенсации износа фрезы по диаметру и получения точных по ширине пазов применяют патроны, регулирующие эксцентриситет фрезы (рис. 174).

При фрезеровании сегментных пазов фрезу поддерживают центром (рис. 175, а). Глубокие проушины обрабатывают на горизонтально-фрезерном станке с поддержкой инструмента втулкой (рис. 175, б). Т-образные пазы фрезеруют за две операции: дисковой и грибковой фрезами (рис. 175, в), угловые пазы (ласточкин хвост) — угловой фрезой на вертикально-фрезерном станке с поворотной головкой (рис. 175, г).

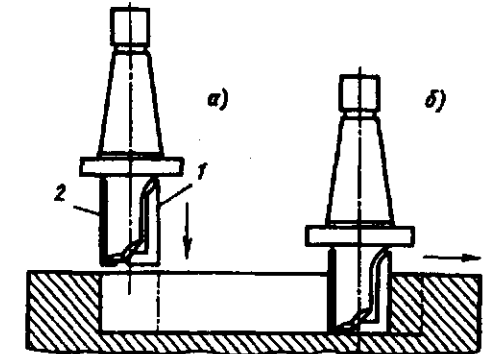


Рис. 173. Обработка закрытого шпоночного паза сверлопазовой фрезой фирмы Вальтер (ФРГ)

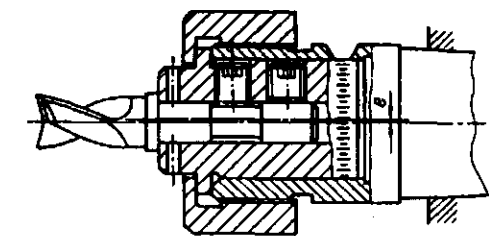


Рис. 174. Схема закрепления концевой фрезы в эксцентриковом патроне; е — эксцентриситет

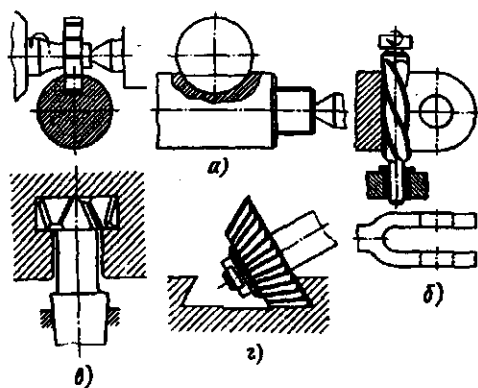


Рис. 175. Схемы фрезерования: а - паза под сегментную шпонку; б - проушины концевой фрезой; в - Т-образного паза грибовидной фрезой; з - паза типа ласточкина хвоста угловой фрезой

Профильные поверхности фрезеруют фасонными фрезами, наборами фрез, червячными фрезами и с помощью копирных устройств. Затупленные или острозаточенные фрезы из быстрорежущей стали, армированные твердым сплавом или с СМП, характеризует небольшое число зубьев, малая подача на зуб и, как следствие этого, низкая производительность. У острозаточенных фасонных фрез большее число зубьев и лучшие геометрические параметры, поэтому применение их предпочтительно при наличии специального оборудования для переточки.

Наборы фрез с СМП, рассчитанные на использование стандартных пластин, ограничивают обрабатываемый профиль прямыми, угловыми и, частично, радиусными участками. Наборы фрез (рис. 176) рекомендуется хранить и эксплуатировать собранными на оправках.

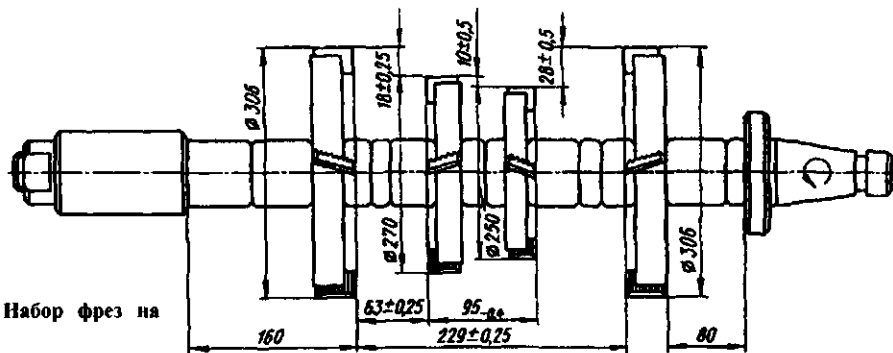


Рис. 176. Набор фрез на оправке

В чертежах наборов фрез указывают коды всех входящих в них инструментов, расстояния между фрезами, допустимую разницу диаметров, торцовое и радиальное биения, а также другие условия, обеспечивающие эксплуатацию без дополнительной подналадки на станке.

Для нарезания зубцов храповиков, звездочек и т.п. методом обкатывания на зубофрезерных станках используют червячные фрезы. Однако путем последовательного единичного поворота заготовки эти работы можно выполнять фасонными фрезами, но с меньшей производительностью и точностью. Режимы резания для фрез из быстрорежущей стали и твердого сплава приведены в табл. 26.

Копирное фрезерование осуществляют на станках (приспособлениях) прямого действия и на станках со следящим приводом. В первом случае изменение формы копира передается непосредственно на копировальный ролик, который воспринимает силы резания, возникающие при фрезеровании (рис. 177). Во втором случае изменение формы копира воспринимает следящее устройство (электрическое, гидравлическое или пневматическое), которое через усилитель передает команду рабочему механизму станка (рис. 178).

Станки со следящим приводом более совершенны, обеспечивают бесступенчатое регулирование скоростей подачи, отклонение размеров изделия от размеров копира в пределах $\pm (0,02 \dots 0,2)$ мм и шероховатость обработанной поверхности $Ra = 1,2 \dots 0,3$. На станках со следящим приводом возможна обработка сложных плоских криволинейных поверхностей в системе осей XY и пространственно-сложных поверхностей в системе XYZ.

26. Режимы резания для фрез из быстрорежущей стали (числитель) и твердого сплава (знаменатель)

Обрабатываемый материал	Параметры (s_z , мм/зуб; v_f , м/мин)	Фреза						фасонная
		цилиндрическая, цилиндрическая	цилиндрическая черновая	дискровая	концевая	концевая черновая	сверлошпоночная	
Сталь, σ_B , МПа: 600	s_z	$\frac{0,08-0,13}{0,1-0,3}$	$\frac{0,1-0,2}{0,1-0,4}$	$\frac{0,05-0,1}{0,1-0,4}$	$\frac{0,02-0,08}{0,04-0,15}$	$\frac{0,04-0,15}{0,08-0,2}$	$\frac{0,02-0,1}{0,05-0,1}$	$\frac{0,05-0,1}{-}$
	v_f	$\frac{25-30}{80-150}$	$\frac{25-30}{80-170}$	$\frac{25-30}{80-150}$	$\frac{25-30}{80-170}$	$\frac{25-30}{90-170}$	$\frac{25-30}{90-170}$	$\frac{20-25}{-}$
600-900	s_z	$\frac{0,05-0,1}{0,1-0,25}$	$\frac{0,08-0,15}{0,1-0,3}$	$\frac{0,04-0,08}{0,1-0,4}$	$\frac{0,01-0,06}{0,04-0,15}$	$\frac{0,03-0,1}{0,08-0,2}$	$\frac{0,02-0,08}{0,05-0,1}$	$\frac{0,04-0,06}{-}$
	v_f	$\frac{20-25}{60-150}$	$\frac{20-25}{70-140}$	$\frac{20-25}{60-150}$	$\frac{20-25}{80-170}$	$\frac{20-25}{70-140}$	$\frac{20-25}{70-140}$	$\frac{15-20}{-}$
900-1200	s_z	$\frac{0,04-0,08}{0,1-0,2}$	$\frac{0,04-0,1}{0,1-0,2}$	$\frac{0,03-0,06}{0,1-0,2}$	$\frac{0,01-0,04}{-}$	$\frac{0,02-0,08}{0,06-0,15}$	$\frac{0,01-0,05}{0,07-0,08}$	$\frac{-}{-}$
	v_f	$\frac{15-20}{45-90}$	$\frac{15-20}{55-90}$	$\frac{15-20}{50-90}$	$\frac{15-20}{-}$	$\frac{15-20}{55-90}$	$\frac{15-20}{55-90}$	$\frac{-}{-}$
Чугун	s_z	$\frac{0,08-0,15}{0,1-0,3}$	$\frac{0,1-0,2}{0,1-0,3}$	$\frac{0,04-0,1}{0,1-0,4}$	$\frac{0,02-0,08}{0,04-0,2}$	$\frac{0,03-0,12}{0,08-0,2}$	$\frac{0,02-0,08}{0,05-0,1}$	$\frac{0,05-0,08}{0,06-0,15}$
	v_f	$\frac{20-25}{60-90}$	$\frac{20-25}{60-100}$	$\frac{20-25}{60-90}$	$\frac{20-25}{60-100}$	$\frac{20-25}{50-100}$	$\frac{20-25}{50-100}$	$\frac{15-20}{50-90}$

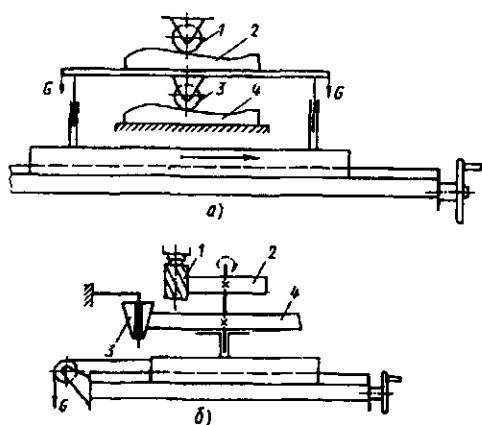


Рис. 177. Схемы копирного фрезерования: а – с продольной задающей подачей; б – с круговой задающей подачей; 1 – фреза; 2 – заготовка; 3 – копирующий ролик; 4 – копир; 5 – груз

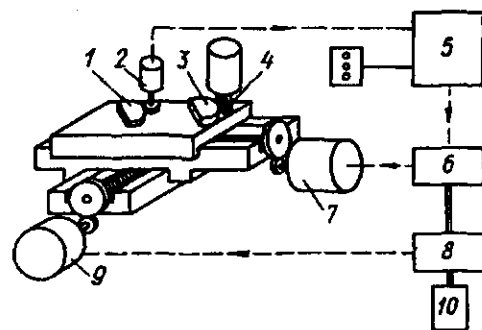


Рис. 178. Схема двухкоординатного копирующе-фрезерного станка: 1 – копир; 2 – следящее устройство; 3 – заготовка; 4 – фреза; 5 – усилитель; 6 – генератор; 7 – двигатель следящей подачи; 8 – генератор; 9 – двигатель следящей подачи; 10 – электродвигатель

Контурное фрезерование поверхностей тел вращения – наиболее производительный способ обработки, заменяющий точение. Фрезерование проводят периферией дисковой фрезы при внешнем касании и поверхностью отверстия кольцевого (полого) инструмента – при внутреннем касании. В обоих случаях заготовку обрабатывают по всему контуру, включая подрезание торцов фланцев, шек и тому подобных поверхностей, примыкающих к шейкам, единичными фрезами или наборами, состоящими из монолитных быстрорежущих или

сборных фрез с СМП. Пластины чередуются от зуба к зубу в шахматном порядке, охватывая весь обрабатываемый контур. Особо широкие цилиндрические поверхности фрезеруют на два перехода, перемещая инструмент в осевом направлении.

Тела вращения фрезеруют путем внешнего или внутреннего касания фрез (рис. 179). Подача при этом может быть врезная (радиальная) или круговая (при вращении заготовки или планетарном движении инструмента).

При достижении максимальной площади срезаемого слоя врезную подачу уменьшают на 50 – 60 %, круговую – на 25 – 30 %, при раздельной врезной и круговой подачах – за один оборот заготовки, при совмещенной – за 1,1 – 1,2 оборота.

Скорость резания определяет частота вращения инструмента. В зависимости от обрабатываемого материала для инструмента из быстрорежущей стали $v = 40 \dots 60$ м/мин, из твердого сплава $v = 80 \dots 135$ м/мин. Врезная подача 0,2 ... 0,3 мм/зуб, круговая подача 0,4 ... 0,5 мм/зуб.

На рис. 180 показана схема контурного фрезерования ступенчатого вала набором фрез с СМП: $T_m = 0,33$ мин; $T_{шт} = 0,63$ мин с учетом вспомогательного времени на обслуживание станка 0,2 мин и автоматической смены заготовки 0,1 мин.

Контурное фрезерование коленчатых валов проводят на станках двух типов: при стационарном положении вала или при его вращении вокруг оси коренных подшипников. Фрезерование осуществляют методом наружного или внутреннего касания, т.е. дисковыми или кольцевыми фрезами с СМП. Дисковые фрезы центрируют на станке по отверстию, а кольцевые – по наружному диаметру инструмента.

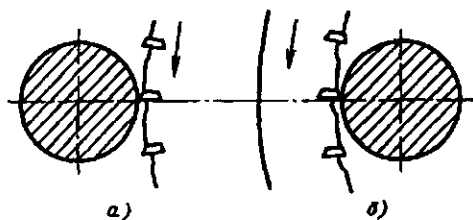


Рис. 179. Схемы круглого фрезерования поверхностей тел вращения: а – внешним касанием; б – внутренним касанием

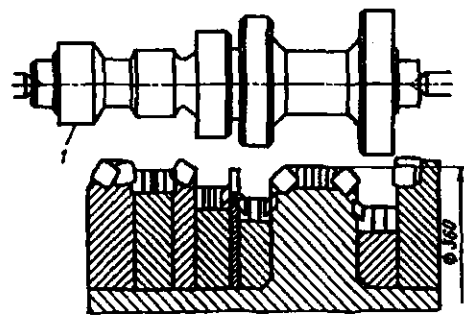


Рис. 180. Схема контурного фрезерования ступенчатой детали набором фрез фирмы Хейлилин-цитман (ФРГ): 1 – самоцентрирующий патрон

В процессе фрезерования шатунных шеек вращающегося вала инструмент (дисковая или кольцевая фреза) совершает возвратно-поступательное движение, управляемое копиром или по заданной программе, обеспечивая контакт с обрабатываемой поверхностью в соответствии с положением шейки в пространстве.

При обработке неподвижно закрепленного вала методом внутреннего касания диаметр кольцевой фрезы, совершающей планетарное вращение, меньше диаметра дисковой фрезы; условия работы привода передачи лучше и расходы на инструмент примерно на 30 % ниже. Обработку, как правило, осуществляют двумя фрезерными роторами, что позволяет одновременно фрезеровать по две пары коренных шеек, попарно фрезеровать шатунные шейки или по одной шатунной и коренной шейке. Достижимые допуски при обработке: диаметра шейки $\pm 0,1$ мм, расстояния между подшипниками $\pm 0,15$ мм, радиуса кривошипа $\pm 0,1$ мм. Шероховатость поверхности $Ra = 5 \dots 8$. Мощность главного привода каждого из роторов 30 – 55 кВт, мощность привода круговой подачи 2,5 – 4 кВт. Подача 0,35 – 0,45 мм/зуб. Вспомогательное время (снять и установить деталь в автоматизированном цикле) 0,8 – 1,0 мин; время на управление станком 0,25 – 0,3 мин/цикл; $T_m = 1,0 \dots 2,5$ мин; $T_{шт} = 3 \dots 6$ мин.

Фреза имеет по 10 комплектов пластин и более из сплава ТТ10К8Б, закрепляемых механическим путем. Внутренний диаметр фрезы при совпадении ее оси с осью центров станка (нейтральное положение) должен обеспечить возможность беспрепятственного прохода сквозь него коленчатого вала с патронами на передней и задней бабках, выгрузку, загрузку,

а также перемещение роторов в процессе обработки.

Стойкость фрезы составляет 400 шеек при массе снятой стружки 1 кг и 100 шеек при массе 4 кг. Средняя стойкость 480 мин.

На рис. 181 показаны переходы обработки коленчатого вала для восьмицилиндрового V-образного автомобильного двигателя. Заготовку подвергают предварительной обработке: фрезерованию торцов, центrovанию, фрезерованию базовых площадок.

Всю контурную обработку проводят на специальных однотипных фрезерных станках. Рис. 181 поясняет положение фрезы относительно обрабатываемой поверхности вала: I – нейтральное положение для загрузки и выгрузки заготовки вала; II – врезание при неподвижном роторе P; III, IV – планетарное вращение фрезы (круговая подача на участке с углом 360° ; V – остановка вращения и отвод ротора с фрезой в нейтральное положение I.

Контурную обработку вала осуществляют на трех станках. Наборами фрез 3 и 4 с СМП фрезеруют поверхности хвостовика, фланца и прилегающих к нему участков.

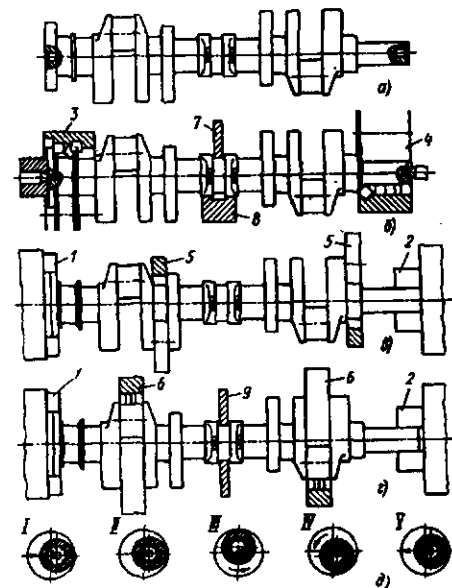


Рис. 181. Схемы контурного фрезерования коленчатого вала: а – заготовка; б – фрезерование хвостовика и фланца; в – фрезерование коренных шеек; г – фрезерование шатунных шеек; д – положение фрезы в процессе обработки

При этом вал фиксируют в осевом направлении и по базовым площадкам опорой 8 с зажимом 7 (рис. 181, б). На другом станке, у вала, закрепленного в патронах 1 и 2, фрезами 5 с СМП обрабатывают попарно за два перехода четыре коренные шейки (рис. 181, в). На третьем станке, зафиксированный в осевом направлении вал, закрепленный в патронах 1 и 2 с поддержкой люнетом 9, подвергают дальнейшей обработке – фрезеруют попарно шатунные шейки, оси которых расположены в горизонтальной плоскости (рис. 181, з). После фрезерования первой пары шеек вал поворачивают (для чего на передней бабке предусмотрено делительное устройство), перемещают роторы с фрезами 6 и фрезеруют вторую пару шатунных шеек.

Винтовые поверхности фрезеруют дисковыми, концевыми ("пальцевыми") и червячными фрезами. Условно винтовые поверхности можно разделить на несопрягаемые (канавки режущих инструментов, копиры и т.п.) и сопрягаемые (резьбы, винтовые шестерни и др.).

Производящая поверхность инструмента должна быть рассчитана исходя из заданных параметров винтовых канавок, особенно при больших углах подъема винтовой линии. Винтовые поверхности фрезеруют при одновременном относительном вращательно-поступательном движении заготовки и инструмента. При фрезеровании винтовых канавок заготовку закрепляют в делительной головке, включенной в кинематическую цепь станка, настроенного на заданный угол и шаг винтовой линии. При фрезеровании винтовых канавок на конической поверхности заготовку устанавливают под углом, близким к половине угла конуса. Настроив станок на осредненный шаг винтовой линии, угол поворота незакрепленного стола корректируют копиром-угольником в процессе продольного движения.

Прямоугольные или трапециевидные винтовые канавки копиров фрезеруют пальцевой фрезой. Винтовые эвольвентные поверхности зубьев шестерен и валов обрабатывают червячными фрезами на зубофрезерных станках.

Резьбы крупного шага и большой длины фрезеруют монолитными или сборными дисковыми резьбовыми фрезами при непрерывном вращении и осевом перемещении заготовки. Требуемой глубины резьбы достигают установкой соответствующего межцентрового расстояния за пределами детали.

Производительность фрезерования резьб гребенчатыми фрезами ниже производительности

нарезания резьб головками и метчиками, а тем более накачивания. Фрезеруют резьбы: крупных деталей, закрепление которых на других станках невозможно; пересеченных шпоночными пазами или лысками (рис. 182); тонкостенных деталей; с ограниченным сбегом.

За период фрезерования резьбы гребенчатой фрезой продольная подача $s_{пр} = (1,1 \dots 1,2)Pi$, где P – шаг резьбы; i – число заходов. Резьбофрезерование обеспечивает поле допуска $6h/6H$ и шероховатость $Ra = 5 \dots 2,5$. Гребенчатой фрезой определенного шага и длины можно фрезеровать все наружные резьбы данного шага независимо от их диаметра; при фрезеровании внутренних резьб (рис. 183) диаметр инструмента не должен быть больше $3/4$ диаметра резьбы. Скорость резания $v = 20 \dots 50$ м/мин; подача $s_z = 0,03 \dots 0,05$ мм/зуб. Эффективность резьбофрезерования возрастает с применением фрез, армированных твердым сплавом, и сборных фрез внутреннего касания, например, с дисковыми гребенками. Для последних требуются специальные резьбофрезерные станки.

Интенсификация фрезерной обработки. Оснащение фрезерных станков специальными линейками с визирами и устройством цифровой индикации повышает точность выполнения фрезерных операций по трем координатам до сотых долей миллиметра, значительно упрощает обслуживание станка и повышает производительность труда. Применение специальных приспособлений на обычных фрезерных станках сокращает или полностью исключает потери времени на вспомогательный ход и закрепление заготовок (рис. 184 – 186). Схема чистового фрезерования замка поршневого кольца на горизонтально-фрезерном станке приведена на рис. 186. Пакет предварительно разрезанных поршневых колец вручную укладывают на полукруглое основание корпуса приспособления так, чтобы нож, вмонтированный в корпус, вошел в прорез поршневого кольца. После включения подачи толкатель продвигает кольца в коническую трубчатую часть приспособления. По мере продвижения кольца сжимаются до нужного диаметра, проходят через фрезу, калибрующую ширину замка, и падают, нанизываясь на штангу, вмонтированную в толкатель. По окончании рабочего хода стол приводят в первоначальное положение, и новый пакет колец загружают в приспособление.

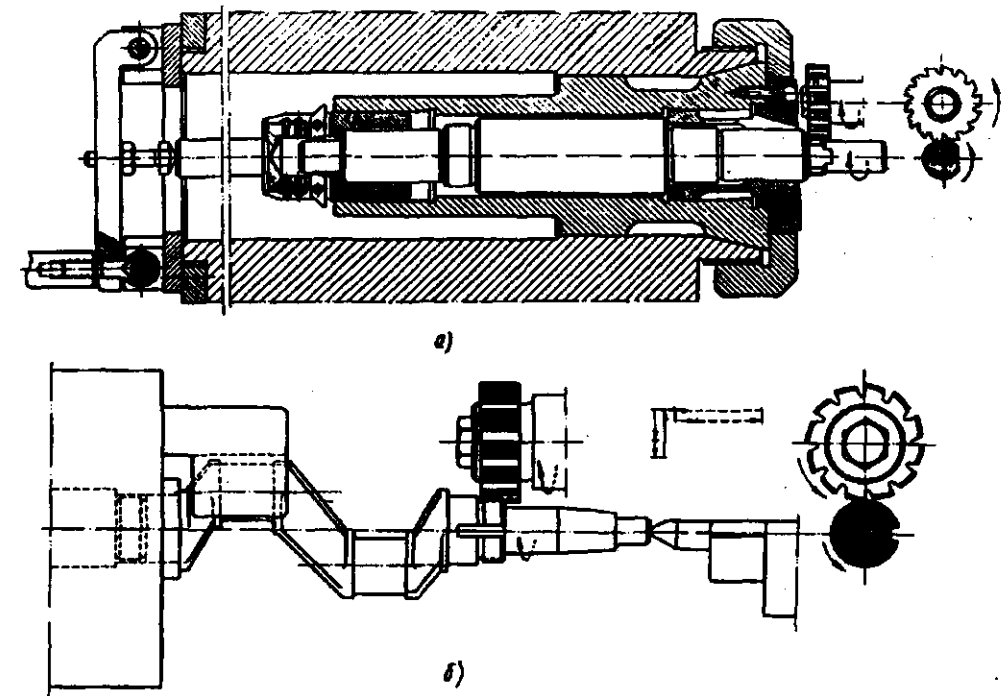


Рис. 182. Настройки резьбофрезерного станка: а – с установкой заготовки через шпиндель; б – для фрезерования резьбы на коленчатом валике



Рис. 183. Схема фрезерования внутренней резьбы гребенчатой фрезой

Оснащение универсальных фрезерных станков пневматическими или гидравлическими зажимными приспособлениями и командо-аппаратами, управляющими производственным циклом, превращает их в полуавтоматы. Фрезерные и многооперационные станки с ЧПУ особенно целесообразно использовать для комплексной обработки деталей в серийном производстве.

Рис. 184. Схемы фрезерования заготовки: а – на поворотном столе с двумя приспособлениями; б – на вертикально-фрезерном станке с вращающимся столом

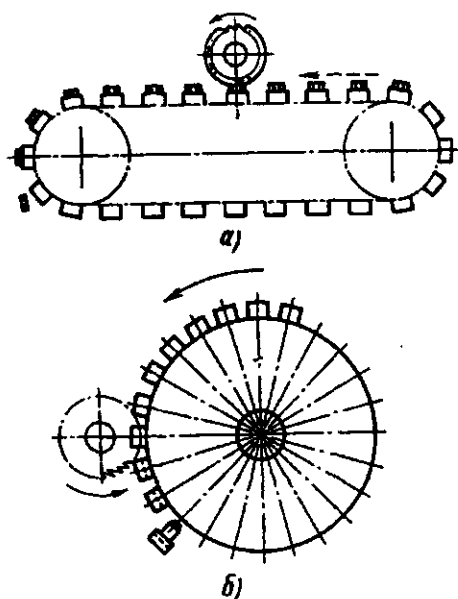


Рис. 185. Приспособление к горизонтально-фрезерному станку: а – конвейерного типа; б – барабанного типа

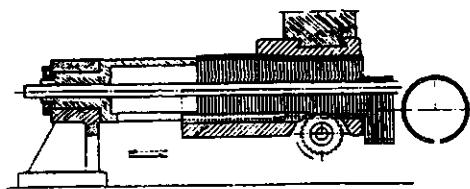


Рис. 186. Схема чистового фрезерования замка поршневых колец

ОБРАБОТКА НА СТРОГАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Строганием обрабатывают главным образом плоские, горизонтальные, вертикальные или наклонные поверхности, а также различного рода комбинации сложных фасонных поверхностей, представляющих собой в основном сочетание плоскостей, расположенных под разными углами. Кроме того, возможна обработка и таких фасонных поверхностей, профиль которых имеет криволинейные участки, образуемые дугами окружности или более сложными кривыми.

На строгальных станках обрабатывают детали малых размеров и крупные поковки, отливки или сварные конструкции длиной до 15 м, шириной до 6 м и высотой до 3 м, масса таких деталей может достигать 200 т.

В зависимости от вида выполняемых работ при продольном строгании обрабатываемая деталь обычно совершает прямолинейное возвратно-поступательное главное движение резания, а инструмент – периодическое движение подачи (рис. 187, а), в то время как при обработке поперечным строганием движение резания совершает инструмент, а движение подачи – обрабатываемая деталь (рис. 187, б). Общим признаком является резание однолезвийным инструментом – резцом, находящимся в периодическом контакте с обрабатываемым материалом.

Рабочий цикл строгания состоит из рабочего и обратного ходов, после чего совершается движение подачи, обычно направленное перпендикулярно к главному движению резания. В зависимости от направления движения подачи (горизонтального, вертикального или наклонного) можно обрабатывать плоскости в соответствующем положении (рис. 188, а). Таким же образом можно обрабатывать пазы и канавки разлитого профиля (рис. 188, б).

Профильное строгание используют для неплоских поверхностей, например, выпуклых и вогнутых скруглений, скосов и т.п. (рис. 188, в). С помощью копировальных устройств возможна обработка любых профилей постоянной длины (рис. 188, г). Кроме того, возможно применение управляющих устройств, изменяющих положение резца по высоте во время рабочего хода. Таким образом, например, на строгальных станках обрабатывают направляющие токарных станков с заранее установленной выпуклостью или вогнутостью.

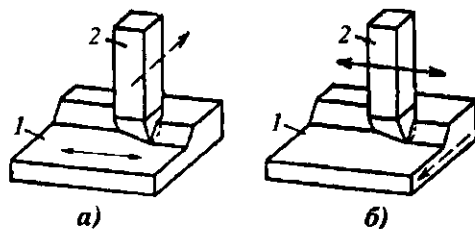


Рис. 187. Схемы основных движений при строгании: а – продольном; б – поперечном; 1 – обрабатываемая деталь; 2 – резец; —> — главное движение резания; —> — движение подачи

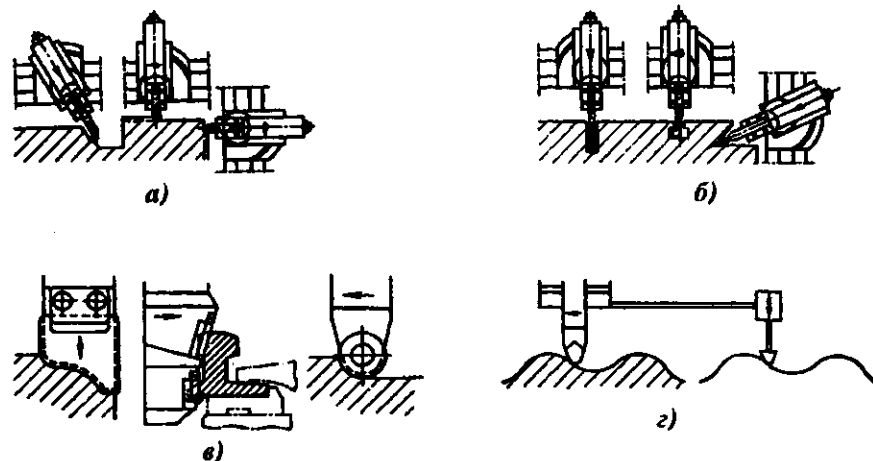


Рис. 188. Схемы обработки на строгальных станках: а – наклонных, горизонтальных и вертикальных плоскостей; б – пазов и канавок; в – профильное строгание; г – копировальное строгание

Обработке строганием подвергаются поверхности деталей различной формы и размеров из стали, чугуна, цветных металлов и пластмасс. Основной областью применения строгания является точная обработка длинных узких прямолинейных направляющих станин, плит, рам, стоек и т.д. По размерам обрабатываемых поверхностей строгальные станки подразделяют: 1) на поперечно-строгальные, предназначенные для обработки деталей малой длины и ширины; 2) на продольно-строгальные, используемые для обработки деталей большой длины и ширины.

На поперечно-строгальных станках обычно обрабатывают поверхности столов, станин механических прессов, Т-образных пазов и других деталей; на продольно-строгальных станках в основном – поверхности крупногабаритных и тяжелых деталей, таких как станины прокатных станков, рамы крупных двигателей, корпуса мощных редукторов и т.п. На одноступенчатых и двухступенчатых продольно-строгальных станках можно обрабатывать детали средних размеров, которые устанавливают рядами на столе станка с целью более полного и рационального использования габаритов и хода стола. Продольно-строгальные станки могут иметь на траверсе дополнительно фрезерную или шлифовальную головки для получения поверхностей, которые невозможно выполнить строганием или шлифовать с одного установка деталь, предварительно обработанную строганием.

Установку и закрепление заготовки на строгальных станках осуществляют в универсальных приспособлениях (непосредственно на столе станка) и специальных приспособлениях.

Универсальные приспособления пригодны для закрепления заготовок независимо от формы и размеров, а также вида и характера их обработки в единичном и мелкосерийном производствах, когда заготовки устанавливают непосредственно на столе станка, имеющем Т-образные пазы, а закрепление осуществляют при помощи стандартных и нормализованных деталей и узлов (болтов, шпилек, прихватов, прижимов, упоров, планок, угольников, подкладок, а также машинных тисков, поворотных столов, электромагнитных плит, делительных приспособлений и т.д.).

Специальные приспособления отличаются от универсальных тем, что они предназначены для одного типа заготовок и переналадка их для обработки заготовок других типов сопряжена с большими затратами времени или вообще невозможна. Специальные приспособления применяют главным образом в серийном и массовом производстве, при обработке часто повторяющихся деталей.

Обычно установку и закрепление заготовок в тисках на столе строгального станка осуществляют в два этапа: 1) устанавливают, выверяют и закрепляют тиски в Т-образные пазы стола; 2) устанавливают, выверяют и закрепляют заготовки. Нежесткие заготовки, например тонкие листы, закрепляют следующую

щим образом. На направляющие тисков помещается подставка 4 (рис. 189), на которую устанавливается заготовка 2. Заготовку закрепляют при помощи двух специальных стальных клиньев 1 и 3. Если же требуется обработать призматический брусок, сопряженные поверхности которого должны быть обработаны под углом β (рис. 190), то для его закрепления применяют угловые подкладки – фасонные губки 1 и 2. Угол губок α должен быть равен углу наклона обрабатываемой поверхности β .

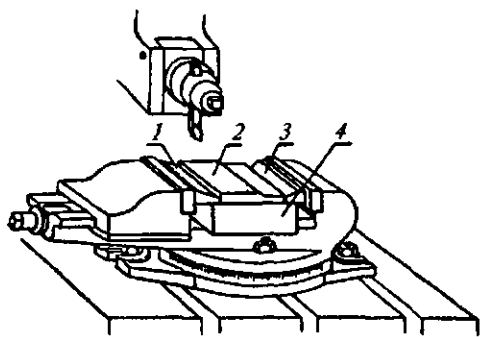


Рис. 189. Схема установки и закрепления тонких деталей в машинных тисках

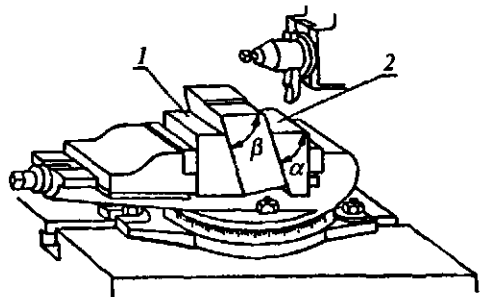


Рис. 190. Схема установки и закрепления в тисках бруска под углом

Установка и закрепление жестких заготовок с плоскими опорными поверхностями на столе строгального станка выполняются соответствующим набором нормализованных стандартных элементов, описанных выше.

Используют две основные схемы установки и закрепления. При наличии по бокам детали выступов ее установку и закрепление производят прихватами и одной упорной ко-

лодкой (рис. 191, а). В случае отсутствия выступов, но при наличии на детали специальных отверстий ее крепят по аналогичной схеме с той лишь разницей, что вместо обычных прижимных планок используют специальные планки круглыми концами, входящими в отверстие детали.

Детали, не имеющие по контуру каких-либо выступов или отверстий, крепятся упорными и прижимными колодками (рис. 191, б). Прижим детали к столу станка в этом случае производится боковыми, винтовыми или клиновыми прижимами. Расположение упоров и прижимов при этом должно быть увязано с направлением рабочего хода и подачи. Упоры располагают таким образом, чтобы они воспринимали силы резания. Все колодки, особенно задние, по высоте должны быть ниже детали, чтобы обеспечить свободный проход резцу.

Детали, опорные поверхности которых при обработке должны располагаться вертикально, устанавливают и закрепляют на угольках с помощью обычных универсальных крепежных элементов и установочных принадлежностей (рис. 192). Установка деталей с цилиндрическими опорными поверхностями показана на рис. 193. Наиболее надежным и удобным способом следует считать установку на призмах (рис. 193, б).

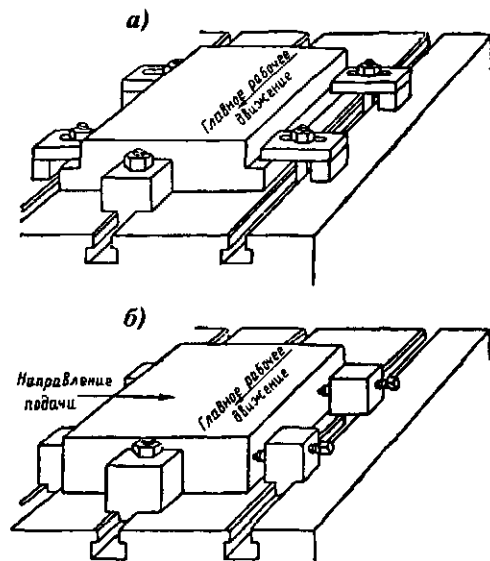


Рис. 191. Схемы установки и закрепления деталей с плоскими опорными поверхностями

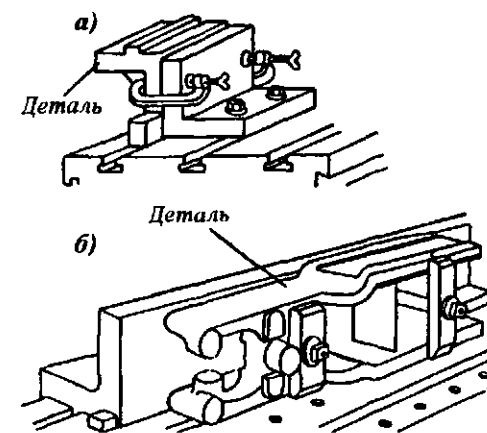


Рис. 192. Схема установки и закрепления деталей на угольниках: а – стойка; б – кронштейн

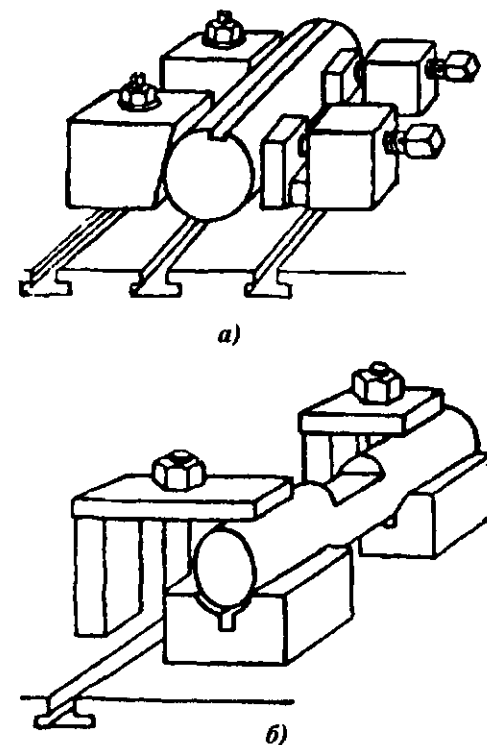


Рис. 193. Схема установки и закрепления деталей типа валов: а – непосредственно на столе станка; б – на призмах

Строгальные станки целесообразно использовать для обработки деталей удлиненной формы (направляющих, планок) или профилей (Т-образных пазов, головок рельсов), а также для обработки деталей металлоконструкций по окалине и сварным швам. Общий признак всех деталей, которые экономически выгодно обрабатывать на строгальных станках, – это узкая удлиненная зона обработки. Ее можно создать искусственно, установив в ряд одинаковые детали, обрабатываемые с одного установка. Применением многолезвовой наладки (рис. 194) можно расширить технологические возможности строгальных станков.

На строгальных станках используют инструменты из быстрорежущей стали и твердосплавные. По форме строгальные резцы схожи с токарными, отличие состоит в несколько увеличенном заднем угле, обусловленном особенностями обработки и большим сечением тела резца. Пластины из быстрорежущей стали и твердого сплава обычно наплавляются на державку. В некоторых случаях выгодно изготавливать резцы из быстрорежущей стали цельными. При силовом резании на высокопроизводительных станках иногда применяют резцы с поворотными твердосплавными пластинками.

На продольно-строгальных станках отклонение от прямолинейности обработанной плоскости (плоскостность) детали может быть в пределах 0,02 мм на 1000 мм длины; отклонение от перпендикулярности плоскостей, обработанных за одну установку (без переустановки детали на станке) – в пределах 0,02 мм на 500 мм длины. Поперечно-строгальные станки дают меньшую точность: достижимое отклонение от плоскости при горизонтальной подаче 0,02 мм на 300 мм длины; от параллельности плоскостей, обработанных за одну установку, 0,03 – 0,04 мм на 300 мм длины.

Шероховатость поверхностей деталей после чернового строгания обычно невысокая (от Ra 10 до Ra 2,5). Однако при чистовой обработке строганием деталей из стали и чугуна можно получить $Ra = 2,5 \dots 1,25$; при тонком строгании деталей из стали с глубиной резания 0,04 ... 0,08 мм обеспечивается шероховатость поверхности в пределах $Ra = 1,25 \dots 0,63$.

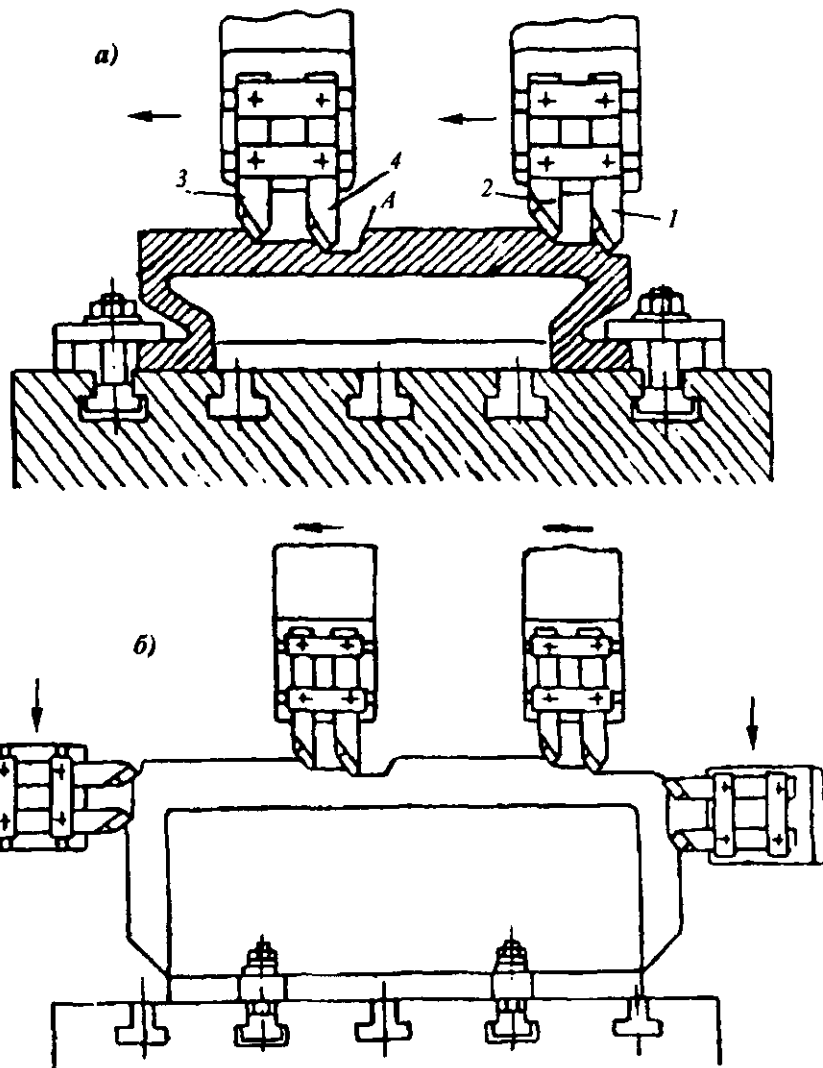


Рис. 194. Схемы строгания крупных деталей несколькими суппортами: а – одной плоскости одновременно четырьмя резцами; б – трех плоскостей одновременно восемью резцами

ОБРАБОТКА НА ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ

Долблением обрабатываются вертикальные (рис. 195, а, б) и наклонные плоскости (рис. 195, в), криволинейные и сложноконтурные поверхности (рис. 195, е), шпоночные пазы (рис. 195, г), канавки и криволинейные конту-

ры в цилиндрических и конических отверстиях (рис. 195, д), разрезание заготовок.

При долблении главное рабочее движение [(v) – возвратно-поступательное в вертикальном направлении] сообщается долбяку с резцом, а движение подачи (S) – детали, закрепленной на столе станка (рис. 196). Круговая подача позволяет обрабатывать криволинейные участки поверхности, детали.

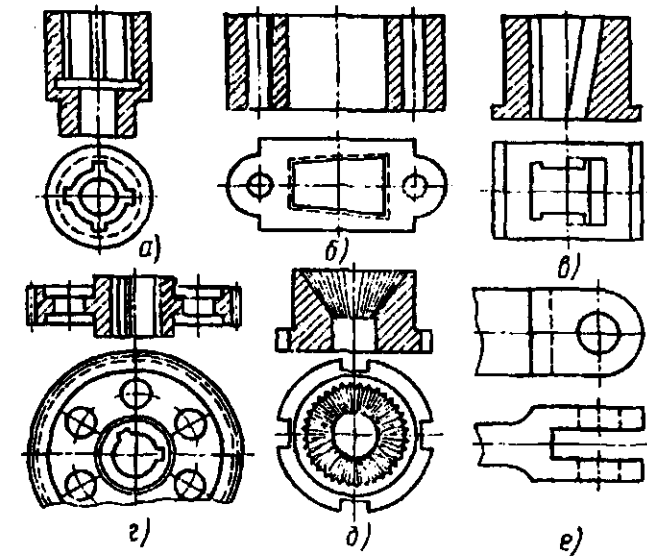


Рис. 195. Детали, получаемые долблением

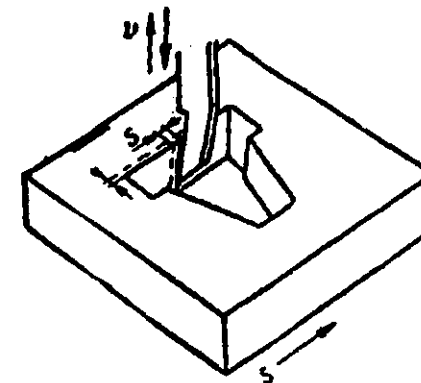


Рис. 196. Схема долбления сложной поверхности проходным резцом

Скорость резания определяют по формуле

$$v = \frac{2Ln}{1000},$$

где n – число двойных ходов долбяка в минуту; L – длина хода ползуна, м.

Длина хода долбяка складывается из длины обрабатываемой поверхности и длин перебега P_1 и P_2 (рис. 197). Наибольший ход долбяка 100 ... 1000 мм. Возможности продольной и поперечной подачи в диапазоне 0,1 ...

6,0 мм/дв. ход. Главное рабочее движение в долбежных станках передается от механических приводов с шатуно-кривошипным механизмом или с вращающейся кулисой, а также от гидравлического привода.

Долбление вертикальных и наклонных поверхностей. Долбление плоскостей осуществляют проходными резцами; для предварительных (черновых) проходов применяют закругленные резцы с большим радиусом при вершине, что позволяет работать с продольной и поперечной подачами без переустановки. При продольной подаче заготовка перемещается на долбяк и вылет резца или державки должен быть больше высоты заготовки настолько, чтобы резец мог осуществить необходимый перебег в конце рабочего хода, а долбяк в это время не коснулся заготовки и крепежных деталей.

Долбление плоскостей, расположенных под прямым углом, ведут при продольной и поперечных подачах или при одной из них, но с поворотом стола на 90° . Стол долбежного станка поворачивается на любой угол, что позволяет обрабатывать заготовки-многогранники.

Чистовое долбление отличается от черного малыми припусками на обработку, осуществляют его круглым, закругленным или широким чистовым резцами. При долблении круглым или закругленным резцом направление

поддачи должно быть на режущую кромку, а при долблении широким резцом – вдоль режущей кромки. Припуск на чистовое долбление широким резцом не должен превышать 0,2 ... 0,3 мм, величина подачи 0,75 ширины режущей кромки резца.

Для долбления наклонных плоскостей поворачивают на требуемый угол α направляющие долбяка (рис. 198), либо же обрабатываемую заготовку устанавливают на наклонную подставку (рис. 199).

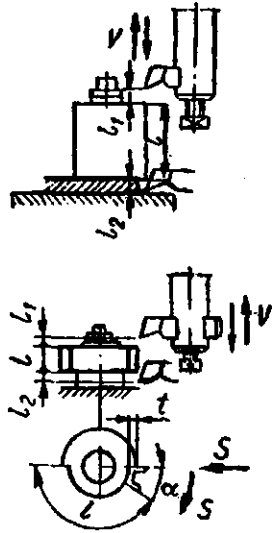


Рис. 197. Схемы для определения длин ходов при долблении

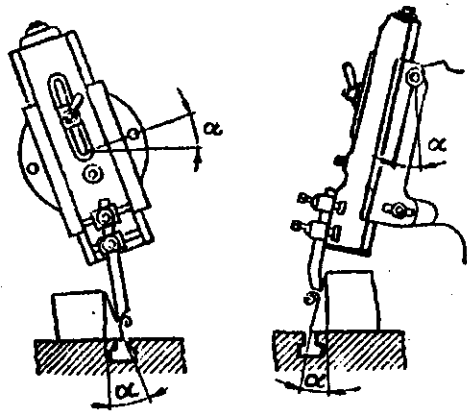


Рис. 198. Схемы настройки станка при долблении наклонных плоскостей поворотом направляющих долбяка на угол α

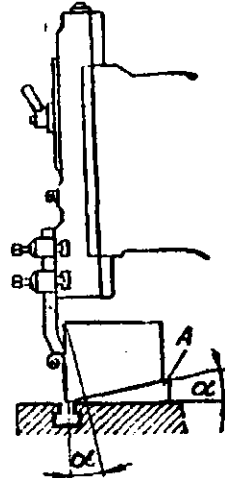
Долбление криволинейных и сложно-контурных поверхностей. Благодаря возможности сочетания круговой подачи с продольной и поперечной подачами на долбежном станке можно обрабатывать заготовки с криволинейными контурами, выдерживая заданные радиуса кривизны, не применяя специальных фасонных резцов. Галтельный резец (закругленное режущее лезвие) при обработке с небольшими глубинами резания одинаково пригоден для черного и чистового долбления как плоскостей, так и криволинейных поверхностей.

При обработке криволинейных поверхностей заготовку устанавливают таким образом, чтобы размеченные радиусные переходы при вращении стола вручную совпадали с вершиной резца. После окончательной проверки окончательно закрепляют заготовку с достаточной жесткостью. Прямые линии контура должны совпадать с направлением продольной и поперечной подачи. В подобных случаях к точности установки заготовки – предварительно размеченной – предъявляются большие требования.

Для обработки сложноконтурных заготовок используют проходные, галтельные, подрезные, прорезные, а иногда и фасонные резцы.

Долбление шпоночных канавок – одна из наиболее распространенных операций. Основная трудность ее связана с необходимостью точной установки резца на ось отверстия детали. Эта задача обычно решается с помощью самоцентрирующих патронов, а более точно с помощью специальных центрирующих приспособлений с пазом-установом для направления резца.

Рис. 199. Установка заготовки на наклонную подставку А



При долблении шпоночных канавок в шестернях и ступицах заготовки устанавливают на точные подкладки, обеспечивающие перпендикулярность оси отверстия к плоскости стола, поскольку отверстие уже обработано окончательно на предшествующих операциях и получение шпоночной канавки является завершением обработки. Для исключения деформации желательнее ставить подкладки под ступицу и обод заготовки. В качестве подкладки под ступицу применяют кольца с пазами, обеспечивающими свободный выход резца в конце рабочего хода.

Долбление канавок осуществляется нормализованными долбежными резцами для шпоночных канавок.

Разрезание заготовок выполняется прорезными резцами обычно при ручной подаче стола, при этом длина оттянутой части больше толщины разрезаемой заготовки на величину перебега резца. Заготовки устанавливают на стол станка точно в направлении подачи.

На долбежных станках можно уменьшить машинное и вспомогательное время за счет:

одновременной обработки нескольких деталей, при серийной обработке плоских деталей; последовательной обработки нескольких деталей, установленных на столе станка в ряд одна за другой;

использования мерных и фасонных резцов при обработке шпоночных пазов, квадратных, шестигранных и других фасонных отверстий;

применения различного рода приспособлений для установки деталей, особенно при серийной обработке.

ОБРАБОТКА НА ПРОТЯЖНЫХ СТАНКАХ

Внутреннее протягивание наиболее широко применяют для обработки различных отверстий: круглых (цилиндрических), квадратных, многогранных, шлицевых с различными профилями прямых и винтовых канавок, а также шпоночных и других фигурных пазов в отверстиях детали. Диаметр протягиваемых отверстий 5 – 400 мм, длина до 10 м. Чаще всего протягивают отверстия диаметром 10 – 75 мм с длиной, не превышающей 2,5 – 3 диаметра. Ширина протягиваемых пазов 1,5 – 100 мм.

Наружное протягивание применяют вместо фрезерования, строгания, шлифования для обработки поверхностей площадью 100 – 200 см².

Вместе с тем наружное протягивание выгодно при обработке в массовом производстве больших поверхностей (блоков и головок цилиндров автомобильных и тракторных двигателей). Чаще всего протягивают плоские и фасонные поверхности, различные пазы, рифления, зубчатые колеса, пазы в дисках газовых турбин и др.

Протяжками обрабатывают все виды металлов и пластических масс, допускающих обработку резанием. Производительность протягивания в 3 – 12 раз выше производительности других способов механической обработки металла (развертывания, фрезерования, долбления, строгания, шлифования). При протягивании цилиндрических или шлицевых отверстий в деталях средних размеров и массы один рабочий обрабатывает 50 – 120 шт./ч, а при прошивке на прессе мелких деталей типа втулок – 150 – 460 шт./ч. На протяжных станках с непрерывным рабочим движением и автоматической загрузкой заготовок производительность достигает 600 – 1000 шт/ч. Такая же производительность обеспечивается и наружным протягиванием. Даже при протягивании относительно тяжелых деталей с большими поверхностями, таких как блок автомобильного или тракторного двигателя, производительность достигает 40 шт/ч, а зубчатых колес с внутренним и наружным зубом – 40 – 2000 шт/ч.

Протягивание обеспечивает точность обработки 7 – 9-го качества. Шероховатость протягиваемой поверхности $Ra = 2,5 \dots 0,32$.

Протягивание осуществляют протяжками при различных относительных перемещениях инструмента и заготовки и различных главных рабочих движениях, которые могут быть вращательными (круговыми) и возвратно-поступательными.

Протягивание протяжками через неподвижную деталь в горизонтальном направлении (рис. 200, а) применяют в массовом и серийном производстве. Стоимость горизонтально-протяжного станка ниже, чем вертикально-протяжного; занимаемая им площадь цеха больше. Такие станки, как правило, автоматизировать сложнее, чем вертикальные.

При протягивании протяжки через неподвижную деталь сверху вниз (рис. 200, б) появляется возможность автоматизации операции. Улучшаются условия охлаждения протяжки. Исключается влияние массы протяжки на форму и размеры протягиваемого отверстия и на равномерность затупления режущих кромок по окружности зуба. Установка детали упрощает-

ся, а захват протяжек патроном осуществляется автоматически. Недостатками этого вида протягивания является большая высота станков, часто требующая использования пространства, находящегося ниже уровня пола цеха.

При протягивании протяжки через неподвижную деталь снизу вверх преимущества те же, что и в предыдущем случае, и связаны с вертикальной конструкцией станка. В этом случае несколько лучше условия охлаждения, так как жидкость задерживается в чашечке, образованной обращенной кверху передней поверхностью зубьев. Стружка, оставшаяся на протяжке, удаляется автоматически после окончания рабочего хода. Недостатки те же, что и в предыдущем случае, и, кроме того, силы резания направлены от фундамента, что препятствует использованию больших мощностей.

Вращение протяжки (детали) во время рабочего хода (рис. 200, в) можно осуществлять принудительно от какого-либо привода или путем самовращения под действием составляющей силы протягивания. Станки горизонтально- и вертикально-протяжные для внутреннего протягивания могут быть с копирными винтами или другими механизмами для вращения протяжки (детали), а также с шариковыми опорными приспособлениями для самовращения протяжки (детали).

Проталкивание прошивки через неподвижную деталь сверху вниз (рис. 200, з) осуще-

ствляют на прессах с ручным, ножным, механическим или гидравлическим приводом, а также на прошивных станках с гидравлическим приводом с силой P . Преимущества этого вида обработки: простота обслуживания (короткий инструмент и отсутствие какого-либо соединения со станком), малая занимаемая площадь, относительно низкая стоимость и простота оборудования, универсальность применения.

Недостаток — длина прошивки ограничена (не более 15 диаметров), что уменьшает сьем припуска за один ход. Этот вид обработки применяют в массовом и серийном производстве.

Основные виды наружного протягивания представлены на рис. 201. Протяжка совершает рабочее движение сверху вниз, деталь закреплена неподвижно (рис. 201, а). Оборудование: наружнопротяжной станок. Преимущества: относительно небольшая площадь, необходимая для размещения станка; хорошее охлаждение инструмента во время всего процесса как результат совпадения направления движения жидкости и инструмента, высокая производительность. Недостаток — большая высота станка.

Протяжка движется горизонтально, деталь закреплена неподвижно. Оборудование: горизонтально-протяжной станок с гидравлическим или электромеханическим приводом, например специальный станок туннельного типа для протягивания блоков двигателей.

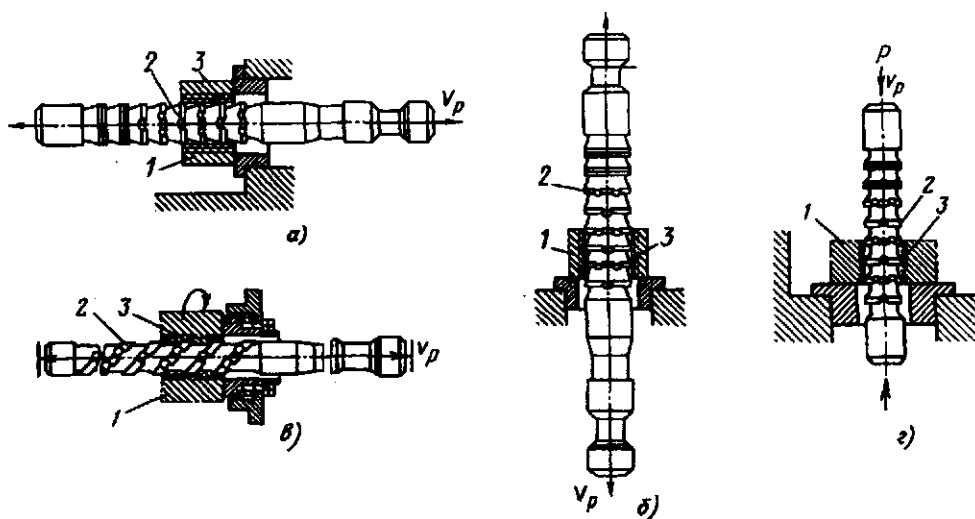


Рис. 200. Виды внутреннего протягивания: 1 — деталь; 2 — протяжка; 3 — слои срезаемого металла; v_p — рабочий ход

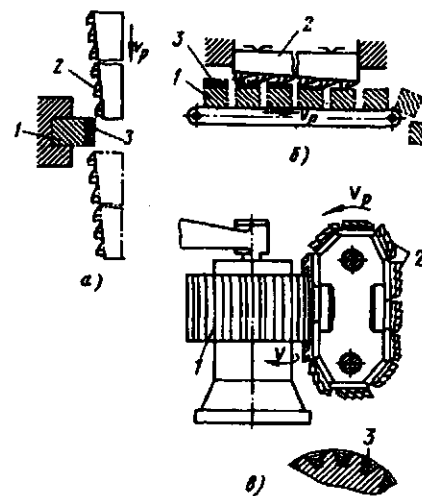


Рис. 201. Виды наружного протягивания: 1 — деталь; 2 — протяжка; 3 — срезаемый слой металла; v_p — рабочий ход

Преимущества: легкая установка детали, простота приспособлений, большие возможности для устройства автоматических транспортирующих и загрузочных устройств. Недостатки: большие рабочий ход, длина станка и занимаемая площадь. Станок применяют только в массовом производстве.

Протяжка закреплена неподвижно, а детали на цепном конвейере движутся непрерывно и прямолинейно (рис. 201, б). Оборудование: конвейерные станки непрерывного действия с механическим приводом. Преимущества: непрерывность протягивания, увеличение производительности в 6 — 10 раз по сравнению с возвратно-поступательным движением протяжки, возможность полной автоматизации процесса. Недостатки: высокая стоимость специального оборудования, оправдываемая только при большом масштабе производства.

Протяжка, вращаясь вокруг своей оси, совершает непрерывное круговое главное движение. Таким способом обрабатывают зубья конических колес на автомобильных заводах. Зубья протяжки расположены на спиральной поверхности периферии диска и обрабатывают впадину зуба конического колеса. Протяжке сообщается дополнительное движение подачи вдоль впадины зуба в направлении от узкого конца зуба к широкому при черновой и в обратном направлении при чистовой обработке. Оборудование: специальные станки с вращени-

ем протяжки. Преимущества: высокая производительность, малая площадь, занимаемая оборудованием, отсутствие ограничений в увеличении скорости резания, обусловленные особенностями возвратно-поступательного движения инструмента.

Протяжка имеет прямолинейное движение, деталь (рис. 201, в) вращается. Преимущества: высокая производительность, возможность обработки тел вращения с прямолинейными и криволинейными образующими. Недостаток — высокая стоимость специального оборудования: применяется только в массовом производстве.

Наружное протягивание методом обкатки применяют для прямозубых и косозубых колес. Реечная модульная протяжка имеет поступательное рабочее движение, а обрабатываемая деталь вращается вокруг своей оси принудительно с помощью соответствующей зубчатой передачи. Преимущества: высокая производительность, простота обслуживания. Недостаток — высокая стоимость специального оборудования.

Основные направления в развитии протягивания следующие.

1. Применение непрерывного рабочего движения, которое увеличивает производительность, облегчает возможность полной автоматизации обработки и включения протяжного станка в автоматическую линию. Это движение осуществляется вращением круговой протяжки или вращением детали, закрепленной на круглом столе станка, при неподвижных протяжках и непрерывном прямолинейном движении детали или протяжек.

2. Автоматизация протяжных станков и создание автоматических линий протяжных станков.

3. Замена горизонтально-протяжных станков вертикально-протяжными, так как последние занимают в 2 — 3 раза меньшую производственную площадь.

4. Увеличение скорости резания при протягивании.

На схему резания при конструировании режущей части протяжки влияют форма, размеры и способ получения заготовок, форма и размеры протянутых деталей. От принятой схемы резания, в свою очередь, зависят параметры протяжки (длина, стойкость и т.д.) и технология изготовления. При конструировании внутренних и наружных протяжек применяют профильную, генераторную и групповую (прогрессивную) схемы резания.

При *профильной схеме резания* припуск срезают зубьями, имеющими поперечный профиль, подобный профилю, заданному на детали. Изготовление точного профильного контура на всех зубьях, к тому же имеющих различные размеры, сопряжено с определенными трудностями. Поэтому профильную схему резания применяют лишь для протяжек, предназначенных для обработки отверстия простой формы. Применение профильной схемы для протягивания квадратного или шлицевого отверстия вызывает необходимость выполнения на протяжке квадратных (шлицевых) зубьев с постепенным увеличением размера квадрата (шлица), что отрицательно влияет на конструкцию протяжки: уменьшается площадь поперечного сечения стержня протяжки, а следовательно, снижается ее прочность; нельзя получить передний угол при заточке на всех участках сторон квадрата, что резко снижает стойкость и повышает параметр шероховатости обработанной поверхности; технологически трудно изготовить такую протяжку.

Поэтому при протягивании фасонных внутренних и наружных поверхностей применяют *генераторную схему резания*. Припуск срезают зубьями, имеющими переменный профиль, постепенно переходящий от прямой или круглой формы к заданному профилю детали.

Заданный профиль детали формируется при генераторной схеме вспомогательными режущими лезвиями всех зубьев (главные режущие лезвия прямолнейны или являются дугами концентрических окружностей). Генераторные протяжки проще изготовить, чем профильные. Так, например, протяжка для протягивания квадрата получается обработкой на конусе и плоским шлифованием на этом конусе четырех поверхностей. При сложном профиле зубьев генераторные протяжки шлифуются на проход фасонным кругом, что также значительно упрощает их изготовление.

Исходная круглая форма, положенная в основу образования генераторной протяжки, позволяет получать на участках ее режущих зубьев положительные передние углы и наибольшее возможное поперечное сечение стержня протяжки, а следовательно, увеличивать ее прочность; изменять толщину среза так, чтобы режущие зубья с более короткими режущими лезвиями имели большую толщину среза, что позволяет сократить число режущих зубьев и длину протяжек. К недостаткам гене-

раторной схемы резания относятся трудность получения задних углов на вспомогательных кромках и меньшая точность получаемого профиля по сравнению с профильной схемой. Поэтому для точных фасонных профилей необходимо последние зубья выполнять по профильной схеме резания.

Групповая (прогрессивная) схема резания отличается тем, что металл срезается не кольцевыми слоями по всему профилю, а разделяется на части так, что каждый зуб срезают металл только с части профиля; следующий за ним зуб того же диаметра снимает металл с другой части профиля и т.д., пока не будет снят металл со всего профиля. Зубья одинакового диаметра, срезающие каждый свой участок профиля, а все вместе – слой металла по всему профилю, равный подаче, образуют секцию. Число зубьев в секции два – пять.

Режущие участки на первых зубьях секции образуются удалением с полного рабочего профиля зуба ненужной части лезвия. Для этого на зубьях создают разделительные устройства в виде шлицев, лысок, выкружек или фасок, располагаемых в шахматном порядке или в других сочетаниях.

В соответствии с разделительными устройствами различают ряд вариантов групповой схемы резания: шахматную, шлицевую, многогранную, переменного резания и т.д. Все эти схемы резания относятся к групповой схеме, так как протягивание профиля осуществляется группами зубьев.

Для упрощения изготовления протяжки и срезания стружек без утолщений, вызываемых стружкоделительными канавками, последний зуб каждой секции имеет непрерывное лезвие по всему профилю; диаметр его меньше номинального диаметра секции на 0,02 – 0,04 мм. Благодаря этому последний зуб срезают металл не по всему профилю, а только полоски металла, оставшегося от предыдущих зубьев секции.

Износ уголков зубьев больше, чем у круглых протяжек, из-за дополнительного трения по боковым сторонам шлица. Протяжки имеют большую длину или состоят из нескольких штук. Такие протяжки неэкономичны и не обеспечивают высокого качества деталей. Поэтому групповые схемы резания применяют также и при протягивании шлицевых отверстий. В поковках и отливках отверстие предварительно сверлят с припуском под протягивание. Поковки с отверстиями протягивают после зенкерования или "по-черному". Второй вари-

ант обработки более выгоден, однако возможность применения его ограничена мощностью станка, разностенностью детали, прочностью протяжки, требованиями точности.

Отверстие в отливках предварительно зенкеруют твердосплавными зенкерами. Как правило, операцию выполняют в виде так называемого *свободного протягивания*. Деталь устанавливают подготовленным отверстием на переднюю направляющую протяжки; в процессе работы деталь силой резания прижимается торцом к опорной поверхности стола станка. При протягивании детали значительной массы для установки ее на направляющую и удержания в процессе работы используют подъемные механизмы. Специальные устройства для установки и закрепления детали применяют также при протягивании глубоких отверстий и при координатном протягивании.

Для протягивания глубоких отверстий (при длине отверстия свыше 20 – 30 диаметров) требуются особые устройства для установки детали и для ее охлаждения.

Шпоночные пазы (шириной 3 – 20 мм) протягивают с большими производительностью и точностью. Базой для обработки пазов служит поверхность отверстия, которая может быть и направляющей для протяжки. Чаще всего пазы протягивают с применением направляющей оправки, прикрепленной к столу станка. Вдоль всей оправки прорезан паз, который служит направлением для протяжки. В крупносерийном производстве шпоночными протяжками часто работают без отсоединения их от патрона. Для этого протяжку снизу срезают и таким образом уменьшают высоту гладкой части. В исходном положении протяжка опускается вследствие зазора в замке и упругой деформации на величину среза, что позволяет насадить деталь на оправку над режущими зубьями.

Если для протягивания паза требуется несколько ходов, а протяжка только одна, то на основании паза оправки кладут прокладку определенной толщины для каждого нового хода. Для возврата протяжек без отсоединения их с использованием обратного хода станка служит клин, который вынимают из направляющего паза при обратном ходе. Этот же клин служит для компенсации износа протяжки после переточки. Такая конструкция особенно удобна при протягивании больших пазов. В массовом производстве применяют также комплекты шпоночных протяжек в количестве, равном числу

проходов, необходимых для прорезки паза на всю глубину. Направлять шпоночную протяжку в отверстие можно цилиндрической направляющей, соединенной с протяжкой, или круглыми режущими и уплотняющими зубьями комбинированной протяжки.

Качество протянутой поверхности улучшается различными способами:

1) уменьшением скорости протягивания; качество поверхности повышается при скорости 1 – 2 м/мин, поэтому протяжные станки снабжают устройствами, автоматически переключающими станок на малую скорость, когда в работу начинают входить зачистные зубья;

2) правильным подбором СОЖ и равномерной ее подачи на зубья протяжки;

3) проверкой и улучшением обрабатываемости заготовок; термическая обработка заготовок влияет на качество получаемой поверхности; для заготовок из низкоуглеродистой стали ($C \leq 0,3\%$) лучшая обрабатываемость, а следовательно, и лучшее качество поверхности достигаются нормализацией или изотермическим отжигом; легированные вязкие стали лучше обрабатываются после термической обработки до твердости 250 ... 300 НВ; закалка с высоким отпусканием (улучшение) обеспечивает для среднеуглеродистых и легированных сталей лучшую обрабатываемость, чем отжиг или нормализация до той же твердости; высокоуглеродистые стали (У10, У12) хорошо обрабатываются в отожженном состоянии, но особенно хорошо – после улучшения;

4) уменьшением подачи на зуб до 0,01 – 0,03 мм на сторону путем шлифования зубьев по диаметру с переводом части калибрующих зубьев в режущие;

5) увеличением заднего и переднего углов зубьев; малый задний угол вызывает налипание металла, ускоренное изнашивание задней поверхности и, как результат, увеличение шероховатости; изменить задний угол на готовой протяжке почти невозможно, так как даже незначительное биение зубьев протяжки не позволит увеличить задний угол без уменьшения диаметра зубьев; тщательная доводка ленточки и задней поверхности зуба притиром с пастой ГОИ будет способствовать уменьшению налипания при том же заднем угле; хорошее качество заточки также улучшает качество протянутой поверхности; увеличение переднего угла заметно улучшает качество поверхности при обработке сталей в случае, когда $s_2 > 0,01$ мм;

б) обеспечением плавной работы станка; шероховатость поверхности уменьшается при более плавной и спокойной работе протяжки; для этого станок должен быть исправным, гидросистема полностью заправлена соответствующим маслом; тяговая сила станка должна несколько превышать требуемую силу протягивания.

Местные дефекты на протянутой поверхности встречаются в виде черновин, вырывов металла, задигов, полос, кольцевых следов, следов от стружкоделительных канавок, чешуйчатости или рьяби, волнистости и скалывания краев детали на выходе протяжки. Черновина могут быть результатом недостаточного припуска под протягивание, а также следствием увода протяжки под действием боковых сил. При неравномерной остроте зубьев протяжка будет отжиматься в сторону острых зубьев, а на стороне, обрабатываемой тупыми зубьями, останется черновина в виде полосы вдоль образующей отверстия. Различная острота режущих зубьев протяжек, вызывающая черовину, может быть следствием неравномерной твердости протяжки по окружности всех зубьев или неравномерной заточки всех зубьев по окружности. Черовины могут быть также связаны с перекосом или несовпадением осей детали и протяжки вследствие неправильной подрезки торца детали, перекоса опорного фланца станка, несовпадения осей движения тяговой головки и люнета, поддерживающего протяжку.

Вырывы (сколы) металла у опорного торца детали на выходе протяжки возникают также вследствие углового смещения детали относительно протяжки. По этим же причинам может наблюдаться различная глубина шлицев по окружности протянутого шлицевого отверстия на небольшой длине от выходного торца детали.

Вырывам металла у деталей из мягких и вязких сталей способствуют малые задние углы, дефекты режущих кромок зубьев, затупление зубьев, большие подъемы на зуб (в особенности на последних режущих зубьях) и перекос детали или протяжки, вызывающий боковые силы, которые прижимают протяжку к одной стороне протягиваемого отверстия (профиля). При этом характерны увеличение вырыва к опорному торцу детали и плавный переход вырыва в обычную поверхность на сравнительно небольшом расстоянии от торца.

Для снижения шероховатости поверхности последний чистовой зуб протяжки делают

без выкружек, с подъемом $2s_2 = 0,01$ мм. Этим достигается зачистка рисок, получающихся на границах выкружек в результате резания угольным лезвием. Иногда используют два-три зуба с подъемом $0,01$ мм, не имеющих выкружек. При малой толщине стружка, несмотря на отсутствие выкружек, распадается на отдельные части, не образуя цельного кольца.

В случае затягивания протяжки в металл надо уменьшить передний угол. Следует также обратить внимание на качество прорезки стружкоделительных канавок (достаточную глубину и ширину канавки, достаточный задний угол профиля канавки). Иногда следы стружкоделительных канавок остаются не по всей длине отверстия, а только на небольшом участке у выходного торца детали из-за провисания детали в конце рабочего хода. Для устранения этого при протягивании тяжелые детали необходимо закреплять.

Во всех случаях появления дефектов на поверхности следует осмотреть лезвия от последнего зуба до первого. Дефектные участки зубьев следует пометить краской и отправить протяжку для исправления.

При протягивании отверстий с плоскими поверхностями (квадрат, шестигранник и т.п.) часто появляются задиры на протягиваемой поверхности вследствие трения зубьев о протягиваемую поверхность. Для уменьшения трения зубьев протяжки следует создать задний угол 1° , оставляя ленточку шириной $0,8 - 1$ мм для сохранения размера многогранника.

У некоторых многогранных протяжек, особенно у квадратных, диаметр дна стружечной канавки может быть больше размера стороны многогранника. В этом случае надо прорезать по сторонам многогранника дополнительную канавку глубиной $1,5 - 2$ мм и радиусом 1 мм, дно которой должно быть параллельно сторонам многогранника. Образующаяся при этом вспомогательная режущая кромка должна иметь небольшой передний угол ($3 - 5^\circ$). Для уменьшения трения можно также прорезать продольные канавки глубиной $0,3 - 0,5$ мм по середине вспомогательной кромки.

Одной из причин отклонения размеров отверстия являются заусенцы, образующиеся на калибрующих зубьях протяжки во время ее заточки. Для обнаружения заусенца достаточно провести ногтем по задней поверхности зуба в направлении к лезвию. Удалить заусенцы можно оселком во время заточки протяжки. Когда зуб заточен и круг "выхаживает" по-

верхность, следует наложить на заднюю поверхность зуба оселок. Под давлением оселка заусенец отогнется во впадину, где его подхватит и срежет шлифовальный круг.

Если и после удаления заусенца диаметр отверстия получается больше требуемого размера, можно применить один из следующих способов: а) при протягивании деталей из стали использовать охлаждение маслом, а при обработке детали из чугуна — охлаждение эмульсией; б) уменьшить скорость протягивания и передний угол зубьев; в) в случае необходимости уменьшить диаметр последнего режущего и калибрующих зубьев доводкой по задней поверхности оселком или притиром.

При протягивании отверстий большого диаметра причиной отклонения их размеров может быть нагрев протяжки. В подобных случаях необходимо увеличить подачу охлаждающей жидкости, снизить скорость протягивания или следует работать поочередно двумя протяжками. Отклонения диаметра отверстия при выходе протяжки могут вызываться провисанием детали, а также угловыми смещениями оси протяжки.

Меньший диаметр отверстия может получиться и в тех случаях, когда диаметр зубьев протяжки выполнен с предельными размерами. Объясняется это упругими деформациями детали в процессе протягивания под влиянием радиальных сил резания, что особенно сказывается при протягивании тонкостенных деталей.

Чтобы увеличить диаметр отверстия следует: а) перейти на охлаждение сульфидфрезолом, если применялась эмульсия; б) уменьшить подачу на зуб на последних режущих зубьях; в) увеличить скорость протягивания и передний угол чистовых зубьев.

После указанных мер по увеличению размеров зубья протяжки проверяют и шлифуют до нужного размера.

При протягивании шпоночных или шлицевых пазов наблюдаются отклонения размеров пазов как по глубине, так и по ширине. Глубина пазов на выходе, протянутых при одной наладке, оказывается разной, что объясняется разными углами наклона оси протяжки.

Увеличенная ширина паза получается вследствие отклонения от параллельности шлицевых выступов оси протяжки.

Если протягиваемая деталь имеет различную толщину стенок, то и диаметр отверстия может получиться разным в разных сечениях: там, где толщина стенки меньше, диаметр от-

верстия также получится меньшим. Устранить этот дефект можно, изменив соответственно форму и размеры заготовки, с тем чтобы после протягивания обточить ее по наружному диаметру.

ПРЕЦИЗИОННОЕ ТОЧЕНИЕ

Прецизионное точение (тонкое обрабатывание и растачивание, алмазная обработка) характеризуется высокими скоростями резания ($100 - 1000$ м/мин и более), малыми подачами ($0,01 - 0,15$ мм/об) и глубинами резания ($0,05 - 0,3$ мм) при высокой виброустойчивости технологической системы. Детали из стали, в процессе обработки которых имеют место ударные нагрузки (при наличии пазов, пересекающих отверстий и др.), а также детали из стали и высокопрочного чугуна высокой твердости обрабатывают при более низких скоростях резания (до 50 м/мин). В некоторых случаях при обработке деталей из стали и высокопрочного чугуна повышенной твердости, при наличии оборудования высокой жесткости, мощности и соответствующей частоты вращения шпинделя целесообразно применять резцы, армированные СТМ; скорости резания могут быть увеличены до 150 м/мин и более.

Прецизионное точение обеспечивает получение поверхностей правильной геометрической формы, с точным пространственным расположением осей и шероховатостью поверхности $Ra = 0,63 \dots 0,063$; вместе с тем этот метод высокопроизводителен.

При растачивании деталей из медных сплавов резцами, армированными алмазами или композиционными материалами, с использованием шпиндельных головок с высокоточными подшипниками можно получить шероховатость поверхности $Ra = 0,032 \dots 0,020$ при растачивании деталей из алюминиевых бронзовых сплавов $Ra = 0,063 \dots 0,04$. При использовании стандартных шпиндельных головок и тех же условиях можно обеспечить шероховатость поверхности $Ra = 0,50 \dots 0,16$.

Вследствие малых сечений стружки силы резания и нагрев детали во время обработки незначительны. Это исключает образование большого деформированного поверхностного слоя и позволяет ограничиваться малыми силами при закреплении детали для обработки. Точность получаемых размеров 8 - 9-го качества, а при определенных условиях 5 - 7-го

качества. На отделочно-расточных станках обычно выдерживают допуск 5 – 15 мкм на диаметре 100 мм; отклонение от круглости и конусообразность – в пределах 3 – 10 мкм.

Более высокую точность получают при обработке деталей из цветных сплавов; при обработке деталей из стали и чугуна точность ниже, так как в большей степени сказывается влияние износа реза в процессе работы. Точность обработки при растачивании зависит от отношения длины к диаметру обрабатываемой поверхности. При обработке на отделочно-расточных станках отверстия, у которых отношение длины к диаметру меньше 2, принято считать короткими, равное 2 – 4 – средними, больше 4 – длинными.

Прецизионное точение часто применяют перед хонингованием, суперфинишированием, притиркой. У точных цилиндрических колес после токарной обработки на вертикальных многошпиндельных полуавтоматах одновременно растачивают отверстия и подрезают торцы с допуском 0,015 – 0,02 мм на диаметр и 0,05 мм на линейные размеры, хонингуют отверстия и суперфинишируют торцы.

Оборудование. При прецизионной обработке частота вращения шпинделя 1500 – 12 000 мин⁻¹, подача 0,01 – 0,2 мм/об. Для высокой точности обработки допускается радиальное биение подшипников рабочих шпинделей станка до 3 мкм; должна отсутствовать вибрация шпинделей и приспособлений с обрабатываемыми деталями. Необходимо обеспечить быстрый и удобный отвод стружки, удобное обслуживание и высокую степень автоматизации управления станком – автоматический останов, переключение и торможение шпинделей, ускоренные вспомогательные ходы.

Оборудование должно иметь устройства: для тонкого регулирования положения и установки резцов, автоматического измерения детали и автоматической подналадки по мере износа инструмента, автоматической загрузки и выгрузки деталей.

При прецизионной обработке одним из методов размерной подналадки инструмента является метод регулирования малыми импульсами. Измерительное устройство, контролирующее размеры каждой обработанной детали, по мере возникновения отклонений подает команду на их компенсацию. Для гарантированного получения заданного размера контакты измерительного устройства налаживают на меньшее предельное значение.

На вертикальных станках и станках с неподвижным столом автоматизация загрузки и выгрузки деталей удачно решается традиционными средствами. Значительные трудности возникают при автоматизации отделочно-расточных станков с подвижным столом, когда требуется конкретное решение для обработки определенной детали.

Для устранения вибрации при большой частоте вращения шпинделя части станка должны быть отбалансированы, электродвигатели и гидронасосы расположены отдельно от станины или установлены на особых эластичных прокладках или виброопорах, шпиндель должен быть разгружен от натяжения ремней.

С целью повышения производительности обработки почти все отделочно-расточные станки выполняют с большим числом шпинделей. В этом случае каждый вновь вступающий в работу шпиндель (отделочно-расточная головка) снижает точность обработки.

Для прецизионного точения используют станки: отделочно-расточные горизонтальные одно- и многошпиндельные с двусторонним и односторонним расположением шпинделей (головок), с закреплением детали на подвижном столе или в шпинделях; специального назначения для обработки определенных деталей (наклонные, трех- и четырехсторонние и др.); общего назначения (быстроходные токарные, расточные и многооперационные с ЧПУ), обладающие необходимыми кинематическими параметрами и высокой точностью. Для прецизионного точения можно модернизировать обычные токарные и внутришлифовальные станки.

Инструмент. При прецизионном точении применяют расточные, проходные и подрезные резцы с режущими элементами из алмазов, композиционных материалов, твердых сплавов, сверхтвердых материалов (гексанита, эльбора), минералокерамики и керметов (табл. 27).

Резцы с режущими элементами из алмазов и СТМ имеют высокую твердость; после доводки таких инструментов можно снимать стружку толщиной 0,02 мм на высоких скоростях резания. Этот инструмент обеспечивает малые параметры шероховатости при обработке деталей из баббитов, порошковых материалов, графитов, пластмасс, материалов, оказывающих абразивное действие на инструмент. Однако из-за большой хрупкости алмазов и СТМ, а также недостаточной жесткости и виброустойчивости технологической системы на

27. Инструментальные материалы для прецизионного обтачивания и растачивания

Инструментальный материал	Детали
Вольфрамкобальтовые твердые сплавы: ВКЗ, ВК4, ВК8	Из серого, ковкого и высокопрочного чугуна, цветных сплавов, баббитов, пластмассы и порошкового материала
Титановольфрамовые твердые сплавы: Т14К8, Т15К6, Т30К4, Т60К6	Из легированных и конструкционных сталей
Безвольфрамовые твердые сплавы: КНТ16, ТН20	Из легированных и конструкционных сталей
Алмазы природные и поликристаллические типа "карбонадо" АРК4, АРВ1	Из цветных сплавов, пластмасс и неметаллических материалов
Композиционные материалы: компакс, СВБН	Из цветных сплавов
Сверхтвердые материалы: гексанит-Р, эльбор-Р	Из закаленных сталей, серого, ковкого и высокопрочного чугуна
Минералокерамика и керметы	Из конструкционных и закаленных сталей, ковкого, серого и высокопрочного чугуна, цветных сплавов при высокой жесткости технологической системы

многих заводах не удастся широко использовать инструмент, армированный этими материалами, для обработки деталей из стали и чугуна.

Обработка алмазными инструментами деталей из материалов с твердыми включениями окиси алюминия исключается.

Наиболее удобны для точной установки и регулирования резцы с цилиндрическим стержнем и резцы-вставки с механическим креплением пластины режущего материала (твердого сплава), либо специально изготовленные пластины с напайным или заделанным алмазом, СТМ и др. В зависимости от условий обработки резцы и резцы-вставки закрепляют в борштангах или резцовых головках на шпинделе станка, в резцедержателе на столе станка, в промежуточных державках, закрепленных в резцедержателе токарного станка; в последнем случае можно применять токарные резцы обычной конструкции. На точность обработки влияет способ закрепления резца и регулирования его на заданный размер. Для повышения жесткости расточных борштанг следует уменьшать их длину и увеличивать диаметр, оставляя между борштангой и отверстием зазор, необходимый для выхода стружки (табл. 28).

При конструировании приспособления для установки детали следует исходить из минимальной длины борштанги. В расточных борштангах резец следует устанавливать так, чтобы его вершина была выше оси растачиваемого отверстия на величину h (табл. 29).

Способы установки резцов в расточной борштанге различны; все они должны обеспечивать возможность точного регулирования резцов и их надежное закрепление.


На рис. 202 показана одна из схем закрепления резца 3 в борштанге 1, при которой упорно-регулируемый винт 2 исключает смещение резца под нагрузкой и облегчает регулирование на размер. После наладки на заданный размер осуществляется окончательная затяжка и закрепление резца винтом 4.

Схемы закрепления резцов с точным регулированием (резцы "микроборы") показаны на рис. 203, а – в. Резец 1 перемещается при регулировании в борштанге 3 с помощью точного винта (стержень резца 1 выполнен с точной резьбой) и поддерживающего кольца 4 отсчетом по нониусной гайке 2. После регулирования резец закрепляют контргайкой 6 и затяжным винтом 5. Этот способ применяют при растачивании отверстий диаметром 15 мм и выше; точность установки резцов 0,001 мм.

28. Рекомендуемые диаметры борштанг и резцов в зависимости от диаметра растачиваемого отверстия

Диаметр, мм			Диаметр, мм		
растачиваемого отверстия	борштанги	резца	растачиваемого отверстия	борштанги	резца
10	9	4-5	75	54	15-17
15	13	6	80	58-60	18-19
20	15-16	8	85	60	18-19
30	22-25	10	90	65	18-19
35	25-27	10	95	67-68	20-22
40	30	12-13	100	70	20-22
45	32	12-13	105	72-75	25-30
50	36	12-13	110	80	25-30
55	40-42	14-15	120	85-90	30-35
60	42-43	14-15	140	95-100	35-40
65	45	14-15	150	100-105	40-45
70	50	15-17			

29. Рекомендуемые значения h (мм) при установке резца в борштанге

Эскиз	Обрабатываемый материал	Диаметр растачиваемого отверстия D , мм		
		10-20	Св. 20-30	Св. 30
	Серый, ковкий, высокопрочный чугун; цветные сплавы	0,1-0,3	0,3-0,4	0,5-0,6
	Сталь	-	0,8-1,0	1,5

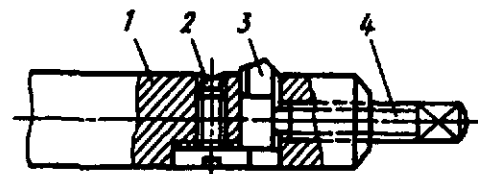


Рис. 202. Схема закрепления резца в расточной борштанге

На рис. 204 показана многорезцовая расточная борштанга. Отклонение от перпендикулярности базового торца борштанги относительно оси рабочего хвостовика – не более 0,01 мм; биение рабочего хвостовика относительно направляющего выступа – не более 0,01 мм.

Фланец 1 регулируемой расточной борштанги (рис. 205) с эксцентрически расположенным хвостовиком (эксцентриситет $e = 0,1$ мм) устанавливают в отверстие шпинделя станка. На фланце болтами закреплено кольцо 2 с борштангой 3. В гнезде борштанги установлен

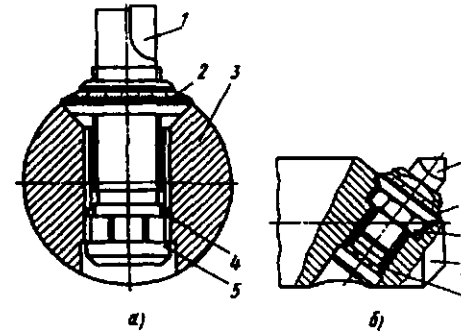


Рис. 203. Схемы закрепления резцов в расточной борштанге с точным регулированием на размер

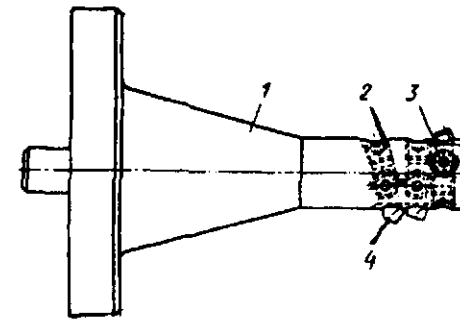


Рис. 204. Расточная многорезцовая борштанга: 1 – борштанга; 2 – упорно-регулирующие винты; 3 – зажимные винты; 4 – резцы

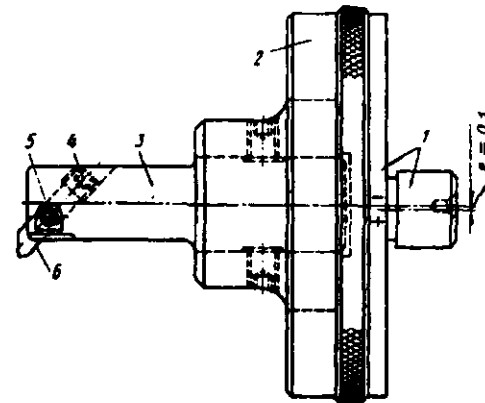


Рис. 205. Регулируемая расточная борштанга

резец 6, грубое регулирование на размер осуществляется упорно-регулирующим винтом 4, а фиксации и окончательное закрепление резца – винтом 5. Поворотом кольца 2 изменяют положение борштанги относительно оси шпинделя и тем самым устанавливают окончательный размер. Такие борштанги используют при точности установки 0,015 мм, а также при подналадке по мере износа резца в этих же пределах.

Борштанги с виброгасителями применяют, если необходимо устранить вибрации, появляющиеся в процессе обработки, а также, когда требуется получить шероховатость поверхности $Ra = 0,125 \dots 0,04$ и ниже, либо в случае использования борштанги большой длины ($L/D \geq 5 \dots 6$). Имеется много различных конструкций борштанг (рис. 206, а) с виброгасителями. Виброгаситель из свинцового или твердосплавного грузика 3 (рис. 206, б) со втулкой 4, вставляют в отверстие борштанги 1 с зазором в радиальном направлении 0,08 – 0,1 мм и осевом направлении 0,25 – 0,3 мм, затем закрывают пробкой 2, которую приваривают.

Гашение вибрации борштанги происходит из-за разных амплитуд колебаний грузика и борштанги. Для надежной работы виброгасителя важно, чтобы отверстие в борштанге и наружный диаметр втулки, в которой размещен грузик, были точно обработаны и имели малый параметр шероховатости поверхности.

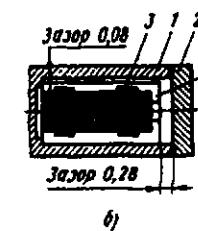
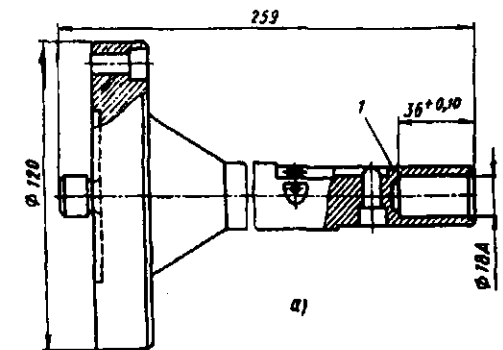


Рис. 206. Борштанга с виброгасителем

Борштанги для прецизионного растачивания изготавливают из легированных сталей 18ХГТ, 40Х, 20Х и др., цементуют и закалывают до твердости 56 ... 62 HCR. При выполнении ответственных прецизионно-расточных операций для повышения вибростойкости борштанги изготавливают из спеченного вольфрама либо составными — фланец стальной, а стержень твердосплавный.

При установке резцов в расточных борштангах применяют приборы типа "наездник" (рис. 207) с магнитным корпусом призматической формы.

Прибор, оснащенный индикатором с ценой деления 0,001 или 0,002 мм, настраивают на радиус растачивания по специально изготовленному для данной операции эталону с базовой поверхностью d ; настроенному размеру соответствует нулевое положение стрелки индикатора. Перенеся прибор на борштангу того же диаметра d , регулируют положение вершины резца, добиваясь нулевого положения стрелки индикатора.

Приборы типа "наездник" с постоянным магнитом бывают с выключением и без выключения магнитов, могут иметь призму или корпус с плоским основанием; стойка и передвижной кронштейн служат для закрепления переходной державки с индикатором. Благодаря магнитным свойствам прибор прочно удерживается на плите, борштанге или эталоне для настройки на размер. Таким образом, руки наладчика освобождены и он может выполнять все операции по регулированию и настройке инструмента. Приборы с невключающимися магнитами притягивают к себе металлическую пыль и стружку, загрязняющие базировочные поверхности. Более удобны в эксплуатации приборы с выключающимися магнитами. Точность установки резцов по прибору $\pm 0,005 - 0,015$ мм.

Установка деталей для обработки. Детали устанавливают по заранее обработанным базам, а иногда по отверстиям, подлежащим окончательной обработке на данной операции. В этом случае применяют приспособления с ловителями, которые после закрепления детали удаляют из отверстий. Приспособления с задним или передним и задним направлениями борштанги во втулках применяют для растачивания отверстий с отношением

$$\frac{L}{D} > 4$$

(рис. 208).

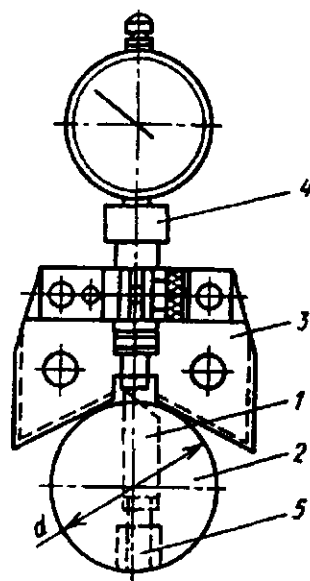


Рис. 207. Магнитный прибор с призмой с выключением магнитов для установки и настройки резцов на размер: 1 — резец; 2 — борштанга; 3 — магнитный прибор с выключением магнита; 4 — индикатор прибора; 5 — упорно-регулирующий винт

Поступательно-индексирующиеся в горизонтальном направлении приспособления служат для предварительного растачивания нескольких отверстий одним шпинделем или для предварительной и окончательной обработки одного отверстия двумя шпинделями. Находят применение также комбинированные приспособления для установки различных деталей на многошпиндельных станках.

Детали можно закреплять на шпинделе станка с помощью патронов-цанг и центровых оправок (рис. 209). Приспособления этого типа требуют хорошей балансировки и должны обеспечивать равномерное и легкое закрепление детали и ее точную фиксацию.

В отдельных случаях используют комбинированные приспособления для одновременного растачивания нескольких деталей, установленных на столе станка, либо для одновременного растачивания и обтачивания деталей, часть которых устанавливают на столе, а часть — в шпинделе станка. Приспособления такого типа позволяют на одном станке без переналадки получать комплектную продукцию. При прецизионном точении применяют копии,

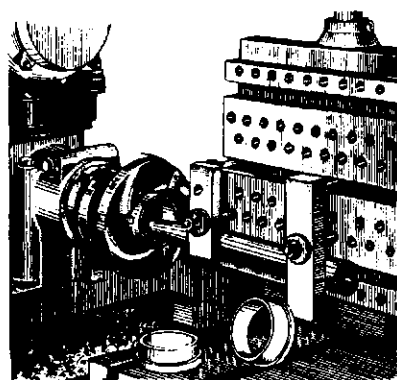
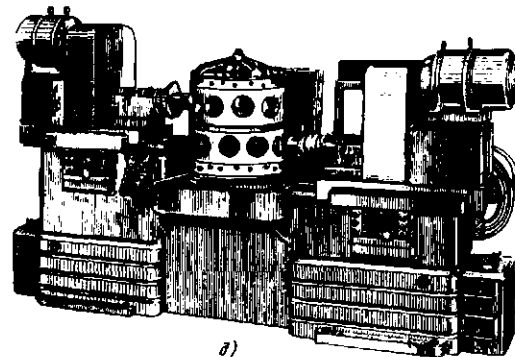
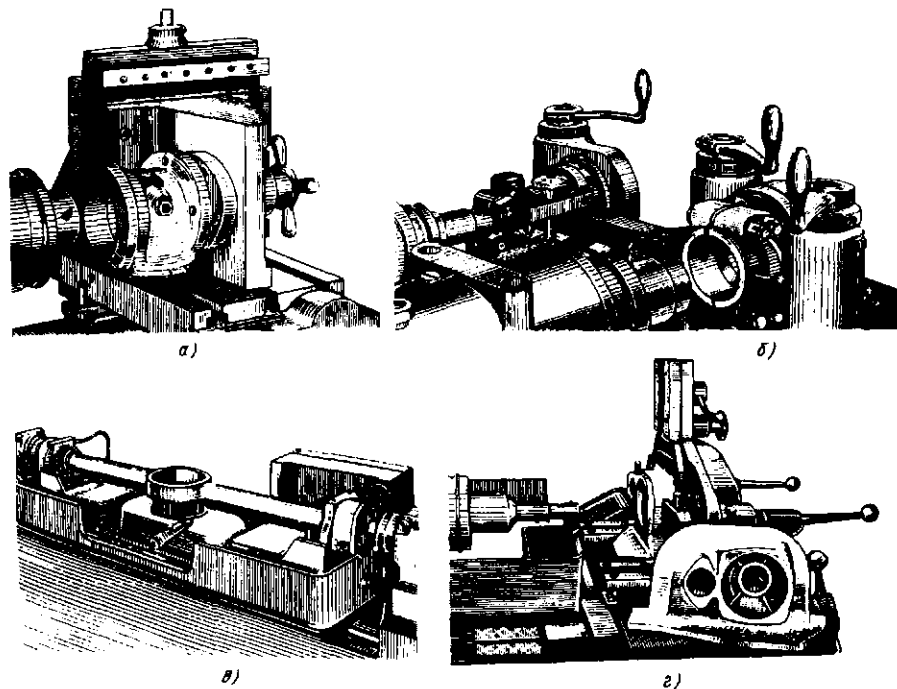


Рис. 209. Приспособление для установки и закрепления детали на шпинделе станка

Рис. 208. Приспособления для установки и закрепления деталей на столе станка: а — для растачивания с базированием по отверстию; б — с ловителем для растачивания шатуна; в — с направлением борштанги в горизонтальном направлении для растачивания двух отверстий; г — станок с поворотным приспособлением для последовательной обработки отверстий

дополнительные резцедержатели и суппорты, позволяющие обрабатывать фасонные поверхности; кроме того можно применять приспособления для координатного растачивания.

Схемы и условия обработки поверхностей. При прецизионном растачивании небольших отверстий деталь закрепляют на столе станка (рис. 210), и он совершает движение подачи, а инструмент вращается, так как целесообразнее вращать с большой частотой хорошо сбалансированную борштангу, чем громоздкую деталь.

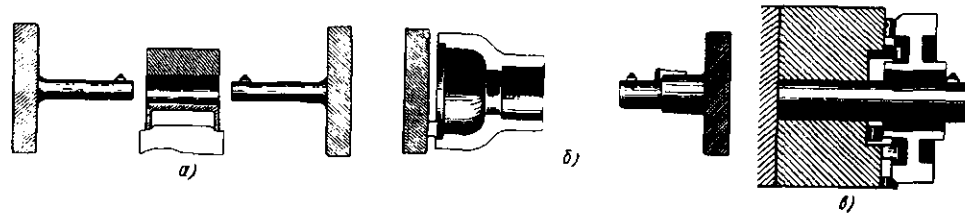


Рис. 210. Схемы растачивания отверстий с установкой и закреплением детали на столе станка: а – на горизонтальном двустороннем станке; б – на горизонтальном одностороннем станке (последовательное растачивание двух отверстий); в – на горизонтальных одно- и двусторонних станках с применением многолезвовой наладки

Рис. 211. Схема прецизионного обтачивания наружных поверхностей

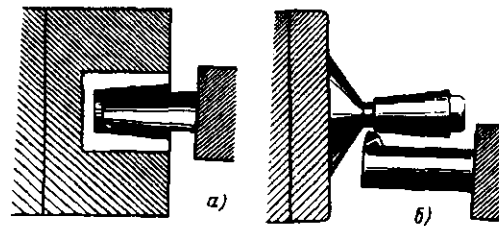
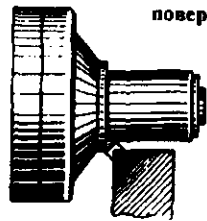


Рис. 212. Схемы прецизионной обработки конических поверхностей: а – растачивание; б – обтачивание

Внутренние цилиндрические поверхности можно обрабатывать на станках любого типа, а способ закрепления детали и установки инструмента зависит от конфигурации и размеров детали, а также типа станка.

При обтачивании наружных цилиндрических поверхностей деталь закрепляют в шпинделе станка, а резцы – в резцедержателе на столе (рис. 211).

Конические поверхности обрабатывают только при вращении детали (рис. 212). Лишь на специальных станках возможна обработка таких поверхностей при установке детали в приспособлении на столе станка. Обработку эллиптических и сферических поверхностей также осуществляют с установкой детали в шпинделе станка.

Внутренние и наружные уступы небольших размеров обрабатывают "в упор" в конце рабочего хода резца, обрабатывающего примыкающую к уступу цилиндрическую поверхность (рис. 213).

Для подрезания торцов используют специальные шпиндельные головки с радиальной подачей, либо специальные станки типа ОС-6488 с самодействующими шпиндельными головками. Большие уступы подрезают с помощью специальных державок при радиальном перемещении резцов.

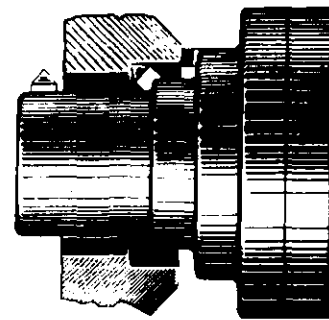


Рис. 213. Схема обработки внутренних цилиндрических поверхностей с уступами

В зависимости от требуемой точности и шероховатости обработанной поверхности прецизионное растачивание и обтачивание выполняют в один или два перехода; на первом переходе снимают не менее 2/3 припуска; второй переход производят при глубине резания 0,03 – 0,3 мм. Резец устанавливают на размер близко к нижнему (при обтачивании) или верхнему (при растачивании) предельному размеру, с тем чтобы более полно использовать допуск на размер. Рекомендуемые припуски на диаметр для предварительного и окончательного растачивания и обтачивания приведены в табл. 30.

30. Припуски при прецизионном точении, мм

Обработка	Диаметр отверстий, мм				
	20	30	50	75	100 и более
Предварительная	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5
Окончательная	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Примечания: 1. В случае обработки отверстий высокой точности припуск на окончательную обработку должен быть не более 0,05 мм на диаметр.

2. Приведенные в таблице припуски для растачивания могут быть рекомендованы для обработки наружных поверхностей, однако в связи с большой жесткостью инструмента для обтачивания припуски могут быть на 30 – 50 % больше.

В табл. 31 указаны способы подвода СОЖ при прецизионном растачивании; при обтачивании СОЖ подводят традиционным способом. При применении СОЖ повышается размерная стойкость и уменьшаются параметры шероховатости. Однако из-за трудности ограждения от разбрызгивания и отвода СОЖ применение ее на горизонтальных отделочно-расточных станках с подвижным столом ограничено. В табл. 32 приведены типовые технологические схемы операций прецизионного точения. Примеры обработки различных деталей представлены в табл. 33.

Рекомендуемые режимы резания деталей из различных материалов при прецизионном растачивании и обтачивании без применения смазочно-охлаждающих жидкостей приведены соответственно в табл. 34 и 35.

31. Способы подвода СОЖ при прецизионном растачивании

Способ подвода СОЖ в зону резания	Условия подвода СОЖ в зону резания	Преимущества	Недостатки
По периметру растачиваемого отверстия (поливом)	Под небольшим давлением (0,15 ... 0,2 МПа) в растачиваемое отверстие через отверстие 2 в кольцевой трубке 3 по ходу или навстречу движению борштанги 1 Отверстия равномерно расположены по периметру подводящей трубки. Оси их наклонены к оси борштанги так, чтобы струи были направлены внутрь детали. Сумма сечений отверстий не превышает сечения подводящей трубки. Расход СОЖ 20 – 30 л/мин.	Простота конструкции. При растачивании сквозных отверстий хорошее удаление дробленой стружки и равномерное смазывание обрабатываемой поверхности. Небольшое разбрызгивание при вертикальном расположении оси детали	Трудность изготовления устройств для подвода СОЖ к растачиваемым отверстиям малого диаметра
Местный в растачиваемое отверстие (поливом, распылением)	К растачиваемому отверстию 2 в виде струи или в виде смеси со сжатым воздухом. В первом случае СОЖ под давлением 0,15 ... 0,2 МПа подводится с помощью трубки, заканчивающейся щелевидной насадкой 4, выполненной по радиусу растачивания. Насадка расположена под небольшим углом к обрабатываемой поверхности и в любой части отверстия по ходу или против хода борштанги. Во втором случае подводится смесь СОЖ со сжатым воздухом через распыляющую насадку на трубке	Простота конструкции. Возможность подачи СОЖ в отверстия любого диаметра. Хорошее смазочно-охлаждающее действие распыленной СОЖ. Хорошее удаление дробленой стружки	Разбрызгивание СОЖ. Шум и загазованность рабочего места при распылении СОЖ. Затрудненное удаление стружки. Высокий расход СОЖ при струйном охлаждении (80 – 100 л/мин)

Продолжение табл. 31

Способ подвода СОЖ в зону резания	Условия подвода СОЖ в зону резания	Преимущества	Недостатки
Через растачиваемое отверстие к рецу (поливом) 	С помощью специального стакана 5, прикрепленного к вращающейся борштанге 1 через отверстие, выполненное напротив реца	Малый расход СОЖ. Подвод СОЖ непосредственно к рецу	Сложность конструкции. Плохое удаление стружки
Через борштангу (поливом, распылением, тонкой струей под давлением) 	Через канал в борштанге и выходные отверстия. Отверстия в борштанге должны быть расположены так, чтобы СОЖ подавалась параллельно главной или вспомогательной задней поверхности реца. Эмульсию лучше подавать на главную заднюю поверхность, а масляные жидкости на вспомогательную поверхность. Для хорошего удаления дробленой стружки СОЖ нужно подавать под давлением свыше 0,7 МПа. Выходные отверстия должны способствовать движению стружки в заданном направлении	Малый расход и небольшое разбрызгивание СОЖ. Хорошее удаление стружки при подаче СОЖ под давлением	Сложность конструкции устройств для подвода СОЖ к вращающемуся шпинделю
Через борштангу и рец (поливом, тонкой струей под давлением) 	В зону резания через канал в борштанге и канавки в рецах. При подаче СОЖ под давлением 0,15 ... 0,2 МПа место расположения канавок на реце не имеет значения; если СОЖ подается под большим давлением (1 ... 1,5 МПа), канавку лучше располагать в верхней части реца	Малый расход и небольшое разбрызгивание СОЖ. Повышение стойкости резцов	Сложность конструкции устройств для подвода СОЖ к вращающейся борштанге. Трудность образования канавок в цельнотвердосплавных рецах

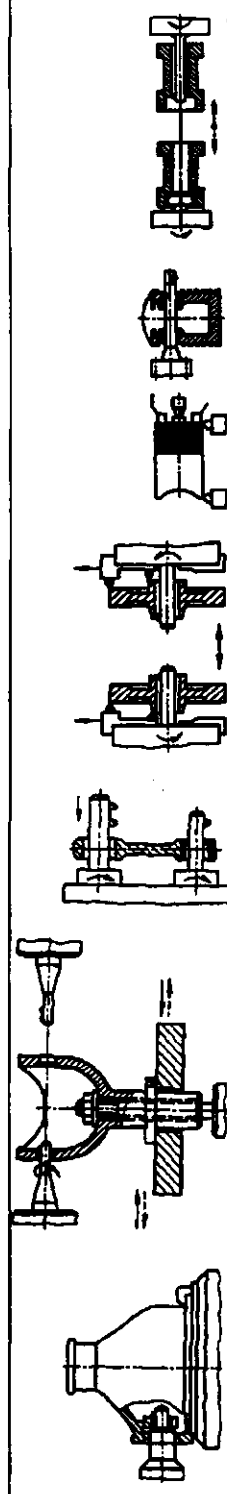
32. Типовые технологические схемы операций прецизионного точения

Схема	Обрабатываемые поверхности	Операция
	Сквозные отверстия диаметром 20 мм и более. Допуск 15 – 30 мкм	Последовательное растачивание отверстия двумя резцами в одной борштанге. Конструкция борштанги должна исключать возможность одновременной работы резцов

Продолжение табл. 32

Схема	Обрабатываемые поверхности	Операция
	Глухие, а также сквозные отверстия диаметром 20 мм и менее, обработка которых исключает возможность применения длинных расточных борштанг. Допуск 18 – 25 мкм	Растачивание отверстий в два перехода: предварительный – первым шпинделем и окончательный – вторым. Необходимо двухшпиндельное приспособление, обеспечивающее перемещение детали и точную фиксацию относительно шпинделей
	То же. Допуск 25–30 мкм	Растачивание отверстий в два перехода: предварительный – со снятием всего припуска и окончательный – со снятием припуска за счет отжата борштанги при первом переходе (производится при обратном ходе на рабочей подаче)
	Отверстия в тонкостенных деталях. Допуск 15 – 30 мкм	Двукратное растачивание двумя резцами, расположенными диаметрально противоположно, вершины которых по оси борштанги смещены на расстояние 0,5 – 4,0 мм. Припуск на обработку для каждого резца распределяется пополам
	Сквозные отверстия диаметром 20 мм и более с подрезанием торцов длиной 5 – 25 мм с двух сторон. Допуск по отверстию 20 – 50 мкм. Допуск торцового биения относительно расточенного отверстия 30 – 50 мкм (обработка заготовок зубчатых колес и других подобных деталей)	Растачивание отверстия, предварительное и окончательное подрезание торца (резцовой головкой) с радиальной подачей резца с одной стороны; окончательное растачивание отверстия и окончательное подрезание торца с радиальной подачей с другой стороны
	Сквозные отверстия диаметром 20 мм и выше с подрезанием торца. Допуск по отверстию 20 – 50 мкм. Допуск торцового биения относительно расточенного отверстия 35 – 60 мкм	Растачивание отверстия за один рабочий ход и подрезание торца широколезвийным резцом с осевой подачей
См. рис. 211 и 212	Наружные цилиндрические и конические поверхности. Допуск 20 – 50 мкм	Обтачивание поверхности за один рабочий ход

33. Примеры прецизионного точения



Деталь. Операция	Материал	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	Режим обработки				Геометрические параметры реза						Производительность, штук в смену
			n , мин ⁻¹	v , м/мин	s , мм/об	f , мм	φ_1°	φ°	γ°	α°	λ°	R , мм	
Картер переднего моста. Растачивание отверстий	Ковкий чугун КЧ 35 - 10, 137 ... 157 HB	113 ^{+0,054} 62 ^{+0,02} 62 ^{+0,05}	500	177,5	0,17	0,3	60	45	10	8	0	0,5	160
			985	117,3	0,08	0,3	75	15	-8	10	0	0,2	
Шаровая опора. Растачивание двух отверстий	Сталь 40ХН, 229 ... 269 HB	38 ^{+0,027}	425	93	0,2	0,11	45	15	-27	10	-27	0,5	250
			2600	228	0,03	0,25	75	20	5	10	0	0,2	250
Шатун. Растачивание большой головки	Сталь 40Х, 217 ... 248 HB	69 ^{+0,03}	450	73,5	0,1	0,3	45	15	-27	10	-27	0,5	200
			200	108	0,12	0,2	60	15	0	10	0	0,4	230
Поршень. Наружное обтачивание по копиру	Алюминиевый сплав АЛ30, 100 ... 130 HB	100 ^{+0,015} -0,030	600	1887	0,18	0,12	60	60	0	11	0	2,0	1500
			2800	250	0,1	0,1	75	15	6	20	0	1,2	100
Растачивание двух отверстий (в линию)	Сталь 18ХГТ, 30 ... 40 HRC	28 ^{-0,005} -0,015	220	45	0,12	0,25	65	15	-15	10	-15	0,3	100
			320	30	0,18	0,3	45	15	-27	10	-27	0,3	

34. Рекомендуемые режимы резания при прецизионном растачивании без охлаждения

Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Глубина резания, мм		Подача, мм/об		Скорость резания, м/мин	
		предварительная	окончательная	предварительная	окончательная	предварительная	окончательная
Сталь	Твердый сплав Т30К4	0,2 - 0,4	0,03 - 0,05	0,12 - 0,20	0,08 - 0,12	120 - 90	200 - 150
	Эльбор-Р	0,2 - 0,4	0,04 - 0,06	0,08 - 0,2	0,03 - 0,1	80 - 400	80 - 700
	Гексанит-Р	0,2 - 0,4	0,04 - 0,06	0,08 - 0,2	0,03 - 0,1	60 - 250	60 - 400
Чугун	Твердый сплав ВК3	0,2 - 0,4	0,05 - 0,1	0,1 - 0,15	0,12 - 0,15	110 - 70	160 - 80
	Эльбор-Р	0,2 - 0,5	0,05 - 0,1	0,05 - 0,1	0,02 - 0,1	500 - 100	600 - 100
	Гексанит-Р	0,2 - 0,5	0,05 - 0,1	0,05 - 0,1	0,02 - 0,1	500 - 100	800 - 100
Бронза	Твердый сплав ВК3	0,1 - 0,3	0,05 - 0,1	0,03 - 0,08	0,03 - 0,08	150 - 200	150 - 200
	Композиционные материалы: СВВН, компакс	0,2 - 0,4	0,06 - 0,12	0,05 - 0,2	0,05 - 0,2	200 - 700	200 - 1000
Баббиты	Твердый сплав ВК3	0,1 - 0,3	0,05 - 0,1	0,03 - 0,08	0,03 - 0,08	200 - 250	200 - 250
	Твердый сплав ВК3	0,1 - 0,3	0,05 - 0,1	0,05 - 0,01	0,05 - 0,1	200 - 250	200 - 250
Алюминий и его сплавы	Композиционные материалы: СВВН, компакс	0,15 - 0,4	0,05 - 0,12	0,1 - 0,2	0,05 - 0,12	200 - 700	200 - 1200

Примечания: 1. Скорость резания при обработке алмазными резами увеличивают в 2 - 2,5 раза по сравнению с твердосплавными, при обработке резами, оснащенными керамическими пластинками, ее увеличивают в 1,3 - 1,5 раза.

2. Если предварительное и окончательное растачивание выполняют одним и теми же шпинделями, режим выбирают по окончательному растачиванию.

3. При обработке отверстий диаметром до 20 мм частота вращения шпинделя не должна превышать частоты вращения, допускаемой расточной головкой (снижается скорость резания).

4. При растачивании отверстий диаметром до 22 мм в стальных деталях скорости резания назначают по нижнему пределу и уменьшают в 1,2 раза.

5. При обработке деталей из чугуна, бронзы, баббитов, если позволяют технические условия, для повышения стойкости режцов и уменьшения шероховатости поверхности целесообразно применять охлаждение. При обработке деталей из алюминия и его сплавов применение СОЖ обязательно. При обработке деталей из чугуна и бронзы рекомендуется применять следующие СОЖ: 5 %-ную эмульсию; 50 % масла индустриального и 50 % керосина; 3 %-ный "Укрипол-1М"; 5 %-ный "Аква-10"; при обработке деталей из баббитов - солларовое масло; из алюминия и его сплавов - керосин, солларовое масло или их заменители; 3 %-ный "Укрипол-1М"; МР-У, МР-2У.

6. Режцы, армированные эльбором-Р и гексанитом-Р, рекомендуются для обработки деталей из стали с твердостью 45 HRC и выше.

35. Рекомендуемые режимы резания при прецизионном obtачивании без охлаждения

Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Глубина резания, мм		Подача, мм/об		Скорость резания, мм/мин	
		предварительная	окончательная	предварительная	окончательная	предварительная	окончательная
Сталь	Твердый сплав Т30К4	0,2 – 1,0	0,03 – 0,1	0,12 – 0,20	0,08 – 0,12	150 – 90	250 – 150
	Эльбор-Р	0,2 – 1,0	0,05 – 0,15	0,1 – 0,25	0,08 – 0,15	90 – 200	90 – 150
	Гексанит-Р	0,2 – 1,0	0,05 – 0,15	0,1 – 0,25	0,08 – 0,15	60 – 110	80 – 150
Чугун	Твердый сплав ВК3	0,2 – 1,0	0,05 – 0,15	0,1 – 0,15	0,12 – 0,15	140 – 90	140 – 90
	Эльбор-Р	0,3 – 1,2	0,05 – 0,2	0,05 – 0,1	0,03 – 0,12	600 – 100	700 – 100
	Гексанит-Р	0,3 – 1,2	0,05 – 0,2	0,05 – 0,1	0,03	650 – 100	850 – 100
Бронза	Твердый сплав ВК3	0,1 – 0,5	0,05 – 0,15	0,1 – 0,15	0,07 – 0,08	150 – 250	150 – 250
	Композиционные материалы: СВБН, компакс	0,2 – 0,8	0,06 – 0,2	0,3 – 0,25	0,03 – 0,25	200 – 300	200 – 1200
Баббиты	Твердый сплав ВК3	0,1 – 0,6	0,05 – 0,15	0,03 – 0,08	0,03 – 0,08	200 – 300	200 – 300
	Твердый сплав ВК3	0,1 – 0,6	0,05 – 0,15	0,05 – 0,1	0,05 – 0,1	200 – 300	200 – 300
Алюминий и его сплавы	Композиционные материалы: СВБН, компакс	0,15 – 0,6	0,05 – 0,4	0,1 – 0,3	0,05 – 0,18	200 – 900	200 – 1400

Примечания: 1. Резцы, армированные эльбором-Р и гексанитом-Р, рекомендуются для обработки деталей из стали с твердостью 45 HRC и выше.

2. Скорость резания при обработке алмазными резаками увеличивают в 2 раза по сравнению с твердосплавными; при обработке резаками, оснащенными керамическими пластинами, – в 1,5 раза.

3. При обработке деталей из алюминия и его сплавов обязательно применять СОЖ.

ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ И ХОНИНГОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Обработка на шлифовальных станках

Круглое наружное шлифование

Рабочий цикл шлифования. Обработка на круглошлифовальных станках ведется методом многопроходного шлифования, когда за каждый оборот обрабатываемой детали снимается определенный припуск. Снимаемый припуск за каждый оборот детали или глубина t срезаемого слоя не остаются постоянными, они изменяются на протяжении всей операции и определяют структуру рабочего цикла шлифования.

Типовая схема рабочего цикла шлифования состоит из четырех этапов: врезания, черного съема, чистового съема и выхаживания (рис. 214). Этап τ_1 врезания характеризуется ускоренной поперечной подачей шлифовального круга, вызывающей непрерывное увеличение глубины t срезаемого слоя в результате нарастания упругого натяга в технологической системе. При достижении заданного максимального значения t поперечную подачу круга замедляют. Глубина срезаемого слоя стабилизируется, и начинается этап τ_2 черного съема, во время которого удаляется до 60 – 70 % общего припуска. Перед началом третьего этапа τ_3 поперечная подача круга снова снижается, и чистовой съем металла протекает при непрерывно уменьшающейся глубине t , способствующей повышению точности шлифуемой поверхности. На этапе τ_4 выхаживания поперечная подача круга прекращается, глубина t быстро уменьшается, достигая минимального значения. На этом этапе окончательно формируется качество шлифуемой поверхности.

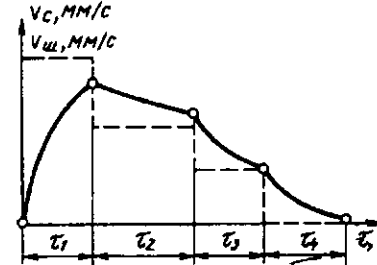


Рис. 214. Рабочий цикл шлифования: v_c – скорость поперечного перемещения шлифовальной бабки; $v_ш$ – фактически снимаемый слой (с учетом упругих отжиганий технологической системы)

Таким образом, изменяя глубину t срезаемого слоя, удастся за одну операцию снять неограниченный припуск, устранить погрешности предшествующей обработки и обеспечить заданные требования точности и параметр шероховатости поверхности.

В тех случаях, когда детали поступают на шлифование с большим колебанием припуска, целесообразно в рабочий цикл вводить принудительное прекращение поперечной подачи круга после окончания этапа черного съема. Этим достигается уменьшение упругих отжиганий в технологической системе перед началом чистового съема, благодаря чему стабилизируются условия завершающего этапа обработки, повышается качество шлифуемых деталей в поточном производстве. Этой же цели служит введение в механизм подачи станка адаптивной системы управления врезанием и черновой подачей круга по заданной мощности резания.

При круглом шлифовании шатунных шеек коленчатого вала за одну операцию снимают припуск до 1,0 – 1,5 мм на диаметр; при этом отклонение формы уменьшается с 0,3 – 0,5 мм до 10 мкм, снижается шероховатость поверхности с $Ra 10 \dots 20$ до $Ra 0,63 \dots 1,25$, повышается точность с 0,2 – 0,3 мм до 25 мкм.

Для расширения технологических возможностей шлифования в некоторых случаях целесообразно формировать рабочий цикл не только путем распределения припуска и поперечных подач, но также и варьированием частоты вращения шлифовального круга и обрабатываемой детали на этапах черного и чистового съема.

Примером эффективности подобного цикла может служить шлифование кулачков распределительного вала. При профильном шлифовании кулачков максимальную частоту вращения детали ограничивают 45 об/мин, чтобы избежать искажения профиля кулачка. В свою очередь, замедленное вращение детали вынуждает ограничивать скорость круга 35 м/с и уменьшать поперечную подачу, чтобы не вызвать шлифовочных прижогов и снижения твердости кулачков. В новых станках частота вращения детали и скорость круга на этапе черного съема увеличена в 2 раза ($v_k = 60$ м/с; $n_{\text{вал}} = 90$ об/мин), благодаря чему значительно возросла поперечная подача и сократилось время снятия основного припуска. На этапах чистового съема и выхаживания, когда окончательно формируется профиль и качество рабочей поверхности кулачка, частота вращения детали и скорость круга уменьшаются в 2 раза.

Различают обдирочное, предварительное, окончательное и тонкое шлифование. При обдирочном шлифовании (без предварительной токарной операции) снимаемый увеличенный припуск от 1 мм и более на диаметр. Обдирочное шлифование целесообразно выполнять при $v_k = 50 \dots 60$ м/с.

В отличие от токарной обработки, обдирочное шлифование обеспечивает более высокую точность обработки (8 – 9-го качества) и шероховатость поверхности $Ra = 2,5 \dots 5,0$, не требует последующего предварительного шлифования. Его целесообразно применять при наличии точных заготовок или заготовок, имеющих плохую обрабатываемость лезвийным инструментом.

Предварительное шлифование выполняют после токарной обработки при $v_k = 40 \dots 60$ м/с. Предварительное шлифование часто выполняют до термической обработки в качестве промежуточной операции для подготовки поверхности к окончательной обработке. На операциях предварительного шлифования достигается точность 6 – 9-го качества и шероховатость поверхности $Ra = 1,2 \dots 2,5$.

Окончательным шлифованием достигается точность 5 – 6-го качества и шероховатость поверхности $Ra = 0,2 \dots 1,2$. Наиболее часто $v_k = 35 \dots 40$ м/с.

Тонкое шлифование применяют главным образом для достижения шероховатости поверхности $Ra = 0,025 \dots 0,1$. Для него требуется очень хорошая предварительная подготовка, так как снимаемый припуск при тонком шлифовании не превышает 0,05 – 0,1 мм на диаметр. Тонкое шлифование можно осуществлять на прецизионных станках специальными кругами; оно экономически целесообразно лишь в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Рекомендуемые припуски на круглое шлифование приведены в табл. 36.

Методы шлифования. На круглошлифовальных станках осуществляют продольное и врезное шлифование (табл. 37).

Метод продольного шлифования более универсален, чем метод врезного шлифования. Он не требует специальной наладки, одним шлифовальным кругом можно обработать поверхности разной длины. При продольном шлифовании круг изнашивается более равно-

мерно и заметно не влияет на отклонение от цилиндричности шлифуемой поверхности; в этом случае применяют более мягкие круги, работающие в режиме самозатачивания, которые не требуют частой правки и обладают повышенной режущей способностью. При продольном шлифовании достигаются наименьшие параметры шероховатости, минимальное тепловыделение и лучшее качество шлифуемой поверхности. Применяют этот метод при обработке цилиндрических поверхностей значительной длины (свыше 50 мм).

При *врезном шлифовании* одновременно обрабатывается вся шлифуемая поверхность. Этот метод более производительный; для его осуществления применяют более широкие круги и станки повышенной мощности и жесткости. Износ круга непосредственно влияет на точность шлифуемой поверхности. Поэтому при врезном шлифовании выбирают круг повышенной твердости, который быстрее затупляется и требует более частой принудительной правки.

Врезное шлифование применяют при обработке коротких шеек, поверхностей, ограниченных буртами, ступенчатых и фасонных поверхностей, а также при необходимости одновременного шлифования шейки и торца. Врезное шлифование наиболее целесообразно применять в серийном и массовом производстве.

Установка обрабатываемой детали. В табл. 38 приведены основные схемы установки обрабатываемых деталей на круглошлифовальных станках. Точность установки детали зависит от точности формы и положения опорных центров станка и несущих поверхностей центровых отверстий детали.

При несовпадении осей конусов и погрешностях их формы неизбежно возникает неполное прилегание несущих поверхностей отверстий детали к упорным центрам станка (рис. 215), что приводит к погрешностям формы обрабатываемых поверхностей.

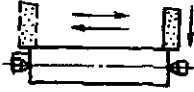
Для сплошных и полых деталей с отверстием менее 15 мм применяют острые центры. При неподвижных центрах обеспечивается более высокая точность шлифования. Поэтому во вращающихся центрах обрабатывают только тяжелые детали и детали с осевыми отверстиями, имеющими узкие центровые фаски. Для уменьшения изнашивания центров необходимо, чтобы они были твердосплавными.

36. Припуски на круговое шлифование в центрах


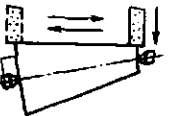
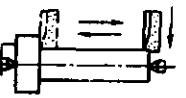
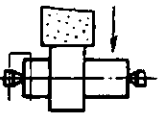
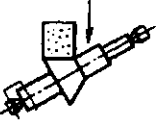
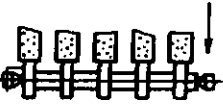
Диаметр детали, мм	Длина детали, мм					
	До 100	Св. 100 до 300	Св. 300 до 500	Св. 500 до 700	Св. 700 до 1300	Св. 1300 до 2000
6 – 10	$\frac{0,25}{0,3}$	$\frac{0,3}{0,35}$	$\frac{0,35}{0,4}$	–	–	–
10 – 18	$\frac{0,3}{0,35}$	$\frac{0,35}{0,4}$	$\frac{0,4}{0,45}$	–	–	–
18 – 30	$\frac{0,35}{0,4}$	$\frac{0,4}{0,45}$	$\frac{0,45}{0,5}$	–	–	–
30 – 50	$\frac{0,4}{0,4}$	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,55}{0,55}$	$\frac{0,6}{0,6}$	–
50 – 80	$\frac{0,45}{0,45}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,55}{0,55}$	$\frac{0,6}{0,6}$	$\frac{0,65}{0,7}$	$\frac{0,7}{0,75}$
80 – 120	$\frac{0,5}{0,6}$	$\frac{0,55}{0,65}$	$\frac{0,6}{0,7}$	$\frac{0,65}{0,75}$	$\frac{0,7}{0,8}$	$\frac{0,75}{0,85}$
120 – 180	$\frac{0,6}{0,65}$	$\frac{0,6}{0,7}$	$\frac{0,65}{0,75}$	$\frac{0,7}{0,8}$	$\frac{0,75}{0,85}$	$\frac{0,8}{0,9}$
180 – 260	$\frac{0,7}{0,8}$	$\frac{0,7}{0,8}$	$\frac{0,7}{0,85}$	$\frac{0,75}{0,85}$	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{0,85}{0,95}$
260 – 300	$\frac{0,8}{0,85}$	$\frac{0,8}{0,85}$	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{0,85}{0,95}$	$\frac{0,9}{1,0}$	$\frac{0,95}{1,05}$

Примечание. В числителе указан припуск для незакаленных деталей, а знаменателе – для закаленных деталей.

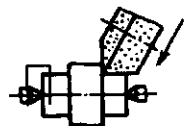
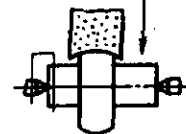
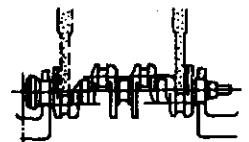

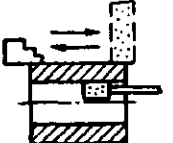
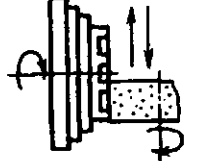
37. Основные операции, выполняемые на круглошлифовальных станках

Шлифование	Технологическая характеристика операции
Продольное цилиндрических поверхностей в невращающихся центрах 	Основной метод круглого шлифования, при котором достигается наивысшая точность. Поскольку часть поверхности детали используется для крепления поводка, при этом методе невозможна обработка всей длины детали за один установ. При шлифовании длинных и тонких деталей необходима дополнительная опора в виде люнета


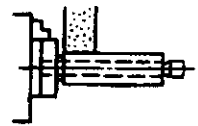
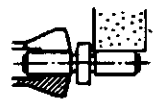
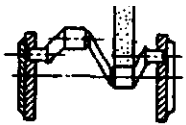
Продолжение табл. 37

Шлифование	Технологическая характеристика операции
<p>Продольное с зажимом детали во вращающемся шпинделе передней бабки</p> 	<p>Окончательная точность обработки зависит от состояния передней бабки и точности крепления детали в зажимном приспособлении. Для зажима детали может быть использован кулачковый или цанговый патрон. Короткие и жесткие детали можно зажимать лишь с одного конца. Для более длинных деталей требуется дополнительная опора (центр в задней бабке или люнет)</p>
<p>Продольное конических поверхностей</p> 	<p>Осуществляется поворотом верхнего стола, несущего переднюю и заднюю бабки. Конусообразность ограничена максимальным углом поворота стола в обе стороны. Деталь может закрепляться в неподвижных центрах или в зажимном приспособлении на вращающемся шпинделе передней бабки</p>
<p>Продольное цилиндрической поверхности и торца</p> 	<p>Применяют при обработке длинных цилиндрических поверхностей с прилегающим буртом, когда необходимо получить цилиндрическую поверхность за один установ с прилегающим торцом бурта. Сначала обрабатывают цилиндрический участок с получением необходимого размера, затем стол вручную перемещают для шлифования торца бурта. При обработке торца кругу вручную сообщают быстрые возвратно-поступательные поперечные перемещения</p>
<p>Врезное цилиндрических поверхностей</p> 	<p>Применяют для обработки поверхностей, длина которых не превышает высоту шлифовального круга; при этом необходима большая жесткость детали и опор. Уступает проходному шлифованию по достигаемому качеству поверхности. Повышенное изнашивание кромок круга вызывает необходимость более частой правки круга во избежание отклонений от цилиндричности шлифуемой поверхности</p>
<p>Врезное конических поверхностей</p> 	<p>Осуществляется поворотом передней бабки при консольном креплении детали или поворотом шлифовальной бабки (на универсальных станках); при этом деталь можно закреплять в центрах. Длина шлифуемой поверхности (по образующей) ограничена высотой круга</p>
<p>Многокруговое врезное</p> 	<p>Одновременная обработка нескольких цилиндрических поверхностей. Уменьшается отклонение от концентричности поверхностей и повышается производительность. Круги, установленные на шпинделе, могут либо соприкасаться торцами, либо разделяться прокладками. При шлифовании шеек разных диаметров требуется специальное правящее устройство, обеспечивающее постоянное соотношение диаметров кругов в наборе</p>

Продолжение табл. 37

Шлифование	Технологическая характеристика операции
<p>Совмещенное шлифованье цилиндрических и торцевых поверхностей при угловой наладке</p> 	<p>Шлифование осуществляется периферией и торцами круга одновременно. Это позволяет совмещать обработку нескольких взаимно перпендикулярных поверхностей. Процесс можно применять на универсальных станках или в условиях массового производства на специальных угловых станках. Требуется специальное правящее устройство</p>
<p>Фасонное врезное с профильной правкой круга</p> 	<p>Шлифовальный круг правится по профилю, обратному профилю шлифуемой детали. Если образующая детали представляет собой элементарные дуги окружности (выпуклые или вогнутые), то профилирование круга может быть обеспечено стандартным устройством радиусной правки. Если необходимо получить более сложный профиль, применяют специальное устройство для правки круга по копиру</p>
<p>Шеек коленчатых валов</p> 	<p>Шлифование коренных и шатунных шеек, как правило, выполняется на специальных станках. Станки оборудованы устройствами для правки круга по периферии, радиусу и торцам, а также средствами осевой установки стола для обеспечения заданного расстояния между шейками вала. Коренные шейки шлифуются в центрах, а шатунные шейки — в специальных патронах с базированием вала по крайним коренным шейкам</p>
<p>Кулачков</p> 	<p>На специальных круглошлифовальных станках столу сообщается качательное движение от копира, профиль которого соответствует профилю шлифуемого кулачка</p>
<p>Внутреннее (в специальном приспособлении)</p> 	<p>Принципиальная возможность обработки внутренней и наружной поверхностей за один установ позволяет повысить их концентричность (на универсальных станках)</p>
<p>Плоское на вращающейся передней бабке станка</p> 	<p>Торец круглой детали шлифуют периферией круга при повышенных требованиях к допуску плоскостности торцевой поверхности или когда шлифовочные риски должны быть концентричны оси вращения детали (если необходимость в такой операции носит случайный характер). Обработку можно осуществлять на универсальном круглошлифовальном станке, передняя бабка которого может поворачиваться на 90°. При повороте передней бабки на меньший угол, при возвратно-поступательном движении стола и поперечной подаче круга можно обрабатывать конические поверхности с широким варьированием угла конуса</p>

38. Схемы установки обрабатываемых деталей

Схемы установки	Характеристика и применение
<p>В центрах</p> 	<p>Два центра и поводок. Расположение и форма центровых гнезд в детали влияют на качество шлифования. При шлифовании торцов с обеих сторон детали привод вращения может быть осуществлен через центры</p>
<p>В патроне</p> 	<p>Детали, которые не могут быть обработаны в центрах (преимущественно короткие или имеющие отверстие), закрепляют в трех-, четырехкулачковом или мембранном патроне с наружным или внутренним зажимом. Имеется доступ для обработки торца или отверстия. При небольших партиях деталей применяют ручной зажим, в массовом производстве — механический, чаще пневматический зажим</p>
<p>В патроне с дополнительной опорой</p> 	<p>При обработке длинных и тонких деталей дополнительной опорой служат центр задней бабки или трехопорный люнет, который позволяет освободить второй конец детали для шлифования торца или отверстия</p>
<p>В цанге</p> 	<p>Быстродействие, хорошее центрирование. Колебание размера зажимаемой поверхности детали не должно превышать установленного допуска разжима цанги. Возможны типы цанг с установкой по наружному или внутреннему диаметру с ручным и механическим зажимом</p>
<p>В приспособлении</p> 	<p>Для деталей необычной конфигурации или когда ось шлифуемой поверхности не совпадает с осью детали (например, шлифование шатунных шеек коленчатого вала)</p>
<p>На оправках</p> 	<p>Цилиндрические детали со сквозным отверстием можно шлифовать на оправке, зажатой в центрах. Обеспечивается допуск concentричности наружного диаметра и отверстия. Оправки могут быть цилиндрические с зажимом по торцу, с небольшим конусом или разжимного типа</p>
<p>На жестких опорах</p> 	<p>Для коротких деталей типа колец, для которых важно обеспечить допуск concentричности шлифуемой поверхности и базы, целесообразно применять обработку на жестких опорах (башмаках) с приводом вращения детали от магнитного патрона, закрепленного на передней бабке станка. Этот метод обеспечивает минимальные погрешности и деформации при установке и закреплении детали</p>

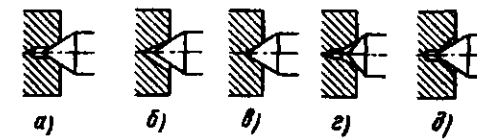


Рис. 215. Положения центровых отверстий на центрах станка: а — правильное; б — d — неправильные

Детали с допуском базовых отверстий 0,015 – 0,03 мм шлифуют на жестких оправках, а с допуском более 0,03 мм — на разжимных оправках.

В случае базирования по отверстию и торцу применяют жесткие оправки с упором в торец.

Уменьшить отклонение от соосности можно применением оправки с небольшой конусностью (0,01 – 0,015 мм на 100 мм длины). Высокая точность обработки по диаметру и допуску concentричности достигается использованием мембранных патронов (рис. 216). На планшайбе 3 закреплен мембранный диск 4 с кулачками 5. При движении штока 1 от патрона к шпинделю 2 мембранный диск прогибается и кулачки сближаются. После установки обрабатываемой детали 6 на кулачки 5 шток возвращается в исходное положение, и в результате упругости мембранного диска кулачки зажимают деталь.

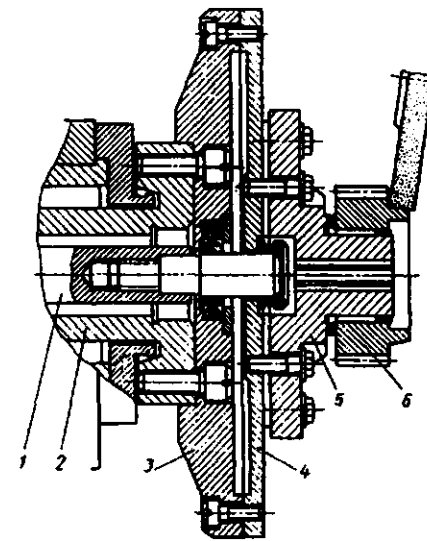


Рис. 216. Мембранный патрон

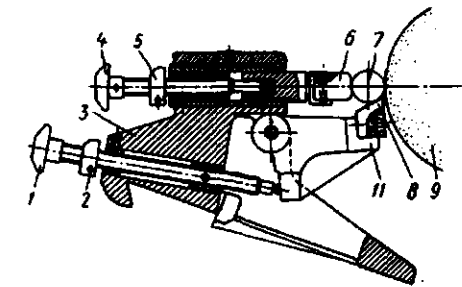


Рис. 217. Двухопорный люнет: 1 и 4 — винты; 2 и 5 — упорные кольца; 3 — корпус люнета; 6 и 8 — опорные колодки; 7 — обрабатываемая деталь; 9 — шлифовальный круг

При обработке длинных и тонких деталей нужна дополнительная опора в виде люнета. Применяют двух- и трехопорные люнеты. Двухопорный люнет устанавливают непосредственно в зоне шлифуемой поверхности, а трехопорный — для создания центрирующей опоры по ранее шлифованной базе. В двухопорном люнете (рис. 217) опорные колодки 6 и 8 расположены по направлению действия горизонтальной и вертикальной составляющих силы шлифования. По мере уменьшения диаметра обрабатываемой шейки в процессе шлифования опорные колодки непрерывно подводят до касания с поверхностью шейки. Сначала поджимают вертикальную колодку 8, а затем горизонтальную 6. Особенно точно регулируют горизонтальную колодку, так как в основном от нее зависит точность обработки. Чтобы в процессе регулирования не допустить пережима обрабатываемого вала опорными колодками, имеются упорные кольца 2 и 5, которые устанавливают по размеру шлифованной шейки. При последующем шлифовании однотипных деталей кольца ограничивают перемещение опорных колодок.

В массовом производстве используют следящие люнеты (рис. 218). По мере удаления припуска и уменьшения размера шейки опорные колодки автоматически следуют за обрабатываемой поверхностью под действием пружины 2 и клина 3. В связи с малым углом конуса клиновой механизм замыкает кинематическую цепь и препятствует отжиму колодок 1. Отвод колодок в исходное положение осуществляется штоком 4 гидропривода. Сила поджима колодок 1 к шлифуемой шейке регулируется. Следящий люнет предотвращает проги-

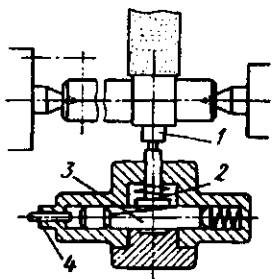


Рис. 218. Следающий люнет

бание вала, обеспечивает постоянное положение геометрической оси, сокращает время настройки и позволяет автоматизировать процесс шлифования длинных валов. При обработке деталей диаметром 25 мм на каждые 250 мм длины обрабатываемой поверхности нужно устанавливать один люнет. С уменьшением диаметра и жесткости детали увеличивается число необходимых люнетов.

Трехопорный люнет имеет три индивидуально регулируемые опоры, расположенные по вершинам равнобедренного треугольника. Верхняя опора смонтирована на шарнирной консоли и может раскрываться при установке или снятии детали. Такие люнетов чаще используют для длинных деталей, закрепленных только с одного конца и требующих дополнительной опоры, которая не может быть обеспечена центром задней бабки (например, когда деталь с другой стороны не имеет центровочного отверстия).

Подготовка шлифовальных кругов. Крепление кругов должно быть надежным и не должно создавать в круге внутренних напряжений. Для равномерного зажима между кругом и зажимными фланцами устанавливают кольцевые прокладки толщиной 0,5 – 3,0 мм из кожи, войлока, резины или картона.

Новые абразивные круги подвергают двукратной балансировке в сборе с фланцами. После предварительной балансировки круг устанавливают на станок, предварительно правят и снова снимают для окончательной балансировки. Простое станка, вызванных повторной балансировкой, можно избежать предварительной правкой круга на специальной установке вне станка (рис. 219).

Подлежащий правке круг 2 в сборе с фланцами помещают на шпинделе бабки 3. Три суппорта несут шлифовальные головки с правящими кругами 1, 4 и 5 из карбида кремния.

Круг 2 правится по периферии и двум торцам. Бабка 3 имеет поворотные салазки для правки конических поверхностей. Для установки фланцев разных конструкций служит набор переходных втулок. Головки представляют собой автономные узлы с индивидуальными электроприводами.

Дисбаланс, появляющийся в связи с неоднородностью абразивных кругов, по мере уменьшения их диаметров устраняют балансировкой на ходу непосредственно на шлифовальном станке.

Наиболее универсальным является способ статической балансировки (рис. 220) в динамическом режиме с помощью стробоскопического прибора. Измерительный датчик 4, установленный на наиболее чувствительном узле шлифовальной бабки, воспринимает вибрации, вызванные неуравновешенностью круга, преобразует их в электрические сигналы и передает в электронный блок 6, в котором они фильтруются, усиливаются и передаются на стробоскопическую лампу 2. Лампа периодически синхронно с вибрациями включается и освещает наиболее легкий участок вращающегося круга 7. На зажимном фланце нанесено цифровое табло 5. Стробоскопический эффект создает видимость неподвижности круга и позволяет по цифровому табло определить расположение его наиболее легкого участка, а индикатор 1 указывает значение дисбаланса. Поворотом сухарей 3 устраняют дисбаланс круга.

Методы правки шлифовальных кругов. Правкой восстанавливают режущую способность, форму и микропрофиль рабочей по-

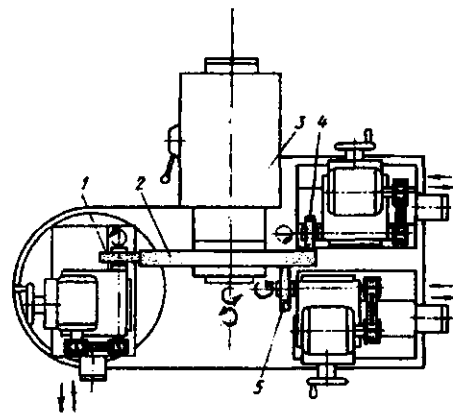


Рис. 219. Установка для предварительной правки шлифовальных кругов перед балансировкой

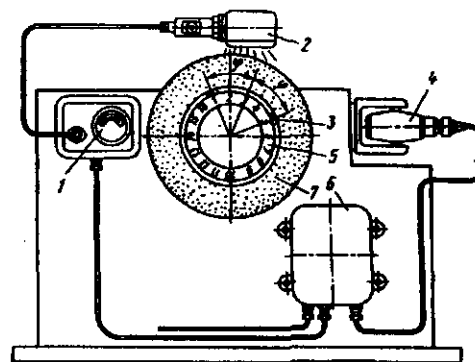


Рис. 220. Схема балансировки кругов на станке с предварительным определением дисбаланса с помощью стробоскопического прибора

верхности круга. Точность формы круга определяется главным образом износостойкостью правящего инструмента. Рельеф режущей поверхности зависит от типа правящего инструмента и режимов правки, особенно продольной подачи $S_{пр}$. В зависимости от $S_{пр}$ при правке сьем металла изменяется в 2 – 3 раза.

На стойкость правящего инструмента влияет скорость правки. Применяют три схемы правки: обтачиванием, обкатыванием и шлифованием.

При правке обтачиванием правящий инструмент выполняет роль реза. Скорость правки равна скорости вращения шлифовального круга. Правка обтачиванием, будучи наиболее простой и надежной, вместе с тем вызывает наибольший износ правящего инструмента. Этим требованиям может удовлетворять лишь алмазный инструмент, обладающий наибольшей износостойкостью. Обтачивание применяют главным образом для автоматической и профильной правки, а также для кругов, используемых при шлифовании с достижением точности 5-го качества и шероховатостью поверхности Ra 0,4.

Инструментом при правке обтачиванием служат: алмазные карандаши (ГОСТ 607-80); алмазы в оправках (ГОСТ 22908-78); алмазные инструменты, режущая часть которых шлифуется с получением определенной формы: резы, иглы, гребенки.

Простота конструкции, жесткость, использование недорогих алмазов, возможность осуществления правки до полного износа алмазных зерен, малая чувствительность к изменениям условий правки предельно упрощают

эксплуатацию алмазных карандашей. Поэтому карандаши целесообразно применять на всех операциях шлифования.

Алмазы в оправках имеют более острые ориентированные режущие кромки. Поэтому инструмент работает с меньшими силами, что важно при правке кругов на вулканитовой связке, резбшлифовании (одноточным кругом), шлифшлифовании, зубшлифовании и в случаях, когда необходимо получить острые тонкие режущие кромки или уменьшить упругие отжатия круга на вулканитовой связке в процессе его правки. Для рационального использования алмазов необходимо переставлять зерна новой острой вершины вверх, когда площадь износа достигает 1 – 2 мм².

У ограниченных алмазных инструментов создают режущие кромки, ориентированные по направлению наибольшей твердости. Этот инструмент необходим для образования сложных профилей и одновременной правки периферийных и торцовых поверхностей по копиру.

В массовом производстве находят применение алмазные гребенки, в которых алмазы закреплены в виде удлиненных пластин. Алмазные гребенки обеспечивают высокую точность автоматической правки и имеют стойкость в 10 – 15 раз более высокую, чем однокристалльный инструмент.

Правку обкатыванием осуществляют правящими дисками, получающими вращение от контакта образующей со шлифовальным кругом. Обкатывание со скоростью до 5 м/с способствует наименьшему износу правящего инструмента. Для правки применяют металлические и твердосплавные диски.

Правку обкатыванием используют также для накатки резьбовых и фасонных поверхностей на шлифовальном круге. В процессе накатки скорость круга снижается до 1 – 2 м/с.

Правку шлифованием осуществляют принудительным вращением правящего диска от привода передней бабки станка или индивидуального электропривода. Этот метод правки применим лишь для алмазных роликов и крупногабаритных карбидокремниевых кругов очень высокой твердости. Многолезвийный вращающийся инструмент имеет уменьшенный износ, повышает точность и однородность правки.

Алмазный ролик вследствие чрезвычайно малого износа осуществляет до 50 тыс. правок, упрощает наладку и обеспечивает однородность качества деталей в условиях массового производства.

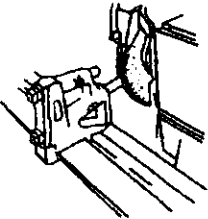
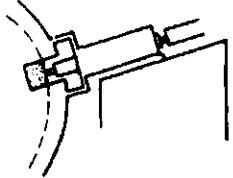
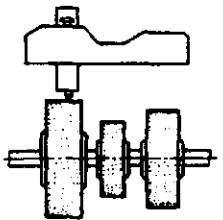
Правку кругами из черного карбида кремния твердостью ЧТ и ВТ используют преимущественно на круглошлифовальных станках с принудительным вращением от привода передней бабки станка (табл. 39).

Методы измерения в процессе шлифовки. Основные средства и схемы измерения шлифуемой поверхности при круглом шлифовании приведены в табл. 40. Простейшим и широко применяемым является метод измерения с помощью накидной индикаторной скобы.

Трехконтактная индикаторная скоба (рис. 221, а) имеет масляный виброизолятор 1, индикаторную державку 2 и сменную скобу 3, устанавливаемую в державке. Неподвижные наконечники 4 и 5 сменной скобы — опорные;

подвижной наконечник 6 воспринимает отклонения шлифуемой шейки 8 и передает их индикатору 7. Нижний опорный наконечник 5 касается детали не в диаметральной плоскости подвижного наконечника 6, а в точке, смещенной примерно на 15° в направлении вращения шлифуемого вала, что делает более надежной и устойчивой посадку всей индикаторной скобы на измеряемой шейке. Шлифовальный круг 9 огражден защитным кожухом 10. Шарнирное соединение державки с виброизолятором позволяет скобе следовать за любым перемещением вала при его шлифовании и исключает погрешности измерения. Виброизолятор укрепляют на защитном кожухе шлифовального круга. При шлифовании напроход вала со


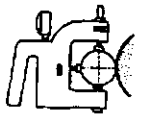
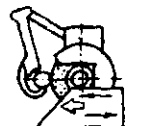
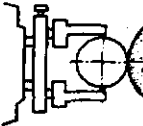
39. Схемы и профилирования шлифовальных кругов

Инструмент или устройство и схема правки	Характеристика и применение
<p>Правящий инструмент: расположен на столе</p> 	<p>Наиболее простой метод правки с использованием возвратно-поступательного движения стола для подачи алмаза вдоль образующей шлифовального круга. Оправка с алмазом может быть установлена на заднюю бабку или на столе станка</p>
<p>расположен на шлифовальной бабке</p> 	<p>Предпочтителен на многооперационных станках при массовом производстве, так как позволяет сохранять осевое положение обрабатываемой детали относительно шлифовального круга. Правящее устройство имеет автономную каретку и гидропривод продольного перемещения с бесступенчатым регулированием скорости. Подачу алмаза на врезание осуществляют вручную или механически. Врезание регулируется устройством автоматической компенсации износа круга</p>
<p>Устройство: для многокруговой правки по копиру линейке</p> 	<p>Правка единичным алмазом нескольких кругов различного диаметра, примыкающих друг к другу или разобщенных нешлифованными участками. Для одновременной правки нескольких кругов может быть использовано несколько алмазов, расположенных на одной каретке</p>

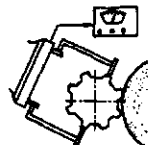
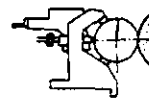
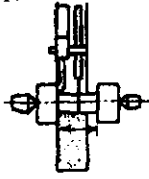
Продолжение табл. 39

Инструмент или устройство и схема правки	Характеристика и применение
<p>для копирного профилирования</p> 	<p>Устройство, смонтированное на кожухе шлифовального круга, осуществляет правку круга по копиру. Контурный шуп поджимается к копиру пружиной или с помощью гидравлики и перемещается по контуру копирной линейки от гидропривода, имеющего бесступенчатое регулирование скорости продольного перемещения. Направление перемещения салазок правящего устройства может быть параллельно или под углом к оси детали, чтобы обеспечить оптимальный угол подъема шупа при его перемещении по контуру копира</p>
<p>для угловой правки (с установкой на столе станка)</p> 	<p>Предназначено для единичного (мелкосерийного) производства. Алмаз перемещают вручную. Каретка может разворачиваться от 0 до 90° в обе стороны. Возможность фиксирования угла поворота каретки позволяет править круг последовательно под двумя разными углами</p>
<p>для правки по радиусу (монтируется на столе)</p> 	<p>Державка с алмазом закреплена в кронштейне, установленном на столе станка. Изменением положения алмаза относительно оси вращения кронштейна можно получить круг выпуклой или вогнутой формы</p>
<p>для правки гагтелей по радиусу</p> 	<p>Устройства для образования выпуклой и вогнутой формы круга и для плавного перехода от радиуса к прямой устанавливают на стойку, которая закреплена на столе станка</p>
<p>для правки при внутреннем шлифовании</p> 	<p>Для внутреннего шлифования на круглошлифовальных станках необходимо специальное правящее устройство, которое должно отводиться от круга после его правки. Подобные приспособления конструируют таким образом, чтобы линия контакта алмаза с кругом совпадала с центром контакта круга и обрабатываемого отверстия. Предварительная настройка положения вершины алмаза по индикатору позволяет обеспечивать диаметр шлифуемого отверстия размерной правкой круга</p>
<p>для правки алмазным роликом</p> 	<p>Правка алмазным роликом с индивидуальным электроприводом вращения может быть использована на круглошлифовальных станках взамен любой правки единичным алмазом. Устройство для правки с кареткой продольного перемещения монтируют на шлифовальной бабке станка. Врезное шлифование профильным алмазным роликом может быть также использовано для профилирования круга по всей его ширине. Метод эффективен в массовом производстве</p>

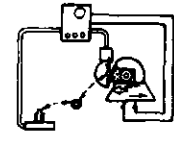
40. Средства и схемы измерения

Средство и схема измерения	Характеристика и применение
Микрометр (для измерения наружного диаметра) 	Микрометры широко используют для измерения диаметра шлифуемой поверхности, преимущественно в инструментальном производстве
Жесткая и индикаторная скоба-калибр 	Скоба фиксированного типа имеет жесткие или регулируемые на заданный размер измерительные губки, показывает реальный размер по сравнению с эталоном и позволяет управлять процессом в соответствии со снимаемым припуском. Предпочтительны в массовом производстве при обработке с получением одного размера
Накидная индикаторная скоба 	Индикаторную накидную скобу монтируют на кронштейне, позволяющем набрасывать скобу на шлифуемую поверхность и затем отводить ее в нерабочую зону. Для защиты от попадания абразива и охлаждающей жидкости, а также чтобы облегчить прочтение размера, индикатор располагают выше зоны контакта круга с деталью. Перемещение чувствительных элементов скобы передаются к индикатору через рычажную систему. Скобу настраивают на заданный размер по эталону
Скобы с постоянным измерением шлифуемой поверхности 	Чувствительные элементы скобы находятся в контакте с обрабатываемой поверхностью и передают сигналы дистанционно через усилитель на электронный измерительный прибор. Такие скобы часто используют в автоматических измерительных устройствах

Продолжение табл. 40

Средство и схема измерения	Характеристика и применение
Индикаторные скобы для измерения разобширенных шлифуемых поверхностей 	Разобширенные поверхности (у шлицевых валов, разверток, фрез и др.) трудно измерять по диаметру, особенно если число выступов нечетное. Для этой цели созданы специальные скобы, у которых ощупывающие элементы затормаживаются при переходе с выступа на впадину и обладают большой чувствительностью, позволяющей быстро передавать размеры выступающих участков
Скоба для измерения шлифуемой шейки по хорде 	Метод основан на использовании одного чувствительного элемента относительно положения двух других неподвижных опор, симметрично охватывающих по хорде участок обрабатываемой поверхности. Отклонение от номинального значения по хорде переводится в диаметральный размер. Метод используют для измерения деталей в процессе шлифования, а также измерения ручными скобами деталей больших диаметров, когда нельзя применять стандартные микрометры
Устройство для установки детали по шлифуемой торцовой поверхности (осевой локатор) 	При шлифовании торцов, галтелей и фасок необходимо устанавливать осевое положение детали по шлифовальной поверхности. Если обрабатываемая деталь в осевом положении не устанавливается специальным приспособлением, то установку проводят при продольном перемещении стола с помощью устройства, указывающего положение шлифуемой поверхности относительно режущей поверхности круга

Продолжение табл. 40

Средство и схема измерения	Характеристика и применение
Измерительное устройство для одновременного шлифования двух сопрягаемых поверхностей 	Окончательно изготовленную деталь устанавливают в измерительное устройство, которое указывает фактический размер этой детали и припуск, который необходимо снять с сопрягаемой с ней шлифуемой поверхности другой детали, чтобы обеспечить собираемость этой пары с заданным зазором

шпоночными канавками, срезами или выступающими шейками измерение проводят в одном сечении на гладкой части шейки, для чего виброизолятор с индикаторной скобой укрепляют на столе или на одной из бабок станка, и он перемещается вместе со шлифуемой деталью (рис. 221, б).

При врезном шлифовании шеек разных диаметров применяют быстросменные индикаторные скобы, каждую из которых настраивают на размер одной шейки. При шлифовании валов со шлицами или шпоночными канавками могут быть применены обычные трехконтактные индикаторные скобы, у которых рабочие поверхности опор должны иметь длину не менее двойной ширины разобширенного участка шлифуемой поверхности.

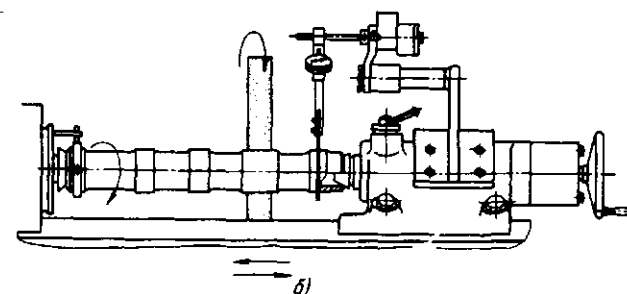
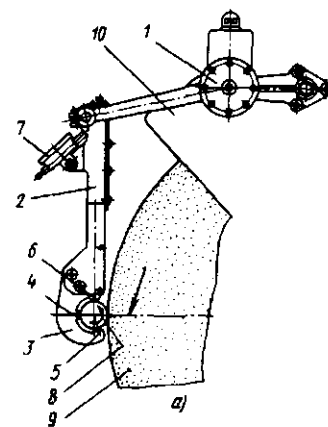


Рис. 221. Индикаторная скоба для измерения детали в процессе шлифования

При многокруговом шлифовании нескольких шеек индикаторные скобы устанавливают по двум крайним шейкам: размеры остальных шеек обеспечиваются автоматически без измерения.

Интенсификация шлифования. Высокоскоростное шлифование. На операциях со снятием большого припуска повышение скорости круга позволяет пропорционально увеличить минутный съем металла при сохранении стойкости круга и параметров шероховатости шлифованной поверхности. На операциях окончательного шлифования, когда необходимо повысить качество обрабатываемой поверхности, увеличение скорости круга не должно сопровождаться ростом поперечной подачи (минутного съема металла). В этом случае *высокоскоростное шлифование* позволяет уменьшить параметры шероховатости поверхности, повысить точность обработки путем снижения силы резания и износа круга, а также увеличить производительность с помощью уменьшения числа правок круга, сокращения времени выхаживания и увеличения общей стойкости круга. На современных круглошлифовальных станках скорость круга может быть увеличена до 50 – 60 м/с.

При шлифовании кольцевых канавок (рис. 222) со скоростью $v_k = 60$ м/с вместо $v_k = 35$ м/с значительно увеличивается кромкостойкость круга, повышается точность и снижается шероховатость. При увеличении поперечной подачи и сокращении времени правки круга алмазным роликом производительность возрастает в 2 раза.

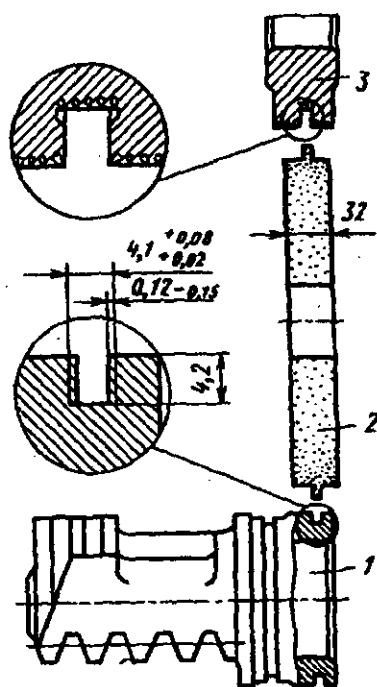


Рис. 222. Схемы шлифования кольцевых канавок на поршне-рейке гидросилителя руля автомобиля ЗИЛ-130: 1 – шлифуемая деталь; 2 – шлифовальный круг; 3 – алмазный правящий ролик

В основе *обдирочного шлифования* лежит увеличение минутной поперечной или продольной подачи за один оборот шлифовального круга. Оно эффективно при обдирке отливок, поковок, абразивной отрезке, снятии обезуглероженного слоя на прутках перед калиброванием, обработке плоских поверхностей на корпусных чугунных отливках, в отделениях затачивания для снятия изношенных или выкрошенных участков режущего инструмента. Часто обдирочное шлифование сопровождается одновременным повышением скорости круга до 50 – 80 м/с в целях повышения интенсивности съема металла и уменьшения расхода кругов.

Эффективность обдирочного шлифования на высокой скорости резания подтверждает абразивная отрезка заготовок из быстрорежущих сталей. Штанговый и прутковый материал диаметром 20 – 120 мм отрезается на шлифовально-отрезном станке при скорости круга 80 м/с. Абразивные отрезные круги диаметром 500 мм и шириной 4,5 мм работают с поперечной подачей круга 500 – 750 мм/мин. Для от-

резки штанги диаметром 75 мм из быстрорежущей стали на круглопильном станке требуется 8 – 11 мин; скоростная абразивная отрезка той же заготовки не превышает 13 – 14 с, кроме того сокращается отход металла в стружку вследствие уменьшения отрезаемой ширины с 6,5 мм при круглопильном инструменте до 4,5 мм на абразивно-отрезном станке. Скоростная абразивная отрезка обеспечивает отсутствие заусенцев на плоскости среза.

Глубинное шлифование предусматривает применение больших глубин резания и медленной "ползучей" подачи. При этом значительно меньше ощущается влияние исходных погрешностей формы и колебания припуска на результаты обработки. Поэтому глубинное шлифование применяют для обработки заготовок без предварительной лезвийной обработки, например для шлифования спиральных канавок на сверлах диаметром 4,5 – 10 мм и пазов по целому.

Совмещенное шлифование широкими кругами применяют для одновременной обработки нескольких шеек и прилегающих к ним торцов на торце-круглошлифовальных станках. Угол наклона оси круга 8 – 45°. С возрастанием припуска и высоты шлифуемых торцов угол наклона круга увеличивают, чтобы создать условия шлифования торцов периферией круга с меньшим тепловыделением. При использовании автоматической угловой подачи круга, перпендикулярной его оси, угол наклона круга чаще выбирают 26,6° или 45°, чтобы составляющие угловой подачи по торцу и шейке находились в соотношении 1 : 2 или 1 : 1. Для уменьшения снимаемого припуска по торцам важное значение имеет осевая ориентация детали относительно круга. Обычно обрабатываемую деталь ориентируют по одному из наиболее трудношлифуемых торцов, чтобы припуск по этому торцу был наименьшим. Осевая ориентация на станке осуществляется с помощью осевого локатора. Для этой цели деталь после установки в центрах перемещается продольно до упора базового торца в локатор, положение которого согласовано с положением торца круга.

При профильной правке шлифовального круга формируется режущая поверхность круга и достигаются определенная точность и взаимное расположение шлифуемых поверхностей. Профилирование круга достигается правкой однокристалльным алмазом по копиру или фасонным алмазным роликом.

При копирной правке регулированием профиля и положения копира можно получать размеры одновременно шлифуемых поверхностей в соответствии с требованиями чертежа, компенсировать упругие отжата технологической системы и другие погрешности, вызванные неравномерным распределением припуска и неоднородностью режущих свойств шлифовального круга.

Примером совмещенного шлифования с применением копирной правки является одновременное шлифование трех шеек и одного прилегающего торца поворотного кулака автомобиля ЗИЛ-130 (рис. 223). Особенности данной операции – крайние обрабатываемые шейки разнесены на 70 мм друг от друга, при этом необходимо обеспечить точность шейки с допуском 17 мкм и шероховатость поверхности $Ra 0,6$ для детали из незакаленной стали 40X в условиях поточной обработки в автоматической линии. Для выполнения этих требований необходима прецизионная правка кругов с минимальными упругими отжатами в правящем копирном устройстве; шлифование осуществляют при сравнительно невысокой интенсивности резания, чтобы сохранять возможно дольше микрорельеф режущей поверхности и профиль режущей кромки, а также не вызывать значительных отжатов в технологической системе. Этим можно объяснить что, несмотря на хорошую подготовку детали до шлифования и снятие сравнительно малых припусков (0,4 – 0,3 мм на диаметр), шлифование ведется при черновой подаче 0,8 мм/мин и чистовой подаче 0,2 мм/мин. Время рабочего цикла составляет 50 с. Стойкость круга между правками – 30 деталей.

Совмещенное шлифование поворотных кулаков на низких подачах обеспечивает длительную эксплуатацию кругов. Один комплект кругов работает шесть месяцев и обрабатывает 50 – 55 тыс. деталей. Этот пример показывает, что совмещенное шлифование прецизионных поверхностей на низких подачах с удлиненным циклом обработки полностью компенсируется высокой надежностью технологического процесса и отсутствием длительных простоев станка на смену кругов и подналадки.

Недостатком однокристалльной копирной правки широких кругов является значительное время правки круга, которое достигает 10 – 15 % рабочего времени станка, а также влияние износа и затупления однокристалльного алмаза на качество шлифования. По этой причине в

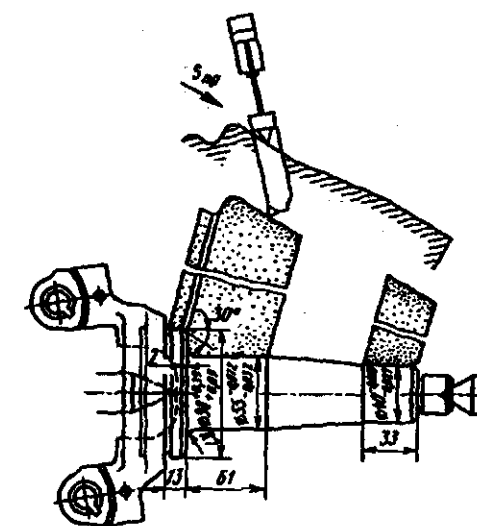


Рис. 223. Схема совмещенного шлифования поверхностей поворотного кулака автомобиля ЗИЛ-130

некоторых новых конструкциях станков для совмещенного шлифования применены алмазные ролики (профиль которых соответствует профилю шлифуемой поверхности), которые в процессе правки методом врезания формируют заданный профиль шлифовального круга. В этом случае время правки в малой степени зависит от ширины шлифовального круга и уменьшаются на 3 – 5 % простоя станка на правку. В некоторых случаях правка роликом по времени совмещается со сменой обрабатываемой детали и не вызывает длительного простоя станка. Преимуществом правки роликами является стабильность качества обработки за период стойкости ролика из-за исключительно малого износа и усреднения качества правки большим числом одновременно работающих алмазных правящих зерен. Наибольшая эффективность правки алмазными роликами проявляется при совмещенном шлифовании нескольких поверхностей профильным кругом. В этом случае алмазный ролик обеспечивает необходимые размеры и положение шлифуемых поверхностей без участия и влияния оператора, поддерживает условия "вечной" наладки с высокой надежностью получения заданных параметров качества обработки.

Эффективность совмещенного шлифования широкими кругами подтверждается примером шлифования шеек и торцов вала короб-

ки передач автомобиля ЗИЛ-130. На первом станке три прилегающие друг к другу шейки и торец (рис. 224, а) вторичного вала коробки передач шлифуются одновременно широким профильным кругом. Опорный торец, прилегающий к этой шейке, используется для осевой установки вала по локатору. Этим обеспечивается наименьший припуск по торцу и соблюдение осевых размеров шеек.

На втором станке применена двухкруговая наладка, состоящая из одного широкого профилированного круга для одновременного шлифования двух шеек и узкого круга для совмещенного шлифования шейки и торца (рис. 224, б). Рабочий цикл шлифования осуществляется при трех подачах. При черновой подаче 1,2 мм/мин снимается 65 % припуска; при полуступенчатой подаче 0,4 мм/мин снимается 25 % припуска; на долю чистовой подачи 0,1 мм/мин приходится 10 % общего припуска. Чтобы уменьшить упругие отжаты в технологической системе и ослабить влияние износа и разных скоростей резания на участках наибольшего и наименьшего диаметра круга, необходимо поддерживать высокие режущие свойства кругов и чаще править круг. Поэтому период стойкости между правками выбран сравнительно небольшим (10 – 15 деталей). Практически принудительная автоматическая правка включается после 15 мин работы станка. Однако время правки алмазным роликом составляет всего 30 с. По времени правка совмещается со сменой деталей, поэтому почти не вызывает доплатного простоя станка.

Правящий алмазный ролик имеет принудительное встречное вращение со скоростью 60 м/мин. Общая стойкость ролика составляет 6 – 8 месяцев работы. Так как в алмазном ролике изнашивание связки значительно опережает изнашивание алмазов, периодическое наращивание связки повышает долговечность ролика в 2 раза.

Ранее выполняемое раздельное шлифование на шести станках заменено совмещенным шлифованием шеек на двух станках и высвобождением девяти рабочих. Точность взаимного расположения шеек увеличилась в 2 раза. Станки для совмещенного шлифования вторичных валов полностью автоматизированы, включая загрузку, установку, осевую локацию и зажим детали, рабочий цикл шлифования, активный контроль, принудительную правку алмазными роликами и разгрузку после обработки. Автоматизация операций совмещенного шлифования позволила объединить обслуживание двух станков одним рабочим.

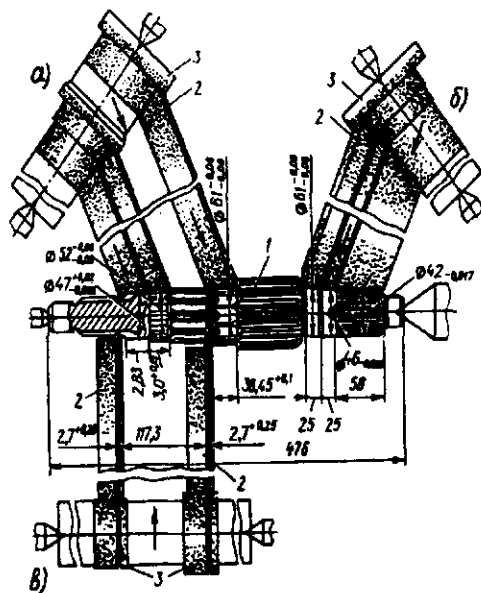


Рис. 224. Схемы совмещенного шлифования шеек и торцов вторичного вала коробки передач автомобиля ЗИЛ-130: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – шлифовальные круги; 3 – алмазные правящие ролики

На третьем станке осуществляется прорезка с $v_k = 60$ м/с одновременно двух кольцевых канавок на закаленном валу твердостью 56 ... 62HRC (рис. 224, в), что позволило исключить операцию предварительного точения канавок до термической обработки, повысить точность и улучшить поверхность шлифуемых канавок.

В качестве примера многокругового шлифования можно привести одновременное шлифование шеек коленчатого и распределительного валов автомобиля ЗИЛ-130 (рис. 225). Технологическая особенность данной операции состоит в том, что разными кругами, работающими в одном автоматическом цикле, необходимо обработать шейки, расположенные по всему валу длиной 800 мм, с колебанием припуска на шлифование 0,5 мм на диаметр и получить на всех обрабатываемых шейках точность 20 мкм, отклонение от соосности всех шеек 5 мкм и шероховатость поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,63$. Для этой цели применяют станки повышенной жесткости с двухопорным креплением шпинделя и прямым расположением шлифовальных кругов.

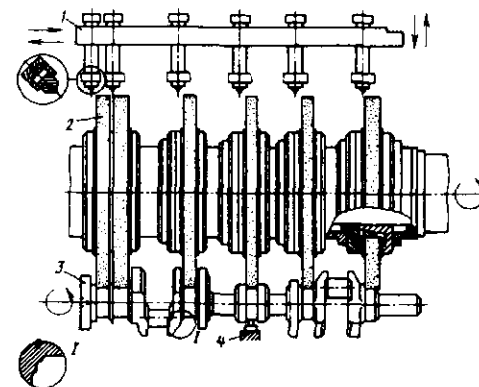


Рис. 225. Схема совмещенного многокругового шлифования шеек вала: 1 – устройство для одновременной алмазной правки всех кругов; 2 – шлифовальные круги в сборе на шпинделе станка; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – люнет

В отличие от станков консольного исполнения, у которых шпиндель жестко закреплен на опорах шлифовальной бабки и установка кругов происходит непосредственно на шпинделе станка, на двухопорных станках шпиндель с набором кругов представляет собой автономный съемный узел, благодаря чему установка и балансировка кругов происходит вне станка на запасном шпинделе. Съемный двухопорный шпиндель станка имеет массивный неподвижный вал, на подшипниках качения которого вращается гильза, несущая шлифовальные круги. Расстояние между кругами в общем наборе регулируется промежуточными кольцами.

Для многокруговых наладок с общей длиной шлифуемых поверхностей свыше 500 мм прецизионные круги изготовляют и поставляют комплектами. На каждом круге, входящем в комплект, обозначены номер комплекта и порядковый номер круга в комплекте, дисбаланс и его расположение. В отличие от обычных операций шлифования, при которых дисбаланс круга компенсируется перемещением балансировочных сухарей на фланцах, при многокруговой наладке балансировка осуществляется при сборке комплекта кругов на шпинделе путем поворота каждого круга относительно другого, с тем чтобы тяжелые части каждого круга располагались равномерно по окружности. Например, при шестикруговой наладке для шлифования шеек коленчатого вала каждый круг своей тяжелой частью должен быть смещен на 60° относительно соседне-

го. Измерительные скобы и средства активного контроля установлены по крайним шейкам, с тем чтобы при наладке станка была возможность выверить параллельность стола оси центров передней и задней бабок.

Для уменьшения упругих отжаты шлифового вала на станке применен следящий люнет, подпирающий среднюю шейку. Для стабилизации режущих свойств кругов станок имеет механизм автоматического наращивания частоты вращения по мере изнашивания кругов, чтобы сохранять постоянную скорость резания.

Совокупность перечисленных технических решений позволяет стабильно обеспечить качество многокругового прецизионного шлифования всех шеек, значительно превышающее качество раздельного шлифования. Отклонение от соосности всех шеек при многокруговом шлифовании оказалось примерно в 3 – 4 раза меньше отклонения при раздельном шлифовании, в результате чего повысилась долговечность вкладышей коренных подшипников в автомобильных двигателях.

Схема совмещенного двустороннего шлифования цапф картера заднего моста автомобиля ЗИЛ-130 приведена на рис. 226. Одновременно обрабатываются восемь шеек и прилегающие к ним торцовые и галтельные поверхности на одном торцешлифовальном станке с автоматическим циклом шлифования и автоматической принудительной правкой кругов алмазными роликами. Одновременная обработка позволяет также обеспечить точное взаимное расположение этих поверхностей при оптимальных условиях работы сильно нагруженного узла автомобиля.

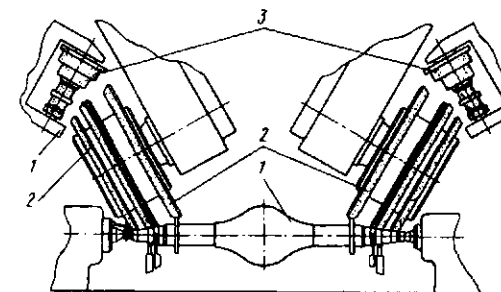


Рис. 226. Схема совмещенного двустороннего шлифования цапф заднего моста автомобиля ЗИЛ-130: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – шлифовальные круги на шпинделе станка; 3 – алмазный правящий ролик

Поскольку обе цапфы на разных концах картера имеют одинаковые параметры, каждая шлифовальная бабка имеет идентичную наладку (рис. 227).

Одновременно шлифуются шейки диаметром $75_{-0,06}^{+0,03}$ мм с галтелью $R3$, диаметром $85_{-0,075}^{+0,040}$ с галтелью $R8$, диаметром $93_{+0,060}^{+0,085}$ с галтелью $R2,5_{-0,3}$ к прилегающим торцам. Наружный диаметр фланца 218 мм. Суммарная ширина набора кругов составляет 155 мм. Расстояние между крайними торцами шлифуемых поверхностей 396 мм. Максимальный диаметр круга 1060 мм. Разность диаметров наибольшего и наименьшего кругов в наладке – 123 мм. Заданные размеры шлифуемых поверхностей обеспечиваются прибором активного контроля по наиболее точному диаметру шейки 85 мм. Остальные размеры обеспечиваются благодаря фасонному профилю шлифовального круга, который формируется в процессе правки блоком алмазных фасонных роликов. Точность взаимного расположения и размеров алмазных роликов в блоке достигает 2–3 мкм.

Круги правятся методом врезания с принудительным встречным вращением алмазных роликов. Период стойкости кругов между правкой составляет пять – восемь деталей. При каждой правке круга срезается слой абразива толщиной 0,05 мм. Одним комплектом кругов обрабатывается 10 тыс. деталей. Блок алмазных роликов обеспечивает 30 – 50 тыс. правок. Каждая шлифовальная бабка работает независимо друг от друга и после окончания обработки по команде прибора активного контроля возвращается в исходное положение. Один станок для совмещенного шлифования цапф картера заднего моста позволяет заменить шесть станков раздельного шлифования.

Совмещенное шлифование можно эффективно применять даже при обработке маложестких деталей. Например, у винта гидроусилителя руля автомобиля ЗИЛ-130 (рис. 228) одновременно шлифуются три шейки диаметрами $25_{-0,07}^{+0,04}$; $22_{-0,04}^{+0,02}$ и $20_{-0,045}$ мм, прилегающие фаски и торец. Общая длина шлифуемых поверхностей 172 мм. Из-за недостаточной жесткости обрабатываемой детали поперечная подача круга не превышает 0,4 мм/мин; доля снимаемого припуска при черновой подаче 0,4 мм/мин составляет 60 %, при чистовой подаче 0,2 мм/мин – 40 %. Длительность выхаживания 3–4 с.

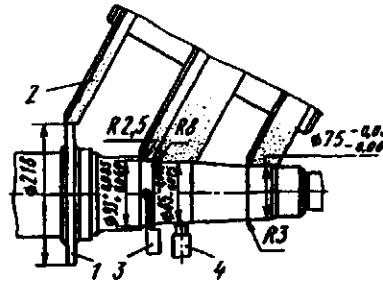


Рис. 227. Схема наладки совмещенного шлифования цапфы заднего моста: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – шлифовальные круги; 3 – локатор для осевой ориентации обрабатываемых поверхностей относительно шлифовальных кругов; 4 – люнет

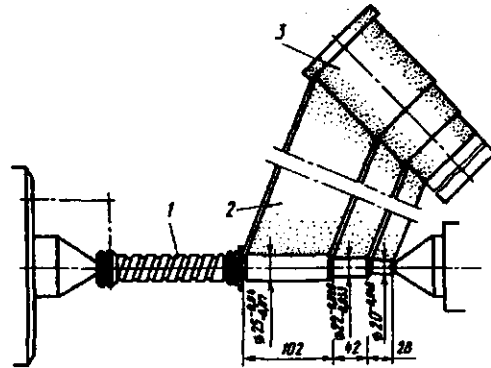


Рис. 228. Схема совмещенного шлифования трех шеек, прилегающих фасок и торца на винте гидроусилителя руля автомобиля ЗИЛ-130: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – шлифовальные круги; 3 – алмазный правящий ролик

Правка круга осуществляется алмазным роликом после обработки десяти деталей. Правящий ролик имеет принудительное встречное вращение с частотой 270 об/мин. Уменьшение радиальных сил резания достигается при использовании сравнительно мягкого круга СМ2 на керамической связке. В качестве СОЖ применяют водную эмульсию НГЛ-205. Таким образом, за 40 с основного времени при снятии припуска 0,6 мм на диаметр окончательно шлифуются три шейки с точностью 20 мкм и шероховатостью поверхности $Ra = 0,6 \dots 1,2$, а также три прилегающие к шейке фаски и торец.

Бесцентровое круглое шлифование

При бесцентровом шлифовании обрабатываемая деталь 1 (рис. 229) устанавливается на опорный нож 4 между шлифовальным 2 и ведущим 3 кругами. Шлифовальный круг вращается со скоростью $v_k = 30 \dots 60$ м/с, а ведущий – со скоростью $v_b = 10 \dots 40$ м/мин. Так как коэффициент трения между кругом 3 и деталью больше, чем между деталью и кругом 2, то ведущий круг сообщает детали вращение со скоростью круговой подачи v_s .

Применяются два метода шлифования: проходное и врезное. Продольная подача достигается при повороте оси ведущего круга на угол α . Окружная скорость ведущего круга v_b разлагается на две составляющие: скорость вращения детали (круговую подачу) v_d и продольную подачу $s = v_b \sin \alpha$. Чтобы обеспечить линейный контакт ведущего круга с цилиндрической поверхностью детали, ведущему кругу в процессе правки придают форму гиперболоида.

При врезном шлифовании ведущий круг сообщает детали только вращательное движение. Ось ведущего круга устанавливается горизонтально или под небольшим углом ($\alpha \approx 0,5^\circ$), чтобы в процессе шлифования создать поджим к неподвижному упору. В этом случае ведущему кругу придается при правке цилиндрическая форма. Принудительная подача обрабатываемой детали сообщается механизмом подачи бабки ведущего круга.

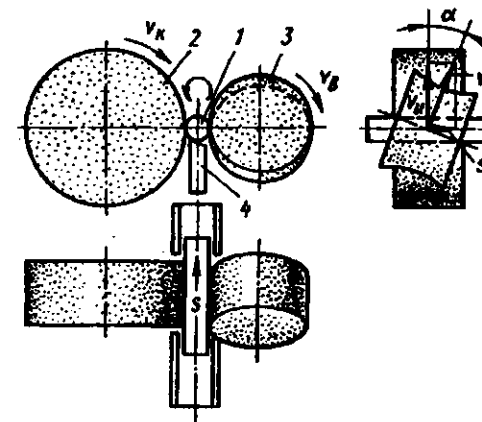


Рис. 229. Схема бесцентрового круглого шлифования

Технологические особенности. Обрабатываемая деталь вращается свободно, без закрепления в призме, образованной опорным ножом и ведущим кругом. Благодаря этому исключаются деформации детали при ее зажиме, а вращение в призме позволяет эффективно устранять отклонения от круглости шлифуемой поверхности.

Вращение детали осуществляется вследствие сил трения между деталью и ведущим кругом. Для качественной обработки необходимо, чтобы деталь начала вращаться до касания шлифовального круга, что в значительной степени определяется состоянием опорного ножа, который должен иметь прямолинейную опорную поверхность высокой твердости и шероховатостью $Ra = 0,08 \dots 0,16$, с тем чтобы коэффициент трения между деталью и ножом был минимальным. Обрабатываемая поверхность чаще всего является базой, поэтому большое значение приобретает исходное состояние обрабатываемой поверхности.

Ведущий круг выполняет роль устройства, замедляющего скорость вращения детали, а также дополнительной опоры, значительно повышающей жесткость технологической системы. Благодаря этому на бесцентрово-шлифовальных станках можно обрабатывать длинные и тонкие детали на увеличенных поперечных подачах без опасения прогибов в процессе шлифования. Бесцентровое шлифование, осуществляемое без зажима и без устройств принудительного вращения детали, не требует создания центровых базовых гнезд и упрощает автоматизацию обработки, сокращает время на установку и снятие обрабатываемой детали. Эти преимущества делают бесцентровое шлифование наиболее производительным процессом круглого наружного шлифования.

Жесткость технологической системы бесцентрово-шлифовальных станков в 1,5–2 раза выше жесткости круглошлифовальных станков, поэтому и режим резания при бесцентровом шлифовании повышают примерно в 1,5–2 раза. Бесцентровое шлифование обеспечивает точность обработки деталей 5–6-го качества.

В процессе бесцентрового шлифования обрабатываемая деталь лежит на опорном ноже и ведущем круге, образующих призму (рис. 230). Опорный нож устанавливают по высоте так, чтобы центр детали был выше линии центров шлифовального и ведущего кругов примерно на $0,5d$, но не более чем на

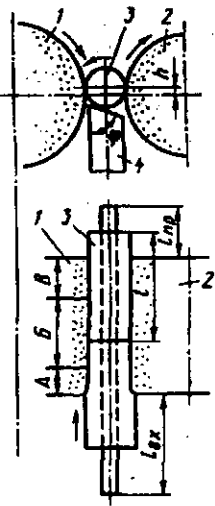


Рис. 230. Схема и рабочий цикл бесцентрового проходного шлифования
1 — шлифовальный круг; 2 — ведущий круг; 3 — обрабатываемая деталь; 4 — опорный нож; $l_{к}$ — передняя (направляющая) часть опорного ножа; l — длина обрабатываемой детали; $l_{п}$ — задняя (присменная) часть опорного ножа

14 мм. Тонкие, длинные и недостаточно прямолинейные прутки целесообразно располагать ниже линии центров на ту же величину. Опорная поверхность ножа должна располагаться параллельно оси шлифовального круга.

Отклонение от прямолинейности опорной и установочной поверхностей ножа не должно превышать 0,01 мм на 100 мм длины. Толщина опорного ножа должна быть на 1–2 мм меньше диаметра шлифуемой детали, но не более 12 мм:

Диаметр детали, мм	1,5–3,0	3,0–6,5
Толщина ножа, мм	1,25	2,5
Диаметр детали, мм	6,5–12,5	12,5 и более
Толщина ножа, мм	6,0	12,0

Угол скоса ϕ опорной поверхности ножа для деталей длиной до 100 мм и диаметром до 30 мм принимают равным 30° , а при больших размерах $20–25^\circ$.

Опорные ножи, оснащенные пластинками из твердого сплава ВК8, обладают высокой износостойкостью. Стальные ножи следует применять при шлифовании деталей диаметром до 3 мм, когда нет возможности применять ножи с твердым сплавом. В целях экономии верхнюю опорную часть ножа изготавливают из легированной или быстрорежущей стали, а нижнюю — из углеродистой.

Бесцентровое шлифование напроход. Обрабатываемая деталь при входе в зону шлифования самоустанавливается между кругами и перемещается силой продольной подачи, при

этом шлифовальный круг врезается в деталь на величину снимаемого припуска. На участке врезания режущая кромка круга интенсивно изнашивается, образуя заборную часть А (рис. 230), которая непрерывно увеличивается и изменяет условия резания. Поэтому на долю участка В круга приходится снятие остаточного припуска и устранение отклонений формы. На участке выхаживания В, вследствие обратного конуса на образующей шлифовального круга, по мере перемещения детали к выходу глубина резания непрерывно уменьшается, способствуя снижению шероховатости и повышению точности детали.

При бесцентровом шлифовании напроход можно надежно обеспечивать обработку с точностью 5–6-го качества при допуске 2,5 мкм и шероховатости поверхности $Ra = 0,32 \dots 0,08$.

Число операций зависит от припуска на шлифовании, определяемого исходными погрешностями, требованиями точности и шероховатостью поверхности. При шлифовании с невысокими требованиями к точности (допуске 0,08–0,1 мм) и шероховатости поверхности ($Ra = 1,25 \dots 2,5$) наибольший снимаемый припуск за одну операцию составляет 0,25 мм на диаметр (табл. 41–43).

В условиях массового производства шероховатость поверхности $Ra < 0,2$ достигается доводкой (табл. 44) или суперфинишированием.

В некоторых случаях для уменьшения шероховатости поверхности целесообразно применять наладки, в которых вместо одного шлифовального круга высотой 150–200 мм устанавливают два круга высотой 75–100 мм разной характеристики (рис. 231). Первый круг (крупнозернистый) служит для снятия припуска, второй круг (мелкозернистый) — для окончательного достижения необходимых точности и шероховатости поверхности.

Бесцентрово-шлифовальные станки с широкими кругами (500 и 800 мм) заменяют два-три обычных станка. Для снятия увеличенного припуска на широких кругах необходимо создавать заборный конус длиной до 100 мм (на входе), а на выходе делать обратный конус длиной 50–80 мм для снижения шероховатости поверхности и исключения следов на шлифуемых деталях. Заданный профиль по образующей круга с передним и обратным конусами создается в процессе правки круга по копиру.

41. Глубина шлифования, характеристика круга (структурой 5) и шероховатость поверхности при бесцентровом шлифовании напроход деталей

Обозначение операции	Удвоенная глубина шлифования деталей, мм		Характеристика круга при обработке деталей								Ra , мкм, деталей			
	стальных	чугунных	стальных				чугунных				стальных	чугунных		
			Материал зерна	Зернистость	Твердость	Связка	Материал зерна	Зернистость	Твердость	Связка				
а	0,20–0,35	0,2–0,35		50	СТ2					50	СТ1		1,6–3,2	0,8–1,6
б	0,15–0,2	0,15–0,2		40	СТ1					40	С2		0,8–1,6	0,8
				40	СТ1						40	С1		
в	0,10–0,15	0,10–0,15		25	С1				54С	25	СМ2	К	0,8	0,4
г	0,05–0,1	0,05–0,1	15А	16	С1	К8				16	СМ2	К	0,4–0,8	0,2–0,4
				25	С2					16	С1			
д	0,03–0,05	0,015–0,03		16	С1			63С		12	СМ2		0,4	0,2–0,4
е	0,015–0,03	–		10	С1					–	–		0,2–0,4	–
				12	С2						–	–		
ж	0,01–0,015	–	63С	М40	С1	Б1				–	–		0,1–0,2	–
				М28	С2		ГФ							

Примечания: 1. Характеристика ведущего круга для всех случаев шлифования стальных и чугунных деталей — 15А16ТВ.

2. При шлифовании на автоматизированных линиях, где один рабочий обслуживает несколько станков (без автоподладчика), число операций может быть увеличено на одну-две; при осуществлении всех операций на одном станке число их можно уменьшить на одну по сравнению с табличными данными. В этих случаях рекомендуемую нормативами удвоенную глубину шлифования на последних одной-двух операциях следует сохранить, а на первых — соответственно изменить, оставив неизменным суммарный припуск.

3. Если технологический процесс предусматривает шлифование детали до и после термообработки, то при расчете числа операций для незакаленных деталей требуемой является точность, с которой деталь поступает на термообработку; для термообработанных деталей исходной является точность, с которой детали возвращаются после термообработки.

42. Число и обозначение операций при бесцентровом шлифовании напроход стальных деталей

Исходная точность формы, мм	Отклонения формы, мм							
	0,1–0,15	0,05–0,1	0,03–0,05	0,015–0,03	0,01–0,015	0,005–0,01	0,0025–0,005	
0,15–0,3	1; а	2; а, б	3; а–в	4; а–г	5; а–д	6; а–е	7; а–ж	
0,10–0,15	–	1; б	2; б, в	3; б–г	4; б–д	5; б–е	6; б–ж	
0,05–0,10	–	–	1; в	2; в, г	3; в–д	4; в–е	5; в–ж	
0,03–0,05	–	–	–	1; г	2; г, д	3; г–е	4; г–ж	
0,015–0,03	–	–	–	–	1; д	2; д, е	3; д–ж	
0,01–0,015	–	–	–	–	–	1; е	2; е, ж	
0,005–0,01	–	–	–	–	–	–	1; ж	

43. Число и обозначение операций при бесцентровом шлифовании напроход чутунных деталей

Исходная точность формы, мм	Отклонения формы, мм				
	0,05 – 0,10	0,03 – 0,05	0,01 – 0,03	0,005 – 0,010	0,0025 – 0,005
0,15 – 0,3	1; а	2; а, б	3; а - в	4; а - г	5; а - д
0,10 – 0,15	–	1; б	2; б, в	3; б - г	4; б - д
0,05 – 0,10	–	–	1; в	2; в, г	3; в - д
0,02 – 0,05	–	–	–	1; г	2; г, д
0,005 – 0,02	–	–	–	–	1; д

44. Характеристики накладки бесцентрового шлифования и доводки

Характеристика	Чистовое бесцентровое шлифование	Доводка
Снимаемый припуск на диаметр, мм	0,02	0,005–0,01
Расположение центра обрабатываемой детали	Выше линии центров кругов на 12 – 14 мм	На линии центров кругов
Опорный нож:		
материал опорной поверхности	Быстрорежущая сталь или твердый сплав	Твердая резина или текстолит
угол скоса, °	25 – 30	0
Шлифовальный круг:		
характеристика	15A12CTB	63CM20CM2B
угол наклона оси, °	0	4
окружная скорость, м/с	35	5
высота, мм	150	560
Ведущий круг:		
характеристика	15A16TB	63CM40CT1B
угол наклона оси, °	1,5	2
окружная скорость, м/с	0,65	1,44
высота, мм	150	560

Во избежание неправильных размеров деталей необходимо в процессе шлифования поддерживать непрерывную подачу их при прохождении через всю зону шлифования (особенно при шлифовании точных деталей).

При установке на станке передняя часть опорного ножа должна выступать из зоны кругов на величину $l_{нк} = (1,2 \dots 1,3) l$, а задняя часть ножа – на величину $l_{пз} \geq 0,75l$ (см. рис. 230).

При шлифовании деталей с $d > l$ длину опорного ножа необходимо увеличить, чтобы предупредить преждевременное выпадание детали на выходе.

Направляющие линейки при бесцентровом проходном шлифовании служат для ввода заготовки в зону шлифования и вывода из нее. При длине шлифуемых деталей $l > 100$ мм длина линейки $L = 1$, при $l = 100 \dots 200$ мм $L = 0,75l$. При выборе длины линейки нужно учитывать также соотношения длины линейки l и диаметра d детали.

При обработке коротких деталей ($d > l$) следует использовать длинные линейки, чтобы одновременно подводить к кругам по несколько деталей для достижения лучшей их устой-

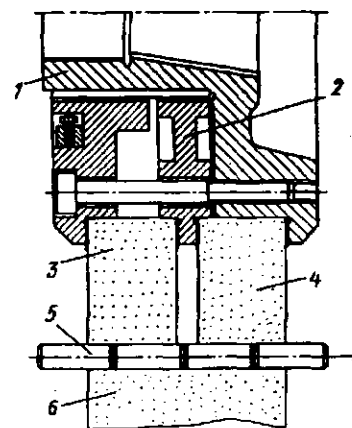


Рис. 231. Схема наладки с использованием кругов разной характеристики: 1 – планшайба; 2 – промежуточное кольцо; 3 – шлифовальный круг (крупнозернистый); 4 – шлифовальный круг (мелкозернистый); 5 – обрабатываемые детали; 6 – ведущий круг

чивости на опорном ноже. Длина направляющих линеек увеличивается также при шлифовании деталей непрерывным потоком. Отклонения от прямолинейности и параллельности боковых сторон линеек не должны превышать 0,01 мм на 100 мм длины.

Направляющие линейки располагают параллельно линии контакта обрабатываемой детали с шлифовальным кругом. Входная направляющая линейка должна располагаться от линии контакта детали с ведущим кругом на половину снимаемого припуска на диаметр ($z/2$). Направляющая линейка на выходе является продолжением линии контакта детали с ведущим кругом (рис. 232).

На рис. 233 приведены примеры возможных отклонений формы шлифуемых деталей, вызванных неправильной установкой направляющих линеек. Направляющие линейки со стороны круга устанавливают так, чтобы обеспечить свободное продвижение деталей на входе и выходе из зоны шлифования. Их применяют лишь для того, чтобы детали не падали с опорного ножа.

При шлифовании напроход для уменьшения разброса диаметров обрабатываемых деталей необходимо, чтобы в зоне шлифования по всей ширине кругов обеспечивался непрерывный поток деталей. Торцовые поверхности деталей должны быть обработаны заранее. Особенно это касается деталей типа колец, диаметр которых превышает их длину.

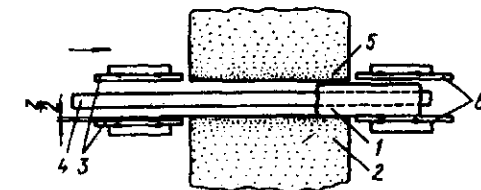


Рис. 232. Схема установки направляющих линеек: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – ведущий круг; 3 – направляющие линейки на входе; 4 – опорный нож; 5 – шлифовальный круг; 6 – направляющие линейки на выходе

Для получения однородного качества шлифуемых деталей необходимо, чтобы на последней финишной операции разброс диаметров деталей был меньше припуска на одну операцию. При отсутствии активного контроля с автоматической подналадкой или недостаточной жесткости технологической системы необходимо вводить дополнительную операцию для уменьшения разброса диаметров.

При шлифовании длинных тонких и искривленных прутков наладка должна быть такой, чтобы прутки лежали на ноже ниже линии центров шлифовального и ведущего кругов примерно на половину своего диаметра. Длина загрузочных и приемных устройств для поддержания детали на входе и выходе из зоны шлифования должна быть не менее длины обрабатываемых прутков.

При шлифовании колец, ранее не обработанных по наружному диаметру, первый ход целесообразно осуществлять с применением оправок. Для этого пачку колец устанавливают на оправке с зазором 0,5 мм и слегка поджимают гайкой так, чтобы каждое кольцо могло самоустанавливаться на опорном ноже в процессе шлифования (рис. 234, а).

Для шлифования напроход профильных бочкообразных роликов, шлифования наружных фасок на кольцах в качестве ведущего круга используют стальной барабан 1 (рис. 235) со спиральными канавками, профиль дна которых соответствует профилю детали 2. При вращении барабана обрабатываемые детали вращаются, ориентируются и перемещаются барабаном вдоль криволинейной образующей круга 3. Опорный нож 4 имеет также криволинейную форму; линейка 5 предотвращает выбрасывание деталей. В спиральную канавку барабана 1 детали вводятся из лотка 6 штоком 7, работа которого согласована с вращением

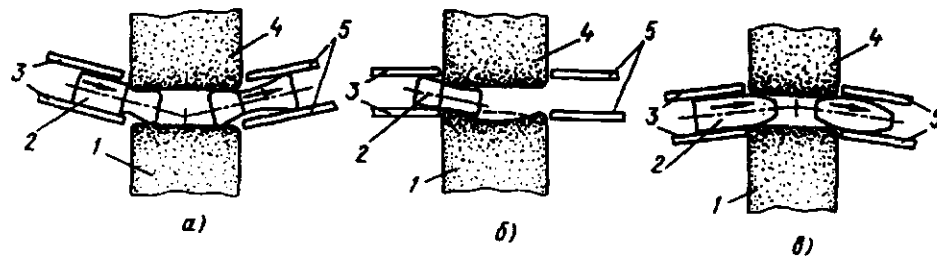


Рис. 233. Возможные отклонения формы деталей, вызванные неправильной установкой направляющих линеек: а – направляющие линейки 3 и 5 повернуты влево; образующая детали получает вогнутую форму; б – направляющие линейки 3 и 5 смещены влево от линии контакта детали с кругами; образующая детали получает вогнутую форму; в – направляющие линейки 3 и 5 повернуты вправо; образующая детали получает выпуклую форму; 1 – ведущий круг; 2 – обрабатываемые детали; 3 – направляющие линейки на входе; 4 – шлифовальный круг; 5 – направляющие линейки на выходе

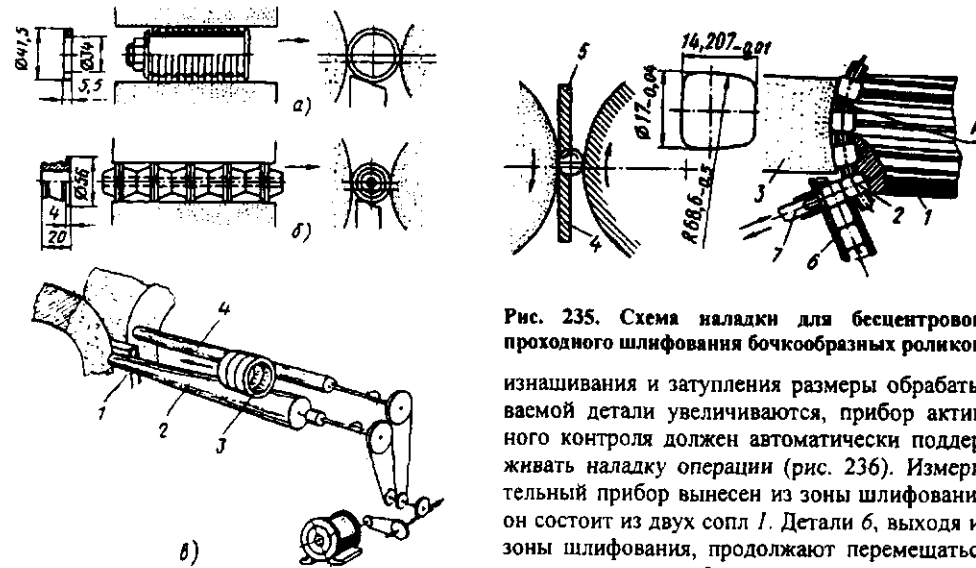


Рис. 234. Схемы наладок для шлифования колец: а – в сборе на оправке; б – роликовых подшипников с буртами; в – схема автоматической подачи колец в зону шлифования; 1 – опорный нож; 2 – коническая скалка; 3 – обрабатываемые детали; 4 – цилиндрическая скалка

барабана. За каждый оборот барабана со станка сходит одна деталь. Этот метод применяют на операциях с невысокими требованиями к точности.

На станках шлифования напроход приборы контроля обычно располагают за зоной шлифования; они фиксируют размер уже обработанной детали. Так как в условиях поточной непрерывной обработки точность размеров определяется настройкой круга и по мере его

Рис. 235. Схема наладки для бесцентрового проходного шлифования бочкообразных роликов

изнашивания и затупления размеры обрабатываемой детали увеличиваются, прибор активного контроля должен автоматически поддерживать наладку операции (рис. 236). Измерительный прибор вынесен из зоны шлифования, он состоит из двух сопел 1. Детали б, выходя из зоны шлифования, продолжают перемещаться по опорному ножу 5 и попадают на наклонную призму 3, являющуюся базой для детали при измерении. Через нижнее сопло 1 сжатый воздух подводится к детали через отверстие в призме. По мере изнашивания и затупления круга диаметр шлифуемых пальцев увеличивается, уменьшая зазор между измерительным соплом и деталью.

При достижении границы верхнего допуска на диаметр пальца измерительный прибор дает команду исполнительным органам механизма поперечной подачи станка на компенсацию износа круга. В условиях непрерывной обработки поршневых пальцев со скоростью продольной подачи 3 – 4 м/мин приборы активного контроля обеспечивают точность диаметра с допуском ± 10 мкм.

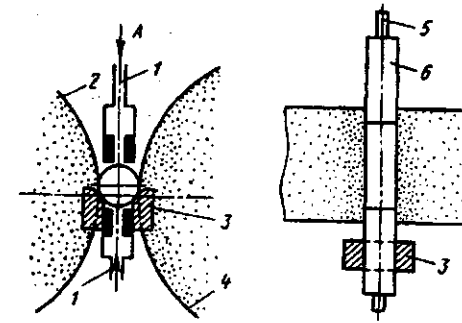


Рис. 236. Схема бесцентрового шлифования поршневых пальцев с применением приборов активного контроля: 1 – сопла; 2 – шлифовальный круг; 3 – направляющая призма; 4 – ведущий круг; 5 – опорный нож; 6 – обрабатываемые детали

Бесцентровое врезное шлифование. Этим методом обрабатывают детали с цилиндрической, конической, сферической и фасонной поверхностями, ступенчатые валики, детали с разобращенными поверхностями и др.

При бесцентровом врезном шлифовании за одну операцию можно снять любой заданный припуск. При этом шлифовальный круг

приват дважды: предварительно — для снятия основного припуска и окончательно на чистовых режимах — для отделочной обработки.

В условиях серийного и массового производства целесообразно разделять обработку на несколько операций, с тем чтобы лучше подготовить деталь к финишной обработке и окончательно шлифование выполнять мелкозернистым кругом, у которого стойкость кромок более высокая.

Рекомендации по выбору числа операций с учетом требований точности и шероховатости поверхности, достигаемых при бесцентровом врезном шлифовании, приведены в табл. 45 – 47.

При врезном шлифовании продольное перемещение обрабатываемой детали в зоне шлифования ограничивают жестким упором (рис. 237).

Выбранная для соприкосновения с упором торцовая поверхность детали должна быть гладкой и не должна иметь биения. Чтобы обеспечить постоянный поджим детали к упору, ведущий круг наклоняют на угол $0,5 - 1^\circ$.

45. Припуск на диаметр, характеристика круга и шероховатость поверхности

Обозначение операции	Припуск на диаметр, мм		Характеристика круга при обработке деталей						Ra, мкм, деталей	
			стальных			чугунных				
	стальных деталей	чугунных деталей	материал зерна	зернистость	твердость	материал зерна	зернистость	твердость	стальных	чугунных
а	0,3 – 0,5	0,3 – 0,5	15А	50 40	СТ2, СТ3 СТ1, СТ2	63С	50 40	СТ1, СТ2 С2 – СТ1	1,5	0,8 – 1,6
б	0,2 – 0,3	0,15 – 0,3	15А	40	СТ1, СТ2	63С	25	С1, С2	0,8 – 1,6	0,8
в	0,1 – 0,15	0,05 – 0,1	15А	25	С2, СТ1	63С	25 20	С1, С2 СМ2, С1	0,4 – 0,8	0,4
г	0,05 – 0,1	–	15А	16	С2, СТ1	–	–	–	0,4	–

Примечания: 1. Для всех операций шлифовальные круги имеют структуру 5, вязку К. Характеристика ведущего круга 15А16ТВ.

2. При обработке стальных деталей длиной менее 80 мм максимальная точность и минимальная шероховатость обеспечиваются в три операции.

3. Рекомендуемое число операций предусматривает их выполнение на различных станках. Если шлифование деталей осуществляют на одном станке, то требуемая точность 0,05 мм может быть достигнута за одну операцию вместо трех, а точность 0,01 мм – за две операции. В этих случаях минутную поперечную подачу следует уменьшить на 20 – 40 %.

46. Число и обозначение операций при бесцентровом врезном шлифовании стальных деталей

Исходная точность формы, мм	Отклонения формы, мм			
	0,10 – 0,15	0,05 – 0,10	0,02 – 0,05	0,01 – 0,02
0,20 – 0,30	1; а	2; а, б	3; а – в	4; а – г
0,10 – 0,20	–	1; б	2; б, в	3; б – г
0,05 – 0,10	–	–	1; в	2; в, г
0,02 – 0,05	–	–	–	1; г

47. Число и обозначение операций при бесцентровом врезном шлифовании чугунных деталей

Исходная точность формы, мм	Отклонения формы, мм		
	0,05 – 0,10	0,02 – 0,05	0,01 – 0,02
0,15 – 0,3	1; а	2; а, б	3; а – в
0,05 – 0,15	–	1; б	2; б, в
0,02 – 0,05	–	–	1; в

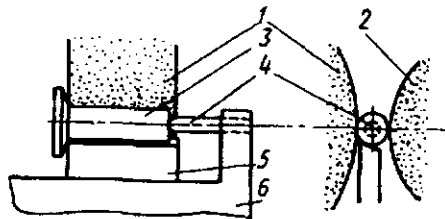


Рис. 237. Схема расположения упора при бесцентровом врезном шлифовании: 1 – шлифовальный круг; 2 – ведущий круг; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – упор; 5 – опорный нож; 6 – суппорт

При врезном шлифовании на обрабатываемой детали копируется профиль шлифовального круга; поэтому для повышения жесткости круга его твердость выбирают на одну-две единицы больше, чем при бесцентровом шлифовании напроход.

Примеры наладок. При шлифовании длинных деталей их правильное положение и устойчивость на ноже обеспечиваются поддерживающим люнетом (рис. 238).

При шлифовании ступенчатых деталей ведущий круг делают ступенчатой формы, если длина шлифуемых шеек примерно одинакова (рис. 239, б), и прямой формы, если большая по диаметру ступень значительно длиннее меньшей (рис. 239, а).

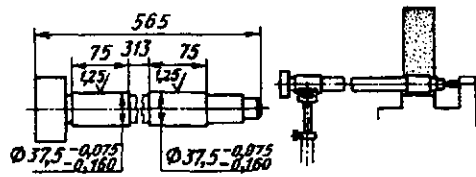


Рис. 238. Схема врезного шлифования длинных валов с люнетом

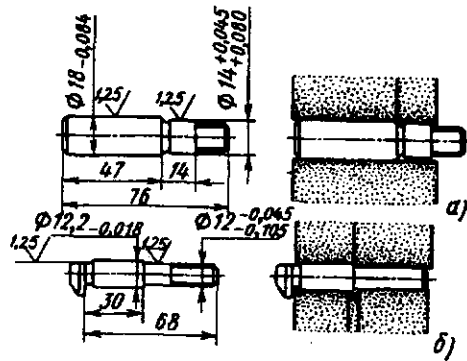


Рис. 239. Схемы наладок для шлифования ступенчатых валков

Аналогично выбирают форму опорной поверхности ножа (рис. 240). Длина ее во всех случаях должна быть на 5 – 10 мм больше длины шлифуемой поверхности. Круг правят по копиру в одну сторону с большего диаметра на меньший; при обратном ходе пиноль с правящим инструментом нужно отводить, чтобы не повредить алмаз.

В многокруговых наладках (рис. 241) все шлифовальные круги монтируют на одной планшайбе. Расстояние между торцами кругов определяется размерами распорной втулки. Аналогичным образом располагают и ведущие круги. Шпиндели ведущих и шлифовальных

48. Режимы шлифования шипов

Параметр	Шлифование	
	обдирочное	чистовое
Скорость: шлифовального круга, м/с	33	33
поперечной подачи на врезание, мм/мин	2,3	0,6
Время, с:		
выжигания	3	3
основное	12	12
Припуск, мм	0,3	0,1
Стойкость круга между правкой, деталей	100	150
Характеристика шлифовального круга	24A25CM2K5	24A16CM1K5

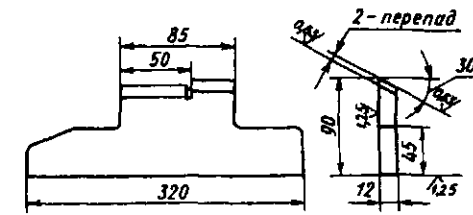


Рис. 240. Опорный нож для шлифования ступенчатых валков

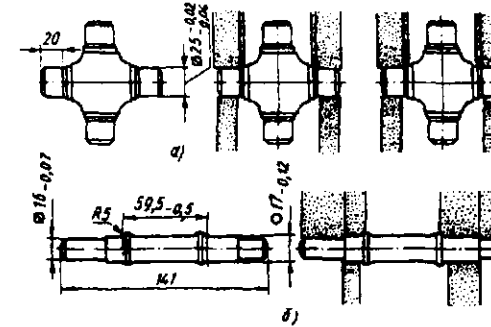


Рис. 241. Схемы многокруговых наладок для обработки разобнесенных поверхностей: а – для обработки крестовины; б – для обработки ступенчатого валика

кругов устанавливают параллельно; обрабатываемая деталь в процессе шлифования самоустанавливается между кругами. При многокруговой наладке для шлифования шипов крестовины (рис. 241, а) за одну установку обрабатывается сразу четыре шипа по наружному диаметру и по фаске при автоматическом цикле. Два детали из магазина загружаются в рабочую зону и устанавливаются на опорном ноже. После шлифования первая пара шипов передается в кантовательное устройство, поворачивается на 90° и вновь устанавливается на ноже для обработки.

Шлифование шипов, закаленных с помощью ТВЧ до твердости 60 ... 66HRC, осуществляется в две операции (табл. 48).

Технологические условия обеспечивают точность размеров шипов с допуском 0,02 мм, отклонения от цилиндричности 0,006 мм, шероховатость поверхности $Ra 0,32$.

При бесцентровом шлифовании конусов (рис. 242) ось ведущего круга для создания прижима детали к упору наклонена на угол

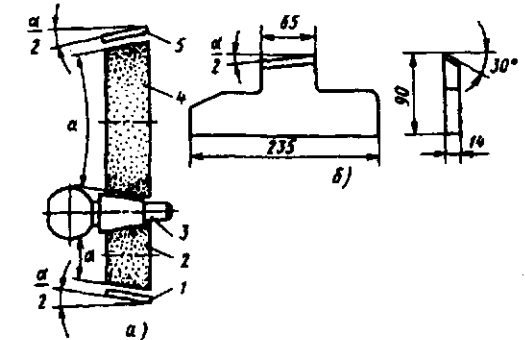


Рис. 242. Схема наладки для шлифования конуса: а – схема наладки; б – опорный нож; 1 и 5 – копирующие линейки; 2 – ведущий круг; 3 – обрабатываемая деталь; 4 – шлифовальный круг

0,5 – 1°. Опорный нож при этом должен быть наклонен наполовину угла конусности детали, а длина опорной поверхности ножа должна быть на 15 – 20 мм больше длины конуса детали. У конусного шлифовального круга участок с меньшим диаметром работает с большей нагрузкой и быстрее изнашивается; поэтому шлифовальный и ведущий круги приходится править чаще. Для уменьшения числа правок следует применять ведущие круги максимальной твердости или изготавливать их из серого чугуна с крупнозернистой структурой. Чугун-

ные круги правят резцом из твердого сплава на режимах правки алмазным инструментом. Правка кругов на конус осуществляются по копирным линейкам 1 и 5 (рис. 242).

Неуравновешенные детали при шлифовании лежат на ноже неустойчиво, особенно в заключительной стадии, когда глубина резания незначительна. Специальная пружинная подставка поддерживает свесившуюся часть детали 1 (рис. 243). Во избежание искажения формы шлифуемой поверхности и появления отгранки пружина 3 поддержки 2 должна быть мягкой.

Шаровую поверхность 2 (рис. 244, а) шлифуют профильным кругом 3. Шлифовальный круг профилируется правящим устройством 4. Расстояние от вершины алмаза до оси вращения должно быть равно половине окончателного диаметра шара. Ось пиноли должна быть расположена в плоскости средней части шлифовального круга. Для экономии алмазного инструмента шлифовальные круги устанавливают на станок с предварительной радиусной проточкой. Опорный нож 5 (рис. 244, б) цилиндрической частью устанавливают по оси радиусной выточки профильного круга 3. Ведущий круг 1 (см. рис. 244, а) имеет прямолинейную образующую и устанавливается по центру шара, соприкасаясь с обрабатываемой поверхностью на участке А. В процессе шлифования деталь самоустанавливается в осевом направлении по радиусному профилю шлифовального круга, поэтому ось ведущего круга должна быть строго параллельна оси шлифовального круга. На современных станках профильная правка шлифовального круга алмазным роликом совмещается с шлифованием шаровой и конической поверхностей пальца за один установ.

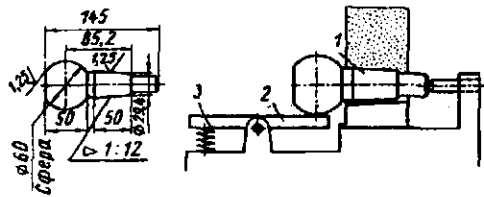


Рис. 243. Пружинная подставка для поддержания неуравновешенной детали

Шлифование на жестких опорах (рис. 245) применяется для обработки тонкостенных деталей. Оно позволяет устранять отклонение от соосности наружного и внутреннего диаметров, а также разностенность втулок, гильз и других полых деталей типа колец. Заготовка в процессе шлифования базируется внутренней цилиндрической поверхностью на неподвижных опорах. Для этого на бесцентрово-шлифовальном станке вместо суппорта с опорным ножом установлен кронштейн с оправкой 3, на которой закреплены жесткие опоры 2.

Деталь 1 с помощью ведущих роликов 4 поджимается и вращается на этих опорах. Шлифовальный круг 5 в свою очередь прижимает деталь к опоре 2 и копирует в процессе шлифования по наружному диаметру внутреннюю цилиндрическую поверхность.

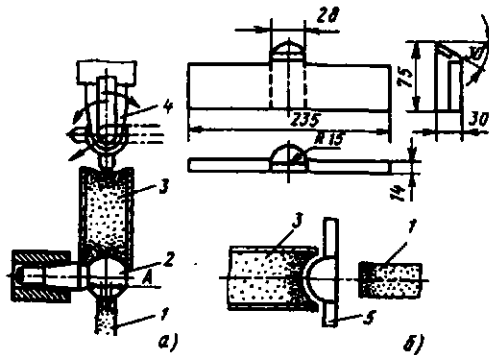


Рис. 244. Схема наладки для шлифования сферы шарового пальца: а – схема расположения кругов и профильной правки режущей поверхности; б – опорный нож для шлифования шаровой поверхности

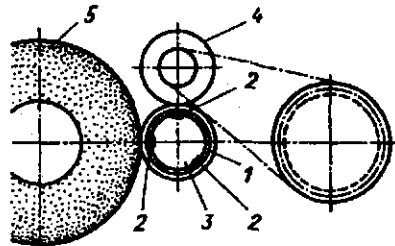


Рис. 245. Схема бесцентрового шлифования гильз на жестких опорах

Приспособление для шлифования гильз на жестких опорах показано на рис. 246. На столе подвижной бабки ведущего круга закреплена плита, несущая кронштейн 2 с оправкой 3. Вдоль оси оправки выполнены три продольных паза, в которых закреплены твердосплавные жесткие опоры 4. Опоры по длине оправки расположены двумя поясами соответственно шлифуемым поверхностям. Для облегчения установки детали 1 на оправку 3 служит направляющий стакан 8 с заходным конусом, вынесенный за пределы рабочей зоны станка. На плите расположена стойка, на которой смонтирован узел 7 вращения ведущих роликов. В корпусе на оси 6 закреплены два ведущих абразивных ролика 5.

Ролики изготавливают из нормального электрокорунда на вулканитовой связке твердостью Т. Вращение роликов осуществляется от привода вращения ведущего круга.

Для плавности и легкости вращения гильзы на жестких опорах необходимо, чтобы участки контакта жестких опор имели минимальную шероховатость ($Ra 0,1$). Лучше всего эти участки доводить алмазной пастой.

В процессе шлифования разностенность гильз уменьшается с 50 – 250 до 10 – 20 мкм. Простота наладки и установки гильзы на станок позволила повысить производительность

операции примерно в 2 раза по сравнению со шлифованием на центровых круглошлифовальных станках.

При врезном шлифовании можно одновременно шлифовать шейку и торец. Для этого ведущий круг достаточно наклонить на $0,5^\circ$ и снять упор, ограничивающий перемещение заготовки. Для подобных наладок станок необходимо оборудовать приспособлением для правки торца круга. Припуск со стороны торца не следует допускать более 0,1 мм.

Механизация загрузки и выгрузки детали. При бесцентровом врезном шлифовании ручная загрузка и выгрузка обрабатываемых деталей неудобна и небезопасна. Поэтому важно механизировать эти работы.

Примеры устройств механизированной загрузки и выгрузки ступенчатых валиков показаны на рис. 247 – 250. В начале цикла шлифования, когда ведущий круг отведен для выгрузки готовой детали (рис. 247, а), столб из заготовок удерживается в магазине 4 отсекателем 3, а подготовленная к шлифованию деталь 2 – пружинным ограничителем 1. При подходе бабки 6 ведущего круга отсекатель 5 отжимает ограничитель 1 и проталкивает деталь на опорный нож. Одновременно штырь 7 (рис. 247, б) отводит отсекатель 3, и столб деталей опускается до упора в отсекатель 5. После

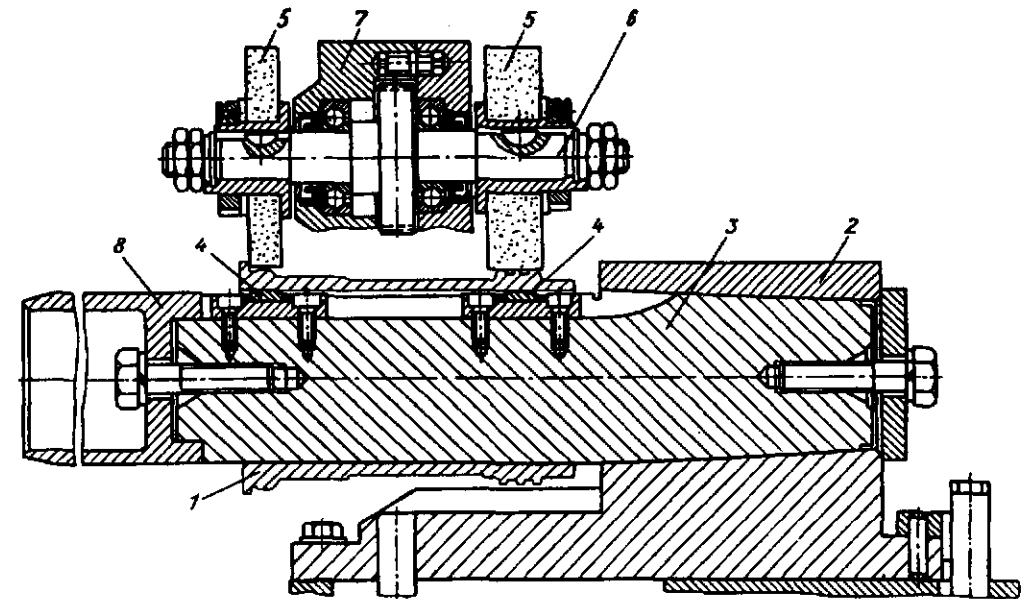


Рис. 246. Приспособления для шлифования гильз на жестких опорах

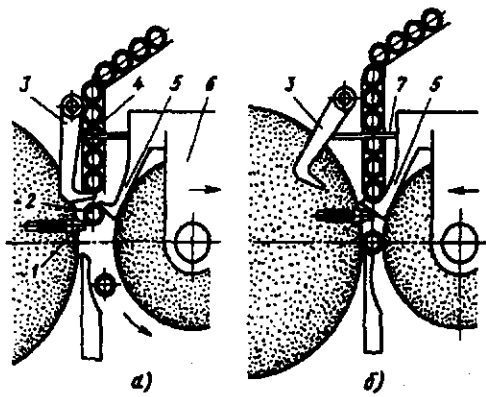


Рис. 247. Схема механизма автоматической загрузки валков

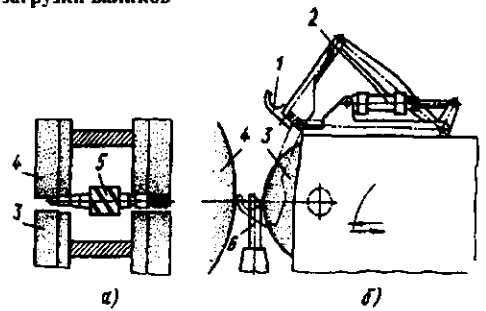


Рис. 248. Схема механического укладчика многоступенчатых валков при двухкруговой наладке: а – схема наладки; б – механизм загрузки; 1 – укладчик; 2 – гидроцилиндр; 3 – ведущие круги; 4 – шлифовальные круги; 5 – шлифуемая деталь; 6 – опорный нож

окончания шлифования бабка ведущего круга отходит, обработанная деталь скатывается с ножа, нижняя деталь из желоба падает на ограничитель 1, и цикл повторяется.

Многоступенчатый валок (рис. 248) помещают на укладчик 1, который под действием гидроцилиндра 2 опускает деталь на опорный нож 6. После окончания шлифования укладчик снимает деталь с ножа. Работа гидроцилиндра увязана с циклом шлифования и движением бабки ведущего круга.

При одновременном шлифовании двух разобраных шеек (рис. 249) деталь 1 типа крестовины из загрузочного лотка 3 ползуном 2 опускается на опорный нож 6. После окончания обработки ползун 2 поднимает деталь 1 до встречи с отсекателем 4. Последний сбрасывает деталь в приемный желоб 5.

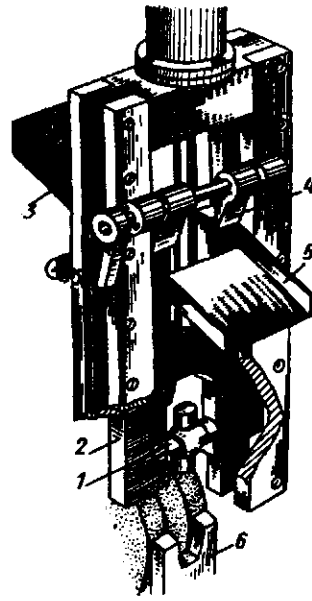


Рис. 249. Схема автоматической загрузки деталей типа крестовины для шлифования двух разобраных шеек

Короткие ступенчатые пальцы (рис. 250) из бункера 1 скатываются в желоб 2 с помощью ворошителя, у которого кулачки 10 непрерывно качаются от пневмоцилиндра 9 вверх и вниз. Нижняя деталь в желобе оказывается на опорном ноже 4 и штоком 8 проталкивается между кругами 3 и 5 в зону шлифования. Шток получает команду от кулачка 6, закрепленного на планшайбе ведущего круга, через направляющий пневмораспределитель 7. После окончания цикла шлифования деталь скатывается с опорного ножа в приемный паз ведущего круга и выпадает из него в лоток.

Механизм для загрузки четырех деталей (рис. 251) имеет направляющую колонну 1 с подъемно-поворотным рукавом 2. В рукаве установлен короткий конвейер, с помощью которого в два приема загружаются на рукав четыре поршня 3. Затем рукав поднимается и, поворачиваясь в горизонтальной плоскости на угол 90°, устанавливается в одну линию с направляющим устройством бесцентрово-шлифовального станка. Цикл работы станка полностью автоматизирован. На длинном штоке гидроцилиндра закреплена гребенка 8. Перемещаясь, она передвигает все четыре поршня на рабочие позиции между кругами 5 и 7.

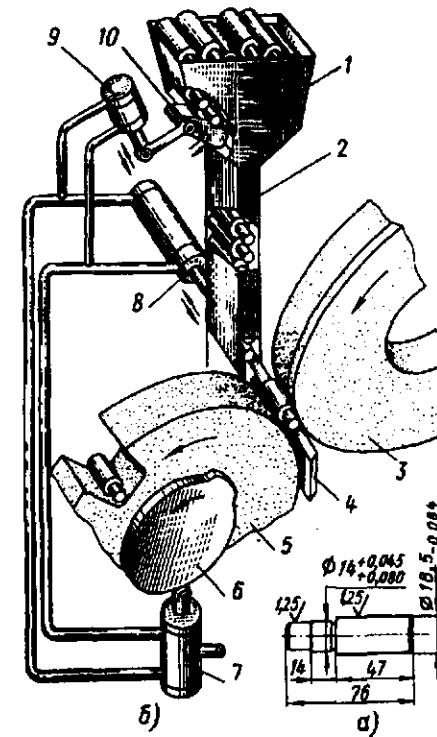


Рис. 250. Схемы бункерной автоматической загрузки коротких ступенчатых деталей: а – обрабатываемая деталь; б – схема механизма загрузки

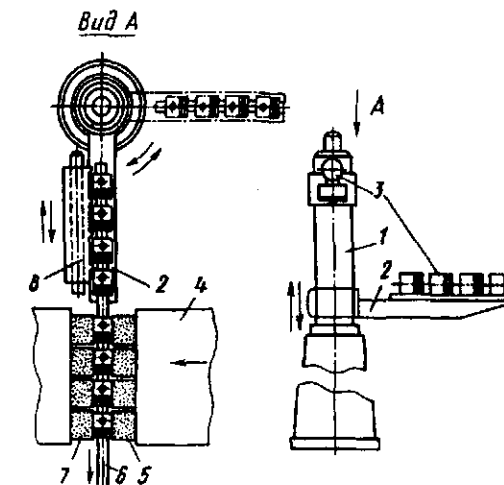


Рис. 251. Схема механизма загрузки четырех деталей

Вслед за этим происходит быстрый подвод бабки 4 с ведущими кругами 5, а поршни опускаются на опорный нож 6. Затем включается рабочая подача. В то же время поворотный рукав 2 отходит в исходное положение. После установки поршней на опорный нож гребенка также возвращается в исходное положение, а рукав с новой партией поршней начинает подниматься. В конце ускоренного отхода бабки гребенка вновь передвигает поршни, одновременно выталкивая обработанные детали на склиз.

Шлифование отверстий

Технологические особенности. Отверстия в деталях на внутришлифовальных станках обрабатывают напроход и врезанием. Способ врезания используют при обработке коротких, фасонных и глухих отверстий, не имеющих канавок для выхода круга. Во всех остальных случаях применяют шлифование напроход, обеспечивающее более высокую точность и меньшую шероховатость поверхности.

Основные схемы внутреннего шлифования приведены на рис. 252. При шлифовании напроход обработка, как правило, ведется в одну операцию. В серийном и массовом производстве на внутришлифовальных станках обеспечивается точность обработки 5 – 6-го качества и шероховатость поверхности $Ra = 0,63 \dots 2,5$. При длительном выжигивании достигается шероховатость $Ra 0,4$. Учитывая малые жесткость шпинделя шлифовальной головки и диаметр абразивного круга, необходимо на операциях внутреннего шлифования снимать минимальные припуски (табл. 49). Диаметр абразивного круга выбирают наибольшим, допустимым диаметром обрабатываемого отверстия.

Диаметр шлифуемого отверстия детали, мм	Отношение диаметра круга к диаметру отверстия детали
До 30	0,95
Св. 30 до 80	0,90
" 80 " 125	0,85 – 0,80
" 125 " 160	0,75
" 160 " 200	0,70
" 200 " 250	0,65

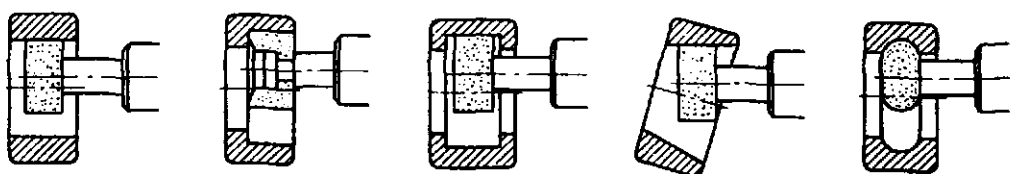


Рис. 252. Основные схемы внутреннего шлифования

49. Припуск (мм) на шлифование отверстий (по диаметру)

Диаметр отверстий, мм	Длина отверстия, мм					
	До 25	Св. 25 до 50	Св. 50 до 150	Св. 100 до 150	Св. 150 до 200	Св. 200 до 300
До 10	0,07 – 0,1	0,10 – 0,12	–	–	–	–
Св. 10 до 18	0,12 – 0,15	0,12 – 0,15	0,15 – 0,18	–	–	–
" 18 " 30	0,12 – 0,15	0,15 – 0,18	0,18 – 0,22	0,20 – 0,25	–	–
" 30 " 50	0,18 – 0,22	0,22 – 0,27	0,25 – 0,30	0,25 – 0,30	0,30 – 0,35	0,40 – 0,50
" 50 " 80	0,20 – 0,25	0,25 – 0,30	0,25 – 0,30	0,35 – 0,40	0,40 – 0,45	0,45 – 0,55
" 80 " 120	0,25 – 0,30	0,25 – 0,30	0,30 – 0,35	0,40 – 0,45	0,45 – 0,50	0,50 – 0,60
" 120 " 180	0,30 – 0,35	0,35 – 0,40	0,40 – 0,50	0,45 – 0,50	0,55 – 0,60	0,55 – 0,65
" 180 " 250	0,40 – 0,45	0,45 – 0,50	0,45 – 0,50	0,50 – 0,55	0,60 – 0,65	0,65 – 0,75
" 250 "	0,40 – 0,50	0,50 – 0,55	0,50 – 0,55	0,55 – 0,60	0,60 – 0,70	0,65 – 0,75

Высоту (ширину) круга принимают в зависимости от длины обрабатываемого отверстия:

Длина шлифусой поверхности, мм	10	12	16	20	25
Высота круга, мм	8	10	13	16	20
Длина шлифусой поверхности, мм	32	40	50	60	80
Высота круга, мм	25	32	40	50	63

Для отверстий диаметром $d \leq 30$ мм диаметр шлифовального круга выбирают на 1,5 – 3 мм меньше диаметра шлифуемого отверстия. Это обусловлено увеличением режущей поверхности инструмента и стремлением применить наибольший диаметр шпинделя. При малой разнице между диаметрами круга и отверстия образуется большая поверхность контакта круга с деталью, что приводит к концентрации теплоты на обрабатываемой поверхности. При обработке материалов, склонных к шлифовочным прижогам и трещинам, с целью уменьшения тепловыделения применяют мягкие круги и снижают скорости шлифования. Для отвер-

стий диаметром свыше 200 мм диаметр круга в основном определяется диаметром шпинделя шлифовальной бабки.

При малой жесткости шпинделя станка увеличение скорости шлифовального круга особенно заметно влияет на повышение производительности, точности и снижение шероховатости поверхности. Выбор скорости круга ограничивается опасностью прижогов из-за увеличенной поверхности контакта круга с деталью и трудностью подвода охлаждающей жидкости.

Материал деталей	v_k , м/с
Стали:	
конструкционные и низколегированные	30 – 45
высоколегированные, трудношлифуемые	20 – 25
Чугун	20 – 30
Сплавы:	
твердые	12 – 20
цветные	20 – 30
Стекло	8 – 12
Пластмассы и резина	15 – 20

Скорость вращения детали должна составлять 0,015 – 0,03 от скорости шлифовального круга; при этом большие значения выбирают при шлифовании материалов, склонных к прижогам и трещинам. При шлифовании с продольной подачей перебеги круга с каждой стороны должны быть равны 1/3, но не более 1/2 высоты круга. Круг из отверстия выводится лишь по окончании шлифования или для правки. Продольная подача не должна превышать 3/4 высоты круга на один оборот детали. Число двойных ходов стола и частота вращения детали не должны составлять передаточного отношения, равного целому числу.

Установка и закрепление обрабатываемой детали. На внутришлифовальных станках заготовки обрабатывают в кулачковых и мембранных патронах, а также на жестких опорах (башмаках). Кулачковые патроны широко используют в единичном и мелкосерийном производстве; такие патроны допускают обработку деталей с большим диапазоном установочных наружных диаметров.

В массовом и серийном производстве целесообразно применять мембранные патроны, обеспечивающие более точную установку детали (рис. 253). Под действием штока 12 пневмоцилиндра диск мембраны прогибается, кулачки разжимаются, и зубчатое колесо 19 свободно входит в патрон 15. При отводе штока мембрана упругими силами возвращается в

исходное положение, сближает кулачки и зажимает деталь. Базой при установке зубчатого колеса в патроне служит делительная окружность и торец колеса. При установке колеса во впадины зубьев закладывают ролики 13; колесо с роликами вставляют до упора в пальцы 14 патрона, и кулачки зажимают его по роликам.

Для удобства установки роликов применяют сепаратор 16, в котором ролики 13 свободно вращаются на осях. Для прямоугольных колес используют сепаратор с цельными роликами, а для косозубых – с роликами, навитыми в виде пружины.

Мембранный патрон устанавливают на планшайбе 11, у которой посадочное гнездо шлифуется непосредственно на станке по установочному диаметру патрона D так, чтобы он входил в гнездо без зазора, а опорный торец не имел биения.

Базовые места в патроне шлифуют также непосредственно на станке. Внутренний диаметр вкладышей 17 шлифуют по установочному кольцу 18. Диаметр установочного кольца выбирают так, чтобы при зажиме его в посадочном гнезде кулачки патрона сближались по диаметру на 0,08 – 0,12 мм. Этому значению должна равняться разность размеров внутреннего диаметра вкладышей при разжатом состоянии патрона и после зажима в нем установочного кольца. Посадочное гнездо под кольцо

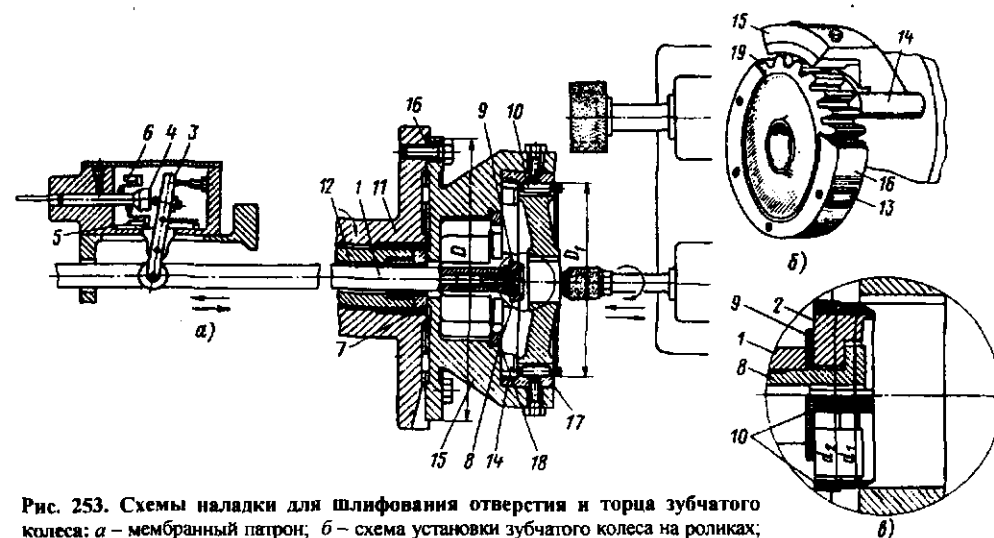


Рис. 253. Схемы наладки для шлифования отверстия и торца зубчатого колеса: а – мембранный патрон; б – схема установки зубчатого колеса на роликах; в – схема измерения обрабатываемого отверстия автокалибром

18 также шлифуют на месте по диаметру установочного кольца, когда патрон находится в сжатом состоянии. Торцовое биение кольца при установке не должно превышать 0,02 мм. Пальцы 14 патрона шлифуют одновременно с вкладышами; торцовое биение их не должно превышать 0,01 мм.

Внутренний диаметр вкладышей D_1 шлифуют до такого размера, при котором эталонная шестерня с роликами плотно входит в кулачки. Эталонную шестерню отбирают из числа производственных шестерен с наибольшей допустимой толщиной зубьев.

На точность установки шестерни влияет величина, на которую расходятся кулачки патрона: чем она меньше, тем патрон работает точнее.

Точность и надежность установки шестерни в патроне зависят также от числа роликов в сепараторе. Так, при установке шестерни на шести роликах погрешности установки уменьшаются в 1,5 – 2 раза по сравнению с установкой той же шестерни на трех роликах.

Мембранные патроны применяют при шлифовании колец шарикоподшипников (рис. 254). Они отличаются большим числом кулачков 7, расположенных по окружности, что способствует более точному центрированию заготовки.

Шлифование на жестких опорах (башмаках) применяют для обработки отверстий во втулках, имеющих шлифованный торец. Заготовка лежит на жестких опорах A и B (рис. 255) и поджимается плоским шлифованным

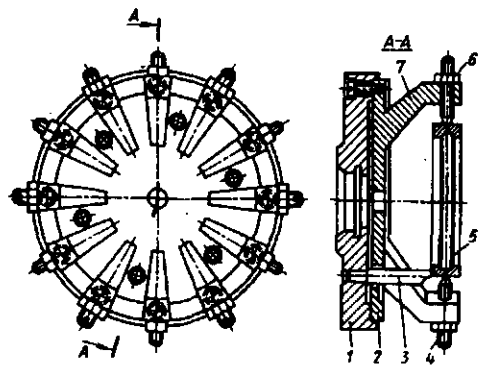


Рис. 254. Мембранный патрон с винтовым центрированием обрабатываемой детали: 1 – планшайба; 2 – мембрана; 3 – упоры; 4 – винты; 5 – обрабатываемая деталь; 6 – гайка; 7 – кулачки

торцом к вращающемуся электромагнитному патрону на шпинделе передней бабки. Сила трения между контактирующими поверхностями патрона и заготовки вращает последнюю. Заготовка на опорах A и B располагается эксцентрично относительно оси вращения шпинделя. Этим создается проскальзывание между планшайбой и заготовкой, необходимое для поджатия наружной базой заготовки к опорам A и B . При шлифовании на жестких опорах внутренняя поверхность копирует форму наружной базы и обеспечивает равенство втулки. Шлифование на жестких опорах широко применяют при обработке колец шарикоподшипников.

Измерение в процессе шлифования. На внутришлифовальных станках цикл шлифования осуществляется автоматически. Необходимы средства активного контроля, управляющие циклом и обеспечивающие заданный размер. По мере приближения к заданному размеру механизм активного контроля дает команду исполнительным органам станка на уменьшение поперечной подачи круга, чистовую правку, выхаживание и отвод круга. Активный контроль осуществляют мерительными автокалибрами и рычажно-следающими устройствами.

Использование автокалибров показано на примере шлифования отверстия шестерен (см. рис. 253). Допуск на диаметр отверстия 0,025 мм, биение базового торца относительно оси отверстия до 0,05 мм. После установки детали в патроне оператор вручную подводит шлифовальный круг до начала шлифования и включает самоход. Далее процессом управляет механизм активного контроля. Шток с закрепленным на нем измерительным калибром 2

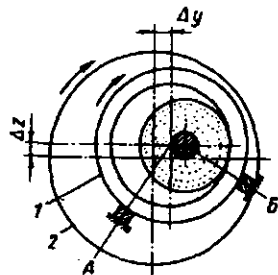


Рис. 255. Схема внутреннего шлифования на жестких опорах: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – ведущая планшайба; Δz и Δy – смещение оси обрабатываемой детали относительно оси планшайбы

(рис. 253, а) при возвратно-поступательном движении в полем шпинделе передней бабки подводит калибр до упора к шлифуемому отверстию с нерабочей стороны. Калибр выполнен ступенчатым. Когда диаметр отверстия достигает размера d_1 , калибр входит в отверстие передней частью и через рычаг 3 и шток 4 замыкает контакт 5 в электроконтактной головке, сообщая при этом команду на правку круга. После правки шлифование продолжается. При достижении размера d_2 калибр полностью входит в отверстие, размыкает контакт 6, и шлифовальный круг отходит в исходное положение. Для повышения точности работы применяют плавающие калибры. Плавание калибра обеспечивается с помощью зазора 0,5 мм между штоком 1 и направляющей втулкой 7, а также зазора 0,05 мм при посадке калибра 2 на болте 8.

Резиновая прокладка 9 предупреждает проникновение абразивной пыли в зазор. Для направления при входе в отверстие на калибре создана конусная заборная часть, а для уменьшения изнашивания рабочей поверхности припаяны твердосплавные вставки 10. Плавающие калибры надежно обеспечивают точность измерения. Измерение калибрами с нерабочей стороны детали позволяет использовать круг наибольшего диаметра и этим повысить производительность процесса. Измерительная поверхность калибра для шлицевых отверстий выполняется сплошной, а для гладких отверстий – прерывистой.

Использование рычажно-следающего устройства показано на примере шлифования желобов колец шарикоподшипников (рис. 256). Измерительный рычаг 1 с алмазным наконечником A вводится в желоб. В процессе шлифования по мере увеличения диаметра желоба шток 2 поднимается; под действием кольца 3 плоская крестообразная пружина 4 изгибается и отклоняет подвижный контакт 5; при его отходе от неподвижного контакта 6 дается команда исполнительным органам станка на переход с черного шлифования на чистовое. В этот момент зажигается сигнальная лампочка 7. По достижении заданного размера подвижный контакт 5 замыкается с неподвижным контактом 8, процесс шлифования прекращается; зажигается сигнальная лампочка 9. Желоб шлифуется с допуском $\pm 0,015$ мм.

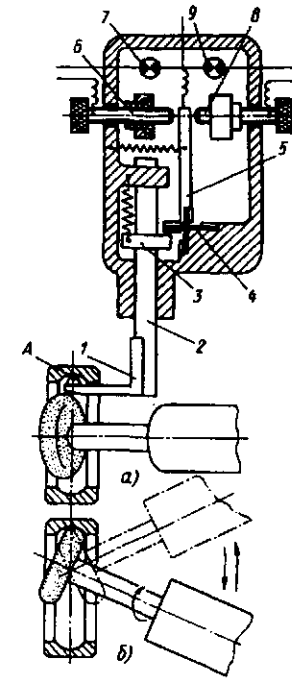


Рис. 256. Схема прибора активного контроля при внутреннем шлифовании: а – схема измерения; б – схема шлифования

При работе без автоматического цикла для измерения размера отверстия в процессе шлифования часто применяют двухстрелочный рычажный прибор (рис. 257). Измерительные наконечники A и B через рычаги 1 и 2 под действием плоских пружин 3 и 4 соприкасаются со шлифуемой поверхностью. Суммарное перемещение обоих наконечников воспринимает рычаг 5, закрепленный на плоской пружине в точке E , и передает индикатору 6. Преимущество такой измерительной схемы состоит в том, что она не требует точной фиксации измерительного прибора в вертикальном положении 1.

Рычажно-следающие устройства используют при шлифовании отверстий больших диаметров (100 мм и более), глухих отверстий и внутренних сферических поверхностей с точностью 5-го качества.

Автокалибры применяют для контроля деталей с диаметром отверстий до 100 мм, а также при шлифовании отверстий, имеющих шлицы и шпоночные канавки, с точностью 6-го качества.

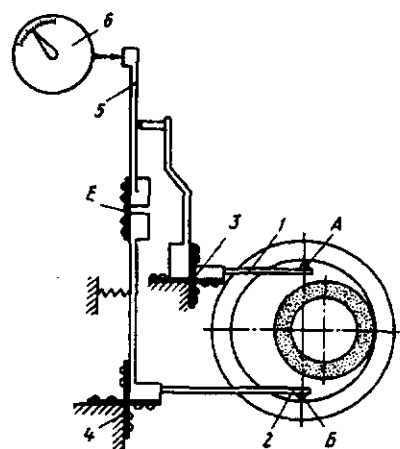


Рис. 257. Схема индикаторного рычажного прибора для визуального измерения при внутреннем шлифовании

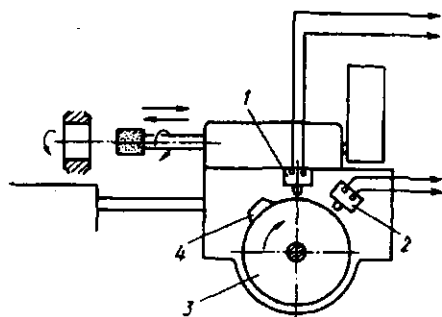
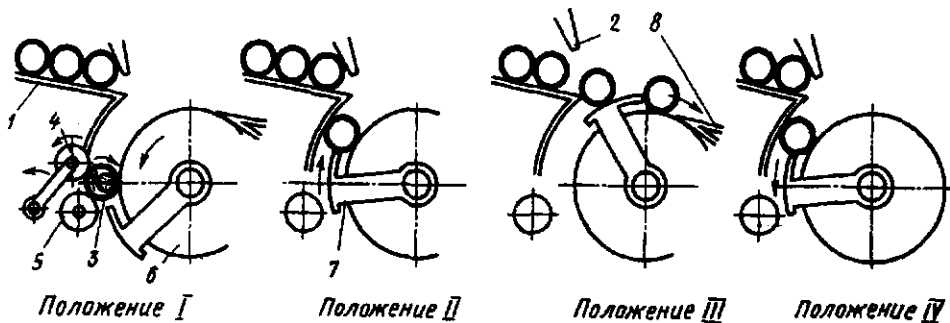


Рис. 258. Схема автоматического получения заданного размера обрабатываемого отверстия при шлифовании методом до упора



259. Схема действия механизма автоматической загрузки и выгрузки деталей на бесцентровом внутришлифовальном станке

При шлифовании деталей с точностью обработки 8 – 9-го качества можно управлять без устройств активного контроля, применяя жесткие упоры (рис. 258). На неподвижном кожухе маховика поперечной подачи шлифовального круга установлены конечные электровключатели 1 и 2, а на ободу маховика 3 установлен упор 4. В процессе шлифования маховик 3 поворачивается и подводит упор 4 к включателям. Электровключатель 1 дает команду на правку круга и переход с черновой подачи на чистовую, электровключатель 2 – на отвод шлифовального круга и остановку станка. Загрузка и выгрузка деталей автоматизированы.

Например, при шлифовании отверстий кольца шарикоподшипников (рис. 259), загружаются в наклонный лоток 1. Шлифуемая деталь 3 базируется на роликах 4 – 6 и вращается от ведущего ролика 6 (положение I). По окончании шлифования нажимной ролик 4 отводится от детали. Кулиса 7 поворачивается по часовой стрелке и плечом выносит обработанную деталь из рабочей зоны на разгрузочный лоток 8 (положение II и III). В конце хода кулисы 7 поднимается упор 2, нижняя деталь скатывается из лотка 1 на периферийную поверхность кулисы (положение III). Затем кулиса опускается и вносит деталь в рабочую зону на ролики 5 и 6 (положение IV). Подобные наладки можно использовать для шлифования колец и втулок с цилиндрическим и коническим отверстиями.

Плоское шлифование

Шлифование периферией круга. Плоское шлифование выполняется на станках, работающих периферией или торцом круга. Шлифование торцом круга производительное, так как в резании одновременно участвует большее число режущих зерен. Однако большой контакт круга с деталью при шлифовании торцом вызывает интенсивное выделение тепла, что нередко приводит к деформациям, прижогам и трещинам на обрабатываемых поверхностях.

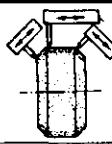
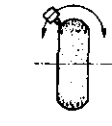
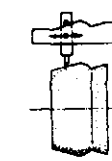


При шлифовании периферией круга поверхность контакта и число одновременно режущих зерен значительно уменьшаются, поэтому снижаются производительность, количество выделяемой теплоты и деформации. Последнее важно для получения высокой точности шлифования маложестких и тонких деталей.

Станки, работающие периферией круга, более универсальны. Они обрабатывают плоские и фасонные поверхности, прямоочные и профильные канавки, тонкостенные детали и трудношлифуемые материалы, склонные к прижогам. Поэтому способ шлифования периферией круга применяют в единичном и мелкосерийном производствах, при которых требуются универсальные наладки. В массовом и серийном производствах этот способ применяют в тех случаях, когда нельзя использовать шлифование торцом (профильное шлифование, шлицшлифование и обработка трудношлифуемых материалов).

Шлифование периферией круга осуществляется на станках с прямоугольным и круглым столами. Наиболее универсальным является шлифование на станках с прямоугольным столом, на котором преимущественно обрабатываются детали удлиненной формы, с буртами, пазами, канавками, неустойчивые с недостаточной развитой базой и детали, у которых требуется обработать фасонные поверхности. При обработке последних круг профилируется в процессе правки.

В массовом и крупносерийном производствах правящие устройства для профилирования расположены на шлифовальной бабке. Наиболее часто применяемые схемы профилирования приведены в табл. 50.

50. Схемы профилирования шлифовальных кругов

Схема правки	Краткая характеристика
	Одновременная правка тремя алмазами под углом. Угол правки регулируется. Индивидуальная наладка каждого алмаза
	Правка по радиусу. Радиус можно изменять с образованием выпуклого и вогнутого профиля круга
	Профильная правка по копиру. Профиль копирной линейки может передаваться непосредственно на круг или с помощью устройства, в котором рабочий профиль копирной линейки передается системой пантографа, позволяющего повысить точность профилирования
	Профильная правка алмазной гребенкой. Отличается простотой правящего устройства и высокой производительностью правки. Целесообразна в серийном и массовом производствах
	Профильная правка алмазным роликом. Отличается высокой производительностью правки и высокой стойкостью инструмента. Применяется правка методом шлифования или накатывания профиля на круг. Целесообразна в массовом производстве

В мелкосерийном и единичном производствах заданный профиль на шлифовальном круге можно получить с помощью съемного приспособления, установленного на стол станка (рис. 260, а). Правящий алмаз 3 закреплен в подвижной державке 4. В нижней части державки 4 имеется рабочий наконечник, который под действием пружины 6 поджат к копиру 5. Поворотом маховика 1 державка 4 перемещается вдоль копира и передает его профиль шлифовальному кругу 2. Радиусные формы выпуклого или вогнутого профиля образуются поворотными правящими устройствами (рис. 260, б), закрепленными также на столе станка.

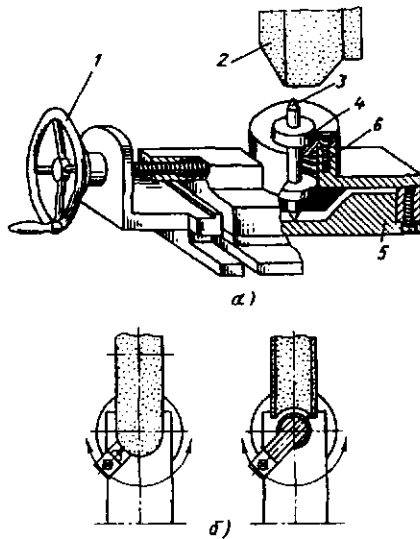


Рис. 260. Профильная правка кругов

На станке с прямоугольным столом можно шлифовать поверхности под любым заданным углом с помощью поворотных магнитных плит, синусных тисков и линеек (рис. 261, а) или профилированными кругами (рис. 261, б).

Шлицшлифование является разновидностью плоского шлифования на станках с прямоугольным столом (табл. 51).

При способе I центрирования валов, имеющих до шести шлицевых канавок, целесообразно проводить шлифование по способу А; при этом лучшие результаты достигаются кругами на керамической связке, обладающими

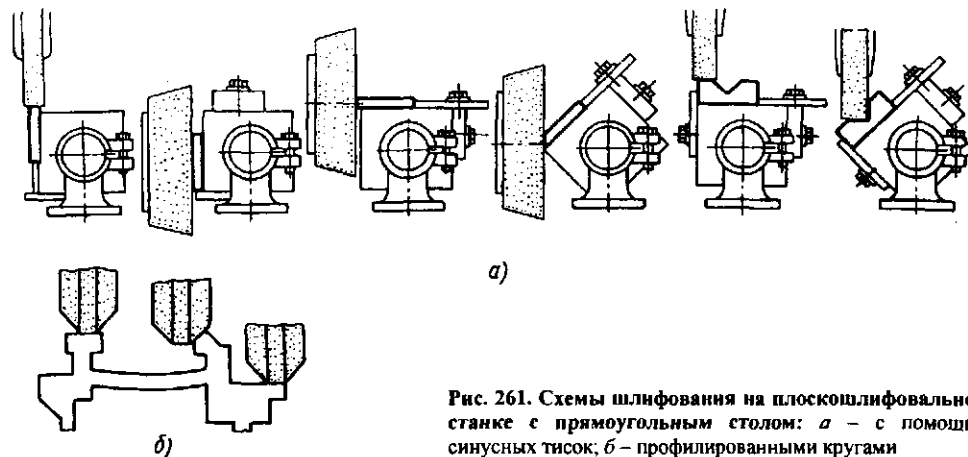


Рис. 261. Схемы шлифования на плоскошлифовальном станке с прямоугольным столом: а – с помощью синусных тисков; б – профилированными кругами

повышенной кромкостойкостью. Валы, имеющие больше шести канавок, целесообразно шлифовать по способу Б. В этом случае одновременно тремя кругами шлифуются три разные канавки, что позволяет увеличить угол правки боковых кругов и этим повысить их кромкостойкость.

При способе II центрирования боковые поверхности шлифуют кругами с острой режущей кромкой. В этих условиях меньше выкрашиваются круги на бакелитовой связке.

Пример наладки шлицшлифования с допустимой погрешностью шага 0,012 мм приведен на рис. 262. Для установки вала в угловом положении служит приспособление с откидным шаблоном. Корпус приспособления I установлен на столе станка строго по линии центров. После установки обрабатываемого вала 3 в центрах поворотом рукоятки шаблон 2 поднимается до упора в боковые поверхности двух диаметрально расположенных шлицев. На конце вала закрепляют хомутик 5, связанный с поводковым патроном передней бабки 6, а установочный шаблон опускают. Шлиц шлифуют при возвратно-поступательном перемещении стола. Делительный механизм обеспечивает поворот на заданный шаг шлицев после каждого двойного хода стола. Круг 4 правят устройством с тремя алмазами, смонтированными на корпусе шлифовальной бабки (рис. 262, в).

Активный контроль позволяет автоматизировать процесс шлицшлифования. При каждом ходе стола шлифуемый вал I (рис. 263) набегает на автоскобу 2 и отводит ее в крайнее правое положение. При обратном ходе стола пружина отводит автоскобу в исходное положение.

51. Способы шлифования шлицевых валов

Способ центрирования	Способ шлифования	Технологическая характеристика способа шлифования
	<p>А. Шлифование одним кругом дна и боковых поверхностей шлицев</p>	Простота наладки, точное взаимное расположение обработанных поверхностей, длительное сохранение профиля круга. Недостаток – применение круга одной характеристики для разных условий шлифования дна и боковых поверхностей
	<p>Б. Шлифование дна и боковых поверхностей шлицев тремя кругами, закрепленными на одной оправке</p>	Возможность применения кругов разных характеристик для обработки дна и боковых поверхностей. Недостаток – усложнение наладки, удлинение шпинделя с кругами, увеличение отжатия и вибрации
	<p>В. Раздельное шлифование дна (а) и боковых поверхностей (варианты б – г) шлицев</p>	Возможность применения кругов разных характеристик и улучшение условий шлифования дна и боковых поверхностей; упрощается правка кругов. Недостаток – необходимость обработки в две операции на разных станках или с переналадкой, в результате чего снижается точность взаимного расположения поверхностей и на 30 – 40 % увеличивается время обработки по сравнению со способом А
	<p>Шлифование боковых поверхностей шлицев двумя кругами, закрепленными на одной оправке</p>	

Когда шлифуемая поверхность (дно шлицев) будет иметь заданный размер, автоскоба при очередном касании с валом войдет в шлицы, замкнет электроконтакт и даст команду на окончание обработки. Ширина шлифуемых шлицев обеспечивается автоматически при одновременной трехсторонней правке круга.

На плоскошлифовальных станках, как правило, применяется способ многопроходного шлифования с малой глубиной резания и большими подачами. Этот способ обеспечивает наименьшее тепловыделение при шлифовании и высокое качество обработки.

При методе плоского глубинного профильного шлифования по целому без предварительной лезвийной обработки шлифовальный круг врезается на глубину заданного профиля, и процесс шлифования осуществляется при очень медленной "ползучей" подаче стола. Весь заданный профиль шлифуется за один-два хода. Метод однопроходного плоского шлифования целесообразен при обработке заготовок повышенной твердости или пониженной обрабатываемости лезвийным инструментом.

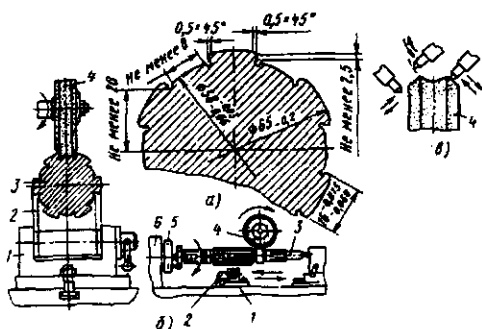


Рис. 262. Схема шлифования дна и боковых поверхностей шлицев профилированным кругом: а – конфигурация и размеры обрабатываемой шлицевой поверхности вала; б – схема наладки; в – схема профилирования круга

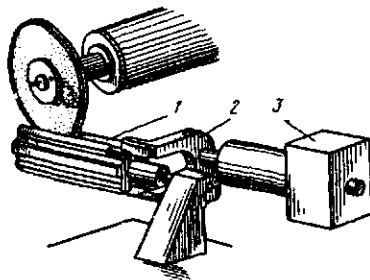


Рис. 263. Схема устройства активного контроля при шлицешлифовании

Станки с круглым вращающимся столом более производительны, чем с прямоугольным столом, вследствие сокращения времени на реверсирование и перебеги стола, а также возможности повышения скорости перемещения стола.

На станках с возвратно-поступательным перемещением стола его скорость обычно не превышает 10 м/мин из-за инерционности механизма реверсирования стола. На станках с круглым столом скорость вращения стола достигает 20 – 30 м/мин, что особенно важно при шлифовании закаленных деталей, склонных к прижогам и трещинам. Поэтому при обработке большого числа мелких деталей, а также деталей, имеющих круглую или квадратную форму, целесообразно использовать станки с круглым столом. Эти станки менее универсальны, чем станки с прямоугольным столом, поэтому их применяют в серийном и массовом производствах.

Шлифование торцом круга осуществляют на станках с прямоугольным и круглым столом, а также на двусторонних станках, на которых одновременно обрабатываются две параллельные плоские поверхности детали.

Торцешлифовальные станки с прямоугольным столом имеют наибольшее применение для шлифования направляющих поверхностей, пазов, удлиненных плоских поверхностей и различных труднодоступных наклонных поверхностей (рис. 264).

Во избежание нагрева и деформации обрабатываемой поверхности при шлифовании с большим съемом, применяют сегментный круг на бакелитовой связке и уменьшают поверхность резания наклоном круга (рис. 265). На черновых операциях наклон круга допускается до 2 мм, на чистовых операциях с высокими требованиями к отклонению от плоскости наклон круга не должен превышать 0,05 мм.

Наиболее производительная обработка достигается на станке с круглым вращающимся столом. Обработка ведется двумя методами: многопроходным и однопроходным (глубинным). При многопроходном шлифовании стол станка получает быстрое вращение (в среднем с окружной скоростью 15 – 20 м/мин); вертикальная подача круга (на врезание) осуществляется периодически за один или несколько оборотов стола. При однопроходном шлифовании стол станка медленно вращается (в среднем с окружной скоростью 0,5 – 3,0 м/мин), и за один оборот стола снимается весь припуск. Многопроходное шлифование, осуществляемое на малых глубинах резания, сопровождается значительно меньшими силами резания и тепловыделением по сравнению с однопроходным шлифованием. Детали, не требующие столь сильного зажима, как при глубинном шлифовании, меньше деформируются. Поэтому многопроходным шлифованием обеспечивается более точная обработка с достижением шероховатости поверхности $Ra = 0,4 \dots 0,8$.

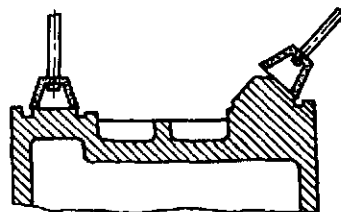


Рис. 264. Схема обработки направляющих станины на торцешлифовальном станке с прямоугольным столом

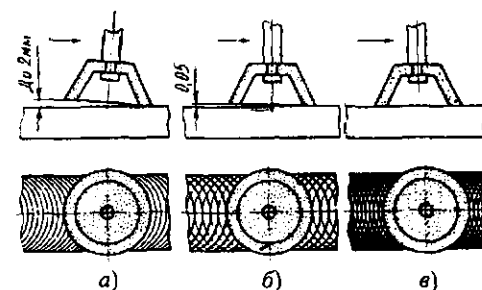


Рис. 265. Следы абразивных царапин на шлифованной поверхности после обработки на торцешлифовальных станках с разным наклоном круга: а – с большим наклоном круга при обдирочном шлифовании; б – с малым наклоном круга на чистовых операциях шлифования; в – без наклона круга на прецизионных операциях шлифования с высокими требованиями к плоскостности

Наладки отличаются простотой и универсальностью. Однако по производительности многопроходное шлифование из-за больших затрат времени на установку, снятие и измерение обрабатываемых деталей значительно уступает однопроходному. Многопроходное шлифование возможно лишь на одношпиндельных станках. При однопроходном шлифовании в зависимости от заданного припуска, требований точности, шероховатости поверхности и производительности применяют станки с одной, двумя, тремя, четырьмя и пятью шлифовальными головками. При этом загрузка, выгрузка и другие вспомогательные операции выполняются в течение основного времени обработки. При проектировании однопроходного шлифования необходимо учитывать, что снимаемый одним кругом припуск не должен превышать при предварительной обработке 0,7 мм и при окончательной обработке 0,3 мм; при этом шероховатость поверхности обеспечивается не выше $Ra 0,4$.

Однопроходное шлифование сопровождается выделением и концентрацией в детали большой теплоты и поэтому этот метод не рекомендуется для обработки тонкостенных деталей и труднообрабатываемых материалов, имеющих склонность к прижогам и трещинам.

Однопроходное шлифование требует множественных наладок и прочного крепления деталей; чаще применяют не электромагнитные устройства, а установочные приспособления с механическими зажимами. Метод однопроходного шлифования целесообразен для массового и серийного производства.

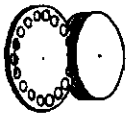



Для предупреждения прижогов шлифуемой поверхности лучше применять мягкие крупнозернистые круги на бакелитовой связке, а их форму выбирать исходя из площади обрабатываемой поверхности. Сплошной круг применяют для шлифования прерывистых поверхностей.

Одновременное шлифование двух параллельных поверхностей осуществляется на двусторонних торцешлифовальных станках (табл. 52). Двустороннее шлифование обеспечивает малые отклонения от параллельности и плоскостности боковых сторон при очень высокой производительности обработки. Основным недостатком двусторонних торцешлифовальных станков являются большие поверхности контакта режущего инструмента с деталью, вызывающие интенсивное выделение теплоты. Поэтому на таких станках применяют мягкие крупнозернистые круги на бакелитовой связке, работающие в режиме самозатачивания. Технологические возможности двустороннего торцешлифования показаны на примере обработки поршневых пальцев и колец.


На рис. 266 приведена схема шлифования торцов поршневого пальца. Длина пальцев 90 мм, диаметр 30 мм, снимаемый припуск 0,4 мм на сторону, круговая подача загрузочного диска 2 м/мин. Обрабатываемые пальцы укладываются в призмы, расположенные по периферии вращающегося загрузочного барабана 1. Приближаясь к шлифовальным кругам 5, рычаг 2 натяжением троса 3 зажимает деталь 4 в призме. При выходе из зоны шлифования рычаг 2 откидывается, и обработанный палец выпадает из призмы. Отклонение от параллельности шлифованных торцов не превышает 0,02 мм. Длина пальцев выдерживается с точностью 50 мкм. Производительность обработки – 1000 пальцев в час.

Схема торцешлифования поршневых колец приведена на рис. 267. Кольца 1 ременным конвейером 2 доставляются на опорный нож 3, проходящий через шлифовальные круги 6. По ношу кольца перемещаются между направляющей линейкой 4 и ременным приводом 5, проталкивая друг друга в зону шлифования. При выходе из рабочей зоны детали по направляющим линейкам скатываются в тару. Шлифование проводят за два рабочих хода; при первом снимают припуск до 0,15 мм, а при втором – 0,05 мм на сторону. Производительность – более 100 колец в минуту. Отклонение от параллельности боковых сторон кольца не превышает 0,02 мм.

52. Способы шлифования на двусторонних торцешлифовальных станках

Схема шлифования	Краткая характеристика
	Обрабатываемые детали типа вилок, втулок, штоков, пальцев устанавливаются в гнезда непрерывно вращающегося диска и принудительно вводятся в зону шлифования между кругами. Установка и снятие деталей производятся при вращении диска в течение основного времени обработки
	Обрабатываемые детали свободно, без закрепления подаются в зону шлифования принудительно проталкивая друг друга между двумя шлифовальными кругами. В зоне шлифования детали, самоустанавливаются по режущей поверхности кругов и двигаются между верхней и нижней линейками. Этот способ шлифования наиболее производительный
	Используется для обработки крупных деталей с индивидуальным зажимом. Имеется три позиции: загрузочная, рабочая и разгрузочная. Установка и снятие детали осуществляются в течение основного времени обработки
	Возможна групповая или индивидуальная установка деталей. Маятниковое приспособление имеет две позиции: на одной позиции осуществляется установка и снятие деталей, а противоположная позиция находится в зоне шлифования. Целесообразно использовать в серийном производстве

Продолжение табл. 52

Схема шлифования	Краткая характеристика
	Обрабатываемая деталь устанавливается в приспособление, имеющее возвратно-прямолинейное движение для ввода детали в зону шлифования и вывода ее после обработки

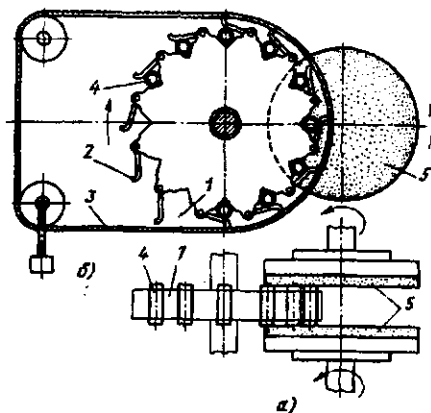


Рис. 266. Схема шлифования торцов поршневого пальца: а – одновременное шлифование двух торцов; б – подвод и закрепление обрабатываемой детали

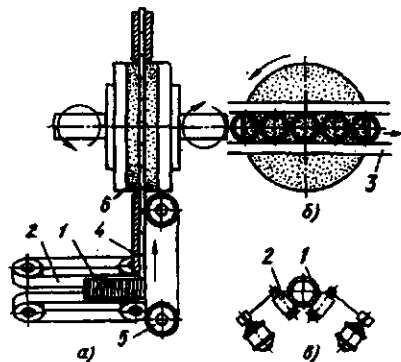
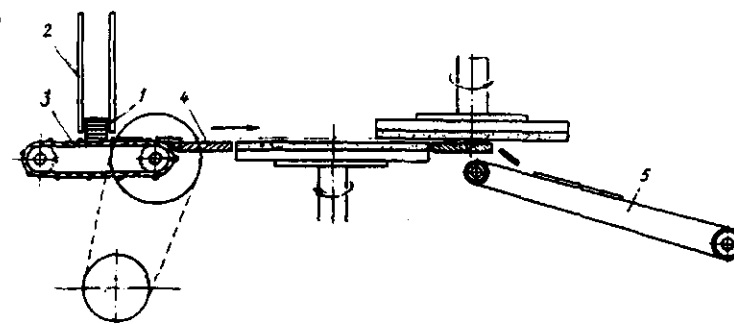


Рис. 267. Схема шлифования торцов поршневых колец: а – загрузка и шлифование; б – движения деталей в зоне шлифования; в – схема привода ременного конвейера

Рис. 268. Схема чистового шлифования



При чистовом шлифовании (рис. 268) кольца 1 из магазина 2 передаются цепным конвейером 3 по направляющей пластине 4 в зону шлифования. При выходе из этой зоны кольца падают на ременный конвейер 5 и затем в тару. Смещением оси нижнего шпинделя относительно оси верхнего шпинделя достигается непрерывное изменение скорости вращения колец на всем пути их движения между кругами, благодаря чему улучшается качество шлифованной поверхности. При чистовом переходе снимают припуск 0,025 – 0,035 мм на сторону. Достижимая шероховатость поверхности боковых сторон колец не превышает 0,012 мм. Производительность операции – 150 колец в минуту.

Отделочная обработка абразивным инструментом

Отделочную абразивную обработку разделяют на процессы: а) размерной доводки с уменьшением отклонения формы и шероховатости поверхности (тонкое шлифование, хонингование и доводка); б) процессы безразмерной доводки, которые применяют лишь для снижения шероховатости поверхности (суперфиниширование, полирование).

Технологические возможности и область применения каждого из методов отделочной обработки приведены в табл. 53.

Тонкое шлифование

Тонкое шлифование характеризуется снятием малых припусков (0,04 – 0,08 мм на диаметр), применением чистовых режимов резания (табл. 54) и правки круга (табл. 55). Его осуществляют на прецизионных станках высо-

кой или особо высокой точности, обеспечивающих плавность хода пиноли правящего прибора при малых продольных подачах, отсутствие вибрации и упругих откатов технологической системы. Процесс требует хорошей фильтрации охлаждающей жидкости, чтобы исключить попадание частиц абразива и стружки в зону шлифования.

Тонкое шлифование не выделяется в отдельную операцию, а выполняется на заключительном этапе окончательной обработки за один установ детали (чтобы исключить погрешности установки). Перед началом тонкого шлифования круг подвергается чистовой правке. При шлифовании в центрах центровочные отверстия детали должны быть тщательно зачищены. Наиболее широко применяются хонингование, доводка, суперфиниширование и полирование.

Технологические возможности отделочных процессов прежде всего зависят от схемы резания (рис. 269).

Принципиальные отличия схем резания определяются методом подачи режущего инструмента. При хонинговании и доводке (притирке) радиальная подача брусков осуществляется механизмом клинкового разжима с замыканием кинематической цепи. В этих условиях давление резания меняется в зависимости от формы обрабатываемой поверхности на выступающих участках, давление резания растет, и соответственно увеличивается сьем металла.

При суперфинишировании радиальная подача на врезание абразивного инструмента осуществляется упругим поджимом бруска к обрабатываемой поверхности. В этом случае радиальное давление резания и сьем сохраняются почти постоянными, независимо от формы обрабатываемой поверхности. Поэтому в процессе суперфиниширования снижается шероховатость и увеличивается опорная поверхность.

53. Достижимые точность и шероховатость поверхности при отделочной обработке абразивным инструментом

Обработка	Отклонения формы, мкм		Шероховатость поверхности R_a , мкм		Область применения
	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки	
Тонкое шлифование	30 – 50	10	0,63 – 2,5 0,32 – 1,25	0,08 – 0,32 0,04 – 0,16	Обработка цилиндрических, плоских и фасонных поверхностей с точностью 5 – 6-го качества и шероховатостью $R_a = 0,05 \dots 0,2$
Хонингование	30 – 50	5 – 10	0,63 – 2,5 0,32 – 0,63	0,16 – 0,63 0,02 – 0,16	Обработка плоских наружных и внутренних цилиндрических поверхностей с точностью 5-го качества и выше и $R_a = 0,025 \dots 0,4$
Доводка	5 – 10	0,5 – 1,0	0,32 – 1,25 0,32 – 0,63	0,04 – 0,32 0,008 – 0,08	Обработка плоских наружных и внутренних цилиндрических поверхностей с точностью 5-го качества и выше и $R_a = 0,012 \dots 0,1$
Суперфинишование	Не устраняет		1,25 – 5 0,63 – 2,5 0,32 – 0,63	0,32 – 1,25 0,16 – 0,63 0,008 – 0,08	Чистовая безразмерная обработка плоских и цилиндрических поверхностей с шероховатостью до $R_a 0,1$
Полирование абразивной лентой	Не устраняет		0,63 – 2,5 0,32 – 1,25	0,16 – 0,63 0,08 – 0,32	Чистовая безразмерная обработка криволинейных, цилиндрических и плоских поверхностей с шероховатостью до $R_a 0,1$

54. Режимы тонкого шлифования

Параметр	Шлифование		
	круглое врезное	круглое проходное	внутреннее
Скорость:			
круга, м/с	35	35	20 – 30
детали, м/мин	25 – 50	20 – 45	25 – 60
продольной подачи в долях ширины круга на один оборот детали	–	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3
Поперечная подача	0,1 – 0,3, мм/мин	0,005 – 0,01 мм/дв. ход	0,01 мм/дв. ход
Выхаживание	5 – 10 с	2 – 5 дв. ходов	4 – 7 дв. ходов

55. Режимы правки абразивного круга при тонком шлифовании

Правящий инструмент	Переход	Продольная подача, м/мин	Поперечная подача, мм/ход стола	Число одинарных ходов
Алмаз	Предварительный	0,2 – 0,4	0,02 – 0,03	3 – 5
	Окончательный	0,05 – 0,15	0 – 0,01	1 – 2
Абразивный круг из черного карбида кремния	Предварительный	1,2 – 1,6	0,02 – 0,03	4 – 6
	Окончательный	0,6 – 1,0	0 – 0,01	3 – 4

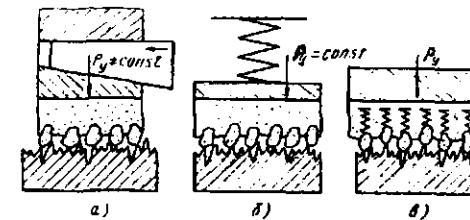


Рис. 269. Схемы резания: а – при хонинговании; б – при суперфинишировании; в – при полировании

При полировании из-за эластичной связи в абразивном инструменте каждое режущее абразивное зерно как бы подпружинено и под действием сил резания частично углубляется в связку. Степень углубления зерна зависит от обрабатываемой поверхности: на выступающих участках абразивные зерна углубляются больше, сохраняя исходный профиль обрабатываемой поверхности. Таким образом, полированием достигается снижение шероховатости на плоских, цилиндрических и фасонных поверхностях без изменения профиля и геометрических параметров обрабатываемой поверхности.

Хонингование

Хонингование снижает отклонения формы и повышает размерную точность, уменьшает шероховатость поверхности, сохраняет микротвердость и структуру поверхностного слоя, увеличивает несущую поверхность и остаточные сжимающие напряжения.

Наибольшая эффективность достигается алмазным хонингованием. Износ алмазнометаллических брусков по сравнению с абразивными уменьшается в 150 – 250 раз, благодаря чему упрощается наладка и стабилизируется качество обработки. Хонингованием обрабаты-

вают детали из стали, чугуна и цветных металлов, преимущественно отверстия (сквозные и глухие, с гладкой и прерывистой поверхностью, цилиндрические и конические, круглые и некруглые), диаметром 6 – 1500 мм, длиной от 10 мм до 20 м.

При хонинговании абразивным бруском совершаются возвратно-поступательное и вращательное движения, в результате которых на обработанной поверхности абразивными зернами образуются царапины.

При хонинговании в резании одновременно участвует большое число абразивных зерен, в результате чего обеспечиваются высокая производительность, низкие давление и температура в зоне резания (50 – 150 °С) и, как следствие, сохранение исходной структуры поверхностного слоя. Брусочки работают в условиях самозатачивания и не требуют правки.

В основе построения технологической наладки лежит необходимость сохранения в процессе хонингования положения оси обрабатываемого отверстия детали после предыдущей операции обработки. Это условие определяет способ крепления инструмента и детали.

На рис. 270 показаны схемы крепления инструмента и детали. Первая схема предусматривает жесткое крепление хонинговальной головки и плавающее крепление детали в приспособлении (рис. 270, а). Этот способ хонингования значительно упрощает конструкцию головки и не требует точного центрирования детали по оси шпинделя станка. Конструкция зажимного приспособления значительно упрощается, так как деталь не зажимается, а лишь ограничивается от проворота, вызываемого крутящим моментом. При "плавающем" положении детали почти полностью исключаются деформации, возникающие при зажиме детали, что повышает точность хонингуемого отверстия. Этот способ применим для деталей, у

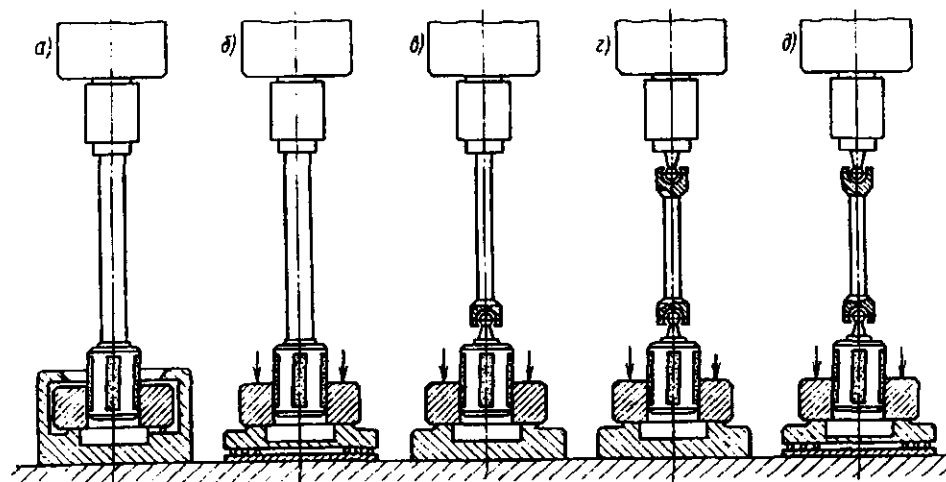


Рис. 270. Схемы установки и крепления детали и инструмента при хонинговании

которых нижняя и верхняя опорные плоские поверхности параллельны между собой и перпендикулярны оси обрабатываемого отверстия.

Второй способ предусматривает жесткое крепление хонинговальной головки и обрабатываемой детали в плавающем приспособлении (рис. 270, б). Этот способ применим для обработки мелких и среднегобаритных деталей, имеющих одну опорную базу, перпендикулярную оси отверстия.

При обработке тяжелых корпусных деталей или деталей с отверстиями малого диаметра и большой глубины при $l:d = 2,5$, а также на станках с малой жесткостью шпинделя применяется шарнирное крепление хонинговальной головки на шпинделе станка и жесткое крепление обрабатываемой детали. В тех случаях, когда наладкой обеспечивается точное центрирование детали при отклонении от соосности шпинделя станка и обрабатываемого отверстия, не превышающем $0,03 - 0,05$ мм, применяется одношарнирное крепление хонинговальной головки (рис. 270, в); если отклонение от соосности шпинделя и отверстия детали превышает $0,05$ мм, необходимо использовать двухшарнирное крепление головки и жесткое крепление детали (рис. 270, г).

Шарнирное крепление хонинговальной головки не может исключить влияния отклонения от соосности инструмента и отверстия на геометрические параметры хонингуемого отверстия. Принудительный отвод от оси шпинделя приведет к увеличению радиального давления брусков на участках входа и выхода

инструмента из отверстия и ухудшению геометрических параметров обрабатываемого отверстия. Поэтому при обработке длинных и точных отверстий (гильзы, цилиндры блоков и др.) в тех случаях, когда трудно обеспечить допуск соосности шпинделя и обрабатываемого отверстия, кроме двухшарнирного крепления хонинговальной головки используется "плавающее" крепление детали или режущих брусков (рис. 270, д).

Простейшая конструкция жестко закрепленной хонинговальной головки (рис. 271) состоит из корпуса 1, несущего режущие бруски, штанги 2 с коническим хвостовиком, соединяющим головку со станком, и штока 3, который получает осевое перемещение от механизма подачи станка и раздвигает конусами 4 режущие бруски 5.

В процессе хонингования осуществляется три основных рабочих движения: радиальный разжим, вращение и возвратно-поступательное движение режущих брусков. Несмотря на постоянные радиальные силы разжима брусков, они работают в условиях непрерывно изменяющихся давлений. В начальный период касания брусков с вершинами гребешков грубо обработанной поверхности давления сильно возрастают, вызывая увеличенный съем и интенсивное самозатачивание брусков. По мере увеличения контакта поверхности бруска с деталью давления уменьшаются, интенсивность съема и шероховатость поверхности снижаются.

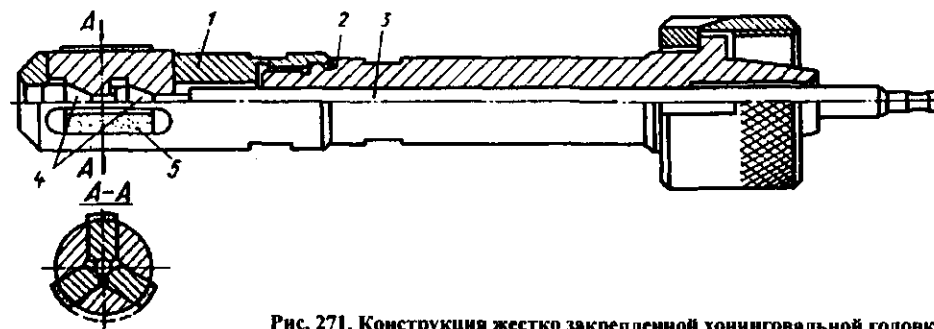


Рис. 271. Конструкция жестко закрепленной хонинговальной головки

Станок или специальный патрон должны обеспечивать цикл хонингования по следующей программе: быстрое выдвигание брусков до касания с поверхностью отверстия после ввода инструмента в отверстие; подача брусков с малым радиальным давлением $0,2 - 0,4$ МПа для обработки в течение $2 - 3$ с; подача с давлением $1,2 - 1,5$ МПа для снятия оставшегося припуска по гладкой поверхности; быстрый отвод брусков перед выводом инструмента из отверстия.

Для чистовых операций в конце цикла хонингования вводят выхаживание при давлении $0,2 - 0,4$ МПа. При обработке маложестких тонкостенных деталей (типа гильз) целесообразно хонингование вести не с постоянным радиальным давлением, а с принудительной радиальной подачей брусков.

Снимаемый припуск и выбор операций зависят от того, насколько нужно повысить точность формы отверстия и уменьшить шероховатость (табл. 56 и 57). Если основная цель операции сводится к уменьшению отклонений формы отверстия, припуск устанавливается по разности между отклонениями формы отверстия в исходном состоянии и заданными отклонениями. После установления общего припуска назначают число операций, распределяют припуск по операциям и подбирают характеристику режущих брусков. Обработка в несколько операций вызвана невозможностью обеспечить большой съем металла и одновременно уменьшить шероховатость поверхности одними и теми же брусками.

56. Припуск и операции при хонинговании отверстий

Отклонение формы отверстия в исходном состоянии, мкм	Шероховатость поверхности в исходном состоянии R_a , мкм	Операция	Припуск на операцию, мкм	Отклонения формы отверстия после хонингования, мкм	Шероховатость поверхности после хонингования R_a , мкм
100 - 150	3,2 - 6,3	Первая	150 - 200	15 - 20	0,8 - 1,6
		Вторая	20 - 30	6 - 10	0,2 - 0,4
		Третья	12 - 15	4 - 5	0,1 - 0,2
50 - 90		Первая	80 - 120	10 - 18	0,8 - 1,6
		Вторая	15 - 25	5 - 9	0,2 - 0,4
		Третья	8 - 12	3 - 4	0,1 - 0,2
25 - 40	1,6 - 3,2	Первая	50 - 70	8 - 12	0,4 - 0,8
		Вторая	12 - 15	4 - 6	0,2 - 0,4
		Третья	6 - 12	2 - 3	0,1 - 0,2
12 - 20	0,63 - 2,5	Первая	20 - 35	5 - 9	0,2 - 0,8
		Вторая	10 - 12	2 - 3	0,1 - 0,2
6 - 12		Первая	15 - 20	2 - 4	0,2 - 0,4
		Вторая	4 - 6	1 - 2	0,1 - 0,2

57. Припуск при хонинговании отверстий в зависимости от шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности Ra, мкм		Рекомендуемый припуск, мкм
в исходном состоянии	требуемый	
2,5 – 10	0,63 – 2,5	30 – 40
1,25 – 5	0,32 – 1,25	25 – 30
0,32 – 1,25	0,16 – 0,63	15 – 20
0,16 – 0,63	0,08 – 0,32	10 – 15
0,08 – 0,32	0,04 – 0,16	5 – 10

Большой припуск при хонинговании можно снять крупнозернистыми брусками, которые, срезая металл, сохраняют шероховатость поверхности, необходимую для самозатачивания брусков. Поэтому основной припуск следует снимать на первой операции. На чистовых операциях припуск должен быть достаточным лишь для удаления шероховатости поверхности после предварительного хонингования.

Шероховатость поверхности Ra 0,4 ... 0,8 надежно обеспечивается одной операцией хонингования.

58. Характеристики алмазных хонинговальных брусков в зависимости от припуска и обрабатываемого материала

Припуск на диаметр, мм	Сталь				Чугун			
	незакаленная		закаленная		серый легированный		серый закаленный	
	Зернистость	Марка алмазов	Зернистость	Марка алмазов	Зернистость	Марка алмазов	Зернистость	Марка алмазов
0,35	—	—	—	—	500/400 400/315	АРК4 АРК4	800/630 630/500	АРК4 АРК4
0,20	250/200 200/160	АС6 АС6	— —	— —	400/315 315/250	АРК4 АРК4	500/400 400/315	АРК4 АРК4
0,15	200/160 160/125	АС6 АС6	250/200 200/160	АС6 АС6	250/200 200/160	АРК4 АРК4	400/315 315/250	АРК4 АРК4
0,10	160/125 125/100	АС6 АС6	160/125	АС6	160/125 125/100	АС6 АС6	250/200 200/160	АРК4 АРК4
0,08	125/100 100/80	АС6 АС6	125/100	АС6	125/100 100/80	АС6 АС6	160/125	АС6
0,06	100/80 80/63	АС6 АС6	100/80	АС6	100/80	АС6	160/125 125/100	АС6 АС6
0,04	80/63 63/50	АС6 АС4	80/63	АС6	80/63 63/50	АС6 АС6	125/100 100/80	АС6 АС6
0,02	63/50 40/28	АС4 АС4	63/50	АС4	50/40 40/28	АС6 АС6	80/63 63/50	АС6 АС6
0,01	28/20	АС4	40/28	АСМ	28/20 20/14	АС4 АС4	40/28 28/20	АС4 АС4
0,005	20/14	АС4	28/20 20/14	АСМ АСМ	20/14 14/10	АС4 АС4	20/14	АС4

Алмазный инструмент на металлической связке применяют для обработки деталей из чугунов и закаленных сталей со снятием больших припусков (0,05 мм и выше), из твердых сплавов, для хонингования на автоматическом цикле с применением активного контроля, для обработки отверстий диаметром до 10 мм, нескольких деталей пакетом, шлицевых и разоб-щенных поверхностей (табл. 58).

Для обработки деталей из стали, чугуна и цветных металлов может быть применен абразивный инструмент (табл. 59). При чистовом хонинговании с получением шероховатости Ra = 0,1 ... 0,2 следует применять алмазные бруски зернистостью 80/63 на эластичной связке P11.

Число режущих брусков в хонинговальной головке выбирают максимальным. Наиболее эффективно снижает отклонения формы хонинговальная головка с четным числом (8, 6, 4, 2) диаметрально расположенных брусков по окружности. В этом случае бруски работают попарно, шток радиальной подачи брусков разгружается от одностороннего действия радиальных сил, отжимающих хонинговальную головку.

59. Характеристики абразивных хонинговальных брусков в зависимости от припуска и обрабатываемого материала

Припуск, мкм	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Материал зерна	Зернистость	Твердость	Связка
<i>Сталь закаленная (50 HRC)</i>					
50 – 100	0,63 – 2,5	—	—	—	—
30 – 80	0,32 – 1,25	—	—	—	—
20 – 50	0,16 – 0,63	—	—	—	—
10 – 25	0,08 – 0,32	63С	М40 – 4	СМ1 – С1	Бакелитовая; керамическая
5 – 10	0,04 – 0,16	63С	М20 – М40	М2 – СМ1	Бакелитовая, глифталевая
2 – 5	0,02 – 0,08	63С	М5 – М20	М2 – М3	Глифталевая
<i>Сталь незакаленная (40 HRC)</i>					
50 – 100	0,63 – 2,5	15А; 44А	25 – 40	Т	Вулканитовая
30 – 80	0,32 – 1,25	15А; 44А	16 – 25	Т	"
20 – 50	0,16 – 0,63	15А; 44А	10 – 16	Т	"
10 – 25	0,08 – 0,32	15А; 44А	6 – 10	Т	"
5 – 10	0,04 – 0,16	—	—	—	—
2 – 5	0,02 – 0,08	—	—	—	—
<i>Бронза, алюминий, латунь</i>					
50 – 100	0,63 – 2,5	63С	8 – 12	С1 – СТ1	Керамическая
30 – 80	0,32 – 1,25	63С	5 – 8	СМ2 – С2	"
20 – 50	0,16 – 0,63	63С	М40 – 4	СМ1 – СМ2	"
10 – 25	0,08 – 0,32	63С	М20 – М40	М3 – СМ1	"
5 – 10	0,04 – 0,16	—	—	—	—
2 – 5	0,02 – 0,08	—	—	—	—
<i>Чугун</i>					
50 – 100	0,63 – 2,5	63С	8 – 12	СТ1 – СТ3	Керамическая
30 – 80	0,32 – 1,25	63С	5 – 8	С2 – СТ2	"
20 – 50	0,16 – 0,63	63С	М40 – 4	С1 – СТ1	"
10 – 25	0,08 – 0,32	63С	М28 – М40	СМ2 – С2	Бакелитовая; керамическая
5 – 10	0,04 – 0,16	63С	М20 – М28	М3 – СМ2	Бакелитовая; глифталевая
2 – 5	0,02 – 0,08	63С	М5 – М20	М2 – СМ1	То же

Длину l брусков выбирают в зависимости от длины L обрабатываемого отверстия. Меньшие отклонения формы отверстия достигаются при $l = (0,5 \dots 0,75) L$.

Для обработки коротких деталей с точностью 6 – 8-го качества при $L < d$ допускаемая длина абразивных брусков равна $(1,0 \dots 1,2) L$.

Длина выхода брусков соответствует примерно $1/3l$ (рис. 272, а). От длины выхода бруска из отверстия зависит отклонение от цилиндричности отверстия. Если отверстие до хонингования имеет форму конуса, необходимо увеличить выход брусков до $1/2 l$ со стороны меньшего диаметра и соответственно уменьшить длину выхода брусков с противоположной стороны (рис. 272, б).

При наличии седлообразности отверстия детали выход брусков следует уменьшить до $(1/4 \dots 1/6) l$ (рис. 272, в). В случае бочкообразности отверстия выход брусков необходимо увеличить до $(1/2 \dots 1/3) l$ (рис. 272, г). Окончательную длину выхода брусков уточняют в процессе наладки в зависимости от характера и отклонений формы отверстия до хонингования, качества брусков и других технологических условий.

Ширину брусков выбирают с учетом числа одновременно работающих брусков в хонинговальной головке. Отношение режущей поверхности брусков к обрабатываемой поверхности отверстия должно быть равно 0,5 – 0,6 при хонинговании гладких отверстий и 0,8 – 1,0 при хонинговании шлицевых отверстий. Для деталей малой жесткости это отношение выбирают минимальным.

При обработке глухих отверстий необходимо предусматривать канавку для выхода брусков. Если по конструктивным соображениям ширина канавки не может превышать 5 мм, то для устранения сужения отверстия в нижней части станок оборудуют устройствами для замедления скорости продольного хода и

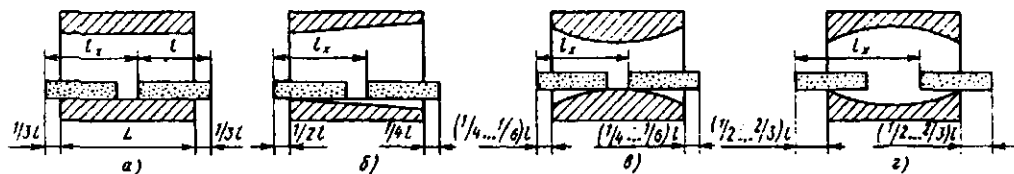


Рис. 272. Перебег брусков при хонинговании отверстия с разными отклонениями формы отверстия в исходном состоянии; l – длина хода инструмента

выдержки вращающегося хона в конце каждого хода. При снятии малых припусков (до 0,02 мм на диаметр) отверстия можно хонинговать без замедления продольного хода короткими брусками, так как они изнашиваются более равномерно. Длина брусков должна быть примерно в 2 раза меньше длины обрабатываемого отверстия. Многорядные отверстия хонингуют различными способами. Если отверстия расположены близко друг к другу, то следует применять хонинговальную головку с длинными абразивными брусками, которые при каждом ходе последовательно обрабатывают все отверстия (рис. 273, а).

Во избежание отклонений формы отверстия и неравномерного изнашивания брусков необходимо хорошо направлять хонинговальную головку. Длину брусков выбирают такой, чтобы при входе в обрабатываемое отверстие они направлялись одним или двумя обработанными отверстиями.

Для отверстий, отстоящих одно от другого на большом расстоянии, применяют хонинговальные головки с многорядным расположением абразивных брусков (рис. 273, б). Отверстия должны иметь допуск соосности 0,01 мм. Если обрабатываемые отверстия имеют различную длину, то для каждого из них подбирают соответствующую длину l_x хода абразивных брусков (рис. 273, в). При этом следует, по возможности, для каждого отверстия выдерживать условия $l/L \leq 3/4$ и $l_x = 1/3 l$, где l , L , l_x – соответственно длины бруска, отверстия и выхода брусков из отверстия.

При обработке точных отверстий со снятием малых припусков (0,01 – 0,015 мм) каждое отверстие обрабатывают отдельно хонинговальной головкой с короткими брусками.

В тех случаях, когда при хонинговании нужно устранить отклонения от соосности двух коротких отверстий, далеко разнесенных друг от друга, целесообразно осуществлять хонингование "в линию". Для этого применяют головки с режуще-направляющими брусками

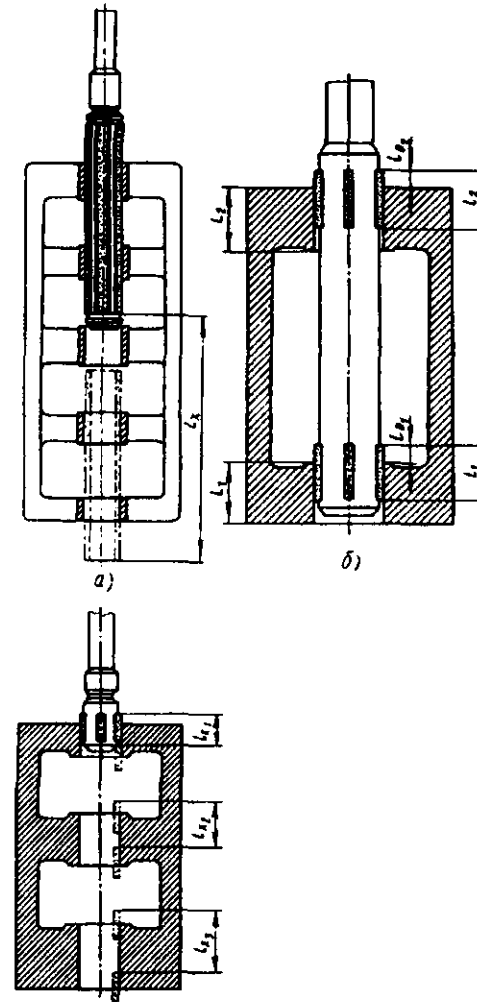


Рис. 273. Схема хонингования многорядных отверстий; l_x – длина хода инструмента

(рис. 274), которые позволяют сохранить во время хонингования постоянный контакт брусков с двумя опорами. Режуще-направляющие бруски имеют три участка: в середине режущий 1 и по краям – направляющие 2. Длина направляющих участков, равная $1/3$ длины режущей части, соответствует длине выхода брусков в процессе хонингования. Режущие и направляющие пластины закреплены на одной металлической державке и представляют единый брусок. Направляющие пластины изготовляют из бронзы того же состава, что и связка алмазно-металлических режущих пластин.

В процессе хонингования режущий и направляющие участки бруска работают в одинаковых условиях и изнашиваются одинаково, постоянно находясь в контакте с двумя обрабатываемыми отверстиями в любом положении головки. Этим обеспечивается взаимное выравнивание положения осей двух обрабатываемых отверстий при хонинговании.

Для обработки шлицевых и других прерывистых поверхностей требуется хонинговальная головка с шириной брусков, в 2 – 3 раза превышающей ширину паза. Алмазные бруски состоят из металлического безалмазного слоя и алмазного слоя.

При установке и креплении брусков важно предотвратить разновысотность брусков в одном комплекте. Необходимо, чтобы режущие поверхности брусков при сборе в хонинговальной головке располагались по одной окружности. Алмазные бруски можно считать подготовленными к хонингованию в том случае, если поверхность контакта алмазных брусков с обрабатываемым отверстием будет составлять не менее 60 % номинальной режущей поверхности алмазных брусков и будет обеспечен полный контакт по всей длине бруска.

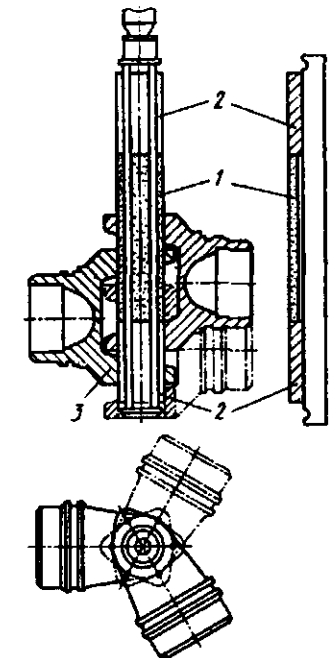


Рис. 274. Хонингование "в линию" головкой с режуще-направляющими брусками

Алмазно-металлический брусок состоит из металлической стальной державки, на которую наплавляется алмазно-металлическая пластина. Верхний алмазосодержащий слой пластины имеет толщину 0,6 – 2 мм и наружный радиус, соответствующий радиусу хонингуемого отверстия. Нижний безалмазный слой имеет толщину 2 – 2,5 мм. Прочность крепления алмазно-металлической пластины к державке во многом зависит от толщины и твердости безалмазного слоя.

Чтобы исключить в процессе хонингования деформацию пластины, вызывающую отрыв пластины от башмака, желательнее, чтобы твердость безалмазного слоя была не менее 90НВ и толщина не менее 2 мм.

Установка и припаивание одновременно всего комплекта брусков должны выполняться в специальном приспособлении. После пайки для более точного расположения бруски прирабатываются в сборе с хонинговальной головкой. Приработка производится притирочной пастой на хонинговальном станке по отверстию хонингуемой (бракованной) заготовки при условии равенства окружной скорости и скорости продольного хода. Притирочной пастой является абразивный порошок из зеленого карбида кремния зернистостью 5, смешанный с тавотом в пропорции 1 : 2. Пасту наносят кисточкой на алмазные брусочки. Приработка алмазных брусочков производится до тех пор, пока площадь контакта не достигнет 60 – 70 %. Продолжительность притирки комплекта брусочков составляет 10 – 15 мин. Алмазные брусочки на эластичной связке Р11 приклеиваются к металлической державке эпоксидной смолой.

60. Соотношение между скоростью вращения $Y_{вр}$ и скоростью возвратно-поступательного движения $Y_{пр}$ хонинговальной головки

Материал	Хонингование	$K = \frac{Y_{вр}}{Y_{пр}}$	Материал	Хонингование	$K = \frac{Y_{вр}}{Y_{пр}}$
Чугун	Предварительное	3 – 6	Закаленная сталь	Однократное после термической обработки	3 – 5
	Окончательное	4 – 10		Однократное после шлифования	5 – 7
Незакаленная сталь	Предварительное	1,5 – 3	Бронза	Однократное	10 – 16
	Окончательное	2,5 – 5			

Режимы хонингования начинаются с выбора скорости возвратно-поступательного движения головки. Большинство моделей станков допускают хонингование со скоростью продольной подачи $Y_{пр} = 12 \dots 20$ м/мин. Для уменьшения инерциальных нагрузок при хонинговании коротких деталей применяют меньшие скорости поступательного перемещения. Для выбора числа двойных ходов головки в минуту можно принимать следующие скорости поступательного движения в зависимости от требуемой длины хода: 18 – 20 м/мин при длине хода больше 150 мм; 12 – 16 м/мин при длине 100 – 150 мм; 8 – 12 м/мин при длине 50 – 100 мм; 5 – 8 м/мин при длине меньше 50 мм.

Длина хода инструмента $l_x = L + 2l_a - l$. После назначения $Y_{пр}$ необходимо выбрать скорость вращения головки $Y_{вр}$. На производительность резания и шероховатость хонингованной поверхности влияет отношение $K = Y_{вр} / Y_{пр}$. С уменьшением значения K повышается интенсивность самозатачивания брусков и растет производительность резания, но увеличивается шероховатость поверхности. При увеличении значения K брусочки скорее притупляются, заглаживаются, но уменьшается шероховатость поверхности. Поэтому при хонинговании с большим припуском и небольшими требованиями к шероховатости поверхности следует K принимать возможно меньшим; при чистовом хонинговании K выбирают наибольшим (табл. 60).

Пропорциональное повышение $Y_{вр}$ и $Y_{пр}$ увеличивает производительность резания; при этом шероховатость поверхности изменяется мало.

Изменением соотношения между скоростями вращения и продольного перемещения можно регулировать протекание процесса хонингования в желаемом направлении. Для уменьшения изнашивания недостаточно твердых брусочков следует повышать отношение K , т.е. уменьшать угол α , снижая скорость поступательного движения.

Для улучшения самозатачивания брусочков повышенной твердости угол α пересечения абразивных царапин следует повышать прежде всего увеличением скорости продольного перемещения, а затем снижением скорости вращения головки.

При обработке глухих отверстий и отверстий малого диаметра хонинговальной головке целесообразно сообщать дополнительное осциллирующее движение с частотой 350 – 650 хол/мин. После выбора значений $Y_{вр}$ и $Y_{пр}$ устанавливают радиальное давление брусочков, определяющее поперечные подачи за каждый ход головки.

Для лучшего использования режущего инструмента, повышения точности обработки и снижения шероховатости поверхности радиальные давления не следует увеличивать более 1,4 МПа при резании алмазно-металлическими брусочками и более 1 МПа при использовании абразивных брусочков. Станок должен иметь двухступенчатую систему разжима брусочков; в начале операции (первые 2 – 5 с), когда брусочки работают по шероховатой поверхности, целесообразно, чтобы радиальное давление не превышало 0,3 – 0,4 МПа с последующим автоматическим переключателем на повышенное давление.

Наиболее простым и надежным средством контроля в процессе хонингования является автокалибр.

Например, при обработке отверстия зубчатых колес (рис. 275) калибр-пробка 2 расположена над головкой 1 и постоянно поджата пружиной 4 к торцу корпуса головки. Наружный диаметр автокалибра соответствует окончательному диаметру обрабатываемого отверстия. В процессе хонингования калибр 2 совершает вместе с головкой 1 возвратно-поступательные движения. Когда диаметр обрабатываемого отверстия зубчатого колеса 3 достигнет заданного размера, калибр, следуя за брусочками, войдет в отверстие колеса и фланцем через рычаг 5 разомкнет контакт электродатчика 6. Последует команда на окончание процесса и отвод брусочков в исходное положение. Сис-

тема автокалибра обеспечивает точность хонингуемого отверстия 15 мкм. Автокалибром можно проверять гладкие и разобценные обрабатываемые поверхности.

Суперфиниширование

Суперфиниширование – отделочный метод обработки абразивными брусочками. Для него характерны колебательные (осциллирующие) движения (рис. 276) и продольные подачи абразивных брусочков или детали, постоянная сила прижатия бруска к детали и малое давление в зоне обработки. Обработка происходит без существенного изменения размеров и макрогеометрии поверхности. По мере снятия вершин гребешков увеличивается контактная поверхность, уменьшается давление брусочков, стружка заполняет поры брусочков, режущая способность брусочков снижается, процесс обработки прекращается.

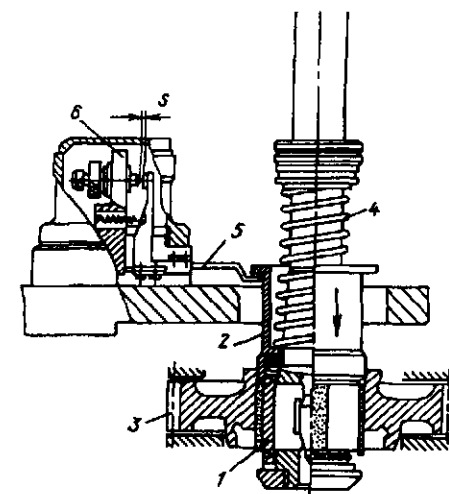


Рис. 275. Схема работы механизма активного контроля при хонинговании отверстия

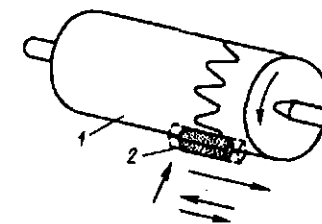


Рис. 276. Схема рабочих движений инструмента и обрабатываемой детали при суперфинишировании: 1 – деталь; 2 – абразивный брусок

В начальный период обработки следующей детали абразивные бруски, соприкасаясь с шероховатой поверхностью, самозатачиваются и восстанавливают режущие свойства.

Суперфинишированием можно обрабатывать цилиндрические, конические, плоские и сферические поверхности деталей из закаленной стали, реже – из чугуна и бронзы. При этом шероховатость поверхности снижается до

$Ra = 0,012 \dots 0,1$, опорная поверхность увеличивается с 20 – 30 до 80 – 90 %, удаляется дефектный поверхностный слой.

Припуск на сторону на 10 – 20 % должен превышать высоту неровности поверхности, чтобы не оставалось следов предыдущей обработки после суперфиниширования (табл. 61). В качестве режущего инструмента применяют главным образом абразивные бруски, реже – чашечные и плоские круги.

61. Припуск и характеристика брусков для суперфиниширования

Материал обрабатываемой детали	Шероховатость поверхности Ra , мкм		Припуск, мкм	Характеристика абразивного инструмента		
	до суперфиниширования	после суперфиниширования		Материал зерна	Зернистость	Твердость
Чугун	1,25 – 5	0,63 – 1,25	10 – 20	63C	8 – 6	C1 – CT1
	1,25 – 5	0,32 – 0,63	15 – 20		4	CM2 – C2
	0,63 – 2,5	0,32 – 0,63	6 – 10		M40	CM2 – C1
	0,63 – 2,5	0,16 – 0,32	8 – 12		M28	CM1 – C1
	0,32 – 1,25	0,16 – 0,32	5 – 8		M20	CM1 – C1
	0,32 – 1,25	0,08 – 0,16	6 – 10		M14	CM3 – CM2
	0,16 – 0,32	0,04 – 0,16	4 – 6		M10	M2 – CM1
	0,08 – 0,32	0,04 – 0,08	4 – 6		M10	M2 – CM1
Закаленная сталь	1,25 – 5	0,63 – 1,25	10 – 20	23A	8 – 6	C1 – CT1
	1,25 – 5	0,32 – 0,63	15 – 20		5 – 4	CM2 – C2
	0,63 – 2,5	0,32 – 0,63	6 – 10		4 – M40	CM1 – C1
	0,63 – 2,5	0,16 – 0,32	8 – 12		M40; M28	M3 – CM2
	0,32 – 1,25	0,16 – 0,32	5 – 8		M28; M20	M2 – CM1
	0,32 – 1,25	0,08 – 0,16	6 – 10		M14	M2 – CM1
	0,16 – 0,32	0,04 – 0,16	4 – 6		M14; M10	M2 – CM1
	0,16 – 0,32	0,04 – 0,08	4 – 6		M7	M1 – M3
Незакаленная сталь	1,25 – 5	0,63 – 1,25	10 – 20	63C	8 – 6	C2 – CT2
	1,25 – 5	0,32 – 0,63	15 – 20		M40	C1 – CT1
	0,63 – 2,5	0,32 – 0,63	6 – 10		M40; M28	CM2 – C2
	0,63 – 2,5	0,16 – 0,32	8 – 12		M20	CM1 – C1
	0,32 – 1,25	0,16 – 0,32	6 – 8		M14 – M10	CM1 – C1
	0,32 – 1,25	0,08 – 0,16	8 – 12		M7	M3 – CM2

При обработке деталей из чугуна, цветных металлов и незакаленной стали применяют инструмент из карбида кремния; бруски из электрокорунда используют для суперфиниширования деталей из закаленных сталей.

В процессе суперфиниширования работоспособность брусков быстро снижается из-за заполнения режущей поверхности и пор металлической стружкой, вызывающей засаливание брусков. Поэтому наиболее эффективным для суперфиниширования является применение абразивных брусков, у которых поры заполнены серой, стеарином, кумарином и другими органическими веществами, выполняющими роль твердого смазочного материала. Под влиянием выделяющейся теплоты в зоне резания на режущей контактной поверхности бруска смазочный материал частично плавится и смазывает рабочие участки инструмента и детали, уменьшает работу трения и препятствует налипанию металлической стружки на режущую поверхность бруска. В результате достигается увеличенный съем металла при одновременном снижении шероховатости обрабатываемой поверхности и повышении стойкости брусков.

По сравнению со стандартными абразивными брусками с твердым смазочным материалом обеспечивают увеличенный на 30 – 50 % съем металла, двух-, трехкратное снижение шероховатости поверхности и до 5 раз повышают стойкость инструмента. Для эффекта смазывания необходимо подобрать режимы суперфиниширования, обеспечивающие достаточное выделение теплоты для расплавления смазочного материала на режущей поверхности бруска.

Характеристика абразивных брусков, работающих с твердым смазочным материалом, должна отличаться от характеристики стандартных не пропитанных брусков; твердость брусков, подлежащих пропитке, обычно выбирают на 10 – 20 единиц HRB ниже. Диапазон разброса твердости брусков в комплекте допускается более широкий (примерно 15 – 30 HRB). Зернистость пропитываемых брусков может быть увеличена на 1 – 2 номера по сравнению со стандартными.

Для пропитки брусков твердый смазочный материал вводится в виде расплава или раствора. В случае использования смазочного материала в виде расплава он нагревается в ванне до температуры, на 10 – 15 °С превышающей температуру плавления твердого сма-

зочного материала, до полного плавления. Одновременно абразивные бруски нагреваются до температуры, превышающей на 10 – 15 °С температуру плавления смазочного материала, и выдерживаются при этой температуре 60 мин. После этого нагретые бруски укладывают в ванну с раствором твердого смазочного материала на 5 мин. Высота слоя расплавленного смазочного материала должна составлять 70 – 80 % высоты брусков.

Пропитка считается законченной, когда смазочный материал заполнит весь объем абразивного инструмента. После окончания пропитки бруски извлекают из ванны и укладывают на подставку в перевернутом положении, где они охлаждаются до температуры 20 °С. В тех случаях, когда твердый смазочный материал вводится в виде раствора, после пропитки бруски сушат при 80 – 100 °С в течение 2 – 8 ч. Пропитку выполняют при соблюдении правил техники безопасности.

Ширину брусков и их число выбирают в зависимости от диаметра обрабатываемой детали. Для деталей малых диаметров ширина брусков не должна превышать 0,5D детали. Если деталь имеет шпоночную канавку, ширина бруска должна быть не менее полуторной ширины шпоночной канавки. При обработке прерывистых шлицевых поверхностей ширина бруска должна охватывать не менее двух шлицев. Детали диаметром 60 мм и более обрабатывают двумя – четырьмя брусками, закрепленными по два на каждой державке. В среднем угол охвата брусками составляет 60 – 75°. Длину брусков выбирают в зависимости от длины обрабатываемой детали. Для коротких деталей длина бруска равна длине шейки, если обработка осуществляется без продольной подачи брусков.

При обработке коротких шеек, ограниченных буртами, длину бруска выбирают меньше длины шейки.

Для обработки длинных деталей длину бруска выбирают в 1,5 – 3 раза меньше длины детали. При врезном суперфинишировании (с осцилляцией без продольной подачи) нередко на шейке образуется седлообразность с утолщением на 0,3 – 3,0 мкм по краям детали. С целью уменьшения седлообразности применяют бруски с выточкой в средней части. Для получения точной цилиндрической поверхности используют короткие бруски, длина которых составляет 1/3 длины обрабатываемой шейки. Брускам сообщаются осциллирующее и

продольное движение. Длина хода бруска должна обеспечивать перебег бруска с каждой стороны на величину его качания.

Державки для суперфиниширования (рис. 277) допускают самоустановку брусков по обрабатываемой поверхности детали путем качания корпуса относительно оси *AA*. Качание ограничивается регулировочной гайкой 1 или амортизируется пружинами 5.

При суперфинишировании необходимо выбрать окружную скорость $Y_{пр}$ и давление брусков. Скорость колебательного движения $Y_{кол}$ ограничивается возникающими инерционными силами при реверсировании и обычно не превышает 5–7 м/мин при амплитуде колебаний до 6 мм; $K = Y_{пр} / Y_{кол}$. С уменьшением K более полно восстанавливается режущая способность брусков и увеличивается интенсивность съема металла, но возрастает шероховатость поверхности. Поэтому целесообразно вести обработку с переменным значением K , которое регулируется изменением скорости вращательного движения: в начале цикла принимают $Y_{пр} = (2 \dots 4) Y_{кол}$, а в конце цикла $Y_{пр} = (8 \dots 16) Y_{кол}$. Для мягких материалов и шероховатой поверхности значение K больше, для твердых материалов – меньше.

Дополнительное медленное возвратно-поступательное движение детали относительно брусков ($Y_{пр} = 1 \dots 2$ м/мин) ускоряет процесс съема металла и улучшает условия обработки. Давление брусков на обрабатываемую поверхность определяет интенсивность протекания процесса.

При суперфинишировании применяют низкие давления. Чистовую обработку выполняют при минимальном давлении: 0,1–0,3 МПа для деталей из стали, 0,1–0,2 МПа для деталей из чугуна, 0,05–0,1 МПа для деталей из цветных металлов.

Состав рабочей жидкости влияет на качество обработанных поверхностей. С увеличением вязкости рабочей смеси режущее действие брусков уменьшается, и притупление наступает быстрее. Наилучшей рабочей жидкостью следует считать смесь керосина (80–90%) с веретенным или турбинным маслом (10–20%).

Суперфинишные станки отличаются повышенным давлением абразивных брусков на обрабатываемую поверхность и замыканием кинематической цепи механизма подачи брусков. После подхода режущего инструмента к

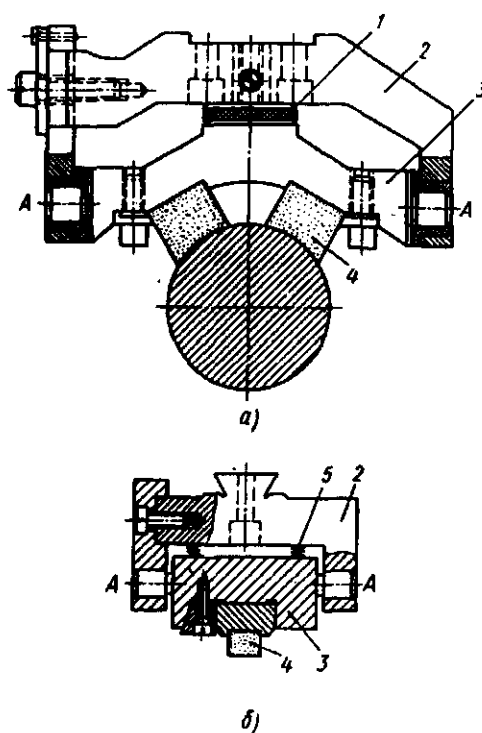


Рис. 277. Державка с брусками для суперфиниширования цилиндрической (а) и плоской (б) поверхностей: 1 – гайка; 2 – рамка; 3 – корпус державки; 4 – брусок; 5 – пружины

обрабатываемой детали и создания необходимого натяга поршень пневмоцилиндра подачи "запирается" в этом положении, благодаря чему резко уменьшаются отжигания режущего инструмента. Суперфинишные станки имеют агрегатное исполнение с высокой степенью автоматизации. Это позволяет проводить многопозиционную обработку различных поверхностей детали или нескольких деталей в автоматическом цикле.

На рис. 278 показана схема обработки на двухпозиционном суперфинишном автомате двух цилиндрических шеек, конической и торцевой поверхностей первичного вала коробки передач с производительностью 80 шт./ч. Для обработки торца имеется устройство кинематического замыкания обратной связи. В процессе суперфиниширования шероховатость поверхности уменьшается с $Ra = 0,4 \dots 0,8$ до $Ra = 0,05 \dots 0,1$, биение торца снижается с 0,015–0,04 до 0,01–0,025 мм.

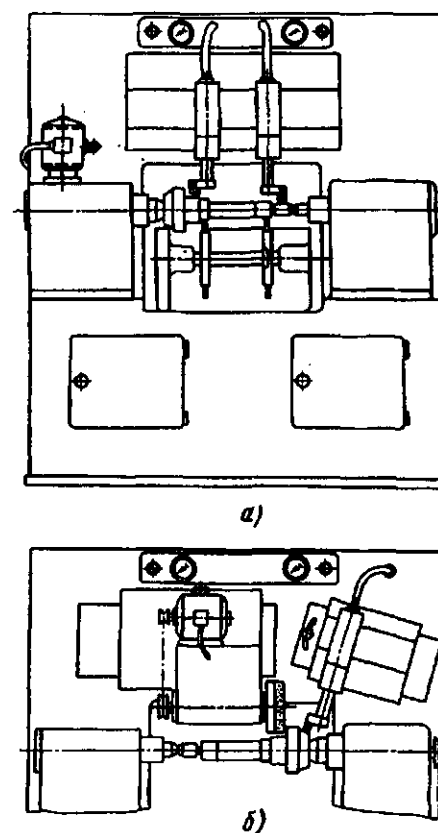


Рис. 278. Схема суперфинишной обработки вала коробки передач на двухпозиционном автомате: а – цилиндрических шеек; б – конической и торцевой поверхностей

В суперфинишных станках для обработки шеек коленчатых валов, для которых одновременно с уменьшением шероховатости поверхности желательнее уменьшить отклонение от круглости шеек, применена конструкция трехбрусковых головок 1 (рис. 279). Режущие бруски расположены под углом 120° друг к другу, обеспечивая охват обрабатываемой шейки 2 с трех сторон. Верхняя державка 5 с бруском связана с гидроцилиндром радиальной подачи; остальные две державки с брусками 3 и 4 получают синхронное с верхней державкой перемещение с помощью шестеренчато-реечной передачи 6.

Расположение брусков с трех сторон позволяет головке лучше самоустанавливаться по обрабатываемой шейке.

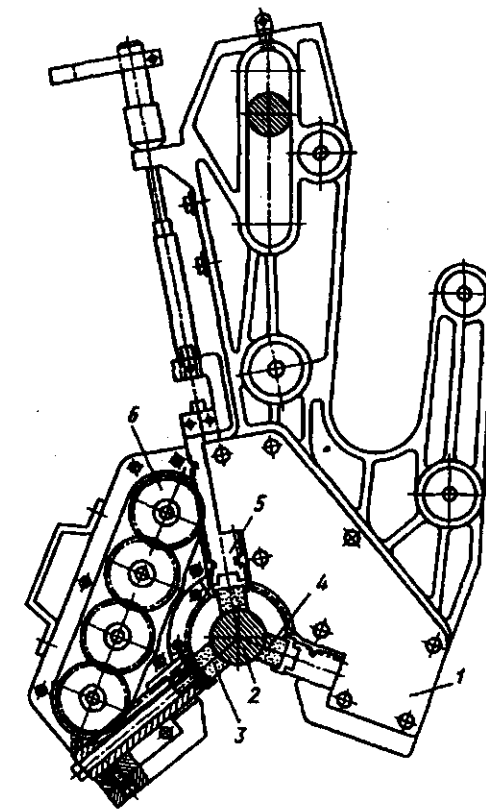


Рис. 279. Схема суперфинишной обработки с охватывающим расположением брусков

Полирование

Полирование предназначено для снижения шероховатости поверхности без устранения отклонений формы деталей, а также для декоративной отделки и чистовой обработки фасонных поверхностей.

Абразивный инструмент на эластичной основе обеспечивает малые давления резания (0,03–0,2 ГПа) независимо от изменений формы обрабатываемых поверхностей.

В процессе предварительного полирования удается снимать припуск до 0,3 мм вследствие применения крупнозернистых абразивных порошков (зернистостью 16–80) и высоких скоростей резания (15–35 м/с). Этот процесс фактически является разновидностью шлифования и эффективен для подготовки поверхности к чистовому полированию и перед металлопокрытием.

В качестве абразивного инструмента при полировании применяют эластичные круги и абразивные шкурки. Эффект полирования достигается также при обработке деталей во вращающихся барабанах, виброконтейнерах и установках, в которых инструментом служат свободный абразив или абразивные инструменты (табл. 62).

При полировании эластичными кругами достигается широкий диапазон качества обработанных поверхностей (табл. 63 – 65).

Для получения низких параметров шероховатости поверхности обработку следует вести в несколько операций с применением абразивного инструмента разной зернистости (табл. 66).

62. Область применения различных способов безразмерной отделочной обработки

Обработка	Область применения
Полирование: эластичными кругами	Декоративное полирование. Обработка фасонных поверхностей
шлифовальной шкуркой	Полирование цилиндрических, плоских и конических поверхностей. Обработка деталей сложных форм (прессформ, штампов и др.). Полирование криволинейных поверхностей под окраску (автомобильных кузовов, холодильников и др.)
Обработка свободным абразивом во вращающихся барабанах и виброконтейнерах	Декоративная отделочная обработка мелких и средних деталей сложных форм. Скругление острых кромок
Струйно-абразивная	Отделочная обработка режущего инструмента с одновременным формированием заданного микропрофиля поверхности. Обработка внутренних труднодоступных участков в деталях

63. Область применения кругов на эластичной связке

Круг	Область применения
Войлочный с накатанным абразивным зерном	Предварительное полирование с большим съемом, $Ra = 0,4 \dots 1,6$
Фетровый и войлочный с подводом пасты в зону резания	Чистовое полирование, $Ra = 0,1 \dots 0,2$
Текстильный с подводом пасты в зону резания	Чистовое полирование, $Ra = 0,012 \dots 0,1$
На вулканитовой связке	Полирование поверхностей с сохранением исходных геометрических параметров
Лепестковый (из шлифовальной шкурки)	Предварительное и получистовое полирование, $Ra = 0,1 \dots 0,8$

64. Область применения различных абразивных материалов на операциях полирования

Абразивные материалы	Область применения
Электрокорунд	Предварительное и получистовое полирование деталей из стали и ковкого чугуна
Карбид кремния	Полирование деталей из чугуна и цветных металлов
Карбид бора	Полирование деталей из цветных металлов и твердых сплавов
Окись хрома	Чистовое полирование деталей из черных и цветных металлов, особенно после металлопокрытий
Окись железа, окись алюминия, венская известь	Чистовое полирование деталей из цветных металлов (окись железа для обработки более твердых материалов, окись алюминия и венская известь – для обработки более мягких материалов)
Паста ГОИ	Получистовое и чистовое полирование деталей из черных и цветных металлов

65. Окружная скорость полировальных кругов, м/с

Полирующий материал	Материал детали		
	Сталь, никель, хром	Медь, латунь, бронза	Алюминий, цинк, свинец
Абразивное зерно	20 – 35	16 – 25	12 – 20
Паста	30 – 35	25 – 30	20 – 30

66. Последовательность переходов при полировании

Переход	Зернистость абразивного материала	Шероховатость поверхности Ra , мкм
Обдирка	50 – 40	1,25 – 2,5
Шлифование	25 – 16	0,32 – 1,25
Полирование: предварительное	12 – 8	0,16 – 0,63
окончательное	6 – M20	0,04 – 0,32
чистовое	M10 – M5 и тонкая паста ГОИ	0,02 – 0,08

Полирование шкуркой и лентой выполняется по двум основным схемам резания. Первая схема основана на применении высоких скоростей резания (10 – 40 м/с), приближающихся к скорости шлифования. Вторая схема предусматривает полирование на низких скоростях (10 – 60 м/мин), соответствующих скоростям хонингования и суперфиниширования. При высокоскоростном полировании в качестве режущего инструмента используют ленты и гибкие вращающиеся диски, изготовленные из шлифовальной шкурки.

Ленты, работающие на ленточно-шлифовальных станках, применяют для снятия больших припусков (до 0,1 – 0,3 мм) с одновременным снижением шероховатости поверхности. Скорость съема металла и шероховатость поверхности определяются скоростью резания, зернистостью ленты и силой ее прижатия к обрабатываемой поверхности. Рекомендуемые технологические условия ленточного полирования даны в табл. 67. Наименее шероховатая поверхность при небольших съемах припуска

получается при полировании на свободной ветви ленты. Для увеличения производительности применяют контактные ролики; конструкцию и материал для этих роликов выбирают в зависимости от назначения полирования. Контактный ролик с ободом из войлока, фетра или мягкой резины обеспечивает получение поверхности с низкой шероховатостью. Контактный ролик с ободом из твердой резины используют для предварительных операций. При полировании плоских поверхностей опорой чаще всего является стальная плита, иногда облицованная резиной.

Предварительное полирование с большим съемом осуществляется лентами зернистостью 40 – 25, которые обеспечивают шероховатость поверхности $Ra = 0,8 \dots 1,6$.

При окончательном полировании лентами зернистостью 16 – 8 достигается шероховатость $Ra = 0,2 \dots 0,4$; лентами зернистостью 6 – 3 обеспечивается $Ra = 0,05 \dots 0,1$. Для получения более низких параметров шероховатости поверхности ленты покрывают абразивными пастами.

При полировании деталей из жаропрочных сталей с уменьшением размера абразивных зерен ленты заметного уменьшения шероховатости поверхности не наблюдается. Исходя из этого, детали из жаропрочных сталей рекомендуется обрабатывать лентами зернистостью 40 – 16.

Ширину и длину ленты выбирают в зависимости от размеров обрабатываемых деталей и конструкции станка. Концы ленты склеивают клеем БФ, казеиновым или мездровым; в местах склейки толщина и прочность шва должны быть такими же, как и для основной ленты. Для водостойких лент при обработке деталей из стали, чугуна и латуни в качестве охлаждающей жидкости применяют эмульсию; для неводостойких лент – минеральные масла.

При низкоскоростном полировании чаще всего заданная скорость резания достигается вращением обрабатываемой детали. Шлифовальная шкурка получает лишь осциллирующее движение. Этим упрощается конструкция полировального станка и улучшаются условия равномерного прилегания шкурки к обрабатываемой поверхности. При низкоскоростном полировании снимаются припуски до 10 – 15 мкм с уменьшением шероховатости поверхности и сохранением исходной формы.

67. Режимы обработки лентами

Материал детали	Форма обрабатываемой поверхности	Тип опоры	Характеристика ленты			Скорость ленты, м/с	Давление, МПа	Охлаждающая жидкость или материал для смазывания ленты
			Абразивный материал	Зернистость абразива				
				при шлифовании	при полировании			
Сталь	Плоская	Плита	24А	25 – 10	6 – 5	10 – 15	0,05 – 0,15	Сульфорезол, масляные эмульсии, тальк, жир
	Фасонная	Плита или контактный ролик		25 – 10	6 – 4 (или пасты)	15 – 20	0,05 – 0,2	
	Цилиндрическая или фасонная	Контактный ролик		80 – 16	6 – 4 (или пасты)	35 – 40	0,05 – 0,2	
Чугун	Плоская и фасонная	Плита	62С	80 – 16	10 – 6	15 – 20	0,05 – 0,2	Содовый раствор
	Цилиндрическая или фасонная тела вращения	Контактный ролик		–	–	30 – 35	0,05 – 0,2	
Медь	Плоская и фасонная	Плита	62С	25 – 10	6 – 5	12 – 15	До 0,03	Масляные эмульсии, жир
	Цилиндрическая и фасонная тела вращения	Контактный ролик		50 – 6	5 – М40 (или пасты)	35 – 40	" 0,03	

Наибольшее применение имеют шкурки из электрокорунда и карбида кремния на тканевой и бумажной основе зернистостью 8 – М40 для получения шероховатости $Ra = 0,1 \dots 0,2$ и М20 – М14 – для $Ra = 0,05 \dots 0,1$.

Применяют также алмазные и эльборовые шкурки зернистостью 12 – М3. Алмазные шкурки выпускают также на эластичной связке

и широко применяют их в автомобильной промышленности на суперфинишных и полировальных станках при окончательной обработке коленчатых, распределительных валов и других деталей. Алмазная шкурка отличается большой стойкостью. Одним комплектом шкурки (общей длиной 120 мм) можно обработать 30 – 50 тыс. шеек.

Доводка

Абразивная доводка является окончательным методом обработки деталей, обеспечивающим высокое качество поверхностного слоя (шероховатость поверхности до $Rz = 0,050 \dots 0,010$, отклонения формы обработанных поверхностей до $0,05 - 0,3$ мкм).

Процесс абразивной доводки является сложным процессом удаления припуска с обрабатываемой поверхности детали при ее относительном перемещении по поверхности притира в результате действия абразивных зерен. Этот процесс характеризуется одновременным протеканием механических, химических и физико-химических процессов.

Механическая доводка в 2 – 6 раз производительнее ручной доводки; при этом обеспечивается стабильное получение эксплуатационных характеристик поверхностей деталей. Доводка осуществляется либо способом "свободного притира", когда притир самоустанавливается по обрабатываемой поверхности вследствие шарнирного соединения со шпинделем станка, либо способом "жестких осей",

при котором положение осей притира и заготовок остается неизменным в процессе доводки, чем и обеспечивается требуемое взаимное расположение поверхностей (рис. 280).

В зависимости от типа инструмента – притира различают доводку незакрепленными зернами абразива в составе абразивных паст и суспензий на притирах и доводку закрепленными зернами абразива (шаржированными притирами и абразивными кругами).

Доводку деталей абразивными пастами на притирах осуществляют при периодическом нанесении пасты на поверхность притира (путем ее намазывания) либо посредством предварительного шаржирования притира абразивными зернами с помощью специальных устройств с плоскими, роликовыми кольцевыми правильно-шаржирующими инструментами.

Доводка абразивными суспензиями на притирах осуществляется при непрерывной подаче суспензии в зону обработки или с периодической дозированной подачей.

Доводка с непрерывной подачей абразивной суспензии обеспечивает высокую производительность и применяется для предварительной обработки.

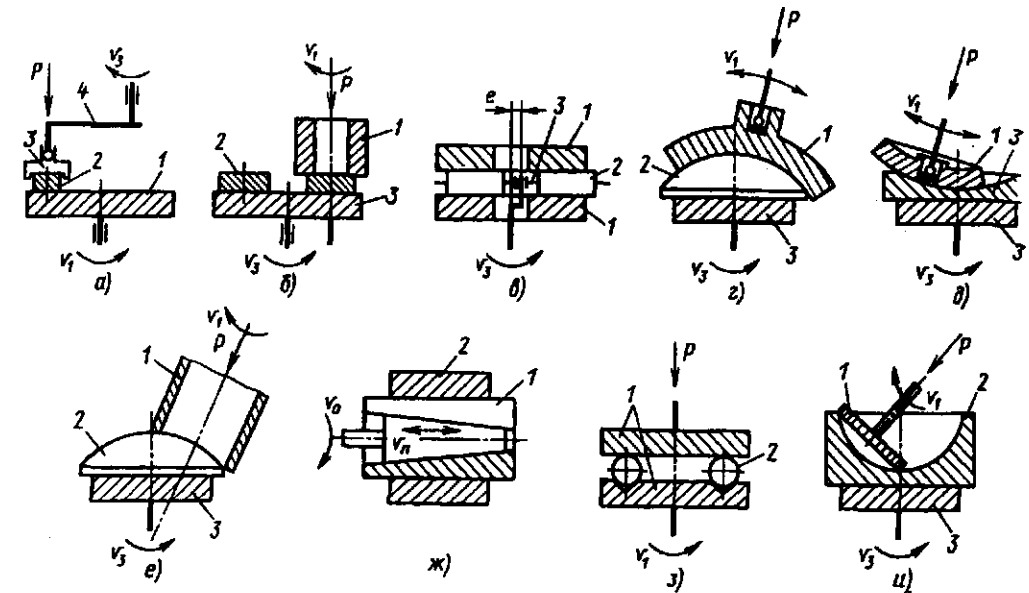


Рис. 280. Основные схемы доводки плоских (а, б), цилиндрических (в, ж) и сферических (з – е, з, и) поверхностей: 1 – притир; 2 – деталь; 3 – устройство для установки детали; v_1 – скорость притира; v_0 – скорость заготовки; v_0 – окружная скорость; v_n – скорость возвратно-поступательного движения; P – сила прижима

Доводку с периодическим нанесением пасты применяют для предварительной и окончательной обработки.

Наивысшие параметры качества поверхности достигаются при тонкой доводке притирами, шаржированными зёрнами пасты. Для повышения производительности обработки при доводке деталей из закаленных сталей (подшипниковые кольца, ролики) применяют абразивные круги на керамической связке на основе зеленого карбида кремния 63С. Для доводки пластин магнитов используют круги на основе электрокорунда 23А – 25А зернистостью 8 – М40, твердостью М2 – СМ2.

Доводочные станки, осуществляющие обработку по способу "свободного притира" плоских, наружных цилиндрических и сферических поверхностей, делят по виду кинематической связи между звеньями исполнительного механизма на два типа: станки с жесткой кинематической связью и станки с фрикционной связью между звеньями исполнительного механизма станка.

Для доводки плоских и цилиндрических поверхностей деталей применяют плоскодоводочные станки: однодисковые 3803 – 3809 с правильными кольцами, двухдисковые 3813, 3813Б, 3Б814, 3Е814, 3Е816, 3Д817 с планетарным и эксцентриковым исполнительным механизмом.

Технологические процессы доводки деталей обычно включают несколько операций, осуществляемых при различных уровнях факторов процесса.

68. Условия доводки и обеспечиваемые параметры качества

Доводка	Марка микропорошка	Припуск на сторону, мм	Отклонения формы поверхности, мкм	Шероховатость поверхности R_a , мкм
Предварительная (черновая)	М40 – М14	0,02 – 0,05	3 – 5	0,63 – 0,16
Получистовая	М10 – М5	0,005 – 0,015	1 – 2	0,16 – 0,08
Чистовая (окончательная)	М10 – М3	0,002 – 0,005	0,5 – 1	0,08 – 0,02
Тонкая	М3 – М1	0,001 – 0,002	0,1 – 0,5	$R_z = 0,1 – 0,025$

Примечание. Для окончательной и тонкой доводки применяют также мягкие абразивные материалы – окись алюминия, окись хрома, крокус и др.

При проектировании процесса доводки выбирают метод доводки и оборудование, назначают режим и другие условия предварительной и окончательной доводки и рассчитывают наладку исполнительного механизма станка исходя из требований качества, производительности (съём материала детали в единицу времени) и себестоимости обработки.

Выходные показатели процесса доводки определяются технологическими, кинематическими, геометрическими и динамическими факторами. Каждый из этих факторов позволяет осуществить стабилизацию параметров качества обработки и автоматическое управление процессом доводки по комплексу показателей.

Доводка прецизионных деталей осуществляется за две-пять операций (перехода) с последовательным снижением зернистости применяемого абразива в составе суспензий и паст, используемых на этапах предварительной, чистой и окончательной доводки, и уменьшением припусков на обработку (табл. 68).

Повышение качества доведенных поверхностей достигается посредством предварительной селекции деталей: интервал рассеяния размеров в партии одновременно обрабатываемых деталей (станко-партия) должен быть не более 1/3 припуска под доводку.

Абразивные суспензии, пасты и мелкозернистые круги создаются на основе микропорошков из следующих абразивных материалов:

электрокорунда белого (24А, 25А), хромистого (33А, 34А), титанистого (37А), монокорунда (43А, 44А, 45А);

карбида кремния зеленого (63С, 65С), карбида бора (КБ) и эльбора (ЛП, ЛО) зернистостью М40 – М1;

алмазных микропорошков АСМ, АСН (из синтетических алмазов), АМ и АН (из природных алмазов) зернистостью 60/40 – 1/0.

Абразивные суспензии и пасты состоят из абразива и неабразивной части (табл. 69). В абразивных суспензиях абразив по массе составляет обычно не более 20 – 40 % и находится во взвешенном состоянии в керосино-масляной смеси с добавкой парафина, стеарина или олеиновой кислоты и т.д. При обработке неметаллических материалов (керамики, кварца, полупроводниковых материалов, сапфира и т.д.) применяют водные суспензии. Для устранения оседания абразива в суспензию добавляют тонкодисперсную двуокись кремния в количестве 5 – 10 % по массе.

Алмазные пасты и суспензии применяют для доводки деталей из твердого сплава, закаленной стали, керамики, сапфира, ситалла, кварца, полупроводниковых материалов и т.д. Алмазные пасты изготовляют из микропорошков природных (А) и синтетических (АС) алмазов, наполнителей и связующих веществ.

Режущая способность абразивных паст и суспензий зависит от комплекса факторов процесса доводки, в частности от вида абразивного

материала, его зернистости, зернового состава по содержанию фракций в микропорошках, свойств неабразивных составляющих пасты и суспензии, материала детали и притира, рабочего давления и скорости относительного движения детали по притиру. Скорость характеризует режущую способность абразивных зерен при конкретных условиях и режимах доводки и определяет производительность обработки (съём материала детали в единицу времени и суммарный съём материала до полной потери режущей способности абразива).

Материал притира выбирают в зависимости от физико-механических характеристик обрабатываемого материала, требуемых производительности и параметров качества обработки. Для доводки деталей из труднообрабатываемых материалов применяют преимущественно притир из чугуна с ферритной, перлитной и перлитоферритной структурой – серого чугуна СЧ 15, СЧ 18, СЧ 20, СЧ 25 с твердостью 120 ... 200 НВ. Для предварительной доводки наилучшую износостойкость имеют перлитные чугуны с крупнопластинчатым перлитом, хорошо удерживающим абразивные зёрна.

69. Характеристика абразивных паст и суспензий для доводки

Метод доводки и область применения	Абразивный материал			Неабразивные составляющие		Рекомендуемые материалы притира
	марка	зернистость	содержание абразива, %	компоненты	содержание, %	
Доводка суспензиями с непрерывной подачей						
Предварительная доводка деталей из сталей	Электрокорунд белый, хромистый; карбид кремния зеленый	М40 – М20	5 – 10	Керосин Веретенное масло Стеарин	40 – 55	Перлитный чугун, оптическое стекло марки МКР (пирекс), закаленная сталь (62 HRC)
Предварительная и получистовая доводка деталей из закаленных сталей, полупроводниковых материалов	Карбид кремния зеленый	М14 – М10	25 – 30	Нитрит натрия Вода	1 – 2 Остальное	Перлитный чугун, оптическое стекло марки МКР-1

Продолжение табл. 69

Метод доводки и область применения	Абразивный материал			Неабразивные составляющие		Рекомендуемые материалы притира
	марка	зернистость	содержание абразива, %	компоненты	содержание, %	
Получистовая доводка деталей из сталей, полупроводниковых материалов, кварца	Электрокорунд белый	M10 – M5	25 – 30	Нитрит натрия Вода	1 – 2 Остальное	Чугун, оптическое стекло марки МКР-1
Предварительная и получистовая доводка деталей из закаленных сталей	Электрокорунд белый; карбид кремния зеленый; монокорунд	M28 – M10	10 – 5	Керосин Вазелиновое масло Стеарин Парафин	50 – 60 15 – 20 12 – 20 8 – 15	Перлитный чугун, закаленная сталь
Доводка пастами и суспензиями с периодической подачей						
Предварительная доводка деталей из закаленных сталей, цветных металлов и сплавов	Электрокорунд белый, хромистый	M 40 – M20	30 – 40	Веретенное масло Вазелиновое масло Стеарин	30 – 40 40 – 60 10 – 20	Оптическое стекло марки МКР-1
Окончательная доводка деталей из сталей, полупроводниковых материалов, кварца	Электрокорунд белый	M5 – M3	10 – 15	Керосин Вазелиновое масло Стеарин Олеиновая кислота	70 – 80 5 – 10 10 – 20 3 – 5	Мелкодисперсный перлитный или ферритный чугун, оптическое стекло марки МКР-1
Окончательная доводка деталей из сталей, цветных металлов и сплавов		M5 – M1	5	Стеарин Оливковое масло	3 92	Ферритный чугун, оптическое стекло марки МКР-1, латунь, медь
Доводка деталей из твердых сплавов	Карбид кремния зеленый; карбид бора	M40 – 4	15 – 20 25	Глицерин Вода	90 10	Перлитный чугун

Примечание. В составе абразивных суспензий вместо веретенного масла можно применять дизельное масло.

Для окончательной доводки применяют более мягкие ферритные с фосфидной эвтектикой и перлитоферритные чугуны с мелкодисперсным и тонкопластинчатым перлитом. Из ферритных чугунов изготавливают притиры для шаржирования их мелкозернистым абразивом зернистостью M3 – M1 (в частности, для доводки концевых мер длины).

При доводке деталей из цветных металлов и сплавов (алюминиевых, медных, магниевых), отожженных сталей рекомендуется применять притиры из оптического стекла марок МКР-1 (пирекса) или К8, а также перлитный чугун и цветные металлы (олова, свинца), которые хорошо шаржируются абразивом. Износостойкость притиров из оптического стекла в 1,5 раза выше износостойкости чугунных притиров; при их применении получают однородную матовую поверхность без царапин.

При окончательной доводке незакрепленным абразивом наблюдается повышенное изнашивание рабочей поверхности притиров, что устраняется применением для окончательной доводки притиров из цветных металлов: меди M1 твердостью 70HВ, латуни Л63 твердостью 90HВ и пластмасс, шаржированных абразивными и алмазными микропорошками. К основным факторам, определяющим качество, про-

изводительность и себестоимость доводки, относятся рабочее давление притира (табл. 70) и скорость относительного движения детали по притиру. С целью повышения эффективности процесса доводка осуществляется за несколько переходов при циклическом изменении давления и скорости.

Тонкую доводку плоских поверхностей притирами, шаржированными зёрнами абразивных и алмазных паст, осуществляют при давлении 20 – 150 кПа, причем меньшие значения соответствуют меньшим параметрам шероховатости поверхности и глубине поверхностного слоя.

Скорость относительного движения детали по притиру при предварительной доводке назначают в пределах 50 – 250 м/мин, при окончательной – 15 – 30 м/мин, при тонкой – 2 – 10 м/мин в зависимости от требуемой производительности, параметров качества обработанной поверхности и физико-механических свойств абразива и неабразивных составляющих паст и суспензий. С увеличением давления и скорости производительность обработки увеличивается до некоторого критического соотношения скорости и давления, а далее резко снижается.

70. Ориентировочные давления притира при доводке с абразивными суспензиями и пастами

Материал детали	Материал притира	Давление (кПа) при доводке	
		предварительной	окончательной
Доводка плоских поверхностей			
Закаленная сталь	Чугун	100 – 200	50 – 100
Твердый сплав		60 – 150	
Вязкие материалы, сталь незакаленная, цветные металлы и сплавы	Стекло	40 – 80	
Хрупкие материалы (кварц, кремний, сапфир, рубин)	Чугун	20 – 200	1 – 10
Доводка цилиндрических поверхностей			
Закаленная сталь, твердый сплав	Чугун	2000 – 4000 Н/м	1000 – 2000 Н/м

Примечания: 1. Данные относятся также к доводке алмазными суспензиями и пастами.

2. Удельная нагрузка при доводке наружных цилиндрических поверхностей относится к единице длины образующей (Н/м).

3. Доводка деталей из керамики и ситалла проводится алмазными пастами при давлении 150 – 200 кПа.

Производительность доводки характеризуется суммарным съемом металла ΣQ за определенное время и зависит от материала детали, материала притира и режущей способности паст и суспензий.

При сравнимых условиях доводки плоских поверхностей деталей из закаленных сталей и твердых сплавов на чугунных притирах режущая способность алмазных паст в 4,5 – 14 раз выше, чем абразивных, а алмазных суспензий – выше в 2,5 – 7,5 раз. Суммарный съем материала при использовании притиров из чугуна и стали на 10 – 20 % меньше, чем при использовании латунных притиров вследствие более длительной работы зерен в незакрепленном состоянии и более интенсивного их дробления.

При доводке твердосплавных деталей на чугунных притирах предварительно шаржированными алмазными зернами паст АСМ5/3 – АСМ40/28 стойкость зерен в 15 – 25 раз выше, а суммарный съем материала с деталей за период стойкости зерен ($T = 3 \dots 4$ ч) в 6 – 18 раз больше, чем при работе на притирах с намазкой пасты. При доводке деталей из закаленной стали, наоборот: применение алмазных паст обеспечивает более высокую производительность, чем доводка предварительно шаржированными притирами.

Сравнительные испытания работоспособности зерен алмазных паст различной концентрации (5, 10, 20 и 40 %) показали, что наибольшая эффективность алмазных паст с учетом их расхода и режущей способности при доводке стальных и твердосплавных деталей наблюдается при концентрации алмазных зерен 5 – 10 %.

Прочность, стойкость, режущая способность, однородность зернового состава абразивных микропорошков являются определяющими факторами, влияющими на качество доведенной поверхности детали. Доводка деталей из закаленной стали Х12Ф1 алмазными пастами АСМ5/3 позволяет получить микроровности в 4 – 11 раз меньше (при отклонении по параметру Rz не более 25 – 30 %), чем при доводке абразивными пастами М5.

Наименьшая пластическая деформация поверхностного слоя закаленной стали достигалась после доводки алмазной пастой АСМ5/3.

Для увеличения производительности обработки при тонкой доводке деталей необходимо обеспечить повышенную шаржируемость зерен в притир, т.е. работу их в закрепленном состоянии.

Время обновления пасты при тонкой доводке деталей из труднообрабатываемых материалов назначают в зависимости от зернистости абразива: 8 – 20 мин для алмазных паст АСМ1/0 – АСМ40/28, 2 – 8 мин для абразивных паст М3 – М40; время повторного перешаржирования 100 – 250 мин для алмазных паст АСМ1/0 – АСМ40/28 и 3 – 15 мин для абразивных паст М3 – М40 (большие значения соответствуют большей зернистости пасты). При круглой доводке пасту обновляют через 1 – 5 мин.

Оптимальный расход пасты на 1 см² рабочей поверхности притира 0,04 – 0,080 мг при плоской и 0,060 – 0,120 мг при круглой доводке деталей абразивными (М1 – М40) или алмазными (АСМ1/0 – АСМ40/28) пастами, причем большие значения соответствуют большей зернистости.

Типовые схемы наладок доводочных станков для плоских поверхностей представлены на рис. 281 – 283. Наружные цилиндрические поверхности обрабатывают в сепараторах на двухдисковых доводочных станках с сепараторной наладкой (рис. 284).

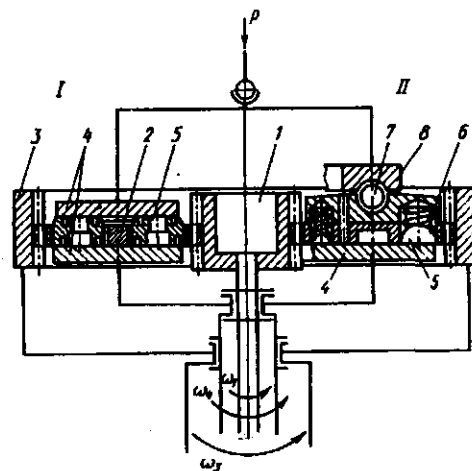


Рис. 281. Наладка планетарного исполнительного механизма двухдискового доводочного станка при односторонней (II) и двусторонней (I) доводке: 1 – центральное колесо планетарного исполнительного механизма; 2 – кассета; 3 – наружное колесо планетарного исполнительного механизма; 4 – верхний и нижний притиры; 5 – деталь; 6 – пружина; 7 – шарнир; 8 – планшайба нагрузочного устройства

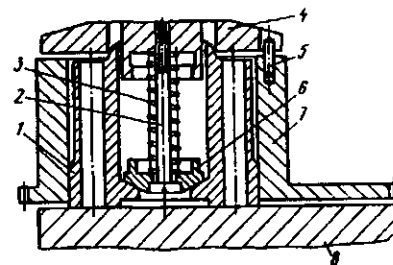


Рис. 282. Кассета для доводки плоской поверхности на станке с планетарным механизмом: 1 – деталь; 2 – винт нагрузочного устройства; 3 – пружина; 4 – фланец; 5 – штифт; 6 – прижимная втулка; 7 – специальная кассета; 8 – притир

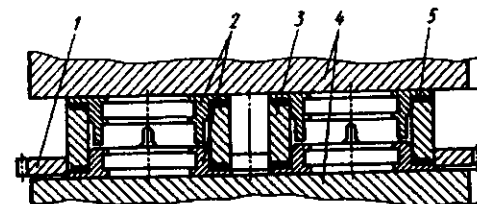


Рис. 283. Кассета для доводки плоской поверхности детали типа фланца при двухрядном расположении деталей на двухдисковом станке с планетарным механизмом: 1 – кассета; 2 – детали; 3 – спутник; 4 – верхний и нижний притиры; 5 – прокладка

Ручная доводка наружных цилиндрических поверхностей осуществляется разрезными охватывающими притирами, закрепленными в специальных держателях-клучпах.

Оптимальными режимами доводки отверстий являются давление 100 – 300 кПа для предварительной и 20 – 50 кПа для окончательной доводки.

Для доводки отверстий диаметром до 30 мм скорость вращения и поступательного перемещения притиров назначают соответственно 25 – 50 и 6 – 15 м/мин для предварительной доводки, 10 – 20 и 5 – 8 м/мин для окончательной доводки.

Доводку осуществляют регулируемые (разжимными) и нерегулируемые (неразжимными) цилиндрическими притирами. Регулируемый притир представляет собой оправку с конусностью 1 : 50, на которую надевается рубашка притира, имеющая продольный или спиральный паз и внутреннюю полость с той же конусностью. Наружный диаметр рубашки притира в зависимости от зернистости абразива выполняют на 0,05 – 0,020 мм меньше диаметра обрабатываемого отверстия.

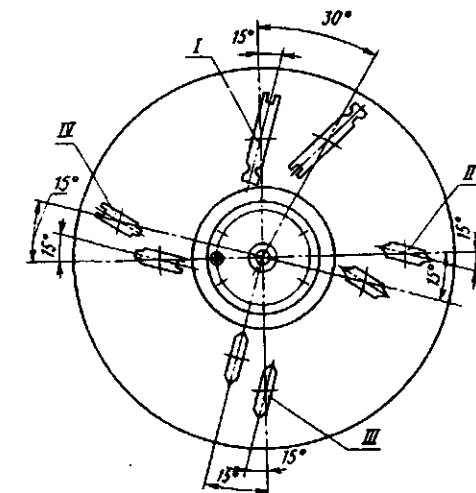
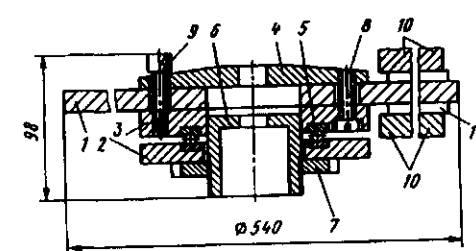


Рис. 284. Сепараторная наладка эксцентрикового механизма двухдискового станка для доводки цилиндрических поверхностей: 1 – IV – элементы базирования в сепараторах; 1 – сепаратор; 2, 3 – диски; 4 – пластина; 5 – подшипник; 6 – втулка; 7 – гайка; 8 – винт; 9 – фиксатор; 10 – притиры; 11 – деталь

Рубашки притира изготовляют из серого чугуна СЧ 10 (100 ... 200НВ) или из стали Ст2 или Ст3 (150 ... 200НВ); износостойкость стальных притиров выше, чем чугунных.

Для повышения точности формы конической поверхности в продольном сечении на рабочей поверхности притира выполняют две взаимно противоположные лыски; обработка осуществляется на пятишпиндельном полуавтомате ЦНИТА-8451.

Доводка конических поверхностей по способу ЦНИТА (рис. 285) основана на последовательном чередовании объемного и линейного контакта поверхностей детали и притира (схемы I и II). Для доводки отверстий в корпусах распылителей различных типов применяют полуавтоматы ЦНИТА-8170 и ЦНИТА-511017,

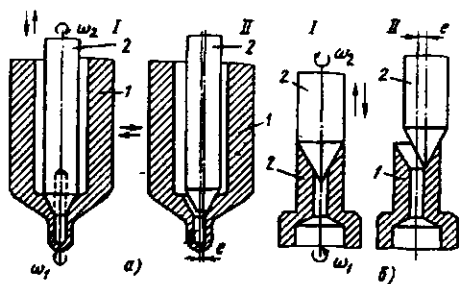


Рис. 285. Схемы доводки конических поверхностей по способу ЦНИТА: а и б – для внутренних поверхностей; 1 – деталь; 2 – притир; е – эксцентриситет

обеспечивающие отклонения от круглости и от прямолинейности образующей цилиндрической поверхности не более 0,0005 мм и шероховатость $Ra \leq 0,04$. Полуавтоматы обеспечивают повышение точности в 1,5–2 раза, общее снижение трудоемкости обработки в 3–5 раз и меньший расход инструмента (в 5–7 раз) по сравнению с ручной доводкой.

При доводке конуса корпуса распылителя на автомате ЦНИТА-511018 отклонение от округлости составляет 0,0008 мм, отклонение от прямолинейности образующей – 0,002 мм и отклонение угла конуса от номинального значения $\pm 10'$. Точность обработки уплотняющего конуса обеспечивается путем поддержания постоянного осевого давления на притир и автоматической компенсации износа притира в результате его свободного перемещения в осевом направлении.

Для доводки конической поверхности рекомендуются стальные притиры, снабженные тремя вставками из твердого сплава; производительность обработки повышается в 2–3 раза по сравнению с доводкой притирами без твердосплавных вставок.

С целью интенсификации процесса доводки, повышения производительности при одновременном повышении качества обработки и снижении себестоимости осуществляют совмещение предварительной (черновой) и чистовой доводки в одной операции без смены используемого абразива в составе суспензии или пасты.

Целенаправленно изменяя параметры процесса доводки, можно влиять на характер разрушения поверхностного слоя детали и управлять его глубиной. Так, циклическое изменение по периодическому или аperiodическому

закону скорости v , ускорения a^t относительного движения детали по притиру и давления p приводит к созданию в поверхностном слое обрабатываемой детали неравновесного напряженного состояния, изменению закона распределения дислокаций и других дефектов по глубине поверхностного слоя.

Глубина нарушенного поверхностного слоя детали и его строение определяются значением и характером изменения скорости v и давления p .

При наличии ускорения a^t относительного движения детали по притиру глубина нарушенного обработкой поверхностного слоя уменьшается по сравнению с глубиной, получаемой при режиме доводки на постоянной скорости. Поэтому удаление основного припуска при предварительной доводке должно производиться с большими скоростями v , при ускорении a^t , с повышенным давлением p . Окончательная доводка должна осуществляться пастами и суспензиями на основе мелкозернистых абразивных порошков при более низких и плавно изменяющихся скоростях v и давлении p с целью получения малого по глубине и однородного по строению поверхностного слоя.

Стабилизация параметров качества доведенной поверхности и управление точностью ее формы и размеров осуществляются созданием условий равномерного изнашивания поверхности притира в процессе доводки; программным перемещением детали по поверхности притира.

Сохранение формы рабочей поверхности притира достигается путем циклического изменения кинематических факторов – величин и направлений угловых и линейных скоростей звеньев исполнительного механизма станка (способ кинематической правки притиров) или изменения геометрических параметров и соотношения линейных размеров звеньев исполнительного механизма станка (способ зональной доводки). Отклонения формы обработанной поверхности получаются минимальными в результате "приработки" обрабатываемой поверхности детали к геометрически точной поверхности притира.

Кинематическая правка притира в процессе доводки осуществляется путем циклического изменения по величине и направлению скоростей перемещения привода обрабатываемой детали, притира или одновременно детали

и притира (рис. 286). При этой схеме правки на 30–80 % сокращается вспомогательное время и обеспечивается отклонение от плоскостности и цилиндричности до 0,05–0,5 мкм.

Способ доводки деталей одновременно с кинематической правкой притиров используется при доводке плоских поверхностей твердосплавных неперестачиваемых пластинок режущих инструментов, пластин из магнитных сплавов, колец подшипников качения при двусторонней доводке, корпусов гидроагрегатов, корпусов насосов при односторонней доводке, сферических поверхностей, подшипников опор приборов, цилиндрических поверхностей плунжеров, игл распылителей и т.д. Достижимая точность формы обработанной поверхности 0,1–3 мкм в зависимости от требований по техническим условиям.

При зональной доводке детали перемещаются по отдельным зонам рабочей поверхности притира. На двухдисковом эксцентриковом станке с настраиваемым эксцентриситетом перемещение по зонам осуществляется путем изменения эксцентриситета (рис. 287). В этом случае последовательно изменяется траектория относительного движения детали по притиру (движение по окружности, по кривым эпициклоидального или гипоциклоидального вида) и ширина зоны поверхности притира, участвующей в процессе доводки. Принцип зональной доводки может быть применен при доводке поверхностей заданного профиля путем осуществления последовательного съема материала с поверхности детали по отдельным ее зонам притиром, совершающим программное перемещение (в том числе и циклические движения).

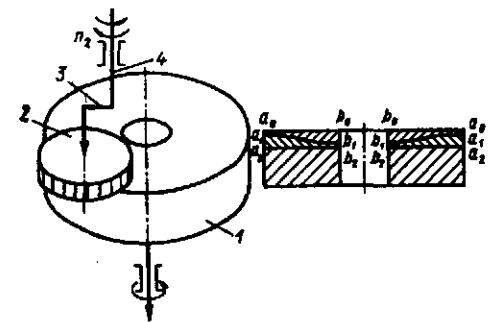


Рис. 286. Схема доводки с одновременной кинематической правкой притира: a_0b_0 – исходный профиль притира; a_1b_1 и a_2b_2 – реальные профили продольного сечения притира в процессе кинематической правки; 1 – притир; 2 – деталь; 3 – поводок; 4 – шпиндель; $n_2 = \omega_2$

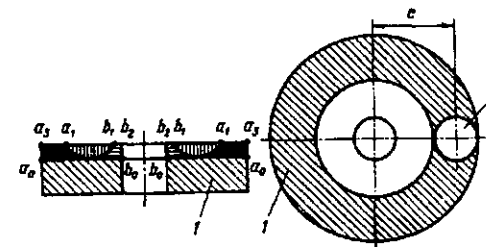


Рис. 287. Схема зональной доводки: a_1b_1 , b_1b_2 и a_2b_2 , a_3b_3 – зоны притира, последовательно контактирующие с обрабатываемой поверхностью; a_0b_0 – исходный профиль притира; 1 – притир; 2 – деталь

Циклическое изменение давления p , скорости v и ускорения a^t относительного движения детали по притиру используется при доводке подшипников, керамических опор гироскопических приборов, кремниевых подложек и других деталей из труднообрабатываемых материалов. Циклические изменения давления, скорости и ускорения при относительном движении детали по притиру позволяют повысить производительность на стадии предварительной доводки и получить требуемые параметры качества поверхностей на окончательной стадии доводки за одну операцию без изменения зернистости абразива.

При доводке деталей с периодическим восстановлением режущей способности абразивных притиров посредством чередования подачи смазочно-охлаждающей жидкости и абразивной суспензии повышается режущая способность абразивных зерен. В момент подачи абразивной суспензии рабочее давление, при котором осуществляют доводку деталей и прекращают подачу смазочно-охлаждающей жидкости, снижают до 50 % от номинального.

В этом случае процесс доводки происходит с очищением рабочей поверхности притира от шлама, в результате чего и восстанавливается режущая способность зерен.

Так, при доводке плоских поверхностей деталей из закаленных сталей и твердых сплавов на алмазных плоских кругах на связке Т02 зернистостью 63/50 достигается шероховатость $Ra = 0,2 \dots 0,32$ мкм на режимах: $p = 800 \dots 850$ кПа; $v = 70 \dots 150$ м/мин, с применением 3 %-ного водного раствора кальцинированной соды. Скорость съема материала с деталей из твердого сплава Т14К8 и закаленных сталей (до 60 ... 65 HRC) достигает 500–700 мкм/мин.

Технологические процессы обработки прецизионных деталей разрабатываются с учетом обеспечения конечных требований качества при соответствующих требованиях ко всем предшествующим операциям и к заготовке.

ОБРАБОТКА НА ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКАХ

Зубофрезерование

Цилиндрические зубчатые колеса внешнего зацепления с прямыми и косыми зубьями нарезают методами копирования и обкатывания.

Метод копирования применяют для чернового и чистового нарезания зубьев дисковыми модульными и пальцевыми фрезами на универсально-фрезерных станках с единичным делением. Этот метод имеет невысокую производительность и точность (9 – 10 степень по ГОСТ 1643-81). Он применяется для изготовления небольших партий колес или запасных частей, а также для обработки цилиндрических и шевронных колес крупного модуля.

Метод обкатывания является наиболее распространенным в производстве зубчатых колес. На зуборезных станках червячными фрезами при непрерывном делении нарезают цилиндрические прямозубые и косозубые колеса со стандартными (рис. 288, а), конусными (рис. 288, б) и бочкообразными зубьями (рис. 288, в), червячные колеса (рис. 288, з), шлицевые валы с эвольвентным и прямобочным профилем, двухвенцовые колеса (рис. 288, д) и др.

Фрезерование с осевой подачей. Червячная фреза перемещается параллельно оси обрабатываемого колеса. Недостатком этого метода обработки является большая длина врезания червячной фрезы (рис. 289, а).

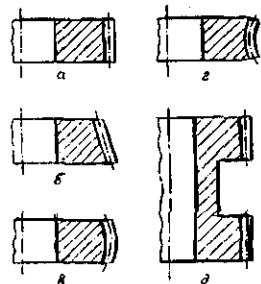


Рис. 288. Зубчатые колеса, нарезанные на зубофрезерном станке

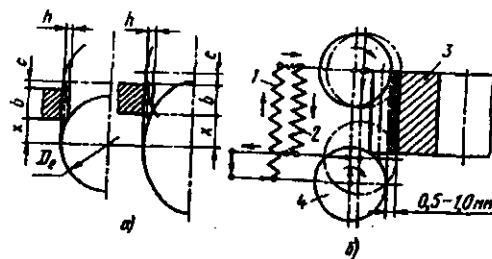


Рис. 289. Схемы зубофрезерования: а – с осевой подачей; б – двухпроходным методом

При нарезании колес с прямыми зубьями длина врезания

$$x \geq \sqrt{D_c h - h^2};$$

при фрезеровании колес с косыми зубьями вместо D_c применяют

$$D'_c \approx D_c (1 - \operatorname{tg}^2 \beta + d_{ac} \operatorname{tg}^2 \beta),$$

где D_c – внешний диаметр червячной фрезы, мм; h – высота зуба колеса, мм; β – угол наклона линии зубьев колеса; d_{ac} – внешний диаметр вершин зубьев колеса.

Длину и время на врезание можно сократить уменьшением диаметра червячной фрезы, одновременной обработкой двух и большего числа заготовок, применением радиальной подачи, фрез с заборным конусом, фрезерованием с бесступенчатой регулируемой подачей (при увеличении подачи при врезании и выходе фрезы из заготовки). Перебег фрезы для прямозубых колес $C = 2 \dots 3$ мм; для косозубых его выбирают по табл. 70.

70. Рекомендуемый перебег C фрезы для косозубых колес, мм

Угол наклона линии зуба, ...°	Модуль			
	1	2	Св. 2 до 4	Св. 4 до 8
10	2,3	3,1	4,2	6,5
20	3,1	4,1	6,5	11
30	3,6	5,2	8,5	15
40	4,1	6,2	10,5	18

При фрезеровании с радиально-осевой подачей червячная фреза в начале резания и до получения полной высоты зуба перемещается радиально. Затем радиальная подача прекращается, и включается осевая. Этот метод осуществляют на специальных зубофрезерных станках стандартными фрезами. При радиальной подаче резко возрастает нагрузка на зубья червячной фрезы, а следовательно, износ зубьев, поэтому радиальную подачу s_p выбирают меньше осевой s_0 [$s_p = (0,3 \dots 0,5) s_0$]. Метод с радиально-осевой подачей экономичен при фрезеровании зубчатых колес с большим углом наклона зубьев и при работе червячными фрезами большого диаметра. В обычных условиях обработки применяют фрезерование с осевой подачей.

Применение многозаходных червячных фрез при зубофрезеровании с осевой, радиально-осевой и другими подачами является одним из средств повышения производительности. Чтобы рационально использовать преимущества многозаходных фрез, необходимо соблюдение определенных условий.

Число заходов червячной фрезы не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса. Ошибки в заходности фрезы вызывают погрешность в шаге зубьев колеса во время фрезерования, устранить которые при последующих операциях не всегда возможно. Известно, что при зубофрезеровании многозаходными фрезами заготовка вращается быстрее относительно фрезы в прямой зависимости от числа заходов. Это является главным преимуществом многозаходного зубофрезерования.

Однако с увеличением заходности фрез пропорционально уменьшается число резцов, формирующих профиль зубьев колеса, снижается точность зубьев. Поэтому при увеличении заходности фрез целесообразно повысить число их стружечных канавок. Важным условием является также не кратное отношение числа заходов фрезы к числу ее стружечных канавок.

Применение многозаходных червячных фрез сборной конструкции значительно ограничено. Прямолинейное расположение стружечных канавок, обусловленное конструкцией фрезы, при угле подъема более 6° является причиной возникновения отрицательных углов резания на одной из боковых сторон зуба фрезы. Чтобы избежать этого, необходимо увеличивать диаметр фрезы, что снижает ее производительность.

Формула для определения числа заходов сборных червячных фрез:

$$K_{\max} \approx \frac{D_c}{10m_c},$$

где m_c – модуль червячной фрезы, мм; D_c – диаметр вершин зубьев фрезы, мм.

Современные жесткие станки с ЧПУ способствуют расширению области применения многозаходных фрез. Так под последующее шевингование или шлифование используют цельные 6 – 7-заходные фрезы с 15 – 17-стружечными канавками и длиной режущей части до 200 мм.

Фрезерование с диагональной подачей осуществляют на специальных станках. Червячная фреза перемещается под углом к оси обрабатываемого колеса. Этот метод применяют в крупносерийном и массовом производстве для обработки колес с широкими зубчатыми венцами, пакета колес и колес с повышенной твердостью, когда необходимо иметь большой период стойкости фрез в процессе резания.

При диагональной подаче по сравнению с осевой улучшается сопрягаемость профилей зубьев (линии резцов расположены не вдоль зуба, а под углом) прямозубых колес при обкатке; поэтому этот метод целесообразно применять и для колес, у которых в дальнейшем зубья не подвергаются чистовой обработке, например для зубчатых колес насосов. При диагональном зубофрезеровании экономично применять длинные и точные фрезы.

Отношение тангенциальной и осевой подачи зависит от возможности станка и полезной длины червячной фрезы и находится в пределах $1/9 \dots 1/3$. Если необходимо хорошее сопряжение зубьев, то отношение тангенциальной S_t и осевой S_0 подач должно быть

$$\frac{S_t}{S_0} \geq \frac{m\pi}{b},$$

где m – модуль зубчатого колеса, мм; b – ширина зубчатого венца, мм.

Метод диагонального фрезерования применяется для изготовления специальными фрезами прямобочных эвольвентных шлицевых валов, которые для обеспечения неподвижной посадки должны иметь легкую конусность, а также для зубчатых колес с легкой бочкообразностью по ширине зуба.

При зубофрезеровании за два рабочих хода (перехода) (рис. 289, б) первый 1 и второй 2 ходы осуществляют червячной фрезой 4 последовательно за один установ заготовки 3. Глубина резания при втором рабочем ходе составляет 0,5 – 1,0 мм. Первый рабочий ход осуществляют при попутной подаче, второй при встречной. В результате малого припуска при втором ходе скорость резания и осевая подача выше, чем при первом. Этот метод применяют для колес с модулем свыше 4 – 5 мм. Кроме повышения производительности при этом методе достигается высокая стабильная точность параметров зубьев, особенно по направлению зуба, создаются благоприятные условия для автоматизации станка, увеличивается производительность и период стойкости инструмента на операции зубошевнигования.

Пример обработки двухпроходным методом зубчатого колеса из хроммолибденовой стали ($m = 4$ мм, $z = 50$; $\alpha = 30^\circ$; $\beta = 0^\circ$; $b = 32$ мм): инструмент – двухзаходная червячная фреза из быстрорежущей стали с покрытием нитридом титана. Режимы резания: скорость резания $1/2v = 50/80$ м/мин; осевая подача $1/2S = 3,6/2$ мм/об; основное время $T = 2,3$ мин.

При встречном зубофрезеровании стружка имеет форму запятой; в начале обработки ее толщина минимальная, а в конце – максимальная. В начале резания режущие кромки, особенно когда они затуплены, не могут сразу вступить в резание, а скользят по поверхности, уплотняют ее и подвергаются повышенному изнашиванию. Условия резания затруднены.

При попутном зубофрезеровании, наоборот, в начале резания толщина стружки максимальная, а в конце – минимальная. В начале резания режущие кромки свободно врезаются в металл, в результате чего создаются благоприятные условия резания. Период стойкости инструмента повышается на 10 – 30 %, достигается хорошее качество поверхности зубьев и образуется меньше заусенцев на торцах при выходе фрезы. При попутном фрезеровании вследствие более благоприятных условий резания, повышая скорость резания и подачу, можно обработать то же самое число зубчатых колес при том же примерно износе, но за более короткое время.

Автоматическое перемещение фрезы вдоль оси является одним из методов значительного повышения ее режущих свойств. В процессе резания зубья 3 червячной фрезы 2

(рис. 290) нагружены неодинаково, а следовательно и изнашиваются неравномерно. Зубья, находящиеся на стороне входа фрезы, изнашиваются (нагружены) больше, чем на стороне выхода.

Чтобы, по возможности, зубья изнашивались равномерно по всей длине, фрезу необходимо периодически перемещать вдоль ее оси после обработки одного зубчатого колеса или пакета колес. Направление периодического перемещения фрезы должно осуществляться против направления вращения обрабатываемого колеса 1, тогда острые зубья будут вступать в резание, а затупленные выйдут из резания. Периодическое перемещение для фрез со стружечными канавками, расположенными параллельно оси,

$$\Delta l = \frac{\pi k m_n}{\cos \gamma_0 i}$$

Для фрез, стружечные канавки которых расположены перпендикулярно винтовой линии,

$$\Delta l = \frac{\pi k m_n \cos \gamma_0}{i}$$

где m_n – нормальный модуль, мм; γ_0 – угол подъема винтовой линии фрезы; i – число стружечных канавок фрезы.

Полученное расчетом перемещение Δl иногда приходится корректировать. Если износ зубьев фрезы будет мал, то перемещение Δl следует уменьшить; если износ большой, то Δl увеличивают до получения допустимого износа зубьев фрезы. Первоначальное положение фрезы на стороне входа – расстояние от торца рейки до оси колеса

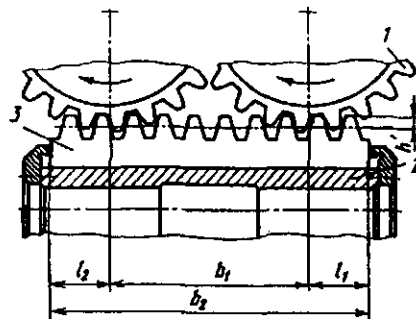


Рис. 290. Схема первоначальной и конечной установок червячной фрезы на зубофрезерном станке

$$l_1 = \frac{h'}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{m_n \pi}{2}$$

Конечное положение фрезы на стороне выхода

$$l_2 = \frac{h'}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Общая длина осевого перемещения фрезы

$$b_1 = b_2 - (l_1 + l_2)$$

Число деталей, обработанных за полный срок службы фрез,

$$A = \frac{(b_1 q) M}{\Delta l}$$

Здесь h' – высота головки зуба фрезы, мм; α – угол профиля; b_2 – длина рейки фрезы, мм; q – число деталей в пакете, обрабатываемых одновременно; M – число возможных переточек фрезы.

При автоматическом перемещении особенно эффективно применять длинные и точные фрезы.

Зубодолбление

При долблении зубьев методом обкатки круглыми долбляками повышается производительность и точность обработки. Современные зубодолбежные станки имеют жесткую конструкцию, гидростатические подшипники и направляющие, работают с частотой ходов 2500 в минуту, удобны в работе и для автоматизации.

Для расширения технологических возможностей зубодолбежные станки нового поколения оснащают ЧПУ, шпиндель инструмента устанавливают в подвижной каретке с возможностью изменения положения долбяка вдоль оси обрабатываемого зубчатого колеса. Это значительно расширяет технологические возможности станка и позволяет за одну установку заготовки обрабатывать двух- или трехвенцовые зубчатые колеса (рис. 291).

Метод обкатки круглыми долбляками более универсален, чем зубофрезерование червячными фрезами. Его применяют для нарезания колес внешнего и внутреннего зацепления с прямыми и косыми зубьями бочкообразной и конической формы. Колеса некоторых типов – блочные зубчатые колеса с близко расположенными венцами, зубчатые рейки, шевронные

колеса, копиры сложной формы и т.д. могут быть нарезаны только долбяками. При зубодолблении долбяками достигается более высокая точность профиля зуба и меньшая шероховатость поверхности. Колеса с малой шириной зубчатого венца более экономично обрабатывать зубодолблением, а не зубофрезерованием.

В крупносерийном и массовом производстве целесообразно применять зубофрезерование червячными фрезами; производительность и точность обработки выше, чем при зубодолблении. Точность изготовления зубчатых колес круглыми долбяками: класса АА – 6-я степень, класса А – 7-я степень и класса В – 8-я степень (ГОСТ 1643-81).

Нарезание косозубых колес отличается от нарезания прямозубых колес тем, что по мере возвратно-поступательного движения долбяк получает дополнительный поворот. Для нарезания косозубых колес внешнего зацепления долбяк должен быть также косозубым с тем же углом наклона, но с противоположным направлением. Колеса с правым направлением зубьев нарезают левым долбяком, а колеса с левым направлением – правым долбяком. При обкатке долбяк и заготовка вращаются в разных направлениях.

Нарезание колес внутреннего зацепления осуществляют круглыми долбляками. При проектировании зубчатой передачи внутреннего зацепления и выборе инструмента необходимо учитывать некоторые моменты, вызывающие трудности при зубодолблении и сборке. При радиальном перемещении долбяк не должен срезать уголки вершин зубьев колеса; галтель, образованная долбяком, не должна вызывать интерференцию и т.д. Число зубьев долбяка должно быть равно или несколько меньше числа зубьев колеса. Долбяк с десятью зубьями считается практически наименьшим.

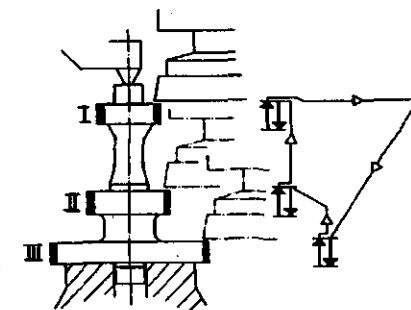


Рис. 291. Схема зубодолбления трехвенцового колеса

Стандартные долбяки не всегда пригодны для внутреннего долбления. При нарезании косозубых колес внутреннего зацепления направления угла наклона линии зуба колеса и долбяка совпадают. Долбяк и заготовка вращаются в одном направлении.

Нарезание шевронных зубчатых колес осуществляют на горизонтальных станках двумя спаренными косозубыми долбяками (рис. 292, а) с правым и левым наклоном зуба. Долбяки работают попеременно. Если один из них производит обработку до середины ширины зубчатого венца, другой в это время перемещается обратно и наоборот, образуя таким образом шевронный зуб.

Долбяки для шевронных колес изготавливают комплектно – один правый и один левый для обработки обеих половин шевронного колеса. После затачивания диаметры долбяков в комплекте должны быть одинаковыми. Долбяки со специальной заточкой могут нарезать зубья шевронного колеса без разделительной канавки. На горизонтальных зубодолбежных станках последних моделей можно одновременно обрабатывать два колеса, расположенных на одном валу и имеющих различный модуль, диаметры и угол наклона зуба и т.д.

Длина хода долбяка зависит от ширины зубчатого венца b и перебега долбяка l_1 (рис. 292, б): $L = b + 2l_1$.

При обработке открытых венцов перебеги долбяка выше и ниже торца практически равны между собой ($2l_1 = 0,14b$, но не менее 5 мм). Ширина l_2 и l_3 канавок для выхода долбяка в закрытых венцах необходимо учитывать при проектировании зубчатого колеса. Ширина l_2 должна быть достаточной для выхода долбяка и стружки (рис. 292, в). У косозубых колес ширина l_3 канавки (рис. 292, г) для выхода долбяка должна быть такой, чтобы между режущей кромкой долбяка и торцом был достаточный зазор.

Число переходов (рабочих ходов) при зубодолблении определяют в зависимости от модуля, материала заготовки и требуемого качества. Зубчатые колеса нарезают за несколько переходов: с модулем 2 – 3 мм – за один черновой и один чистовой, с модулем 3 – 6 мм – за два черновых и один чистовой, с модулем 6 – 12 мм – за три черновых и два чистовых. Обработка за несколько переходов является наиболее эффективной. При многопереходной обработке полная глубина зуба делится на число переходов; глубина резания посте-

ленно уменьшается (при последнем переходе она равна примерно 0,25 мм).

Производительность зубодолбления, точность и стойкость инструмента в значительной степени определяются характером стружкообразования и обрабатываемостью материала. При зубодолблении – врезании с обкаткой (рис. 293, б) и врезании без обкатки с последующей круговой подачей – стружка имеет сложную форму с явно выраженными тремя зонами (рис. 293, а). Зоны образуются режущими кромками круглого долбяка на головке и боковых поверхностях его зубьев. Толщина стружки в зонах различная.

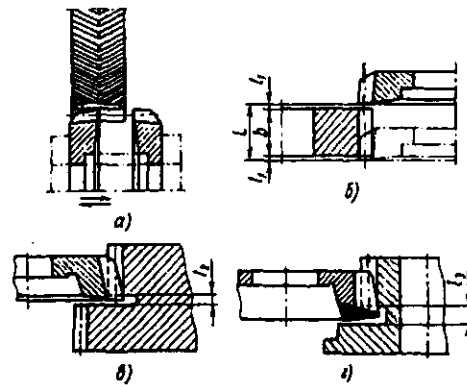


Рис. 292. Схемы нарезания зубьев колес на зубодолбежном станке

В современных зубодолбежных станках с электронной системой управления получил развитие метод со спиральной радиальной подачей – постоянной (рис. 293, в) или уменьшающейся. Этот метод обеспечивает благоприятный сход стружки за счет оптимизации ее толщины в трех зонах. При спиральном движении подачи за несколько оборотов обрабатываемого колеса долбяк постепенно врезается на установленную глубину резания.

По сравнению с обычными методами долбления ($S_{кр} \approx 0,2 \dots 1,0$ мм/дв. ход, $S_{рад} \approx 0,02 \dots 0,4$ мм/дв. ход) при методе со спиральной радиальной подачей применяют очень большие круговые подачи ($S_{кр} \approx 10$ мм/дв. ход) и малые радиальные подачи ($S_{рад} \approx 0,002 \dots 0,003$ мм/дв. ход). Для снижения погрешностей зубчатого зацепления целесообразно выполнять дополнительно один или два оборота обрабатываемого колеса без радиального движения на подачу.

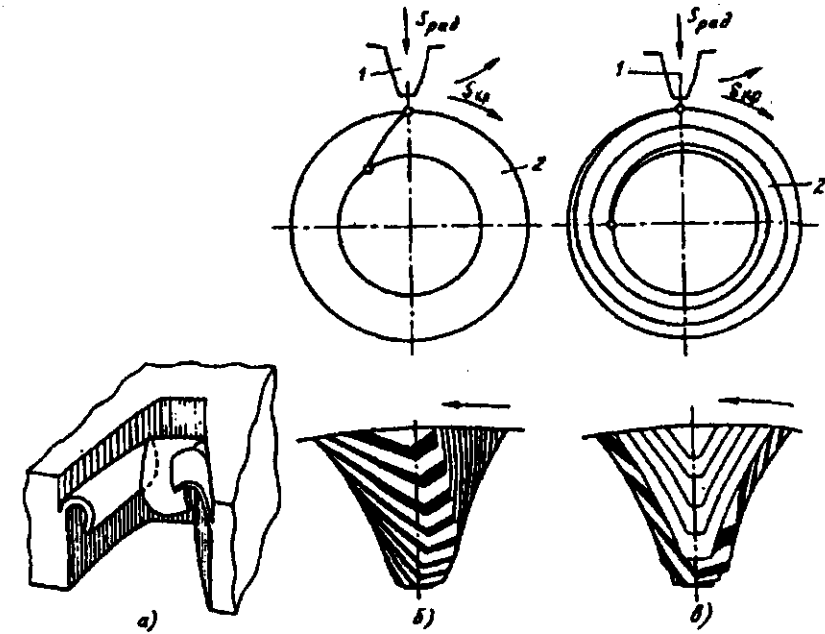


Рис. 293. Форма стружки и схемы зубодолбления: а – трехкомпонентная стружка; б – радиальное движение подачи; в – спиральный метод с постоянным движением подачи; 1 – инструмент; 2 – заготовка

Одновременное нарезание всех зубьев резовыми головками осуществляется на специальных зубодолбежных станках для обработки прямозубых цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления, шлицев, зубчатых муфт и копиров сложной формы методом копирования. Затылованные резцы в головке расположены радиально; их число равно числу зубьев нарезаемого колеса. Профиль режущей кромки резцов соответствует форме впадины зуба колеса. Время обработки зубчатого венца муфты автомобиля ($z = 24$; $m_n = 5$ мм; $b = 11$ мм) составляет 21 с.

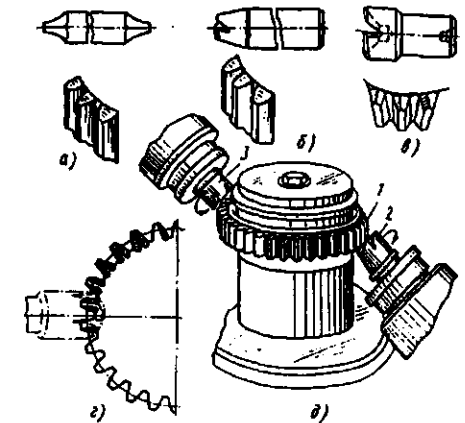


Рис. 294. Формы закругления торцов зубьев зубчатых колес

Зубозакругление

Зубозакругление на торцах зубьев применяют для облегчения входа в зацепление и повышения срока службы переключаемых на ходу зубчатых колес и муфт. Фасонную пальцевую фрезу обычно применяют для получения радиусного закругления (рис. 294, а) у прямозубых цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацеплений. Метод обладает большой универсальностью, обеспечивает разнообраз-

ную форму закругления и хорошее качество обработки, но производительность станка и стойкость инструмента низкие. Этот метод используют в единичном и серийном производстве; в массовом производстве его применяют, когда другие методы и инструмент не могут быть использованы.

Более эффективным методом закругления зубьев муфт и прямозубых цилиндрических колес с внешним и внутренним зацеплениями, с укороченной и нормальной высотами зубьев является метод единичного деления фасонными чашечными фрезами. Метод имеет высокую производительность, а чашечные фрезы обладают большей стойкостью, чем пальцевые. Чашечные фрезы режут металл внутренними режущими кромками.

Фрезы с криволинейными режущими кромками при закруглении зубьев с укороченной высотой последовательно обрабатывают правую и левую стороны одного зуба и обеспечивают сферическое закругление (рис. 294, б). При закруглении зубчатых колес с нормальной высотой зубьев криволинейные режущие кромки фрезы последовательно обрабатывают правую и левую стороны двух рядом стоящих зубьев.

Чашечные фрезы с прямолинейными режущими кромками обеспечивают остроугольное закругление типа "крыши домика". Остроугольное закругление (рис. 294, в) используют для колес и муфт легковых автомобилей, обеспечивающих более легкий вход в зацепление.

Закругление с ленточкой шириной 0,5 – 2 мм на торце зуба (рис. 294, з) применяют для нагруженных зубчатых передач, например, грузовых автомобилей; срок их службы выше, чем остроугольных.

Для повышения производительности метода создан специальный станок с двумя синхронно вращающимися головками 2 и 3 (рис. 294, д) для одновременного закругления зубьев на обоих торцах зубчатого колеса 1. Производительность станка повышается на 100 %. Шпиндель изделия установлен вертикально; инструментальные шпиндели расположены под углом к оси обрабатываемого колеса.

В процессе обработки вращающаяся чашечная фреза совершает возвратно-поступательное движение вдоль своей оси с частотой 30 – 250 дв. ход/мин. После обработки двух зубьев (на верхнем и нижнем торцах) колесо поворачивается на один шаг для обработки следующих зубьев. На станке предусмотрено снятие фасок с торцов зубьев цилиндрических и конических колес. Операция зубозакругления в технологическом маршруте следует после зубофрезерования перед зубошлифованием. Для облегчения зубозакругления на торцах зубьев необходимо делать фаску под закруглением с углом 10 – 15° и шириной в два модуля.

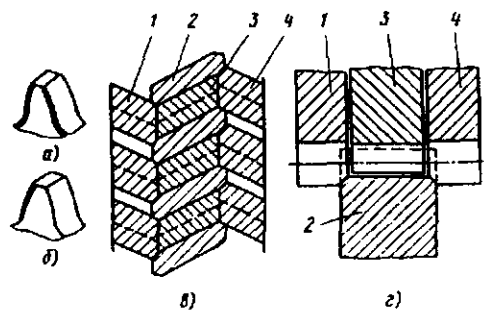


Рис. 295. Схемы снятия фасок и заусенцев на торцах зубьев

В процессе зубонарезания на торцах зубьев колес образуются острые кромки и заусенцы, которые ухудшают качество зацепления, снижают срок службы колес в результате скола острых кромок зубьев и т.д. Поэтому у зубчатых колес после зубофрезерования и зубодолбления необходимо снимать фаски и удалять заусенцы. У косозубых цилиндрических и конических колес с криволинейными зубьями фаски обычно снимают с одной стороны, имеющей острую кромку. У прямозубых цилиндрических колес фаску снимают по всему контуру параллельно профилю зуба (рис. 295, а). Лучшей является фаска в форме запятой (рис. 295, б): ширина фаски уменьшается в направлении дна впадины зуба. Угол фаски на боковой поверхности зуба находится в пределах 30 – 35°. У колес с модулем до 4 мм ширина фаски должна быть менее 0,8 мм.

Для снятия фасок и удаления заусенцев применяют различные методы: электрохимический, тепловой, резания (фрезерование, строгание, шлифование). Методы резания по качеству обработки и форме фаски вполне отвечают предъявляемым требованиям. Станки для зубозакругления пальцевой и чашечной фрезами позволяют также снимать фаски любой формы.

В условиях массового производства чаще применяют метод обработки с непрерывным делением двумя одновитковыми многозубыми фрезами. Верхняя фреза снимает фаску на верхнем торце зуба, а нижняя – на нижнем. Фрезы имеют различные осевые шаги. Если в процессе резания зуб колеса уходит от зуба инструмента, то осевой шаг зубьев такой фрезы больше торцового шага колеса на снимаемый припуск. Если зуб колеса набегаёт на инструмент, то осевой шаг фрезы будет меньше торцового шага обрабатываемого колеса на

припуск. Каждый зуб одновитковой фрезы снимает стружку в определенной зоне профиля зуба колеса. За один оборот фрезы обрабатывают фаску на одном зубе. Способ пригоден для снятия фасок с острых кромок зубьев косозубых цилиндрических и конических колес с криволинейными зубьями, а также с обеих профилей зубьев прямозубых колес. Время обработки колеса при $z = 43$ и $m_n = 3,5$ мм составляет 13 с.

Для снятия фасок и удаления заусенцев с торцов одновитковых и блочных зубчатых колес внешнего зацепления созданы высокопроизводительные автоматы. Инструмент для одновременного снятия фаски и заусенцев с обоих торцов зубчатого венца 2 (рис. 295, в) состоит из центрального ведущего колеса 3 и боковых колес 1 и 4, прикрепленных к ведущему колесу. Все три зубчатых колеса соединены в единый блок. Во время обработки боковые колеса 1 и 4 производят резание, а ведущее колесо 3 обеспечивает снятие равномерной фаски.

Ширина зубчатого венца ведущего колеса 3 меньше ширины венца обрабатываемого колеса на двойную заданную ширину фаски (рис. 295, з). Торцовые поверхности зубьев и скосы на них, выполненные под углом снимаемой фаски, образуют режущие кромки. При радиальной подаче боковые поверхности зубьев режущих колес входят в беззазорное зацепление с обрабатываемым колесом. Во время обкатывания каждая режущая поверхность срезает тонкую стружку с торцовой поверхности зуба обрабатываемого колеса. Инструмент рассчитывают для определенных зубчатого колеса и фаски.

Образованные в процессе резания на торцах зубчатого колеса заусенцы срезают двумя подпружиненными резцами, установленными с противоположной стороны инструмента для снятия фасок. После установки и закрепления обрабатываемого колеса инструмент вводится в зацепление. При полном зацеплении инструмент начинает быстро вращаться и снимать фаску, после чего подвигаются резцы для удаления заусенцев, образованных на торцах обрабатываемого колеса.

Основное время на обработку цилиндрических колес автомобилей в зависимости от модуля и числа зубьев составляет 5 – 15 с. Штучное время на станке с автоматическим циклом работы 10 – 20 с. Стойкость инструмента (в зависимости от фаски и материала)

между переточками составляет 40 000 – 70 000 деталей; число переточек 4 – 8.

Перспективным для серийного и крупносерийного производства является метод обкатного фрезерования с использованием специальных инструментов с неперегачиваемыми твердосплавными режущими пластинами. Обработку производят при непрерывном, точно синхронизированном вращении заготовки 1 (рис. 296, а) и режущей пластины 3, закрепленной в державке 2. Это очень производительный и универсальный метод. Кроме шлицефрезерования можно производить снятие фасок у цилиндрических и конических колес (рис. 296, б), а также зубозакругление у цилиндрических колес с внешним и внутренним зацеплением (рис. 296, в).

Станки изготавливают двух типов – одно- и двухшпиндельные. Форма режущих пластин специальная, зависит от вида работ и геометрии заготовки. Частота вращения инструментального шпинделя до 5600 об/мин. Время закругления или снятия фасок у одной заготовки 10 – 15 с.

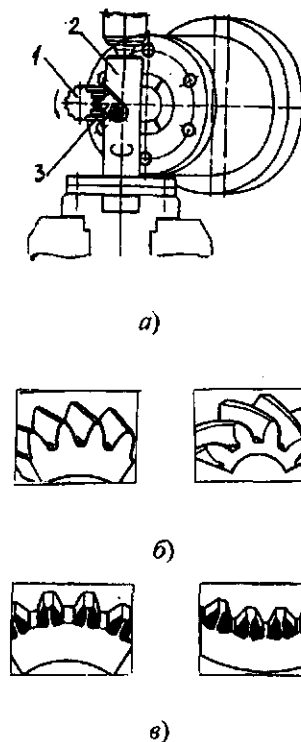


Рис. 296. Обкатное фрезерование твердосплавными режущими пластинами: а – обкатка шлицевого вала; б – снятие фасок; в – зубозакругление

Зубошевингование

Зубошевингование дисковым шевером является наиболее распространенным и экономичным методом чистовой обработки зубьев незакаленных (с твердостью до 33HRC) прямозубых и косозубых цилиндрических колес с внешним и внутренним зацеплением после зубофрезерования или зубодолбления. Шевингование применяют для повышения точности зубчатого зацепления, уменьшения шероховатости поверхности на профилях зубьев, снижения уровня шума и т.д.

Шевингованием можно повысить точность на одну-две степени. Точность шевингованных зубчатых колес достигает 6 – 8-й степени, шероховатость поверхности $Ra = 0,8 \dots 2,0$. Точность зубчатых колес в процессе шевингования зависит главным образом от их точности после зубофрезерования или зубодолбления и коэффициента перекрытия шевера с обрабатываемым колесом, который должен быть не менее 1,6.

При шевинговании можно проводить продольную и профильную модификацию зуба. При образовании продольной бочкообразности исключается опасность концентрации нагрузки на концах зубьев. Модификация эвольвентного профиля зубьев позволяет уменьшить уровень шума и повысить срок службы зубчатой передачи. Модификацию формы зуба проводят также для компенсации деформации в процессе термической обработки.

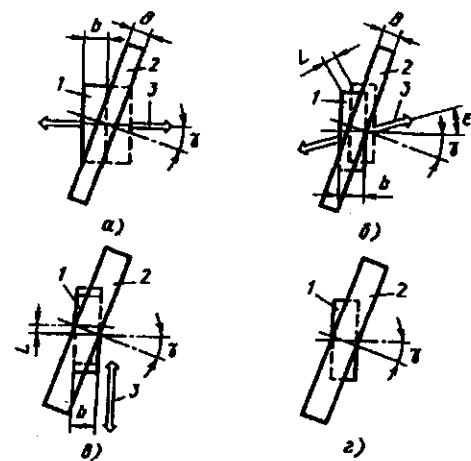


Рис. 297. Схемы методов шевингования: а – параллельное; б – диагональное; в – тангенциальное; г – врезное

Методы шевингования (параллельное, диагональное, тангенциальное, врезное и их разновидности) различаются направлением подачи, конструкцией шевера и временем обработки. В процессе шевингования шевер и обрабатываемое колесо находятся в плотном зацеплении, а оси их расположены под углом скрещивания. На профилях зубьев шевера имеются мелкие зубцы, грани которых образуют режущие кромки. В результате прижима шевера к обрабатываемому колесу с помощью подачи стола и относительного скольжения, возникающего при пересечении осей, режущие кромки зубцов шевера при перемещении по поверхности зуба колеса внедряются в нее и снимают тонкую стружку с профиля зуба.

При параллельном шевинговании обрабатываемое колесо 7 (рис. 297, а) совершает возвратно-поступательное движение 3 параллельно своей оси и в конце каждого реверсивного движения перемещается вертикально (ступенчато) к шевру. Несколько последних возвратно-поступательных ходов совершаются без радиальной подачи (калибрующие ходы).

Длина пути возвратно-поступательного движения стола

$$L = b + m,$$

где b – ширина зубчатого венца колеса; m – модуль.

Ширина шевера не зависит от ширины зубчатого венца; практически этим методом можно обрабатывать зубчатые колеса любой ширины. Использование шевера недостаточно эффективно, резание выполняет лишь среднее сечение длины зуба, поэтому в этой зоне шевер изнашивается быстрее, чем на краях. Параллельное шевингование обычно применяют в мелкосерийном производстве, а при ширине зубчатого венца свыше 50 мм – в крупносерийном.

При диагональном шевинговании обрабатываемое колесо 1 совершает возвратно-поступательное движение 3 под углом ϵ к оси заготовки (рис. 297, б), благодаря чему длина L меньше ширины зубчатого венца колеса. Ширина b зубчатого венца больше ширины B шевера; угол γ скрещивания осей и угол ϵ диагонали находятся в следующей зависимости:

$$\operatorname{tg} \epsilon = \frac{B_a \sin \gamma}{b - B_a \cos \gamma},$$

где $B_a = (0,75 \dots 0,8) B$ – активная ширина шевера.

Угол диагонали $35 - 40^\circ$ создает оптимальные условия резания и качество обрабатываемой поверхности. При угле диагонали свыше 60° необходимо применять специальный шевер со смещенными зубцами. Угол диагонали менее 25° не рекомендуется. Точка скрещивания осей в процессе резания перемещается по всей ширине шевера, что обеспечивает равномерное изнашивание и повышенную стойкость шевера по сравнению с шевером, применяемым при параллельном шевинговании.

Другим преимуществом диагонального шевингования по сравнению с параллельным является сокращение длины подачи стола, что позволяет повысить производительность станка до 50 %. Длина подачи стола

$$L = \frac{b \sin \gamma}{\sin(\epsilon + \gamma)} + m.$$

Увеличение расчетного пути подачи стола на один модуль необходимо для врезания шевера. Так как ширина шевера зависит от ширины зубчатого венца колеса, то диагональное шевингование экономически выгодно применять для колес с шириной венца не более 50 мм. Диагональное шевингование широко применяют в серийном и крупносерийном производствах.

При тангенциальном (касательном) шевинговании продольная подача отсутствует, имеется лишь подача 3 на глубину перпендикулярно оси колеса 1 (рис. 297, в). Ширина шевера 2 больше, чем ширина зубчатого венца колеса. Чтобы заменить продольную подачу при снятии стружки, режущие зубцы шевера смещают относительно торца шевера по спирали. Тангенциальное шевингование обычно выполняют за один двойной ход при постоянном межосевом расстоянии. Длина подачи стола $L = btgy$.

Тангенциальный метод шевингования более производителен, чем перечисленные ранее; параметр шероховатости поверхности несколько выше. Этот метод обычно применяют для шевингования узких зубчатых венцов и блочных колес с закрытыми венцами.

При врезном шевинговании подача вдоль оси колеса 1 отсутствует; шевер 2 перемещается к заготовке радиально (рис. 297, г). Ширина шевера больше ширины зубчатого венца колеса. Всю поверхность зуба колеса обрабатывают одновременно, для чего зубья шевера в продольном направлении имеют вогнутость. Ре-

жущие зубцы расположены по винтовой линии. Этот метод применяют в массовом производстве для шевингования зубчатых колес с шириной венца до 40 мм и модулем до 5 мм. Производительность в 2 – 4 раза выше, чем при диагональном шевинговании.

При шевинговании с черновой и чистой подачами первые несколько ходов стола с помощью специального приспособления, установленного на столе, совершаются при подаче, в 1,5 – 2 раза большей (черновая подача), чем на последующих ходах (чистовая подача). При черновой подаче частота вращения меньше, чем при чистовой. Вертикальная подача имеет наибольшее значение при первом ходе; затем ее постепенно уменьшают. Шевингование с черновой и чистой подачами позволяет сократить время обработки на 25 % и увеличить период стойкости шевера приблизительно на 25 %.

Этот вид обработки применяют при параллельном и диагональном шевинговании в массовом и единичном производстве. Наибольшая эффективность достигается после зубофрезерования с большими подачами (зубофрезерование за два рабочих хода) и при обработке зубчатых колес с широкими венцами.

Зубчатые колеса внутреннего зацепления шевингуют на специальных станках или на шевинговальных станках для колес с внешним зацеплением, имеющих приспособление для внутреннего шевингования. Колеса с шириной зубчатого венца свыше 20 мм обрабатывают методом параллельного шевингования. Цикл работы станка аналогичен циклу шевингования колес с внешним зацеплением. Угол скрещивания осей – около 3° . Зубья шевера имеют небольшую бочкообразность, чтобы избежать интерференции с зубьями обрабатываемого колеса. Зубчатые колеса, имеющие ширину венца менее 20 мм, или со ступицей, ограничивающей возвратно-поступательное движение, обрабатывают врезным шевингованием. Шевер шире зубчатого венца колеса. Режущие зубцы расположены по спирали. В продольном направлении зубья шевера имеют вогнутость.

Угол скрещивания осей шевера и колеса определяется как сумма углов наклона линий зуба колеса и шевера при одинаковых их направлениях и как разность при различных направлениях.

Для обработки сталей принимают оптимальный угол скрещивания $\gamma = 10 \dots 15^\circ$, а чугуна и пластмассы – до $\gamma = 20^\circ$. При шевин-

говании колес внутреннего зацепления угол скрещивания уменьшают до $\gamma = 3^\circ$. С возрастанием угла скрещивания осей съем стружки увеличивается, но уменьшается зона контакта между зубьями шевра и обрабатываемого колеса, что снижает направляющее действие шевра и точность обработки. И, наоборот, при уменьшении угла скрещивания зона контакта и направляющее действие шевра увеличиваются, условия резания становятся хуже. При нулевом угле скрещивания резания практически не происходит.

Бочкообразная форма придается зубьям для предотвращения концентрации нагрузки на их концах. Выпуклость зависит от условий работы передачи и обычно составляет 0,0075 – 0,015 мм на одну сторону на 25 мм длины зуба.

При параллельном и диагональном шевинговании с углом диагонали до 60° бочкообразная форма зуба выполняется на шевинговальной станке путем качания стола во время его возвратно-поступательного движения. Качание стола вызывает более глубокое врезание зубьев шевра на концах зубьев колеса, чем в середине венца, постепенно уменьшая толщину зуба от середины к торцам. При диагональном с углом диагонали $60 - 90^\circ$, тангенциальном и врезном шевинговании бочкообразная форма зуба выполняется шевром, у которого зубья в продольном направлении имеют вогнутость.

При шевинговании рекомендуются следующие припуски по толщине зуба:

Модуль, мм	1	2	3	4
Припуск, мм	0,05	0,06	0,07	0,08
Модуль, мм	5	6	7	8
Припуск, мм	0,09	0,10	0,11	0,12

Чрезмерный припуск на шевингование снижает точность, стойкость инструмента и увеличивает время шевингования. Когда зубофрезерование производят на повышенных подачах, например, методом за два рабочих хода, припуск несколько увеличивают. Шевингование с уменьшенным припуском возможно при высокой точности обработки зубчатых колес до шевингования и более строгом контроле качества.

Число ходов стола зависит от требуемого качества обработки и определяется как частное от деления значения припуска в радиальном направлении на радиальную подачу. Дополни-

тельно осуществляют два – четыре калибрующих хода без радиальной подачи. Практически суммарное число ходов стола шесть – десять. При большем числе ходов стойкость шевра уменьшается. Припуск в радиальном направлении при измерении в плотном зацеплении с измерительным колесом

$$H = \frac{\Delta h}{2 \operatorname{tg} \alpha},$$

где Δh – припуск по толщине зуба; α – угол профиля зуба.

Окружную скорость резания шевра выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, его твердости, требуемого параметра шероховатости поверхности зубьев и размеров колеса. Наибольшая стойкость шевров из быстрорежущей стали достигается при скорости резания $v_0 = 120$ м/мин. Частота вращения шевра (об/мин)

$$n_{ш} = \frac{1000v_0}{z_{ш} \pi m},$$

Частота вращения обрабатываемого колеса (об/мин)

$$n = n_{ш} \frac{z_{ш}}{z},$$

где $z_{ш}$ и z – соответственно число зубьев шевра и обрабатываемого колеса.

Продольная подача $s_{пр} = 0,05 \dots 0,5$ мм/об. Хорошие результаты достигаются при $s_{пр} = 0,25$ мм/об. Минутная подача стола (мм/мин)

$$s_m = 0,25n_{ш} \frac{z_{ш}}{z}.$$

С увеличением продольной подачи параметр шероховатости поверхности повышается и точность зубьев снижается.

При параллельном и диагональном шевинговании радиальная подача $s_p = 0,02 \dots 0,06$ мм на ход стола. Для чистовой обработки принимают меньшие подачи, а для черновой – большие. Шевингование производят со встречной и попутной подачами. При обработке материала с хорошей обрабатываемостью целесообразно применять встречное шевингование, которое осуществляется в направлении от обработанной поверхности к необработанной.

Зубья колес перед шевингованием следуют обрабатывать модифицированными червячными фрезами или долбьями.

Утолщения – усика на головке зуба инструмента служат для подрезки профиля в ножке зуба обрабатываемого колеса, с тем чтобы вершина зуба шевра свободно повертывалась во впадине зуба.

В ножке зуба инструмента делают фланкированный участок для снятия небольших фасок (0,3 – 0,6 мм) на головке зуба колеса. Это препятствует образованию заусенцев в процессе шевингования и заборин на вершине зуба при транспортировании. Чтобы не сокращать продолжительность зацепления сопряженных колес и колеса с шевром, фаски на вершине зубьев прямозубых цилиндрических колес делать не следует.

При шевинговании хорошо устраняются погрешности профиля (эвольвенты) зуба и в меньшей степени – погрешности в направлении зуба, особенно на колесах с широким зубчатым венцом, а также радиальное биение на колесах-дисках, которые обрабатывают от отверстия. Чтобы установить деталь при зубонарезании и шевинговании с минимальным зазором, важно обработать с высокой точностью отверстие и посадочные места оправок или применить разжимные оправки для беззазорного центрирования.

Радиальное биение вызывает накопленную погрешность шагов и поэтому должно быть минимальным. У колес-валов, обрабатываемых в центрах, радиальное биение меньше. На точность шевингования влияет точность станка и оснастки. Биение наружного диаметра инструментального шпинделя не должно превышать 0,005 – 0,01 мм, его опорного торца – 0,01 – 0,05 мм, торца шевра в сборе – 0,010 – 0,015 мм, центров задней и передней бабок – 0,005 – 0,01 мм. Точность изготовления и биение центрирующей шейки и опорного торца оправки должны составлять 0,005 – 0,01 мм.

В табл. 71 приведены средние допустимые отклонения зубчатых колес автомобилей, которые могут быть увеличены или уменьшены в зависимости от требований, предъявляемых к зубчатым передачам.

71. Точность (мм) зубчатых колес при зубофрезеровании и шевинговании

Проверяемый параметр	Зубофрезерование перед шевингование	Шевингование
Колебание измерительного межосевого расстояния: за оборот колеса на одном зубе	0,04 – 0,08 0,01 – 0,04	0,015 – 0,04 0,005 – 0,02
Разность окружных шагов	0,02 – 0,04	0,005 – 0,025
Погрешность направления зуба на длине 25 мм	0,02 – 0,04	0,01 – 0,02
Погрешность профиля зуба	0,02 – 0,04	0,007 – 0,015
Радиальное биение	0,04 – 0,08	0,03 – 0,05

Холодное накатывание зубьев

Наибольшее распространение получили два метода – прикатывание предварительно обработанных зубьев и накатывание зубьев из сплошного материала вращающимися роликами.

Холодное прикатывание зубьев, так же как и шевингование, предназначено для чистовой обработки зубьев цилиндрических колес внешнего зацепления с модулем до 4 мм и диаметром до 150 мм. В отличие от шевингования, окончательная обработка профиля зубьев осуществляется без снятия стружки путем пластического деформирования металла в холодном состоянии.

В процессе прикатывания, обычно двумя накатниками, выполненными в виде зубчатых колес, обкатывают заготовку с предварительно обработанными зубьями, расположенными на параллельных осях. Вращающийся накатник, перемещаясь к заготовке, при достижении беззазорного зацепления начинает процесс прикатки под определенной силой. Расстояние между осями накатника и детали постепенно уменьшается до получения требуемого размера зубьев колеса.

Холодное прикатывание по сравнению с шевингованием позволяет повысить производительность в 4 – 5 раз, получить шероховатость поверхности зубьев Ra 0,32, снизить уровень шума на 2 ... 3 дБ, повысить стабильность размеров зубчатого зацепления.

Зубья прикатанных колес во время термообработки вследствие более однородной структуры поверхностных слоев деформируются меньше, чем шевингованные. Точность зубчатых колес перед прикатыванием должна быть выше, а припуск на сторону зуба меньше, чем перед шевингованием, наполовину.

Холодным накатыванием из круглой металлической заготовки за одну рабочую операцию получают точные зубчатые колеса, шлицевые профили и другие детали с модулем 0,8 – 6 мм и диаметром 10 – 370 мм. Материал выдавливается в радиальном направлении от ножки к головке зуба. Внешний диаметр заготовки меньше диаметра вершин зубьев готовой детали.

В процессе накатывания две накатные головки 1 (рис. 298, а) с планетарно вращающимися (0 – 2250 об/мин) навстречу друг другу роликами 2 одновременно в течение коротких промежутков времени вступают в контакт с вращающейся деталью 3. Каждый следующий контакт инструмента с металлом происходит в новой впадине зубьев. Продольная подача (50 – 300 мм/мин) обеспечивает равномерное распространение процесса по всей длине детали.

Этим методом могут быть изготовлены зубчатые колеса с четным и нечетным числом зубьев, с любой формой профиля (эвольвента,

прямая, окружность) из стали с коэффициентом удлинения свыше 9 % и пределом прочности при растяжении менее 1200 Н/мм². Заготовки под накатывание обычно обрабатывают на токарных станках с допусками по диаметру 0,06 мм и радиальному биению 0,04 мм.

Для устранения утечки металла (рис. 298, б) на торце при цилиндрической форме заготовки 5 производят обточку заготовки с коррекцией 4. Холодное накатывание можно производить методами непрерывного и единичного деления с попутной и встречной подачей. Холодным накатыванием получают зубчатые колеса 6 – 8 степени точности (ГОСТ 1643 – 81) и шероховатостью боковых поверхностей зубьев Rz 1,0.

Зубохонингование

Зубохонингование применяют для чистой отделки зубьев закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацепления. Хонингование зубьев осуществляют на специальных станках.

Обработку можно производить двумя методами – зубчатыми хонами с внешним и внутренним зацеплением. При хонинговании зубчатым хонем 1 с внешним зацеплением (рис. 299, а) закаленное зубчатое колесо 2 вращается в плотном зацеплении при угле скрещивания осей $\gamma = 10 - 15^\circ$. Поджим деталей к хону осуществляется пружиной с силой 150 – 450 Н. Зубчатое колесо, кроме вращения, совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси. Направление вращения инструмента меняется при каждом ходе стол.

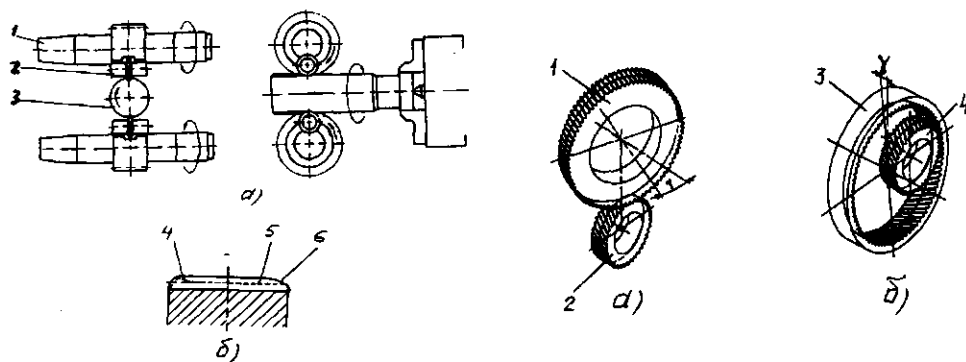


Рис. 299. Зубохонингование цилиндрических колес: а – хонем с внешним зацеплением; б – хонем с внутренним зацеплением

Хонингование позволяет уменьшить шероховатость поверхности до Ra 0,32, удалить забоины и заусенцы размером до 0,25 мм, снизить уровень звукового давления на 2 – 4 дБ и повысить долговечность зубчатой передачи. В процессе хонингования погрешности в элементах зацепления устраняются незначительно при съеме металла порядка 0,01 – 0,03 мм на толщину зуба. Припуск под хонингование не оставляют. Частота вращения хона 180 – 200 об/мин, подача стола 180 – 210 мм/мин, число ходов стола четыре – шесть. Время хонингования зубчатого колеса автомобиля 30 – 60 с. Срок службы монокорундовых хонов при обработке зубчатых колес коробки передач автомобиля – 1500 – 3000 деталей.

Зубчатые колеса, имеющие забоины и заусенцы перед хонингованием, целесообразно обкатывать на специальном станке или приспособлении между тремя накатниками под нагрузкой для устранения погрешностей профиля зубьев.

Хонингование зубчатым хонем с внутренним зацеплением является более современным и производительным методом. Большой коэффициент перекрытия при зацеплении хона 3 (рис. 299, б) с обрабатываемым колесом 4 способствует исправлению погрешностей зацепления и повышению точности обработки. Прочность зубьев хона с внутренними зубьями примерно на 60 % выше, чем хона с внешними зубьями, что позволяет более эффективно производить обработку со снятием значительных припусков (табл. 72). Достигается шероховатость поверхности зубьев Ra 0,1 ... 0,2.

72. Припуски и машинное время при зубохонинговании хонами с внутренним зацеплением

Обработка зубьев перед хонингованием	Припуск на сторону зуба, мм	Машинное время хонингования, мин
Фрезерование, закалка, шлифование	0,003 – 0,005	0,5 – 0,6
Фрезерование, шевингование, закалка	0,015 – 0,020	0,8 – 1,0
Фрезерование, закалка	0,025 – 0,030	1,0 – 1,2

Зубошлифование

Современные условия эксплуатации требуют от зубчатых передач повышения крутящих моментов, снижения массы и размеров, плавности и бесшумности вращения, увеличения прочности и долговечности работы. Зубошлифование, наиболее перспективный метод финишной обработки рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес, способствует выполнению этих условий. По сравнению с другими методами шлифование позволяет не только снизить погрешности зубьев, полученных на предварительных операциях, но и устранить деформации после термической обработки.

Зубошлифованием достигают 3 – 6 степень точности по ГОСТ 1643-81 и шероховатость поверхности зубьев Ra 0,2 ... 1,0. Наибольшее распространение в промышленности получило обкатное и профильное зубошлифование.

Методы профильного шлифования разработаны исключительно для крупносерийного и массового производства. Контакт шлифовального круга и заготовки по линии позволяет существенно увеличить съем металла без повышения термической нагрузки по сравнению с обкатным шлифованием, где контакт круга и заготовки происходит в точке. Профильное шлифование обеспечивает 5 – 6 степень точности. При профильном шлифовании с прерывистым делением (5А841, Хофлер, Капп) круг 1 (рис. 300, а), профиль которого полностью соответствует профилю зуба 2, за один или несколько проходов обрабатывает впадину зубьев.

Шлифование производят абразивными и металлическими кругами с однослойным покрытием кубическим нитридом бора. Повышение производительности достигают при шлифовании зубчатых колес пакетом по 3 – 6 заготовок. Повышение погрешности соседних шагов зубьев и увеличенная шероховатость являются недостатками этого метода.

Профильное шлифование с непрерывным делением (Рейсхауэр) характеризуется чрезвычайно высокой производительностью. В качестве инструмента используют абразивный червячный круг 3 (рис. 300, б) с наружным профилем глобоидной формы, который охватывает сектор зубьев колеса 4. По всей ширине зацепления между боковыми сторонами зубьев заготовки и червячным кругом имеет место

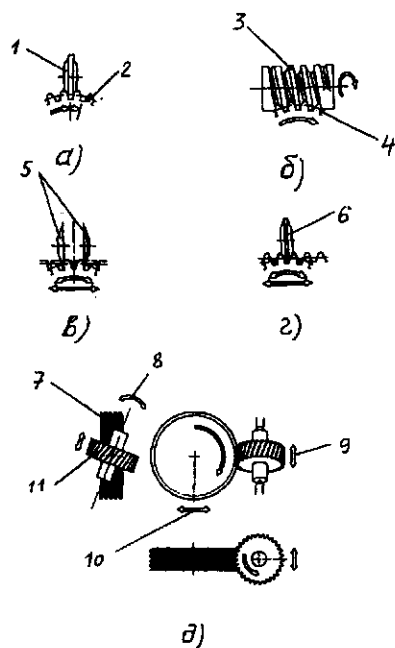


Рис. 300. Методы зубошлифования

линейный контакт. Периодическую правку круга осуществляют алмазным колесом, геометрия зубьев которого полностью соответствует геометрии зубьев шлифуемого колеса.

Машинное время шлифования зубьев цилиндрического колеса ($m = 2,0$ мм; $z = 39$; $\alpha = 15^\circ$; $\beta = 27^\circ$; $b = 27$ мм; припуск на сторону зуба $0,08$ мм) двухзаходным червячным кругом составляет $48,6$ с.

С целью повышения плавности зацепления и снижения растягивающих напряжений после профильного зубошлифования в автомобильной промышленности широко применяют зубохонингование. Обкатное зубошлифование основано на обкатке шлифовального инструмента, имеющего контур производящей зубчатой рейки, и обрабатываемого зубчатого колеса.

Обкатное шлифование с периодическим делением (МААГ), которые производят двумя тарельчатыми кругами 5 (рис. 300, в) обеспечивает высокую точность зубьев (3 – 5 степени) в особенности по профилю и направлению. Низкая производительность метода и специальные требования к предварительной обработке зубьев обусловили его применение для эталонных, мерительных и других высокоточных колес.

Обкатное шлифование с периодическим делением шлифовальным кругом 6 трапецидальной формы (рис. 300, г) можно производить в одно- и двухпрофильном зацеплении с точностью 4 – 6 степени. Вследствие простоты инструмента и технологической оснастки этот метод является достаточно гибким и универсальным. Из-за потерь времени при делении метод экономично использовать для колес с малым числом зубьев (до $z = 17$), а также для колес с $m > 10$ мм, время обработки которых не имеет существенного значения.

Непрерывное обкатное шлифование (5В833, Рейсхауэр) производят одно- и двухзаходными абразивными червячными шлифовальными кругами 7 (рис. 300, д), установленными под углом δ к заготовке 11. Во время шлифования вращающийся червячный круг, находясь в беззазорном зацеплении с зубьями заготовки, формирует геометрию и размеры эвольвентных зубьев за счет радиальной 10 и осевой 9 подачи, а также большого числа обгибающих резцов.

Основным преимуществом этого метода является высокая производительность, которая достигается благодаря непрерывности процесса и одновременной обработкой обоих профилей зубьев. Современные станки с электронным управлением благодаря управляемым радиальной X и осевой Z подачам, а также тангенциального смещения Y заготовки вдоль круга позволяют реализовать *шифтинговое (глубинное) шлифование* (рис. 301). Шифтинговое шлифование позволяет за один (припуск $0,1 - 0,12$ мм на сторону зуба) или за два хода снять весь черновой припуск, а при последующем числом ходе (припуск $0,025 - 0,035$ мм) обеспечивается необходимая финишная обработка. Процесс чернового шлифования осуществляют при непрерывном тангенциальном смещении заготовки, обеспечивающим постоянный ввод в резание неизношенных участков шлифовального круга. Дополнительное смещение l в конце чернового хода обеспечивает благоприятные условия шлифования при чистовом ходе и гарантирует стабильную и высокую точность.

Время шлифования зубчатого колеса ($m = 2,5$ мм; $z = 63$; $\alpha = 20^\circ$; $\beta = 28^\circ$; $b = 24$ мм; припуск на сторону зуба $0,15$ мм) шифтинговым методом $1,73$ мин, время правки на одну заготовку (между двумя правками шлифуют 25 заготовок) – $0,15$ мм, штучное время – $2,13$ мин.

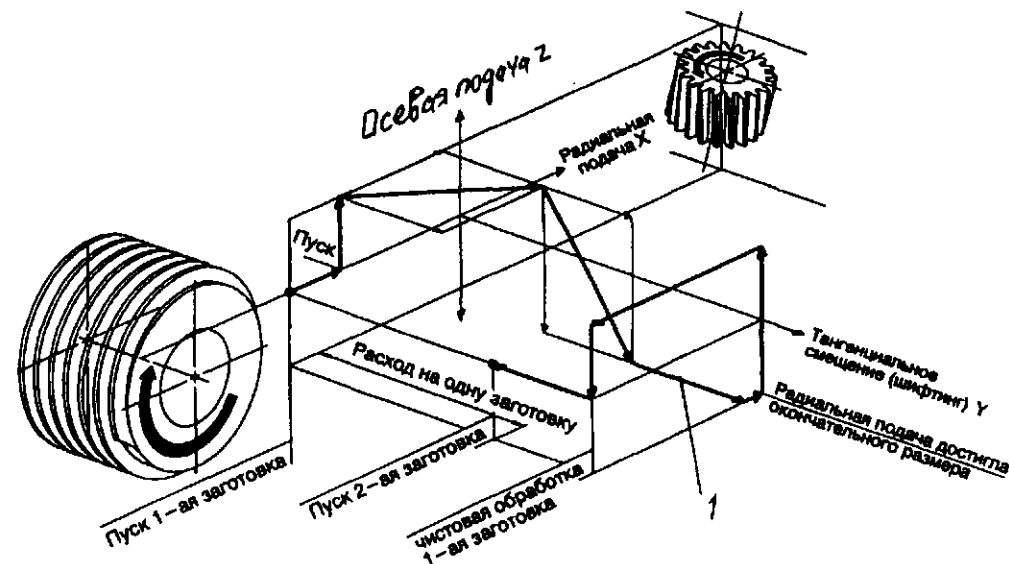


Рис. 301. Шифтинговое зубошлифование

При непрерывном обкатном шлифовании абразивный круг является гибким носителем информации шлифуемых зубчатых колес. Применение двухзаходных кругов по сравнению с однозаходными позволяет уменьшить время шлифования на 30 – 40 %. Этот метод обеспечивает 4 – 6 степень точности зубьев, причем по показателям кинематической точности (накопленная погрешность шага, радиальное биение) и плавности хода (разность соседних окружных шагов, среднее отклонение шага), точность, обусловленная непрерывным методом шлифования, значительно выше (2 – 4 степени).

Нарезание конических зубчатых и червячных колес

Нарезание конических колес с прямыми зубьями. Наиболее распространены три метода нарезания зубьев: зубострогание, зубофрезерование и зубопротягивание.

Зубофрезерование дисковыми модульными фрезами осуществляют методом врезания с прерывистым делением. Изготавливают зубчатые колеса невысокой точности (9 – 10-й степени); его в основном применяют для чернового нарезания зубьев в условиях серийного производства. Обработку проводят на зубофрезер-

ном станке ЕЗ-40 ($d_c = 320$ мм; $m_n = 8$ мм) с двухпозиционным поворотным столом. Стандартные модульные фрезы не обеспечивают равномерного припуска под чистовую обработку, поэтому, когда необходим минимальный припуск, применяют специальные фрезы, спроектированные только для данного колеса. Время нарезания одной впадины зубьев $5 - 20$ с. Скорость резания при обработке быстрорежущими фрезами чугунных колес $20 - 25$ м/мин, стальных $25 - 30$ м/мин.

Черновое нарезание зубьев модульными фрезами можно проводить в делительной головке на фрезерном станке. Номер фрезы определяют по табл. 73 в зависимости от приведенного числа зубьев $z_1 = z / \cos \delta$.

73. Дисковые модульные фрезы для нарезания зубьев конических колес

Приведенное число зубьев	Номер фрезы	Приведенное число зубьев	Номер фрезы
12 – 13	1	26 – 34	5
14 – 16	2	35 – 54	6
17 – 20	3	55 – 134	7
21 – 25	4	135 – зубчатая рейка	8

Зубострогание является наиболее простым и менее производительным методом по сравнению с другими методами нарезания прямозубых конических колес. Благодаря универсальности и несложной конструкции режущего инструмента он широко распространен в единичном и серийном производстве. Обработку зубьев проводят на зубострогальных станках методом обкатки с прерывистым делением. В основу процесса нарезания зубьев на этих станках положено станочное зацепление обрабатываемого колеса 3 (рис. 302) с воображаемым производящим колесом 4, роль зубьев которого выполняют зубострогальные резцы 1 и 2.

При обработке зубострогальные резцы, установленные в резцедержателях ползунов станка, получают возвратно-поступательное движение, необходимое для резания. Совместно с обрабатываемым колесом резцам сообщают также движение обкатки. В результате последовательных огибающих резов прямолинейные режущие кромки резцов формируют октоидный профиль зубьев обрабатываемого колеса.

Конические колеса с модулем до 4 мм нарезают из целой заготовки за одну операцию методом обкатки, а с модулем свыше 4 мм за две операции – черновую и чистовую. Черновое нарезание зубьев можно выполнять методами обкатки, врезания или комбинированным, включающим врезание и обкатку.

Черновое нарезание методом врезания является наиболее простым и экономичным. При этом методе движение обкатки отсутствует, подачу в направлении режущего инструмента совершает стол с заготовкой. Черновое нарезание осуществляют обычно на 0,1–

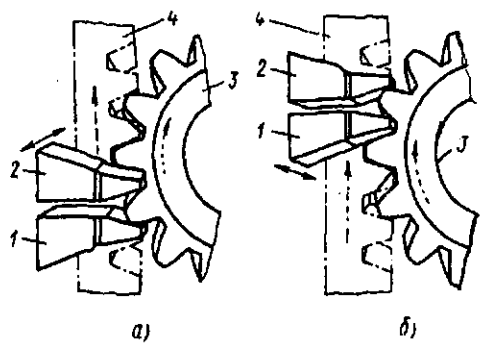


Рис. 302. Схемы расположения зубострогальных резцов: а – в начале резания; б – в конце резания

0,3 мм глубже теоретической высоты зуба, что позволяет устранить возможность касания вершинами чистовых резцов дна впадины зуба и тем самым улучшить их резание. Припуск на чистовую обработку зубьев определяют в зависимости от внешнего окружного модуля (табл. 74).

74. Рекомендуемые припуски под чистовое зубонарезание конических колес

Окружной модуль, мм	Припуск на обе стороны зуба, мм	Окружной модуль, мм	Припуск на обе стороны зуба, мм
От 2 до 3	0,5	Св. 12 до 16	1,4
Св. 3 " 5	0,7	" 16 " 25	1,6
" 5 " 7	0,8	" 25 " 30	1,8
" 7 " 10	1,0	Св. 30	2,0
" 10 " 12	1,2		

При способе одинарного деления методом врезания стандартные резцы 1 и 2 обрабатывают противоположные стороны одного зуба (рис. 303, а). Нагрузка на резцы во время резания различная. Нижний резец 2 производит обработку в сплошном металле; он нагружен значительно больше верхнего резца 1, который удаляет оставшийся во впадине металл 3. Способ одинарного деления применяют для колес с большой шириной зубчатого венца в единичном и мелкосерийном производстве.

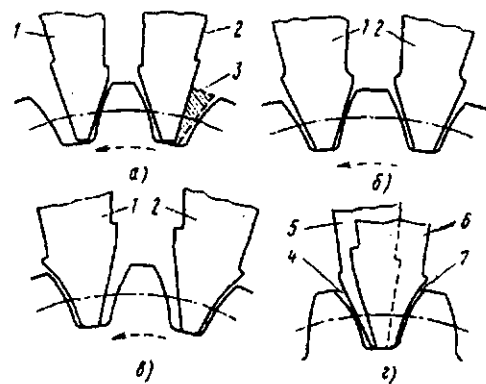


Рис. 303. Схемы чернового зубострогания

При способе двойного деления верхний 1 и нижний 2 резцы одновременно обрабатывают две соседние впадины зубьев методом врезания (рис. 303, б). Деление производят через два зуба. Резцы имеют трапециевидный профиль, их проектируют отдельно для каждого колеса. Этот высокопроизводительный способ зубострогания применяют в серийном производстве для черновой обработки конических колес с числом зубьев более 24 и шириной зубчатого венца $b \leq 0,25R_e$, где R_e – внешнее конусное расстояние.

Черновое нарезание зубьев с модулем до 6 мм и малым числом зубьев, профиль которых имеет значительную кривизну, целесообразно выполнять фасонными резцами (рис. 303, в). Форма режущей кромки резцов приближена к профилю зубьев обрабатываемого колеса на его внешнем торце. Припуск 7 (рис. 303, г) по высоте профиля зуба после чернового зубострогания фасонными резцами 6 распределен значительно равномернее припуска 4, оставляемого после обработки стандартными резцами 5. Это позволяет повысить точность обработки, режимы резания и период стойкости резцов при чистовом зубострогании.

Чистовое нарезание осуществляют методом обкатки чистовыми зубострогальными резцами при согласованном вращательном движении люльки и шпинделя бабки изделия. По окончании обкатки заготовка выходит из зацепления с инструментом и вместе с люлькой возвращается в исходное положение: происходит поворот заготовки для обработки следующего зуба.

Продольная бочкообразность зубьев при чистовом нарезании на зуборезных станках может быть получена двумя способами. При первом способе на станке устанавливают механизм для перемещения резцов по криволинейным траекториям. Движение ползунов с резцами регулируют таким образом, чтобы их криволинейные траектории соответствовали кривизне бочкообразного зуба. По второму способу бочкообразность зубьев получают смещением вершины делительного конуса обрабатываемого колеса относительно оси люльки с помощью наладочных установок станка.

Для обработки прямозубых конических колес применяют зубострогальные станки моделей: 5236П ($d_e = 125$ мм; $m_e = 2,5$ мм),

5С276П ($d_e = 500$ мм; $m_e = 10$ мм), 5С286П ($d_e = 800$ мм; $m_e = 16$ мм). Эти станки универсальны; на них можно выполнять черновое нарезание методом врезания и чистовое – методом обкатки. Зубострогальные станки снабжают механизмом для автоматического выполнения двух операций – черновой и чистовой. На зубострогальных станках нормальной точности обрабатывают колеса до 7–8-й степени точности, а на станках повышенной точности – до 6–7-й степени.

Зубофрезерование характеризуется более высокой производительностью по сравнению с зубостроганием и применяется в основном в серийном производстве. Обработку осуществляют двумя дисковыми фрезами 1 и 2 (рис. 304, а), расположенными в одной впадине зубьев обрабатываемого колеса 4. Фрезы наклонены друг к другу таким образом, что резцы 5 (рис. 304, в) одной из них входят в промежутки между резцами 6 другой. Резцы каждой фрезы обрабатывают одну сторону зуба колеса. Во время обработки фрезам сообщают вращение, а также движение обкатки совместно с обрабатываемым колесом. В станочном зацеплении резцы дисковых фрез воспроизводят один зуб производящего колеса 3 (см. рис. 304, а), и при обкатке, занимая последовательные положения от начала резания до его конца, они имитируют зацепление обрабатываемого и производящего колес.

Конические колеса, обработанные этим методом, имеют октоидный профиль и взаимозаменяемы с колесами, полученными методами строгания. Диаметры дисковых фрез достаточно большие, что позволяет выполнять обработку зуба без продольного перемещения инструмента. Дно впадины зуба имеет незначительную вогнутость, однако это не снижает эксплуатационные характеристики прямозубой конической передачи.

Продольная бочкообразность зубьев обеспечивается конструкцией режущего инструмента. Режущие кромки располагают под углом к оси вращения фрезы. В зависимости от бочкообразности угол поднутрения равен 1,5–5°. При вращении режущие кромки обеих фрез описывают поверхность конуса 7 (рис. 304, б) и, перемещаясь по криволинейным траекториям 8 и 9 (рис. 304, в), срезают металл на концах зуба больше, чем в середине.

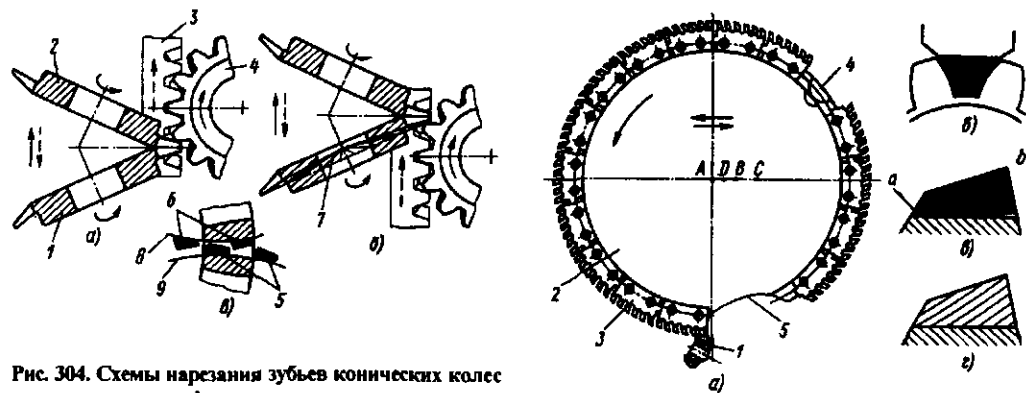


Рис. 304. Схемы нарезания зубьев конических колес двумя дисковыми фрезами

Отечественная промышленность выпускает станки: 5С237 ($d_e = 125$ мм; $m_{te} = 2,5$ мм), 5С267П ($d_e = 320$ мм; $m_{te} = 8$ мм) и 5С277П ($d_e = 500$ мм; $m_{te} = 12$ мм), работающие двумя дисковыми фрезами.

На этих станках можно осуществлять зубонарезание конических колес методами врезания, обкатки и комбинированным. Достижимая точность – 7–8-я степень.

Прямозубые конические колеса с модулем свыше 5 мм обрабатывают за две операции – черновую и чистовую. Черновую обработку производят методом врезания, а чистовую методом обкатки. Колеса с модулем до 5 мм обрабатывают за одну операцию из целой заготовки методом обкатки или комбинированным: сначала врезание, затем обкатка.

Круговое протягивание применяют для обработки конических колес дифференциала легковых и грузовых автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин и др. Профиль зубьев колеса круговой. Колеса, полученные этим методом, незаменимы с колесами, нарезанными зубостроганием и зубофрезерованием. Форма заготовок колес для кругового протягивания – специальная. При круговом протягивании заготовка 1 неподвижна (рис. 305, а), а режущий инструмент вращается с постоянной угловой скоростью и совершает возвратно-поступательное движение параллельно образующей конуса впадин конического колеса.

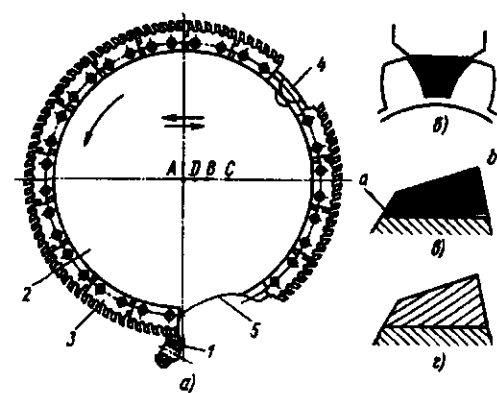


Рис. 305. Схема нарезания зубьев прямозубых конических колес методом кругового протягивания: а – направление линий резов; б – в поперечном сечении зуба при черновом зубонарезании; в – по длине зуба при полустроговом зубонарезании; г – по длине зуба при чистовом зубонарезании

За один оборот инструмента полностью обрабатывается впадина зуба колеса. Инструментом служит резцовая головка-протяжка 2 с номинальными диаметрами 533 и 635 мм с радиально расположенными резцами, объединенными в блоки 3. Нарезание зубьев из целых заготовок выполняют за три этапа.

1. Вращающаяся протяжка на медленной подаче перемещается из точки А в точку В вдоль образующей внутреннего конуса колеса. За это время протяжка поворачивается на четыре блока. Резцы протяжки врезаются в заготовку на небольшую глубину.

2. При достижении точки В продольная подача инструмента прекращается, резание происходит вследствие радиального подъема резцов шести следующих блоков до достижения полной глубины впадины зуба. Затем резцовая головка-протяжка перемещается из точки В в точку С. На этом участке резцы одиннадцатого блока снимают припуск, расположенный справа от линии аb.

3. Во время прохождения участка 4 протяжки мимо заготовки происходит снятие фаски (вращающимся резцом) с боковых сторон и дна впадины зуба на внешнем торце. При перемещении суппорта в обратном направлении из точки С в точку D осуществляется чистовое резание четырьмя последними блоками. Каждый чистовой резец профилирует определен-

ный участок на боковой поверхности зуба. Деление заготовки на зуб производится при перемещении круговой протяжки из точки D в точку А, когда участок 5 проходит мимо заготовки.

Зубья конических колес обрабатывают методом кругового протягивания на зубопроотяжных станках 5245 ($d_e = 250$ мм; $m_{te} = 5$ мм) резцовыми головками-протяжками с номинальным диаметром 533 мм и 5С268 ($d_e = 320$ мм; $m_{te} = 8$ мм) протяжками с номинальным диаметром 635 мм. Станок 5С268 применяют для чистовой обработки зубьев. Технические характеристики станка 5С269 такие же, как и у станка 5С268, но он не имеет продольного перемещения в процессе резания и применяется только для чернового нарезания. Станки 5С268 и 5С269 могут работать как отдельно, так и встроенными в автоматическую линию из двух станков. Точность прямозубых конических колес при нарезании методом кругового протягивания – 8–9-я степень.

Прямозубые конические колеса с внешним окружным модулем до 5 мм нарезают за одну операцию из целой заготовки комбинированной резцовой головкой-протяжкой, а с модулем свыше 5 мм – за две операции (черновую и чистовую) с использованием соответственно черновой и чистовой протяжек.

Нарезание конических колес с круговыми зубьями. Нарезание зубьев гипондных и конических колес производят методами: обкатки, врезания, комбинированным, включающим врезание и обкатку, и копирование.

При методе обкатки вращающаяся резцовая головка 1 (рис. 306, а) подводится к заготовке 2, и начинается совместная обкатка при качании люльки вверх. В процессе обкатки резцы, занимая последовательные положения, формируют профиль и продольную кривизну зубьев по дуге окружности. В конце резания заготовка отводится от инструмента, люлька с резцовой головкой возвращается в исходное положение, а заготовка поворачивается на один зуб.

Черновое нарезание зубьев методом обкатки применяют для обработки шестерен и колес с углом делительного конуса менее 68°. Зубья нарезают двусторонними резцовыми головками на зуборезных станках: 5П23 ($d_e = 125$ мм; $m_{te} = 2,5$ мм), 5С270П ($d_e = 500$ мм; $m_{te} = 8$ мм), 5С280П ($d_e = 800$ мм; $m_{te} = 16$ мм), 5А284 ($d_e = 1600$ мм; $m_{te} = 30$ мм).

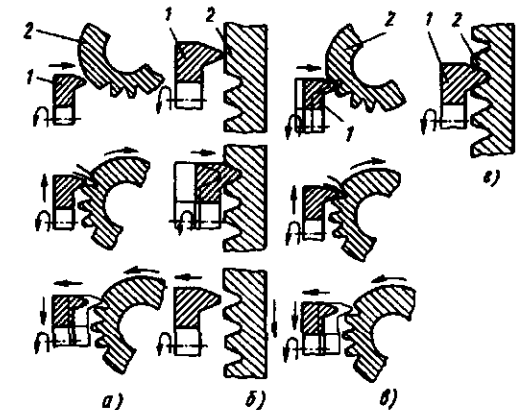


Рис. 306. Схемы методов нарезания зубьев: а – обкатка; б – врезание; в – комбинированный; z – копирование

Зуборезный станок 5С273 ($d_e = 500$ мм; $m_{te} = 12$ мм) имеет механизм двойной обкатки, который позволяет производить черновую обработку зубьев шестерни при качании люльки вверх, а затем вниз. При качании люльки вверх нарезается одна сторона впадины зубьев, а при качании люльки вниз – другая. Таким образом получают равномерный по длине зуба припуск 0,15 мм под чистовое нарезание, что способствует повышению производительности, точности обработки шестерни и стойкости режущего инструмента при чистовом нарезании. Черновое нарезание зубьев шестерни методом обкатки можно выполнять резцовыми головками правого и левого вращения.

Более высокая стойкость достигается при нарезании зубьев с попутной подачей, когда направление вращения резцовой головки противоположно направлению линии зуба шестерни. Это объясняется процессом стружкообразования. При попутном нарезании зубьев образующая стружка имеет большее сечение в начале резания и меньшее сечение в конце (рис. 307, а). Создаются благоприятные условия для резания: отсутствует скопление резца по обработанной поверхности, уменьшается нагрузка на резцы. Встречное нарезание характеризуется проскальзыванием резцов в начальный момент резания, образованием наклепанной поверхности, повышением нагрузки на резцы.

Стружка в начале резания имеет минимальную толщину, а в конце – максимальную (рис. 307, б).

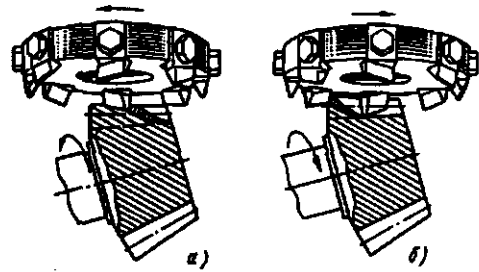


Рис. 307. Схемы нарезания зубьев конических колес

Эффективным средством повышения производительности при черновом нарезании является переменная подача при обкатке, которая увеличивается в начале и конце резания. Наилучшие результаты получают при нарезании зубчатых колес с большой шириной венца, в частности при черновой обработке зубьев шестерен гипоидных передач. Значительное повышение стойкости резцов и производительности может быть достигнуто при увеличении номинального диаметра черновой резцовой головки на одну ступень по сравнению с чистой.

При черновом нарезании шестерни ($z_1 = 11$; $m_{ie} = 9$ мм; $b = 38$ мм) увеличение номинального диаметра резцовой головки ($D_{p, r}$) с 9 дюймов на 12 дюймов позволило повысить производительность станка на 25 % и период стойкости резцов в 1,7 – 2 раза. Диаметр черновой резцовой головки рекомендуется увеличивать на одну ступень при обработке конических колес средних и крупных модулей, имеющих степень сужения зуба 0,67 – 1,25. На повышение стойкости головок в большей степени влияет точность расположения вершин резцов, а не боковых режущих кромок. При повышении точности расположения боковых режущих кромок с 0,05 до 0,02 мм стойкость головок увеличивается на 20 – 24 %; в то же время при повышении точности расположения вершин резцов в этих же пределах стойкость увеличивается на 26 – 44 %. Это объясняется тем, что в процессе резания боковая режущая кромка нагружена меньше, чем вершина резца.

Чистовое нарезание зубьев методом обкатки производят на зуборезных станках: 5П23, 5С26В ($d_e = 320$ мм; $m_{ie} = 8$ мм), 527В ($d_e = 500$ мм; $m_{ie} = 12$ мм), 5С280П, 5А284

двусторонними и односторонними резцовыми головками.

Двусторонние головки применяют для нарезания зубьев колеса, а односторонние – для нарезания зубьев шестерни. В массовом и крупносерийном производстве для повышения точности обработки зубьев чистовое нарезание конических колес с шириной зубчатого венца $b \geq 38$ мм целесообразно осуществлять резцовыми головками с уменьшенным числом резцов. Число резцов в головке, обеспечивающее участие в резании только одного резца (наружного или внутреннего), $K \leq \pi D_{p, r} \cos \beta_m / b$.

На точность и шероховатость боковых поверхностей зубьев при чистовой обработке шестерни и колеса влияет точность радиального и углового расположения резцов в корпусе головки. При чистовом нарезании зубьев шестерни односторонними резцовыми головками наибольшая стойкость достигается в случае, когда направление вращения головки противоположно направлению линии зуба шестерни.

Для чистового нарезания зубьев шестерни полуобкатных передач используют станки: 5А27С4П ($d_e = 500$ мм; $m_{ie} = 10$ мм), 5С27П ($d_e = 500$ мм; $m_{ie} = 12$ мм), 527В, выполненные с наклоном инструментального шпинделя.

При методе врезания обрабатываемое колесо 2 неподвижно, а вращающаяся головка 1 перемещается вдоль своей оси (см. рис. 306, б). По достижении требуемой глубины впадины зубьев заготовка отводится от резцовой головки и поворачивается на шаг для обработки следующего зуба. Этот метод применяют для чернового нарезания зубьев колес с углом делительного конуса более 68° двусторонними и трехсторонними резцовыми головками, резцы которых копируют свой профиль, во впадине зуба. Направление вращения резцовой головки совпадает с направлением линии зуба колеса; резание производят от внутреннего к внешнему концу.

В единичном и мелкосерийном производстве для чернового нарезания методом врезания применяют универсальные станки: 5С270П, 5С27П ($d_e = 500$ мм; $m_{ie} = 12$ мм), 5С280П. Обработку проводят на пониженных режимах резания с использованием черновой канавки копира подачи. В крупносерийном и массовом производстве применяют высокопроизводительные станки: (повышенной жесткости с короткой кинематической цепью)

5С272 ($d_e = 500$ мм; $m_{ie} = 10$ мм), 5281 ($d_e = 800$ мм; $m_{ie} = 16$ мм). Эти станки позволяют автоматически изменять подачу врезания в зависимости от нагрузки на резцы.

Чтобы вершины чистовых резцов не касались дна впадины зубьев, черновое нарезание методами обкатки и врезания производят глубже теоретической высоты зуба на величину 0,15 – 0,25 мм.

При комбинированном методе вращающаяся резцовая головка 1 (см. рис. 306, в), расположенная в положении, соответствующем началу обкатки, врезается в заготовку 2. По достижении требуемой глубины впадины зубьев подача врезания прекращается, станок автоматически переключается на нарезание зубьев методом обкатки при качении люльки вверх. Комбинированным методом рекомендуется изготавливать обкатные конические колеса с углом делительного конуса более 25° и модулем свыше 2,5 мм на зуборезных станках 5С280П. Этот метод эффективен также при черновом нарезании зубьев шестерни и обкатных колес с передаточным числом пары до 2,5 : 1.

При методе копирования заготовка 2 (см. рис. 306, з) неподвижна, а резцовая головка-протяжка 1, вращаясь вокруг своей оси, благодаря последовательному изменению радиального расположения внутренних и наружных резцов за один оборот обрабатывает впадину зубьев колеса. Деление заготовки на один зуб осуществляется во время прохождения безрезцового участка резцовой головки.

Этим методом производят чистовую обработку зубьев колес полуобкатных передач в крупносерийном и массовом производстве на специальных станках: 5С271П ($d_e = 500$ мм; $m_{ie} = 10$ мм), 5281Б ($d_e = 800$ мм; $m_{ie} = 16$ мм), имеющих повышенную жесткость и короткую кинематическую цепь. Производительность метода копирования больше в 3 – 5 раз, а точность выше на 10 – 20 %, чем при методе обкатки. Стойкость режущего инструмента выше в 2 – 3 раза.

Зубошлифование закаленных (58 ... 63 HRC) гипоидных и конических колес позволяет получить зубчатые передачи высокого качества (4 – 6 степени точности). Шлифование зубьев является трудоемкой операцией, производительность и качество которой в значительной степени зависят от метода шлифования, точности предварительной обработки и величины

припуска (0,1 – 0,2 мм на сторону зуба). Для повышения стойкости абразивных кругов, уменьшения опасности появления прижогов и микротрещин шлифование зубьев производят с обильным охлаждением минеральным маслом.

С целью удаления стружки и абразивных частиц из пор круга охлаждающую жидкость подают под большим давлением. Кроме того станки оснащают устройствами для очистки СОЖ, обеспечивающими удаление из масла частиц более 5 мкм.

Наиболее распространен метод шлифования прямозубых конических колес обкаткой коническими поверхностями двух наклонных шлифовальных кругов 2, совершающих возвратно-поступательное движение вдоль зуба (рис. 308, а). Площадь контакта абразива с поверхностью зубьев 1 очень мала, охлаждающая жидкость имеет свободный доступ в зону резания. В качестве материала для кругов чаще всего применяют белый электрокорунд с твердостью МЗ – СМ1 и зернистостью 16 – 25. Окружная скорость кругов 30 – 35 м/с, скорость их перемещения вдоль зуба 5 – 7 м/мин.

Гипоидные и конические колеса с криволинейными зубьями шлифуют методом обкатки, чаще всего чашечно-цилиндрическими кругами, осевое сечение которых подобно зуборезным резцовым головкам. Между обрабатываемым колесом 3 (рис. 308, б) и кругом осуществляют движение обкатки на основе зацепления с воображаемым производящим колесом.

Окружная скорость абразивного шлифовального круга составляет 25 – 35 м/с. При шлифовании колес с большим углом делительного конуса ($50 - 60^\circ$ и выше) во избежание прижогов окружную скорость уменьшают до 18 – 20 м/с.

Перспективной разработкой в области шлифования гипоидных и конических колес с криволинейными зубьями является станок с ЧПУ, работающий двумя чашечно-цилиндрическими кругами (рис. 308, в). Шлифовальная головка с двумя кругами обеспечивает станку дополнительные технологические возможности: за одну установку одним кругом можно шлифовать выпуклую, а другим – вогнутую сторону зуба или последовательно производить черновое и чистовое зубошлифование. Ось С предназначена для установки заготовки под углом конуса впадин. Электронное взаимодействие осей Y и Z позволяет при шлифовании осуществлять обкатное движение.

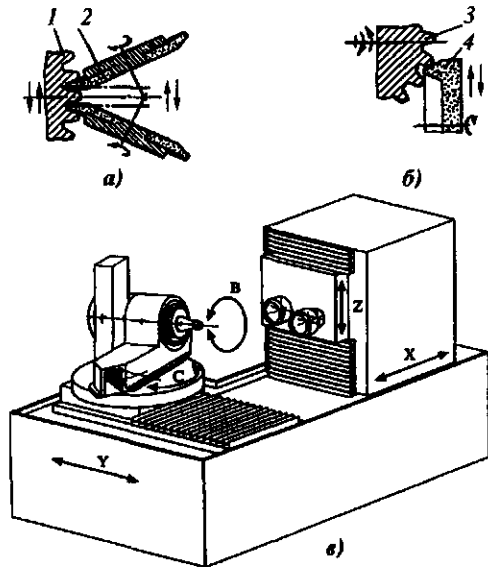


Рис. 308. Зубошлифование гиподных и конических колес

Для обработки с наклоном инструмента с целью создания различной кривизны профиля зуба используют согласованное действие осей X и Y . Таким образом взаимодействие трех осей (X , Y и Z) позволяет при шлифовании получать различные модификации и корректировки зуба, учитывающие конструктивные особенности передачи и технологические условия изготовления.

Нарезание зубьев червячных колес выполняют на универсальных зубофрезерных станках методом обкатки и специально предназначенных для этой цели мастер-станках. Фреза и колесо вращаются при нарезании зубьев так же, как червяк и червячное колесо в собранном агрегате. Выбор метода обработки зависит от требуемого качества зацепления червячной передачи. Червячные колеса с углом подъема винтовой линии червяка до 8° обрабатывают методом радиальной подачи. Червячные передачи повышенной точности и имеющие большие углы подъема нарезают с тангенциальной подачей червячными фрезами с заборным конусом или фрезой-летучкой.

При нарезании с радиальной подачей червячных колес с углом подъема линии зуба свыше 8° и сравнительно большим обхватом червяка перед достижением номинального межосевого расстояния происходит срез металла с профиля зубьев колеса. Срезанный

участок профиля зуба не участвует в зацеплении. По этой причине и вследствие лучшего образования профиля зубьев червячных колес метод тангенциальной подачи часто применяют и для зубчатых колес с углом подъема меньше 8° .

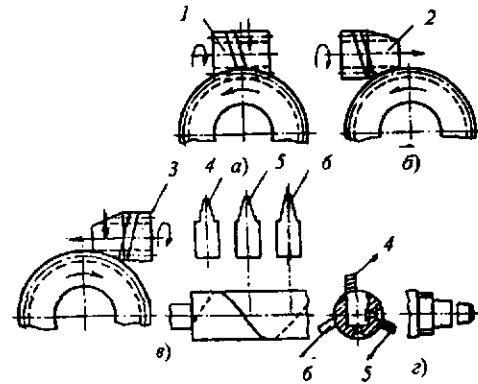


Рис. 309. Схемы методов нарезания зубьев червячного колеса

Нарезание с радиальной подачей осуществляется на зубофрезерных станках цилиндрической фрезой (рис. 309, а), ось которой устанавливают горизонтально, симметрично оси колеса. В процессе резания фреза 1 подается радиально на глубину зуба с подачей $0,08 - 0,50$ мм/об стола и скоростью резания $20 - 25$ м/мин. Чтобы зубья колеса были нарезаны полностью по всей окружности, после достижения полной высоты и выключения радиальной подачи необходим еще один полный оборот детали, прежде чем следует остановить станок. Из зацепления с колесом фрезу следует выводить до выключения работы станка, чтобы не повреждать профиль зубьев колеса.

При фрезеровании с радиальной подачей шероховатость поверхности зависит от числа зубьев и заходов фрезы, а также диаметра колеса. Если диаметр колеса мал, а фреза имеет небольшое число зубьев, на профиле зубьев колеса остаются широкие следы огибающих резцов. Для снижения шероховатости по окончании радиальной подачи целесообразно применять чистовую обработку с тангенциальной подачей. Число резцов на боковой поверхности зуба можно регулировать путем изменения тангенциальной подачи. Путь тангенциальной подачи в этом случае равен примерно одному осевому шагу червячной фрезы.

Метод обработки с радиальной подачей обладает высокой производительностью; его применяют для обработки червячных колес невысокого качества и колес с относительно небольшим углом подъема зубьев.

Нарезание с тангенциальной подачей выполняют на зубофрезерных станках с протяжным суппортом, который сообщает фрезе осевую подачу. Обработка ведется червячной фрезой с заборным конусом или фрезой-летучкой. Червячная фреза состоит из двух частей — заборной и цилиндрической.

Заборная часть фрезы, выполненная в виде конуса, предназначена для черновой обработки зубьев колеса. В большинстве случаев угол конуса заборной части выбирают равным $20 - 26^\circ$. Правозаходные червячные фрезы имеют заборную часть у правого конца, а левозаходные — соответственно у левого конца. Заборный конус фрезы при работе с осевой подачей необходим для распределения износа и уменьшения нагрузки на зубья фрезы. Цилиндрическая часть фрезы, равная одному полному витку, производит чистовую обработку зубьев.

Перед обработкой фрезу 2 устанавливают таким образом, чтобы ее заборная часть слегка касалась окружности выступов колеса (рис. 309, б). Резание начинается с внедрения заборного конуса в тело колеса при осевом перемещении фрезы, а заканчивается, когда первый калибрующий зуб выходит из зацепления с зубом колеса. При нарезании зубьев колеса за один ход инструмент устанавливают на номинальное межосевое расстояние червячной передачи.

Если обработка ведется за два хода или с радиальной подачей, межосевое расстояние увеличивают для обеспечения припуска под чистовую обработку. Тангенциальная подача должна быть направлена против вращения стола; ее выбирают в пределах $0,08 - 0,5$ мм/об стола для чернового и $0,5 - 0,12$ мм/об стола для чистового нарезания зубьев; скорость резания $20 - 25$ м/мин. Длину пути фрезы можно определить графически. Начальное положение — когда заборная часть фрезы начинает касаться тела колеса, конечное — когда первый зуб с полным профилем выходит из зацепления.

Производительность метода фрезерования с тангенциальной подачей ниже, чем с радиальной, а точность выше.

При нарезании с радиально-тангенциальной подачей (рис. 309, в) черновая обработка осуществляется заборным кону-

сом при внедрении его на радиальной подаче до достижения номинального межосевого расстояния между фрезой 3 и колесом. Затем происходит автоматическое переключение на чистовую обработку. Цилиндрическая часть фрезы при тангенциальной подаче снимает с боковых сторон зуба минимальный припуск. Тангенциальный путь фрезы значительно сокращается. Толщина зуба заборной части фрезы делается меньше толщины цилиндрической части.

Возможен другой вариант обработки. Если под чистовую обработку необходимо оставить припуск, радиальная подача выключается раньше, чем будет достигнута полная высота зуба; станок автоматически переключается на тангенциальную подачу для чистового нарезания зубьев. При нарезании с радиально-тангенциальной подачей можно применять цилиндрические фрезы той же длины, что и при фрезеровании с радиальной подачей. Метод с радиально-тангенциальной подачей более высокопроизводителен, чем метод с радиальной подачей, и обеспечивает лучшее формирование профиля зубьев, чем метод тангенциальной подачи.

Нарезание фрезой-летучкой применяется в единичном производстве. При обработке точных червячных колес и колес крупного модуля вместо одного резца в оправке установлено несколько резцов (рис. 309, г). Резцы 4, 5 предназначены для черновой обработки впадины зубьев, а резец 6 — для чистовой. Фрезой-летучкой работают только при методе тангенциальной подачи. Червячные колеса, сцепляющиеся с однозаходным червяком, фрезеруют с подачей $0,9 - 0,15$ мм/об стола. Подача уменьшается, когда фрезеруют колеса, сопряженные с многозаходными червяками. Скорость резания $12 - 18$ м/мин.

Нарезание фрезой-летучкой — процесс длительный с низким периодом стойкости. Для повышения производительности черновое нарезание осуществляют с радиальной подачей на $0,2$ мм глубже полной высоты зуба, а чистовое нарезание — фрезой-летучкой с тангенциальной подачей; припуск снимается только с боковой стороны зуба. Возможность регулирования резца в оправке по высоте позволяет получить однородное качество зацепления червячных колес.

Чистовая отделка зубьев червячных колес осуществляется после чистового фрезерования, с помощью червячных шевров. Шевер представляет собой червяк, на вершине и

боковых сторонах которого нанесено большое число узких незатылованных зубцов.

Шевер обычно шлифуют на том же станке и теми же методами, что и червяк; червячный шевер по диаметру равен диаметру сопряженного червяка. Для увеличения срока службы и получения локализованного пятна контакта в середине зубчатого венца диаметр шевера должен быть несколько больше диаметра применяемой перед этим червячной фрезы для чистовой обработки. При работе таким шевером соответственно увеличивают межосевое расстояние на станке и дополнительно повертывают фрезерную головку на разность углов подъема обоех инструментов. Червячный шевер трудосмок и сложен в изготовлении, его применяют для обработки ответственных червячных передач. При снятии мелкой стружки уменьшается шероховатость поверхности на профилях зубьев и, таким образом, улучшаются антифрикционные свойства червячной передачи.

Шевингование выполняют двумя методами: с радиальной подачей посредством сближения инструмента с деталью до достижения номинального межосевого расстояния и осевой подачей на номинальном межосевом расстоянии. Как при радиальной, так и при осевой подаче ведущим элементом является червячный шевер; колесо должно свободно вращаться на своей оси. Кинематическая связь между шевером и колесом отсутствует. При шевинговании с осевой подачей качество поверхности лучше, чем при работе с радиальной подачей. При работе с радиальной подачей возможно также небольшое сревание с профиля зуба колеса.

Изготовление цилиндрических червяков. В цилиндрических червячных передачах червяки разделяют на следующие основные виды: архимедовы (ZA), имеющие прямой профиль в осевом сечении и архимедову спираль в торцовом; конвалютные (ZN), имеющие прямой профиль в нормальном к витку сечении и удлиненную эвольвенту в торцовом сечении; эвольвентные (ZI), имеющие криволинейный профиль в нормальном сечении, эвольвентный в торцовом и прямой в сечении плоскостью, касательной к основному цилиндру.

В единичном производстве червяки с формами боковых поверхностей ZA, ZN, ZI как предварительно, так и окончательно могут быть изготовлены на токарном станке.

Архимедовы червяки (ZA) нарезают резцами с прямолинейными режущими кромками, установленными в осевом сечении червяка (рис. 310, а). Обе стороны витка одновременно обрабатывают при черновом нарезании и раздельно каждую сторону при чистовом. По этой же технологии обрабатывают конвалютные червяки, с той разницей, что резцы с прямолинейными кромками для червяка ZN устанавливают в нормальном сечении витка (рис. 310, б), а для червяка ZN2 – в нормальном сечении впадины (рис. 310, в).

При обработке эвольвентных червяков ZI важное значение имеет установка токарных резцов. Чистовое нарезание эвольвентного червяка выполняют двумя резцами: один резец – для обработки правой, другой – для обработки левой стороны витка. Резцы, имеющие прямолинейные режущие кромки, устанавливают один выше, другой ниже оси червяка, в плоскостях, касательных к основному цилиндру червяка (рис. 310, г).

В серийном производстве используют более эффективные методы. Обработка ведется на резьбофрезерных и специально-фрезерных станках дисковыми или пальцевыми фрезами, профиль которых определяют для каждого конкретного типа червяка. Возможно также точение витков червяков (типа ZA и ZI) на зубофрезерных станках долбяком. Многозаходные эвольвентные червяки нарезают методом обкатки на зубофрезерных станках червячными фрезами.

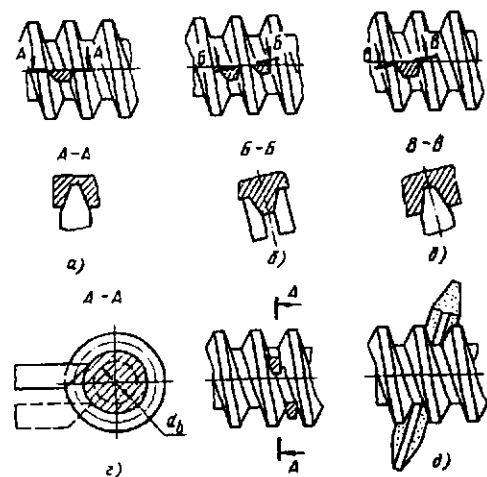


Рис. 310. Схемы установки резца при нарезании червяков

В крупносерийном и массовом производстве применяют вихревой метод обработки червяков в специальном приспособлении, установленном на резьбофрезерном станке. Этот метод обладает большой производительностью. Подобно изготовлению резьбы, червяки небольших размеров, с малым углом подъема витка и небольшой глубиной профиля накатывают в холодном состоянии без снятия стружки.

У термически обработанных архимедовых, конвалютных и эвольвентных червяков окончательную обработку профиля витка осуществляют на специальных резьбошлифовальных станках или станках для шлифования червяков. Для повышения производительности шлифование осуществляют дисковыми кругами большого диаметра на скорости резания 40–45 м/с.

Шлифовальный круг правят соответственно профилю червяка и наклоняют его (рис. 310, д) на делительный угол подъема витка.

На станках старой конструкции оба профиля круга правят алмазами по шаблонам, которые изготавливают на профильно-шлифовальных станках. Эта операция требует дорогостоящей подготовки и высокой квалификации оператора. На современных станках для шлифования червяков правку круга производят с помощью специального устройства, работающего от ЧПУ станка. На рис. 311, а дано правящее устройство с двумя высокочастотными шпинделями 1 ($n = 8000 \dots 4000$ об/мин), установленными под углом 12° к вертикальной оси. В качестве правящего инструмента используют алмазные шлифовальные круги 2 диаметром 80 мм и радиусом закругления вершины 0,1–2,0 мм.

Формы шлифовальных кругов в осевом сечении, необходимые для получения архимедовых ZA, конвалютных ZN и эвольвентных ZI червяков приведены на рис. 311, б. После пробного шлифования специальные программы позволяют производить корректировки угла и формы профиля червяков за счет ввода на экран дисплея отдельных точечных корректировок.

При изготовлении червяков высокой точности необходимо использовать контрольно-измерительные приборы соответствующей точности. Окончательное шлифование осуществляют в термостатных помещениях. Соседние станки устанавливают на достаточном удалении от шлифовального, чтобы уменьшить влияние вибрации, нагрева и т.д.

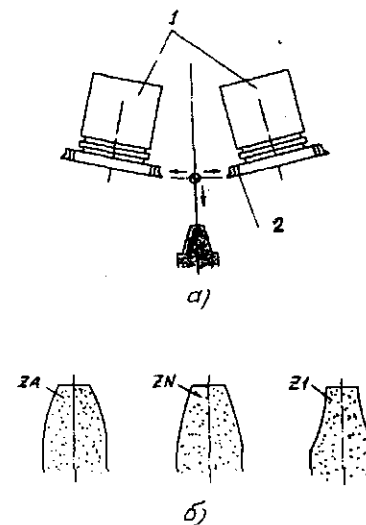


Рис. 311. Схема правки шлифовальных кругов

ОБРАБОТКА НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СТАНКАХ

Станки для электрофизической (ЭФО) и электрохимической (ЭХО) обработок применяют для обработки сложнопрофильных деталей, особенно из труднообрабатываемых традиционными способами или закаленных материалов. Особенность этого оборудования – отсутствие непосредственного силового контакта между электродами (инструментом и обрабатываемой заготовкой). Причем, как правило, заданная поверхность обрабатывается по всей площади одновременно, а не по линиям-строчкам, как в механообработке. Кроме того, при ЭХО не происходит износа электрода-инструмента (обычно катода).

Таким образом, отсутствие силового контакта между инструментом и обрабатываемой заготовкой, безизносность инструмента при ЭХО, а также независимость производительности от площади обработки выгодно характеризует эти технологические схемы. На оборудовании можно повторить практически любую кинематическую схему, применяемую в традиционной механообработке. Наибольшее применение нашли: копировально-прошивочные станки универсального применения (4Г721М, 4Д722А, 4Е723 и т.п. – электроэрозионные,

4423, ЭКУ-400, ЭРО-120, СЭХ04П и т.п. – электрохимические), вырезные (4531, 4532, ВЭСТ-240), станки для обработки профиля турбинных лопаток (ЭХО-2, ЭХО-300, ЭХС-10А и др.), шлифовальные (ЗЭ731, ЭЭ110М), заточные (3622Э, ЗЕ624Э, 3626Э, 3672), маркировочные (4401, МЭ-62), а также станки для извлечения сломанного режущего инструмента (4610, 4Б611) и удаления заусенцев (4405, 4406, 4407, ЭЗ-93).

Станки как для электроэрозионной, так и электрохимической обработки в общем случае кроме собственно станка снабжены дополнительным оборудованием (насосы, баки для рабочей жидкости, источники технологического тока, отстойники, контрольнорегулирующие приборы и т.п.).

Специфические требования к заготовкам: возможность токоподвода от источника технологического тока и отсутствие пассивирующих пленок на обрабатываемой и токопроводящей поверхности. Возможность токоподвода обеспечивается наличием на заготовке достаточной площади контакта с токоведущими элементами. В общем случае площадь контакта должна длительно обеспечить плотность тока не менее 200 А/см^2 . Пассивирующие пленки (оксидные, токонепроводящие включения) предварительно протравливаются или удаляются механическим способом.

На копировально-прошивочных электрохимических и электроэрозионных станках обрабатывают гравюры практически любой сложности, особенно в уже закаленных заготовках, что снижает искажения профиля от последующей термообработки. Обычно обработку проводят в два этапа простым поступательным перемещением электрода-инструмента (ЭИ), рабочая поверхность которого копируется на обрабатываемой заготовке. Основную массу металла удаляют: на ЭХО – с постоянной подачей, на ЭЭО – на черновых режимах. Затем на ЭХО переходят на импульсно-циклический режим, а на ЭЭО постепенно снижают электрический режим, повышая качество обработанной поверхности.

В качестве ЭИ используют: при ЭХО – любые токопроводящие материалы (обычно нержавеющую сталь), при ЭЭО – углеродистые ЭЭПГ, МПГ-7 или аналоги. При ЭХО гравюр с площадью поверхности свыше 250 см^2 используют ИТТ мощностью свыше 10 кА, а при ЭЭО – многоконтурную обработку, что более чем в 2 раза снижает время обработки. Шероховатость обработан-

ной поверхности для ЭХО $Ra = 0,32 \dots 0,63$, для ЭЭО $Ra = 4 \dots 8$. В случае необходимости целесообразно проводить дополнительную механическую обработку. Эксплуатация кованных молотовых штампов непосредственно после ЭЭО допустима. Износостойкость штампов, обработанных способами ЭХО и ЭЭО, повышается в среднем на 30 – 40 %. Эффективно использовать ЭХО при изготовлении гравюр серийных штампов и пресс-форм, учитывая безизносность ЭИ при этой обработке.

Способы установки и выверки заготовок. Базирование заготовок при копировально-прошивочных работах обычно производят в приспособлении, которое одновременно осуществляет и токоподвод к заготовке. Центрирование приспособления относительно оси шпинделя станка осуществляется по контрольному глухому отверстию в столе и конусу в шпинделе. Закрепление заготовки производят прихватами через Т-образные пазы станка (рис. 312, а), инструмента – фланцем к планшайбе рабочей головки (рис. 312, б).

При ЭХО многоместных пресс-форм на станках используют последовательную обработку гравюр одним электродом с циклическим перемещением заготовки на координатном столе станка (мод.4422). При этом достигается повторяемость профиля гравюры до $\pm 0,01 \text{ мм}$ за счет идентификации режимов обработки и геометрических параметров технологической системы станка. Идентификации режимов ЭХО достигается за счет применения циклической схемы подачи электрода-инструмента (4А423ФЦ, ЭРО-120, ЭРО-122), что позволяет разделить во времени процессы съема металла и удаление оксидных пленок из межэлектродного зазора (МЭЗ). Это обеспечивает возможность работы на малых МЭЗ с гарантированным удалением продуктов растворения из рабочей зоны. Такая схема обработки позволяет также контролировать процесс обработки непрерывно с частотой 1 – 2 Гц, корректировать управляющую программу непосредственно в процессе обработки.

Циклограмма перемещения ЭИ представлена на рис. 313. После выверки и закрепления заготовки ЭИ из точки А ускоренно перемещается до касания с заготовкой (точка В), по сигналу касания от специального источника зондирующего напряжения ЭИ отходит от заготовки на величину заданного рабочего МЭЗ (С), включается напряжение рабочего источника тока и в заданный период времени происходит

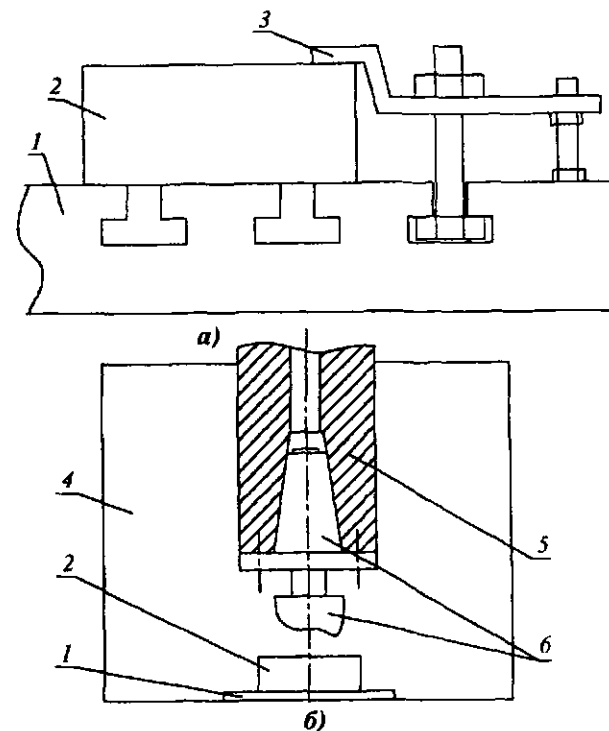


Рис. 312. Крепление заготовки (а), инструмента (б) при прошивании на ЭХО: 1 – стол; 2 – заготовка; 3 – прихват; 4 – камера; 5 – планшайба; 6 – инструмент

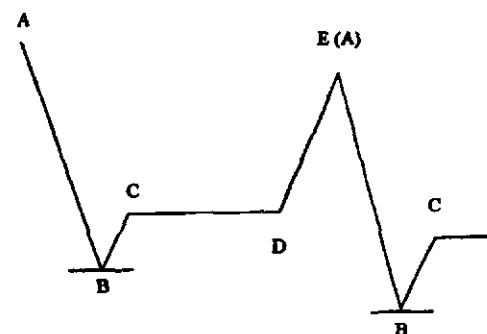


Рис. 313. Циклограмма перемещения ЭИ

растворение металла заготовки с образованием оксидной пленки (до точки D). Затем ЭИ отходит на величину промывочного МЭЗ для удаления продуктов электрохимической реакции и цикл замкнут (точки А, D). Последующая обработка повторяет тот же цикл, автоматически учитывая съем металла, произведенный в предыдущем цикле.

Насосы подачи электролита работают непрерывно, но ввиду малости рабочих МЭЗ, течение электролита приобретает ламинарный характер или вообще прекращается и искажающее влияние гидродинамики потока на точность обработки практически прекращается. Рабочая зона, включающая рабочий стол станка с закрепленной на нем заготовкой и зажимными устройствами, ЭИ с планшайбой и частью токоподвода, находятся в герметичной рабочей камере, защищающей окружающую зону от брызг непрерывно прокачиваемого через МЭЗ электролита.

Таким образом, условия обработки в каждом цикле идентичны, что стабилизирует весь технологический процесс изготовления детали. Применяемые циклические схемы обработки обычно реализуются на величинах рабочего МЭЗ 0,02 – 0,08 мм, промывочного 0,2 – 0,9 мм; частота следования полного цикла обычно составляет 1 до 10 Гц, что обусловлено значительными массами реальных ЭИ.

При обработке плоскостей и поверхностей вращения на деталях из магнитных сплавов применяют вращающиеся головки, комплекующие со станками мод.4421.

Универсальность копировально-прошивочных станков позволяет применять их для обработки тонкостенных деталей типа сит, решеток, сеток, а также и сотовых конструкций, особенно если они изготовлены из жаропрочных, коррозионно-стойких сталей и сплавов. Практическое отсутствие сил резания позволяет одновременно обрабатывать большое число отверстий как простой формы (круглые, прямоугольные), так и сложного профиля (гнезда бандажей компрессорного колеса). Точность обработки $\pm 0,03 \dots 0,1$ мм. При использовании специальной оснастки для загрузки и выверки пакета деталей повторяемость полученных размеров достигает $\pm 0,002 \dots 0,005$ мм.

При обработке крупногабаритных деталей технически сложно изготовить герметичную рабочую камеру и в этом случае применяют бескамерную схему ЭХО (СЭХО-4П). Сущность бескамерной схемы заключается в создании локальной зоны обработки непосредственно вокруг ЭИ 1, эквидистантной его рабочему профилю с зазором $0,5 \dots 1,0$ мм для протока электролита через МЭЗ (рис. 314). Созданная для этой цели герметичная местная камера 2 выполняется из диэлектрика и перемещается автономно. Во время обработки камера неподвижна и прижата к поверхности заготовки 3 с силой, в 2 – 3 раза превышающей давление электролита. Необрабатываемая поверхность заготовки в этом случае не имеет контакта с электролитом.

Электроэрозионные вырезные станки дают наибольший эффект при формировании рабочих элементов вырубных штампов, резбовых

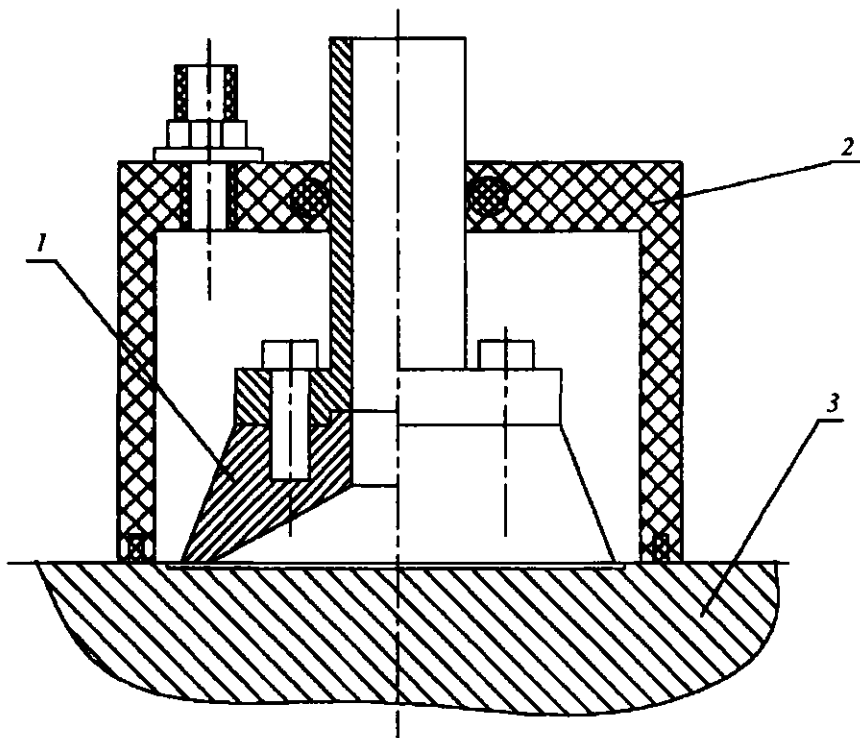


Рис. 314. Схема бескамерной ЭХО крупных деталей

гребенок, фасонных резцов, а также любых профилей из токопроводящих материалов, независимо от их твердости. В качестве ЭИ используется непрерывно перематывающаяся проволока (рис. 315).

Сопряжение матрицы и пуансона наиболее трудоемкая операция. На станках с ЧПУ (мод.4531 ФЗ, ВЭСТ-240) оба элемента изготавливают по одной программе. Все отклонения размеров пуансона и матрицы идентичны, сохраняется равномерность рабочего зазора. В ряде случаев дополнительно используются копировально-прошивочные станки. На вырезном станке по одной программе изготавливают один из элементов вырубного штампа (матрицу или пуансон) и электрод-инструмент ЭИ для прошивки сопрягаемого элемента. Для получения требуемого рабочего зазора в штампе производят вырезку каждого элемента проволокой разного диаметра. Вырезные станки позволяют получать вырубные штампы с рабочими зазорами $0,03 \dots 0,2$ и более мм.

Для повышения точности сопряжения матрицы и пуансона при ЭЭО в зависимости от конструкции штампа применяют специальные технологические приемы (рис. 316).

1. Матрица 1 и пуансон 2 вырезаются проволокой 3 по программе (рис. 316, а).

2. Матрица 1 вырезается проволокой 3 диаметром d_1 , пуансон 2 проволокой 3 диаметром d_2 (рис. 316, б).

3. Матрица 1 вырезается проволокой 3 диаметром d_1 , промежуточные пластинчатые электроды 4 пакетом проволок d_2 . Пуансон 2 обрабатывается пластинчатыми электродами 4 способом обратного копирования (рис. 316, в).

4. Пуансон 2 вырезается проволокой 3, который затем помещается в емкость 5 и заливается легкоплавким сплавом 9. После затвердевания, полученная вторичная матрица 9 используется в качестве копира для вырезного станка и по нему вырезается рабочая матрица 1, (рис. 316, г).

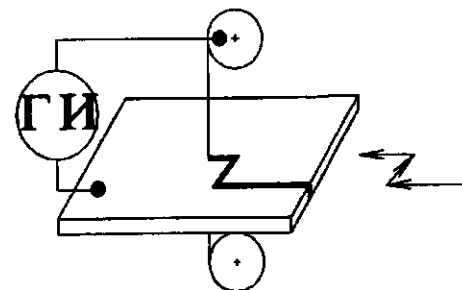


Рис. 315. Схема вырезного станка

5. Заготовка 3, из которой затем вырезаются матрица и пуансон, обрабатывается по базовым поверхностям, крепится в штампе и выверяется. Затем штамп разбирается, заготовка разрезается на матрицу 1 и пуансон 2 проволокой. После окончательной сборки штампа и базирования деталей 1 и 2 по тем же базовым поверхностям образуется равномерный рабочий зазор (рис. 316, д).

6. Матрицу 1 и пластинчатые электроды 4 изготавливают методом прямого копирования. Пуансон 2 обрабатывается пластинчатыми электродами 4 обратным копированием (рис. 316, е).

7. Пуансон 2 и промежуточный электрод 7 изготавливают обратным копированием комплектом пластинчатых электродов 4.

Промежуточным электродом 7 прямым копированием обрабатывается матрица 1, (рис. 316, ж).

Для улучшения шероховатости поверхности и удаления дефектного слоя после ЭЭО может применяться электрохимическая полировка с использованием копировальных станков для ЭХО или специальных ванн и установок.

Электрохимическая обработка пера турбинных и компрессорных лопаток охватывает практически весь размерный диапазон этого класса деталей от малых и средних (ЭХО-1, ЭГС-100) до крупногабаритных (МЭ-57). Повышение точности копирования профиля пера обеспечивается как жесткой стабилизацией гидравлических и электрических параметров технологического процесса, так и применением импульсно-циклической обработки, что позволяет перейти к обработке на малых МЭЗ (до $0,02$ мм), гарантирующих точность копирования до $0,05 \dots 0,1$ мм (ЭХС-10А).

Станки имеют горизонтальную компоновку; лопатка базируется по хвостовику и технологической бобышке (рис. 317) в камере, полностью заполненной электролитом. Электролит подается под давлением снизу камеры и уходит через штуцер в верхнем углу камеры. Для улучшения гидродинамики потока и очистки его от продуктов растворения ЭИ совершают колебательные движения с амплитудой в 3 – 5 раз меньшей величины МЭЗ и амплитудой $20 \dots 50$ Гц.

Такая схема подачи гарантирует сплошность потока электролита по всему сечению пера лопатки (рис. 318). Сами ЭИ часто изготавливают на тех же станках по эталонной лопатке, для чего на станках (ЭХС-10А) смонтирован контактор изменения полярности электродов. Эталонная лопатка базируется в рабочей

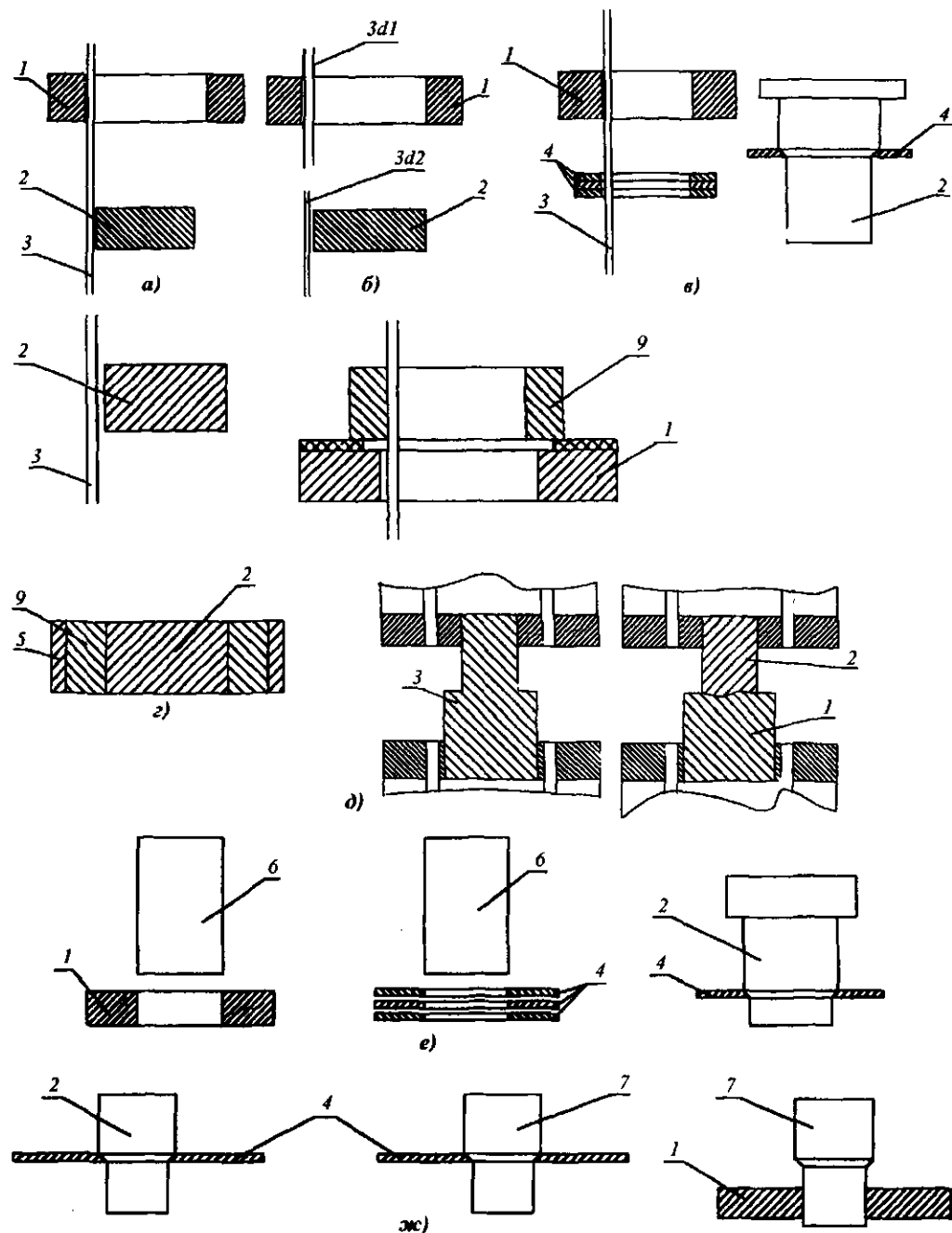


Рис. 316. Схема изготовления рабочих элементов штампа

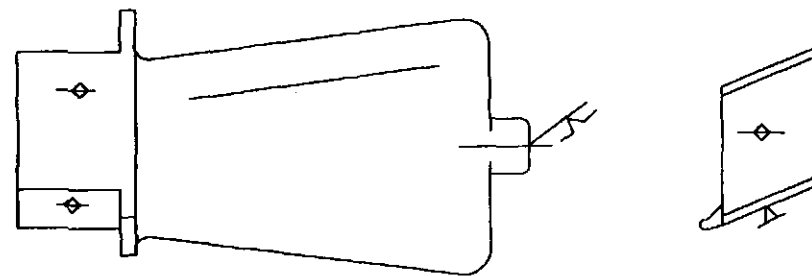


Рис. 317. Базирование лопатки

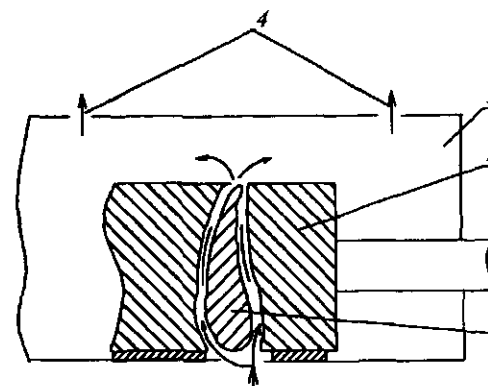


Рис. 318. Схема ЭХО турбинной лопатки: 1 – лопатка; 2 – инструмент; 3 – камера; 4 – выход электролита

камере, заготовки электродов монтируются на катододержателях в рабочем положении, полярность источника тока переключается на обратную и в штатном режиме идет электрохимическая обработка до формирования полного профиля сразу двух ЭИ (по корыту и спинке лопатки).

Иногда, в массовом производстве лопаток проводят предварительное выравнивание припуска под ЭХО на электроэрозионных станках.

Шлифовальные станки работают как торцом (мод.3Э731, 3Э754ЛФ1), так и периферией круга (мод.3Э70ВФ2). Обработка торцом круга обеспечивает более высокую производительность благодаря большей площади контакта круга с деталью. При обработке периферийного круга можно использовать источники тока меньшей мощности и значительно упростить токоподводящие узлы. Кинематика электрохимических шлифовальных станков полностью повторяет кинематику механообработки, по-

этому и базирование заготовок аналогично. Однако, значительное снижение сил резания за счет преимущественного растворения металла заготовки в процессе электрохимического травления меняет подход к проектированию технологического процесса.

Электрохимическое шлифование (ЭХШ) (абразивно-электро-химическое шлифование) врезанием применяется для относительно небольших деталей, ширина которых меньше, чем ширина режущей кромки круга. Такой способ обеспечивает большие скорости подачи, достигающие по твердому сплаву 12 – 15 мм/мин. Точность врезного шлифования зависит от геометрии рабочей поверхности круга и по мере его износа непрерывно ухудшается. Следовательно, при врезном шлифовании оставляется припуск в несколько сотых долей миллиметра для последующей чистовой обработки с продольной подачей.

При ЭХШ торцом круга с продольной подачей или вращением стола (мод.3Э754ЛФ1), как правило, применяют способ глубинной обработки, снимая за один проход до 2 ... 3 мм. Для получения высокой плоскостности и параллельности обработанной поверхности часто лучшие результаты дает многопроходное шлифование при скорости перемещения стола 10 ... 20 м/мин.

При шлифовании твердых сплавов торцом круга скорость врезной подачи зависит от ширины обрабатываемой детали. При ширине детали до 100 мм подача составит 0,005 ... 0,015 мм/об; при ширине более 150 мм – 0,0025 ... 0,005 мм/об. Скорость продольной подачи в зависимости от глубины шлифования устанавливают в пределах 5 ... 10 м/мин.

При обработке деталей из магнитных сплавов торцом алмазного токопроводящего круга производительность шлифования достигает 10 000 ... 12 000 мм³/мин.

Точность ЭХШ при торцевом многопроходном шлифовании достигает 0,005 ... 0,008 мм на длине 100 мм при шероховатости по твердому сплаву Ra 0,08 ... 0,16, магнитным сплавам Ra 0,16 ... 0,63.

Для электрохимического затачивания напайного режущего инструмента применяют алмазные токопроводящие шлифовальные круги на связках МВ1 и М013Э с алмазами АСР или АСВ, зернистостью 125/100 или 160/125, 100 %-ой концентрации. Электрохимическое травление металла как державки реза, так и напайной твердосплавной пластины значительно снижает засаливание и износ круга соответственно. Станки работают способом жесткой (мод.3626Э) или комбинированной как упругой, так и жесткой заточки (мод.3622Э, ЗЕ624Э). Производительность обработки 600 ... 800 мм³/мин при удельном износе алмазов в пределах 1 ... 3 мг/г. Шероховатость поверхности при этом не выше Ra 0,63. Для придания обработанной поверхности товарного вида проводят выхаживание, доводя шероховатость до Ra 0,16 ... 0,32.

Электрохимическое маркирование (ЭХМ) осуществляется при контактировании клейма с деталью через тонкий слой электролита. Предварительно смоченное электролитом клеймо подается к детали механически (мод.4401, МЭ - 46) или вручную (мод.ЭХМ - 1). Клеймо изготавливают из токопроводящего материала, обычно его отливают на линотипе из типографского сплава или гравировуют любым способом. Клеймо практически не изнашивается и может использоваться многократно.

При ЭХМ используется постоянный ток напряжением 4 - 12 В. Источник тока может быть включен постоянно или только после наложения клейма на время маркирования, которое обычно составляет 0,5 - 2,0 с. Маркирование производят через трафарет или бестрафаретным способом. При прохождении электрического тока на поверхности детали образуется оксид металла, после чего процесс прекращается, поэтому ЭХМ не создает концентраторов напряжений, что существенно при маркировании тонкостенных и прецизионных деталей. Таким образом, глубина маркирования равна толщине оксидной пленки, которая для углеродистых сталей составляет 2 ... 3 мкм.

Для получения устойчивого и отличного от цвета основного металла оксида подбирают соответствующий электролит. Для маркирования металлов на основе железа в качестве

окислителя используется водный раствор нитрат натрия. Под действием ионов NO_3 происходит окисление железа до образования оксида FeO черного цвета, стойкого к действию щелочей и кислот. Для предотвращения образования гидроксида железа $Fe(OH)_3$ бурого цвета в электролит вводится небольшое количество (4 ... 10 %) сегнетовой соли, как комплексообразователя. Добавление чрезмерного количества комплексообразователя уменьшает интенсивность окраски клейма, оцениваемой при ЭХМ через величину оптической плотности D отпечатка.

Процентное содержание окислителя K_1 и комплексообразователя K в электролите определяют (задавшись значением D и периодичностью чистки инструмента N) из соотношений:

$$N = \frac{K^3}{0,47}; \quad K = \frac{2}{5} K_1 - 10D + 8.$$

Номограмма для определения состава электролита для ЭХМ черных металлов приведена на рис. 319.

Состав электролита для некоторых других металлов приведен в табл. 75.

75. Состав электролитов для ЭХМ цветных сплавов

Маркируемый материал	Состав электролита (водный раствор)
Бронза	8 % кальцинированная сода 2 % сернокислый калий
Латунь	4 % сернокислый калий 3 % жидкое стекло
Алюминиевые сплавы	8 % бромистый калий 8 % азотнокислый аммоний
Титановые сплавы	90 % этиловый спирт

Электроэрозионное извлечение сломанного инструмента. Сломанные сверла, метчики, развертки извлекают эрозионным разрушением остатков инструмента электродами в виде медных и латунных стержней или трубок со скоростью до 10 ... 15 мм/мин. Возможно применение графитовых электродов, износ которых значительно меньше. Обработку можно вести на горизонтальных и вертикальных поверхностях. Извлечение остатков сломанного инструмента из крупногабаритных

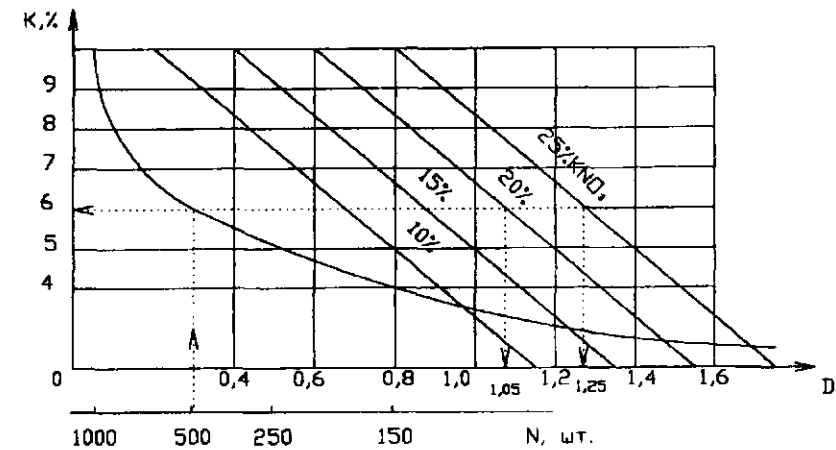


Рис. 319. Номограмма для определения состава электролита при ЭХМ

деталей можно осуществлять вне станка с применением накладной ванны (мод.4Б611). Обработка проводится на специализированных копировально-прошивочных электроэрозионных станках, которые помимо основного назначения могут быть использованы для получения небольших отверстий, щелей и полостей, не требующих высокой точности обработки.

Электрохимическое удаление заусенцев. Способ основан на анодном растворении металлов в условиях неравномерного электрического поля, когда металл удаляется преимущественно с острых кромок и заусенцев. Качество обработки при этом значительно выше, чем при механической обработке, особенно в труднодоступных местах (например, на зубчатых колесах с закрытым торцом наружного и внутреннего зацепления, в пересекающихся каналах корпусных деталей и т.п.).

Для удаления заусенца необходимо создание индивидуальной электрохимической ячейки. Поскольку инструмент во время обработки неподвижен, МЭЗ постоянно увеличивается и производительность процесса снижается. Кроме того, высота заусенца не постоянна и носит случайный характер. Поэтому при проектировании технологического процесса всегда следует стремиться травить заусеницы под корень, а не с головки (рис. 320).

Технологический процесс удаления заусенцев в общем виде состоит из следующих основных операций:

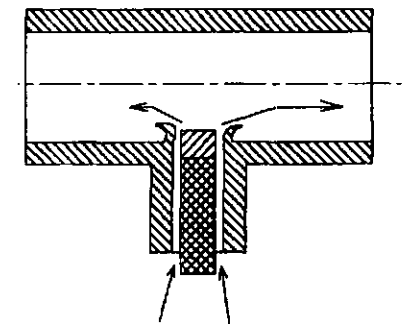


Рис. 320. Схема удаления заусенца

1. Электрохимическое травление в водном растворе нейтральной соли (обычно 15 - 20 % раствор хлористого или азотнокислого натрия).

2. Промывка проточной водой.

3. Пассивация.

Продолжительность процесса обработки подбирается экспериментально и зависит от материала заготовки, состава электролита, рабочего напряжения источника тока, размера заусенцев и требуемого радиуса скругления. На практике время обработки обычно колеблется в пределах 15 ... 100 с. Обычно удаление заусенцев сопровождается скруглением острых кромок радиусом 0,1 ... 0,5 мм. Шероховатость поверхности Ra 0,32 ... 0,63.

Глава

7

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Преимущества и область применения агрегатных станков

В конструкции *агрегатных станков (АС)* используется прогрессивный в технико-экономическом отношении принцип *агрегатирования машин*. АС имеет унифицированный шпиндельный узел и силовой узел подачи. Специальными узлами являются *шпиндельная коробка*, оснащенная *инструментальной наладкой*, и *узел установки заготовок (приспособление)*. Так образуется станочная система, адекватная по числу и расположению шпинделей системе обрабатываемых отверстий детали, а через приспособление – адекватная размерным связям с базами детали.

Автоматическая линия (АЛ) образуется при последовательном расположении станков для многопереходной обработки отверстий и других поверхностей, и оснащении их механизмами транспортировки заготовок для установки в рабочих позициях. Наибольшая эффективность АЛ из АС достигается при изготовлении сложных корпусных деталей (КД) в условиях большого объема годового выпуска (100 ... 200 тыс. шт. в год). На АЛ по обработке КД оказываются совмещенными во времени десятки и сотни технологических переходов. Так линии определяется одним, наиболее продолжительным переходом из числа всех совмещаемых (*лимитирующий переход*). Так учитывает также несомещенное вспомогательное время на передачу, фиксацию и расфиксацию заготовки в рабочей позиции, подвод и отвод инструмента – суммарно от 6 ... 8 с до 15 ... 20 с.

При уменьшенном годовом выпуске возможно применение *многономенклатурных переналаживаемых АЛ* для изготовления однотипных деталей (например, деталей размерного

ряда одного изделия) со сменой спутников и минимальной переналадкой. Переналаживаемые АЛ со сменой шпиндельных коробок могут быть целесообразны для обработки деталей нескольких наименований.

Отдельные АС используют в массовом производстве при изготовлении небольших корпусов, с большим числом обрабатываемых поверхностей, расположенных с нескольких сторон. Обработку осуществляют горизонтальными, вертикальными и наклонными головками различного типа при установке заготовок на многопозиционном *делительном поворотном столе* (ДПС), часто при двухцикловой наладке. Такая агрегатная операция аналогична обработке на АЛ, где функции транспортера выполняет многопозиционный поворотный стол.

АС с ДПС применяют также и для обработки небольших валиков, стержней, пальцев, осей усложненной конструкции. После токарной операции в таких деталях на АС сверлят осевые, внецентренные и радиальные отверстия, фрезеруют пазы, прорези, лыски, канавки и т.д.

В серийном производстве применяют переналаживаемые агрегатные станки для обработки группы однотипных деталей. В процессе наладки станка на обработку другой детали меняют зажимные приспособления, инструмент и режимы резания, изменяют положения силовых головок, заменяют шпиндельную коробку и др. На малых агрегатных станках пинольные силовые головки на кронштейнах можно перемещать по кольцевым пазам круглой станины, поворачивать вокруг вертикальной оси и фиксировать в требуемом положении.

Компоновки АС. Агрегатные станки создают из унифицированных узлов в сочетании со специальными узлами. К унифицированным узлам относятся силовые столы (прямолинейного движения и делительные поворотные столы), а также расточные, сверлильные и фрезерные бабки.

Специальными узлами являются установочные приспособления с узлами установки и направления инструмента, и шпиндельные коробки. Нормализованные унифицированные узлы позволяют создавать АС для обработки отверстий диаметром от 5 до 80 мм (расточиванием от 20 до 400 мм), подрезки торцов до 500 мм, фрезеровать поверхности шириной до 500 мм и длиной до 1500 мм. Из этих узлов, в сочетании со столами, создаются горизонтальные, вертикальные, наклонные компоновки АС для обработки заготовок с одной, двух и трех

сторон одновременно. Компоновки АС для обработки отверстий выполняются по трем группам. Область применения АС значительно расширяется при использовании многопозиционных делительных поворотных столов. В типаже предусмотрены ДПС с числом позиций от 2 до 12 (кроме семи и одиннадцатипозиционных) диаметром от 800 мм до 2000 мм. В компоновках наиболее распространены ДПС диаметрами 1000 мм и 1250 мм, четырех и шести-позиционные. Нормы точности столов группы Н и П предусмотрены ГОСТ 16460.

1. Группы точности агрегатных станков для обработки отверстий

Параметры точности обрабатываемых деталей	Группа точности		
	I	II	III
Квалитет и допускаемые отклонения, мм			
Диаметральные размеры	H6, H7*	H7, H8	H9 и грубее
Совмещение осей отверстий от номинального положения	±0,03 ... ±0,04	±0,05 ... ±0,09	±0,1 и более
Отклонение от соосности двух отверстий относительно общей оси	0,03 ... 0,04	0,05 ... 0,09	0,10 и более
Отклонение от параллельности и перпендикулярности осей отверстий на длине 100 мм к базе и между собой	0,02 ... 0,09	0,05 ... 0,09	0,10 и более
Отклонение от параллельности и перпендикулярности плоскостей на длине 100 мм к базе и между собой	–	0,03 ... 0,04	0,05 и более

*Только для расточных станков.

Примечания: 1. При наличии у обрабатываемой детали хотя бы одного параметра с допускаемой величиной отклонения по I или II группе точности, станок относится к соответствующей группе точности.

2. Резьбонарезные станки относятся к III группе точности.

3. Пересчет предельных отклонений от параллельности и перпендикулярности осей отверстий и плоскостей на различные длины производится по формуле: $\Delta_n = 0,1 \Delta_c \sqrt{l_n}$, где Δ_n – искомое допускаемое отклонение; Δ_c – допускаемое отклонение на длине 100 мм; l_n – длина, на которой производится пересчет.

Мобильность конструкции АС, высокая производительность при относительно низкой стоимости заставляют технологов искать пути целесообразного их использования при переоснащении производства для изготовления деталей многих машин с серийным выпуском, в частности – запасных частей к различным машинам. Они применимы в крупносерийном производстве, вместо универсальных сверлильных станков при многопереходной обработке в деталях групп посадочных отверстий. При последовательной обработке каждого отверстия со сменой инструментов и режимов обработки для сверления, зенкерования и развертывания и быстросменных кондукторных втулок штучное время достигает десятков минут, а доля вспомогательного времени в штучном времени превышает 60 %.

Адаптация агрегатных операций к серийному производству

Полная загрузка станка одной операцией в течение определенного времени (год, месяц, смена, час) обеспечивается при соблюдении равенства

$$F = tN,$$

где F – действительный фонд времени, мин; t – штучное время, мин/шт.; N – заданный выпуск, шт.

Если объем выпуска одноименных деталей не позволяет загрузить АС одной операцией на весь календарный период времени, то возникает необходимость в пересмотре технологического процесса для изменившихся условий. В одном случае целесообразно пересмотреть содержание операций и весь объем обработки разделить на меньшее число операций с большим штучным временем каждой (укрупнение операций). В другом случае необходимо создавать операции по обработке деталей нескольких наименований, с обеспечением загрузки высокопроизводительной АС суммарной трудоемкостью обработки нескольких деталей (многономенклатурные операции).

Укрупнение операции возможно за счет последовательного выполнения нескольких переходов обработки одних и тех же поверхностей, либо включения в нее обработки большего числа поверхностей при перекладывании детали (второй установ).

Примером укрупнения операции может быть многопереходная расточная операция по обработке нескольких отверстий с параллель-

ными осями в крупной корпусной детали. При выпуске детали с тактом $t_d = 5$ мин/шт. все три перехода (черновая, получистовая и чистовая обработка) выполнялись последовательно на трех многошпиндельных агрегатных станках. При изменившемся выпуске ($t_d = 20 \dots 40$ мин/шт.) все три перехода растачивания выполняются на одном АС последовательно со сменой борштанг. В компоновку станка входит одна агрегатная головка на силовом столе, двухпозиционный поворотный стол с приспособлением для детали и магазином для укладки сменных борштанг. В загрузочной позиции стола заготовка, установленная в приспособлении, оснащается борштангами для первого (чернового) перехода. В рабочей позиции, после перевода заготовки из загрузочной позиции поворотом стола на 180° и соединения борштанг с агрегатной головкой, осуществляется черновая обработка всех отверстий одновременно. После отделения борштанг от шпиндельной коробки, стол поворачивается на 180° , происходит смена борштанг для следующего перехода (получистового растачивания и т.д. до момента снятия детали. Если в обработке одновременно находятся две заготовки, то время замены борштанг в одной заготовке совмещается с временем обработки другой детали.

Укрупнение операции при замене инструментов в ходе их выполнения возможно с применением револьверной головки. Так используется трехпозиционная револьверная головка, оснащенная тремя инструментами (сверло, зенкер, развертка), при помощи которых обрабатывают два удаленные друг от друга базовые отверстия в корпусной детали. После обработки одного отверстия следует позиционирование на межосевое расстояние для обработки второго отверстия.

В другом варианте компоновка станка имеет неподвижный стол и две стационарные головки для одновременной обработки двух отверстий. В обоих случаях заменяется крупногабаритный АС с четырехпозиционным делительным поворотным столом.

Укрупнение операций за счет последовательной обработки заготовок с нескольких сторон возможно при ее перекладывании в процессе выполнения операции. АС с ДПС (рис. 1), после трехпереходной обработки двух отверстий с одной стороны при первом цикле, заготовка в загрузочной позиции из приспособления крайнего ряда перекладывается в приспособление внутреннего ряда для обработки отверстий на другой стороне при втором цикле.

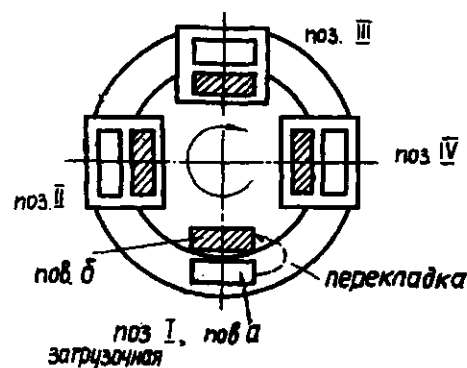


Рис. 1. Схема обработки отверстий с двух сторон при перекладывании заготовок в двухместном приспособлении

Возможны самые различные варианты построения операций с переустановкой заготовок на станках сверлильно-расточной группы. Особенно эффективны такие операции при обработке габаритных плоскостей корпусных деталей на фрезерных станках.

Разработка многономенклатурных агрегатных операций (АО) связана с охватом широкого спектра технологических задач, решаемых на основе методов групповой технологии. Групповые технологические системы должны учитывать специфику конкретных деталей, что требует применения переналаживаемых или сменных приспособлений, различных инструментальных блоков или наладок и др.

Применительно к АС сверлильно-расточной группы общим параметром для деталей одной многономенклатурной операции является межосевое расстояние обрабатываемых отверстий. Технологические системы "с суммарными возможностями" оснащаются шпиндельными коробками, которые по числу и расположению шпинделей пригодны для обработки нескольких различных деталей последовательно (иногда и одновременно), с частичной переналадкой приспособлений. Обработка стабильной группы деталей без переналадки станка и приспособления дана на рис. 2. Общими для всех деталей являются одинаковые диаметральные размеры отверстий и межосевое расстояние. На четырехпозиционном столе каждая деталь устанавливается в своем приспособлении (когда оно находится в загрузочной пози-

ции I). Обработка отверстий осуществляется последовательно в позициях II, III и IV. В позиции IV установлены две детали, одинаковые или разные.

На рис. 3 показана схема использования десятишпиндельной агрегатной головки при обработке отверстий в шести различных деталях, имеющих суммарно 14 отверстий. В зависимости от возможности размещения смежных приспособлений в позиции, можно обрабатывать одновременно не одну, а две-три детали. Шпиндели во всех рабочих позициях, не участвующие в обработке, инструментами не оснащаются и вращаются вхолостую (остаются в резерве).

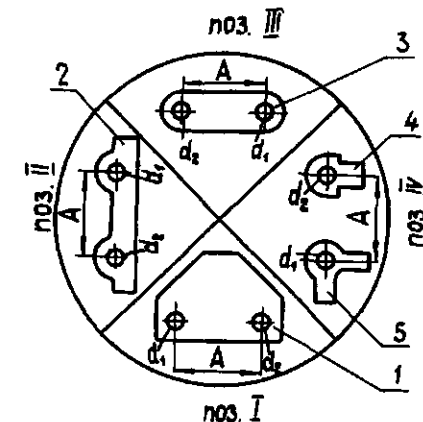


Рис. 2. Схема обработки стабильной группы деталей на шестишпиндельном АС без переналадки: 1 – 5 – номенклатура деталей

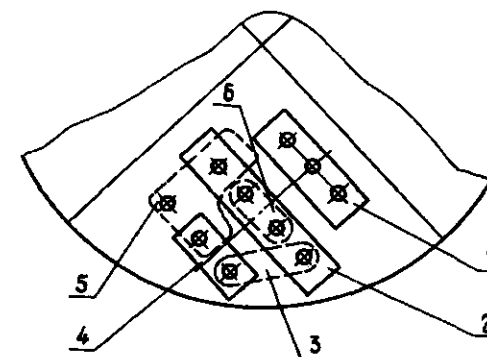


Рис. 3. Смещенная схема расположения в рабочей позиции ДПС шести деталей (1...6) для обработки в них суммарно 14 отверстий на АС "с суммарными возможностями"

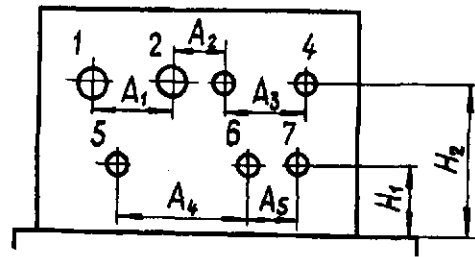


Рис. 4. Схема расположения шпинделей (1...7) на агрегатно-расточном станке "с суммарными возможностями" для обработки группы деталей с унифицированными размерами по параметрам A и H

Технологические системы с "суммарными возможностями" применяются также и на агрегатно-расточных операциях по обработке корпусных деталей нормализованных изделий. Например, для обработки основных отверстий в корпусах редукторов размерного ряда с унифицированными межосевыми расстояниями A и расстоянием H осей от плоскости основания, применима шпиндельная коробка с двухрядным расположением шпинделей (рис. 4). Операция выполняется последовательно в 3 перехода со сменой борштанг.

Для обработки каждой детали инструментами оснащаются только используемые шпиндели с соответствующим межосевым расстоянием. Переналаживаемое приспособление имеет сменные детали, в частности, для обработки отверстий верхнего ряда заготовки размещаются на подставке. Для более крупных деталей с большим числом обрабатываемых отверстий применяются системы со сменными многошпиндельными коробками. АС горизонтальной компоновки (рис. 5) имеет силовую агрегатную головку 1 со шпиндельной коробкой 2, рядом стоящий поворотный стол 5 с приспособлениями 6 для установки заготовок и комплект многошпиндельных коробок 3, 4 на кольцевом столе-транспортере, оборудованном устройствами для смены коробок. При большом числе коробок в комплекте, кольцевой стол трансформируется в конвейер подачи и адресования коробок в рабочую позицию и на автоматизированный склад, аналогично переналаживаемым автоматическим линиям.

В другом варианте при небольших размерах сменные многошпиндельные коробки устанавливаются на револьверных головках и вводятся в рабочую зону поворотом вокруг оси.

Система смены шпиндельных коробок на АС, показанная на рис. 6, имеет двухпозиционную поворотную головку в рабочей зоне и второй поворотный механизм для передачи резервных коробок. Шпиндельная коробка 3 находится в рабочем положении для обработки заготовки 5 на поворотном столе 4. Коробка 6 вводится в рабочую зону вместо коробки 3 поворотом вокруг оси 0-0. Для замены коробок 3 и 6 все устройство поворачивается вокруг оси 0, вверх по стрелке K , при помощи гидроцилиндра 2. После установки очередных коробок в магазине 7, все устройство поворотом по стрелке вниз возвращается в прежнее положение.

Смена коробок (поворот, снятие, сдвигание в нерабочее положение и выставка других коробок в рабочее положение) занимает 10...20 с. Передача сменных коробок вверх позволяет использовать объем производственного помещения. Возможны различные варианты построения операций обработки в зависимости от установки заготовок на поворотном столе. Возможна обработка одной детали со всех сторон, при повороте стола или в поворотном приспособлении, или обработка разных деталей в секторах стола.

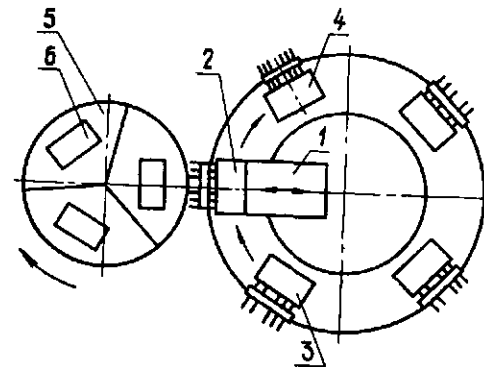


Рис. 5. Схема переоснащения АС сменными шпиндельными коробками с помощью кольцевого стола-транспортера

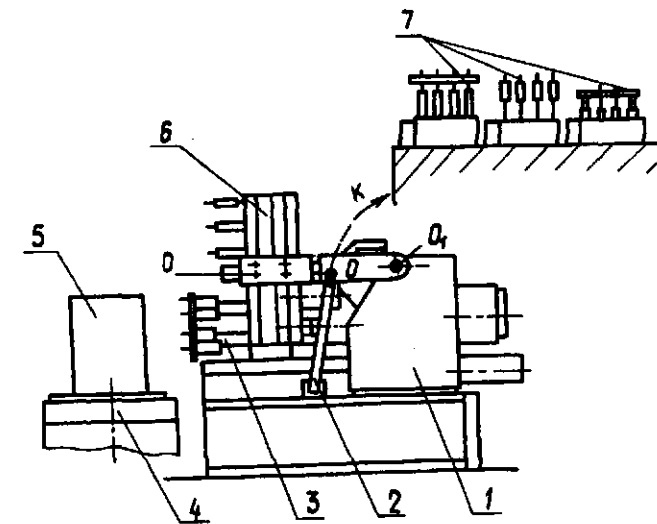


Рис. 6. Схема переоснащения агрегатной силовой головки 1 сменными многошпиндельными коробками с двумя поворотными устройствами

Следует отметить, что применение сменных многошпиндельных коробок не требует больших затрат. Цены на многошпиндельные коробки зависят от их размеров (ширина \times высота) и числа шпинделей, причем возрастают с увеличением обоих параметров весьма незначительно. Например, при размерах 400 \times 360 мм десятишпиндельная сверлильно-резьбонарезная коробка дороже двухшпиндельной в 1,6 раза. При размерах 630 \times 500 мм, та же десятишпиндельная коробка дороже коробки размером 400 \times 360 мм менее, чем в 1,2 раза.

В серийном производстве для обработки деталей партиями целесообразно применение многошпиндельных сверлильных головок с изменяющимся (регулируемым) межосевым расстоянием шпинделей в сочетании с агрегатной головкой или универсальным станком. Для регулировки головок используют специальные наладочные приспособления и фиксирующие устройства. Многошпиндельная сверлильная головка с регулируемым расположением шпинделей (рис. 7) получает вращение от шпинделя станка и через карданные звенья 1 передает движение шпинделям 4. Требуемое расположение шпинделей, достигается регулировкой с помощью соответствующего фланца-кондуктора 2 и направляющих элементов 3.

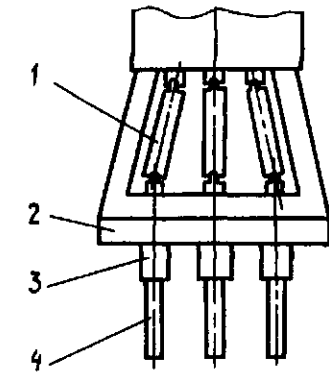


Рис. 7. Многошпиндельная сверлильная головка с регулируемым межосевым расстоянием шпинделей

Составляющие погрешности обработки в технологических системах агрегатных станков

Элементарные погрешности при обработке на АС возникают и формируются под воздействием тех же факторов, что и при обработке на других металлорежущих станках. Однако важно знать специфику воздействия отдельных

факторов на точность обработки деталей по параметрам расположения поверхностей и дать оценку удельного значения отдельных элементарных погрешностей в суммарной погрешности для их учета в проектных разработках.

Во многом специфична для АС – сумма геометрических погрешностей станка $\Sigma\Delta_{стр}$. Число составляющих этой погрешности увеличивается за счет доли погрешности Δ_{ϵ} , в связи с применением установочных приспособлений и узлов направления инструментов в составе станка, и доли Δ_r . Если обработка координированных отверстий на универсальных станках связана с позиционированием шпинделя на координаты каждого отверстия и входит в погрешность настройки, то на АС точность расположения осей отверстий обеспечивается адекватным расположением шпинделей станка и таким образом относится к геометрическим погрешностям станка.

Геометрическая точность АС регламентируется нормами точности на взаимное расположение узлов (ОСТ 2Н72-5-80) и нормами точности на узлы (бабки различного назначения, шпиндельные коробки, силовые столы и др.)

Наладка АС включает их инструментальное оснащение: осевой мерный инструмент (сверла, зенкера, развертки), многолезцовые оправки и борштанги, но погрешности их настройки оказывают влияние лишь на точность диаметральных и осевых размеров. На погрешность расположения осей отверстий влияет только погрешность установки и фиксации на шпинделе станка мерного или сборного инструмента.

Влияние погрешности установки Δ_{ϵ} , заготовок в стационарных приспособлениях и спутниках на точность обработки по параметрам расположения рассмотрена в разделе "Установка заготовок для обработки".

Колебание величин перемещений в технологической системе АС вследствие нагрева ее частей в процессе работы $\Sigma\Delta_r$ оказывает прямое влияние на точность обработки по параметрам расположения осей отверстий и на точность осевых размеров. Под влиянием общего нагрева агрегатной головки происходит смещение оси шпинделя в полярных координа-

тах, достигающее за период тепловой стабилизации десятков микрометров. Тепловые деформации инструментальных наладок большой длины заметно влияют на точность осевых размеров до подрезаемых торцов. Влияние тепловых деформаций на точность обработки систем отверстий наиболее существенно при их обработке на АС без направления инструментов.

Погрешность Δ_n в результате размерного износа режущего инструмента при обработке систем отверстий на АС формируется в сложных условиях и имеет ряд аспектов. Для отдельно взятого инструмента величина размерного износа определяется в зависимости от пройденного пути (м) в металле и удельного износа (мкм/1000 м). Работа многолезцовых наладок протекает при различных скоростях резания, неравномерных припусках на обработку в продольном и поперечном сечениях отверстий, при одновременном вступлении в работу инструментов, колебаниях характеристик твердости материала заготовок. Все это приводит к неравномерному затуплению и износу инструментов и регулированию наладок. Также изменяется величина и направление упругих деформаций элементов технологической системы, что в первую очередь сказывается на смещении оси инструментальной наладки, как наиболее податливого звена технологической системы. За период стойкости инструментов (или между подналадками) наблюдается смещение центра группирования определенного параметра и увеличение разброса его значений.

Размерный износ, как фактор точности обработки, является составной частью задачи размерной настройки технологических систем и управления точностью, решаемой расчетами на ЭВМ.

Колебание упругих деформаций технологической системы $\Sigma\Delta_r$, под влиянием нестациональности нагрузки (сил резания, сил инерции), действующих в системе переменной жесткости, как вид погрешности, в условиях многоинструментной обработки приобретает значительно более сложные формы, чем при одноинструментной обработке. Эта погрешность может быть определена как величина смещения оси отверстия под действием неуравнове-

ренных сил от всех инструментов станочной наладки. Схема действия сил характеризует структуру построения операции, поэтому погрешность $\Sigma\Delta_r$ для агрегатных операций может быть названа *структурной погрешностью $\Delta_{стр}$* .

Величины элементарных погрешностей и их удельное значение в суммарной погрешности расположения осей отверстий изменяются в больших пределах в зависимости от многих технологических факторов. Соотношение главных составляющих суммарной погрешности – геометрического смещения осей (Δ_r) и упругих отжати (Δ_{ϵ}) в ТС – непосредственно связано с силовыми нагрузками в процессе обработки.

При черновой обработке доля Δ_{ϵ} упругих отжати достигает 50 ... 60 %, доля Δ_r – геометрических составляет 20 ... 30 %. При чистовой обработке доля Δ_{ϵ} снижается до 25 ... 35 %, а доля Δ_r возрастает до 40 ... 50 % суммарной погрешности. Относительно стабильной по величине во всех операциях остается погрешность установки $\Delta_{\epsilon} = (0,2 \dots 0,35) \Delta_{сум}$.

Баланс погрешностей для различных схем и структур операций обработки систем поверхностей и методы снижения величин погрешностей рассмотрены во взаимосвязи с конкретными операциями.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Анализ технических требований к технологичности конструкций

В номенклатуре деталей, обрабатываемых на АЛ и АС, преобладают корпусные детали призматического типа, имеющие конструкторские базы в виде плоскостей и системы отверстий с требованиями по взаимному расположению. Для плоских поверхностей характерны отклонения от плоскостности 0,05 ... 0,15 мм на всей длине (обычно 300 ... 600 мм) и отклонения от параллельности 0,1 ... 0,15 мм на всей длине. Для систем основных отверстий характерны требования взаимного расположения: отклонения от соосности 0,02 ... 0,05 мм, отклонения от параллельности осей 0,03 ...

0,1 мм на длине 300 мм. Требования к отклонениям от перпендикулярности плоскостей, осей отверстий и осей отверстий к плоскостям аналогичны. Диаметральные размеры отверстий соответствуют 6 ... 8 квалитетам с отклонениями формы в пределах половины допуска на диаметр.

Крепежные отверстия располагаются по прямоугольнику или окружности при наличии размера, определяющего расположение центра группы относительно базовых плоскостей, осей основных отверстий или плоскостей симметрии. Допускаемые отклонения расположения осей отверстий в пределах 0,1 ... 0,25 мм; иногда погрешность расположения задается как допускаемое отклонение от номинала $\pm 0,15 \dots \pm 0,2$ мм (реже $\pm 0,1$ и $\pm 0,025$ мм).

Технические требования. При изучении чертежа детали есть возможность, анализируя требования точности, размеры и размерные соотношения обрабатываемых поверхностей и систем, дать им сравнительную оценку по степени сложности обработки. Так выявляются главные для технологического процесса поверхности, обработка которых связана с наибольшими трудностями. Главной системой поверхностей может оказаться не та соосная система отверстий, к которой предъявляются наиболее жесткие требования в абсолютных значениях, а та, которая обрабатывается в наиболее трудных условиях.

В качестве критерия для оценки систем отверстий могут служить величины прогибов расточных борштанг и оправок под влиянием сил резания. Расточные борштанги с резами и осевые инструменты, используемые без направления или с направлением во втулку приспособления, при расчете отжати рассматривают как балки, работающие при определенных схемах закрепления и нагружения. Даже на предварительной стадии проектирования можно определить диаметры и длины расточных оправок, режимы обработки и силы резания; с достаточной точностью рассчитать величины упругих отжати инструментов; сравнить их между собой и выявить главную систему.

Такой анализ будет способствовать принятию обоснованных решений по назначению числа переходов и выбору режимов обработки

для главной системы и построению операции в целом с учетом возможности включения в нее обработки других поверхностей. В случае, если не задан такт выпуска, то за счет рационального снижения режимов резания можно обеспечить требуемую точность при меньшем числе переходов.

Технологичность конструкции рассматривается на основе общих, присущих корпусным деталям, требований, но с учетом специфики многоинструментной, автоматизированной обработки. Необходимо оценить соответствие жесткости конструкции детали условиям многоинструментной обработки, протекающей при больших нагрузках от сил резания и соответствующих им силах закрепления.

Результаты оценки могут повлиять на выбор схемы обработки и структуры операции, уровень назначаемых режимов резания. Иногда задачу установки заготовки можно решить лишь за счет специально созданных "точек" приложения сил закрепления в виде выступов, платиков, приливов.

Специфическим требованием технологичности для применения многошпиндельного станка является ограничение наименьшего межосевого расстояния рядом расположенных отверстий у детали, в связи с конструктивными ограничениями по размещению шпинделей станка.

Во многих деталях требуется обработка стержневым инструментом большого числа крепежных и других мелких отверстий. *Общим требованием технологичности* для их обработки на многошпиндельных АС является *унификация диаметральных размеров отверстий, требований точности, применяемых инструментов*. Для групп отверстий необходима унификация по межосевым расстояниям, шагу, радиусу расположения и т.д. Этим открываются возможности для применения многошпиндельных станков с регулируемым расположением шпинделей и другими видами переналадки. Для отверстий, оси которых расположены под углом к горизонтали, важно соблюдать постоянство угла наклона. То же относится и к расположению отдельных фрезеруемых платиков и площадок.

Применительно к обработке на АЛ технологичность конструкции детали оценивается по возможности и удобству ее автоматической

транспортировки и установки в рабочей позиции. Этим условиям должны соответствовать размеры и расположение опорных поверхностей, размерные соотношения, обеспечивающие устойчивость при перемещении.

Требования к заготовкам для обработки на АС и АЛ

В производствах с большим выпуском изделий, тем более в автоматизированном, процессы изготовления заготовок и их последующей обработки следует рассматривать как этапы единого статистически управляемого технологического процесса изготовления деталей. Для этого необходимо обеспечить стабильность характеристик поступающих в обработку заготовок по определенным параметрам качества, назначенным при проектировании. При стабильной заготовке и определенных преобразующих свойствах технологической системы (жесткость оборудования и оснастки, режимы обработки, число переходов) будет достигнута проектная точность обработки в длительном производстве.

Количественная взаимосвязь между погрешностями выполняемого Δ_i и предшествующего Δ_{i-1} переходов выражается коэффициентом уточнения K_y . Для первого Δ_1 перехода обработки предшествующий переход характеризуется погрешностью заготовки $\Delta_{заг}$: $K_y = \Delta_1 / \Delta_{заг}$. Коэффициент уточнения для всего технологического процесса определяется, как произведение K_{yi} для всех n переходов

$$K_{y\sum} = \prod_{i=1}^n K_{yi}$$

В числе входных параметров заготовки главное место занимают точность координат осей отверстий отливок (расстояние от баз и МОР) и погрешности формы базовых плоскостей. Смещения осей отверстий в отливках относительно баз устраняются с большим трудом из-за относительно низкой жесткости инструментов для обработки отверстий. Отклонение от плоскостности баз оказывает влияние на весь технологический процесс через погрешность закрепления заготовки при обработке.

Применяемые заготовки. Заготовками корпусных деталей являются отливки (в песчаные формы) из серого и ковкого чугуна различных марок, алюминиевых сплавов (в кокиль) и резе из стали. По ГОСТ 26645-85 класс точности размеров отливок назначается в зависимости от материала, размеров, сложности отливок и условий производства. Литые в песчаные формы заготовки средних размеров из серого и ковкого чугуна в условиях механизированного серийного производства должно выполняться по 7т ... 12 классам, а литые в кокиль из алюминиевых сплавов – по 5т ... 10 классам. Рекомендации по назначению классов точности и допускаемых отклонений размеров заготовок приведены в главе 3.

Важным требованием со стороны последующей механической обработки является *функциональная взаимозаменяемость дублирующих кокилей*; ее отсутствие вызывает неполадки при размерной настройке режущих инструментов и регулировке приспособлений.

Механические свойства материала. Твердость материала заготовок, особенно их стабильность во времени, оказывают прямое влияние на величины сил резания при механической обработке, а, следовательно, и на точность обработки. В действительности, определенные ГОСТами предельные величины твердости для соответствующих марок материалов, часто не соблюдаются. Они значительно изменяются от партии к партии и в пределах одной партии отливок, отклоняясь как в сторону снижения, так и повышения твердости.

Большой разброс твердости материала заготовок оказывает дестабилизирующее влияние на процесс механической обработки, снижая размерную и общую стойкость инструмента, приводя к его повышенному расходу и простоям оборудования в наладке. Наблюдаемый разброс твердости материала в партии заготовок в 80 НВ и соответствующее ему изменение сил резания в 1,5 ... 1,7 раза совершенно недопустимы по условиям механической обработки. Наиболее благоприятным для производства было бы ограничение разброса твердости материала в пределах 20 НВ. По степени влияния на протекание процесса механической обработки, твердость материала заготовок относится к числу наиболее значимых. Поэтому наряду

с двумя геометрическими параметрами точности заготовок (расположение осей отверстий в отливках и погрешности формы базовых плоскостей), входным контролируемым параметром должна являться твердость материала заготовок.

Назначение требований точности. Ограничение допускаемых отклонений размеров отливок всегда связано с ограничением срока службы оснастки и в целом – с удорожанием заготовок. Поэтому повышение требований точности к заготовкам целесообразно лишь в определенных пределах.

С учетом установившихся схем многопереходной обработки различных поверхностей следует назначать размеры до осей отверстий у отливок из серого чугуна не грубее 7т ... 8 классов, для отливок из алюминиевых сплавов в кокиль 5 ... 7т классам. Размеры расположения плоских поверхностей следует ограничить 8 ... 9т классами и оговорить допускаемые отклонения формы технологических баз. Для производства важна стабильность всех параметров качества заготовок во времени. Это может быть достигнуто введением входного контроля заготовок при их поступлении на механическую обработку. Входной контроль необходим по трем параметрам: смещению осей основных отверстий от номинальных значений; отклонению от плоскостности базовых поверхностей; стабильности твердости материала заготовок.

При разработке ТУ на заготовку требования по точности не должны быть чрезмерными. При выборе заготовок необходимо учитывать основную зависимость: чем сложнее форма заготовки и точнее ее размеры, тем она дороже, но тем меньше затраты на ее последующую обработку и, наоборот, при меньшей точности заготовки снижается ее стоимость, но возрастают затраты на обработку. Выбирается такая заготовка, при которой себестоимость готовой детали будет наименьшей.

Основой для сравнения стоимости изготовления отливок и стоимости их механической обработки может явиться с одной стороны стоимость 1 кг литья разных классов точности, а с другой – стоимость механической обработки единицы площади (1 см², 1 дм²) в зависимо-

сти от вида поверхности и числа последовательно выполняемых переходов (1, 2, 3 или 4), необходимых для обеспечения точности. Эта задача при конкретном проектировании может быть решена достаточно точно, так как известны размеры и вид обрабатываемых поверхностей (отверстия, плоскости и др.), нормы времени и расценки, оборудование, оснастка и другие условия обработки.

Последовательность технологических разработок

Стадии разработки. Технологические разработки для АЛ и АС проводятся без четкого разделения на маршрутную и операционную. (По ЕСТД весь процесс обработки на АЛ составляет одну автоматизируемую операцию). Вместе с тем, технологические разработки выполняются в две стадии.

На первой стадии разрабатывают "Последовательность технологических операций". В специально оформленном чертеже приводят элементы базирования, все обрабатываемые поверхности с указанием переходов и режимов их выполнения. При этом соблюдается обычная последовательность: обрабатываются базы, выполняется обработка основных отверстий, затем – крепежных отверстий. Задача обработки второстепенных поверхностей решается часто присоединением к основной компоновке АС дополнительных фрезерных, сверлильных, расточных головок для обработки заготовки с разных сторон.

На второй стадии для каждой рабочей позиции разрабатывается специальный чертеж "Наладка инструментальная", в котором показывают заготовку с инструментами в конечном положении, наладочные размеры, направления и величину рабочих и вспомогательных ходов, режимы резания, машинное и вспомогательное время ходов. Этим чертежом руководствуются при наладке АС. Все последовательно выполняемые переходы находят отражение в циклограмме работы станка, определяющей время цикла обработки. Задачи обработки систем основных поверхностей разнообразны, а их решения многовариантны. Наиболее типичные решения выработаны по обработке базовых поверхностей, а также по выбору методов обработки, обеспечивающих точность диаметральных размеров отверстий.

Обработка баз. Базовую плоскость обрабатывают торцовым фрезерованием за два перехода на двухшпиндельном АС с круглым столом при непрерывном движении подачи. Одновременно с ней при перекладывании заготовки обрабатывают и противоположающую плоскость.

Базовые отверстия при точности межосевого расстояния $\pm 0,05 \dots 0,1$ мм обрабатывают на шестишпиндельном АС, последовательно, в 3 рабочих позициях делительного поворотного стола. В других случаях элементы базирования (плоскость и два отверстия) обрабатывают на первом участке АЛ.

Точность диаметральных размеров отверстий при окончательной обработке на АС соответствует 6 ... 8 квалитетам. При этом, в сравнимых условиях, точность обработки деталей из алюминиевых сплавов на один квалитет выше, а из стали – на один квалитет ниже, чем при обработке чугунных деталей. Обработку отверстий выполняют по нескольким вариантам (табл. 2) При применении ружейных и эжекторных сверл (глубокое сверление) для отверстий диаметром 12 ... 30 мм обеспечивается точность 7 ... 9 квалитетов и необходимость в многопереходной обработке отпадает. В связи с незначительным углом оси отверстия (5 ... 10 мкм на 100 мм длины) применять метод глубокого сверления наиболее целесообразно для обработки глубоких отверстий ($l > 5d$).

Схемы обработки отверстий выбирают в зависимости от размеров отверстий и размеров соотношений диаметра и длины. Отверстия большого диаметра при относительно малой длине (вылет инструмента $l \leq (3 \dots 4)d$) растачивают инструментом без направления. Отверстия диаметром св. 50 мм и $l > (5 \dots 6)d$ растачивают с направлением борштанги во втулках и при плавающем ее соединении со шпинделем. При этой схеме применяют также зенкерование и развертывание.

Для крепежных отверстий и отверстий другого назначения диаметром до 18 мм (реже до 30 мм) применяется обработка осевым (мерным) инструментом с направлением в кондукторных втулках и при жестком соединении инструмента со шпинделем. Во всех схемах обработки сверление производится только при жестком креплении инструмента, зенкерование и развертывание – при жестком и плавающем соединении, растачивание – при жестком креплении (резцовые блоки могут быть плавающими).

2. Варианты обработки отверстий и обеспечиваемая точность диаметральных размеров

Квалитет диаметра отверстия	Технологические переходы	Варианты обработки диаметров, мм				
		До 18	18 ... 30		Свыше 30	
		1	1	2	1	2
12	Сверление	+	+	+	–	–
11	Зенкование черновое (и однократное). Растачивание черновое	–	+	+	+	–
		–	–	–	–	+
10	Зенкерование получистовое	+	–	–	–	+
8 ... 9	Зенкерование чистовое. Растачивание получистовое. Развертывание предварительное	–	+	–	+	–
		–	–	+	–	+
		+	–	–	+	–
7	Развертывание окончательное. Растачивание чистовое	+	+	–	+	–
		–	–	+	–	+

Примечание. Технологические переходы, применяемые для 1 и 2-го вариантов обработки, обозначены знаком "+"

Проектирование наладок для агрегатных станков и автоматических линий

Исходными данными для проектирования наладки являются заданный такт выпуска, и плановая себестоимость механической обработки детали с жесточенными техническими требованиями на 20 – 30 % против указанных в чертеже, т.е. с определенным резервом точности.

Такт выпуска определяет штучное время обработки одной детали:

$$T_{шт} = CK/(60Ni)$$

где C – фонд рабочего времени в часах за расчетный период (смену, месяц, год): $K = 0,8 \dots 0,85$ – коэффициент загрузки агрегатного станка; N – программа выпуска деталей за период времени C ; i – число заготовок, одновременно обрабатываемых на одной позиции агрегатного станка. В свою очередь, $T_{шт} = T_m + T_n$, где T_m – основное время лимитирующей позиции, мин; T_n – сумма элементов неперекрываемого вспомогательного времени, затрачиваемого на выполнение данной операции, мин. Основное время на каждой нелIMITирующей позиции T_m

принимает близким к T_m , что позволяет повысить стойкость инструмента на этих позициях без ущерба для производительности. Следует стремиться к одинаковому (минимальному) времени T_m на всех позициях обработки:

$$T_m = \frac{l_n}{s_m} = \frac{l_n}{s_o n},$$

где l_n – длина рабочего хода, мм; s_m – минутная подача, мм; s_o – подача, мм/об; n – частота вращения шпинделя (детали), об/мин.

Форсирование s_o и n (n – функция скорости резания v) ограничивается жесткостью технологической системы и периодом стойкости инструмента. Для агрегатных станков принимают такой период стойкости T_n , который обеспечивает минимальную стоимость обработки, т.е. оптимизирует значение T_m при снижении затрат на инструмент, его смену и настройку. Для многоинструментальных наладок на агрегатных станках $T_n \approx 4 \dots 8$ ч, что обеспечивает смену инструмента 1 – 2 раза за рабочую смену.

Разделение обработки на черновую и чистовую необходимо, когда выполнение операции за один рабочий ход не обеспечивает получения требуемой точности обработки и параметра шероховатости поверхности. Объединение черновых и чистовых рабочих ходов недопустимо, если это влечет за собой остаточные деформации от действия сил резания или зажима, снижает производительность из-за неблагоприятного сочетания режимов резания или малой стойкости отдельных ступеней режущего инструмента.

При многопереходной обработке заготовок на многопозиционных станках бывает целесообразно не только разделить технологические переходы на черновые и чистовые, но и ввести получистовые переходы, что повышает качество обработки и стойкость инструментов, не увеличивая T_m , так как все переходы выполняются одновременно. Не рекомендуется объединять в один технологический переход чистовую и черновую обработки (например, развертывание и цекование), так как возникающие при этом вибрации вызывают огранку и другие отклонения. Если объединение технологических переходов необходимо из-за отсутствия свободных позиций, применяют компенсирующие (плавающие) устройства или обеспечивают последовательность процессов обработки, т.е. вступление в работу второго инструмента после окончания резания первым инструментом.

Иногда на многшпиндельных головках и агрегатных станках применяют комбинированные инструменты (сверло-развертку, зенкер-развертку) для обработки в процессе сверления

нескольких точных отверстий. Широкое применение таких инструментов нецелесообразно, так как кроме их сложности и дороговизны невозможен выбор рациональных режимов резания для каждого перехода и удлиняется рабочий ход.

Разделение операций на черновые и чистовые не гарантирует получения высокого качества поверхности и точности. Часто достижение точности обеспечивает не столько выполнение чистовых переходов, сколько соблюдение необходимых норм точности при черновой обработке. Например, развертывание "в линию" не может устранить отклонения от соосности отверстий после сверления.

Длина рабочего хода

$$l_w = a + L_0 + F + b,$$

где $a = 2 \dots 3$ мм – подход инструмента на рабочей подаче к обрабатываемой поверхности; L_0 – длина обрабатываемой поверхности, мм; F – длина заборной части инструмента, мм; b – перебег инструмента [$b = 2 \dots 5$ мм для сквозного отверстия (рис. 8, а); $b = 0$ для глухого отверстия (рис. 8, б)]. При входе и выходе сверл $d < 10$ мм на неровные или наклонные поверхности подачу следует уменьшать в 2 – 3 раза.

На многопозиционных агрегатных станках глубокие отверстия целесообразно сверлить за несколько технологических переходов на глубину

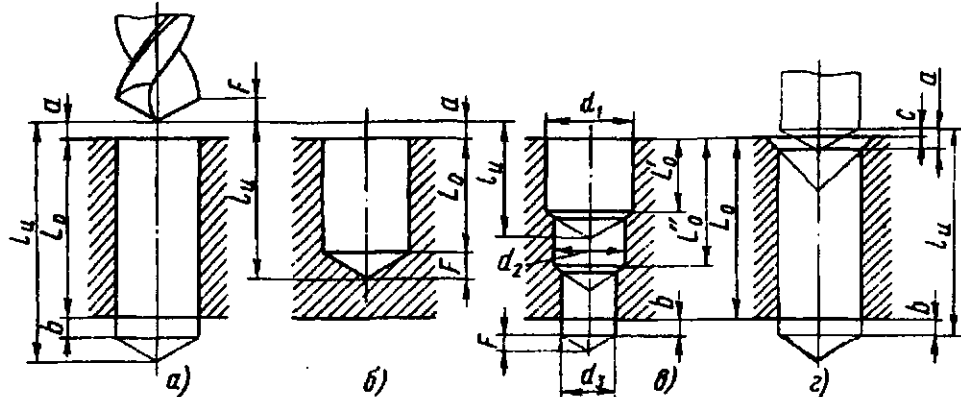


Рис. 8. Схемы определения длины рабочего хода сверла

$$L'_0 = \frac{L_0 + b + F}{n} - F;$$

$$L''_0 = \frac{2(L_0 + b + F)}{n} - F$$

и т.д. (рис. 8, а) сверлами уменьшающегося диаметра ($d_1 > d_2 > d_3$ и т.д. на 0,2 – 0,5 мм) с тем, чтобы при каждом последующем переходе просверленные участки проходили с ускоренной подачей.

Тогда $l_w = \frac{L_0 + b + F}{n} + a,$

где n – число переходов (участков).

Если ступенчатое отверстие недопустимо, обработку производят сверлом одного диаметра с многократным выводом и подводом его на ускоренной подаче. Параллельное выполнение на двух позициях сверления отверстия и снятия фаски сокращает длину рабочего хода, если сверлению предшествует центрование с учетом образования фаски заданной высоты c (рис. 8, з):

$$l_w = L_0 + b + (a - c).$$

При обработке одним инструментом нескольких разьединенных поверхностей уменьшение T_m достигается ускоренной подачей на нерабочем пространстве. Плоские поверхности

рекомендуется цековать с уменьшением подачи и выдержкой на постоянном упоре в конце цикла.

Режимы резания должны обеспечить требуемую производительность и себестоимость обработки при рациональном периоде стойкости каждого из инструментов (в минутах основного времени работы станка):

$$T_n = T_1 K_n,$$

где T_1 – период стойкости одного инструмента (в минутах основного времени работы станка) в зависимости от его диаметра d (мм).

K_n – коэффициент, учитывающий число инструментов n в данной наладке.

Период стойкости инструмента T_1 при сверлении на агрегатных станках:

Диаметр инструмента, мм	Св. 10	Св. 15
До 10	до 15	до 30
T_1 , мин	20	30
Диаметр инструмента, мм	Св. 15	Св. 20
до 20	до 30	до 40
T_1 , мин	40	50

Для инструментов $d > 60$ мм стойкость $T_n = 150 \dots 300$ мин в зависимости от сложности наладки. Период стойкости фрез см. табл. 3.

3. Период стойкости фрез T_1 , в минутах основного времени работы станка

Тип	Диаметр фрезы, мм								
	20	50	75	100	150	200	300	400	500
<i>Фрезы из быстрорежущей стали</i>									
Торцовые и дисковые	–	100	120	130	170	250	300	400	500
Прорезные	–	80	90	100	110	120	–	–	–
Концевые	60	80	–	–	–	–	–	–	–
Цилиндрические	–	100	170	280	400	–	–	–	–
Радиусные	–	60	80	100	–	–	–	–	–
Двухугловые	–	100	150	170	–	–	–	–	–
Концевые для сегментных шпонок	60	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Фрезы из твердого сплава</i>									
Торцовые и дисковые двусторонние	–	–	90	120	200	300	500	600	800
Дисковые трехсторонние	–	–	130	160	200	300	–	–	–

Значения K_n в зависимости от числа инструментов:

<i>при сверлении:</i>				
n , шт.	1	3	5	
K_n	1	2,5	3,5 – 4	
n , шт.	8	10	15 и более	
K_n	4 – 5	4,5 – 6	5 – 7	
<i>при фрезеровании:</i>				
n , шт.	1	2	3	6 и более
K_n	1	1,15	1,45	2

Большие значения K_n принимают для меньших диаметров инструментов. Скорость резания каждого инструмента определяют по нормативам, с учетом периода стойкости этого инструмента

$$T = T_n \lambda,$$

где $\lambda = L_0/l_n$ – коэффициент продолжительности резания каждого инструмента: L_0 – длина обрабатываемой поверхности, мм; l_n – длина рабочего хода инструмента, мм.

При $L_0/l_n > 0,7$ принимают $\lambda = 1$. У фрезерных станков с круглым столом L_0 является суммарной длиной резания всех деталей, установленных на столе и обрабатываемых фрезой. За длину рабочего хода l_n в этом случае принимают длину окружности πd_p , по которой ведется обработка (d_p – средний диаметр расположения поверхностей, обрабатываемых данной фрезой).

С учетом выбранных режимов резания определяют основное время T_m обработки на лимитирующей позиции, к которому приравнивают T_m обработки на всех остальных позициях. Рассчитанные по нормативам режимы резания рассматривают как проектные, которые при внедрении в производство доводят до оптимальных значений (повышают, если операция является узким местом, или понижают, если это диктуется недогрузкой, целесообразностью многостаночного обслуживания и т. п.).

Инструментальная оснастка агрегатных станков в большинстве случаев состоит из блоков инструмента, каждый из которых включает рабочий и вспомогательный инструменты.

В качестве рабочего инструмента применяют стандартный или специальный режущий и деформирующий инструменты, геометриче-

ские параметры, качество и стойкость которых должны быть стабильными.

Для обработки отверстий используют широкую гамму осевых инструментов из быстрорежущей стали, твердого сплава, сверхтвердого материала и с механическим креплением сменных многогранных пластин. Если выполнение всех запрограммированных переходов обработки лимитирует невозможность размещения на станке соответствующего числа силовых головок, применяют комбинированный инструмент, предпочтительно сборный и регулируемый. Многоступенчатый инструмент используют также для обработки за один рабочий ход нескольких соосных поверхностей.

Осевой режущий инструмент с коническим хвостовиком закрепляют в переходных регулируемых втулках-удлинителях, которые снимают в сборе (блоком), демонтируют, собирают и настраивают по длине вне станка.

Предпочтительно применять сверла точного исполнения, шлифованные по целому:

$d \leq 13$ мм с цилиндрическим хвостовиком и лапкой;

$d > 13$ мм – с коническим хвостовиком Морзе.

Сверла с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в разрезных конусных втулках Морзе 1 при $d \leq 9$ мм и Морзе 2 при $d > 9 \dots 13$ мм или в цанговых патронах, допускающих регулирование вылета сверла после переточек.

Размерная настройка технологических процессов

Разработка системы размерной настройки (РН) для технологических процессов с большим числом режущих инструментов представляет раздел проектирования, где комплексно решаются технологические, метрологические и экономические задачи. От их решения зависят потери рабочего времени в связи со сменой и регулировкой инструментов, затраты на инструментальную оснастку и потери от брака. На АЛ по обработке корпусных деталей потери времени "по инструменту" составляют до 40 % от всех потерь и 6 ... 10 % от фонда времени работы оборудования. На участках чистового растачивания простои по вине инструмента достигают 12 ... 17 % фонда времени.

Содержание РН. В процессе разработок рассчитываются величины настроечных размеров ("точка настройки" в поле технологиче-

ского допуска), устанавливается периодичность контроля размеров, время подналадки инструментов и их смены по истечении периода стойкости. Выбираются универсальные и разрабатываются специальные приборы и приспособления для настройки инструментов вне станка, регулировки и подналадки на станке. Подлежат разработке вопросы статистически управляемого ТП, такие как установление контрольных границ для определенных размеров, периодичность контроля и объемы контрольных выборок; предъявляются требования к поступающим на обработку заготовкам по установленным "входным" параметрам.

Методы контроля в производстве назначаются в зависимости от точности выдерживаемых размеров. При обработке отверстия по 5 – 7 квалитетам применяются индуктивные приборы активного контроля в составе устройств автоподнастройки. При точности 7 – 8 квалитетов применяются индуктивные, пневматические, оптические приборы вне АЛ. При обработке по 8 – 10 квалитетам удовлетворяют требованиям точности контроля индикаторные приборы, а при точности обработки по 10 – 12 квалитетам – предельные калибры.

Настроечные размеры при многопереходной обработке отверстий целесообразно определять после расчета припусков на обработку, приняв в качестве исходных расчетные промежуточные размеры и технологические допуски по каждому переходу обработки данной поверхности.

"Точка" РН должна занять такое положение в поле допуска промежуточных размеров, при котором, с одной стороны, будет максимальным период времени работы инструмента между подналадками, а с другой стороны, будет минимальной опасность получения брака, в начальный момент времени после настройки. Применяемая в производстве настройка на середину поля допуска приводит к более частой подналадке.

Несоблюдение промежуточных размеров и расчетных величин наибольших и наименьших припусков при наладках и регулировках инструментов нарушает стабильность условий обработки, в первую очередь, по глубине резания на чистовых переходах.

Процесс РН инструмента включает несколько разобренных во времени действий. Вначале инструмент настраивается с заданной точностью вне станка. Резцы в многорезцовых оправках настраиваются на размер радиуса

отверстий и глубину ступенчатых отверстий; резцовые блоки – на длину; осевой инструмент в сборе с удлинителями – на длину. При установке инструмента на шпинделе станка возникает погрешность фиксации (закрепления). Последующие подналадки, выполняемые с целью компенсации непрерывно возрастающей погрешности от износа резца, связаны с погрешностью регулировки инструмента.

Погрешность РН. Как составная часть суммарной погрешности обработки погрешность настройки инструмента на размер должна находиться в определенном соотношении с другими погрешностями и выдерживаемым допуском. Например, в балансе суммарной погрешности на операции чистового растачивания с допуском 25 ... 50 мкм, упругие деформации составляют 5 ... 10 мкм, погрешность настройки 5 ... 20 мкм, допускаемый износ между подналадками 5 ... 15 мкм. Точность настройки инструмента вне станка обеспечивается применением соответствующих методов.

Фиксация (установка и закрепление) настроенного инструмента на шпинделе станка связана с возникновением дополнительной погрешности. Так при установке резцовой оправки по цилиндрической выточке и закреплении винтами как радиальное смещение, так и осевое составляют 3 ... 15 мкм. При сопряжении наладки и шпинделя по конусу радиальная погрешность снижается, а осевая – возрастает.

Погрешность фиксации предварительно настроенных резцовых блоков в борштангах и оправках составляет 5 ... 20 мкм. Неперестачиваемые твердосплавные пластины рассматриваются как настроенный вне станка инструмент. Погрешность их фиксации составляет 5 ... 15 мкм, что позволяет произвести настройку с точностью 20 ... 35 мкм и обеспечить точность обработки (с учетом влияния износа) в 0,1 ... 0,2 мм.

Регулировка инструмента на станке производится с целью компенсации погрешности, возникшей при установке и закреплении (фиксации) его на станке. Тонкая регулировка без расфиксации инструмента с микрометрическими винтами типа "микробор" позволяет снизить погрешность настройки с 10 ... 50 мкм до 5 ... 10 мкм и обеспечить точность растачивания по 7 – 8 квалитетам. При размерной стойкости резца 40 ... 100 мкм и доле размерного износа в выдерживаемом допуске 5 ... 15 мкм возникает необходимость в нескольких регулировках (подналадках) инструментов.

Периодичность подналадок устанавливается, исходя из наименьших потерь времени (пристоев оборудования). Подналадку производят обычно в конце смены или в середине смены. Это иногда оказывает влияние на выбор инструмента и назначение режимов резания.

Настройка инструментов вне станка. Методы РН инструментов выбирают в зависимости от требуемой точности настройки и в соответствии с точностью обработки. Погрешность настройки формируется под влиянием присущих методу настройки факторов и определяется суммированием элементарных погрешностей как случайных величин.

Настройка по эталону и индикатору применяется для операций чистового и получистового растачивания и при подрезании внутренних торцов. Индикаторный прибор настраивается по эталону, являющемуся носителем настроечного размера; затем по настроенному прибору настраивается резец в оправке (или резцовый блок). Настройка заканчивается фиксацией инструмента в настроенном положении. При настройке расточного инструмента применяют прибор с призматической опорой типа "наездник" и индикатором с ценой деления от 1 до 10 мкм. Настройка производится на размер 2 мкм.

Погрешность настройки по эталону включает ряд элементарных погрешностей: Δ_z – погрешность изготовления эталона (обычно $\Delta_z = 2 \dots 8$ мкм); Δ_6 – погрешность базирования прибора на эталоне и инструментальной оправке (определяется расчетом); $\Delta_{ин}$ – погрешность настройки по индикатору. Она обычно превышает погрешность цены деления индикатора: при цене деления: 10 мкм – в 1,1 – 1,2 раза ($\Delta_{ин} = 11 \dots 12$ мкм); цена деления 2 и 1 мкм – в 1,5 – 2 раза ($\Delta_{ин} = 3 \dots 2$ мкм); Δ_ϕ – погрешность фиксации. Она сводится к возможному минимуму.

Погрешность настройки по эталону

$$\Delta_{нз} = K \sqrt{\Delta_z^2 + \Delta_6^2 + \Delta_{ин}^2 + \Delta_\phi^2},$$

где $K = 1,2$ учитывает отклонение распределения величин от закона нормального распределения.

По опытным данным, погрешность настройки по индикатору с ценой деления 0,01 мм составляет 0,024 ... 0,034 мм.

Для снижения погрешности необходимо обеспечить точность базовой шейки инструментальной оправки равной точности эталона, а регулировку производить микрометрическим винтом.

Установы и шаблоны с предельными размерами применяются преимущественно для настройки осевых инструментов (сверл с удлинителями) на длину при подборе их в комплекты для многоинструментальных наладок. Настройка на длину для обработки глухих отверстий, снятия фасок или подрезки торцов требует оснастки с отсчетными устройствами микрометрического типа или нониусом.

Настройка по жесткому установу (шаблону) применяется для резцов при предварительном растачивании. При настройке по жесткому установу, в отличие от эталона, резец непосредственно соприкасается с его мерительной поверхностью и становится неизбежным появлением зазора.

Погрешность настройки по жесткому установу:

$$\Delta_{нж} = K \sqrt{\Delta_{ш}^2 + \Delta_6^2 + \Delta_z^2 + \Delta_\phi^2},$$

где Δ_6 – погрешность базирования, определяемая в соответствии со схемой базирования (на призме, хвостовиком в отверстии, по плоскости и двум отверстиям и т.д.); $\Delta_{ш}$ – погрешность изготовления шаблона (установа), обычно $\Delta_{ш} = 0,01 \dots 0,04$ мм; Δ_z – величина зазора между поверхностью установа и режущим лезвием.

По опытным данным, погрешность настройки по жесткому установу $\Delta_{нж} = 0,06 \dots 0,09$ мм.

Погрешность настройки можно снизить на 10 – 15 % при применении шупа (отъемной части шаблона). При установке по шупу погрешность от зазора практически заменяется погрешностью изготовления шупа ($\Delta_{ш} = 0,02 \dots 0,01$ мм).

Погрешность настройки по жестким мерителям зависит от многих факторов. При использовании приборов в закреплённом состоянии (магнитные устройства или механическое крепление) погрешность снижается на 15 – 30 %. Значительное влияние оказывает конструкция наладочных приборов, их компоновка. Напри-

мер, при вертикальном расположении осевого инструмента при настройке на длину исключаются зазор и провисание наладки, снижается погрешность. Важно исключить или снизить влияние факторов, зависящих от наладчика: скорость движений, прикладываемые усилия, особенности зрения. В одинаковых условиях средние величины погрешностей настройки для двух наладчиков отличались в 1,6 раза.

Для установки инструментов на станке на его неподвижных частях предусматриваются базы в виде площадок, уголков, призм, отверстий, хвостовиков и т.д. для ориентации наладочных приборов и приспособлений.

Наладочные устройства могут быть размещены и на приспособлении. Например, при установке торцовых фрез настроечное приспособление устанавливается на плоскость и два пальца рабочего приспособления, в место детали. Положение фрез регулируется в отношении поверхностей установа с помощью шупа.

УСТАНОВКА ЗАГОТОВОК ДЛЯ ОБРАБОТКИ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

Приспособления агрегатных станков и автоматических линий. На АС и АЛ заготовки устанавливают стационарные приспособления, приспособления, располагаемые на поворотных и подвижных столах, а также приспособления-спутники.

Ввиду разнообразия деталей, обрабатываемых на агрегатных станках, приспособления всегда являются специальными узлами станков. Однако, при решении технологических задач узлы установки заготовок и узлы направления инструментов целесообразно рассматривать в качестве приспособлений.

При обработке партии заготовок на агрегатном станке в одном приспособлении погрешность установки определяется отклонением фактически достигнутого положения заготовки от требуемого, исходя из геометрических связей этого размера с технологическими базами. Погрешность, присущая самому приспособлению агрегатного станка, является систематической постоянной погрешностью и может быть учтена при настройке.

Установка заготовок в приспособления, располагаемые на подвижных или делительных столах АС, а также в приспособления-спутники АЛ имеет специфические особенности.

Здесь обработка производится при последовательной передаче приспособления с заготовкой с одной рабочей позиции на другую с автоматической фиксацией. При большом числе рабочих позиций и комплекте приспособлений-дублеров погрешность установки становится случайной величиной, компенсировать которую настройкой не представляется возможным. Установка каждой заготовки ведется последовательно во всех приспособлениях рабочих позиций, т.е. в каждом приспособлении обрабатываются последовательно все заготовки.

В этих условиях технологические базы заготовок (особенно базовые отверстия, в которые вводятся выдвижные фиксаторы) изнашиваются и искажаются, что ведет к возрастанию погрешности установки заготовок от позиции к позиции до больших значений. Так, доля погрешности установки в общей погрешности расположения осей отверстий, обработанных на разных позициях, достигает 50 – 60 %.

Влияние износа базовых отверстий детали зависит от числа фиксаций, точности межосевых расстояний отверстий, материала и массы детали.

Погрешность установки заготовок для обработки определяется на базе основ технологии машиностроения. Суммарная погрешность ϵ_y установки заготовок на АЛ со спутником, включает погрешность $\epsilon_{з}$ заготовки в спутнике и погрешность ϵ_{yc} установки спутника в рабочей позиции АЛ:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_{yc}^2 + \epsilon_{з}^2}.$$

В свою очередь

$$\epsilon_{yc} = \sqrt{\epsilon_{6c}^2 + \epsilon_{3c}^2 + \epsilon_{yn}^2 + \epsilon_{nc}^2 + \epsilon_{нз}^2},$$

$$\epsilon_{з} = \sqrt{\epsilon_{6з}^2 + \epsilon_{3з}^2},$$

где ϵ_{6c} – погрешность базирования спутника; ϵ_{3c} – погрешность закрепления спутника; ϵ_{yn} – погрешность изготовления спутников по взаимному расположению установочных элементов для заготовки и установочных элементов для спутника в рабочей позиции; ϵ_{nc} – погрешность от износа установочных элементов спутника в рабочей позиции; $\epsilon_{нз}$ – погрешность от износа спутников по установочным элементам для заготовки; $\epsilon_{6з}$ и $\epsilon_{3з}$ – соответственно погрешности базирования и закрепления заготовок в спутнике.

Определение погрешности установки заготовок (спутников) в рабочих позициях автоматических линий. Как для корпусных деталей, так и для спутников наибольшее распространение получила схема базирования по одной плоскости и двум цилиндрическим отверстиям (рис. 9).

При базировании по горизонтальной плоскости фактическое положение заготовок (спутников) в рабочих позициях определяется сочетанием угловых и плоско-параллельных смещений на зазорах узлов фиксации.

При повороте заготовки на угол α_2 из номинального положения I в положения II и III при выборе зазоров S_{\max} в противоположные стороны, смещение рассматриваемой точки (точки M) зависит от места ее расположения, а траектория представляется в виде дуги MC окружности, описанной радиусом R из центра поворота O_n в каждую сторону:

$$MC = \varepsilon = \frac{S_{\Sigma \max}}{L} R.$$

Составляющие этой погрешности (MC) определяются смещением по осям X и Y

$$\varepsilon_x = \varepsilon \cos \gamma; \quad \varepsilon_y = \varepsilon \sin \gamma,$$

$$R = \frac{x}{\sin \gamma} = \frac{y}{\cos \gamma}.$$

Величины X , Y определяют расстояние точки M от соответствующих осей координат. Расчетные зависимости для определения смещений точки по осям координат

$$\varepsilon_x = \frac{S_{\Sigma \max}}{L} y; \quad \varepsilon_y = \frac{S_{\Sigma \max}}{L} x.$$

Для точек, размещенных в зоне $R_1 = \frac{L}{2}$

(точка P), смещение при повороте меньше половины суммарного зазора $S_{\Sigma \max}$, поэтому для этой зоны следует принимать в расчет случай смещения при плоскопараллельном движении как наибольшее для этой области (не выходящей за центры базовых отверстий)

$$\varepsilon = r = \frac{S_{\Sigma \max}}{2}.$$

В табл. 4 приведены формулы для определения погрешности базирования для различных областей расположения обрабатываемых поверхностей.

Для отдельно взятой заготовки (спутника) погрешность ее базирования на рабочей позиции определяется смещением заготовки в одном из рассматриваемых направлений. Для большого числа фиксаций заготовок (спутников) варианты смещения и значения погрешностей базирования являются случайными; поэтому в производстве рассматриваемая точка (например, ось отверстия, номинально соответствующая точке M с координатами X и Y) может располагаться в некоторой области F , ограниченной в направлении осей X и Y величиной плоскопараллельного смещения $\pm \frac{S_{\Sigma}}{2}$

или с погрешностью от поворота заготовки (спутника) на угол $\pm \alpha_2$ (дуги MC_1 и MC_2).

Поворот заготовки (спутника) при выборе зазоров в противоположные стороны и смещение (плоскопараллельное) заготовки (спутника) в плоскости расположения базы в произвольном направлении можно устранить, применив механизм досылки заготовки (спутника) к одной и той же стороне. При этом погрешность базирования для любой точки не превысит половины суммарного зазора и, как систематическая величина, может быть учтена при размерной настройке технологического процесса.

Погрешность базирования в направлении, перпендикулярном установочной плоскости, теоретически отсутствует, а фактически имеет место из-за погрешности формы базовой плоскости заготовки (или спутника):

$$\varepsilon_b = KT_{\text{пл}},$$

где K – коэффициент, учитывающий вид опор и их расположение. Для трехточечных опор $K = 0,5 \dots 0,8$, при установке на планки $K = 0,2 \dots 0,24$. $T_{\text{пл}}$ – допуск плоскостности поверхности заготовки.

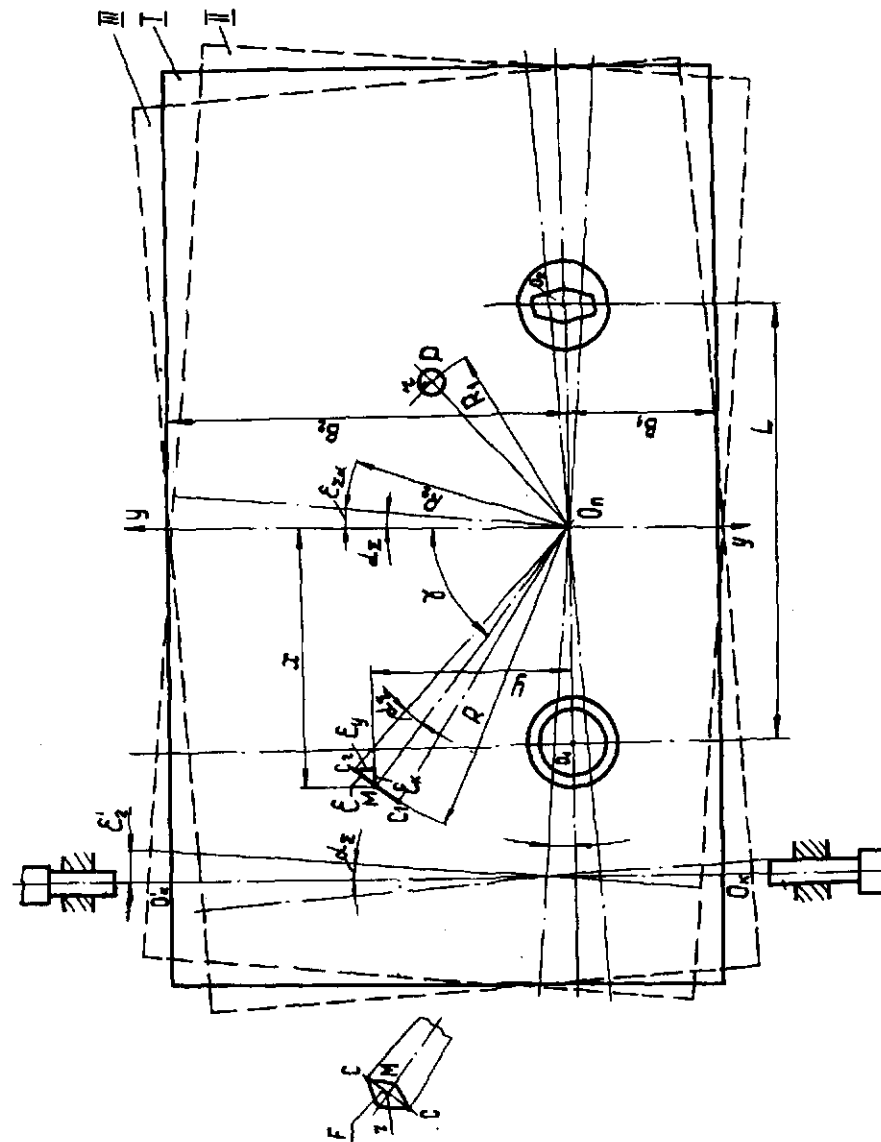


Рис. 9. Схема влияния погрешности базирования заготовки на расположение осей отверстий

4. Формулы для определения погрешностей базирования на плоскость и два отверстия (см. рис. 9)

Область расположения точки заготовки	Выдвижные фиксаторы	Неподвижные пальцы
В плоскости XOY при расположении точки на расстоянии R :		
$< \frac{L}{2}$	$\epsilon_x = \epsilon_y = \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{2}$	$\epsilon_x = \epsilon_y = \frac{S_{\max}}{2}$
$\frac{L}{2}$	$\epsilon_{\alpha_\Sigma} = \frac{S_{\Sigma_{ц. \max}} + \Delta_{\Sigma_{р. \max}}}{2L}$	$\epsilon_{\alpha} = \frac{S_{ц. \max} + \Delta_{р. \max}}{2L}$
$> \frac{L}{2}$	$\epsilon_{\alpha_\Sigma} = \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{L} R$ $\epsilon_x = \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{L} Y$ $\epsilon_y = \frac{S_{\max} + \Delta_{\max}}{L} X$	$\epsilon_{\alpha} = \frac{S_{\max}}{L} R$ $\epsilon_x = \frac{S_{\max}}{L} Y$ $\epsilon_y = \frac{S_{\max}}{L} X$

Обозначения:

S_{\max} – максимальный диаметральный зазор в любом сопряжении установочного пальца или фиксатора с заготовкой;

$S_{\max} = S_{ц. \max} = S_{р. \max}$; Δ_{\max} – максимальный диаметральный зазор в любом сопряжении фиксатора с направляющей втулкой;

$\Delta_{\max} = \Delta_{ц. \max} = \Delta_{р. \max}$; $S_{\Sigma_{ц. \max}}$, $S_{\Sigma_{р. \max}}$ – максимальные суммарные зазоры в сопряжениях цилиндрического и ромбического фиксаторов;

$S_{\Sigma_{ц. \max}} = S_{ц. \max} + \Delta_{ц. \max}$; $S_{\Sigma_{р. \max}} = S_{р. \max} + \Delta_{р. \max}$; ϵ_x , ϵ_y – погрешности базирования, определяемые в направлении осей координат;

ϵ_{α} – погрешность базирования от поворота заготовки на зазорах;

ϵ_{α_Σ} – погрешность базирования от поворота заготовки на суммарном зазоре от s_{\max} и Δ_{\max} .

Спутник после фиксации в рабочей позиции необходимо надежно закрепить для предупреждения смещений последнего на базовой плоскости от воздействия сил резания (рис. 10).

В общем случае точка O_1 приложения усилия закрепления смещена от оси симметрии опорных планок на расстояние e_x и e_y .

Суммарная сила резания P стремится повернуть спутник вокруг точки O_1 приложения усилия закрепления. Требуемое усилие закрепления спутника Q , обеспечивающее условия сохранения им фиксированного положения в позиции относительно настроенных на размер инструментов определяется формулой

$$Q = \frac{KPh}{f(AI + Ec + Fb)},$$

где K – коэффициент запаса; принимаемый 1,5 ... 2; f – коэффициент трения в стыке спутник – опорные планки.

$$A = (0,17 + 0,14m)(1 - 8\lambda^2);$$

$$E = 0,44 - 1,36m^2; \quad F = 0,34 - 0,28m;$$

$$m = \frac{e_x}{c}; \quad \lambda = \frac{e_y}{l}.$$

Геометрические и силовые факторы, представленные в формуле, определяют выбор узла зажима спутника.

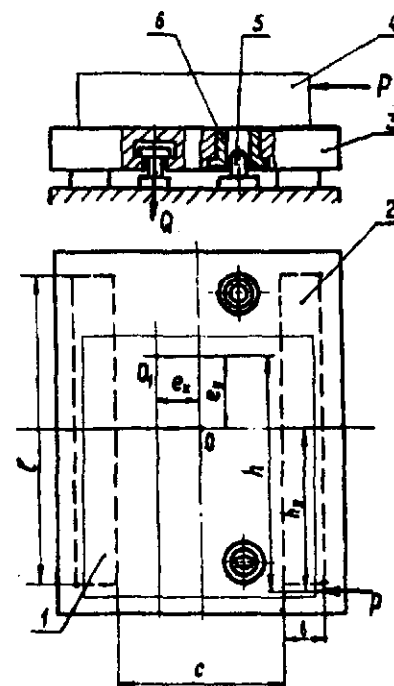


Рис. 10. Геометрические параметры, влияющие на усилие закрепления спутника в позиции: 1, 2 – планки опорные; 3 – спутник; 4 – заготовка; 5 – фиксатор; 6 – втулка фиксатора

Узлы направления инструментов. Положение осей отверстий на АЛ и АС определяется узлами направления режущего инструмента (кондукторными плитами), являющимися элементами станочных приспособлений. Характерные для АС и АЛ вопросы точности обработки отверстий жесткозакрепленным инструментом рассмотрены на с. 000. На точность расположения оси отверстия оказывают влияние зазор между инструментом и втулкой, длина втулки, вылет инструмента и др. Для приспособлений АЛ и АС важны названные параметры и размерная связь узла направления инструмента с базовыми элементами приспособления. Находят применение несколько вариантов взаимосвязи кондукторных плит с приспособлениями.

Кондукторная плита, установленная в приспособлении, является неотъемлемым его элементом. В этом случае число узлов направления соответствует числу приспособлений, даже если отверстия обрабатывают всего в

нескольких рабочих позициях. Кондукторные втулки в данном случае нагружены мало и долго сохраняют точность. Влияние погрешности установки на точность расположения оси отверстия ограничено только погрешностью установки заготовки в приспособлении. Погрешность установки приспособления в позиции увеличивает смещение осей кондукторной втулки и инструментальной наладки, что может привести к увеличению упругих отжатий системы и повышенному износу кондукторных втулок. При этом возможно эффективное снижение геометрического смещения оси инструмента благодаря сближению втулки с обрабатываемой поверхностью.

Кондукторные плиты, стационарно установленные в рабочих позициях, позволяют сократить число узлов направления режущего инструмента. На точность расположения оси отверстия относительно установочных баз заготовки непосредственно влияет суммарная погрешность ее установки в рабочей позиции АЛ. Характерен также большой вылет конца инструмента за торец направляющей втулки.

Кондукторные плиты, подводимые при движении подачи агрегатной головки и фиксируемые по специальным элементам самих приспособлений (рис. 11), позволяют устранить

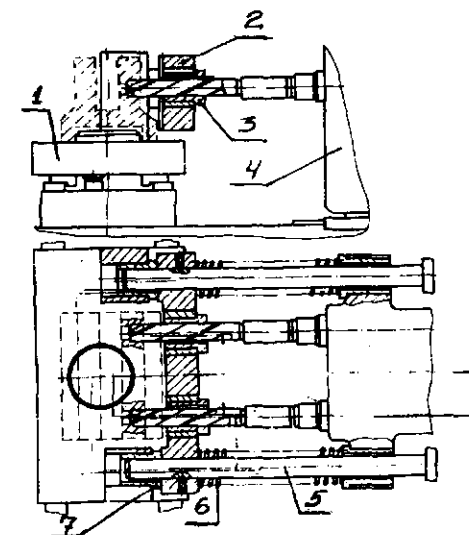


Рис. 11. Подвижная кондукторная плита, фиксируемая на приспособлении: 1 – приспособление; 2 – кондукторная плита; 3 – сменная кондукторная втулка; 4 – агрегатная головка; 5 – направляющая штанга; 6 – пружина; 7 – направляющая втулка

непосредственное влияние погрешности установки приспособления в позиции. На положение оси отверстия оказывают влияние погрешность установки заготовки в приспособлении и погрешность фиксации кондукторной плиты на приспособлении. Подвижные кондукторные плиты часто применяются на станках вертикальной компоновки с делительным поворотным столом. При их использовании освобождается операционное пространство станка и улучшаются условия технического обслуживания.

ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

Эксплуатационные качества корпусных деталей в значительной степени определяются точностью форм плоских поверхностей и их взаимным расположением. Точность обработки плоскостей оказывает также доминирующее влияние на точность обработки всех остальных поверхностей детали, в связи с использованием их в качестве технологических баз. При контактировании базовой плоскости с установочными элементами приспособления, заготовка под действием зажимных сил деформируется, а обработанные в этом состоянии поверхности, после снятия зажимных сил, изменяют свое положение и форму. При сборке сопрягаемые поверхности двух деталей в свободном состоянии, из-за отклонений от плоскостности, соприкасаются друг с другом в отдельных точках, и их прилегание будет обеспечиваться затяжкой за счет контактных и упругих деформаций деталей. Это приводит к нарушению достигнутой при обработке точности расположения осей ответственных отверстий, погрешностям взаимного расположения деталей при сборке и, в конечном счете, вызывает функциональные нарушения в работе собранных механизмов.

В зависимости от условий контактирования заготовки с базовыми элементами приспособления, под влиянием неравномерной жесткости конструкции детали, из-за различной ширины фрезерования и переменной глубины резания, в процессе фрезерования образуется поверхность со сложным рельефом. На топографиях двух сопрягаемых плоскостей головки блока и блока цилиндров (рис. 12) можно видеть, что при сборке произойдет деформация

деталей, т.к. в большинстве точек сопряжения существуют значительные зазоры до 0,08 мм, а в некоторых точках наоборот – "натяги". Максимальный натяг достигает 0,12 мм, а суммарное отклонение от плоскостности у сопрягаемых плоскостей составляет 0,2 мм.

Точность обработки. Для плоских поверхностей корпусных деталей характерны следующие требования точности:

- отклонение от плоскостности 0,05 ... 0,15 мм на длине 400 ... 600 мм;
- местное отклонение от плоскостности 0,03 ... 0,05 мм на длине 100 мм;
- отклонение от параллельности плоскостей 0,1 ... 0,15 мм на длине 400 ... 600 мм;
- допуск на выполнение размера между параллельными плоскостями 0,05 ... 0,25 мм;
- параметр шероховатости поверхности 12,5 ... 2,5 мкм.

Плоские поверхности могут располагаться с разных сторон корпусной детали, находиться в разных плоскостях (горизонтальной, вертикальной) и могут быть параллельными, перпендикулярными и наклонными. В соответствии с этим создаются станки горизонтальной и вертикальной компоновки, с агрегатными головками для односторонней, двух- или трехсторонней параллельной или последовательной обработки плоскостей. Точность обработки зависит от геометрических погрешностей станка, упругих и тепловых деформаций технологической системы, погрешности установки заготовок для обработки, погрешности настройки фрез на заданный размер и износа зубьев фрезы. Большое влияние оказывает стабильность механических свойств материала заготовок, точность их размеров, конфигураций плоскостей и величина припусков.

Основной метод обработки плоскостей – торцовое фрезерование в два-три перехода при базировании по противоположащей или перпендикулярной ей плоскости. Обеспечиваемая при торцовом фрезеровании плоскостей корпусных деталей на АС точность размеров и форм связана с компоновкой станка, зависит от числа переходов и других условий обработки. Фрезерные участки АЛ часто являются узким местом АЛ, т.к. время обработки поверхностей большой протяженности превышает такт линии. Чтобы уложиться в такт, фрезерование производится при повышенных режимах ($S_w = 1100$ мм/мин при обработке чугуна). Создаваемые нагрузки от сил резания и сил закрепления заготовок вызывают повышенные упругие деформации и снижение точности обработки.

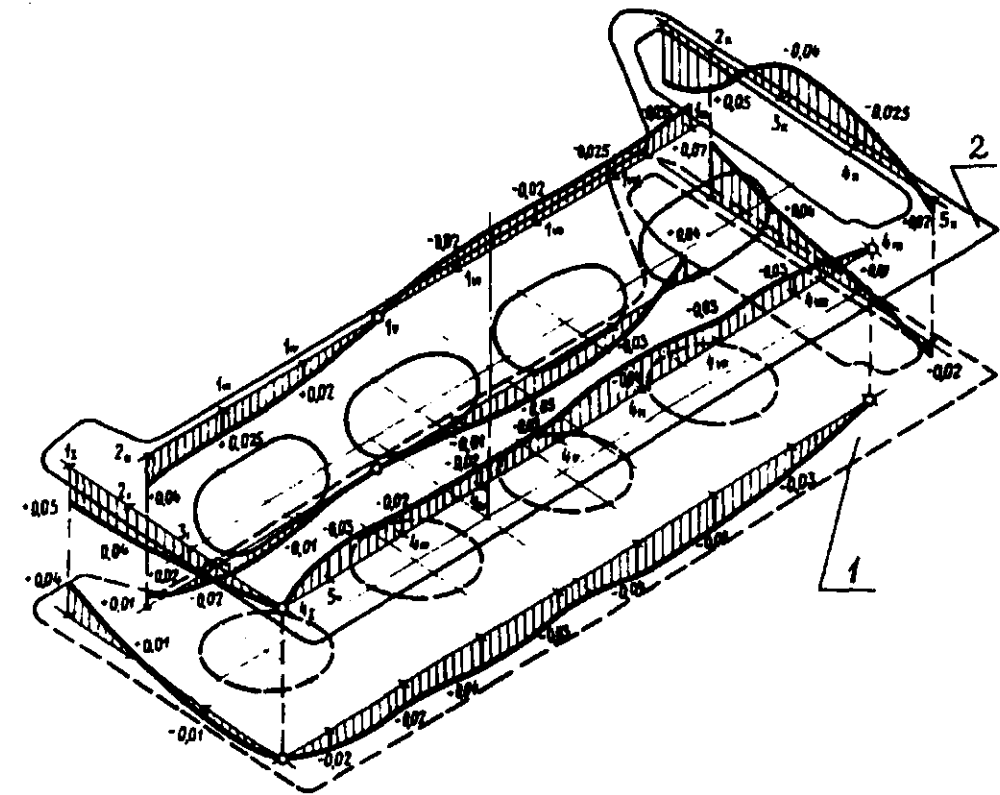


Рис. 12. Сопряжение нижней плоскости 2 головки блока с верхней плоскостью 1 блока цилиндров

Формирование суммарной погрешности применительно к фрезерной позиции с горизонтальной осью расположения шпинделя фрезерной бабки (рис. 13). Погрешность обработки плоскостей формируется при одновременном воздействии переменных по величине сил резания и податливости элементов ТС, а также геометрических неточностей узлов станка. Под действием сил резания в ТС возникают упругие деформации ее элементов, которые изменяют исходные параметры геометрической точности станка.

Влияние геометрических погрешностей оборудования на точность обработки плоскостей. При торцовом фрезеровании для устранения вредного влияния резания зубьев фрезы об обработанную поверхность и предотвращения появления на ней сетки ось шпинделя фрезерной бабки устанавливается под некоторым углом φ (угол завала) к направлению подачи силового стола. Угол φ завала фрезы определяется величиной h завала фрезы и диаметром D_ϕ торцовой фрезы:

$$\varphi = \arcsin \frac{h}{D_\phi} \quad (1)$$

Под влиянием этого угла обработанная поверхность получает некоторую вогнутость в плоскости, перпендикулярной направлению продольного перемещения силового стола, т.е. в поперечном сечении детали. По различным продольным сечениям детали формируемое углом завала фрезы отклонение от плоскостности будет иметь разное значение.

Текущее значение этой погрешности в произвольном продольном сечении с координатой z определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{нпл } \varphi, \text{ мм}}^2 = 0,5 \sin \varphi \left(\sqrt{D_\phi^2 - 4z^2} - \sqrt{D_\phi^2 - B^2} \right), \quad (2)$$

где B – ширина фрезерования.

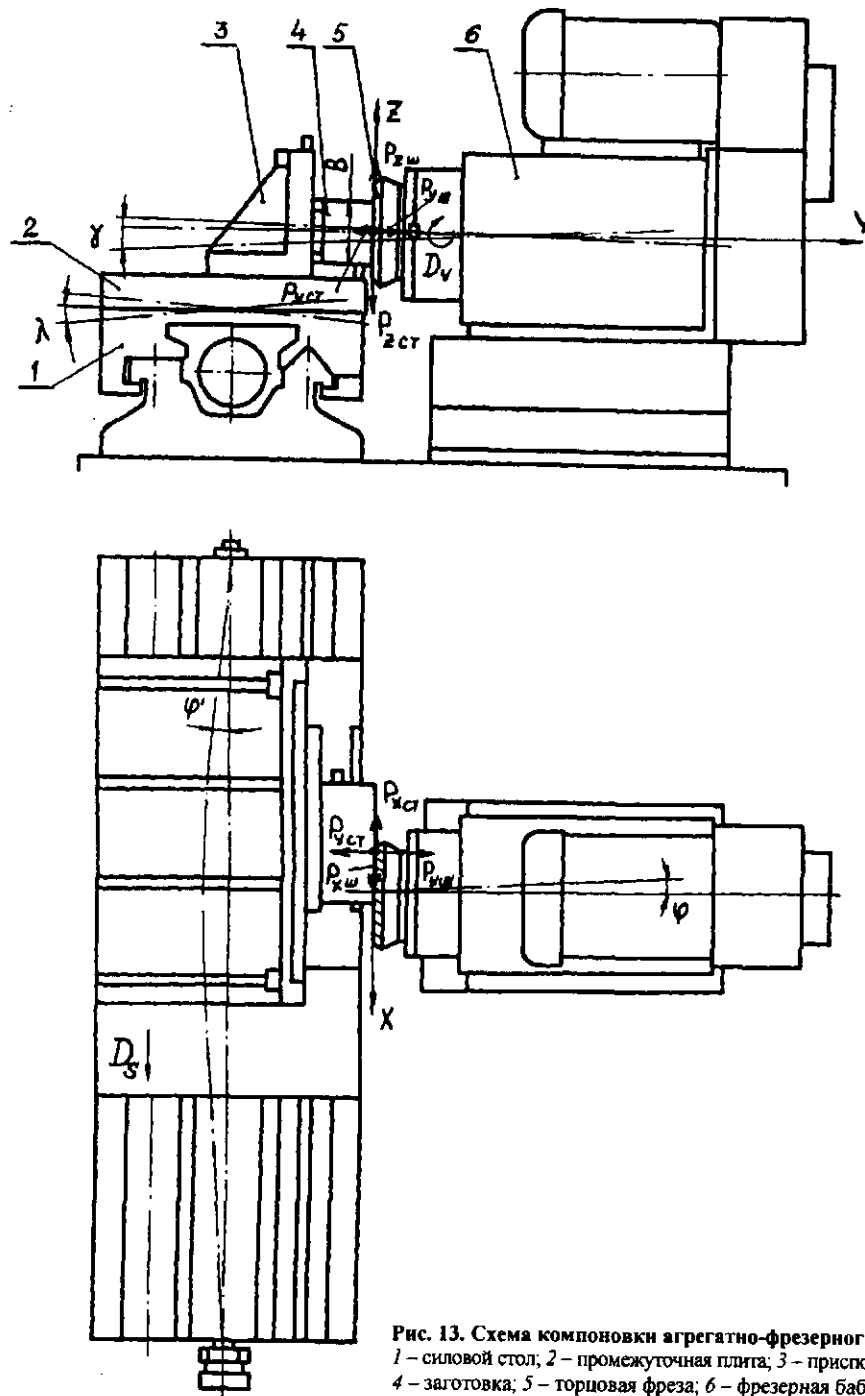


Рис. 13. Схема компоновки агрегатно-фрезерного станка: 1 – силовой стол; 2 – промежуточная плита; 3 – приспособление; 4 – заготовка; 5 – торцовая фреза; 6 – фрезерная бабка

В случае применения несимметричного фрезерования предельное отклонение от плоскостности в поперечном сечении детали при условии $D_\phi = 1,3 B$ определится как:

$$\Delta_{\text{нпл}\phi_{\text{пр}}} = 0,5 \sin \varphi \left[D_\phi^2 - 0,6 \sqrt{D_\phi^2 - 4(0,4B)^2} - 0,4 \sqrt{D_\phi^2 - 4(0,6B)^2} \right] \quad (3)$$

Использование этой схемы фрезерования по сравнению с симметричной приводит к увеличению отклонений от плоскостности, вызываемых углом завала фрезы, на 10 % и к появлению дополнительной погрешности обработки: отклонению от параллельности плоскостей детали в поперечном сечении, составляющему 20 % величины завала фрезы. Поэтому при выборе схемы обработки следует проверять возможность применения схемы несимметричного фрезерования по достижению заданной точности.

Отклонения от прямолинейности перемещения силового стола в горизонтальной плоскости $\Delta\phi'$ вызывают отклонения от плоскостности в продольном направлении детали, $\Delta_{\text{нпл}\phi'_{\text{пр}}}$, предельная величина которых на длине хода стола L_x определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{нпл}\phi'_{\text{пр}}} = \Delta\phi' \frac{L}{L_x} \quad (4)$$

где L – длина обрабатываемой поверхности в направлении подачи.

Форма обрабатываемой поверхности в этом направлении получается обратной по отношению к направлению кривизны направляющих.

Кроме того, перемещение силового стола по направляющим, имеющим отклонения от прямолинейности, создает отклонение от перпендикулярности оси вращения шпинделя направлению подачи стола на некоторый угол ϕ' , т.е. приводит к изменению первоначально заданного угла завала фрезы ϕ и, таким образом, влияет на формирование дополнительной составляющей погрешности формы в поперечном сечении детали.

Погрешность формы $\Delta_{\text{нпл}\phi'_{\text{пр}}}$, которая образуется у обрабатываемой поверхности в продольном направлении за счет отклонений $\Delta\phi'$, является переменной величиной в этом направлении (по оси X). Если принять, что

максимальное отклонение от прямолинейности перемещения силового стола $\Delta\phi'$ имеет место в середине длины его хода L_x , то данная погрешность в случае вогнутости у направляющих, описываемой уравнением параболы, может быть определена из следующего выражения:

$$\Delta_{\text{нпл}\phi'_{\text{пр}}}^x = \Delta\phi' \left[\frac{4}{L_x^2} \left(X - \frac{L_x}{2} \right)^2 - 1 \right] \quad (5)$$

где X – координата поперечного сечения детали, в котором определяется отклонение от плоскостности.

При этом текущий угол поворота платформы силового стола в горизонтальной плоскости ϕ'_t при движении по вогнутым направляющим определяется по формуле:

$$\phi'_t = \frac{4\Delta\phi'(2X - L_x)}{L_x^2} \quad (6)$$

Перекосы рабочей поверхности силового стола при его продольном перемещении $\Delta\lambda$ вызывают в сечении заготовки, перпендикулярном направлению перемещения, отклонение от параллельности плоскостей. Эта погрешность будет иметь различные значения в разных продольных сечениях детали по оси z . Текущее ее значение в произвольном сечении с координатой z определится как:

$$\Delta_{\text{нпар}\lambda}^z = \left(z + \frac{B}{2} \right) \text{tg} \lambda \quad (7)$$

Угол перекося стола при перемещении (град):

$$\lambda = \arctg \frac{\Delta\lambda}{b} \quad (8)$$

где b – размер (база), на котором определяется величина перекося стола $\Delta\lambda$.

Изменение направлений перекося стола ($\pm\lambda$) на длине его рабочего хода приводит к формированию у детали волнообразной поверхности в продольном направлении.

Отклонения от параллельности оси вращения шпинделя рабочей поверхности силового стола $\Delta\gamma$ вызывают аналогичную погрешность обработки, текущее значение которой определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{нпар}\gamma}^z = \left(z + \frac{B}{2} \right) \text{tg} \gamma \quad (9)$$

Поэтому в процессе обработки эти две геометрические погрешности, действуя одновременно, могут взаимно компенсировать друг друга, если они имеют одно направление, или приводить к увеличению погрешности обработки, если направлены в разные стороны. В результате этого при монтаже фрезерных позиций следует выбирать одинаковое направление наклона оси шпинделя к рабочей поверхности стола по отношению к направлению перекосов стола при его перемещении.

Угол γ представляет собой угол наклона оси шпинделя к рабочей поверхности стола в плоскости, перпендикулярной направлению его перемещения:

$$\gamma = \arctg \frac{p}{L_6}, \quad (10)$$

где p – отклонение от параллельности оси вращения шпинделя к рабочей поверхности стола на определенной длине L_6 .

Влияние упругих деформаций технологической системы на точность обработки плоскостей торцовым фрезерованием. Как отмечалось выше в процессе обработки непостоянство глубины резания, твердости обрабатываемого материала и ширины фрезерования приводит к нестабильности силы резания, которая вызывает изменение упругих деформаций элементов технологической системы. Под влиянием этого возникают относительные перемещения (отжатия) фрезы и заготовки, а также углы поворота оси фрезы относительно обрабатываемой поверхности и силового стола с закрепленной на нем заготовкой в продольном и поперечном направлениях. Эти дополнительные углы поворота вызывают изменение первоначальных углов: φ , φ' , λ , γ , характеризующих геометрические неточности элементов фрезерной позиции. Их величины и направления зависят от соотношения составляющих сил резания. Кроме этого, они связаны с жесткостью шпиндельного узла в радиальном и осевом направлениях и неравномерностью жесткости силового стола по его длине. При этом исходные составляющие погрешности обработки от геометрических неточностей элементов позиции ($\Delta\varphi$, $\Delta\varphi'$, $\Delta\lambda$, $\Delta\gamma$) увеличиваются или уменьшаются в зависимости от величины и направления их упругих перемещений соответственно на $\Delta\varphi_u$, $\Delta\varphi'_u$, $\Delta\lambda_u$, $\Delta\gamma_u$.

Величина $\Delta\varphi_u$ представляет собой составляющую погрешности обработки, возник-

шую за счет угла φ_u поворота шпинделя с фрезой в горизонтальной плоскости в процессе обработки. Суммарный угол наклона шпинделя, характеризующий отклонение от перпендикулярности оси его вращения направлению подачи стола, определяются по формуле

$$\varphi_{\Sigma} = \varphi \pm \varphi_u. \quad (11)$$

В большинстве случаев действие момента на шпиндель от силы $P_{xш}$ за счет большего плеча превышает действие момента от силы $P_{yш}$, что приводит к положительной величине результирующего угла φ_u и увеличению угла завала φ фрезы при обработке. Это дает возможность снижать установленную техническими условиями величину завала фрезы h . Действие силы $P_{yш}$ вызывает также упругое отжатие – смещение фрезы в осевом направлении на величину $\Delta Y_{шп}$.

Величина $\Delta\varphi'_u$ представляет собой составляющую погрешности обработки, возникающую в результате угла φ'_u разворота платформы силового стола в горизонтальной плоскости при фрезеровании. Под действием составляющих сил резания $P_{yст}$ и $P_{xст}$, действующих на платформу, она в каждый момент времени отжимается по оси Y на величину $\Delta Y_{ст}$ и затем разворачивается на направляющих на угол φ'_u .

При ее движении в процессе обработки составляющая $\Delta\varphi'_u$ будет изменяться по величине в результате изменения угла φ'_u . Это приводит к образованию у обрабатываемой поверхности детали отклонений от плоскостности в продольном направлении – $\Delta_{нпл\varphi,пр}$.

Одновременно с этим изменение угла φ'_u при движении платформы влияет на отклонение от перпендикулярности оси шпинделя направлению ее подачи, т.е. вызывает изменение первоначального угла завала φ фрезы. А это, как известно, приводит к изменению погрешности формы в поперечном сечении детали – вогнутости, которая имеет наибольшее значение в начале (у переднего края детали) и уменьшается к концу фрезерования, что увеличивает размер к заднему краю детали.

Величина упругого отжатия платформы $\Delta\varphi'_u$ в произвольной точке в продольном направлении может быть определена по формуле

$$\Delta\varphi'_{у пр} = \Delta Y_{ст} + (x_t - x_m) \varphi'_u, \quad (12)$$

где x_t – текущая координата геометрического центра платформы стола в продольном направлении;

x_m – постоянная координата линии действия силы $P_{yш}$;

$(x_t - x_m) \varphi'_u$ – составляющая погрешности обработки, которая образуется за счет угла поворота платформы стола в горизонтальной плоскости.

Траектория движения платформы стола под влиянием его упругих перемещений представляет собой кривую линию, аппроксимируемую в первом приближении параболой. Составляющие погрешности обработки $\Delta\varphi'_{у пр}$, которая приводит к образованию погрешности формы $\Delta_{нпл\varphi,пр}$ и $\Delta\varphi'_{пр}$, формирующая погрешность формы $\Delta_{нпл\varphi,пр}$ за счет наличия вогнутости у направляющих силового стола, всегда имеют разные знаки, т.е. частично или полностью (при условии равенства их величин) компенсируют друг друга.

Суммарная погрешность обработки в продольном направлении определится их суммой – при наличии выпуклости у направляющей или их разностью – при наличии вогнутости.

Для уменьшения влияния угла φ'_u на величину отклонений от плоскостности заготовки следует располагать в средней части платформы по ее длине.

При обработке платформа силового стола в каждый момент времени отжимается вниз на величину $\Delta Z_{ст}$ и одновременно разворачивается в вертикальной плоскости на угол λ'_u . Данный поворот приводит к появлению составляющей погрешности обработки $\Delta\lambda_u$, которая влияет на образование и изменение отклонения от параллельности противоположных (обрабатываемой и базовой) плоскостей у детали в поперечном сечении. Величина угла λ_u может как увеличивать первоначальный угол λ перекоса стола при его продольном перемещении на холостом ходу, если их направления совпадают, так и уменьшать, если они направлены в разные стороны. Поэтому суммарная величина угла λ_{Σ} разворота стола в этой плоскости при его перемещении в процессе обработки определится по формуле

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda \pm \lambda_u. \quad (13)$$

Величина и направление угла λ_u зависит от соотношения изгибающих моментов сил резания $P_{yст}$ и $P_{zст}$, действующих на стол. При попутном фрезеровании необходимо достигать уравновешивания этих моментов за счет уменьшения величины плеча силы $P_{zст}$, если первоначальный перекос платформы стола на холостом ходу происходит в направлении к фрезерной бабке, или увеличивать действие момента от силы $P_{zст}$, если первоначальный перекос имеет противоположное направление.

Под действием окружной силы резания $P_{zш}$ шпиндель вместе с фрезой при обработке поворачивается в вертикальной плоскости на угол γ_u . Причем, угол поворота γ_u имеет всегда одно направление – направление действия силы $P_{zш}$. В случае попутного фрезерования, при действии силы $P_{zш}$ вверх, ось шпинделя поворачивается от рабочей поверхности стола и наоборот. Тогда размер в верхнем сечении детали получается больше, чем в нижнем.

Данный поворот шпинделя приводит к образованию составляющей отклонения от параллельности в поперечном сечении детали. Суммарный угол наклона оси шпинделя относительно рабочей поверхности стола в вертикальной плоскости находят по формуле

$$\gamma_{\Sigma} = \gamma \pm \gamma_u. \quad (14)$$

Угол γ_u увеличивает первоначальный угол наклона шпинделя γ (знак "плюс" в формуле), если направление последнего совпадает с направлением γ_u , и уменьшает, если они имеют разное направление.

Определенная закономерность образования угла γ_u должна учитываться при монтаже фрезерных позиций: ось шпинделя фрезерной бабки необходимо располагать под углом γ к рабочей поверхности стола, равным величине угла γ_u и имеющим противоположное ему направление, для создания условий их взаимной компенсации при обработке.

Определение удельного веса влияния различных факторов на погрешности обработки выполнено на основе корреляционно-регрессионного анализа точности. Установлено, что наибольшее влияние на точность обработки плоскостей как при черновом, так и при чистовом фрезеровании оказывают отклонения от плоскостности базовой поверхности до 28 %, отклонения от плоскостности обрабатываемой плоскости после предшествующего перехода

обработки до 20 %, которые характеризуют влияние колебания глубины резания при обработке. Влияние колебания твердости обрабатываемого материала составляет в среднем 10 %.

В балансе упругих перемещений наибольшее влияние оказывает угол перекоса шпинделя в вертикальной плоскости до 24 % и упругое отжатие шпинделя до 13 %. В суммарном балансе упругих перемещений (по элементам технологической системы) наибольший удельный вес составляет шпиндель до 60 %, влияние силового стола и заготовки равно соответственно 28 % и 12 %. Величины отклонений от плоскостности, измеренные у детали в закрепленном состоянии в рабочем приспособлении, примерно на 25 ... 30 % меньше, чем в свободном. Это говорит о влиянии на отклонение от плоскостности деформации заготовки от зажимных сил.

При оценке зависимости точности обработки плоскостей от режимов резания и исходных погрешностей заготовок видно, что как при черновом, так и при чистовом фрезеровании, наиболее существенное влияние оказывают подача на зуб фрезы, глубина резания и величины, характеризующие колебание глубины резания при обработке (отклонение от плоскостности базовой плоскости, отклонения от плоскостности и параллельности плоскостей *предшествующего перехода*), а также величина колебания твердости обрабатываемого материала. В основном, в большинстве случаев, увеличение всех перечисленных факторов приводит к увеличению погрешностей обработки.

Рекомендации по обеспечению требуемой точности обработки плоскостей. Для повышения точности обработки плоскостей необходимо повышать точность их выполнения у заготовок и однородность обрабатываемого материала, т.к. заготовки характеризуются значительным разбросом величин отклонений размера, параллельности, плоскостности, достигающим в среднем 3 мм, и твердости, неоднородность которой составляет НВ в партии заготовок и достигает 50 НВ в пределах одной заготовки.

Установлено, что на величины упругих перемещений элементов технологической системы в наибольшей степени влияют глубина резания, подача на зуб фрезы, твердость обрабатываемого материала и ее колебание в пределах обрабатываемой плоскости, а также отклонение от параллельности плоскостей пред-

шествующего перехода, увеличение которых приводит к росту всех соответствующих величин упругих перемещений. Так с их увеличением возрастают величины упругих отжатий шпинделя, силового стола и обрабатываемой детали. Поэтому при настройке режущего инструмента на размер необходимо учитывать, что в процессе обработки происходит увеличение размера между параллельными плоскостями заготовки по сравнению с его настроечным значением в среднем на величину 0,045 мм при черновом и на 0,024 мм при чистовом фрезеровании.

В процессе торцового фрезерования угол завала фрезы возрастает, но на незначительную величину: в среднем на 0,012 мм для черногого и на 0,006 мм для чистового фрезерования при диаметре фрезы 315 мм. Поэтому следует уменьшать рекомендуемые техническими условиями на агрегатные станки для шпинделей фрезерных бабок первой и второй групп точности значения величин завала фрезы на 0,01 мм для позиций, применяемых на чистовом, и на 0,015 мм - на черновом фрезеровании на длине 300 мм.

Величина перекоса шпинделя в вертикальной плоскости $\Delta\gamma_u$ достигает в среднем 0,058 мм при черновом и 0,018 мм при чистовом фрезеровании на длине 315 мм. Причем, возникающий при этом угол упругого поворота шпинделя γ_u имеет всегда одно и то же направление при обработке: ось шпинделя уходит вверх от рабочей поверхности стола (при попутном фрезеровании). Это приводит к образованию отклонений от параллельности у детали в поперечном сечении: размер в верхней части детали получается в среднем на 0,037 мм при черновом и на 0,012 мм при чистовом фрезеровании больше, чем в нижней.

Поэтому при монтаже фрезерных бабок ось шпинделя следует устанавливать под наклоном в направлении к рабочей поверхности силового стола для выполнения попутного фрезерования и в направлении от этой поверхности - для выполнения встречного фрезерования. Для черновых позиций эта величина должна достигать 0,06 мм, а для чистового - 0,02 мм на длине 300 мм.

Угол λ_u перекоса платформы стола в вертикальной плоскости при обработке также имеет одно направление, совпадающее с пово-

ротом шпинделя на угол γ_u : платформа в этой плоскости поворачивается к шпинделю (по часовой стрелке, если смотреть навстречу подаче). Так как этот поворот приводит к образованию той же погрешности обработки, что и γ_u , то в данном случае происходит взаимная компенсация части погрешности, которая образуется за счет величины $\Delta\gamma_u$. При этом величина перекоса $\Delta\lambda_u$ в среднем при черновом фрезеровании составляет 0,032 мм, а при чистовом 0,018 мм на длине 800 мм. Для выполнения попутного фрезерования целесообразно создавать первоначальные перекосы платформы стола в направлении от шпинделя фрезерной бабки.

Сравнение величин перекосов шпинделя $\Delta\gamma_u$ и стола $\Delta\lambda_u$ в вертикальной плоскости показывает, что большее воздействие на формирование отклонения от параллельности детали в поперечном сечении оказывает шпиндель.

Величина упругого перекоса платформы силового стола в горизонтальной плоскости $\Delta\phi'_y$ достигает в среднем для черногого фрезерования 0,028 мм и для чистового - 0,016 мм на длине 460 мм. Причем его величина возрастает при удалении сечения резания от геометрического центра платформы стола. При этом значение величины перекоса $\Delta\phi'_y$, приходящееся на 100 мм длины, в среднем равно 0,006 мм, что не превышает рекомендуемых величин завала фрезы (0,015 ... 0,02) мм. Однако, в этом случае значение ϕ'_y составляет в среднем 40 % от исходного рекомендуемого угла ϕ , что должно учитываться при проведении точностных расчетов на этапе проектирования оборудования.

При выборе схемы установки деталей и конструировании рабочих приспособлений следует учитывать, что схема установки на горизонтальную плоскость является предпочтительной по сравнению с установкой при базировании деталей на вертикальную плоскость, т.к. при этом погрешности обработки плоскостей снижаются в среднем на 20 % при черновом и чистовом фрезеровании.

Определение суммарной погрешности обработки плоскостей. Параметры точности обработки плоскостей не могут определяться одной интегральной величиной для исследуемой погрешности. Они характеризу-

ются распределением отклонений в разных точках плоскости и могут быть выявлены из сравнения в них величин текущих значений погрешностей. Задача разработки такого метода суммирования исходных погрешностей, при котором представляется возможным получение не только предельной интегральной величины суммарной погрешности, но и определение ее текущего значения и получаемой формы обрабатываемой поверхности, решается статистическим моделированием процесса торцового фрезерования с использованием метода статистических испытаний (*метода Монте-Карло*).

Для определения величин погрешностей обработки по размеру, плоскостности и параллельности плоскостей нужно определить величины отклонений в целом ряде точек этой плоскости. Для этого в каждой i -й точке необходимо найти величину суммарного отклонения $\Delta_{\Sigma i}$ в направлении настроечного размера (вдоль оси Y), которая будет складываться из постоянной составляющей Δ_{C_i} , формируемой в этой точке под влиянием всех исходных геометрических неточностей станка, и случайной составляющей $\Delta_{C_{L_i}}$, которая образуется за счет величины упругого отжатия под действием случайного сочетания для этой точки колебаний глубины резания, твердости и жесткости технологической системы:

$$\Delta_{\Sigma i} = \Delta_{C_i} + \Delta_{C_{L_i}} \quad (15)$$

При выполнении расчета суммарной погрешности обработки плоскостей в компьютер заводится необходимая исходная информация: для расчета сил резания, геометрических погрешностей фрезерной позиции, упругих перемещений ее элементов, координаты точек расчета погрешностей обработки; координаты трех точек, определяющих положение нулевой плоскости, относительно которой будет произведен расчет отклонений от плоскостности; значения переменной ширины фрезерования в каждом из намеченных сечений резания, число режущих зубьев фрезы в каждом из этих сечений; число деталей в партии, на которых будет проводиться моделирование процесса, а также статистические характеристики распределения случайных величин глубины резания и твердости в пределах одной обрабатываемой детали и в пределах всей партии.

После ввода всех необходимых данных определяются (разыгрываются) случайные величины средней глубины резания и средней твердости для K -й детали партии. Затем определяются случайные величины глубины резания и твердости в i -й точке j -ого сечения резания данного цикла расчета. Для этой точки рассчитываются составляющие силы резания на отдельном зубе фрезы и определяется суммарная сила резания на всех зубьях, участвующих в резании в j -ом сечении. Далее для выбранной точки обрабатываемой плоскости вычисляются систематические Δ_{Σ} и случайные $\Delta_{\Sigma\text{сл}}$ составляющие погрешности обработки и определяется ее суммарная величина Δ_{Σ} .

Суммирование составляющих погрешностей проводится с учетом возможности взаимной компенсации отклонений, формируемых отдельными составляющими. Расчет повторяется для всех выбранных точек j -ого сечения, а затем и для всех сечений плоскости. После этого вычисляются коэффициенты уравнения нулевой плоскости и производится пересчет всех полученных ранее отклонений Δ_{Σ} относительно рассчитанной нулевой плоскости. При этом определяется величина отклонений от плоскостности смоделированной плоскости в каждой ее точке, т.е. топография рассчитанной поверхности.

За характеристику отклонений от плоскостности принимается сумма абсолютных величин наибольшего положительного и наибольшего отрицательного пересчитанных относительно нулевой плоскости суммарных отклонений Δ'_{Σ} . Затем из всего массива полученных суммарных отклонений Δ_{Σ} производится выбор наибольшего и наименьшего значений, первое из которых характеризует погрешность выполнения размера для данного смоделированного процесса обработки одной детали. Определяется разность этих наибольшего и наименьшего рассчитанных отклонений, которая является характеристикой отклонений от параллельности противоположащих плоскостей.

После окончания расчета на одном цикле расчет повторяется для всех деталей партии с определением средних величин и средних квадратических отклонений исследуемых погрешностей обработки плоскостей для всей партии.

ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ ЖЕСТКО ЗАКРЕПЛЕННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С НАПРАВЛЕНИЕМ

Наиболее общим отклонением расположения оси отверстия является позиционное отклонение, определяемое по ГОСТ 24642 наибольшим расстоянием Δ между реальным расположением элемента (его центра, плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка L .

В условиях производства позиционное отклонение определяется как смещение $\Delta_{\text{см}}$ оси отверстия от номинального расположения или входит составной частью в отклонение расположения оси отверстия относительно других отверстий (отклонение от соосности, отклонение межосевого расстояния, отклонение размеров от баз или других поверхностей).

Позиционное отклонение оси зависит от геометрической точности позиции и точности взаимного расположения узлов направления инструмента и установки заготовок, а также от точности расположения осей инструментальных наладок относительно направляющих втулок (рис. 14).

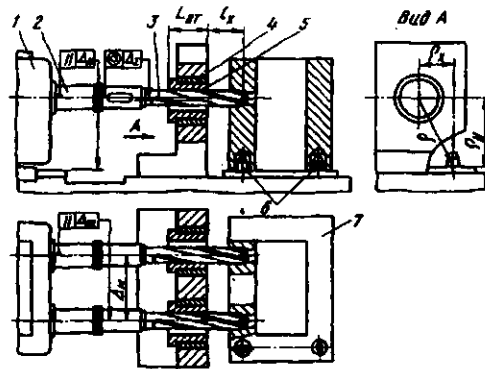


Рис. 14. Схема обработки отверстий жестко закрепленным инструментом с направлением: 1 - агрегатная головка; 2 - шпиндель станка; 3 - инструментальная наладка; 4 - постоянная кондукторная втулка; 5 - сменная кондукторная втулка; 6 - установочные пальцы; 7 - обрабатываемая заготовка; R_x, R_y, R - параметры расположения оси шпинделя станка относительно базовых элементов позиции

Позиционное отклонение оси отверстия определяется двумя слагаемыми: геометрическим смещением Δ_r оси инструмента и упругими смещениями Δ_y в технологической системе (рис. 15):

$$\Delta_{\text{см}} = \Delta_r + \Delta_y. \quad (1)$$

Геометрическое смещение оси инструмента зависит от зазора в сопряжении инструмент - сменная втулка, от смещения осей шпинделя и постоянной втулки, радиального биения инструмента и других причин. Геометрическое смещение оси (см. рис. 15, б) достигает наибольшего значения в концевом сечении инструмента:

$$\Delta_r = n_1 S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{\text{вт}}} \right), \quad (2)$$

где l_x - длина вылета инструмента за торец втулки, мм; $l_{\text{вт}}$ - длина направляющей втулки, мм; n_1 - коэффициент, учитывающий влияние на смещение инструмента зазора в сопряжении постоянной и сменной втулок и эксцентриситета последней; принимают $n_1 = 1,1$ - для сверления и зенкерования; $n_1 = 1,2$ - для развертывания.

Начальный зазор S_1 определяется выбранной посадкой сопряжения (табл. 5). Под влиянием обратной конусности инструмента зазор S_1 увеличивается при переточках за пе-

риод полного износа инструмента и по длине рабочего хода при каждом рабочем цикле. Обратная конусность инструмента регламентирована (табл. 6); запас длины l_n инструмента на переточку можно ориентировочно принимать по табл. 7.

Упругие отжатая Δ_y в технологической системе происходят под влиянием неуравновешенных сил, возникающих при снятии неравномерного (эксцентричного) припуска (см. рис. 15, з). Неравномерность припуска на обработку обусловлена тем, что ось O_1 отверстия заготовки, установленной для обработки в данной позиции, не совпадает с осью O_2 инструмента. Изменение глубины резания при одном обороте шпинделя от t_1 до t_2 (неравномерность припуска) равно удвоенной величине смещения осей O_1 и O_2 : $t_1 - t_2 = \Delta Z$;

$$\Delta Z = 2\sqrt{\Delta_{\text{пр}}^2 + \Delta_p^2 + \Delta\epsilon_y^2}, \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{пр}}$ - смещение оси отверстия заготовки относительно технологических баз, оставшееся после предшествующего технологического перехода (для первого перехода обработки это погрешность, имеющаяся у заготовки); Δ_p - отклонения размеров между осью шпинделя и базовыми элементами позиции (см. размеры R_x, R_y, R на рис. 14); $\Delta\epsilon_y$ - погрешность установки заготовки для обработки.

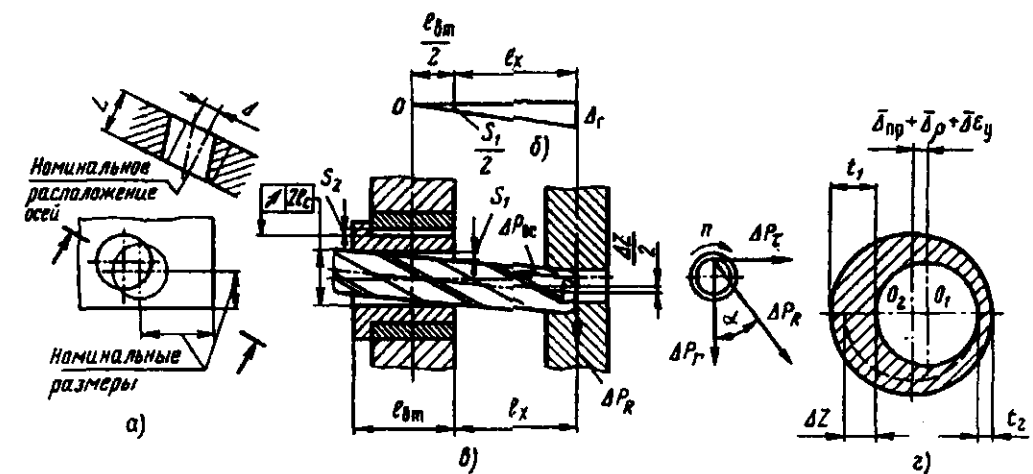


Рис. 15. Схемы определения отклонений: а - позиционное отклонение оси отверстия по ГОСТ 24642; б - геометрическое смещение оси; в - упругое смещение оси; г - изменение глубины резания; д - расстояние между реальным и номинальным расположением элемента; л - нормируемый участок

5. Начальный зазор S_1 между втулкой и инструментом

Метод обработки отверстий	Диаметр обрабатываемого отверстия	Допуск на изготовление инструмента, мм	Допуск (мм) на внутренний диаметр втулки исполнения			Значения S_1 (мкм) для втулок исполнения								
			нормального	точного	высокоточного	нормального			точного			высокоточного		
						$S_{1нн}$	$S_{1тн}$	$S_{1вн}$	$S_{1нт}$	$S_{1тт}$	$S_{1вт}$	$S_{1нв}$	$S_{1тв}$	$S_{1вв}$
Сверление	6-10	-0,022	+0,03 +0,014	+0,015 +0,005	-	52	37	-	14	5	-	33	21	-
	10-18	-0,027	+0,035 +0,016	+0,02 +0,008	-	62	47	-	16	8	-	39	27,5	-
	18-30	-0,033	+0,033 +0,01	+0,025	-	66	58	-	10	10	-	38	34	-
			+0,045 +0,022	+0,01	-	78	-	-	22	-	-	50	-	-
	30-50	-0,039	+0,039 +0,012 +0,015 +0,023	+0,03 +0,01	-	78	69	-	12	10	-	45	39,5	-
Зенкерование	10-18	-0,024	+0,035 +0,016	+0,02 +0,008	+0,003 +0,008	59	44	32	16	8	3	37,5	26	17,5
Зенкерование	18-30	-0,03	+0,033 +0,01	+0,025	+0,004	63	-	-	10	-	-	36,5	-	-
			+0,045 +0,022	+0,01	+0,01	75	55	40	22	10	4	48,5	32,5	22
Зенкерование	30-50	-0,036	+0,039 +0,012	+0,03	+0,004	75	-	-	12	-	-	43,5	-	-
			+0,05 +0,023	+0,01	+0,011	86	66	47	23	10	4	54,5	38	25,5
Развертывание	10-18	-0,009	-	+0,02 +0,008	+0,003 +0,008	-	29	17	-	8	3	-	18,5	10
	18-30	-0,01	-	+0,025 +0,01	+0,004 +0,01	-	35	20	-	10	4	-	22,5	12
	30-50	-0,012	-	+0,03 +0,01	+0,004 +0,011	-	42	23	-	10	4	-	26	13,5

Примечания: 1. Верхнее отклонение диаметра инструмента равно нулю. 2. Радиальное биение по ленточкам для сверл диаметром до 10 мм - 0,08 - 0,12 мм; св. 10 мм - 0,12 - 0,16 мм; для зенкеров диаметром 10 - 18 мм - 0,04 мм; диаметром 18 - 30 мм - 0,05 мм; диаметром 30 - 50 мм - 0,06 мм. Радиальное биение разверток диаметром до 30 мм - 0,012 - 0,025 мм; диаметром св. 30 мм - 0,015 - 0,03 мм.

6. Обратная конусность (мм) инструмента на длине 100 мм

Инструмент	Диаметр инструмента, мм	
	10-18	Св. 18
Сверло	0,04 - 0,10	0,05 - 0,12
Зенкер	0,04 - 0,08	0,05 - 0,10
Развертка	0,015	

7. Длина l_n (мм) инструмента на переточку

Инструмент	Диаметр инструмента, мм				
	До 6	6-10	10-18	18-30	30-50
Сверло	25-40	25-50	30-55	30-58	35-70
Зенкер					
Развертка	15	15	20	20	25

На Δ_y влияет упругое отжатие $\Delta_{y_н}$ инструмента, а влияние упругого отжатия $\Delta_{y_к}$ кондукторной плиты учитывают коэффициентом n_2 . Для типовых кондукторных плит агрегатных станков с жесткостью $j = (6 \dots 8) \cdot 10^4$ Н/мм коэффициент $n_2 = 1,4 \dots 1,2$. При этом

$$\Delta_{y_н} = n_2 \Delta_{y_и} \quad (4)$$

Упругое отжатие $\Delta_{y_н}$ инструмента определяют из условий изгиба инструмента под действием неуравновешенных сил - радиальной ΔP_r и тангенциальной ΔP_t . Рассчитывают равнодействующую ΔP_R неуравновешенных сил, действующих в диаметральной плоскости: $\Delta P_R = \sqrt{\Delta P_r^2 + \Delta P_t^2}$. Действие осевых сил $P_{ос}$ и $\Delta P_{ос}$ учитывают коэффициентом n_3 . По расчетной оценке $n_3 = 1,38 \dots 1,42$.

Упругое отжатие (мм) инструмента в концевом сечении

$$\Delta_{y_н} = n_3 \frac{\Delta P_R l^3}{3EI} \quad (5)$$

где EI - изгибная жесткость инструмента; E , Па; $I = cd^4$; d - диаметр инструмента, мм. Экспериментальный коэффициент c : 0,011 для сверл; 0,026 для разверток; 0,018 для зенкеров с числом зубьев $k = 3$; 0,023 для зенкеров с $k = 4$.

Вектор равнодействующей ΔP_R неуравновешенных сил расположен под углом $\alpha = 41 \dots 45^\circ$ к плоскости смещения припуска, а вектор отжатия $\Delta_{y_н}$ практически совпадает с его направлением.

Величины ΔP_r и ΔP_t определяют по зависимостям теории резания. При этом каждый зуб инструмента (из числа зубьев k) рассматривается как расточной резец, а изменение глубины резания на одном обороте (от t_1 до t_2) выражаем через неравномерность припуска ΔZ .

$$\Delta P_R = \frac{k \Delta Z}{2} C_R \quad (6)$$

$$C_R = \sqrt{(c_{1общ} s_k^{n_1} HB^{n_2})^2 + (c_{2общ} s_k^{n_2} HB^{n_2})^2} \quad (7)$$

где t - глубина резания; s_k - подача на зуб; HB - твердость обрабатываемого материала; x_1, x_2, y_1, y_2, n_1 и n_2 - показатели степени; $c_{1общ}$ и $c_{2общ}$ - коэффициенты, зависящие от условий резания и геометрических параметров инструмента.

Величина C_R для ΔP_r и ΔP_t определяет условия резания и геометрическими параметрами инструмента.

Подставляя значение ΔZ из (3), определим

$$\Delta P_R = \frac{k}{2} \sqrt{\Delta_{np}^2 + \Delta_p^2 + \epsilon_y^2} C_R \quad (8)$$

Упругое отжатие Δ_y технологической системы получим, подставляя в (4) и (5) значение ΔP_R

$$\Delta_y = \frac{n_2 n_3 k l^3 \sqrt{\Delta_{np}^2 + \Delta_p^2 + \epsilon_y^2} C_R}{6EI} \quad (9)$$

Позиционное отклонение оси отверстия, определяемое как сумма геометрического (2) и упругого (4) и (5) смещений,

$$\Delta_{см} = n_1 S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right) + n_2 n_3 \frac{\Delta P_R l_x^3}{3EI} \quad (10)$$

или, с учетом значения ΔP_R по (8),

$$\Delta_{см} = n_1 S_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right) + n_2 n_3 \frac{k l_x^3 \sqrt{\Delta_{пр}^2 + \Delta_p^2 + \Delta \epsilon_y^2}}{6EI} C_R \quad (11)$$

Удельное значение Δ_r и Δ_y в позиционном отклонении $\Delta_{см}$ изменяется в больших пределах. При чистовом развертывании отверстий большого диаметра (30 – 50 мм) Δ_r достигает 80 – 85 % $\Delta_{см}$, а при черновом зенкерования отверстий диаметром 10 – 18 мм доминирующее значение приобретает Δ_y (до 50 – 60 %); при этом структурная погрешность достигает 15 – 20 %.

При расчете конструкторско-технологических параметров рабочей позиции определяют величины, входящие в (11). Исходными для расчета служат твердость материала заготовки и отклонения соответствующих размеров (определяется погрешность $\Delta_{пр}$ предшествующего перехода). Выбирают инструментальную наладку, для которой известны его изгибная жесткость EI и число зубьев k . Назначают режимы резания и определяют коэффициент C_R ; выбирают $l_{вт}$, l_x , определяют зазор S_1 . Зная коэффициент n_1 , по (2) определяют Δ_r .

Если в данной позиции предусмотрена одновременная обработка других отверстий, то определяют структурную погрешность. При

8. Коэффициенты k_y уменьшения позиционных отклонений отверстий по смежным переходам обработки

Обработка отверстия	Номинальные диаметры отверстий, мм	Смежные переходы	Коэффициент k_y
В сплошном металле	От 10 до 18	Сверление – зенкерование	0,38
		Зенкерование – развертывание	0,46
	От 18 до 30	Сверление – зенкерование	0,34
		Зенкерование – развертывание	0,48
Литого	От 30 до 50	Заготовка – черновое зенкерование	0,13
		Черновое зенкерование – чистовое зенкерование	0,31
		Чистовое зенкерование – развертывание	0,51

известных отклонениях размеров заготовки можно определить число технологических переходов, необходимых для обеспечения заданных чертежом требований точности расположения осей отверстий. Для нахождения последнего n -го перехода, при котором должно соблюдаться условие $\Delta_{см(i)} \leq \Delta_{см(i) доп}$ в (11) подставляют $\Delta_{пр} = \Delta_{см заг доп}$ и определяют смещение оси $\Delta_{см(1)}$ на первом переходе; при подстановке $\Delta_{пр} = \Delta_{см(1)}$ определяют $\Delta_{см(2)}$ на втором переходе и так до получения $\Delta_{см(n)} \leq \Delta_{см доп}$. Если число переходов чрезмерно велико, то следует ужесточить условия обработки по переходам (уменьшить зазор S_1 и погрешность установки $\Delta \epsilon_y$, сократить число одновременно работающих инструментов, повысить требования к точности и стабильности механических свойств заготовки и т.д.

Необходимое число переходов n можно ориентировочно определить, пользуясь экспериментальными коэффициентами уменьшения позиционных отклонений оси отверстия по переходам (табл. 8). Позиционное отклонение на последнем n -м переходе при обработке литых отверстий

$$\Delta_{см(n)} = \Delta_{см заг доп} \prod_{i=1}^n k_{y(i)} \quad (12)$$

и при обработке отверстий в сплошном металле

$$\Delta_{см(n)} = \Delta_{см св} \prod_{i=2}^n k_{y(i)} \quad (13)$$

где $\Delta_{см св}$ – позиционное отклонение оси при сверлении отверстия; $k_{y(i)}$ – коэффициенты уменьшения смещения оси отверстия на i -м переходе.

Используя (11), можно решать и обратные задачи – назначать требования к параметрам точности на взаимосвязанных технологических переходах, исходя из требуемой точности $\Delta_{см доп}$ по чертежу. Так, допустимая погрешность предшествующего перехода

$$\Delta_{пр} = \sqrt{\left[\frac{6EI(\Delta_{см доп} - \Delta_r)}{n_2 n_3 k C_R l_x^3} \right]^2 - \Delta_p^2 - \Delta \epsilon_y^2} \quad (14)$$

Аналогично определяют допустимую погрешность $\Delta \epsilon_y$ установки заготовок и погрешность Δ_p параметра преемственности технологически связанных позиций. Параметры точности станка и оснастки достаточно стабильны во времени, и, как правило, назначаются их предельные отклонения; обычно $\Delta_{р доп} = \pm 0,03 \dots \pm 0,05$ мм (для чистовых и черновых позиций соответственно); погрешность установки не должна превышать

$$\Delta \epsilon_y доп = 0,05 \dots 0,1 \text{ мм.}$$

Точностные расчеты выполняют для вновь проектируемого технологического процесса и для действующих агрегатных станков и автоматических линий. На проектной стадии, используя (1) и (2) и приняв $\Delta_{см} = \Delta_{см доп}$, выбирают конструкторско-технологические параметры: минимальную длину сменной кондукторной втулки и наибольший допустимый зазор S_1 между сменной втулкой и инструментом. Используя (9), выбирают параметры режущего инструмента (длину наладки, диаметр, число зубьев и т.д.).

В эксплуатационных условиях необходимо ограничить влияние износа кондукторных втулок и установочных элементов приспособления на точность обработки.

Геометрическое смещение оси инструмента в изношенной втулке [с учетом (2)] примет вид

$$\Delta'_r = (n_1 S_1 + h) \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right) \quad (15)$$

Величина h учитывает фактический износ кондукторной втулки для определенного мо-

мента времени или приравнивается к допустимой, требуемой точностью обработки.

При изношенной втулке

$$\Delta_{см доп} = \Delta'_r + \Delta_y \quad (16)$$

Допустимый износ втулки определяют с учетом (14) и (15):

$$h доп = \frac{\Delta_{см доп} - \Delta_y}{0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}}} - n_1 S_1 \quad (17)$$

Допустимый зазор между сменной втулкой и инструментом

$$S_1 = \frac{\Delta_{см доп} - \Delta_y}{n_1 \left(0,5 + \frac{l_x}{l_{вт}} \right)} \quad (18)$$

Для ориентировочных расчетов применима табл. 9.

9. Наибольшие предельные отклонения (мм) диаметральных размеров отверстий кондукторных втулок в зависимости от допустимого смещения оси отверстия при сверлении

Номинальный диаметр, мм	Длина кондукторной втулки, мм	$\Delta_{см}$, мм			
		0,05	0,075	0,125	0,25
До 6	22	0,019	0,047	0,092	0,181
	18	0,015	0,043	0,082	0,173
	15	0,010	0,036	0,077	0,160
6 – 12	30	0,014	0,045	0,094	0,195
	22	0,007	0,031	0,079	0,170
	18	–	0,023	0,067	0,159
12 – 18	45	0,006	0,031	0,077	0,181
	40	–	0,025	0,072	0,174
	35	–	0,019	0,060	0,164
18 – 25	75	–	0,024	0,080	0,196
	60	–	0,015	0,068	0,181
	45	–	–	0,051	0,162

Примечания: 1. Допуски размеров для сверл нормальной точности и размеров отверстий в кондукторных втулках см. табл. 5.

2. Длина вылета сверла за торец втулки $l_x = d$.

3. Смещение осей втулки и шпинделя $\Delta_z = 0,1$ мм.

4. Радиальное биение сверла 0,14 ... 0,16 мм.

Возрастание погрешности базирования заготовок, связанное с износом элементов базирования приспособления, при обработке отверстий в разных позициях приводит к непосредственному увеличению отклонения расположения осей отверстий относительно друг друга и от баз. Но оно влияет и на упругое смещение Δ_y как составляющее величины ΔZ [см. рис. 15 и (3)]. При установке заготовки в рабочих позициях автоматических линий на выдвижные фиксаторы на погрешность базирования влияет суммарный зазор двух сопряжений: заготовки (верхняя часть фиксатора) и направляющей втулки механизма фиксации (нижняя часть фиксатора). При многократной фиксации заготовки последовательно в некоторых рабочих позициях наблюдается изменение начального зазора посадки вследствие износа и увеличения базовых отверстий.

Фактическая погрешность установки заготовок возрастает во времени под влиянием износа верхних участков фиксаторов и износа в паре направляющая втулка – фиксатор.

Фактическая погрешность $\Delta\epsilon_{y, \phi}$ установки заготовки в позиции включает фактическую погрешность базирования заготовки $\Delta\epsilon_{б, \phi}$ и отклонение зазора в фиксаторах $\epsilon_{л, т.е.}$

10. Наибольшие отклонения ϵ_{ϕ} (в числителе) диаметральных размеров фиксаторов и $\epsilon_{л}$ (в знаменателе) принятых зазоров в сопряжениях фиксатор – направляющая втулка для обеспечения позиционного отклонения $\Delta_{см}$ оси отверстия

Обработка	$\Delta_{лр}$	Δ_p	$\frac{\Delta_r}{\Delta_{см}}$	$\Delta_{см}, мм$				
				0,05	0,075	0,1	0,125	0,15
Черновая	0,5 – 1	0,05	0,4	–	–	0,028	0,089	0,122
				–	–	0,022	0,045	0,094
Получистовая	0,15 – 0,25	0,05	0,6	0,011	0,042	0,068	0,098	0,106
				0,007	0,022	0,045	0,063	0,088
Чистовая	0,1 – 0,2	0,03	0,7	0,015	0,019	0,043	0,057	0,075
				0,007	0,022	0,045	0,045	0,045
				0,8	–	0,015	0,019	0,023
				–	0,007	0,022	0,022	0,045

Примечание. Расчеты выполнены для диаметра сопряжения фиксатор-втулка в диапазоне 18 – 30 мм, диаметров базовых элементов – в диапазоне 10 – 18 мм и посадок H8/f7, H8/g7. Чтобы найти предельные отклонения ϵ_{ϕ} , задаемся $\Delta_{см}$, затем на основании вида обработки и принятых значений $\Delta_{лр}$, Δ_p , Δ_r и $\epsilon_{л}$ определяем ϵ_{ϕ} .

$$\Delta\epsilon_{y, \phi} = \Delta\epsilon_{б, \phi} + \epsilon_{л}$$

$$\Delta\epsilon_{б, \phi} = \Delta\epsilon_{б, т} (1 + k_{л} + k_{\phi});$$

$$\epsilon_{л} = \epsilon_{л, т} (1 + k_{л}), \quad (19)$$

где $\Delta\epsilon_{б, т}$ – расчетная (теоретическая) погрешность базирования; коэффициент $k_{л}$ учитывает увеличение базовых отверстий заготовки в процессе многократной фиксации; k_{ϕ} – износ фиксаторов на участках базирования; $k_{л}$ – зазор в нижней части фиксаторов.

По экспериментальным данным можно принимать следующие значения коэффициентов:

Материал детали	$k_{л}$	k_{ϕ}	$k_{л}$
Серый чугун	0,8	0,7	1,7
Алюминиевый сплав	0,9	0,15	1,8

В табл. 10 для ориентировочных расчетов приведены наибольшие отклонения ϵ_{ϕ} и $\epsilon_{л}$ фиксаторов для обеспечения позиционного отклонения $\Delta_{см}$.

ОБРАБОТКА КООРДИНИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ

Соосность отверстий. Соосные отверстия обрабатывают на агрегатных станках и автоматических линиях по двум схемам – с двух сторон и с одной стороны (рис. 16).

При обработке соосных отверстий с двух сторон (рис. 16, а) отклонение от соосности определяется влиянием позиционных отклонений $\Delta_{см(1)}$ первого и $\Delta_{см(2)}$ второго отверстий, отклонением, вносимым рабочей позицией, и не зависит от расстояния между отверстиями. Позиционные отклонения каждой из осей определяют по формуле (11). Угловое расположение векторов $\Delta_{см(1)}$ и $\Delta_{см(2)}$ зависит от смещения припуска на обработку ΔZ_1 первого и ΔZ_2 второго отверстий.

Отклонение от соосности $\Delta'_{ис}$, вызванное позиционным отклонением осей отверстий, может быть определено методом векторного суммирования.

При произвольном направлении векторов $\Delta_{см(1, 2)}$ их предельные значения определяются как их суммой, так и разностью.

Ожидаемое отклонение от соосности для наиболее вероятного случая направления позиционных отклонений $\Delta_{см(1, 2)}$ осей обрабатываемых отверстий с учетом погрешности $\Delta_{лр}$ вносимой отклонением от соосности постоянных кондукторных втулок станка (рабочей позиции АЛ),

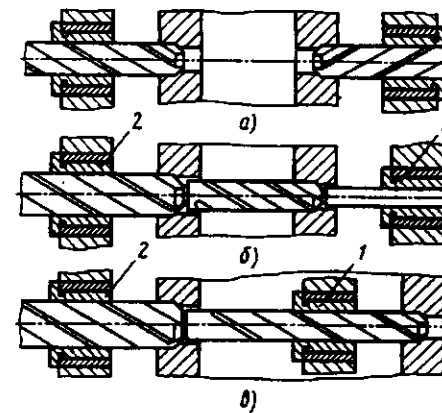


Рис. 16. Типовые схемы обработки соосных отверстий с направлением инструмента: а – с двух сторон; б – с одной стороны при передней 1 и задней 2 втулках; в – с одной стороны при промежуточной 1 и задней 2 втулках

$$\Delta_{ис} = \sqrt{\Delta_{см(1)}^2 + \Delta_{см(2)}^2 + \Delta_{лр}^2} \quad (22)$$

Экспериментальные данные, характеризующие отклонения от соосности при обработке отверстий в сплошном металле и отливках, приведены в табл. 11.

11. Отклонение от соосности отверстий при многопереходной обработке заготовки с двух сторон

Обработка отверстий	Номинальные диаметры отверстий, мм	Технологический процесс	$\Delta_{ис}, мм$	
В сплошном металле	От 10 до 18	Сверление	0,21	
		Зенкерование	0,10	
		Развертывание:	предварительное	0,07
			окончательное	0,04
Литых	От 30 до 50	Заготовка	1,5	
		Зенкерование:	черновое	0,25
			чистовое	0,11
		Развертывание:	предварительное	0,06
окончательное	0,04			

Примечание. Данные относятся к деталям из серого чугуна. При обработке деталей из алюминиевых сплавов отклонения следует умножать на коэффициент 0,65.

Большое влияние на отклонение от соосности отверстий при обработке деталей из чугуна с двух сторон оказывает неравномерность припусков. Так при увеличении Δz с 0,4 до 2 мм, отклонение от соосности возрастает более чем в 2 раза (с 0,07 до 0,16 мм).

Для ориентировочных расчетов при разработке технологических процессов можно использовать экспериментальный коэффициент уменьшения отклонений от соосности при многопереходной обработке отверстий:

$$k_{у, ис} = \Delta_{ис(i)} / \Delta_{ис(i-1)}$$

где $\Delta_{ис(i)}$ и $\Delta_{ис(i-1)}$ – отклонения от соосности отверстий соответственно на рассматриваемом и предшествующем переходах обработки (табл. 12).

12. Коэффициенты уменьшения отклонения от соосности двух отверстий по смежным переходам при обработке заготовки с двух сторон

Номинальные диаметры отверстий, мм	Смежные технологические переходы	Коэффициент $k_{у,нс}$
От 10 до 18	Сверление – зенкерование	0,48
	Зенкерование – предварительное развертывание	0,70
	Предварительное развертывание – окончательное развертывание	0,57
От 30 до 50	Заготовка – черновое зенкерование	0,17
	Черновое зенкерование – чистовое зенкерование	0,44
	Чистовое зенкерование – предварительное развертывание	0,55
	Предварительное развертывание – окончательное развертывание	0,66

Исходя из допуска соосности в радиусном выражении по чертежу детали и зная коэффициенты $k_{у,нс}$ по каждому переходу, можно назначить допуски соосности отверстий по всем технологическим переходам обработки вплоть до исходной заготовки. Может решаться также и обратная задача – определение необходимого числа переходов обработки, исходя из допуска соосности у детали и у заготовки.

При обработке отверстий с двух сторон отклонение от соосности не зависит от расстояния между отверстиями.

Двусторонняя обработка соосных отверстий выполняется с коротким циклом и не требует использования специального инструмента. Ее используют при черновой обработке соосных отверстий любых диаметров, а также при чистовой обработке отверстий диаметром $d < 18$ мм, расположенных друг от друга на расстоянии, большем шести-семи диаметров. В этом случае обеспечивается более высокая точность расположения отверстий, чем при односторонней обработке, вследствие повышенной жесткости инструментальной наладки.

При обработке соосных отверстий с одной стороны для обоих вариантов направления инструмента (см. рис. 16, б и в) ожидаемое отклонение от соосности

$$\Delta_{нс} = \sqrt{(\Delta_{нс,г.и} + \Delta_{нс,у.и})^2 + \Delta_{нс,с}^2}, \quad (23)$$

где $\Delta_{нс,г.и}$ – отклонение вследствие геометрического смещения инструмента при зазорах между сменными втулками и инструментом; $\Delta_{нс,у.и}$ – отклонение вследствие упругих отжатий режущего инструмента; $\Delta_{нс,с}$ – погрешность, вызванная отклонением от соосности осей сменных втулок.

Обработка с одной стороны применяется преимущественно на финишных технологических переходах при высоких требованиях к соосности.

Геометрическое смещение (перекос) инструмента при зазорах $S_{1(1)}$ и $S_{1(2)}$ между втулками и инструментом и упругие отжатия инструмента зависят от неуравновешенных сил $\Delta P_{R(1)}$ и $\Delta P_{R(2)}$, возникающих при снятии неравномерных припусков в первом и втором отверстиях. Геометрическое смещение зависит от зазоров $S_{1(1)}$ и $S_{1(2)}$ и расстояний между обрабатываемыми отверстиями и торцами втулок.

Упругое отжатие инструмента определяют расчетом при известных условиях обработки (значениях и точках приложения сил, вылетах инструментов и т.д.). Погрешность $\Delta_{нс,с}$ определяют как разность отжатий инструмента в средних сечениях обоих отверстий. Разнонаправленное действие сил вызывает наибольшее отклонение от соосности.

Погрешность $\Delta_{нс,с}$ зависит от несовпадения осей постоянных втулок в собранном приспособлении (под влиянием погрешностей растачивания и сборки, а также разностенности втулок) и смещения оси сменной втулки в результате ее разностенности и зазора посадки в постоянной втулке.

В табл. 13 и 14 для ориентировочных расчетов приведены экспериментальные данные, характеризующие влияние неравномерности припуска на обработку и зазора на отклонение от соосности отверстий при зенкеровании с одной и с двух сторон.

13. Влияние неравномерности припуска ΔZ на отклонение от соосности отверстий при зенкеровании

Неравномерность припуска, мм	Отклонение от соосности (мм) при обработке				с двух сторон
	с одной стороны при расстоянии между отверстиями, мм				
	20	60	100	140	
0,4	$\frac{0,03}{0,03}$	$\frac{0,05}{0,04}$	$\frac{0,07}{0,06}$	$\frac{0,12}{0,10}$	0,08
0,1	$\frac{0,04}{0,04}$	$\frac{0,09}{0,06}$	$\frac{0,13}{0,09}$	$\frac{0,19}{0,17}$	0,12

Примечание 1. Для обработки с одной стороны в числителе приведены отклонения от соосности при переднем и заднем направлениях инструмента, в знаменателе – при заднем и промежуточном направлениях.

2. Отклонения от соосности даны для зенкерования отверстий диаметром 15 мм в деталях из серого чугуна СЧ 15.

14. Влияние зазора S_1 между сменными втулками и инструментом на отклонение от соосности отверстий при зенкеровании

Зазор S_1 , мм	Отклонение от соосности (мм) при обработке			с двух сторон
	с одной стороны при расстоянии между отверстиями, мм			
	60	100	140	
0,025	$\frac{0,03}{0,04}$	$\frac{0,05}{0,07}$	$\frac{0,07}{0,09}$	0,09
0,05	$\frac{0,04}{0,06}$	$\frac{0,07}{0,09}$	$\frac{0,10}{0,13}$	0,16

Примечание. В числителе – при односторонней обработке с передним и задним направлениями инструмента; в знаменателе – при обработке с задним и промежуточным направлениями.

При обеих разновидностях односторонней схемы обработки точность 'расположения соосных отверстий существенно зависит от зазора между сменными втулками и инструментом (большему зазору соответствуют

большие отклонения от соосности) и от неравномерности распределения припуска по сторонам обрабатываемых отверстий. При односторонней обработке с увеличением расстояния между отверстиями отклонение от соосности существенно возрастает особенно при переднем и заднем направлениях инструмента, что объясняется снижением жесткости инструментальной наладки.

Как для двусторонней, так и для односторонней схем обработки характерно существенное возрастание отклонения от соосности с увеличением зазора между втулками и инструментом. При обработке соосных отверстий с одной стороны геометрическое смещение инструмента при зазорах между втулками и инструментом меньше (особенно при переднем и заднем направлениях инструмента), а следовательно, меньше и отклонение от соосности, чем при обработке с двух сторон; эту схему целесообразно применять на чистовых переходах обработки.

При любой схеме обработки соосных отверстий, когда инструмент направляется в кондукторных втулках, для уменьшения отклонения от соосности следует уменьшать зазор между сменными втулками и инструментом; уменьшать вылеты инструментов и отклонения от соосности направляющих втулок; обеспечивать равномерное распределение припусков по сторонам обрабатываемых отверстий.

Межосевое расстояние отверстий. Отклонение межосевых расстояний отверстий: при обработке в одной позиции

$$\Delta_{мо,р} = \pm \sqrt{\Delta_{см(1)}^2 + \Delta_{см(2)}^2 + \Delta_{мо,р,у.и}^2}; \quad (24)$$

при обработке в разных позициях

$$\Delta_{мо,р} = \pm \sqrt{\Delta_{см(1)}^2 + \Delta_{см(2)}^2 + \Delta_{\epsilon_{y1}}^2 + \dots \rightarrow + \Delta_{\epsilon_{y2}}^2 + \Delta_{\rho(1)}^2 + \Delta_{\rho(2)}^2}, \quad (25)$$

где $\Delta_{см(1)}$ и $\Delta_{см(2)}$ – позиционные отклонения осей отверстий (соответственно первого и второго), рассчитываемые по (11); $\Delta_{мо,р,у.и}$ – отклонение межосевого расстояния узла направления; $\Delta_{\epsilon_{y1}}$ и $\Delta_{\epsilon_{y2}}$ – погрешности установки при обработке соответственно первого и второго отверстий; $\Delta_{\rho(1)}$ и $\Delta_{\rho(2)}$ – отклонение размеров между осью шпинделя и базовыми элементами позиций.

Для обработки отверстий диаметром свыше 120 мм при малых расстояниях между центрами отверстий применяют вспомогательный инструмент "скользящая втулка" (рис. 17, в). Вал борштанги установлен на подшипниках качения во втулке 5; последняя скользит поступательно (но не вращается!) по неподвижной втулке 6. Точность диаметра обрабатываемых отверстий в пределах 8 ... 13-го квалитета, смещение оси отверстия от номинального расположения 50 ... 150 мкм, отклонение межосевых расстояний отверстий 70 ... 180 мкм.

Обработку осевым инструментом с направлением в кондукторных втулках при жестком соединении инструмента со шпинделем применяют для крепежных отверстий и отверстий другого назначения диаметром до 18 мм (реже до 30 мм). На точность расположения влияют все звенья технологической системы — станок, инструмент, приспособление и заготовка. Во всех схемах обработки для сверления применяют жесткое крепление инструмента; для зенкерования и развертывания — жесткое и плавающее соединения, для растачивания — жесткое и плавающее крепления инструмента со шпинделем.

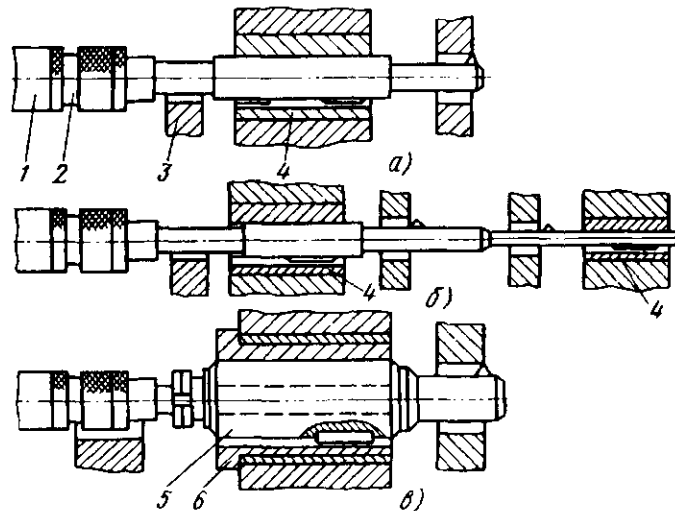


Рис. 17. Схемы обработки отверстий с направлением инструмента при плавающем соединении со шпинделем станка: а и б — направление во вращающихся втулках — соответственно одноопорное и двухопорное; в — направление в неподвижной втулке борштанги типа "скользящая втулка"; 1 — шпиндель, 2 — плавающий патрон, 3 — люнет, 4 — вращающиеся втулки, 5 — борштанга типа "скользящая втулка", 6 — неподвижная втулка

Точность диаметральных размеров отверстий при окончательной (чистовой или тонкой) обработке на агрегатных станках соответствует 6 — 8-му квалитету. При этом в сравнимых условиях точность обработки деталей из алюминиевых сплавов на один квалитет выше, а из стали на один квалитет ниже, чем при обработке чугуновых деталей.

Обработку отверстий жестко закрепленным инструментом с направлением выполняют по нескольким вариантам.

При применении ружейных и эжекторных сверл (глубокого сверления) для отверстий диаметром 12 — 30 мм обеспечивается точность 7 — 9-го квалитета, и необходимость в многопереходной обработке отпадает. В связи с незначительным уводом оси отверстия (5 — 10 мкм на 100 мм длины) применять метод глубокого сверления наиболее целесообразно для обработки длинных отверстий (при $l > 5d$).

Точность обработки отверстий при плавающем соединении инструмента со шпинделем станка зависит от конструктивного варианта узла направления (табл. 19).

19. Точность обработки отверстий после растачивания с направлением инструмента и при плавающем соединении инструмента со шпинделем станка

Направление инструмента	Обработка			
	черновая	получистовая	чистовая	тонкая
Во вращающейся втулке:				
одноопорное	12–14 11	9–11 9–10	7–8 6–7	6–7 5–6
двухопорное	12–13 11	9–10 8–9	7–8 7	6–7 5–6
В неподвижной втулке (одноопорное направление; борштанга типа скользящей втулки)	13–15 —	10–12 10–11	8–9 7–8	—

Примечание: 1. В числителе приведены квалитеты точности диаметральных размеров, в знаменателе — степени точности формы отверстий по ГОСТ 24643.

2. Более грубые квалитеты и степени точности формы относятся к обработке заготовок из стали.

Позиционное отклонение оси отверстия определяется суммарным влиянием геометрического смещения Δ_r оси инструмента в направляющих втулках и упругого смещения Δ_u под влиянием неуравновешенных сил резания, возникающих при наличии неравномерного распределения припуска по углу поворота инструмента.

Геометрическое смещение оси зависит от следующих факторов:

Δ_{S_1} — смещения оси инструмента относительно оси направляющей втулки под влиянием зазора S_1 в этом сопряжении;

Δ_{α_n} — смещения оси вращения инструмента относительно оси направляемой части вспомогательного инструмента (борштанги);

Δ_{y_n} — смещения оси направляющей втулки узла направления относительно номинального расположения.

Степень влияния каждого фактора неодинакова для одноопорных и двухопорных узлов, для различных конструкций вспомогательных инструментов.

Влияние зазора S_1 при обработке с направлением инструмента в одноопорном узле проявляется в смещении оси Δ_{S_1} . При двухопорном узле направления, тем более с различными зазорами $S_{1(1)}$ и $S_{1(2)}$ в первой и второй втулках, возникает перекося инструмента во втулках, и смещение инструмента зависит от расстояния между торцами втулок. При обра-

ботке точно координированных отверстий притиркой получают зазор 5 — 8 мкм; при эксплуатации этот зазор должен быть не более 10 — 20 мкм.

Погрешность вспомогательного инструмента (борштанги) во вращающихся втулках не учитывается ($\Delta_{\alpha_n} = 0$).

В вспомогательном инструменте типа "скользящей втулки" направляющий элемент отделен от вращающегося вала, несущего режущий инструмент, что приводит к смещению осей в вспомогательном инструменте. Эту погрешность определяют расчетом размерных цепей теоретико-вероятностным методом. Для унифицированных типов скользящих втулок $\Delta_{\alpha_n} = 10 \dots 40$ мкм.

Погрешность узла направления инструмента Δ_{y_n} характеризуется отклонением расположения оси направляющей втулки относительно базовых элементов приспособления для заготовки (иногда отклонением расположения относительно осей других втулок); для двухопорного узла направления определяют положение общей оси обеих направляющих втулок.

Величина Δ_{y_n} , как и Δ_{α_n} , определяется расчетом размерных цепей. При изготовлении точных станков $\Delta_{y_n} = 0,01$ мм.

По экспериментальным данным погрешность узла направления инструмента составляет 30 — 80 % общего баланса геометрических погрешностей. Эта погрешность снижается наиболее эффективно при одновременном уже-

сточении допусков на координаты, связывающие оси отверстий под направляющие втулки между собой и с базовыми элементами до значений $\pm 0,007$ мм (вместо $\pm 0,01$ мм), при уменьшении эксцентриситета втулок и повышении точности наружных колец подшипников качения.

Для узла направления типа скользящей втулки смещение оси вращения относительно оси направляющей поверхности может составить 15 – 30 % общей геометрической погрешности.

Влияние зазора в балансе геометрических погрешностей изменяется в пределах 15 – 60 % в зависимости от износа элементов сопряжения.

Для повышения точности расположения осей обрабатываемых отверстий следует использовать посадку H6/g5, а при растачивании использовать посадки H5/g4, H4/g3.

Узел направления типа вращающейся втулки обеспечивает более высокую точность расположения оси, чем неподвижная втулка в сочетании с вспомогательным инструментом в виде скользящей втулки.

Упругие смещения Δ_y технологической системы возникают под влиянием неравномерности припуска ΔZ , вызывающей действие неуравновешенных сил в диаметральной плоскости, и зависят от податливости технологической системы. Вектор смещения оси обрабатываемого отверстия отклоняется от направления смещения припуска на угол, соответствующий направлению действия неуравновешенной силы.

Позиционное отклонение $\Delta_{см}$ формируется под действием факторов, изменяющих свое влияние в зависимости от метода и условий обработки: типа узла направления инструмента, точности расположения оси в заготовке и др. При черновой обработке доминирующее значение принадлежит погрешности, вызываемой упругими деформациями, а при чистовой обработке – погрешности, зависящей от узла направления инструмента.

Экспериментальные данные, характеризующие баланс погрешностей в позиционном отклонении оси обрабатываемого отверстия, для различных условий обработки в одноопорном узле направления приведены в табл. 20. Позиционное отклонение при расчетах

$$\Delta_{см} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{S_1}^2 + \Delta_{y(н)}^2 + \Delta_{\epsilon_y}^2}. \quad (29)$$

При расчетах некоторыми погрешностями, незначительно влияющими на результат, пренебрегают. Так, при черновом растачивании не учитывают влияние зазора S_1 ($\Delta_{S_1} = 0$); при чистовом растачивании и развертывании не учитывают влияние упругих отжатий ($\Delta_y = 0$).

20. Ориентировочные данные об удельных значениях (%) составляющих позиционного отклонения $\Delta_{см}$ при обработке в одноопорных узлах типа вращающейся втулки

Обработка	Δ_y	$\Delta_{y(н)}$	Δ_{S_1}	Δ_{ϵ_y}
Зенкерование	35 – 45	15 – 25	10 – 15	20 – 30
Развертывание чистовое	10 – 20	30 – 40	20 – 35	25 – 35
Растачивание чистовое	10 – 20	40 – 50	10 – 20	30 – 40

Примечание. Зенкерование и развертывание отверстий диаметром 8 – 50 мм, растачивание – отверстий диаметром 50 – 60 мм.

Точность обработки снижается в результате износа многих элементов технологической системы, но наиболее существенное значение имеет увеличение зазора S_1 под влиянием изнашивания. Поверхность направляющей втулки изнашивается более интенсивно, чем сопрягаемая часть инструмента, поскольку последний контактирует с втулкой различными участками. В табл. 21 приведены расчетные значения зазоров S_1 , допустимые позиционными отклонениями.

Отклонение межосевого расстояния двух отверстий зависит от отклонений $\Delta_{S_1(1)}$

и $\Delta_{S_1(2)}$ расположения осей отверстий вследствие зазоров и отклонений $\Delta_{y(1)}$ и $\Delta_{y(2)}$ вследствие упругих смещений, а также от погрешности $\Delta_{мо.р.у.н}$ узла направления. При обработке двух отверстий в одной позиции с использованием одноопорных узлов направления

$$\Delta_{мо.р} = \pm \sqrt{\Delta_{S_1(1)}^2 + \Delta_{S_1(2)}^2 + \dots} \rightarrow \dots \rightarrow \sqrt{\Delta_{y(1)}^2 + \Delta_{y(2)}^2 + \Delta_{мо.р.у.н}^2}$$

21. Наибольшие значения зазора S_1 в сопряжении втулка-инструмент для обеспечения точности расположения оси отверстия

Диаметр сопряжения d_0 , мм	Длина втулки $l_{вт}$, мм	Длина вылета инструмента $l_{н}$, мм	Погрешность узла направления $\Delta_{y,н}$, мм	Смещение $\Delta_{см}$ при начальном зазоре (посадка H4/g3), мм	S_1 при смещении оси отверстия $\Delta_{см}$, мм			
					0,05	0,06	0,07	0,08
20 – 30	140	40	0,031	0,044	0,022	0,036	0,052	0,064
30 – 50	170	60	0,034	0,048	0,018	0,032	0,047	0,060
50 – 60	200	75	0,038	0,054	–	0,030	0,038	0,057

При зенкерании отверстий в двух позициях (каждого отдельно) кроме того учитывают влияние погрешности установки Δ_{ϵ_y} (эта погрешность значительно больше, чем при обработке в одной позиции). При растачивании отверстий влиянием Δ_{S_1} пренебрегают.

Отклонение от соосности двух отверстий, обработанных на одной оправке (двумя зенкерами или двумя резцами) в двухопорном узле, зависит от упругих деформаций технологической системы. Отклонение от соосности

$$\Delta_{нс} = \sqrt{\Delta_{y(1)}^2 + \Delta_{y(2)}^2}.$$

Отклонение от соосности двух отверстий, обработанных в одной позиции с двух сторон в одноопорных узлах направления,

$$\Delta_{нс} = \sqrt{\Delta_{нс.у.н}^2 + \Delta_{y(1)}^2 + \Delta_{y(2)}^2 + \Delta_{S_1(1)}^2 + \Delta_{S_1(2)}^2},$$

где $\Delta_{нс.у.н}$ – отклонение от соосности узлов направления в позиции;

$\Delta_{y(1)}$ и $\Delta_{y(2)}$ – смещения осей первого и второго отверстий от упругих деформаций;

$\Delta_{S_1(1)}$ и $\Delta_{S_1(2)}$ – смещения осей отверстий вследствие зазора S_1 .

РАСТАЧИВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ БЕЗ НАПРАВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Особенности станков и область применения. Отсутствие в компоновке станка узла направления инструмента способствует снижению его стоимости, освобождает операционное пространство, делает более удобным в наладке и техническом обслуживании.

Станки компонуются из унифицированных расточных бабок (РБ), закрепленных на силовом столе, и неподвижно установленного приспособления. Наиболее распространены станки горизонтальной компоновки (рис. 18) одно-, двух- или трехстороннего расположения бабок 1 ... 4 габаритов, иногда с включением вертикально расположенной расточной бабки. Геометрическая точность компоновки обеспечивается выверкой при сборке в соответствии с требованиями точности. Точность расположения осей вращения шпинделей относительно базовых элементов приспособления достигается выверкой по эталону, занимающему в приспособлении место обрабатываемой заготовки.

Наиболее распространены в обработке отверстия диаметром от 30 до 100 мм (реже до 210 мм), гладкие, реже – ступенчатые и с канавками. Консольно закрепленный инструмент создает ограничение на размеры растачиваемого отверстия с отношением длины к диаметру $l/d \leq 3$.

Вылет оправки от торца шпинделя до реза допускается при отношении $l_{опр}/d_{опр} \leq 5$. В неблагоприятных случаях, когда $l_{опр} > 5d$, возникает необходимость в применении опоры для конца оправки. Опора выполняется в виде вращающейся втулки и размещается за обрабатываемой деталью.

Точность обработки. Точность диаметральных размеров от 50 до 250 мм при растачивании без направления инструмента соответствует 7-му качеству (при диаметре менее 50 мм – несколько грубее). Отклонение формы отверстий (конусообразность и овальность) составляет 10 мкм – для отверстий диаметром 10 ... 18 мм; 14 мкм – для отверстий диаметром 30 ... 80 мм и 20 мкм – для отверстий диаметром

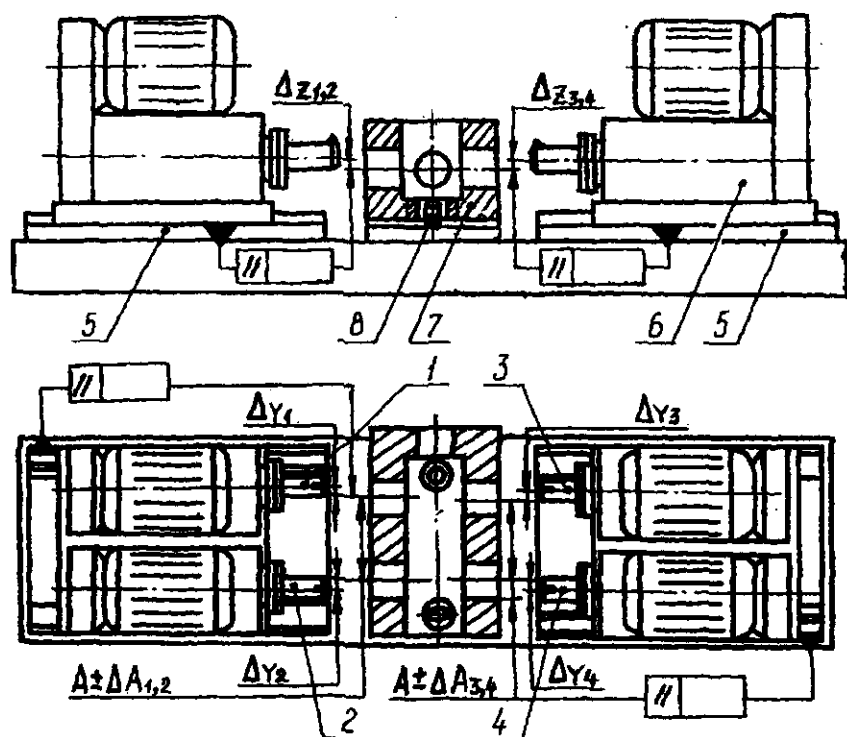


Рис. 18. Компоновка двухстороннего четырехшпиндельного агрегатного станка: 1 – 4 номера шпинделей; 5 – силовые столы; 6 – унифицированная расточная бабка (6 шт.); 7 – эталонная деталь; 8 – приспособление; $\Delta y_1, \Delta y_2$ – отклонения осей шпинделей по соответствующим координатам; ΔA – отклонения межосевых расстояний

180 ... 250 мм). Точность координат обработанных отверстий при использовании одношпиндельных РБ обеспечивается в пределах до $\pm 0,025$ мм, а параллельность осей – в пределах 0,03 мм на длине 300 мм. При применении многошпиндельных бабок достигаемая точность координат осей отверстий не выше $\pm 0,06$ мм, при параллельности их осей до 0,1 мм на длине 300 мм, точность осевых размеров в ступенчатых отверстиях при подрезке узких торцов (шириной до 5 мм) резцом 0,07 ... 0,15 мм.

Погрешность расположения оси от баз детали и межосевого расстояния (МОР) ΔA (см. рис. 18) формируется под влиянием геометрических неточностей станка, погрешности установки заготовки и погрешности от упругих деформаций.

Доля геометрических погрешностей и упругих деформаций в суммарной величине погрешности расположения зависит от стадии обработки: при полуставном растачивании

геометрические неточности составляют 33 ... 35 %, упругие отжатия 35 ... 37 %, а при чистовом растачивании 40 ... 43 % и 23 ... 27 %, соответственно. Погрешность установки заготовки составляет 31 ... 35 % в обоих случаях.

Геометрическая точность станков по определенным параметрам изменяется в процессе эксплуатации. В частности, непосредственное влияние на точность обработки оказывает износ направляющих силового стола, а также установка и крепление инструментальной наладки на шпинделе без радиального биения и изгиба оси. Влияние геометрических неточностей станка на точность обработки усложняется сопутствующим воздействием тепловых деформаций элементов технологической системы (ТС).

Тепловые перемещения оси шпинделя расточной бабки под влиянием нагрева в процессе работы создают погрешность Δ_T расположения оси шпинделя в системе координат

АС. Она изменяет свое значение во времени и достигает наибольшей величины в конце периода тепловой стабилизации. Величина Δ_T зависит от частоты вращения шпинделя, нагрузки и габарита расточной бабки и может рассматриваться как фактор систематически изменяющейся погрешности. Источником нагрева является трение в опорах шпиндельного узла.

Вектор тепловых деформаций Δ_T имеет доминирующую вертикальную составляющую Δ_z (см. рис. 18), которая может достигать десятков микрометров. Горизонтальная составляющая Δ_y не превышает 20 % Δ_z , ее направление случайно и зависит от условий охлаждения корпуса РБ.

Для расточных бабок с ременным приводом вращения и с механическим приводом силового стола процесс нарастания тепловых деформаций продолжается 70 ... 100 мин, при этом Δ_z достигает 35 ... 40 мкм.

Для РБ с шестеренным приводом вращения и гидравлическим приводом силового стола процесс нарастания деформаций продолжается 80 ... 390 мин для 1 ... 7 габаритов бабок, соответственно, а Δ_z достигает 60 мкм для бабки 4-го габарита.

Для силовых столов и РБ с гидроприводами подачи основным источником тепловыделений является нагрев масла при дросселировании. Величина нагрева тем больше, чем меньше рабочая подача. Нагрев силового стола вызывает дополнительное вертикальное смещение оси шпинделя. Тепловые смещения шпинделя в осевом направлении увеличиваются за счет нагрева относительно длинных инструментальных наладок и достигают для РБ с гидроприводом 100 ... 150 мкм. Эти величины необходимо учитывать в настроечных размерах на подрезку торцов в ступенчатых отверстиях.

Влияние тепловых смещений на точность координат осей отверстий можно снизить при выверке станка на геометрическую точность, уменьшив номинальный размер от оси шпинделя РБ до базовой плоскости приспособления на величину

$$\Delta_{\text{тн}} = \text{ПВ} \% (wt + e^{-wt} - 1) \Delta_T / wt 100 \%,$$

где ПВ % – продолжительность включения шпинделя; $w \approx (2,6 \dots 0,6)$ – параметр нарастания тепловых деформаций для РБ габаритов 1 ... 7, соответственно; e – основание натуральных логарифмов; t – время работы РБ (смена или половина смены).

По координате Y необходимо внести поправку на размер от оси цилиндрического пальца приспособления. При выверке двух РБ для обработки соосных отверстий или отверстий с параллельными осями с двух сторон следует учесть направление векторов тепловых смещений в горизонтальной плоскости и избежать возможного суммирования погрешностей.

Для снижения влияния тепловых деформаций можно рекомендовать многорезцовые блоки, работающие по методу деления подачи на оборот с компенсацией поперечных сил резания за счет расположения вершин резцов в разных угловых положениях относительно оси вращения шпинделя. Такие схемы обработки характеризуются пониженной частотой вращения и радиальной нагрузкой на шпиндель при сохранении заданной производительности. В некоторых случаях это позволяет уменьшить габарит РБ, что дает не только уменьшение тепловых перемещений, но и выигрыш в стоимости РБ приблизительно на 25 %.

Упругие перемещения в ТС формируются при одновременном влиянии систем шпиндельного узла с инструментальной наладкой, силового стола с расточными бабками и приспособления с заготовкой. Для компоновок с унифицированными одношпиндельными РБ, в балансе погрешностей от упругих деформаций на долю системы шпиндель – расточная бабка приходится 53 ... 58 %, силового стола с бабками 20 ... 24 %, приспособление – заготовка 18 ... 22 %. Шпиндель расточной бабки должен обладать высокой жесткостью, т.к. непосредственно на него передается радиальная сила резания.

Наиболее податливой частью системы является консольная инструментальная оправка. Погрешности от упругих отжатий ТС образуются под влиянием технологических факторов, определяющих величины силовых нагрузок и условия взаимодействия. При обработке каждого отдельного отверстия, смещение его оси происходит под влиянием погрешности предшествующего перехода в виде неравномерного распределения припуска в поперечном сечении. При параллельной обработке нескольких отверстий погрешности формируются в условиях взаимного влияния нагрузок от всех инструментов.

При растачивании отверстий с неравномерным припуском на РБ с ременным приводом, работающих с высокими частотами вращения, вектор Δ_{y1} упругого суммарного сме-

щения оси отверстия направлен в соответствии с вектором неуравновешенной силы, под углом $67 \dots 75^\circ$ к плоскости расположения наибольшего припуска (рис. 19). В результате этого ось обрабатываемого отверстия оказывается смещенной не только горизонтально (ось Y), но и вертикально (ось Z). Так, при неравномерности припуска в 1 мм величина смещения составляет по оси Z 30 мкм, а по оси Y приблизительно 15 мкм. Если одновременно с первым отверстием обрабатывается второе отверстие (с равномерно распределенным припуском), то ось этого отверстия получает аналогичные по направлению смещения Δy_2 , хотя и меньшие в 2,5 ... 3 раза по величине.

При синхронном вращении шпинделей взаимное угловое положение вершин резцов в процессе работы остается неизменным, а силы резания имеют стабильную направленность друг относительно друга. Наиболее благоприятным для повышения точности является расположение вершин резцов в диаметрально противоположных положениях (с фазовой разностью 180°). При таком расположении резцов величины результирующих сил, действующих в направлении координат Y и Z , определяются разностью составляющих сил резания от обоих инструментов, а упругие деформации соответственно уменьшаются на 25 ... 30 % по сравнению с однонаправленным расположением вершин резцов.

Для АС с унифицированными РБ, шестеренным приводом шпинделя, работающими с малыми и средними частотами вращения, характерным является несинхронное вращение

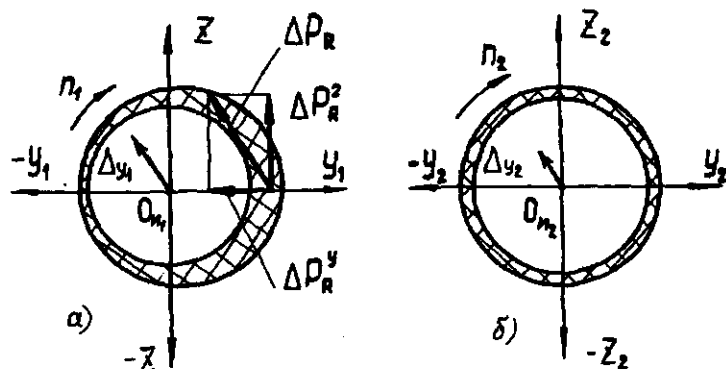


Рис. 19. Схема действия сил при растачивании 2 отверстий с неравномерным (а) и равномерным (б) припуском: ΔP — неуравновешенная сила резания; n_1, n_2 — частоты вращения шпинделей

шпинделей. Во время резания несинхронность вращения шпинделей вызывает изменение углового расположения резцов, что изменяет условия взаимодействия сил резания и, как следствие, суммирование случайно направленных векторов деформаций. Это проявляется в уменьшении настроенных диаметральных размеров, увеличении шероховатости и волнистости поверхностей отверстий, а также в увеличении погрешностей их формы в продольном и поперечном сечениях. Более благоприятное суммирование сил резания наблюдается при обработке систем отверстий с разнонаправленным вращением шпинделей, что дает возможность повысить точность обработки до 20 %.

При разработке схемы операции нужно создавать более благоприятные условия для более точных поверхностей. Так, исходя из наименьшего влияния сил резания от параллельно работающих инструментов на расположение оси наиболее точного отверстия, нужно, чтобы силы резания при его обработке были больше, чем при обработке других отверстий.

Влияние структуры операции на точность расположения осей отверстий исследовалось на четырехшпиндельном АС (см. рис. 18), вначале при последовательной обработке отверстий каждым шпинделем, затем при различном сочетании работы шпинделей (1 и 3, 1 и 4, 1 и 2 и всех 4-х).

Величины погрешностей расположения (смещения оси от баз, отклонения от соосности, параллельности, заданного межосевого расстояния) при параллельной обработке

больше, чем при последовательной в 1,1 ... 1,13 раза при двухшпиндельной обработке и в 1,23 ... 1,25 раза — при четырехшпиндельной обработке.

Доля упругих деформаций системы приспособление-заготовка возрастает при двухшпиндельной обработке в 1,65 ... 1,8 раза, а при четырехшпиндельной — в 2,3 ... 2,5 раза. Для принятых режимов погрешности обработки заготовок из алюминиевого сплава близки к минимальным значениям, а из чугуна — к наибольшим значениям.

При растачивании ступенчатых отверстий многолезковыми оправками, погрешности обработки формируются в сложных условиях силового взаимодействия нескольких инструментов при неодновременном вступлении их в работу. Основную долю упругих отжатий (до 70 %) составляют деформации консольной оправки. Упругие деформации оправки могут быть определены расчетными методами теории упругости при назначении режимов обработки.

Обработка торцовых поверхностей большого диаметра и растачивание канавок в отверстиях требует применения специальных инструментальных наладок и механизмов. Подрезка торцов небольшой ширины (до 5 мм) в ступенчатых отверстиях выполняется в составе расточной операции подрезным резцом в многолезковой наладке. Точность осевых размеров обеспечивается при остановке силового стола на жестком упоре в конце рабочего хода. Точность остановки на жестком упоре зависит от осевой нагрузки и жесткости системы упора и может быть повышена до 0,1 мм выдержкой на упоре в течение 1 ... 2 с. На точность осевых размеров существенно влияют тепловые деформации шпинделя и наладки в осевом направлении, а также размерный износ подрезного резца.

При проектировании операции следует учитывать, что в зависимости от расположения подрезаемых торцов и схемы подрезки (с одной стороны или с двух сторон) погрешности от тепловых деформаций и износа резца могут суммироваться или взаимно компенсироваться. При обработке ступенчатых отверстий тепловое удлинение резца может сразу же после наладки превысить величину износа и стать доминирующей погрешностью.

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ С ДЕЛИТЕЛЬНЫМ ПОВОРОТНЫМ СТОЛОМ

Особенности станков (рис. 20). На агрегатных станках (АС) с делительным поворотным столом (ДПС) реализуются многоместные многоинструментные параллельно-последовательные схемы построения операций в их наиболее интенсивной форме. Заготовки обрабатываются с двух сторон — сверху и с горизонтально расположенных вокруг ДПС агрегатных головок (АГ) с инструментами.

При двухцикловой наладке с перекладыванием заготовок (за два оборота стола) становятся доступными для обработки еще две стороны заготовки. На этих станках осуществляется практически полная (черновая и чистовая)

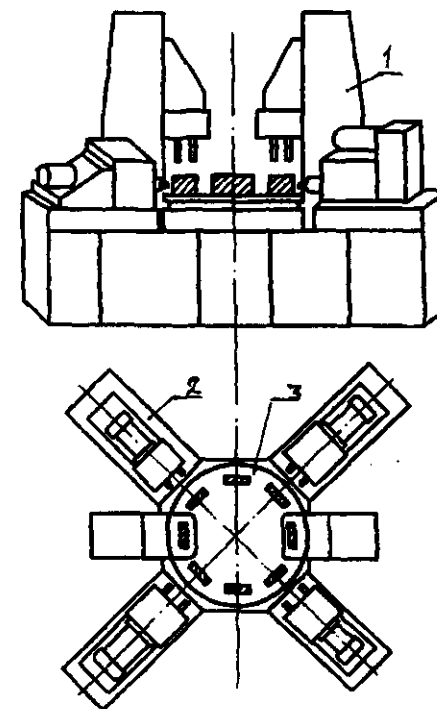


Рис. 20. Компонировка агрегатного станка с делительным поворотным столом: 1 — вертикальная головка (2 шт.); 2 — горизонтальная головка (4 шт.); 3 — восьми позиционный делительный поворотный стол

обработка корпусных деталей малых и средних размеров. На них целесообразна обработка также одноосных деталей с отверстиями (фланцы, вилки) и деталей типа валиков и пальцев, требующих сверления осевых и радиальных отверстий (гладких и резьбовых), фрезерования лысок, канавок и торцев.

Многопозиционный стол с числом позиций от 2 до 12 (чаще с 4 – 8 позициями) служит для установки заготовок в приспособлениях (иногда многоместных) и передачи их в последующие рабочие позиции (РП) с индексацией стола в течение 4–5 с.

ГОСТ 16460 определяют нормы точности ДПС диаметром от 600 до 1600 мм по основным параметрам. Фактические погрешности у работающих столов значительно больше. Точность позиционирования на заданный угол, вследствие износа в сопряжениях узлов упоров стола и узла фиксатора, составляет 30 ... 40 мкм (вместо 12 мкм по ГОСТу). Радиальное смещение планшайбы, из-за увеличения зазора в посадке центральной оси, достигает 50 ... 60 мкм.

Точность обработки. Технологическая система АС с ДПС специфична тем, что каждая инструментальная наладка размещена на своей АГ, а стол с установленными на нем заготовками является общим звеном технологической системы (ТС) и приложенные в любой позиции силы резания вызывают перемещения всех заготовок относительно своих инструментов.

Погрешность обработки по параметрам расположения формируется в условиях сложного взаимодействия разобщенных в пространстве сил от всех инструментальных наладок со всеми заготовками во всех РП стола.

Фактически достигаемая точность расположения осей отверстий (0,2 ... 0,4 мм) часто не соответствует требованиям чертежей деталей (0,15 ... 0,2 мм), что создает ограничения для применения этих станков, а также ставит задачу поиска путей повышения точности обработки до требуемой.

В исследованиях установлено, что чем больше силовые нагрузки, тем больше погрешности обработки. При сверлении отверстий диаметром 25 мм погрешность расположения их осей почти в 2 раза больше, чем при сверлении аналогично расположенных отверстий диаметром 16 мм. При обработке деталей из алюминиевого сплава точность для одинаковых условий в 1,5–2 раза выше, чем для чугунных деталей.

В общем балансе суммарной погрешности расположения осей отверстий относительно баз (для диаметров 15 ... 25 мм) основные слагаемые составляют: геометрические погрешности инструментальных наладок и механизма деления стола 15 – 25 %; упругие отжатия инструментов и узлов их направления 5 – 20 %; погрешности установки заготовок до 20 %; погрешности от смещения планшайбы стола с заготовками под действием сил резания 30 ... 50 %.

Большинство технологических переходов по обработке координированных отверстий в корпусных деталях (60 ... 70 %) выполняются жесткозакрепленным стержневым инструментом (сверло, зенкер, развертка), обычно направляемым по кондукторным втулкам.

Конструктивные варианты узлов направления инструментов выбираются с учетом условий выполнения наладки и техобслуживания станка при ограниченном операционном пространстве. Применяются стационарные кондукторные плиты (КП), устанавливаемые на столе и подвижные КП, подвижные при рабочем ходе агрегатной головки и фиксируемые на столе или на приспособлении. При применении стационарных КП точность расположения осей отверстий зависит, главным образом, от геометрического смещения инструмента, а для подвижных – от упругих отжатий КП и элементов их фиксации в момент обработки. Особенности использования стационарных и подвижных КП на АС рассмотрены выше применительно к спутникам АЛ.

Для определения величин погрешностей от геометрического и упругого смещения оси жесткозакрепленного стержневого инструмента применимы методики, разработанные для АС других компоновок.

Специфическая для АС с ДПС и наиболее значимая погрешность от смещения оси планшайбы под действием нагрузок образуется при выборке зазоров в узлах центральной оси (ЦО) стола, упоров и фиксатора, и в результате упругих отжатий в этих узлах. Величина этой погрешности зависит от построения ТП, является его управляемым фактором и может быть снижена за счет разработки рациональной структуры операции.

Структура операции характеризуется комплексом технологических переходов, выполняемых в течение одного цикла обработки. Виды инструментов, их число в РП стола, положение в пространстве определяют сило-

вую структуру операции, а моменты времени вступления в работу и выхода из работы – ее цикловую структуру.

Цикловая структура характеризуется тем, как выполняются во времени технологические переходы: параллельно, параллельно-последовательно или последовательно.

При обработке группы отверстий с параллельными осями с горизонтально расположенными АГ выяснилось, что смещение планшайбы стола с заготовками происходит в момент врезания инструментов. При последовательном вступлении в работу сверл к начальному смещению планшайбы от врезания первого сверла добавляется скачкообразное смещение стола от врезания второго сверла (врезание третьего сверла не вызывает заметного изменения величины смещения) и если это сверло большего размера, то возможно заклинивание и поломка первого сверла. При одно-временном (параллельном) врезании двух и более сверл, АГ и стол образуют, через инструменты, жесткую систему, и начальное смещение осей не изменяется в течение всего цикла.

Таким образом, параллельной схеме свойственна более высокая точность обработки отверстий по параметрам расположения при минимальном цикловом времени. Возможные ограничения по мощности электропривода от одновременного врезания нескольких инструментов можно устранить, предусмотрев в рабочем цикле врезание при уменьшенной подаче с последующим переходом к требуемой.

Для реальных операций характерны параллельно-последовательные схемы, в которых сочетаются промежутки времени одновременной обработки с неодновременным началом и окончанием работы инструментов. Параллельные схемы применяются в производстве сравнительно редко, т.к. конфигурация деталей, размеры и расположение поверхностей не позволяют одновременно начать и закончить обработку.

Силовые нагрузки, воздействующие на заготовки, суммируясь и взаимокompенсирясь, изменяют в течение цикла обработки свои величины и величины перемещений в ТС и, таким образом, формируют структурную погрешность обработки.

Применением научно-обоснованной методики разработки силовых и цикловых структур операции можно достичь снижения структурной погрешности на 15 – 30 % при сохранении производительности.

Разработка технологии. Определив вид заготовки и назначив ТУ на ее изготовление, разрабатывают схему базирования и выбирают тип приспособления. Для основных поверхностей и их систем выбирают методы обработки и виды инструментов, определяют число переходов. При расчете режимов резания выявляется лимитирующий переход и выполняются все расчеты для определения времени его выполнения. За этим следует собственно разработка структуры операции с целью наиболее выгодного распределения нагрузок от сил резания по рабочим позициям.

При разработке операции необходимо знать точностные возможности **операционного пространства станка**. Выбирая схему установки заготовки для обработки, следует учитывать, что погрешности обработки тех или иных поверхностей зависят от места расположения заготовки на плоскости стола, относительно центральной оси ЦО и фиксатора стола.

На схеме (рис. 21) видно влияние возможных перемещений стола с заготовкой на изменение координат осей обрабатываемых отверстий (точки T и K). Планшайба стола, вместе с заготовками, под действием суммарной неуравновешенной силы P_z , получает отжатие Δy , в направлении оси Y за счет зазоров ЦО и ее податливости, а также перемещение Δz от поворота ("завала") планшайбы на угол β .

Под влиянием неуравновешенного момента M_z при выборке зазоров и упругой деформации в узле фиксации стола, планшайба поворачивается на угол θ , создавая перемещение Δx . С уменьшением расстояния от ЦО (радиус расположения заготовок) погрешность Δx расположения точки T снижается; погрешность Δz снижается с уменьшением координаты Z (расстояние от плоскости стола).

На координаты оси отверстия, обрабатываемого с вертикальной головки (точка K) оказывают влияние погрешности Δx и Δy .

Таким образом, при выборе схемы установки заготовки и типа приспособления следует наиболее точные поверхности располагать на меньшем расстоянии от ЦО и ближе к плоскости стола. Включение в компоновку станка вертикальных головок, особенно при симметричном расположении их относительно диаметральных плоскостей стола, способствует повышению точности обработки, т.к. обеспечивает дополнительный прижим планшайбы к направляющим стола.

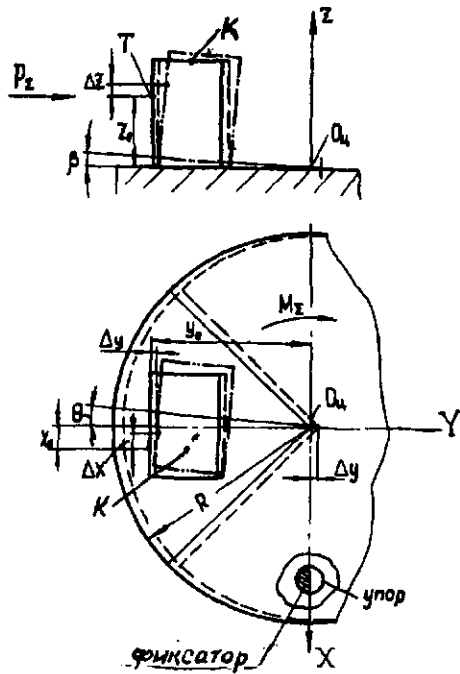


Рис. 21. Схема смещения осей обрабатываемых отверстий в системе координат стола

При разработке операции необходимо использовать все возможности для уменьшения величин неуравновешенных сил, действующих в горизонтальной плоскости, неуравновешенных моментов, стремящихся повернуть планшайбу вокруг ЦО и моментов, вызывающих "завал" плоскости планшайбы.

Для этого при разработке структуры операции рекомендуется технологические переходы, требующие приложения близких по величине сил, размещать на диаметрально-противоположных позициях стола, а в каждой РП точки приложения сил размещать симметрично относительно диаметральной плоскости стола. Следует так располагать переходы по позициям, чтобы силы резания взаимно компенсировались, а равнодействующие неуравновешенных сил и моментов были минимальны и известны по направлениям. Неуравновешенный момент относительно ЦО должен прижимать упор к фиксатору стола, а не отрывать от него.

Для повышения жесткости всей технологической системы в момент обработки и устранения возможных перекосов и заклинивания инструмента, желательно в цикле работы предусматривать одновременную фиксацию кондукторных плит во всех позициях до момента вступления в работу инструментов, а расфиксацию — после окончания работы всеми головками. Для частичной компенсации неуравновешенной силы можно использовать силу прижима подвижного кондуктора, а расположение скалок кондукторов должно препятствовать повороту относительно ЦО.

При разработке операции необходимо учитывать техническую характеристику ДПС, где предусматриваются ограничения по нагрузке стола в процессе работы по следующим параметрам: (величины относятся к столу диаметром 1000 мм и массой 1500 кг) допустимый крутящий момент на планшайбе от сил резания, направленный против часовой стрелки, 10 000 Н·м, по часовой стрелке — 8000 Н·м; допустимая радиальная сила, приложенная на высоте 200 мм от плоскости планшайбы 63000 Н; масса приспособлений с заготовками 3000 кг.

Разработка рациональной структуры операции с выбором варианта, обеспечивающего наименьшие структурные погрешности по главным параметрам, возможна только с применением ЭВМ.

В наиболее простом варианте расчеты выполняются в два этапа. На первом этапе рассчитывают величины суммарных неуравновешенных сил и моментов резания и направления их действия. Исходная информация, вводимая в ЭВМ, включает число позиций и угол между позициями, радиус расположения обрабатываемых поверхностей, число инструментов, силы и моменты резания от каждого инструмента.

На втором этапе рассчитывают величины погрешностей, обусловленных структурой операции, исходя из схемы действия сил на центральную ось и фиксатор стола, геометрических и упругих перемещений в этих узлах, с учетом других условий выполнения операции.

В расчетах учитывают также и препятствующие перемещению стола силы трения от массы планшайбы, силы прижима планшайбы к направляющим и моменты от них, ограничения, создаваемые технической характеристикой стола.

8

Глава

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ И В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

Основные понятия

Термины и определения видов гибких производственных систем устанавливает ГОСТ 26228-90.

Гибкая производственная система (ГПС) — совокупность или отдельная единица технологического оборудования и системы обеспечения его функционирования в автоматическом режиме, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

ГПС по организационной структуре подразделяют на следующие уровни: гибкий производственный модуль — первый уровень; гибкая автоматизированная линия и гибкий автоматизированный участок — второй уровень; гибкий автоматизированный цех — третий уровень; гибкий автоматизированный завод — четвертый уровень.

По степени автоматизации ГПС подразделяют на следующие ступени: гибкий производственный комплекс — первая ступень; гибкое автоматизированное производство — вторая ступень. Если не требуется указания уровня организационной структуры производства или ступеней автоматизации, то применяют обобщающий термин "гибкая производственная система".

Гибкий производственный модуль (ГПМ) — ГПС, состоящая из единицы технологического оборудования, оснащенная автоматизированным устройством программного управления и средствами автоматизации технологического процесса, автономно функционирующая, осуществляющая многократные циклы и имеющая возможность встраивания в систему более высокого уровня.

Частным случаем ГПМ является *роботизированный технологический комплекс (РТК)* при условии возможности его встраивания в систему более высокого уровня. В общем случае в ГПМ входят накопители, приспособления-спутники (палеты), устройства загрузки и разгрузки, в том числе промышленные роботы (ПР), устройства замены оснастки, удаления отходов, автоматизированного контроля, включая диагностирование, переналадки и т.д.

Гибкая автоматизированная линия (ГАЛ) — ГПС, состоящая из нескольких гибких производственных модулей, объединенных автоматизированной системой управления, в которой технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологических операций.

Гибкий автоматизированный участок (ГАУ) — ГПС, состоящая из нескольких гибких производственных модулей, объединенных автоматизированной системой управления, функционирующая по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.

ГАЛ и ГАУ могут содержать отдельно функционирующие единицы технологического оборудования.

Гибкий автоматизированный цех (ГАСЦ) — ГПС, представляющая собой совокупность гибких автоматизированных линий и (или) гибких автоматизированных участков, предназначенная для изготовления изделий заданной номенклатуры.

Гибкий автоматизированный завод (ГАЗ) — ГПС, представляющая собой совокупность гибких автоматизированных цехов, предназначенная для выпуска готовых изделий в соответствии с планом основного производства. ГАЗ может содержать также отдельно функционирующие неавтоматизированные участки и цехи.

По ступеням автоматизации различают два вида ГПС.

Гибкий производственный комплекс (ГПК) – ГПС, состоящая из нескольких гибких производственных модулей, объединенных автоматизированной системой управления и автоматизированной транспортно-складской системой, автономно функционирующая в течение заданного интервала времени и имеющая возможность встраивания в систему более высокой ступени автоматизации.

Гибкое автоматизированное производство (ГАП) – ГПС, состоящая из одного или нескольких гибких производственных комплексов, объединенных автоматизированной системой управления производством и транспортно-складской автоматизированной системой, и осуществляющая автоматизированный переход на изготовление новых изделий с помощью АСНИ, САПР и АСТПП.

ГПС в общем случае включает функциональные системы. Система обеспечения функционирования технологического оборудования ГПС – совокупность взаимосвязанных автоматизированных систем, обеспечивающих проектирование изделий, технологическую подготовку их производства, управление гибкой производственной системой и автоматическое перемещение предметов производства и технологической оснастки.

В общем случае в систему обеспечения технологического оборудования ГПС входят: автоматизированная система научных исследований (АСНИ); система автоматизированного проектирования (САПР); автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП); автоматизированная система управления предприятиями (АСУП); автоматизированная транспортно-складская система (АТСС); автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО); система автоматизированного контроля (САК); автоматизированная система удаления отходов и т.д.

Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) – система взаимосвязанных автоматизированных транспортных и складских устройств для укладки, хранения, временного накопления и доставки предметов труда, технологической оснастки и удаления отходов.

Автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО) – система взаимосвязанных элементов, включающая на-

копители, устройства смены и контроля качества инструмента, обеспечивающие хранение, автоматическую установку и замену инструмента.

Основной областью применения ГПС является серийное многономенклатурное производство. Как видно из определений, каждый вид ГПС характеризуется тем, что может функционировать автономно, представляет собой технически законченное целое и имеет свою локальную систему управления; возможность встраивания в систему более высокого уровня; позволяет, спроектировав ГПС высокого уровня, начинать внедрять его по частям как ГПС более низкого уровня. Степень автоматизации как самой ГПС, так и ее функциональных систем может быть различной. И этим определяется число обслуживающего персонала. ГПС обладает также свойством быстрой переналадки на изготовление новых деталей и изделий произвольной номенклатуры.

Гибкость достигается различными конструктивными, технологическими, программными и организационными средствами. Поэтому к обеспечению надлежащей гибкости всех элементов производственной системы необходимо подходить комплексно. В табл. 1 дана систематизация отдельных видов гибкости по централизации, автоматизации и интеграции.

Централизация (концентрация), автоматизация и интеграция производства – взаимосвязанные процессы; они в определенной мере зависят от технологической, конструкционной и организационной гибкости оборудования. Например, при полной централизации (обработке в одну операцию) все перемещения заготовки (детали) осуществляются в пределах одного рабочего места; при меньшей централизации (обработке в несколько операций) необходима автоматизация межоперационного транспорта и роботизация подачи заготовок и пр. Централизация определяет технологическую гибкость, зависит от конструкционной гибкости и содействует организационной гибкости. В такой же примерно зависимости от видов гибкости находятся автоматизация и интеграция.

Различные показатели гибкости непосредственно влияют на производительность, себестоимость, фондоотдачу, качество продукции и условия труда занятых на производстве. При выборе оптимальной гибкости системы необходим учет всех влияющих на нее факторов.

1. Систематизация составляющих гибкости по централизации, автоматизации и интеграции

Вид гибкости	Централизация	Автоматизация	Интеграция
Технологическая	Технологичность деталей. Число движений и направлений рабочих органов станка. Число инструментов в магазине. Возможность обработки детали с пяти сторон с одного установа. Диапазоны рабочих скоростей и подач, имеющиеся на станке	Число осей с ЧПУ. Автоматический выбор режимов обработки. Автоматическая загрузка инструмента в магазин, смена магазина. Наличие ЧПУ от ЭВМ на станках	Интеграция САПР, АСТПП и ГПС. Общее программное обеспечение прямого ЧПУ от центральной ЭВМ. Общие банки данных
Конструкционная	Оптимизация главного привода станка. Размерные возможности станка, максимальная масса деталей. Многоинструментальная и многошпиндельная обработка	Блочная-модульная конструкция станков. Стандартизация основных параметров, необходимых для встраивания оборудования любого вида	Наличие самодиагностики состояния оборудования. Автоматическая передача информации о состоянии оборудования следующему уровню управления
Организационная	Технологическая взаимозаменяемость станков в системе	Скорость смены детали и инструмента. Мониторинг износа и поломок инструмента. Автоматический контроль размеров шупом-пробой. Автоматическая уборка стружки. Оптимизация подачи СОЖ. Возможность безлюдной работы	Палетизация, контейнеризация. Общая система приспособлений и организации установки в них заготовок. Автоматизация информационных потоков в диалоговом режиме

При решении этой задачи рассматриваются стоимостные показатели, степень универсальности или специализации станков, необходимый уровень нормализации деталей и узлов и т.д.

Качественная оценка гибкости, видимо, менее сложная задача, чем количественная. Количественную оценку гибкости следует выполнять с учетом совокупной оценки отдельных ее качественных показателей (табл. 2). Производственная система, насыщенная всеми видами гибкости и в полном ее объеме, была бы чрезвычайно дорогой и экономически неоправданной. В каждом конкретном случае оптимальная гибкость производственной системы должна выбираться исходя из номенклатуры выпускаемой продукции, объемов и сроков ее выпуска, специализации производства.

Гибкость производства связана со степенью его интеграции, т.е. полнотой увязки различных производственных функций в единую систему. Чем выше степень интеграции, тем с меньшими затратами средств и времени можно перестроить производство на выпуск новой продукции, т.е. имеют место и высокая гибкость и высокая степень автоматизации производства.

Если степень автоматизации – понятие давно определившееся (доля непосредственного участия человека в производственном процессе, соотношение долей прошлого и живого труда в том или ином производственном процессе), то определение степени гибкости является еще неустановившимся. Например, степень гибкости можно измерять объемом работ,

2. Количественная оценка показателей гибкости

Показатель гибкости	Количественная оценка	Возможная единица измерения
Универсальность (гибкость по изделиям)	Разнообразие изделий по форме, массе, размерам, обрабатываемых одновременно в случайном порядке без переналадки	Минимальные и максимальные пределы по массе, размерам, сложности формы изделий
Номенклатурность (гибкость производства)	Размер установленной для данной системы номенклатуры изделий, выпускаемых в течение года	Количество единиц изделий в номенклатуре
Переналаживаемость (гибкость оснастки)	Продолжительность и объем работ по переналадке	Человеко-час, разряд наладчика
Централизованность (гибкость маршрута обработки, гибкость базирования)	Степень завершенности обработки изделий на одном рабочем месте, одной ГПС, отношение времени обработки на ГПС к полному времени обработки	Доли единицы или проценты
Гибкость видов обработки (гибкость инструмента, гибкость переходов)	Выполнение при меньшем числе видов обработки и меньшим числом видов инструмента большего числа различных переходов	Число видов обработки на одном ГПМ. Минимальное число инструментов, переходов при полной централизации обработки
Партионность (гибкость серийности производства)	Минимальный размер партии (объема выпуска) различных изделий, при котором система способна работать экономически эффективно, обеспечивая установленные коэффициенты загрузки оборудования и сменности	Минимальное число изделий в партии
Гибкость объема выпуска	Способность работать экономически эффективно при переменном объеме выпуска различных изделий, возможность добавлять выпуск новых изделий в случае сокращения объема выпуска ранее выпускаемых изделий	Отношение числа видов изделий к общему годовому выпуску изделий
Гибкость выполнения задания, гибкость загрузки оборудования	Наличие запаса производственной мощности, при котором система способна работать экономически выгодно. Доля установленного рабочего времени недоиспользования оборудования	Доля единицы (коэффициент возможного недоиспользования оборудования)

Продолжение табл. 2

Показатель гибкости	Количественная оценка	Возможная единица измерения
Наращиваемость производственной мощности (гибкость использования годового фонда времени, гибкость состава оборудования)	Максимальный предел наращиваемости производственной мощности за счет увеличения рабочего фонда времени и установки дополнительного оборудования, способность наращивать выпуск за счет интенсификации режимов работы	Станко-час
Малолюдность (безлюдность – гибкость автоматизации и интеграции, гибкость персонала)	Отношение времени работы в безлюдном режиме к общему времени работы системы за какой-то период времени	Доли единицы или проценты

временем переналадки на выпуск новой продукции или долей повторного использования ранее произведенных капитальных вложений и дополнительных текущих расходов, или такой величиной, как номенклатура одновременно обрабатываемых деталей на ГПМ, РТК или ГПС.

Все машиностроительное технологическое оборудование можно разделить на четыре группы по уровню гибкости (табл. 3).

За счет высокой гибкости можно уменьшить число связанных в одну систему станков, что повышает надежность всей системы. Следует рассматривать и другие альтернативные пути решения задач оптимизации гибкости ГПС.

Примеры структур гибких производственных систем механической обработки деталей и их характеристики

Так как ГПС в основном применяют в серийном производстве, то в основу системы входит станок с ЧПУ. Загрузка и разгрузка его проводится с помощью промышленного робота или автоматизированного загрузочного устройства (АЗУ). Смена инструмента осуществляется из магазина инструментов или револьверной головки.

ГПМ обладает способностью подсоединения к центральной транспортно-складской системе, системе инструментального обеспечения и управляющим устройствам высшего ранга.

Основные характеристики ГПМ: способность работать ограниченное (3 – 12 ч) время без непосредственного участия оператора; автоматическое выполнение операций, легкость наладки, устранения простоев и введения изменений в управление; легкость встраивания в существующие производства и в ГПС более высокого уровня; экономическая эффективность.

Не следует считать, что любой станок с ЧПУ может входить в ГПМ без всяких переделок. Основными требованиями ко всем элементам ГПС являются высокая надежность и автоматизация всех основных вспомогательных и рабочих ходов. Даже ГПМ должен иметь в своем составе транспортно-накопительную систему, контрольно-измерительную и диагностическую системы, систему удаления стружки. Например, токарный станок с ЧПУ, встраиваемый в ГПС, должен быть снабжен системами контроля состояния инструмента, смены инструмента и удаления стружки.

Простейший ГПМ включает станок с ЧПУ с одним инструментальным магазином. Станок имеет два рабочих стола (рис. 1, а). Заготовку устанавливают на стол вручную, в то время как на другом столе изготавливается деталь. Совмещение времени установки с временем обработки дает выигрыш в производительности.

Более совершенным является ГПМ, содержащий станок с ЧПУ с двумя магазинами инструментов (рис. 1, б). Шаговый конвейер – накопитель палет с 4, 6, 8 или 12

Уровень гибкости	Вид технологического оборудования или производства по уровню гибкости	Отличительные особенности					Тип производства
		Гибкость	Время останки оборудования, необходимое для перехода на изготовление нового изделия	Содержание работ, выполняемых при переходе на изготовление нового изделия	Число разных изделий, изготавливаемых одновременно	Дополнительные затраты при переходе на изготовление нового изделия	
Первый	Жесткое	Нулевая	—	—	Одно	Новые капиталовложения (полная стоимость нового оборудования)	Массовое
Второй	Перестраиваемое	Близкая к нулю	Несколько недель или месяцев	Изготовление новых дополнительных узлов и устройств, замена различных узлов, специфических для каждого изделия	Единицы	Значительные дополнительные капиталовложения (полная стоимость новых узлов, разборки и сборки всего оборудования)	Массовое и крупносерийное
Третий	Гибкое переналаживаемое	Высокая	От нескольких минут до нескольких десятков часов	Снятие и установка отдельных устройств, настройка и регулировка отдельных механизмов	Десятки	Капиталовложения не требуются, несколько растут текущие затраты	Крупносерийное, серийное и мелкосерийное
Четвертый	Гибкое интегрированное	Максимальная	Равно нулю	Работы по времени полностью совмещены с изготовлением других изделий	Не ограничено, в любых количествах	Дополнительные затраты не требуются	От массового до единичного

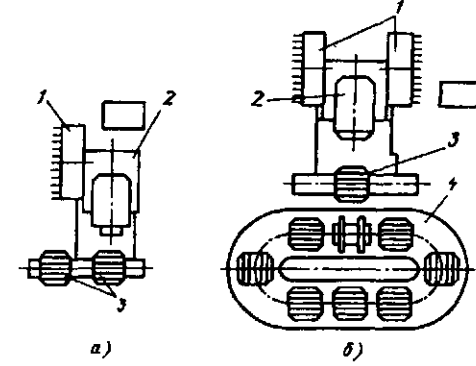


Рис. 1. Гибкий производственный модуль, содержащий один станок с ЧПУ: а – с двумя маятниковыми рабочими столами; б – с автоматизированным загрузочным устройством: 1 – магазины с инструментами; 2 – станок с ЧПУ; 3 – стол станка; 4 – автоматизированное загрузочное устройство (шаговый конвейер-накопитель палет)

заготовками позволяет длительное время вести обработку с ограниченным участием оператора. На таких ГПМ можно обрабатывать различные детали разнообразными инструментами.

ГПМ со стендовым (стационарным) накопителем веерного типа характеризуется тем, что число стенов-позиций накопления заготовок может наращиваться постепенно, что позволяет уменьшить первоначальные затраты. Заготовки со стенов на станок перегружаются с помощью поворотного стола. Загрузка заготовок в накопитель может осуществляться роботом или робокаром. Отсутствие механизма конвейера упрощает конструкцию, увеличивает надежность (рис. 2).

ГПМ, показанный на рис. 3, отличается от предшествующих тем, что имеет две системы смены инструмента: одна – из магазина, а

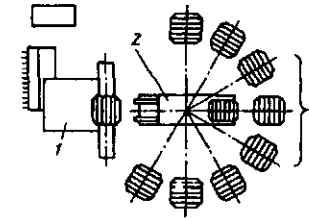


Рис. 2. Гибкий производственный модуль со стендовым накопителем веерного типа: 1 – станок с ЧПУ; 2 – поворотный стол-перегрузатель; 3 – веерный накопитель заготовок, установленных на палетах

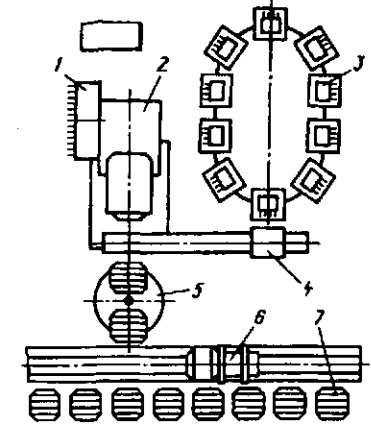


Рис. 3. Гибкий производственный модуль с автоматизированными системами смены инструмента из магазина и шпиндельных головок из накопителя: 1 – магазин с инструментами; 2 – станок с ЧПУ; 3 – накопитель шпиндельных головок (коробок); 4 – перегружатель головок; 5 – поворотный стол станка; 6 – рельсовая тележка-загрузчик заготовок; 7 – стэнд-накопитель палет с заготовками

вторая обеспечивает замену многшпиндельных головок.

Применение в ГПС оборудования с многшпиндельными головками обеспечивает возможность совмещения переходов обработки и вследствие этого – высокую производительность. Смена головок может проводиться из магазина (рис. 4, а и б), поворотом револьверной головки (рис. 4, в), поворотом стола (рис. 4, г). Использование специальных шпиндельных насадок на станке с горизонтальным шпинделем (рис. 5) позволяет вести обработку вертикально расположенными инструментами, что обеспечивает возможность обработки детали с пяти сторон. Этой же цели можно достичь применением специального поворотного стола.

Рассмотренные выше ГПМ содержали сверлильно-фрезерно-расточные станки с ЧПУ. Как основное оборудование, в ГПМ широко применяют также токарные станки с ЧПУ и токарно-фрезерные станки с ЧПУ. Инструмент меняется из магазина или путем поворота револьверной головки. Применяют станки с одним или двумя шпинделями. На станке с двумя шпинделями обрабатывают одну деталь за два установка или несколько разных деталей. Наличие шпинделя для сверления и фрезерования позволяет полностью изготовить деталь типа тел вращения с отверстиями, пазами,

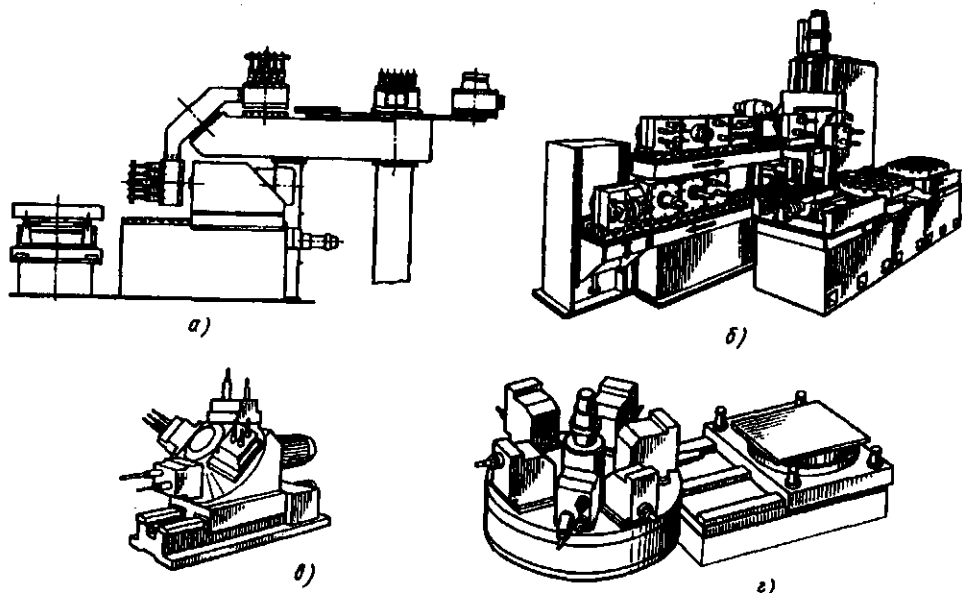


Рис. 4. Виды оборудования гибкой производственной системы с автоматизированной сменой шпиндельных головок

канавками, произвольно расположенными относительно оси вращения. В таких ГПМ загрузку деталей наиболее часто осуществляют с помощью промышленных роботов (рис. 6).

Гибкий автоматизированный участок (ГАУ) состоит из двух единиц (и более) основного оборудования, загрузочно-разгрузочных устройств, устройств автоматической смены инструмента, накопительных устройств. Участок может функционировать автономно. Особенностью обработки на ГАУ является возможность изготовления детали на одном или нескольких станках в любой последовательности.

Простейший ГАУ состоит из двух станков с ЧПУ (рис. 7), общего перегружателя заготовок, закрепленных на палетах. Каждый станок имеет свой комплект палет (до 15 шт.). Заготовки загружают на палеты чаще всего вручную. ГАУ такого типа обеспечивает снижение затрат на автоматизированное загрузочное устройство. Применение в ГАУ станков разного технологического назначения позволяет обработать на участке детали большой номенклатуры.

На участке, показанном на рис. 8, объединены устройства для смены палет, применена единая система автоматической смены инструментов для нескольких (до четырех) станков.

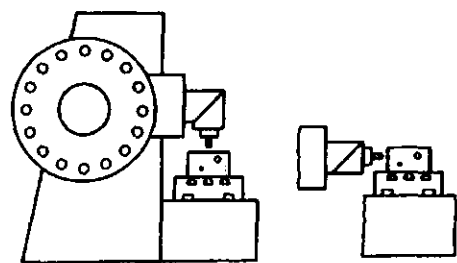


Рис. 5. Схемы применения на станке с ЧПУ специальной головки для обработки инструментами с горизонтальным и вертикальным расположением оси

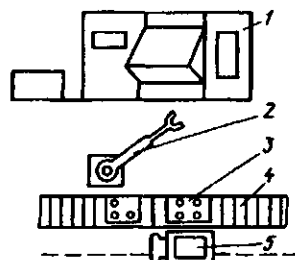


Рис. 6. Гибкий производственный модуль с промышленным роботом: 1 – станок с ЧПУ; 2 – промышленный робот; 3 – кассета с заготовками; 4 – конвейер-накопитель; 5 – робокара

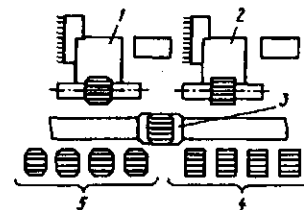


Рис. 7. Гибкий автоматизированный участок, содержащий два модуля и единое автоматизированное загрузочное устройство для смены палет: 1, 2 – станки с ЧПУ; 3 – рельсовая тележка-перезагрузчик палет; 4, 5 – стенды с палетами, закрепленными за каждым станком

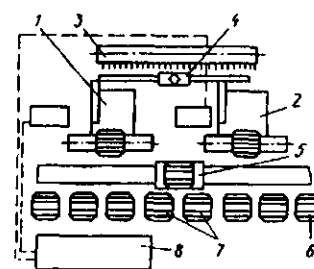


Рис. 8. Гибкий автоматизированный участок с двумя модулями и единым автоматизированным загрузочным устройством смены палет и инструмента: 1 и 2 – станки с ЧПУ; 3 – накопитель инструмента; 4 – промышленный робот смены инструмента; 5 – рельсовая тележка-перезагрузчик палет; 6 – палеты для любого станка участка; 7 – позиции загрузки-разгрузки палет; 8 – АСУ распределения загрузки

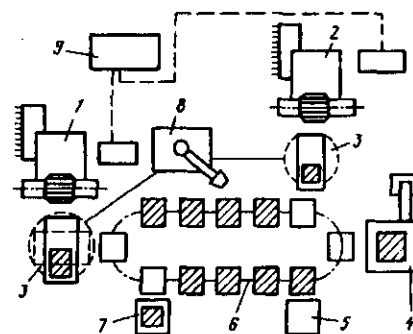


Рис. 9. Гибкий автоматизированный участок с контрольно-измерительной машиной и установкой для мойки деталей: 1 и 2 – станки с ЧПУ; 3 – шаговой конвейер; 4 – стол-перезагрузчик палет; 5 – установка для удаления стружки; 6 – контрольно-измерительная машина; 7 – станция загрузки-разгрузки палет заготовками и деталями; 8 – промышленный робот-канттователь заготовок; 9 – промышленный робот-канттователь заготовок; 10 – конвейер с обработанными деталями; 11 – ЭВМ участка

Инструмент меняется с помощью специального ПР. В отличие от рассмотренного ранее ГАУ здесь один комплект палет используют для нескольких станков. Это сокращает затраты времени на перезакрепление заготовки и повышает точность взаимного расположения поверхностей, обработанных на разных станках. Взаимозаменяемость станков сокращает простои участка при отказах какого-либо станка или необходимости его ремонта.

ГАУ, предназначенный для выполнения нескольких операций, показан на рис. 9. Используют станки с разными технологическими возможностями, взаимно дополняющие друг друга. Применяется одна транспортно-накопительная система. Заготовки перегружаются с помощью поворотных устройств. В рассматриваемом ГАУ, кроме основного оборудования, предназначенного для полной обработки сложных заготовок с шести сторон, предусмотрены контрольно-измерительная машина и установка для мойки и удаления стружки с заготовки и палеты после обработки на каждом станке. На этом участке могут работать станки типа ОЦ или шлифовальные, протяжные и другие станки.

Гибкая автоматизированная линия (ГАЛ) состоит из нескольких ГПМ с единым устройством загрузки и транспортирования заготовок. Группы деталей обрабатывают в принятой последовательности по фиксированному программой циклу. Для повышения производительности в ГАЛ используют станки с многошпиндельными головками. Такая линия имеет более высокую производительность вследствие потери гибкости. На гибкой автоматической линии с жестким конвейером подачи заготовок (рис. 10) обработка проводится последовательно

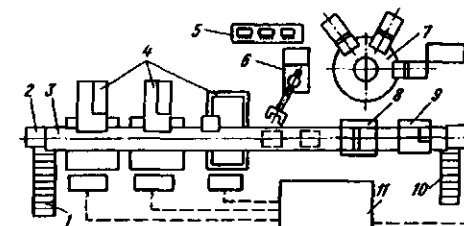


Рис. 10. Гибкая автоматизированная линия с последовательным выполнением операций: 1 – конвейер подачи заготовок на линию; 2 – автоматический загрузчик линии; 3 – шаговой конвейер; 4 – станки с ЧПУ; 5 – накопитель шпиндельных головок; 6 – промышленный робот; 7 – станок с ЧПУ с многошпиндельными головками; 8 – установка для удаления стружки и мойки деталей; 9 – контрольно-измерительная машина; 10 – конвейер с обработанными деталями; 11 – ЭВМ линии

на каждом или некоторых рабочих местах. На ГАЛ, как правило, обрабатывают детали с общими технологическими признаками. В основе организации производства лежит групповой технологический процесс (ГОСТ 3.1109-82) – технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками. ГАЛ обычно используют для ограниченной номенклатуры деталей с годовым выпуском несколько десятков тысяч в год. Гибкость ГАЛ определяется типом используемого оборудования.

На ГАЛ, представленной на рис. 11, часть оборудования расположена на параллельных потоках, а часть – на одном потоке обработки. В этом случае возможны различные комбинации. Определяющим является необходимость последовательно-параллельной обработки деталей, что позволяет совмещать одноинструментные и многоинструментные станки, работающие с использованием специальных головок. Сочетание разных станков позволяет повысить коэффициент их использования. На линии обрабатывают до 10 тыс. деталей в год. С увеличением партии запуска за счет уменьшения затрат на наладку эффективность применения таких линий повышается.

Высокопроизводительная ГАЛ для крупносерийного производства деталей включает несколько ОЦ с многошпиндельными головками (рис. 12). Подача заготовок на позицию загрузки ГАЛ осуществляется с помощью робот-кары. Заготовка перемещается по линии жестким конвейером. На станках проводится одновременная обработка заготовок с нескольких сторон с использованием многошпиндельных головок. При переходе на обработку новых деталей требуется смена отдельных или всех многошпиндельных головок, что вызывает потерю гибкости ГАЛ, но зато обеспечивает высокую производительность. Многошпиндельные головки, не находящиеся в рабочей позиции, поступают на позицию контроля, на которой весь изношенный инструмент заменяется.

На рис. 13 показана ГПС для обработки деталей типа тел вращения с использованием станков разных групп. Подача заготовок осуществляется в кассетах. Промышленный робот забирает заготовки из кассет и подает их на станки. Снятую со станка деталь ПР укладывает обратно в кассету. На линии использован накопитель – один для всех станков. Часто применяют индивидуальные накопители (тактовые столы) около каждого станка. В наиболее

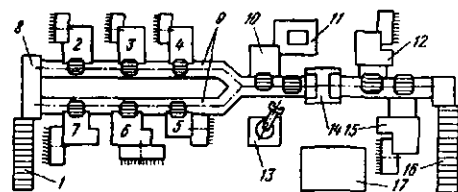


Рис. 11. Гибкая автоматизированная линия с параллельно-последовательным выполнением операций: 1 – конвейер подачи заготовок; 2 – 7, 12 и 15 – станки с ЧПУ; 8 – автоматический загрузчик; 9 – конвейер; 10 – станок с ЧПУ с многошпиндельными головками; 11 – установка смены многошпиндельных головок; 13 – промышленный робо-кантователь заготовок; 14 – установка для удаления стружки и мойки заготовок; 16 – конвейер обработанных деталей; 17 – ЭВМ линии

совершенных ГПС промышленный робот используют также для смены инструмента. Управление всеми станками осуществляют от ЭВМ, что позволяет детально, по часам, дням, неделям и месяцам планировать загрузку станков и точно определять состояние производства, время подачи заготовок в ГПС и подачи деталей на сборку.

Достаточно часто для транспортирования заготовок и деталей используют робокары. Несколько робокар обеспечивают доставку заготовок с автоматизированного склада, перемещение заготовок от одного станка к другому. Преимуществом робокар является перемещение их по имеющимся в цехе проездам. Трасса

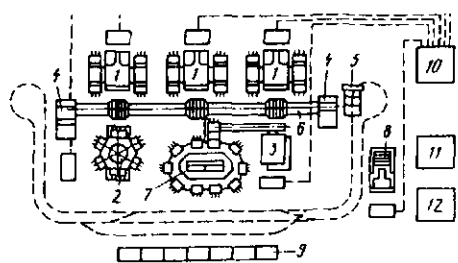


Рис. 12. Гибкая автоматизированная линия со станками с ЧПУ, оснащенными многошпиндельными головками: 1 – 3 – станки с ЧПУ с устройствами автоматической смены многошпиндельных головок; 4 – позиции загрузки-разгрузки заготовок; 5 – робокара; 6 – конвейер заготовок (палет с заготовками); 7 – накопитель многошпиндельных головок; 8 – контрольно-измерительная машина с ЧПУ; 9 – позиция накопления заготовок; 10 – центральная ЭВМ; 11 – ЭВМ управления транспортом; 12 – ЭВМ управления контролем и настройкой инструмента

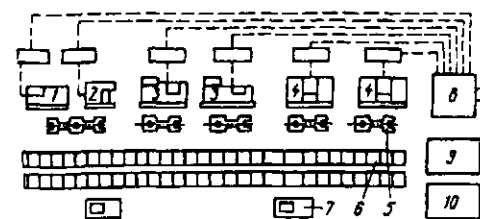


Рис. 13. Гибкая производственная система для обработки деталей типа тел вращения со станками с ручным управлением и с ЧПУ: 1 – протяжной станок; 2 – зубофрезерный станок; 3, 4 – токарные станки с ЧПУ; 5 – промышленные роботы для загрузки-разгрузки станков; 6 – конвейер-накопитель; 7 – позиции загрузки заготовок; 8 – центральная ЭВМ; 9 – ЭВМ управления транспортом; 10 – ЭВМ управления контролем и наладкой инструмента

их перемещения рассчитывается на ЭВМ. Часто разгрузка заготовок (обычно уложенных в тару) проводится в специальную накопительную позицию около станка.

В представленной на рис. 14 ГПС автоматизированы все потоки информации на каждом уровне управления, руководства. ГПС включает автоматизированную транспортно-складскую систему (АТСС), систему автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированную

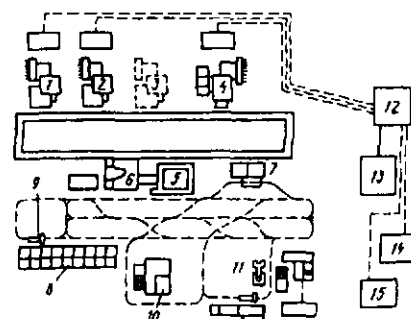


Рис. 14. Гибкая производственная система, включающая различные функциональные системы (АТСС, САПР, АСТПП и др.): 1, 2 – станки с ЧПУ; 3 – место для расширения ГПС (установки новых модулей); 5 – установка для очистки заготовок от стружки и мойки; 6 – контрольно-измерительная машина с ЧПУ; 7 – позиции перегрузки заготовок на конвейер; 8 – автоматизированный склад; 9 – роботкара; 10 – станок для обработки баз заготовок; 11 – РТК доделочных операций; 12 – центральная ЭВМ; 13 – ЭВМ управления автоматизированной транспортно-складской системой; 14 – ЭВМ управления контролем и наладкой инструмента; 15 – ЭВМ диагностики элементов ГПС

систему технологической подготовки производства (АСТПП). Автоматизация конструкторских работ, технологической подготовки производства, обработки на станках, непосредственно управляемых от центральной ЭВМ, позволяет в наибольшей степени использовать преимущества ГПС.

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НА СТАНКАХ С ЧПУ И В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Оценка технологичности конструкции детали является важным этапом технологической подготовки производства. Конструкция детали является технологичной, если при ее изготовлении и эксплуатации затраты материала, времени и средств минимальны. Оценка технологичности проводится качественно и количественно с расчетом показателей технологичности по ГОСТ 14.201-83*. Качественная оценка ("хорошо", "плохо") предшествует количественной. Во всех случаях анализ технологичности завершается расчетом технико-экономических показателей, подтверждающих целесообразность предложенных мероприятий.

Комплекс критериев технологичности детали, обрабатываемой на станках с ЧПУ и в ГПС, условно можно разделить на две группы. Первая группа критериев определяет общие требования к детали; во вторую группу входят критерии технологичности, относящиеся к обрабатываемой поверхности.

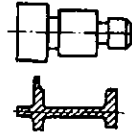

К общим требованиям относятся: обоснованный выбор материала детали и увязка требований качества поверхностного слоя (шероховатости поверхности, упрочнения, остаточных напряжений в поверхностном слое и т. д.) с маркой материала детали; обеспечение достаточной жесткости конструкции; наличие или создание искусственных технологических баз, используемых при обработке и захвате заготовки промышленным роботом; сокращение до минимального числа установов заготовки при обработке; наличие элементов, удобных для закрепления заготовки в приспособлении, причем зажимные элементы должны обеспечивать доступ для обработки всех поверхностей детали и высокую жесткость системы заготовка – приспособление; возможность обработки максимального числа поверхностей с одного установа с использованием в основном консольно

закрепленного инструмента; отсутствие или сведение к минимуму глухих отверстий и отверстий, расположенных не под прямым углом к основным координатным осям детали (взаимное угловое расположение обрабатываемых поверхностей должно учитывать дискретность углов поворота стола станка и возможность использования стандартных угловых фрез); максимальная возможная унификация формы и размеров обрабатываемых элементов, что обеспечит обработку их минимальным числом инструментов и использование типовых подпрограмм, т.е. сократит затраты на подготовку программы; задание координат обрабатываемых элементов с учетом возможностей устройства ЧПУ станком; форма детали, удобная для автоматического контроля и обеспечения условия легкого удаления стружки.

Таким образом, при анализе технологичности деталей, обрабатываемых в ГПС, необходимо учитывать требования обработки, контроля, захвата и транспортирования заготовок и деталей при изготовлении, надежного удаления стружки, максимального упрощения программирования, обеспечения благоприятных условий работы режущего инструмента, т.е. высокой надежности технологической системы.

Для облегчения программирования при разработке чертежей деталей необходимо учитывать возможности устройств ЧПУ. Позиционные устройства ЧПУ имеют абсолютную систему отсчета, поэтому координаты обрабатываемых элементов в этом случае необходимо задавать от технологических баз (абсолютная система). В контурных устройствах ЧПУ способ задания размеров принят, как правило, в относительной системе, т.е. по приращениям.

4. Примеры повышения технологичности конструкции деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

Примеры повышения технологичности	Эскиз детали	Эффективность мероприятия
Унификация поверхностей и их элементов		Сокращение числа применяемых инструментов, снижение вспомогательного времени на смену инструмента
Коррекция формы выточек		Сокращение числа инструментов в результате использования резцов, применяемых для обработки основных поверхностей

Современные устройства ЧПУ позволяют задавать размеры в декартовой системе координат (абсолютной или относительной), в полярной системе и смешанным образом, когда координаты центра, например, группы отверстий задают в декартовой системе, а положение центров отверстий – в полярной.

Предполагается, что при обработке на станках с ЧПУ поле рассеяния размеров расположено симметрично относительно среднего размера. Поэтому программирование ведут по средним размерам. Для всех размеров с несимметричным расположением поля допуска необходим расчет среднего размера.

Форма задания контура поверхности может быть графической, табличной или аналитической. Аналитическое задание предпочтительно при применении САПР.

На сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ при анализе технологичности детали особое внимание обращают на точность обработки поверхностей, используемых в качестве технологических баз, на унификацию формы и расположения повторяющихся элементов, расположенных симметрично и зеркально¹ (ячейки, карманы, группы отверстий). Особое внимание следует обратить на создание условий работы инструмента (работы без ударов).

Примеры повышения технологичности деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ и в ГПС, приведены в табл. 4.

¹ Зеркальная обработка (ГОСТ 20523) – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором рабочие органы станка перемещаются по траектории, представляющей собой зеркальное отображение траектории, записанной в управляющей программе.

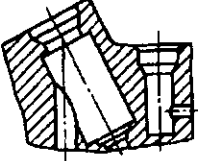
Продолжение табл. 4

Примеры повышения технологичности	Эскиз детали	Эффективность мероприятия
Расположение шпоночных канавок с одной стороны детали		Сокращение вспомогательного времени на поворот детали, сокращение числа приспособлений
Коррекция размеров торца детали		Повышение точности обработки путем рационального базирования (по торцу)
Уменьшение перепада диаметров на детали		Уменьшение числа переходов, повышение производительности, точности
Уменьшение консольности при фрезеровании концевой фрезой		Повышение точности и производительности обработки вследствие применения более жесткого инструмента
Применение симметричных конструкций		Сокращение числа программ и времени на их подготовку
Придание детали дополнительной установочной базы		Возможность использования стандартного приспособления
Изменение формы поверхности, позволяющее избежать поворота стола		Сокращение числа типоразмеров инструмента, повышение производительности в результате сокращения числа поворотов стола и смен инструментов
Изменение взаимного расположения плоскостей с целью снижения требований к точности взаимного расположения		Повышение производительности в результате сокращения числа переходов и повышения режимов обработки

Продолжение табл. 4

Примеры повышения технологичности	Эскиз детали	Эффективность мероприятия
Снижение требований к шероховатости свободной поверхности, уменьшение числа обрабатываемых поверхностей		Уменьшение поверхности обработки с соответствующим повышением производительности
Введение дополнительного технологического отверстия с соответствующим оформлением фаски		Упрощение конструкции приспособления (отпадает необходимость в дополнительной опоре)
Увеличение ширины паза с целью обеспечения обработки канавок в углах фрезерованием вместо строгания		Возможность полной обработки на станке с ЧПУ, в результате чего повышается производительность
Увеличение размера необработанной поверхности, что позволяет избежать перезакрепления детали		Повышение производительности обработки вследствие сокращения вспомогательного времени
Замена углубления платиком		Сокращение числа инструментов, повышение производительности
Уменьшение размера обрабатываемой поверхности вследствие конструктивного оформления опорных плоскостей		Повышение производительности обработки
Рациональное размещение бошьшек		Сокращение числа переходов при фрезеровании
Назначение рациональных размеров ребер жесткости		Повышение точности и производительности обработки вследствие применения более жесткого инструмента

Продолжение табл. 4

Примеры повышения технологичности	Эскиз детали	Эффективность мероприятия
Конструирование отверстий, расположенных перпендикулярно основной обрабатываемой плоскости		Уменьшение числа поворотов детали, сокращение вспомогательного времени, упрощение программы
Расположение обрабатываемых отверстий на одном уровне		Повышение точности обработки в результате уменьшения вылета инструмента, упрощения программы
Перенос обрабатываемых поверхностей на одну сторону		Сокращение числа установов, повышение производительности

ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Основные типы устройств ЧПУ и станков

Термины и определения основных понятий в области числового программного управления металлообрабатывающим оборудованием устанавливает ГОСТ 20523-80.

Под управляющей программой понимают совокупность команд на языке программирования, соответствующую заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

Числовое программное управление станком (ЧПУ) – управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме. Различают позиционное и контурное ЧПУ. При позиционном управлении перемещение рабочих органов станка происходит в заданные точки,

причем траектория перемещения не задается; при контурном управлении перемещение рабочих органов станка происходит по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки.

Адаптивное ЧПУ станком (адаптивное управление) обеспечивает автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям.

Устройство, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта, называют устройством числового программного управления (УЧПУ).

Групповое ЧПУ станков от ЭВМ (групповое управление), имеющее общую память для хранения управляющих программ, распределяемых по запросам от станков (DNC), применяют в ГАЛ, ГАУ, ГАЦ и ГАЗ.

Различают аппаратные и программируемые устройства ЧПУ. В аппаратном (NC) устройстве алгоритмы работы реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства. Эти устройства выпускают с начала освоения ЧПУ для различных групп станков: токарных ("Контур-2ПТ", Н22), фрезерных ("Контур-3П", Н33), координатно-расточных ("Размер-2М", ПЗ3) и т.д. Такие УЧПУ выпускали с вводом управляющей программы на перфоленте. Аппаратные УЧПУ совершенствовались путем оснащения их памятью для управляющих программ, что исключало необходимость вводить программу для каждой детали с перфоленты, а также путем расширения их технологических возможностей (коррекции, индикации и т.д.). Несмотря на широкое применение аппаратных УЧПУ на первом этапе внедрения станков с ЧПУ, они в настоящее время уже не выпускаются. Современные станки с ЧПУ оснащаются только программируемыми УЧПУ.

В программируемых устройствах (CNC) алгоритмы работы реализуются с помощью программ, вводимых в память устройства, и могут быть изменены после изготовления устройства. Эти устройства появились позднее; их строят на базе микропроцессоров. УЧПУ такого вида относят к четвертому поколению; построены они по принципу малой вычислительной машины с полужестким или гибким заданием алгоритмов работы, памятью на одну или несколько программ, стандартными периферийными устройствами вычислительной техники (дисплей, печатающее устройство и др.), каналами связи с более мощными ЭВМ верхнего уровня. Появляется возможность выполнения новых функций: формирование нестандартных циклов обработки, частичное или полное редактирование программы, коррекция систематических погрешностей, изменение алгоритма работы применительно к станкам различных групп и др.

Устройство УЧПУ типа CNC включает малую ЭВМ, оперативную память объемом 8 Кбайт с возможностью наращивания до 64 Кбайт, внешний интерфейс. В качестве дополнительных внешних устройств (не более трех) могут быть использованы дисплей, перфоратор, устройство вывода на печать, внешнее запоминающее устройство, блок связи с ЭВМ верхнего ранга. Есть возможность присоединения специальных устройств для адаптивного управления, автоматических устройств измерения и компенсации, устройств для дополнительной автоматизации процесса (транс-

портных устройств, вспомогательных механизмов).

Система числового программного управления (СЧПУ) есть совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих числовое программное управление станком.

Оперативная система числового программного управления (ОСУ) характеризуется преимущественной подготовкой управляющих программ непосредственно у станка; эту систему обозначают также HNC.

Универсальная система числового программного управления (УСУ) характеризуется подготовкой управляющих программ в вычислительном центре или непосредственно у станка.

Проектирование токарной операции является частью более общей задачи разработки технологического процесса изготовления детали (см. гл. 5). Необходимо знать не только, в каком виде заготовка поступает на токарную операцию, но и какова должна быть ее точность после обработки. Технологическую разработку токарной операции на станках с ЧПУ начинают с составления эскиза заготовки в том виде, который она принимает после предшествующей обработки с указанием всех размеров и технических требований. Рекомендуется на эскизе тонкими линиями показать контур детали, получаемый после обработки, с указанием допустимых отклонений и качества поверхности.

Несмотря на то, что перед разработкой технологических процессов проводится анализ технологичности детали, при проектировании токарной операции на станках с ЧПУ рекомендуется дополнительно проанализировать ее технологичность. При этом обращается внимание на унификацию элементов детали, упрощение геометрической формы, обеспечение жесткости при обработке.

При применении станков с ЧПУ необходимо наиболее полно использовать технологические возможности этого оборудования. Для каждого станка имеется определенный комплект инструмента. Следует проверить возможность обработки детали с его применением. В случае необходимости разрабатывают предложения по изменению конструкции детали.

Наибольший эффект достигается при использовании станков с ЧПУ для решения наиболее сложных технологических задач, например для обработки деталей сложного профиля, в случае высокой концентрации переходов обработки, исключения слесарных работ и

сложных приспособлений. На станках с ЧПУ целесообразно обрабатывать детали с числом ступеней меньше трех и детали, время установки и выверки которых велико. Станок с ЧПУ должен быть занят обработкой деталей одного наименования в год в течение 10–25 ч.

На токарных станках с ЧПУ последовательность переходов обработки следующая:

а) предварительная (черновая) обработка основных участков поверхностей детали: подрезка торцов, центрование перед сверлением отверстий диаметром до 20 мм, сверление (если используются два сверла, то вначале сверлом большего диаметра), рассверливание отверстий, точение (получистовая обработка) наружных поверхностей, а затем растачивание внутренних поверхностей;

б) обработка дополнительных участков поверхностей детали (кроме канавок для выхода шлифовального круга, резьбы и т.п.); в тех случаях, когда черновая и чистовая обработки внутренних поверхностей проводятся одним резцом, все дополнительные участки обрабатывают после чистовой обработки;

в) окончательная (чистовая) обработка основных участков поверхности детали, сначала внутренних, потом наружных;

г) обработка дополнительных участков поверхностей детали, не требующих черновой обработки: сначала в отверстиях или на торцах, затем на наружной поверхности.

Комплекты режущих инструментов, используемые при обработке наружных поверхностей детали на станках с ЧПУ токарной группы, приведены в табл. 5 и 6. Участки поверхности детали, обрабатываемые этим инструментом, указаны в табл. 7. Комплект инструментов для станков 1723Ф3, 1734Ф3, 1751Ф3 приведен на рис. 15, а для станка 16К20Ф3 – на рис. 16.

Обработка на токарных станках с ЧПУ характеризуется следующей точностью. Однократная обработка поверхности обеспечивает точность 12–13-го качества и параметр шероховатости поверхности Ra 3,2 мкм. Радиус при вершине резца при этом назначают по наименьшему радиусу галтели на детали; в других случаях галтель выполняют по программе. При более высоких требованиях к качеству поверхности (Ra менее 1,6 мкм) на последнем чистовом переходе уменьшают подачу и увеличивают частоту вращения. При более высоких требованиях к точности (7–9-го качества) окончательную обработку осуществляют чистовым резцом с коррекцией на размер. Для обеспече-

ния высокой точности размеров при чистовой обработке резец устанавливают в такой плоскости, чтобы погрешность позиционирования револьверной головки не влияла на точность размера обрабатываемой поверхности.

Черновую обработку со снятием напуска проводят по-разному: если перепад диаметров ступеней больше длины ступени, то обработку ведут с поперечной подачей (в противном случае – с продольной подачей). Современные системы ЧПУ позволяют вести эту обработку по постоянному циклу. При составлении программы задают исходный и требуемый контур. Система ЧПУ автоматически формирует управляющие команды для выполнения обработки. Схемы перемещения инструментов при обработке основных участков поверхности приведены на рис. 18–20. Обычно эти участки обрабатывают черновыми, а затем чистовыми резцами.

На станках с ЧПУ фаски, канавки для выхода инструмента обрабатывают, как указано выше, или тогда, когда это наиболее целесообразно применительно к стойкости инструмента и производительности обработки. При этом учитывают, что работа вершины резца при врезании улучшается, если снята фаска. Если обработка начинается со снятия фасок, то детали будут без заусенцев (по этой же причине канавки выполняют нередко после чистового перехода). Фаски целесообразно снимать серединой режущего лезвия инструмента.

Для уменьшения трудоемкости программирования канавки сложной формы обрабатывают по типовым программам резцами за несколько переходов (рис. 21–22). Окончательный профиль детали получают при чистовом переходе. Критериями для выбора схемы обработки и инструментов служат глубина канавки $h = 0,5(D_2 - D_1)$ и ширина канавки B (рис. 21, а). Если $h < 5$ мм, то предварительную обработку ведут с продольной подачей канавочным резцом при $B < 30$ мм (рис. 21, б) и проходным резцом при $B > 30$ мм (рис. 21, в). При $h > 5$ мм и $B < 30$ мм применяют канавочные резцы и работают методом ступенчатого врезания (рис. 21, г). При $B < 30$ мм после получения канавки шириной до 10 мм (рис. 21, д) оставшийся материал убирают подрезным резцом (рис. 21, е). Окончательную обработку во всех случаях проводят двумя канавочными резцами по контуру (рис. 21, ж и з). Аналогично обрабатывают внутренние канавки.

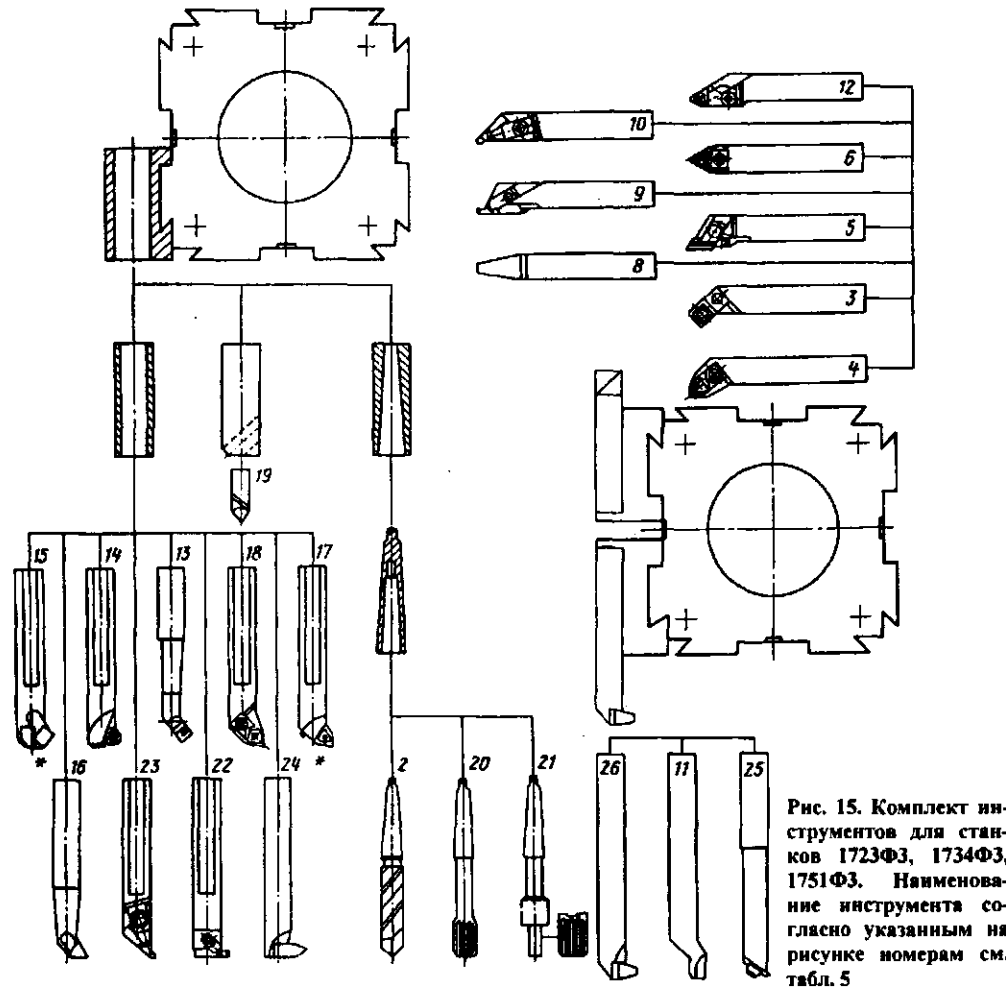


Рис. 15. Комплект инструментов для станков 1723Ф3, 1734Ф3, 1751Ф3. Наименование инструмента согласно указанному на рисунке номерам см. табл. 5

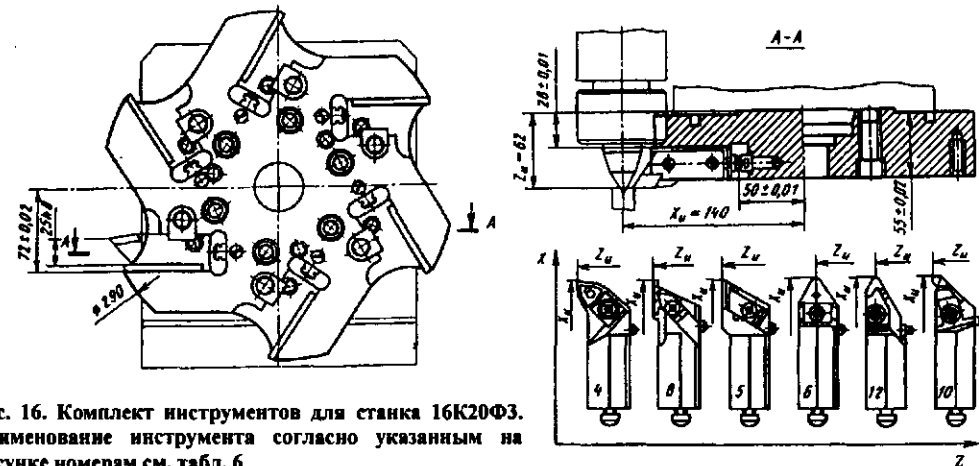


Рис. 16. Комплект инструментов для станка 16K20Ф3. Наименование инструмента согласно указанному на рисунке номерам см. табл. 6

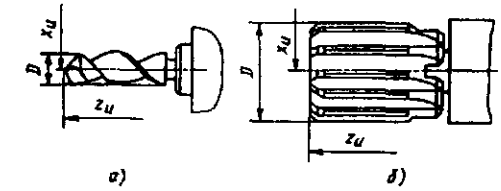


Рис. 17. Примеры обозначения координат инструментов для станков с ЧПУ: а – для сверла; б – для развертки

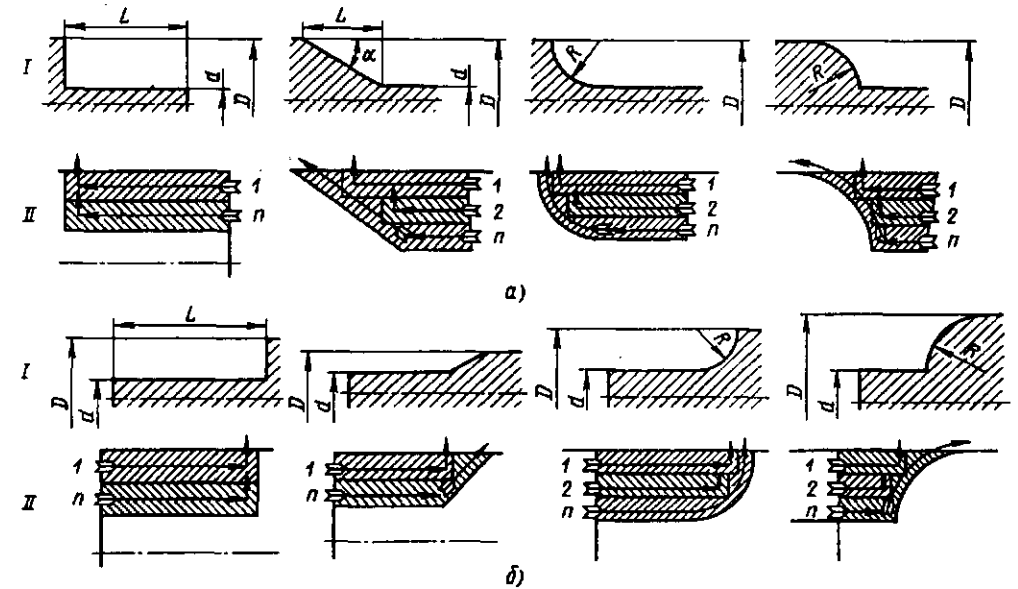


Рис. 18. Схемы перемещений проходных резцов при обработке основных участков поверхностей: а – левого резца; б – правого резца; I – эскиз участка поверхности; II – схемы перемещений

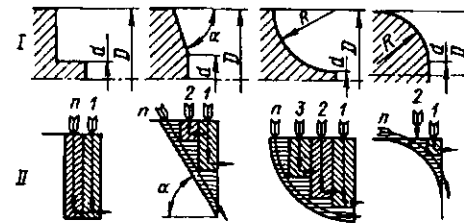


Рис. 19. Схемы перемещений подрезного резца при обработке основных участков поверхностей: I – эскиз участка поверхности; II – схемы перемещений

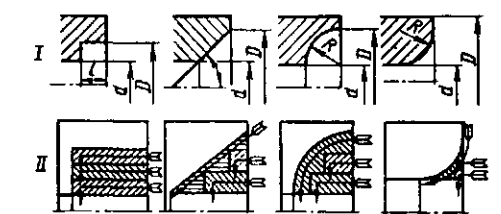


Рис. 20. Схемы перемещений расточного проходного резца при обработке основных участков поверхности: I – эскиз участка поверхности; II – схемы перемещений

5. Координаты Z_n и X_n (см. рис. 16 и 17) и комплекты режущих инструментов (см. рис. 15) для обработки наружных и внутренних поверхностей деталей на станках с ЧПУ

Направление смещения рабочей части резца, параметр	Значения Z_n, X_n (мм) для станков								
	1П717Ф3	1П752МФ3	16К20РФ3	1740РФ3	1П732РФ3	1П756ДФ3	1723Ф3	1734Ф3	1751Ф3
Диаметр, мм 15 20 25 30 35 40 45 50 50-75	290; 145	255; 52	101; 0	157; 285	210; 0	101; 153	-		
	290; 145	285; 52	150; 0	206; 285	300; 0	279; 153	294; 174	294; 174	
	290; 145	305; 52	170; 0	226; 285	300; 0	305; 153	320; 174	320; 174	
	165; 145	325; 52	198; 0	254; 285	300; 0	324; 153	339; 174	339; 174	
	180; 145	340; 52	213; 0	269; 285	300; 0	339; 153	354; 174	359; 174	
	195; 145	355; 52	230; 0	286; 285	300; 0	356; 153	371; 174	371; 174	
	205; 145	365; 52	242; 0	298; 285	300; 0	366; 153	381; 174	381; 174	
	215; 145	375; 52	252; 0	308; 285	300; 0	376; 153	391; 174	391; 174	
	225; 145	385; 52	262; 0	318; 285	300; 0	386; 153	401; 174	401; 174	
	-	(395 ... 420); 52	-	-	-	-	-	-	-
Вправо Влево	147; 185	123; 134	98; 50 ¹ (K01- 4075-000)	55; 364	70; 365	1; 210	150; 157	162; 173	169; 173
	147; 185	120; 145	96; 50 ¹ (K01- 4229-000)	62; 407	77; 365	8; 210	157; 157	169; 173	169; 173
Вправо Влево	147; 185	120; 145	95; 50 ¹ (K02- 4079-000)	62; 407	77; 365	8; 210	157; 157	169; 173	169; 173

Продолжение табл. 5

Направление смещения рабочей части резца, параметр	Значения Z_n, X_n (мм) для станков								
	1П717Ф3	1П752МФ3	16К20РФ3	1740РФ3	1П732РФ3	1П756ДФ3	1723Ф3	1734Ф3	1751Ф3
Вправо Влево $a, мм$ Вправо Влево $a, мм$ Вправо Влево $a, мм$	140; 185	117; 115	80; 50 ¹ (K01- 4231-000)	45; 407	60; 365	9; 210	140; 157	152; 173	152; 173
	147; 185	123; 134	-	55; 354	70; 365	1; 210	150; 157	162; 173	162; 173
	3; 4; 5; 6	3; 4; 5; 6	-	3; 4; 5; 6	3; 4; 5; 6	3; 4; 5; 6	3; 4; 5	3; 4; 5	3; 4; 5
	141; 185	117; 134	-	64; 354	64; 365	(-5); 210	134; 157	148; 173	148; 173
	4,4-7,2	4,4-7,2	-	4,4-7,2	4,4-7,2	4,4-7,2	4,4-7,2	4,4-7,2	4,4-7,2
	137; 185	117; 135	96; 50 ¹ (K01- 4215-000)	62; 407	77; 365	8; 210	150; 157	162; 173	162; 173
	3; 4; 5; 5	3; 4; 5; 5	3	3; 4; 5; 5	3; 4; 5; 5	3; 4; 5; 5	3; 4; 5; 5	3; 4; 5; 5	3; 4; 5; 5
	147; 185	118; 135	91; 50 ¹ (K01- 4263-000)	62; 407	72; 365	13; 210	152; 157	164; 173	164; 173
	1,2-6	1,2-6	3	1,2-6	1,2-6	1,2-6	1,2-6	1,2-6	1,2-6

Копировальный резец (эскиз 6)

Отрезной резец

Резец для проточки канавок под клиновые ремни (эскиз 8)

Канавочный резец (K01-4112-000) (эскиз 9)

Резец для угловых канавок (эскиз 10)

Продолжение табл. 5

Направление смещения рабочей части резца, параметр	Значения Z_n, X_n (мм) для станков								
	1П717Ф3	1П752МФ3	16К20РФ3	1740РФ3	1П732РФ3	1П756ДФ3	1723Ф3	1734Ф3	1751Ф3
Расточный резец для торцовых выточек (эскиз 11)									
Вправо	—	—	—	—	—	—	187; (121 ... 131)	(202 ... 272); (147 ... 168)	202; (142 ... 152)
Влево	210; 146	165; (84 ... 85)	—	190; (312 ... 322)	190; (312 ... 322)	(170 ... 205); (131 ... 132)	—	—	—
d , мм	65; 80; 100	65; 80; 100	65; 80; 100	65; 80; 100	65; 80; 100	80; 100	65; 80; 100	65; 80; 100; 130; 150	65; 80; 100
a , мм	15; 20	15; 20	15; 20	15; 20	15; 20	15; 20	15; 20	15; 20; 30	15; 20
Резьбовой резец (эскиз 12)									
Вправо	—	—	84; 50 ¹ (К01— 4165-000)	—	—	—	150; 157	157; 173	157; 173
Влево	143; 185	123; 134	—	55; 407	70; 365	9; 210	—	—	—
Шаг резьбы, мм	1,5–6	1,5–6	1,5–6	1,5; 3,5; 4; 6	1,5–6	1,5–6	1,5–6	1,5–6	1,5–6
Расточный резец (К02-567-000) (эскиз 13)									
Вправо	—	—	85; 9	—	—	—	207; 144	—	—
Влево	210; 141	—	—	—	—	—	—	—	—
d_{\min} , мм	18	—	18	—	—	—	18	—	—
h_{\max} , мм	80	—	70	—	—	—	80	—	—
Расточный резец (К01-4205-000) (эскиз 14)									
Вправо	—	—	105; 12	—	—	—	227; 141	242; 162	—
Влево	210; 141	200; 40	—	135; 246	—	200; 12	—	—	—
d_{\min} , мм	22	22	22	22	—	22	22	22	22
h_{\max} , мм	35	40	100	100	—	90	100	100	—

Продолжение табл. 5

Направление смещения рабочей части резца, параметр	Значения Z_n, X_n (мм) для станков								
	1П717Ф3	1П752МФ3	16К20РФ3	1740РФ3	1П732РФ3	1П756ДФ3	1723Ф3	1734Ф3	1751Ф3
Расточный резец (эскиз 15)									
Вправо	—	—	(75 ... 20); 140	—	—	—	—	—	—
Влево	(210 ... 280); 136	(200 ... 270); 105	—	(105 ... 175); 254	(105 ... 170); 265	(250 ... 320); 85	(197 ... 267); 133	(212 ... 282); 154	(212 ... 282); 154
d_{\min} , мм	35	35	35	35	35	35	35	35	35
h_{\max} , мм	120–190	80; 110; 150	70; 100; 140	100; 130; 170	100; 130; 170	110; 140; 180	70; 100; 140	70; 100; 140	70; 100; 140
Расточный резец (эскиз 16)									
Вправо	—	—	60; 9	—	—	—	182; 144	—	—
Влево	217; 132	—	—	—	—	—	—	—	—
d_{\min} , мм	18	—	18	—	—	—	18	—	—
h_{\max} , мм	45	—	55	—	—	—	55	—	—
Расточный резец (К01-4209-000) (эскиз 17)									
Вправо	—	—	105; 12	—	—	—	227; 141	242; 162	242; 162
Влево	210; 141	200; 40	—	135; 246	—	200; 12	—	—	—
d_{\min} , мм	22	22	22	22	—	22	22	22	22
h_{\max} , мм	35	80	100	100	—	90	100	100	100
Расточный резец (эскиз 18)									
Вправо	—	—	(75 ... 145); 20	—	—	—	(199 ... 269); 133	(214 ... 284); 154	(214 ... 284); 154
Влево	(217 ... 287); 137	(165 ... 235); 65	—	(105 ... 170); 254	(105 ... 170); 265	(250 ... 320); 85	—	—	—
d_{\min} , мм	35	35	35	35	35	35	35	35	35
h_{\max} , мм	120; 150; 190	120; 150; 190	70; 100; 140	100; 130; 170	100; 130; 170	100; 140; 180	70; 100; 140	70; 100; 140	70; 100; 140

Направление смещения рабочей части резца, параметр	Значения Z_n, X_n (мм) для станков						
	1П717Ф3	1П752МФ3	16К20РФ3	1740РФ3	1П732РФ3	1П756ДФ3	1723Ф3
Вправо	—	(170 ... 290); 23	—	—	—	—	—
Влево	—	—	—	180; 234	180; 245	271; 90	225; 126
d_{\min} , мм	—	60	—	50	50	50	52
h_{\max} , мм	—	215; 335	—	170	170	155	170
Расточный резец, головка с микрорегулированием (эскиз 19)							
Машинная развертка диаметром 16 – 24 мм (эскиз 20)							
—	(135 ... 280); 145	(245 ... 295); 52	(61 ... 111); 0	(117 ... 207); 270	(117 ... 207); 285	(280 ... 310); 0	(183 ... 233); 153
—	(135 ... 270); 145	(245 ... 295); 52	(61 ... 91); 0	(117 ... 207); 270	(117 ... 207); 285	(280 ... 350); 0	(183 ... 263); 153
Машинная насадная развертка диаметром 25 – 50 мм (эскиз 21)							
—	(145 ... 195); 145	(305 ... 375); 52	(171 ... 191); 0	267; 270	267; 285	(300 ... 370); 0	(263 ... 333); 153
—	(145 ... 215); 145	(305 ... 375); 52	(171 ... 221); 0	267; 270	267; 285	(300 ... 370); 0	(278 ... 368); 174
Машинная насадная развертка диаметром 32 – 50 мм (эскиз 21)							
—	(145 ... 215); 145	(305 ... 375); 52	(171 ... 221); 0	267; 270	267; 285	(300 ... 370); 0	(278 ... 368); 174

Направление смещения рабочей части резца, параметр	Значения Z_n, X_n (мм) для станков						
	1П717Ф3	1П752МФ3	16К20РФ3	1740РФ3	1П732РФ3	1П756ДФ3	1723Ф3
Вправо	—	—	65; 16	—	—	—	—
Влево	210; 137	55; 307	—	95; 258	95; 269	180; 18	187; 137
d_{\min} , мм	32	32	32	32	32	32	32
α , мм	1,4 – 6	1,4 – 6	1,4 – 6	1,4 – 6	1,4 – 6	1,4 – 6	1,4 – 6
Резец для внутренних канавок (эскиз 22)							
Вправо	—	—	65; 16	—	—	—	—
Влево	210; 137	40; 307	—	95; 254	95; 256	165; 18	187; 137
d_{\min} , мм	32	32	32	32	32	32	32
α , мм	1,2 – 6	1,2 – 6	1,2 – 6	1,2 – 6	1,2 – 6	1,2 – 6	1,2 – 6
Резец для внутренних угловых канавок (эскиз 23)							
Вправо	—	—	65; 16	—	—	—	—
Влево	210; 141	—	—	95; 254	95; 256	165; 18	187; 137
d_{\min} , мм	18	—	—	32	32	32	32
Шаг резьбы, мм	0,75 – 2,5	—	—	—	—	—	18
Резьбовой резец для внутренних резьб (эскиз 24)							
Вправо	—	—	—	—	—	—	—
Влево	210; 141	—	—	—	—	—	167; 149
d_{\min} , мм	18	—	—	—	—	—	18
Шаг резьбы, мм	0,75 – 2,5	—	—	—	—	—	—

Направление смещения рабочей части реза, параметр	Значения Z_n, X_n (мм) для станков								
	1П717Ф3	1П752МФ3	16К20РФ3	1740РФ3	1П732РФ3	1П756ДФ3	1723Ф3	1734Ф3	1751Ф3
Резьбовой резец для внутренних резьб (эскиз 25)									
Вправо	210; 145	165; 83	190; 300	—	190; 310	180; 124	187; 133	202; 154	202; 154
Влево	35	35	До 2	—	35	До 2	35	До 2	35
d_{\min} , мм	До 2	До 2	До 2	—	До 2	До 2	До 2	До 2	До 2
Резец для растачивания под сальниковые войлочные кольца (эскиз 26)									
Вправо	210; 146	(165 ... 234); (79 ... 84)	—	190; (294 ... 319)	—	(170 ... 235); (133 ... 138)	187; (124 ... 140)	(202 ... 232); (145 ... 161)	202; (145 ... 161)
Влево	4,2 - 6,2	4,2 - 7,24	—	4,2 - 7,24	—	4,2 - 7,24	4,2 - 6,2	4,2 - 6,2	4,2 - 6,2
a , мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—

*1. Для станков 16К20Ф3 и 16К20РФ3 инструмент выполнен по указанным в таблице чертежам ВНИИ.

Примечания: 1. На всех станках есть штифт круговой интерполяции и резьбонарезания.

2. Дискретность по осям X и Y соответственно равна 5 и 10 мкм (для станка 1П756ДФ3 - 2 и 2 мкм).

3. Число корректоров на инструмент - девять.

4. Число позиций режущего инструмента на станках 1713Ф3 - четыре; 16Б16Ф3 - восемь; 16К20Ф3 - шесть; 1Б732Ф3 - двенадцать; 16К30Ф3 - четыре - восемь; 1П717Ф3 - шесть; 1П752МФ3 - восемь; 16К20РФ3 - восемь; 1740РФ3 - двенадцать; 1П732РФ3 - шесть; 1П756ДФ3 - десять - четырнадцать; 1723Ф3 - восемь; 1734Ф3 - восемь; 1751Ф3 - восемь.

5. В технологический комплект входят режущие инструменты, блоки, оправки, втулки. Материал режущей части резцов - сплавы Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К4, ВК6, ВК8, ВК8, ВК6М; резцов для нарезания резьбы - сплавы Т14К8, Т15К6; сверл - сталь Р6М5; разверток - сталь Р9К5 и сплавы Т15К6, ВК8.

6. Ширина резца a для угловых канавок (мм): 1,2; 1,4; 1,6; 1,9; 2,2; 2,8; 3,4; 4,0; 4,8; 5,0; 5,5; 6,0. Ширина канавочного резца - 3; 4; 5,5 мм.

7. Обозначения координат инструмента приведены на рис. 16 и 17.

6. Координаты Z_n и X_n и комплекты режущих инструментов (см. рис. 16) для обработки наружных поверхностей деталей на центровых станках с ЧПУ токарной группы

Направление смещения рабочей части резца	Значения Z_n, X_n (мм) для станков				
	1713Ф3	16Б16Ф3	16К20Ф3	1Б732Ф3	16К30Ф3
Проходной резец (эскиз 4)					
Вправо	116; 175	—	62; 140	—	125; 265
Влево	130; 175	107; 134	(К01-4229-000)	7; 275	—
Копировальный резец (эскиз 5)					
Вправо	116; 175	108; 134	62; 140	—	125; 265
Влево	130; 175	76; 134	(К01-4079-000)	7; 275	—
Копировальный резец (эскиз 6)					
Вправо	—	93; 142	58; 140	—	98; 265
Влево	123; 175	86; 134	(К01-4231-000)	10; 275	—
Канавочный резец (К01-4112-000) (эскиз 8)					
Вправо	116; 175	—	62; 140	—	112; 270
Влево	130; 175	107; 134	(К01-4115-000)	7; 275	—
Резец для угловых канавок (эскиз 10)					
Вправо	121,5; 175	—	59; 140	—	112; 270
Влево	121,5; 175	147; 103	(К01-4163-000)	3; 275	—
Резьбовой резец (эскиз 12)					
Вправо	113; 175	—	48; 140	—	98; 265
Влево	133; 175	132; 81	(К01-4165-000)	0; 275	—

Примечание. См. табл. 5.

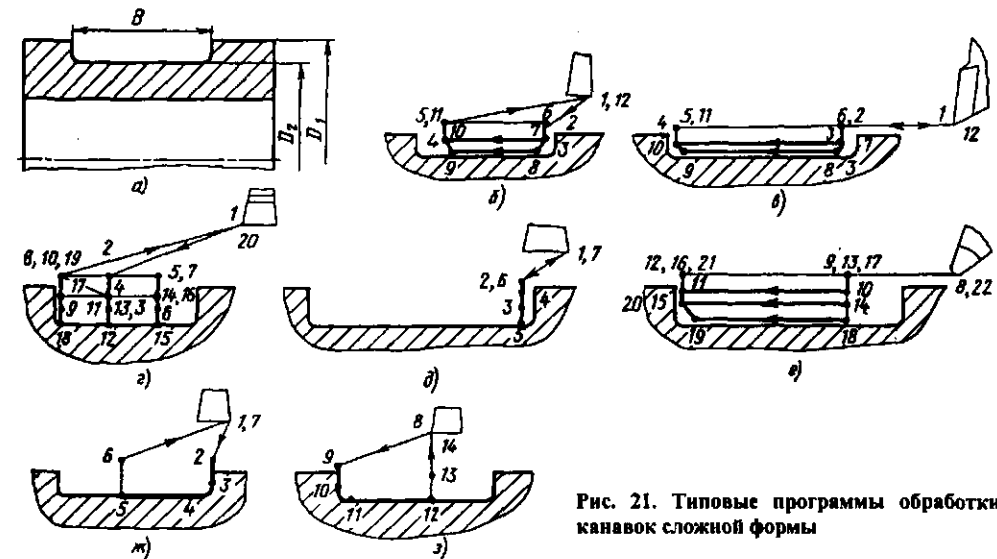


Рис. 21. Типовые программы обработки канавок сложной формы

7. Элементы деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ, и применяемый при этом комплект режущего инструмента

Элементы деталей	Эскиз режущего инструмента	Элементы деталей	Эскиз режущего инструмента	Элементы деталей	Эскиз режущего инструмента

Обработку торцовых канавок, показанных на рис. 22, а, ведут следующим образом. При ширине канавки $B = 0,5(D_2 - D_1) < 60$ мм предварительную обработку ведут по схеме, представленной на рис. 22, б (глубина канавки $h < 3$ мм), или по схеме на рис. 22, в и г (глубина канавки $h > 3$ мм). Окончательную обработку торцовых канавок ведут двумя одинаковыми резцами, различающимися положением формообразующей вершины (рис. 22, д и е).

В процессе подготовки управляющей программы обработки деталей на токарных станках с ЧПУ согласуют системы координат станка, патрона, детали и режущего инструмента (рис. 23).

В системах управления токарными станками с ЧПУ предусмотрена возможность ввода коррекций на положение инструмента для компенсации упругих деформаций и износа. При этом корректирующие переключатели (блоки коррекции) выбираются программой обработки либо на всю зону обработки одним инструментом, либо на отдельные поверхности. Блоки коррекций не назначают на сверла, развертки и другой осевой мерный инструмент.

По одному блоку коррекции выделяют: на резцы для чистовой обработки основных участков поверхностей; на прорезные и расточные резцы для обработки дополнительных участков поверхностей; на черновой резец для окончательной обработки торца; на черновой резец для обработки наружных и внутренних поверхностей (если остаются незанятые блоки).

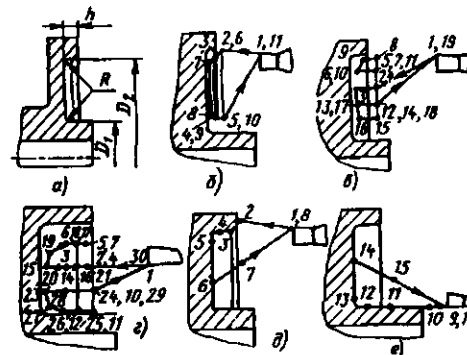


Рис. 22. Типовые программы обработки торцовых канавок

Два блока коррекции на один инструмент с разделением кадров программы назначают: при нарезании резьбы (на зачистных ходах блоки чередуются через ход); при обработке мерных канавок несмерным прорезным резцом (для чистовой обработки правой и левой сторон канавки); для каждого наладочного режима с остановом и измерением детали (при обработке поверхностей высокой точности).

Три блока коррекции назначают на чистовой резец, формирующий сложный и точный контур детали, например зубчатый венец конического колеса. В этом случае блоки коррекции должны быть "привязаны" к кадрам, обеспечивающим получение наружного диаметра зубчатого колеса, передней и задней конических поверхностей.

Схемы обработки детали на токарном станке с ЧПУ приведены на рис. 24.

Многие современные токарные станки с ЧПУ, кроме различных токарных работ, с использованием специальных инструментальных шпинделей с вращающимся инструментом (сверлами, фрезами и т.п.) обрабатывают различные отверстия (в том числе и поперечные), фрезеруют канавки, лыски, пазы, нарезают резьбу (рис. 25). На таких станках возможна полная обработка деталей, если они не подвергаются термической обработке. Для выполнения этих переходов обработка шпиндель останавливается в фиксированном положении. Инструмент закреплен в специальных инструментальных шпинделях. На некоторых станках эти шпиндели встроены в револьверные головки.

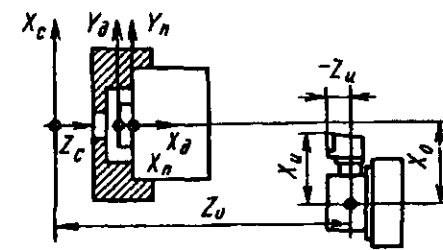


Рис. 23. Схемы согласования систем координат при программировании токарной обработки. Системы координат станка X_c, Z_c ; детали X_n, Y_n ; приспособления X_n, Y_n , инструмента X_u, Z_u ; суппорта X_0, Z_0

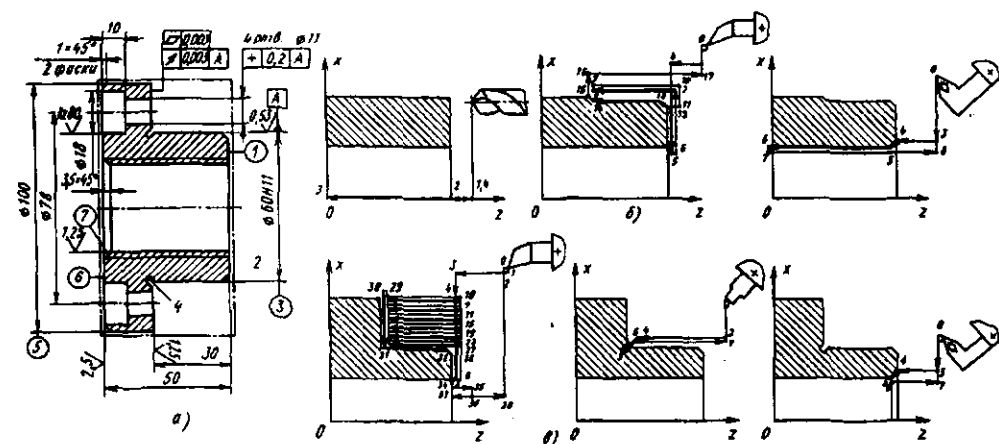


Рис. 24. Схемы обработки детали (а) на токарном станке с ЧПУ; б и в – этапы обработки детали

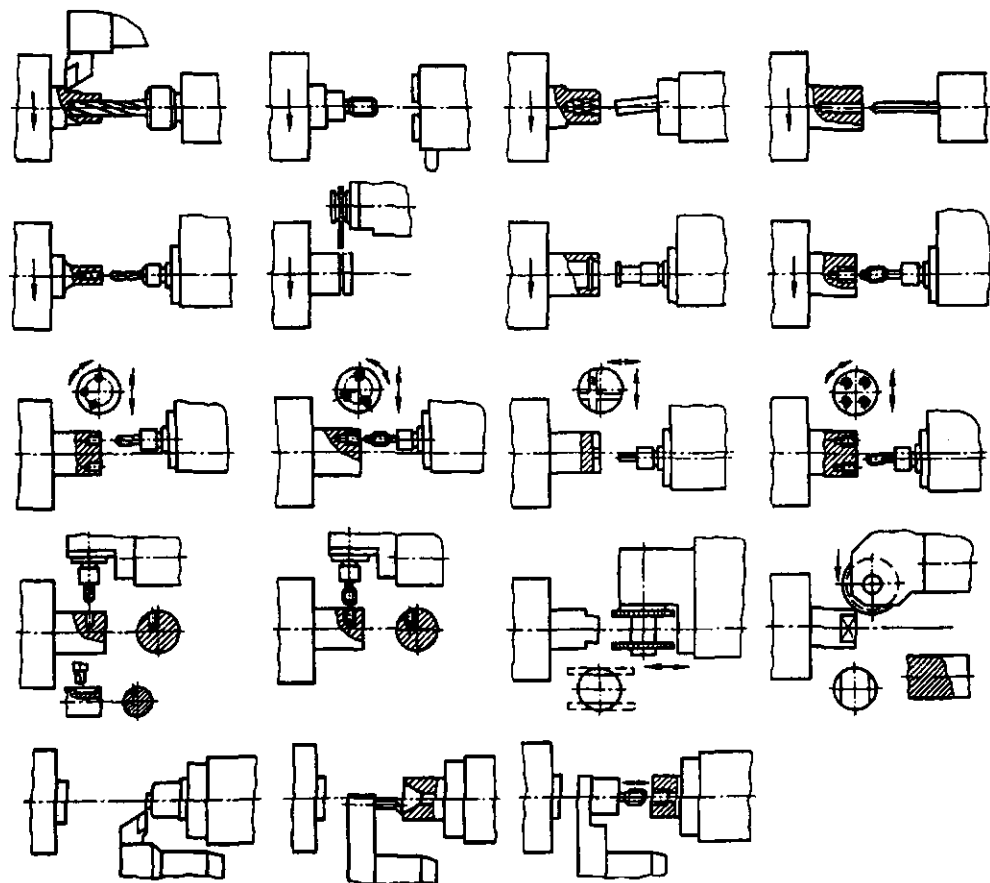


Рис. 25. Схемы обработки поверхностей деталей на токарных станках с ЧПУ с использованием специальных инструментальных шпинделей

ОБРАБОТКА НА ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Оснастка для токарно-карусельных станков с ЧПУ должна быть универсальной и быстросменной при переналадке, для чего должно быть обеспечено единство баз крепления инструментальных блоков в револьверных головках и ползунах суппортов и на приборе БВ-2012М для размерной настройки режущих инструментов вне станка. Вылет режущих кромок реза относительно базы проверяют по двум координатам с точностью до 0,01 мм и заносят в карту наладки.

При наладке станков с ЧПУ (рис. 26) или смене затупившегося инструмента оператор, руководствуясь данными карты наладки или результатами собственных измерений, вводит набором на соответствующих корректорах в память устройства размеры вылетов инструментов.

Установку режущего инструмента на заданные координаты (привязку режущих инструментов к осям координат детали) обычно выполняют путем обработки пробного участка поверхности заготовки. При задании размеров в абсолютных значениях за базы для начала отсчета размеров детали принимают по оси X ее ось вращения, а по оси Z – любую точку, расположенную на оси вращения планшайбы и совпадающую с поверхностью, являющейся базой для простановки чертежных размеров.

Суть наладки заключается в определении величин x_0 , z_0 сдвига нуля станка (рис. 26, а). Привязка по оси X начинается с установки размера 000000 на табло цифровой индикации, т.е. с момента, когда суппорт находится в исходном ("нулевом") положении. Далее выполняют пробную проточку с измерением d_k и записью показаний $x_{ц.и}$ на табло цифровой

индикации ($x_{ц.и}$ – координата режущей кромки реза при проточке относительно начала его отсчетной системы O_n). Затем определяют величину x_0 сдвига нуля по оси X , суммируя радиус пробной проточки $r_k = d_k / 2$ с показаниями $x_{ц.и}$ табло цифровой индикации (при этом значение радиуса r_k в системе координат O_n принимают с минусом). Переключателем "сдвига нуля" по оси X устанавливают величину x_0 со знаком минус.

При "привязке" реза по оси Z протачивают верхнюю торцовую поверхность и измеряют расстояние h от торцевой поверхности заготовки. Привязку по оси Z ведут аналогично привязке по оси X , т.е. определяя z_0 суммированием h и $z_{ц.и}$.

При задании размеров детали в приращениях, программируя обработку, технолог определяет исходное положение резцедержателя. Положение O_0 первого реза он задает координатами x_0 и z_0 (рис. 26, б). Фактическое положение O_n первого реза перед началом обработки ("нуль" станка) отличается от заданного технологом положения O_0 на величины K_x и K_z . При привязке реза, первого в наладке, к детали определяют сдвиг "нуля" станка O_n на величины K_x и K_z . Для определения K_x на табло цифровой индикации в конечном положении суппорта устанавливают размер 000000, протачивают контрольный поясok d_k и определяют r_k .

Далее находят координату x_n вершины реза при его положении в "нуле" станка суммированием радиуса пробной проточки $r_k = d_k / 2$ и его перемещения $x_{ц.и}$ (при этом радиус в системе координат O_n принимают с минусом); переключателями корректоров в соответствии с картой наладки набирают величину коррекции K_x со знаком минус.

Аналогично изложенному определяют для первого реза величину K_z . Для привязки остальных резцов необходимо учитывать разницу их вылетов по сравнению с первым инструментом. Коррекция положения этих инструментов

$$K_{xi} = K_x + (W_{x1} - W_{xi});$$

$$K_{zi} = K_z + (W_{z1} - W_{zi}),$$

где K_{xi} , K_{zi} – сдвиги "нуля" i -го инструмента соответственно по координатам X и Z ; W_{x1} , W_{z1} – координатные размеры (вылет) первого реза; W_{xi} , W_{zi} – координатные размеры (вылет) i -го инструмента.

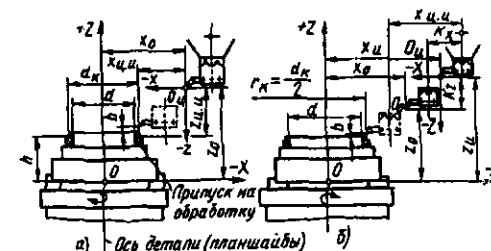


Рис. 26. Схемы размерной настройки станка с ЧПУ при задании размеров в абсолютных значениях (а) и в приращениях (б)

Величины W_{x1} , W_{z1} , W_{x2} , W_{z2} берут либо из карты наладки, либо их определяет оператор (фактическую величину) при наладке инструмента вне станка.

При обработке заготовок на токарно-карусельных станках с ЧПУ операции проектируют по принципу концентрированной обработки. От результатов проектирования зависит качество подготовки управляющей программы и реализация ее на станке.

Исходной информацией при проектировании операции на станках с ЧПУ являются: чертеж заготовки, маршруты обработки отдельных поверхностей, обрабатываемых на данном станке, промежуточные припуски и промежуточные размеры, техническая характеристика станка.

При проектировании операции желательно иметь данные о маршруте обработки детали в целом. Проектирование начинается с уточнения содержания операции. Число выполняемых в данной операции переходов ограничивается, с одной стороны, точностью размеров заготовки, а с другой — числом инструментов, которые могут быть установлены на станке. При использовании станков с ЧПУ следует применять заготовки, получаемые точными методами (штамповкой, литьем под давлением или в кокиль и др.), обеспечивающими стабильность размеров и физико-механических свойств материала. В случае больших колебаний припусков у заготовок переходы предварительной обработки (обдирки) целесообразно выполнять на универсальных станках. Однако в некоторых случаях это снижает эффективность применения станков с ЧПУ.

Для уменьшения числа инструментов, необходимых для выполнения операции, в конструкции детали должны быть унифицированы отдельные ее элементы (резьбы, канавки и др.). Обычно для черновых и чистовых переходов обработки одних и тех же поверхностей предусматривают отдельные инструменты.

Черновые однотипные переходы (например, при обработке наружной поверхности) следует выполнять одним инструментом. Для чистовой обработки однотипных поверхностей, когда резец совершает большой путь резания, целесообразно предусмотреть несколько инструментов в целях уменьшения погрешностей от размерного износа инструмента. Однако чистовую обработку поверхностей, образующих плавный контур, следует выполнять одним инструментом (когда это возможно по кинематике движения инструмента).

Возможность выполнения отделочной обработки также ограничена либо точностными параметрами станка, либо его инструментальным оснащением. Если требуемые параметры качества поверхности и точности могут быть обеспечены тонкой обработкой ее лезвийным инструментом, то в наладке следует предусмотреть соответствующий инструмент. В станках, оснащенных магазинными устройствами, можно использовать шлифовальные головки для отделочной обработки.

Число необходимых для выполнения операции инструментов всех типов и геометрические параметры зависят от принятой схемы движения на дополнительных переходах при съеме напуска (рис. 27).

Траектория перемещения инструментов при съеме напуска, в отличие от траектории при съеме припуска (основные переходы), не всегда является эквидистантной к обрабатываемому профилю.

Для уменьшения числа необходимого инструмента целесообразно один и тот же инструмент использовать для выполнения разнотипных переходов, например, подрезной резец с углом $\varphi = 95^\circ$ — для обтачивания (растачивания) цилиндрической поверхности и подрезки торца; подрезной резец с $\varphi = 95^\circ$ и зачистной кромкой — для обтачивания (растачивания), подрезки торца и прорезки канавок и т.д. Назначенное число инструментов для выполнения операции не должно превышать возможности их установки на станке.

После установления содержания операции уточняют схему базирования и закрепления заготовки. Часто в содержании операции предусмотрена обработка заготовок с одной стороны. Другие стороны заготовки обрабатываются на последующих или предыдущих операциях. Однако детали типа тел вращения могут быть обработаны с двух сторон за два установа.

При обработке заготовки с одной стороны возникает необходимость обработки тех поверхностей, по которым при выполнении первых переходов выполняется ее базирование или закрепление. В этом случае обработка проводится с перезакреплением заготовки, для чего в программе предусматривают технологический останок станка. Координатные вылеты каждого инструмента устанавливаются в координатной системе резцедержателя. Вылеты инструментов должны быть минимальны, но достаточны для обработки соответствующих поверхностей.

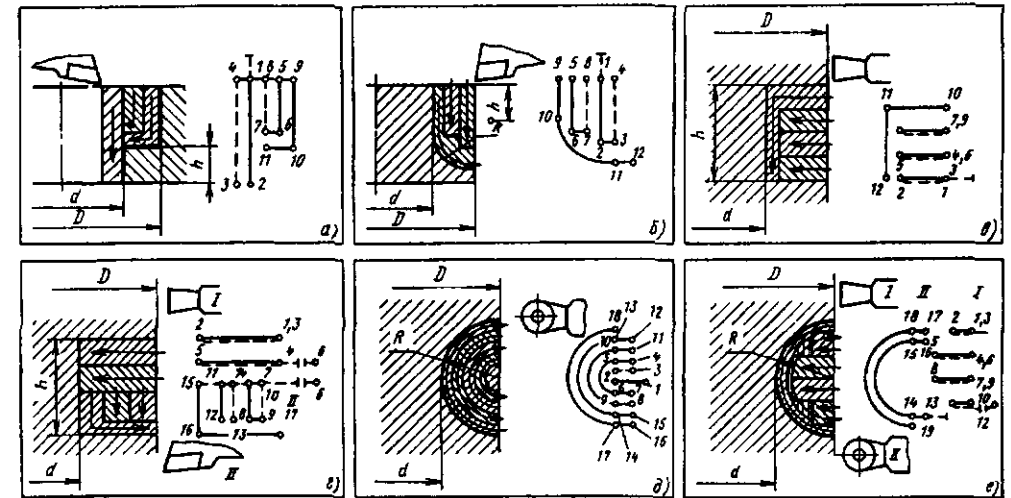


Рис. 27. Схемы движения инструментов при снятии напусков на станке с ЧПУ в полукрытых (а и б) и в закрытых (с – е) зонах: D , d , h , R — выдерживаемые размеры

Положение X_0 , Z_0 исходной точки инструмента выбирают в координатной системе детали. Ее положение должно обеспечивать, с одной стороны, удобство установки и снятия заготовки и исключать возможность удара инструмента о заготовку при его смене, а с другой стороны — минимальное время холостых перемещений инструмента. Затем назначают последовательность выполнения переходов. Основным критерием при этом является минимальное вспомогательное время, затрачиваемое на холостые перемещения инструмента, его смену, а в ряде случаев и на перезакрепление заготовки. С учетом приведенного критерия в общем случае целесообразно вначале полностью выполнить дополнительные и черновые переходы, затем чистовые, переходы обработки вспомогательных поверхностей (канавок, проточек, поднутрений и т.д.) и в конце — отделочную обработку.

Далее вычерчивают траекторию перемещения каждого инструмента. Точки траектории, в которых происходит изменение направления или скорости перемещения, являются опорными точками; им присваиваются порядковые номера начиная от нуля. Траектория движения резца зависит от последовательности выполнения переходов, направлений и пути обхода контура (сплошная линия), подвода и отвода резца (штриховая линия). Обычно изображают траекторию центра закругления при

вершине резца, которая является эквидистантной к обрабатываемому контуру. Учет радиуса закругления инструмента при построении его траектории позволяет исключить погрешности, которые могут возникнуть при обработке конических и криволинейных поверхностей.

На рис. 28 приведен пример построения траектории движения инструмента при обработке цилиндрических и конической поверхностей. Радиус закругления режущей кромки r_n . Точки A_1 и A_2 на режущей кромке резца определяют исходное положение инструмента. Точка A_0 — мнимая вершина острозаточенного резца; b — запас хода резца на врезание. Если в управляющую программу ввести траекторию движения по опорным точкам 0–1–2–3–4–5–6 (движение острозаточенного резца) без учета радиуса закругления, то на участке 4–5 режущая кромка пройдет на расстоянии a от контура, и фактические размеры детали будут искажены на величину

$$a = r_n \left(1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha.$$

Чтобы исключить эту ошибку, опорную точку 4 надо сместить по координате Z вниз (точка 4') на величину

$$\Delta_z = r_n \left(1 - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right).$$

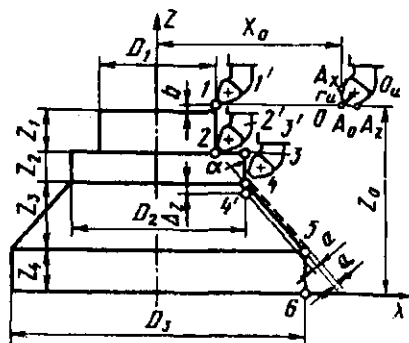


Рис. 28. Пример построения траектории движения инструмента на станке с ЧПУ

Координаты опорных точек траектории перемещения инструмента рассчитывают в координатной системе детали (расстояния от каждой опорной точки до координатных осей системы координат станка). Координаты опорных точек определяются в соответствии с рассчитанными ранее промежуточными размерами с учетом поправки на радиус закругления резца. При обработке с заданием размеров в абсолютных значениях вычисленные (определенные) координаты являются конечной информацией для программирования траектории перемещения инструмента. При задании размеров в приращениях (относительный отсчет) следует дополнительно определить перемещение инструментов как разность координат двух смежных опорных точек.

Для упрощения расчета траектории перемещения опорных точек устройства современных станков с ЧПУ (например, мод. H55-2) автоматически рассчитывают эквидистантный контур по заданному обрабатываемому контуру и информации о величине радиуса закругления инструмента, которая набирается корректором радиусов инструмента на пульте управления. Эта возможность имеется при задании как абсолютных, так и относительных размеров.

В качестве примера в табл. 8 приведены перемещения инструмента, рассчитанные по размерам обрабатываемого контура, показанного на рис. 28.

Далее выбирают материал инструментов и назначают режимы резания. При обработке заготовок из чугуна целесообразно использовать резцы из эльбора-Р или гексанида-Р при

8. Перемещения инструмента по осям координат

Участок траектории	Ось	
	X	Y
0-1	$X_0 - \frac{D_1}{2}$	-
1-2	-	$Z_1 + b$
2-3	$\frac{D_2 - D_1}{2}$	-
3-4	-	Z_2
4-5	$\frac{D_3 - D_2}{2}$	Z_3
5-6	-	Z_4

скоростях резания 300 – 500 м/мин. При этих скоростях стойкость таких резцов в 15 – 20 раз выше, чем твердосплавных, и в 2 – 3 раза выше, чем минералокерамических резцов, что особенно важно при обработке поверхностей больших размеров. Этими резцами можно выполнять лучистовую обработку с глубиной резания 0,6 – 0,8 мм и чистовую обработку с глубиной резания 0,1 – 0,2 мм. Указанные резцы применяют и при чистовой обработке стальных заготовок с твердостью $\geq 50 \dots 55$ HRC.

При назначении режимов обработки на станках с ЧПУ руководствуются общепринятыми положениями для станков с ручным управлением. Однако в этом случае экономически целесообразно увеличивать нормативную скорость резания в результате снижения периода стойкости режущего инструмента. Этому способствуют повышенная жесткость технологической системы, наличие устройств для охлаждения инструмента, дробления и удаления стружки, организация настройки инструмента вне станка и др. По окончании проектирования составляют подробный перечень всех приемов в порядке их выполнения с указанием необходимой по каждому приему логической и размерной информации (направления перемещений, их величины, вид коррекции, частота вращения планшайбы, рабочие и установочные скорости перемещения суппорта и т.д.). Указанная информация кодируется и заносится на программноноситель.

На операционном эскизе обработки детали (рис. 29) в закодированном виде приведено содержание операции. Указаны координаты X_0 , Z_0 исходного положения первого резца, установленного в первой позиции револьверной головки, и координаты W_x , W_z вылетов остальных резцов. Показаны траектории перемещения каждого резца, участвующего в работе. При этом траектории перемещения инструмента показаны непосредственно вдоль обрабатываемого контура (резец 1, траектория 0 – 15), а также рядом с ним (резец 2 – траектория 15 – 27, резец 3 – траектория 27 – 40).

Для наглядного представления о последовательности выполнения переходов на операционном эскизе дана сквозная нумерация координат опорных точек по всем резцам; в табл. 9 приведены условия выполнения операции. Приводимая программа соответствует эскизу обработки, показанному на рис. 29.

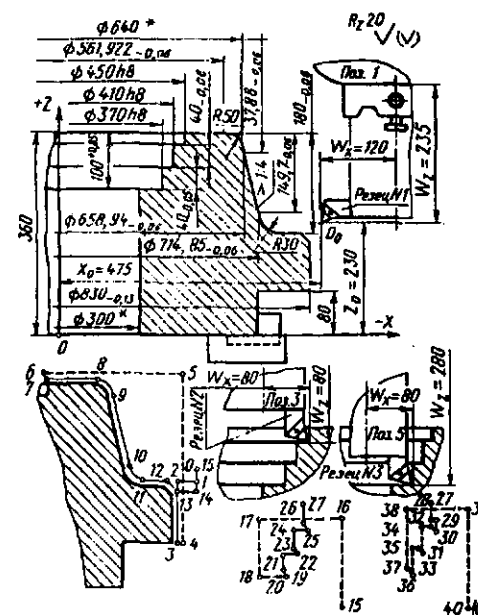


Рис. 29. Операционный эскиз чистовой обработки на токарно-карусельном станке 1512Ф3

9. Условия выполнения операции

Номер позиции	резца	Траектория (переход)	Номер корректора			r_n , мм	Режимы резания			
			X	Z	r_n		f , мм	s , мм/об	v , м/мин	n , об/мин
1	1	2-3 7-13	20	21	-	2	0,5	0,3	165	63
			20	21	01; 02		0,5	0,3	89-165	63
3	2	18-19 21-22 24-25	24	23	-	2	0,5	0,3	116	100
			24	25	-				128	100
			24	27	-				112	80
5	3	29-30 32-33 35-36	26	29	-	2	0,5	0,3	112	80
			28	29	-				128	100
			30	29	-				116	100

ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ НА СТАНКЕ 1512Ф3

N001T01M06 – повернуть резцедержатель в поз. 1.

N002G24X – 050000 } ускоренный подвод в поз. обработки
N003G24Z – 048000 } (траект. 0-1-2)

N004S + 000630M39 – включить вращение планшайбы (50 об/мин)

N005G24X – 000000L20 } ввести коррекцию положения инструмента:
N006G24Z – 000000L21 } по X-кор. 20, по Z-кор. 21

N007G95G41Z – 104000L01R + 000300 – обточить $\varnothing 850$ (ход по $Z=104$ мм) с выходом на эквидистантный профиль – подача – 0,3 мм/об, коррекция радиуса резца – кор. 01 (траект. 2-3)

N008G24X + 002000 – отвести ускоренно по X = 2 мм (траект. 3 – 4)
 N009G41G94Z + 290000L02F3230 – установочное перемещение по Z = 290 мм с выходом на эквидистантный контур, коррекция радиуса – кор. 02 (траект. 4 – 5)
 N010G94X – 204000L01 – установочное перемещение по X = 204 мм, коррекция радиуса – кор. 01 (траект. 5 – 6)
 N011G41Z – 008000L01 – установочное перемещение по Z = 8 мм. С выходом на эквидистантный профиль, коррекция радиуса – кор. 01 (траект. 6 – 7)
 N012G01G95X + 057961R + 000300 – подрезка торца (перемещение по X – 57,961 мм, подача – 0,3 мм/об) (траект. 7 – 8)
 N013G43K + 050000X + 048507Z – 0121127L01 – обточка R = 50 мм (траект. 8 – 9)
 N014G01X + 027957Z – 111827 – обточка конуса (траект. 9 – 10)
 N015G461 + 038800K + 009700Z – 000000L01 – обточка R = 30 мм (траект. 10 – 11)
 N016G01G09X + 018775L22R + 000030 – подрезка торца (перемещение по X = 18,775 мм, подача – 0,3 мм/об) (траект. 11 – 12)
 N017G47X + 010000Z – 010000L01 – движение по сопряженной дуге
 N018G01X + 010000Z – 010000 – обточка фаски (траект. 12 – 13)
 N019G60 – возврат суппорта в исходное положение (траект. 13 – 14)
 N020G61 – возврат ползуна в исходное положение (траект. 14 – 15)
 N021T03M06 – повернуть резцедержку в поз. 3
 N022G24Z + 227000 } подвести на ускоренном ходу
 N023G24X – 527000 } (траект. 15 – 16 – 17)
 N024S + 000800 – переключить частоту вращения планшайбы на 800 об/мин
 N025G24Z – 102000 – подвести ускоренно в поз. обработки (траект. 17 – 18)
 N026G24X – 000000L24 } ввести коррекцию положения реза:
 N027G24Z – 000000L25 } по X – кор. 24, по Z – кор. 25
 N028G01G95X + 037000R + 000300 – подрезать торец в размер 100 + 0,06 мм с подачей 0,3 мм/об (траект. 18 – 19)
 N029G01G94X – 002000Z + 002000F3230 – отвести резец по X = 2 мм, по Z = 2 мм с подачей 3000 мм/мин (траект. 19 – 20)
 N030G24Z + 038000L25 – подвести ускоренно в т. 21, ввести коррекцию – кор. 25. (траект. 20 – 21)
 N031G01G95X + 022000R + 000300 – подрезать торец в размер 40 – 0,05 мм с подачей 0,3 мм/об (траект. 21 – 22)
 N032G01G94X – 002000Z + 002000F3230 – отвести резец по X = 2 мм, по Z = 2 мм с подачей 3000 мм/мин (траект. 22 – 23)
 N033S + 000630 – переключить частоту вращения планшайбы на 630 об/мин
 N034G24Z + 038000L27 – подвести ускоренно в т. 24, ввести коррекцию – кор. 27 (траект. 23 – 24)
 N035G01G95X + 022000R + 000300 – подрезать торец в размер 40 – 0,05 мм с подачей 0,3 мм/об, (траект. 24 – 25)
 N036G01G94X – 002000Z + 002000F3230 – отвести инструмент с подачей 3000 мм/мин. По X = 2 мм, по Z = 2 мм (траект. 25 – 26)
 N037G24Z + 030000 – отвести инструмент ускоренно в т. 27 (траект. 26 – 27)
 N038T05M06 – повернуть резцедержатель в поз. 5
 N039G24Z – 010000L29 } подвести инструмент ускоренно по Z = 10 мм, по X=2 мм, ввести
 N040G24X + 002000L26 } коррекцию: по X – кор. 26, по Z – кор. 29 (траект. 27 – 28 – 29)
 N041G01G95Z – 022000R + 000300 – обточить пов-ть Ø 450h8 с подачей 0,3 мм/об (траект. 29 – 30)
 N042G01G94X – 002000Z + 002000F3230 – отвести инструмент с подачей 3000 мм/мин (траект. 30 – 31)
 N043S + 000800 – переключить частоту вращения планшайбы на 800 об/мин
 N044G24X – 018000L28 – подвести инструмент (траект. 31 – 32), ввести коррекцию по X – кор. 28.
 N045G01G95Z – 042000R + 000300 – обточить поверхность Ø 410h8 с подачей 0,3 мм/об (траект. 32 – 33)

N046G01G94X – 002000Z + 002000F3230 – отвести резец по X = 2 мм, по Z = 2 мм с подачей 3000 об/мин (траект. 33 – 34)
 N047C24X – 018000L30 – подвести резец (траект. 34 – 35), внести коррекцию по X – кор. 30
 N048G01G95Z – 042000R + 000300 – обточить поверхность Ø 370h8 с подачей 0,3 мм/об (траект. 35 – 37)
 N049G01G94X – 005000Z + 005000F3230 – отвести инструмент по X = 5 мм, по Z = 5 мм с подачей 3000 мм/мин (траект. 36 – 37)
 N050G24Z + 100000 – отвести инструмент ускоренно по Z = 100 мм (траект. 37 – 38)
 N051G60 – вернуть суппорт в исходное положение (траект. 38 – 39)
 N052G61 – вернуть ползун в исходное положение (траект. 39 – 40)
 N053M05 – остановить вращение планшайбы
 N054M02 – конец программы

ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Сверлильно-фрезерно-расточные станки обладают широкими технологическими возможностями и вследствие интеграции обработки позволяют в 2 – 3 раза уменьшить число необходимого более простого оборудования, приспособлений, выполнить обработку практически со всех сторон за один установ заготовки; при этом осуществляются почти все виды обработки со снятием стружки.

Применяют следующие типы сверлильно-фрезерно-расточных станков (в скобках указаны рекомендуемые по ОСТ 2Н62-1-78 ширина или диаметр стола): горизонтальный с крестовым поворотным столом (рис. 30, а; 250 – 630 мм); вертикальный с крестовым столом (рис. 30, б; 250 – 630 мм); горизонтальный с подвижной стойкой и подвижным поворотным столом (рис. 30, в и г; 500 – 2500 мм); горизонтальный с наклонно-поворотным столом (рис. 30, д; 250 – 800 мм); вертикальный с подвижной стойкой и подвижным столом (рис. 30, е; 500 – 1000 мм); горизонтальный с вертикальным крестовым суппортом и горизонтально перемещающимся шпинделем (рис. 30, ж; 160 – 630 мм); горизонтальный с крестовой стойкой и неподвижным столом-плитой (рис. 30, з; 1000 мм и более); вертикальный одностоечный с поперечиной и подвижным столом (рис. 30, и; 500 – 1000 мм); двухстоечный с поперечиной и подвижным столом (рис. 30, к; 500 – 2500 мм).

Перспективными для применения в ГПС являются станки с вертикальным столом типа, представленного на рис. 30, ж. В этом случае легко удаляется стружка.

Выпускаются специальные токарно-сверлильно-фрезерно-расточные станки (например, модуль ИР320ПМФ4), на которых можно выполнять все виды обработки (рис. 31), характерные для станков расточной, фрезерной, сверлильной и токарной групп. Станки такого типа имеют автоматизированное загрузочное устройство, накопитель палет (рис. 32). Время обработки совмещено с временем установки заготовок на палету, причем палеты находятся в удобной для оператора позиции. В вертикальном накопителе и на рабочей позиции палета находится в вертикальном положении, что уменьшает размеры накопителя, улучшает отвод стружки из рабочей зоны и очистку детали.

Шпиндель изделия (рис. 33) на станках такого типа вращается от специального двигателя (на станке ИР320ПМФ4 частота вращения шпинделя с заготовкой при токарной обработке 200 об/мин). Стол станка может фиксироваться в определенном положении (0, 90, 180, 270° с точностью ±3°; в любых позициях – с точностью ±5°).

Системы координат станка с ЧПУ, детали, инструмента

При подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ большое значение имеет правильный выбор и взаимная увязка систем координат. Система координат станка (СКС), в которой определяется положение рабочих органов станка и других систем координат, является основной. По стандартам все прямоугольные перемещения рассматривают в правосторонней прямоугольной системе координат X, Y, Z. Во всех станках положение оси Z совпадает с осью вращения инструмента; если при обработке вращается заготовка, – то с осью

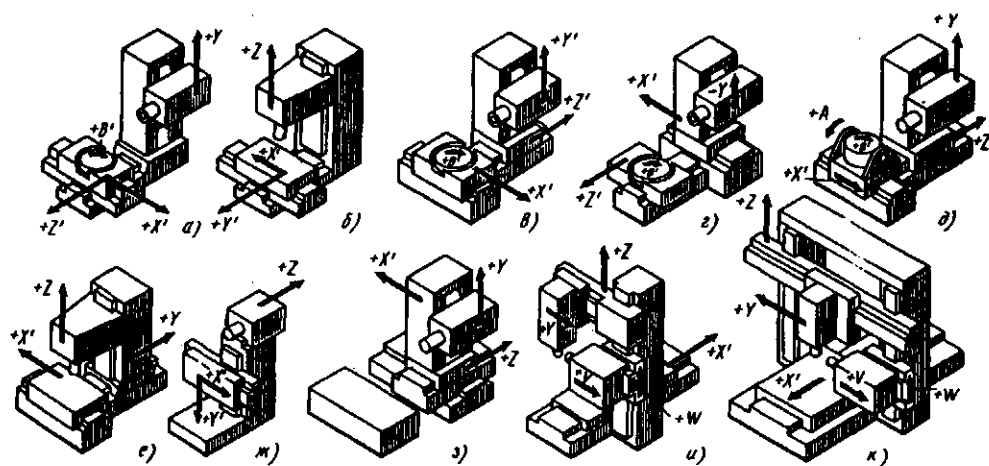


Рис. 30. Основные (базовые) типы сверлильно-фрезерно-расточных станков

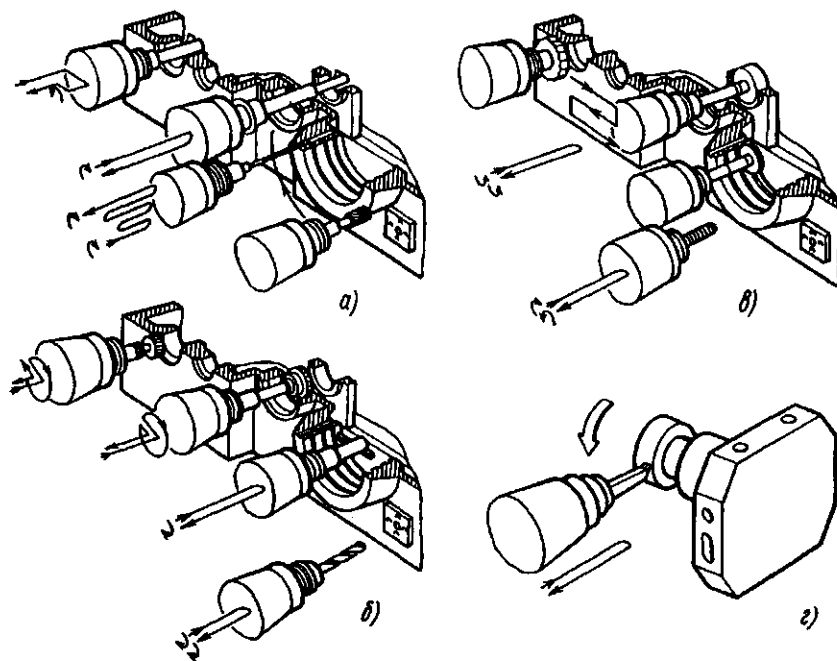


Рис. 31. Виды обработки, выполняемые на токарно-сверлильно-фрезерно-расточном станке мод. "Модуль ИР320ПМФ4": а – обратное цевкование, растачивание, сверление глубоких отверстий, фрезерование; б – фрезерование по контуру, растачивание канавок, сверление; в – фрезерование плоскостей, обработка отверстий, канавок, нарезание резьбы; г – токарная обработка с вращением закрепленной на палете заготовки

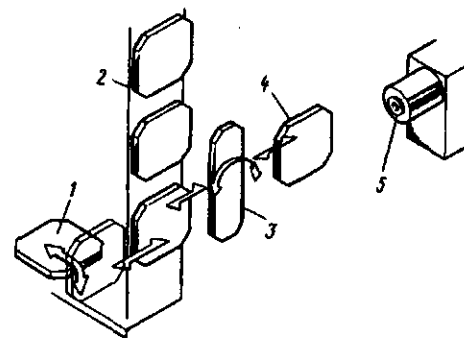


Рис. 32. Схема автоматизированного загрузочного устройства – накопителя палет токарно-сверлильно-фрезерно-расточного станка: 1 – палета в позиции смены заготовки, детали; 2 – накопитель палет вертикального типа; 3 – манипулятор для смены палет; 4 – палета в рабочей позиции; 5 – шпиндель станка

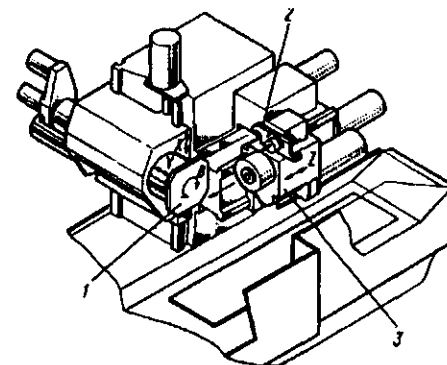


Рис. 33. Схема токарно-сверлильно-фрезерно-расточного станка: 1 – палета в рабочей позиции на шпинделе изделия; 2 – манипулятор для смены инструмента; 3 – шпиндельная бабка. Стрелками на рисунке обозначены возможные направления перемещений рабочих органов станка

вращения заготовки. На станках всех типов движение сверла из детали определяет положительное направление оси Z в СКС. Для станков, в которых сверление невозможно, ось Z перпендикулярна технологической базе. Ось X перпендикулярна оси Z и параллельна технологической базе и направлению возможного перемещения рабочего органа станка.

На токарных станках с ЧПУ ось X направлена от оси заготовки по радиусу и совпадает с направлением поперечной подачи (радиальной подачи) суппорта. Если станок имеет

несколько столов, суппортов и т.п., то для задания их перемещений используют другие системы координат, оси которых для второго рабочего органа обозначают U, V, W , для третьего – P, Q, R . Круговые перемещения рабочих органов станка с инструментом по отношению к каждой из координатных осей X, Y, Z обозначают A, B, C . Положительным направлением вращения вокруг осей является вращение по часовой стрелке, если смотреть с конца оси; вращение в противоположном (отрицательном) направлении обозначают A', B', C' . Для вторичных угловых перемещений вокруг осей применяют буквы D и E .

В зависимости от конструкции станка заданное положение инструмента и заготовки при обработке может быть получено перемещением инструмента относительно неподвижной заготовки, заготовки относительно неподвижного инструмента (в этом случае оси в СКС обозначают X', Y', Z' и соответственно изменяют положительные направления на противоположные) или взаимным их перемещением.

Учесть эти особенности весьма сложно. Принят так называемый *метод относительно программирования*: при обработке деталей на сверлильно-фрезерно-расточных станках условно считают, что всегда движется инструмент, а заготовка остается неподвижной. При этом знаки направлений осей координат детали одинаковы со знаками координатных перемещений инструмента.

Такой метод очень удобен на практике, так как для программиста безразлично, как обеспечивается, например, положительное движение инструмента по оси X – его собственным перемещением или движением стола в противоположном направлении. Положение *нулевой точки станка* (нуль станка) – точки, принятой за начало СК (ГОСТ 20523-80), т.е. начало отсчета для линейных и для круговых движений, стандартами не установлено. Обычно нулевая точка станка совмещается с базовой точкой узла, несущего заготовку, зафиксированного в таком положении, чтобы все перемещения рабочих органов станка описывались в стандартной системе положительными координатами. *Базовыми точками* служат: для шпинделя – точка пересечения торца шпинделя с осью его вращения; для крестового стола – точка пересечения его диагоналей; для станков с поворотным столом – точка пересечения плоскости с осью вращения стола и т.д.

Кроме нулевой точки, в ГОСТ 20523–80 даны определения следующих точек. *Исходная точка станка (исходная точка)* определяется относительно его нулевой точки и используется для начала работы по управляющей программе. *Фиксированная точка станка (фиксированная точка)* определяется относительно нулевой точки станка и используется для нахождения положения рабочего органа станка. Точка начала обработки определяет начало обработки конкретной заготовки.

Система координат детали (СКД) служит для задания координат опорных точек обрабатываемых поверхностей (контура, профиля и т.д.). *Опорными* называют точки начала, конца, пересечения или касания геометрических элементов, из которых образованы контур детали и траектория движения инструмента на переходах обработки. Применяют правую прямоугольную, цилиндрическую и сферические системы координат. Вместо трех объемных систем координат в частных случаях используют прямоугольные и полярные двухкоординатные системы. Точку на детали, относительно которой заданы ее размеры, называют *нулевой точкой детали* (нуль детали).

При разработке управляющей программы программист использует именно систему координат детали. При выборе СКД целесообразно: принимать направление осей таким же, как направление осей в СКС; нуль детали располагать так, чтобы все или большая часть координат опорных точек имели положительное значение; координатные плоскости СКД совмещать или располагать параллельно базам детали; координатные оси совмещать с возможно большим числом размерных линий или осей симметрии.

Система координат инструмента (СКИ) предназначена для задания положения его режущего лезвия. Оси СКИ параллельны и направлены в ту же сторону, что и оси СКС. Начало СКИ выбирают с учетом особенностей установки инструмента на станке. Инструмент рассматривают в сборе с державкой. Указывают положение формообразующих элементов режущих кромок. У вращающегося инструмента указывают координаты точки пересечения с осью вращения. Связь систем координат при обработке детали на сверлильно-фрезерно-расточном станке показана на рис. 34.

Заданное расположение поверхностей детали будет достигнуто в двух случаях: если

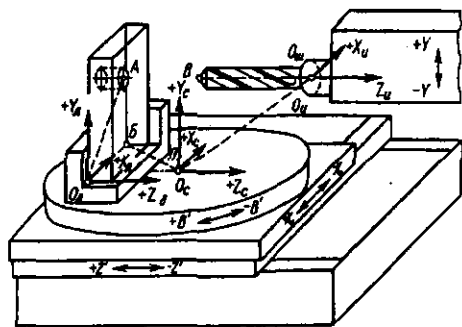


Рис. 34. Связь систем координат детали, инструмента и сверлильно-фрезерно-расточного станка с ЧПУ

заготовка и инструмент установлены в определенном положении в системе координат станка (СКС), т.е. точно известно положение СКИ и СКД в СКС, или, если все системы совмещены. В обоих случаях до обработки необходимо точно знать расположение систем координат станка, изделия и инструмента. Это согласование достигается наладкой технологической системы.

Типовые и постоянные циклы обработки элементов деталей

На станках с ЧПУ обработка деталей выполняется автоматически по управляющей программе. Программа содержит указания последовательности обработки элементарных поверхностей (конструктивных элементов детали) и циклограммы перемещений рабочих органов станка для каждого перехода обработки. *Общий цикл обработки детали* состоит из совокупности единичных циклов обработки отдельных элементов (поверхностей) детали. Индивидуальные параметры детали (геометрической формы, требований точности и качества поверхностного слоя) учитываются при технологическом проектировании маршрута (последовательности) и выборе методов обработки.

Последовательность выполнения рабочих и вспомогательных ходов в единичном цикле принимается типовой и не зависит от особенностей конкретной детали. Использование при программировании типовых циклов (библиотеки подпрограмм) обработки элементов детали значительно упрощает составление управляющей программы, сокращает трудоемкость и уменьшает возможность появления ошибок программирования.

Существует несколько видов единичных циклов обработки: типовые, постоянные и гибкие. *Типовые циклы* отражают имеющиеся рекомендации построения циклов для широкой гаммы возможных вариантов обработки. *Примеры типовых циклов обработки* приведены на рис. 35 – 39. *Постоянные* (автоматические) циклы – это небольшая жесткая программа, которая не подлежит изменению. *Гибкие циклы* сделаны как подпрограммы, которые можно менять при программировании. Постоянные циклы и подпрограммы можно повторять в любом месте программы и тем самым существенно упрощать программирование обработки деталей, имеющих несколько одинаковых элементов.

При выполнении какого-либо перехода обработки возможны несколько вариантов цикла; например, быстрый подвод может осуществляться в плоскости (одновременное движение по осям X и Y) или последовательным движением сначала по одной, затем по другой оси и т.д. Технолог-программист выбирает необходимый цикл и уточняет его содержание.

В общем случае постоянный цикл обработки отверстий для станков типа ОЦ содержит:

а) позиционирование с быстрой подачей инструмента на плоскости (если необходимо, то и с вращением стола); выбор частоты вращения шпинделя; включение вращения шпинделя и выполнение других команд, если они запрограммированы;

б) позиционирование с быстрой подачей инструмента по оси Z в точку, находящуюся на расстоянии 1–3 мм от поверхности заготовки;

в) рабочий ход вдоль оси Z с заданной подачей до требуемой глубины отверстия; в зависимости от типа постоянного цикла движение инструмента вдоль оси Z осуществляется непрерывно или прерывисто с заданным рабочим ходом и возвратом назад (для ломки стружки или для удаления стружки из отверстия); кроме того, в конце рабочего хода может быть задана определенная выдержка;

г) подготовку к возврату инструмента; в зависимости от типа цикла – это останов или изменение направления вращения шпинделя, фиксирование углового положения шпинделя и отвод его от обработанной поверхности;

д) возврат инструмента по оси Z с быстрой или рабочей подачей, с вращением или без вращения шпинделя.

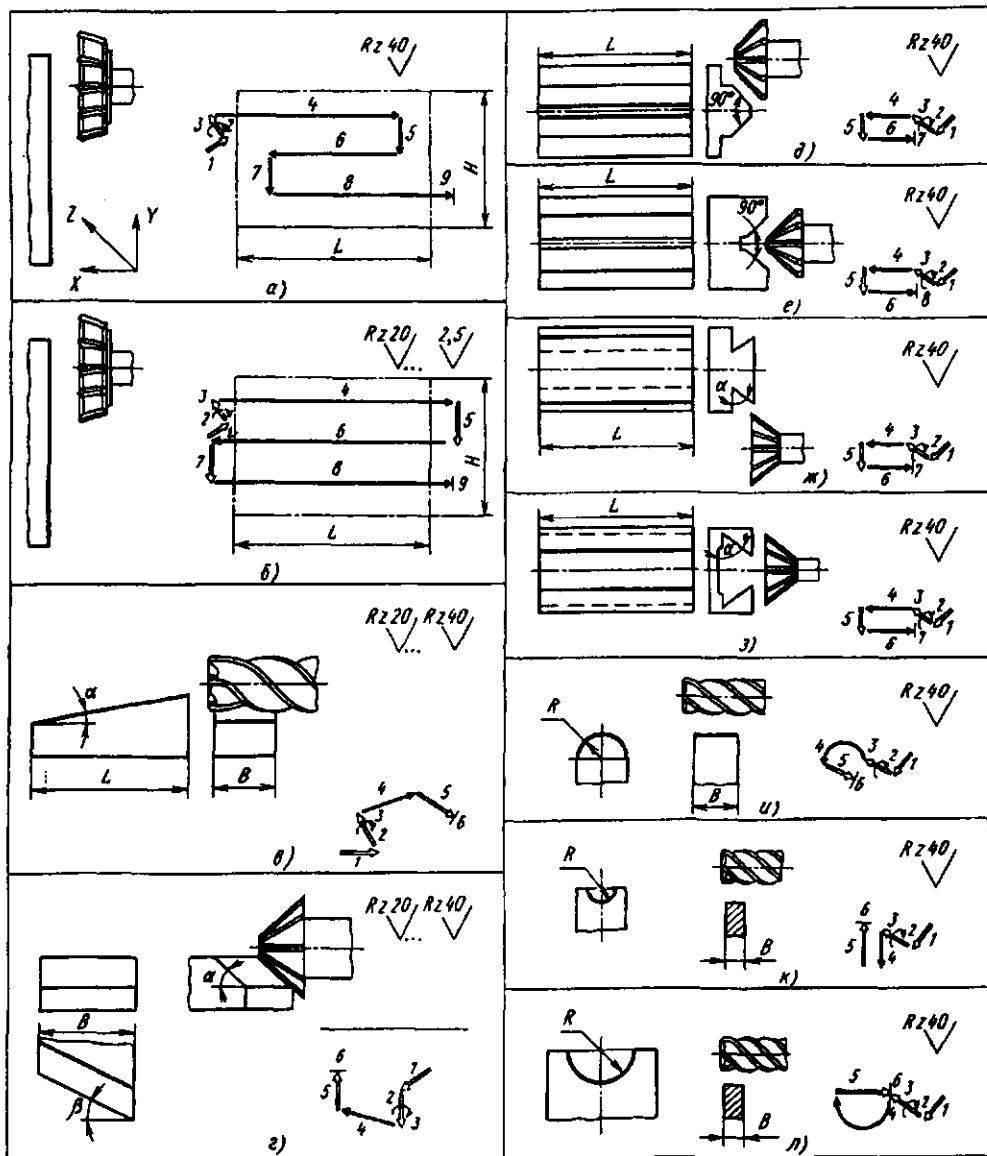
На рис. 40 и 41 приведены наиболее часто применяемые постоянные циклы. Применяют следующие циклы: сверления (G81), центрования или подрезки с выдержкой в конце цикла до 2000 мс (G82), глубокого сверления с выводом после каждого шага величиной K в исходную позицию (G83), нарезания резьбы метчиком с помощью специального компенсирующего устройства (G84), растачивания (развертывания) (G85), растачивания (G86), обработки отверстий с остановкой и ориентацией шпинделя в точках 2 и 6 (G87), специального растачивания (G89), сверления с дроблением стружки путем отвода сверла назад на 1 мм, финишной обработки отверстий (G76).

Указанные циклы включают перемещение (рис. 41): 1–2 – позиционирование по осям X и Y , включение вращения шпинделя; 2–3 – позиционирование по оси Z ; 3–4 – рабочий ход. Цикл G87 предназначен для окончательной обработки отверстий при повышенных требованиях к параметрам шероховатости поверхности (не допускается царапина от реза, получаемая при выводе инструмента). Этот цикл включает точную ориентацию шпинделя и перемещение реза в радиальном направлении (2–3), подвод к плоскости заготовки по оси Z (3–4), выход в рабочее положение по радиусу (4–5), обработку (5–6), смещение по радиусу (6–7) и отвод (7–8) в исходное положение.

При составлении общего и единичных циклов необходимо стремиться к сокращению вспомогательного времени, использовать возможности станков для совмещения перемещения по нескольким координатным осям, отводить рабочие органы на необходимые расстояния и т.д.

Расчет координатных перемещений

При обработке деталей на станках с ЧПУ необходимо обеспечить минимальные перемещения инструмента при подходе к детали. Методика расчета координатных перемещений учитывает особенности конструкции станка и устройства ЧПУ. Рассмотрим несколько примеров.



- | | | |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Рабочий ход | Вспомогательный ход по оси X | Остановка вращения шпинделя |
| Включение вращения шпинделя | Вспомогательный ход по оси Y | Вспомогательный ход по осям X и Y |
| Обработка по контуру | Вспомогательный ход по оси Z | Выдержка времени |

Рис. 35. Типовые циклы фрезерования: а и б – черного и чистового плоскости торцовой фрезой; в и г – уклона концевой и угловой фрезами; д – з – граней призм и ласточкина хвоста угловыми фрезами; и – л – цилиндрических поверхностей концевой фрезой

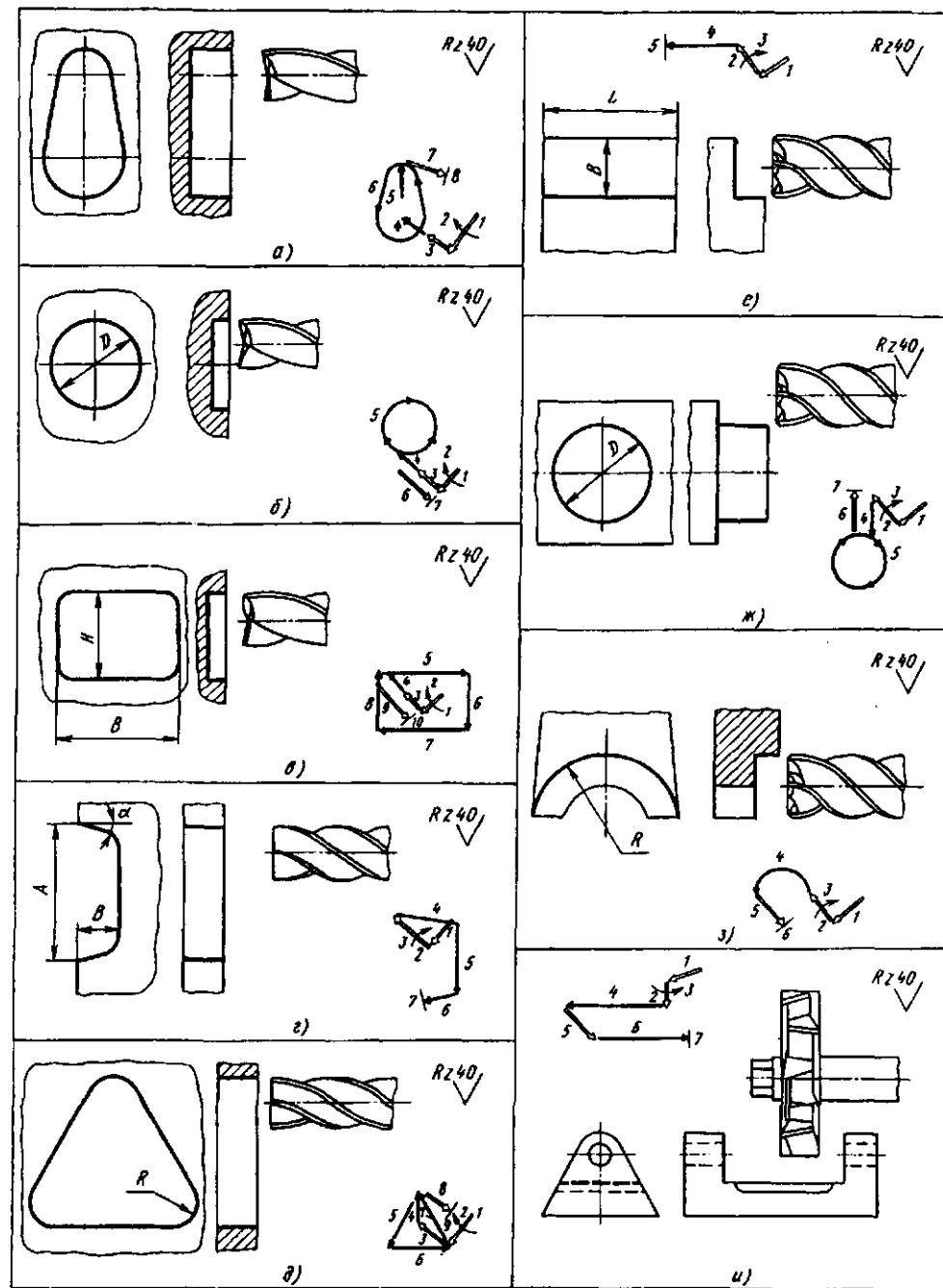


Рис. 36. Типовые циклы контурного фрезерования: а – д – карманов и окон шпоночными и концевыми фрезами; е – з – уступов, бобышек концевыми фрезами; и – уступа дисковой трехсторонней фрезой



Рис. 37. Типовые циклы фрезерования пазов: а, б – прорезными фрезами; в – д – Т-образного пазы, вначале прямого пазы (е) осевой концевой фрезой или "в разгон" (з), затем специальной фрезой (д); е, ж – концевой фрезой шпоночного пазы с предварительным сверлением (е); з – шпоночного пазы шпоночной фрезой без предварительного сверления отверстия; и – пазов с непараллельными стенками концевой фрезой; к – кольцевых пазов осевой шпоночной фрезой, "в разгон"

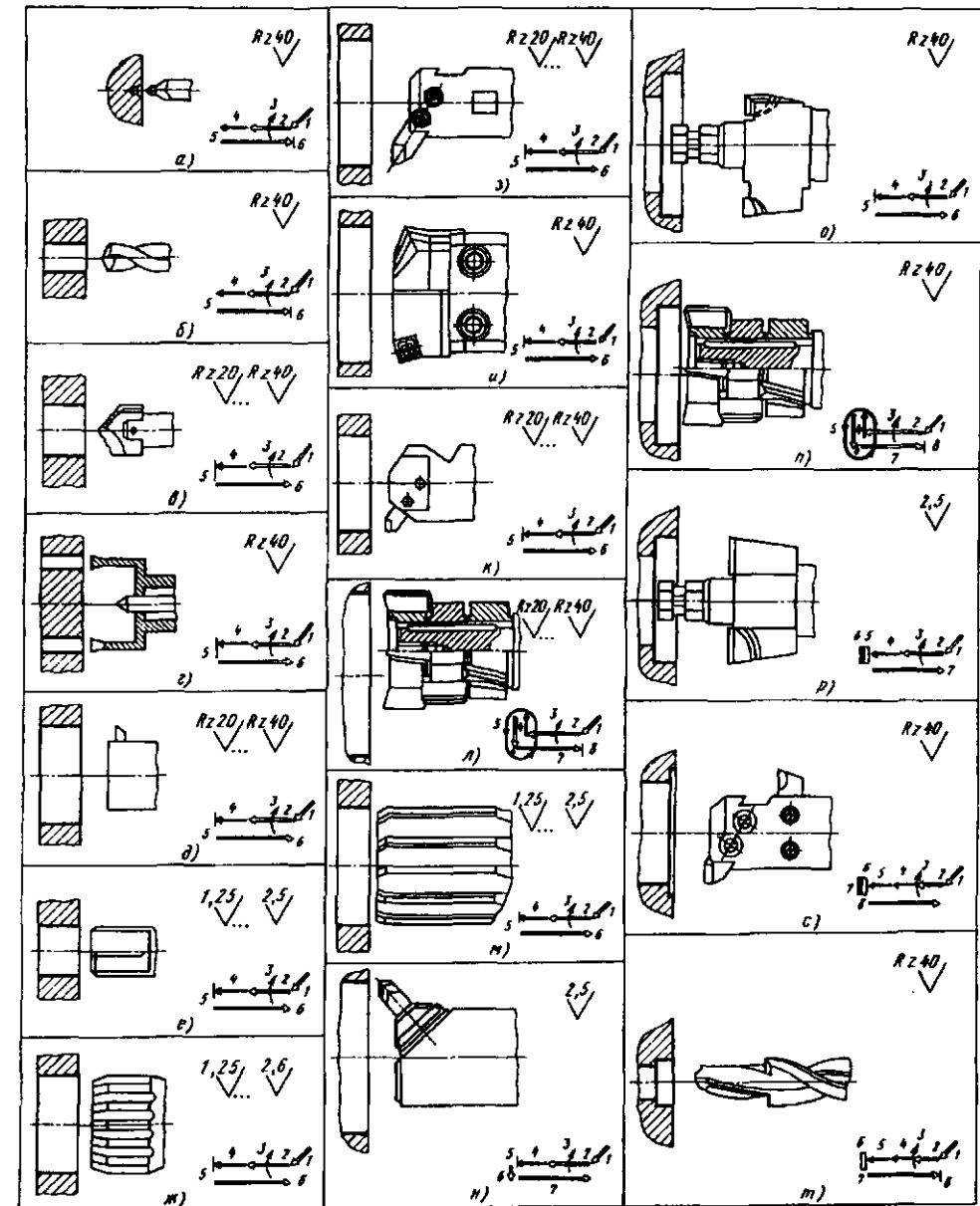


Рис. 38. Типовые циклы обработки отверстий в сплошном материале (а – ж), отверстий, полученных в отливке (з – н), выточек в отверстиях (о – т): а – цекование; б – з – сверление спиральным (б), перовым (в), кольцевым (з) сверлом; растачивание: д, з – к, н – однорезцовой оправкой (д), з – двусторонней головкой (и), з – черновое, к – получистовое, н – чистовое; е, ж, м – развертывание однолезвийной (е) и многолезвийными (ж, м) развертками; л, п – фрезерование фрезой для контурной обработки; о, р – черновое и чистовое растачивание выточки с подрезкой торца с использованием подрезной пластины; с – растачивание выточки с подрезкой торца резцом; т – обработка ступенчатых отверстий комбинированным сверлом

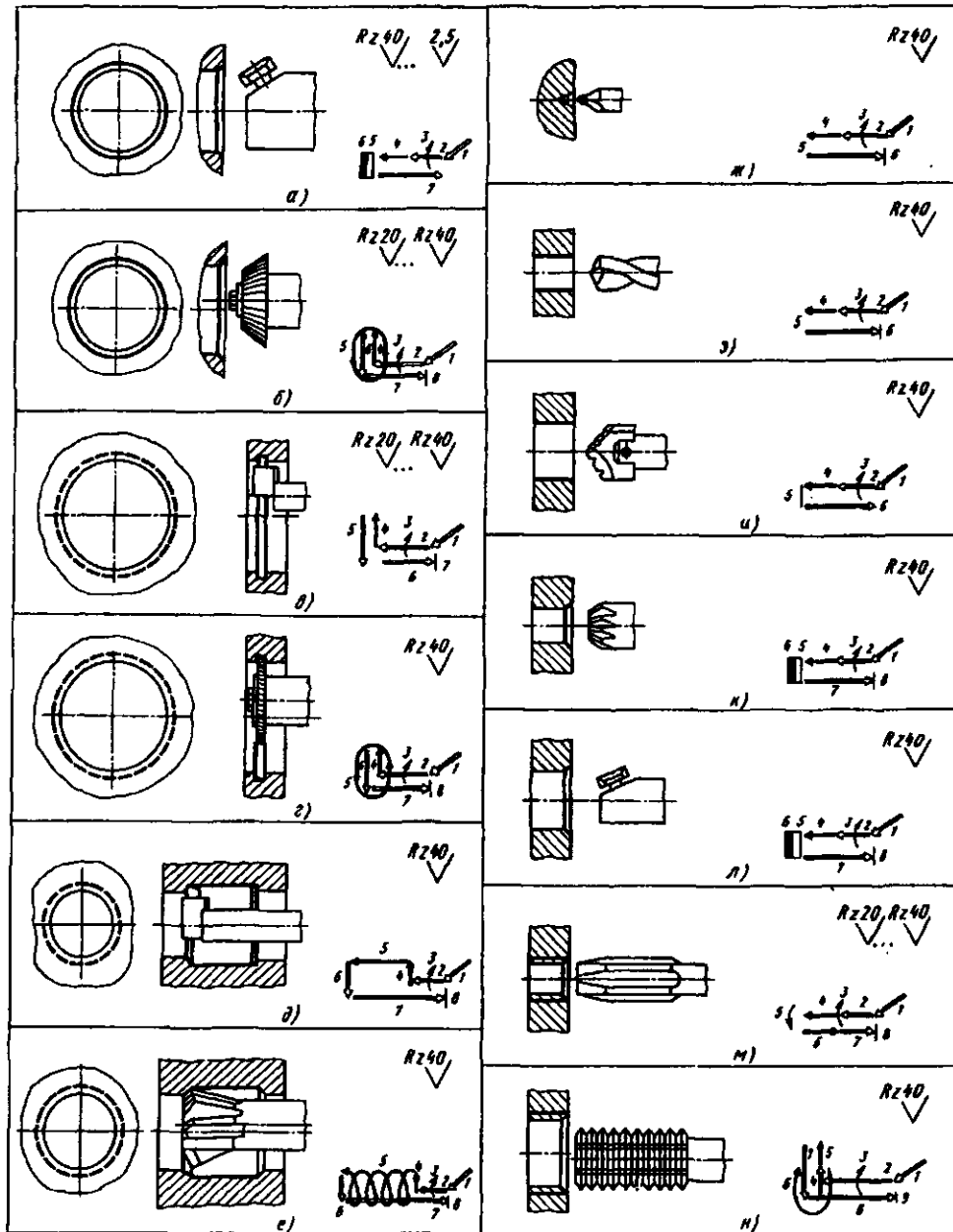


Рис. 39. Типовые циклы обработки фасок, канавок и занижений в отверстиях (а – е), резьбовых отверстий (ж – н): а, в, д – растачивание и б, з, е – фрезерование: фасок (а, б), канавок (в, з) и занижений (д, е); обработка отверстий под нарезание резьбы цехованием (ж), сверлением (з, и), зенкованием (к) или расточкой (л) фасок и нарезание резьбы метчиком (м) или фрезерование гребенчатой фрезой (н)

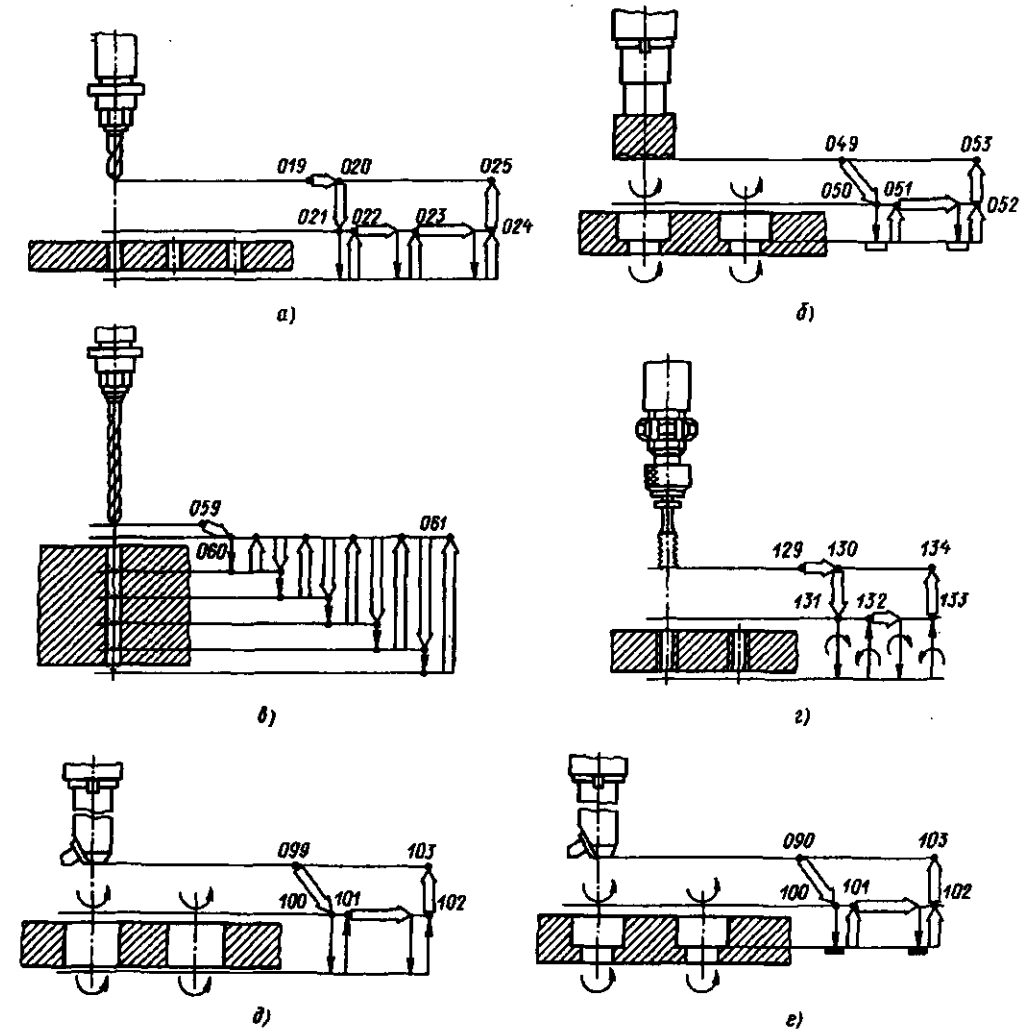


Рис. 40. Использование постоянных циклов при обработке деталей: а – G81; б – G82; в – G83; г – G84; д – G85; е – G86

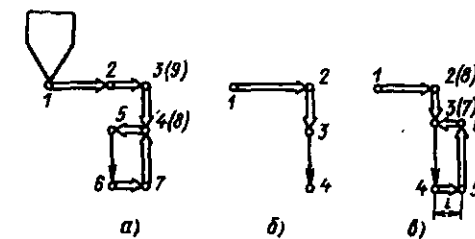


Рис. 41. Постоянные циклы: а – G87; б – G88; в – G76

Для станков с ЧПУ с вертикальным расположением шпинделя расстояние Z_n от базы детали до торца шпинделя, находящегося в позиции начала цикла обработки (рис. 42),

$$Z_n = L + R + H + l,$$

где L – наладочный размер инструмента, мм; R – расстояние быстрого перемещения инструмента к детали, мм; H – высота детали (длина обработки), мм; l – рабочее перемещение инструмента к обрабатываемой детали, мм.

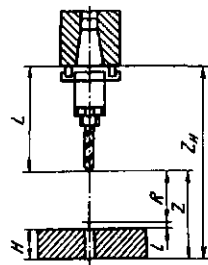


Рис. 42. Расчетная схема определения Z_n станка с ЧПУ с вертикально расположенным шпинделем

Практически Z_n рассчитывают следующим образом. Для деталей типа "плита" из намеченных для использования инструментов достаточно выбрать тот, у которого максимальный наладочный размер L_{\max} . Тогда

$$Z_n = L_{\max} + H + l \quad \text{при } R = 0;$$

при обработке отверстий в корпусных деталях с перепадами высот выбирают инструмент с максимальным наладочным размером L_{\max} и сечение детали, имеющее максимальную высоту H_{\max} . Затем определяют

$$\left. \begin{aligned} Z'_n &= L_n + H_{\max} + l; \\ Z''_n &= L_{\max} + H_n + l, \end{aligned} \right\} \quad \text{при } R = 0,$$

где L_n – наладочный размер инструмента, который обрабатывает деталь в сечении с высотой H_{\max} , мм; H_n – высота детали в сечении, в котором происходит обработка инструментом с размером L_{\max} , мм.

Подсчитав величины Z'_n и Z''_n , в качестве Z_n принимают наибольшую. Если станок типа ОЦ имеет выдвижную пиноль с перемещением C , то выбор значения Z_n проверяют по неравенству

$$(R + l_{\text{обр}} + l) < C,$$

где $l_{\text{обр}}$ – длина обрабатываемого отверстия.

Рассмотрим пример расчета координатных перемещений для сверлильно-фрезерно-расточного станка мод. 2Б622МФ2 с горизонтально расположенным шпинделем. Зона

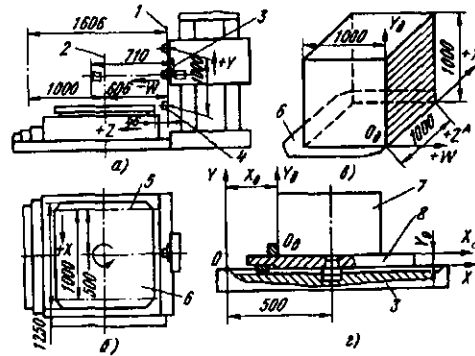


Рис. 43. Технологическая зона обработки на станке мод. 2Б622МФ2: а – вид на станок сбоку; б – вид на стол сверху; в – условное изображение зоны обработки (O_d – начало системы координат детали); г – схема установки приспособления и заготовки: 1 – торец полого шпинделя; 2 – ось поворота стола (начало отсчета перемещений стола вдоль оси Z); 3 – начало перемещений шпинделя по оси W ; 4 – начало отсчета перемещений бабки по оси Y ; 5 – начало отсчета перемещений стола поперек станка (по оси X); б – стол станка; 7 – заготовка; 8 – приспособление

обработки (зона программируемого перемещения) определяет границы расположения нулевой точки системы координаты детали. Положение точки не должно выходить за эти границы. Приспособление с заготовкой на станке можно фиксировать с помощью цилиндрического пальца (по отверстию в столе диаметром 110 мм) и шпонки, входящей в средний точный паз поворотного стола размером 22 мм (рис. 43).

В случае обработки деталей небольших габаритов (меньше размеров зоны обработки) проводится "сдвиг нуля" (начала отсчета) по осям X и Y соответственно на величины Δx_0 и Δy_0 (рис. 44, а). Программные координатные перемещения по осям X , Y равны $+a$, $+\delta$. На станке можно обрабатывать детали, у которых положение баз находится вне зоны обработки (вне пределов измерительной системы станка). В этом случае (рис. 44, б) с необходимой точностью определяют Δx и программируют перемещения по осям X и Y (соответственно $+a = x_d - \Delta x$ и $+\delta$).

В случае обработки отверстий в двух стенках детали с поворотом стола на 180° (рис. 44, в) координаты отверстия программируются следующим образом. При обработке отверстия в передней стенке (до поворота) (как

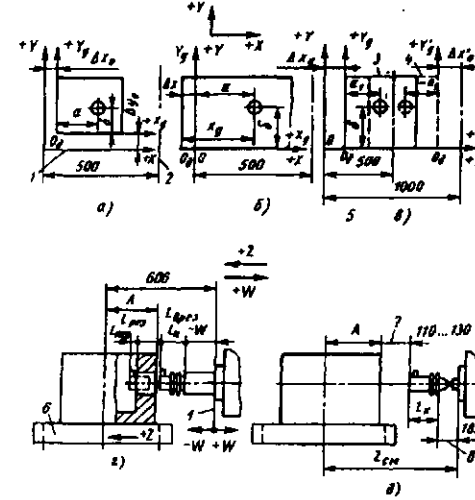


Рис. 44. Схемы для расчета координатных перемещений (позиционных размеров) при обработке различных деталей на станке мод. 2Б622МФ2: 1 – плоскость стола; 2 – ось поворота стола; 3 – положение детали до поворота стола; 4 – положение детали после поворота стола; 5 – программируемое перемещение по оси X ; 6 – стол станка; 7 – зазор для безаварийной работы; 8 – перемещение манипулятора для смены блока инструментов

и в случае рис. 44, а) смещается начало координат на величину $+a_1 = a$, по оси X программируется координата $+a_1$. После поворота для сохранения единства баз начало отсчета смещается на величину $1000 - \Delta x_d$. По оси X в этом случае программируется координата отверстия $-a_1$. В обоих случаях по оси Y программируется координата оси отверстия $y = +\delta$.

На станке мод. 2Б622МФ2 по оси Z перемещаются нижние сани; кроме того, станок имеет выдвижной шпиндель (ось W , совпадающая по направлению с осью Z). При условии смещения начала отсчета по оси W на величину $\Delta w_0 = 105$ мм перемещение шпинделя (рис. 44, з).

$$W = A - 606 + l_n - (l_{\text{рез}} + l_{\text{пер}}),$$

где l_n – расстояние от вершины резца до торца шпинделя; $l_{\text{рез}}$ – длина обрабатываемого отверстия по оси Z ; $l_{\text{пер}}$ – перебег.

Если стол расположен вдоль оси шпинделя, расчетная координата W увеличивается по абсолютной величине на 19 мм. Если стол расположен пазами поперек, то абсолютная величина координаты $|W|$ уменьшается на 46 мм.

По оси Z координаты точки начала и конца обработки соответственно

$$Z_n = A - 606 + |W| + l_n + l_{\text{врез}};$$

$$Z_k = Z_n - (l_{\text{рез}} + l_{\text{врез}} + l_{\text{пер}}),$$

где $l_{\text{врез}}$ – длина врезания.

Координату по оси Z (рис. 44, д), в которой проводится смена инструмента, определяют с учетом необходимости обеспечения зазора между стенкой заготовки и торцом оправки 110 – 130 мм:

$$Z_{\text{см}} = A - 606 + l_k + 185 + (110 \dots 130),$$

где l_k – расстояние от крайней точки оправки до торца расточного шпинделя.

Последовательность выполнения переходов обработки деталей

Порядок выполнения переходов обработки при изготовлении деталей на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ и на станках с ручным управлением принципиально одинаков; характерны лишь большая концентрация переходов обработки на одном станке с ЧПУ и стремление полностью обработать деталь за один установ (это возможно, если обработка детали не прерывается термической обработкой).

Перед разработкой сверлильно-фрезерно-расточной операции ЧПУ анализируют технологичность детали и обосновывают выбор метода получения заготовки. Заготовка, предназначенная для обработки на станках с ЧПУ, должна иметь допуски и припуски не менее чем на 20 – 40 % меньше, чем для обработки на станках с ручным управлением.

Проектируемый процесс (операция) обработки должен обеспечить выполнение всех технических требований, предъявляемых к детали, при минимальной себестоимости обработки и максимально возможной производительности. Производительность обработки деталей на станках с ЧПУ зависит от технологических возможностей станка (которые в значительной степени определяются технологическими возможностями устройств ЧПУ), возможностей режущего инструмента, правильного выбора модели станка и условий обработки детали на нем, правильного назначения после-

довательности выполнения технологических переходов и т.д.

Технологические разработки, связанные с выбором методов обработки и последовательностью выполнения переходов обработки детали, базируются на принципах обеспечения: максимально возможной и целесообразной концентрации переходов обработки в одной операции; работы с оптимальными припусками и минимальными напусками, что позволяет сократить номенклатуру режущего инструмента, повысить точность и производительность обработки, уменьшить трудности, возникающие при удалении стружки; минимального вспомогательного времени с учетом характеристик станков по затратам времени на позиционирование, вспомогательные ходы, смену инструмента, поворот стола и т.д. [этим определяется целесообразность обработки группы плоскостей или одинаковых отверстий со сменой инструмента при обработке одного отвер-

стия (одной плоскости) или группы отверстий (плоскостей)]; максимального учета возможностей станков и ограничений по точностным параметрам станков, длине консольного инструмента (обработка отверстий длиной не более шести диаметров), диаметру фрез и т.д.; обработки корпусных деталей коробчатой формы в последовательности: предварительная обработка плоскостей, черновая обработка отверстий, термическая обработка (старение), получистовая обработка баз (плоскостей) и других неосновных поверхностей, чистовая обработка баз и основных отверстий, обработка крепежных отверстий; у деталей типа плит сначала обрабатывают плоскости, далее – уступы и крепежные отверстия.

Последовательность выполнения переходов обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы приведена в табл. 10.

10. Последовательность выполнения переходов обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ

Содержание переходов	Инструмент	Указания по выполнению переходов
1. Фрезерование наружных поверхностей (черновое, получистовое, чистовое)	Торцовые фрезы	Чистовое фрезерование жестких и деформируемых при закреплении деталей следует выполнять после перезакрепления (см. п. 10)
2. Сверление (рассверливание) в сплошных стенках (сквозное – основных отверстий под обработку; глухое – для ввода концевых фрез). Диаметр отверстий свыше 30 мм	Сверла	Если в переходах, указанных в пп. 2 и 8 используется один и тот же инструмент, то переходы можно совместить
3. Фрезерование пазов, отверстий окон, карманов, выборки	Концевые фрезы	Переходы следует выполнять в соответствии с рекомендациями по фрезерованию на станках с ЧПУ
4. Фрезерование внутренних поверхностей, перпендикулярных к оси шпинделя	Торцовые и концевые фрезы	То же
5. Черновое растачивание, зенкование основных отверстий в сплошных стенках после переходов, указанных в п. 2, прошитых, предварительно обработанных	Расточные резцы, зенкеры	–

Продолжение табл. 10

Содержание переходов	Инструмент	Указания по выполнению переходов
6. Обработка неточных дополнительных поверхностей, расположенных в основных отверстиях и концентричных оси (канавок, выемок, уступов, фасок)	Концевые, угловые, дисковые и тому подобные фрезы. Канавочные и фасочные резцы, расточные "ножи", зенковки	Переходы фрезерования выполнять в соответствии с рекомендациями по фрезерованию на станках с ЧПУ
7. Обработка дополнительных поверхностей: на наружных, внутренних и необрабатываемых поверхностях	Концевые и шпоночные фрезы	Переходы фрезерования выполнять в соответствии с рекомендациями по фрезерованию на станках с ЧПУ
8. Обработка крепежных и других вспомогательных отверстий диаметром свыше 15 мм (сверление, рассверливание, зенкование, зенкование, нарезание резьбы)	Сверла, зенкера, зенковки, метчики	–
9. Снятие прямых фасок кругом	Угловые фрезы	–
10. Перезакрепление детали, проверка положения подвижных органов станка, очистка посадочных гнезд в шпинделе станка для обеспечения точности обработки		Переходы можно не выполнять, если деталь не деформируется при закреплении и станок обеспечивает достаточную точность
11. Окончательное фрезерование плоских поверхностей	Торцовые фрезы	Переходы выполняются при обработке деталей жестких или сильнодеформируемых при закреплении
12. Обработка точных поверхностей основных отверстий (расточивание, развертывание)	Расточные резцы, развертки	То же
13. Обработка точных и точно расположенных отверстий малого размера (под базовые штифты, втулки и т.п.)	Сверла, расточные резцы, развертки	–
14. Обработка точных и точно расположенных дополнительных поверхностей (канавок, выемок, уступов, зенковок) в отверстиях	Расточные резцы, дисковые трехсторонние фрезы	–
15. Обработка выемок, пазов, карманов, прорезей и т.п., несимметричных относительно отверстия	Дисковые и концевые и тому подобные фрезы. Фасочные, канавочные, фасочные, угловые и расточные резцы	–

Продолжение табл. 10

Содержание переходов	Инструмент	Указания по выполнению переходов
16. Обработка фасок и других поверхностей, связанных с основными отверстиями	Дисковые и угловые фрезы. Канавочные и фасочные резцы	—
17. Обработка крепежных и других несответственных отверстий малого размера (центрование, сверление, зенкование, зенкерование и нарезание резьбы)	Сверла, зенковки, зенкера, метчики	Могут выполнять, начиная с переходов, указанных в п. 8

* Операционная технология обработки деталей на многоинструментальных фрезерных станках с ЧПУ. М.: ЭНИМС, 1977.

Обработка корпусной детали, как правило, начинается с выполнения переходов фрезерования. Сначала фрезеруют торцевой или концевой фрезой наружные плоские поверхности детали, затем уступы, пазы, выступы. Фрезеруют внутренние плоские поверхности, пазы и другие подобные им элементы детали, расположенные на некотором расстоянии от наружных плоских поверхностей детали. Открытые плоские поверхности, т.е. поверхности, вход (или выход) инструмента на которые не ограничен другим элементом детали, фрезеруют торцевыми (широкие поверхности с $B > 0,3D$, где B – ширина пазы, D – диаметр фрезы) или концевыми (узкие поверхности с $B \leq 0,3D$, контуры) фрезами; при обработке полузакрытых плоских поверхностей, т.е. поверхностей, вход (выход) инструмента на которые ограничен другим элементом детали, сначала фрезеруют концевой фрезой боковую сторону этого ограничивающего элемента (уступа, прилива), а затем торцевой фрезой – оставшуюся часть поверхности. Несколько поверхностей можно обрабатывать набором фрез, закрепленных на консольной оправке (рис. 45).

Последовательность переходов фрезерования плоских поверхностей пазов и других элементов, расположенных на различных сторонах детали, зависит от точности их относительного расположения и затрат времени на смену инструмента, поворот стола, перемещение узлов станка.

Чистовую обработку плоских поверхностей и пазов, точность размеров и относительного расположения которых соизмерима с точностными возможностями станка, целесооб-

разно осуществлять, максимально приближая друг к другу чистовые переходы, стремясь уменьшить число изменений положения инструмента и детали, влияющих на точность обработки.

При выполнении сверлильно-расточных переходов сначала осуществляют черновые переходы обработки основных отверстий и отверстий большого диаметра (более 30 мм) в сплошном металле, затем аналогичные переходы обработки отверстий, полученных в отливке или штампованной заготовке. Далее следует выполнить обработку торцевых поверхностей, канавок, фасок и других элементов, точность которых существенно ниже точностных возможностей станка.

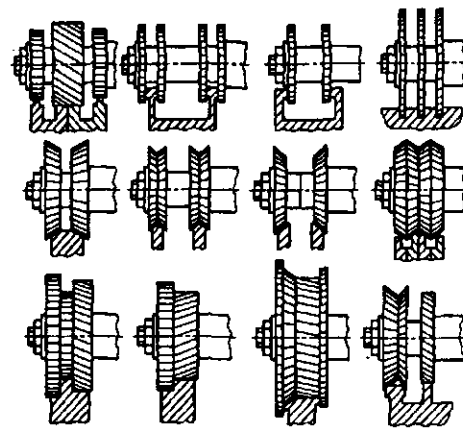


Рис. 45. Фрезы, используемые для обработки плоскостей корпусных деталей

После осуществления указанных выше переходов должны быть выполнены переходы полустойкой и чистовой обработки основных отверстий, а также торцов, канавок, точность размеров и относительного расположения которых соизмерима с точностью станка. Обработка канавок, расположенных несимметрично относительно точных поверхностей основных отверстий, выполняется после чистовой обработки основных отверстий и позволяет избежать искажения формы основного отверстия.

Последовательность переходов обработки точных плоских поверхностей и отверстий должна устанавливаться с учетом уменьшения влияния на точность обработки таких факторов, как геометрические неточности станка и его наладки, инструмента и его наладки на размер, погрешностей базирования и закрепления заготовки, температурные и другие деформации элементов технологической системы, перераспределение напряжений и деформаций заготовки в процессе ее обработки и т.д.

Температурные деформации возникают обычно при выполнении в одной операции черновых фрезерно-расточных переходов, связанных со снятием больших припусков, с чистовыми переходами обработки точных поверхностей и основных отверстий. Поэтому перед чистовыми переходами рекомендуется удалить из внутренних полостей заготовки стружку, аккумулирующую основное количество теплоты, выделяющейся при резании, и убедиться в том, что температура заготовки находится в допустимых пределах.

Корпусные детали с высокими требованиями к точности обрабатывают в иной последовательности, чем рассмотренные выше. Вначале фрезеруют плоские поверхности, затем обрабатывают точные основные отверстия на всех сторонах детали, крепежные и другие неосновные отверстия на всех сторонах. При такой обработке удается уменьшить влияние температурных деформаций элементов технологической системы, и в первую очередь станка, на точность обработки.

На станках, оснащенных программно-управляемым планшуппортом, можно уменьшить число необходимых инструментов в магазине станка, объединить несколько переходов растачивания отверстий, обработки торцов и канавок, размеры которых близки друг к другу в пределах радиального перемещения расточной оправки планшуппорта. В этом случае все переходы, которые выполняются одной

расточной оправкой, установленной в планшуппорте, группируются в один переход и осуществляются последовательно с изменением по программе положения расточной оправки относительно оси вращения.

Заключительными переходами обработки корпусных деталей на многоинструментном станке являются, как правило, переходы обработки вспомогательных отверстий. "Обход" этих отверстий инструментами возможен по нескольким основным вариантам, отличающимся последовательностью работы инструментов и трудоемкостью обработки.

1. Обработка каждого отверстия осуществляется полностью по всем переходам, обеспечивающим требуемую точность; все переходы выполняются при одном положении детали относительно шпинделя станка (в плоскости, перпендикулярной к оси шпинделя). После выполнения всех переходов обработки одного отверстия, предусмотренных технологической схемой, деталь перемещают для обработки следующего отверстия. После завершения обработки всех отверстий, расположенных с одной стороны детали, последнюю поворачивают для обработки отверстий, расположенных с другой стороны.

2. Одним инструментом последовательно обрабатывают одинаковые отверстия, расположенные с одной стороны детали, после чего вступает в работу следующий инструмент. После обработки всех отверстий, расположенных с одной стороны детали, ее поворачивают для аналогичной обработки отверстий, расположенных с другой стороны.

3. Одним инструментом осуществляется первый переход обработки (например, центрование) одинаковых отверстий, расположенных с одной стороны детали. После завершения первого перехода обработки одинаковых отверстий во всех плоскостях детали происходит смена инструмента, и цикл повторяется для второго (например, сверления) и последующего переходов. В этом случае каждым следующим инструментом, используемым для обработки одинаковых отверстий, начинают обработку с того отверстия, на котором закончили обработку предыдущим инструментом.

При небольшом числе переходов, необходимых для обработки одного отверстия, когда, например, обрабатываются крепежные отверстия, а число одинаковых отверстий велико, целесообразнее работать по второму варианту.

При обработке основных отверстий сложной формы с высокой степенью точности, требующих большого числа переходов, целесообразнее работать по первому варианту.

Третий вариант, как правило, целесообразен при большом числе одинаковых отверстий в различных стенках детали, а также в тех случаях, когда время, затрачиваемое на смену инструмента, существенно превышает время, связанное с поворотом стола.

Рекомендации по выбору переходов обработки основных отверстий (рис. 46) приведены в табл. 11 и 12. Наиболее распространены отверстия типа А (80 % от всего количества) и В (12 %).

В качестве первого перехода обработки отверстий, полученных в отливках, на станках с позиционной системой управления следует применять растачивание, а не зенкерование, поскольку при растачивании увод и смещение оси обрабатываемого отверстия значительно меньше.

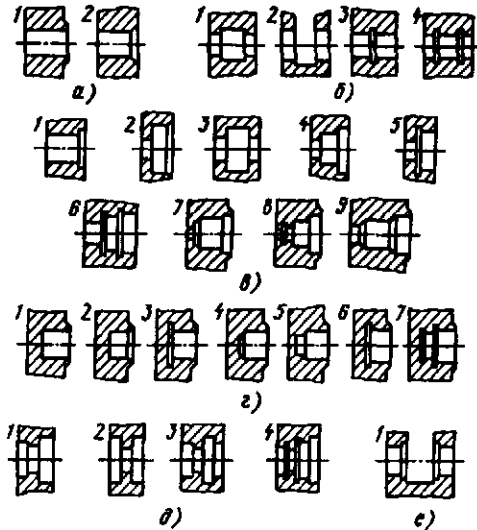


Рис. 46. Типы и сочетания основных отверстий, расположенных в одной стенке корпусной детали: а – гладкие отверстия А, обрабатываемые с одной стороны; б – отверстия В с выточками, канавками и другие, обрабатываемые с одной стороны; в – ступенчатые отверстия В в том числе с канавками и выточками, обработка которых возможна с одной стороны; г – глухие отверстия Г; д – ступенчатые двухсторонние отверстия Д, обрабатываемые с двух сторон детали; е – отверстия Е с внутренними обработанными торцами и выточками

На станках с контурной системой управления в этом случае целесообразно применять фрезерование вместо растачивания, так как концевая фреза менее чувствительна к неравномерности припуска на обработку. Фрезерование отверстий вместо их предварительного растачивания двухрезцовым блоком более производительно при длине отверстия, не превышающей длину режущей части фрезы. Чем больше припуск на первый переход обработки отверстия и чем неравномернее его расположение по длине окружности, тем эффективнее фрезерование по сравнению с растачиванием. Использование одной концевой фрезы вместо нескольких расточных инструментов позволяет уменьшить набор инструментов, необходимых для выполнения операции, сократить число смен инструмента и суммарное время, затрачиваемое на смену инструмента.

Основные отверстия и другие поверхности детали, точность размера и относительного расположения которых оговорена жесткими допусками, обрабатывают с последовательной заменой инструментов при минимальных изменениях относительного положения детали и инструмента, а также с использованием плансуппорта.

На станках, оснащенных программно-управляемым плансуппортом, одной расточной оправкой можно обработать в отверстиях канавки (в пределах длины хода ползуна плансуппорта). При отсутствии плансуппорта на станках с контурной системой управления наиболее производительным методом обработки канавок является фрезерование.

На станках с неодинаковой точностью поворота на различные углы технологические переходы, связанные с неточными поворотами стола, следует выполнять без изменения положения поворотного стола последовательно всеми необходимыми инструментами. Это позволяет обеспечивать более высокую точность относительного расположения поверхностей детали.

При обработке сложных поверхностей выбор варианта обработки определяется видом поверхности, формой режущей части инструмента (табл. 13).

В гибких производственных системах на одном приспособлении могут быть закреплены несколько деталей (комплект деталей), возможно даже разного вида (корпусные детали, плиты и т.д.). Обрабатывают этот комплект как одну сложную деталь. Поэтому кроме

11. Типовые переходы обработки основных отверстий корпусных деталей на станках с ЧПУ

Диаметр отверстия, мм	Квалитет	Допуск расположения, мм	Состояние отверстия заготовки	Переходы обработки отверстий инструментом						комбинированным
				Сверление	Черновое растачивание	Зенкерование	Чистовое растачивание	Развертывание	Обработка фаски	
До 30	7; 8	0,01 – 0,05	Н	1			2	4,5	6	А: 1–6; Б2: 2–2
				1, (2)			3	4,5	6	А: 3–6; (2–3); Б2: 3–3
Св. 30 до 50	7; 8	0,01 – 0,05	Л	1,2			3	4,5	6	А: 2–3–6; 1,2–3–3
				1			2	3,4	5	А: 1–2–5; Б2: 4–4; 2–2
		0,05 – 0,10	Н	1,2			(3)	4,5	6	А: 3–3–6; Б2: 3,3; 3,3
							(3)	4,5	6	А: 2–3–6; Б2: 2,2–3,3
			О	1			(2)	3,4	5	А: 2–5; Б2: 2,2
				1,2			3	4	5	А: 3–5; Б2: 3,3
		0,10 и более	Л, О	(1)		(1)	2	3	4	А: 2–4; Б2: 2,2

Диаметр отверстия, мм	Качество	Допуск расположения, мм	Состояние отверстия заготовки	Переходы обработки отверстий инструментом						комбинированным
				унифицированным						
				Сверление	Черновое растачивание	Зенкерование	Чистовое растачивание	Развертывание	Обработка фаски	
Св. 50 до 120	7	0,03 - 0,10	Л	2,3	4,5	1	4,5	1	А: 4-1; Б2: 4-5	
				1	2,3	4	А: 4-1; 2-4; Б2: 2-3			
				2,3	4,5	1	А: 4-1; 2-1; Б2: 4-5			
Св. 15 до 30	8 - 11	0,10 и более	Л	1	2,3	4	А: 2-4; 1-4; Б2: 2-3			
				2	3	1	А: 3-1; Б2: 2-3; 3,3			
				2	1	2	А: 1-2; Б2: 1-1			

*1 При обработке отверстий типа Б и В канавки растачивают или фрезеруют, как правило, после переходов сверления или чернового растачивания, или первого перехода чистового растачивания.

Пр и м е ч а н и я: 1. В таблице цифрами обозначены номера переходов, в скобках указаны варианты выполнения переходов. Состояние отверстия заготовки обозначено: Н - не подготовлено; Л - отверстие получено в отливке, штампованной заготовке; О - отверстие предварительно обработано.

2. Переходы зенкерования отверстий диаметром более 50 мм могут быть заменены переходами фрезерования по контуру.

3. Данные таблицы - по методическим рекомендациям "Обработка корпусных деталей крупными сериями на многоинструментных станках с ЧПУ с применением комбинированного инструмента". М.: ЭНИМС, 1982, 24 с.

12. Типовые переходы обработки основных отверстий с низкой точностью расположения

Диаметр отверстия, мм	Допуск межцентрового расстояния, мм	Эскиз отверстия	Переходы обработки отверстий инструментом									
			унифицированные									
			Центрование	Сверление	Зенкерование	Цекование	Обработка фаски	Развертывание	Нарезание резьбы	комбинированные		
До 15	Св. 0,1 0,1 - 0,2 Св. 0,2		1	2		3	4				2, 3, 4	
			1	2		3	4			2, 3, 4		
			1	1		2	3			1, 2, 3		
Св. 15 до 30	0,1 - 0,2 0,1 - 0,2 Св. 0,2		1	2			3				-	
			1	2			3			2, 3		
			1	1			2			1, 2		
До 15	Св. 0,1		1	2			3				2, 3	
			1	2			3			2, 3		
			1	1			2			1, 2		
До M16	Св. 0,1 0,1 - 0,2 Св. 0,2		1	2						3	2, 3	
			1	2			3			2, 3		
			1	1			2			1, 2		
До 6	Св. 0,1		1	2					3		-	
			1	2				3, 4		-		
			1	2	3		4, 5			2, 3		
Св. 15 до 30	0,1 - 0,2 Св. 0,2		1	2	3		4	5	6		2, 3, 4	
			1	1	2		3			1, 2, 3		
			1	1	2		3			1, 2, 3		

13. Способы обработки линейчатых поверхностей на станках с ЧПУ

Форма режущей части инструмента	Направление перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности	Возможные виды траекторий обработки ¹		Число координат оборудования с ЧПУ	
		строка (ленточная спираль)	зигзаг		
		+(+)		3	5
			+	3	5
		+		3	5
		+	+	-	5
			+	-	5
		+(+)		3	-
			+	3	-
		+		3	-
		+	+	3	-
		+		3	-
		+	+	3	-

¹ Траектории обработки: – строка; – ленточная спираль; – зигзаг.

разработки последовательности выполнения переходов обработки каждой детали, входящей в комплект, необходимо разработать обобщенную последовательность обработки комплекта с выполнением всех приведенных выше требований по рациональной схеме обработки одной детали.

Инструментальная оснастка станков с ЧПУ

На станках с ЧПУ с автоматической сменой инструментальных блоков, состоящих из

режущего и вспомогательного инструмента, применяют системы инструментальной оснастки, основой которых служит универсальная унифицированная подсистема вспомогательного инструмента (рис. 47), предназначенная для станков различных моделей.

При обработке применяют стандартный и специальный режущий инструмент. К инструменту предъявляют повышенные требования по точности, жесткости, скорости смены и наладки на размер, стойкости, стабильному стружкоотводу, надежности. Включенный в систему инструмент позволяет выполнить все

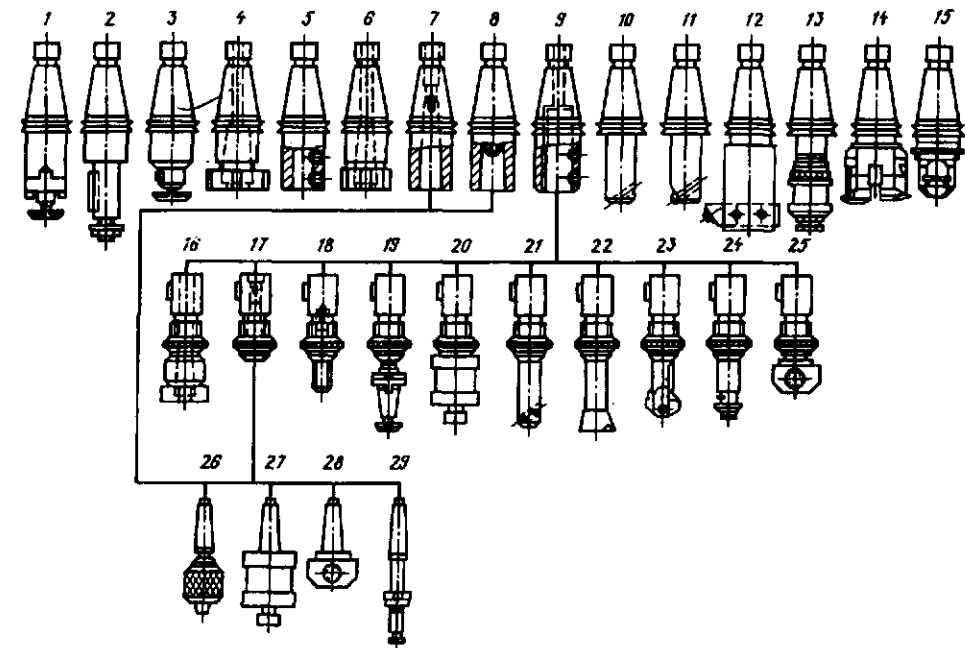


Рис. 47. Подсистемы вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной группы: 1 – оправка с конусом 7 : 24 для насадных фрез с поперечной шпонкой; 2, 3 – оправки для насадных торцовых фрез с продольной шпонкой; 4 – патрон цанговый для закрепления инструмента диаметром 20 – 40 мм; 5 – втулки переходные для концевых фрез; 6 – патроны цанговые для закрепления инструмента с диаметром хвостовика 5 – 20 мм; 7 – втулки переходные для инструмента с конусом Морзе с лапкой; 8 – втулки переходные для инструмента с конусом Морзе с резьбовым отверстием; 9 – державки для регулируемых патронов, втулок и оправок; 10 – 12 – оправки расточные соответственно для получистового, чистового растачивания, для чистового растачивания сборные; 13 – оправки для подрезных пластин; 14 – головки расточные двухзубые; 15 – головки расточные универсальные; 16 – патроны цанговые регулируемые (диапазон зажима 2 – 25 мм); 17 – втулки регулируемые с внутренним конусом Морзе, универсальные; 18 – втулки регулируемые длинные с внутренним конусом Морзе; 19 – оправки регулируемые для насадных зенкеров и разверток; 20 – патроны регулируемые резьбонарезные; 21 – оправки регулируемые для получистового растачивания; 22 – оправки регулируемые расточные двухзубые; 23 – оправки регулируемые для крепления пластин перовых сверл; 24 – оправки регулируемые для дисковых фрез; 25 – патроны регулируемые; 26 – патрон с конусом Морзе сверлильный трехлапчатый без ключа; 27 – патроны с конусом Морзе резьбонарезные; 28 – патроны с конусом Морзе расточные; 29 – оправки с конусом Морзе для насадных зенкеров и разверток

основные виды обработки поверхностей деталей. Стандартный комплект инструментов учитывает возможность обработки на сверлильно-фрезерно-расточном станке базовой детали со следующими параметрами:

Габаритные размеры, мм	760×492×460
Точность:	
диаметра растачиваемых отверстий	H7
межосевых расстояний, мм	0,136
Отклонение, мм:	
от соосности	0,040
от параллельности осей отверстий	0,042
Максимальная длина растачиваемого с одного установка отверстия, мм	326
Диаметр растачиваемых отверстий, мм:	
минимальный	9
средний	85
максимальный	176
Число осей растачиваемых отверстий	6

Отверстия растачивают с использованием однорезцового или многорезцового инструмента. Основные типы расточных оправок показаны на рис. 48. В табл. 14 приведены размеры этих оправок. Расточные резцы-вставки с микрометрическим регулированием размера показаны на рис. 49.

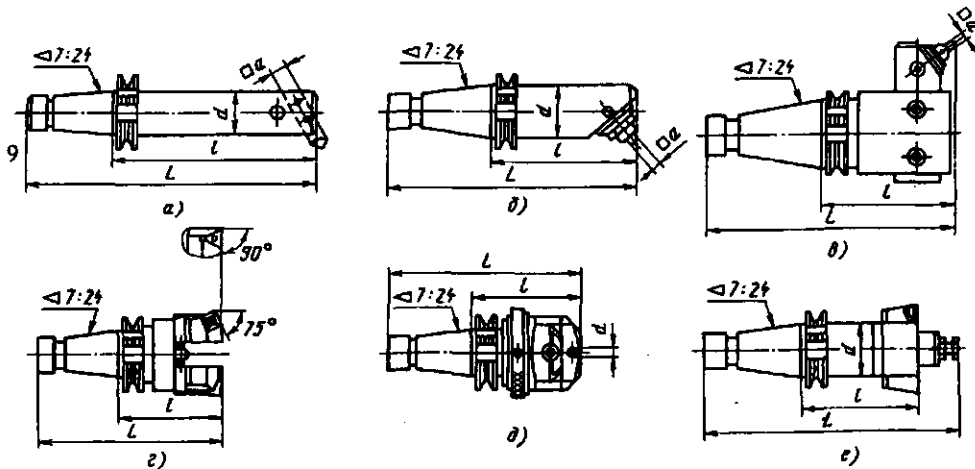


Рис. 48. Основные типы расточных оправок для станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы

На станках с ЧПУ в основном используют сборный вспомогательный инструмент, который обладает меньшей жесткостью по сравнению со сплошным; однако в этом случае существенно уменьшается номенклатура применяемого инструмента. Кроме того, сборный инструмент хорошо гасит возникающие при обработке вибрации. Кроме указанных применяют и другие типы сборного расточного инструмента (рис. 50 и 51).

Ступенчатые соосные отверстия обрабатывают последовательно несколькими или одним комбинированным инструментом (рис. 52). При расположении резцов в диаметрально противоположных сторонах оправки (рис. 53) радиальная сила частично уравновешена, что обеспечивает большую точность.

При обработке точных отверстий применяют оправки с регулированием положения резца (рис. 54). Они позволяют также отвести резец от обрабатываемой поверхности при выводе оправки из отверстия.

Особенно эффективно применять комбинированные (ступенчатые) сверла (рис. 55): для одновременного сверления и снятия фаски в отверстиях под резьбу (рис. 56, а); обработки ступенчатых отверстий с конической зенковкой под винты с потайной и полупотайной головками (рис. 56, б) и с цилиндрической зенковкой под винты с цилиндрической головкой. Выпускают сверла под нарезание резьбы: М6, М8, М10, М12, М14, М16.

14. Расточные оправки для станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы

Оп- равки с кону- сом	Диапазон диаметров растачи- ваемого отверстия, мм	Размеры оправок, мм ¹			
		d	l	L	a × a ³
40	50				

Оправки для полуступового растачивания (рис. 48, а)

+	+	55-70	40	160 250	253 (287) 343 (377)	12×12
+	+	70-90	50	160 315	263 (287) 408 (442)	16×16
+	+	90-110	63	200 400	293 (327) 493 (527)	20×20
+	+	110-140	80	160 360	253 (287) 393 (477)	25×25
+	+	140-180	100	160 220 250	253 (287) 313 (-) -(377)	32×32

Оправки с микрорегулированием положения резца для чистового растачивания (рис. 48, б)

+	+	45-65 ²	40	160 250	253 (286) 323 (377)	10×10
+	+	60-80	50	160 300	253 (286) 393 (427)	12×12
+	+	75-95	63	160 350	253 (286) 443 (477)	12×12
+	+	90-125	80	160 350	253 (286) 443 (477)	16×16
-	+	120-150	100	160	-(286)	20×20
+	+			250	343 (377)	
-	+	150-180	125	200	-(329)	25×25

Оправки для чистового растачивания (рис. 48, в)

+	-	150-250		160	253 (-)	20×20
-	+	180-270 270-350		160	-(287)	20×20

Цена деления лимба - 0,01 мм на радиус

Продолжение табл. 14

Оп- равки с кону- сом	Диапазон диаметров растачи- ваемого отверстия, мм	Размеры оправок, мм ¹			
		d	l	L	a × a ³
40	50				

Головки расточные с двумя зубьями (рис. 48, з) (ОСТ 423-1-76, исполнение 3)

+	+	80-120		160 250	253 (287) 343 (377)	16, 18
-	+	120-180		160 250	-(287) -(377)	
-	+	180-250		125 200	-(252) -(327)	
-	+	250-350		125	-(252)	

Погрешность регулирования 0,1 мм;
φ = 75°, 90°

Головки расточные универсальные (рис. 48, д)

+	+	160 250			225 (265) 245 (285)	
-	-	400		173	300	

Для головок указан наибольший диаметр обработки

Оправки для подрезных работ (рис. 48, е)

+	+	45-60 50-72	40	100	238 (271) 240 (273)	8×20 10×25
+	+	65-100	50	120	260 (239)	12×35
+	+	100-140	63	120	280 (313)	16×45
-	+	135-170	80	140	-(335)	22×60
-	+	160-200	100	140	-(335)	22×60

¹ В таблице указаны соответственно размеры оправок с конусом 40 (50).

² Диапазон микрометрического регулирования: 3 - 15 мм (определяется размером растачиваемого отверстия).

³ a × a - размеры резца.

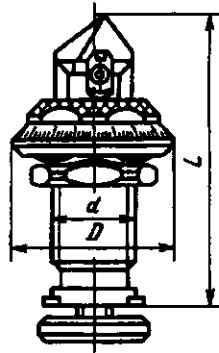


Рис. 49. Расточные резцы-вставки с микрометрическим регулированием и с механическим креплением сменных трехгранных режущих пластин. Минимальный диаметр растачиваемого отверстия 55 мм. $d = M18 \times 1$ и $M24 \times 1$; $D = 35$ и 48 мм; $L = 54$; 58; 67; 73; 85 и 95 мм

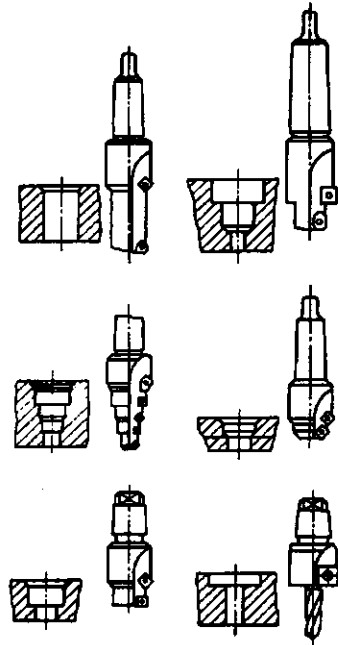


Рис. 52. Примеры обработки отверстий комбинированным инструментом

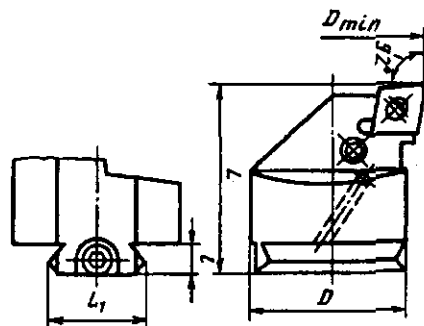


Рис. 50. Расточные державочные головки с механическим креплением ромбических твердых пластин (левые): $D = 45$ мм; $L = 50$ мм; $L_1 = 24,5$ мм; $l = 8$ мм. Минимальный диаметр растачиваемого отверстия 50 мм

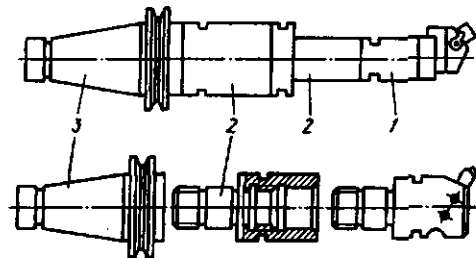


Рис. 51. Подсистема сборного расточного инструмента: 1 – головка; 2 – удлиненный элемент; 3 – хвостовик. Диаметры растачиваемых отверстий, мм: 38 – 50; 48 – 63; 60 – 80; 76 – 103; 125 – 160

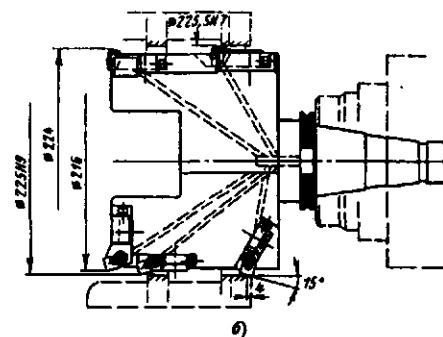


Рис. 53. Обработка ступенчатого отверстия оправкой с частично уравновешенной радиальной силой: а – с двумя резцами; б – с пятью резцами

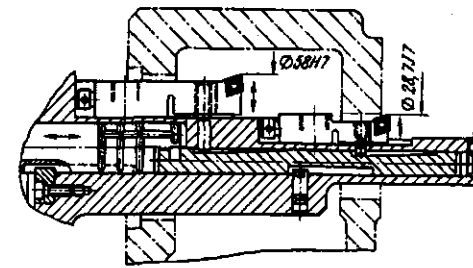


Рис. 54. Двухрезцовая оправка с регулированием размера вследствие деформации резцовых вставок

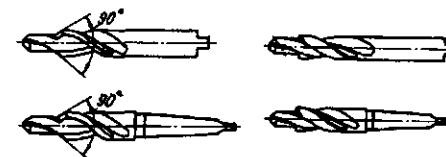


Рис. 55. Ступенчатые сверла

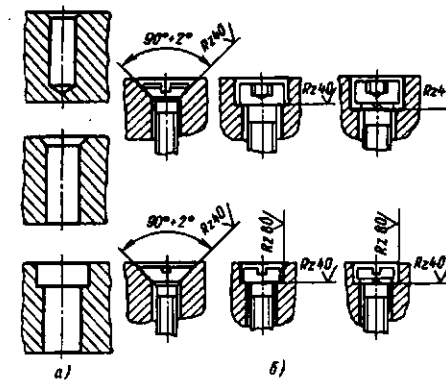


Рис. 56. Отверстия под нарезание резьбы и головки винтов, обрабатываемые ступенчатыми сверлами

Сверла выпускают для станков с ЧПУ двух классов точности: А (повышенной) и В (нормальной). Обработка указанных отверстий обеспечивает позиционное отклонение не более $\pm (0,1 - 0,2)$ мм.

При обработке деталей из чугуна и конструкционных сталей средней прочности увеличение диаметра отверстия при сверлении сверлами с меньшим диаметром ступени составляет $0,1 - 0,15$ мм, а при сверлении сверлами с большим диаметром ступени – $0,04 - 0,1$ мм. Точность обрабатываемого отверстия соответствует 10 – 12-му качеству. Параметр шероховатости поверхности $Ra \approx 1,25$ мкм.

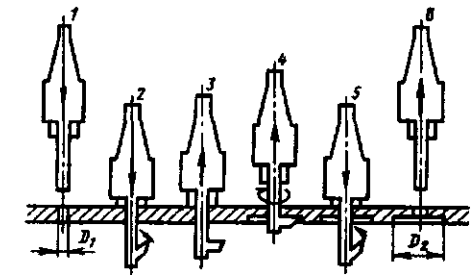


Рис. 57. Цикл работы специальной головки для подрезания торца

Стойкость сверл без покрытия 20 – 40 мин при диаметре меньшей ступени 5 – 18 мм (работа по стали) и 50 – 70 мин (по чугуну). Стойкость сверл с покрытием выше при работе по стали в 2 раза, по чугуну – в 1,5 – 2 раза.

Широкое применение на станках типа ОЦ начинают находить различные головки для обработки группы отверстий, плоских поверхностей, расположенных под углом, и т.д. На рис. 57 показан цикл работы специальной головки для подрезания торца с обратной стороны отверстия.

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ И В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Основные положения

Общая методика анализа точности обработки детали приведена в т. 1, гл. 1 справочника. В отличие от обработки на универсальных станках с ручным управлением при обработке на станках с ЧПУ и в ГПС процессы обработки происходят в более сложной технологической системе. ГПС механической обработки включает взаимосвязанные и функционирующие как единое целое оборудование, технологическую оснастку (режущий инструмент, приспособления, контрольно-измерительные приборы, диагностическое оборудование), заготовку и процесс резания.

По сложности даже ГПС в несколько раз превышает обычное оборудование. Точность и надежность функционирования каждого элемента ГПС должны быть повышенными. Поэтому задача обеспечения заданной точности обрабатываемых деталей в этом случае решается как обычными методами, так и с помощью специальных контрольных и диагностических

систем. На сверлильно-фрезерно-расточных, токарно-фрезерных станках и других станках с ЧПУ концентрация переходов обработки и режимы обработки существенно выше. В этих условиях на результаты обработки влияют не только финишные, но и все предшествующие переходы изготовления заготовки и детали.

Точность обработки в ГПС зависит от большого числа факторов, степень воздействия которых на выходные параметры качества неодинакова. При анализе конкретного процесса действием ряда факторов и некоторыми связями можно пренебречь без существенного изменения физической модели процесса.

Элементарные погрешности обработки деталей

На станках с ЧПУ и в ГПС обрабатывают сложные детали с достаточно большим числом контролируемых параметров. При независимости погрешностей обработки на последовательно выполняемых переходах показатели выполнения задания по k -му параметру качества изготавливаемой продукции определяют по формуле

$$P_k(t) = \prod_{i=1}^n P_k^i(t),$$

где P_k^i – соответствующий показатель (вероятность получения годной продукции) выполнения задания по k -му параметру качества продукции для i -го технологического перехода (операции); n – число переходов (операций), выполняемых по данному технологическому процессу.

Таким образом, если $P_k^i = 0,9 = \text{const}$, то, например, при $n = 4$ имеем $P_k(t) = 0,66$, что означает низкий показатель выполнения задания по данному параметру качества продукции, указывает путь повышения надежности изготовления годной продукции, заключающийся в необходимости повышения вероятности получения годной продукции, в том числе повышением точности обработки. Более подробно методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции приведены в ГОСТ 27.202–83.

В некоторых случаях целесообразно ужесточить нормы точности продукции, изготавливаемой в ГПС. Так, в станкостроении жесточе-

ние норм точности при изготовлении станков (внутризаводские приемо-сдаточные нормы точности ужесточают на 40 %) проводят с целью обеспечения установленных стандартами норм точности в течение определенного срока эксплуатации станка. Этот принцип целесообразно распространить на все изделия, получаемые в ГПС.

Основной целью анализа точности обработки деталей на станках с ЧПУ и в ГПС является установление доли элементарных погрешностей и разработка мероприятий, позволяющих уменьшить влияние доминирующих погрешностей на точность обработки.

При установлении уровня, до которого рационально уменьшать доминирующие погрешности, следует учитывать закон суммирования отклонений размера, формы и расположения поверхностей обрабатываемой детали и критерий ничтожности факторов.

Элементарные погрешности, возникающие при обработке, рассмотрены в т. 1, гл. 1 справочника; методика анализа погрешностей многоинструментной обработки рассмотрена в т. 1, гл. 7.

Погрешности воспроизведения на детали контура, заданного программой управления, складываются из многих факторов, как конструктивных, определяемых принципом действия устройства ЧПУ, приводов, конструкций элементов станка, так и технологических, обусловленных режущим инструментом, приспособлением, режимом обработки, материалом детали и т.д.

К типовым конструктивным погрешностям обработки¹, свойственным станкам с ЧПУ, относят:

- 1) скоростную погрешность следящего привода;
- 2) погрешность, возникающую в связи с неравенством и непостоянством коэффициентов усиления приводов подач по разным координатам перемещения рабочих органов станка, а также изменением их при изменении подачи; такие явления имеют место, например, при нелинейности (несимметричности, синусоидальности) статической характеристики фазового дискриминатора в рабочей зоне;
- 3) погрешность вследствие зазоров в кинематических цепях станка, не охваченных обратной связью;

В крайних точках учитывают только одну соседнюю точку, например,

¹ Станки с числовым программным управлением (специализированные) / Под ред. В. А. Лещенко. М.: Машиностроение, 1979. 592 с.

4) погрешность в результате колебательности приводов, которая приводит к ухудшению качества обработки в основном из-за появления неравномерной волны на обрабатываемой поверхности, шаг которой зависит от скорости подачи, так как частота колебаний привода сохраняется примерно постоянной;

5) погрешность вследствие периодической внутришаговой погрешности датчиков обратной связи, главным образом фазовых; эта погрешность сказывается в появлении волны на обрабатываемой поверхности, шаг которой зависит от цены оборота фазы приводов и от угла наклона обрабатываемого контура детали к направлениям перемещений рабочих органов по координатам станка.

Погрешность линейного позиционирования станков с ЧПУ

Под погрешностью позиционирования $\Delta x_{\text{поз}}$ понимается отклонение действительного положения (например, x_j) рабочего органа станка от заданного x : $\Delta x_{\text{поз}} = x_j - x$. Принята следующая методика определения погрешности позиционирования. По каждой из осей, по которым проверяют $\Delta_{\text{поз}}$, измерения проводят в j точках, расположенных произвольно примерно с интервалами $l_j \approx 0,08l$, где l – длина измеряемого перемещения. В каждом направлении перемещения по оси отдельно осуществляют не менее пяти измерений ($i = 1, 2, 3, 4, 5$). Среднее отклонение от заданного положения рабочего органа в каждой точке j

$$\Delta \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_{ji};$$

размах отклонений

$$R_j = \max \Delta x_{ji} - \min \Delta x_{ji}.$$

Средний размах определяют как среднее арифметическое значений в данной и соседней точках:

$$\bar{R}_j = \frac{1}{3} (R_{j-1} + R_j + R_{j+1}).$$

В крайних точках учитывают только одну соседнюю точку, например,

$$\bar{R}_1 = \frac{1}{2} (R_1 + R_2).$$

Затем вычисляют оценку среднего квадратического отклонения

$$S_j = \frac{\bar{R}_j}{d_n},$$

где d_n – коэффициент, определяемый в зависимости от числа повторных подходов в заданное положение; при $n = 5$ имеем $1/d_n = 0,4299$; при $n = 10$ $1/d_n = 0,3249$.

Распределение принимают нормальным; тогда ширину поля рассеяния отклонений от заданного положения при повторном позиционировании в одном направлении с вероятностью 99,73 % определяют как $\omega = 6S_j$.

Точность одностороннего повторного позиционирования $R_{\text{max}} = \max(6S_j)$. Точность одностороннего позиционирования $M = \max(\Delta \bar{x}_j + 3S_j) - \min(\Delta \bar{x}_j - 3S_j)$. Точность двустороннего позиционирования $M_{\text{ar}} = \max(\Delta \bar{x}_{ja} + 3S_{ja}) - \min(\Delta \bar{x}_{jr} - 3S_{jr})$, где a, r – индексы направления позиционирования.

Значения M и M_{ar} определяют для тех случаев, когда выражения $(\Delta \bar{x}_j + 3S_j)$; $(\Delta \bar{x}_{ja} + 3S_{ja})$ и $(\Delta \bar{x}_{jr} - 3S_{jr})$ соответственно принимают наибольшие и наименьшие значения (с учетом знака указанных величин); значения j при этом, как правило, не совпадают. Пример графика для определения этих величин дан на рис. 58. Допуски позиционирования приведены в табл. 15 и 16.

Величина $\Delta_{\text{поз}}$ зависит от погрешностей устройства ЧПУ, привода подач, измерительных преобразователей, геометрических погрешностей станка и т.п. Погрешность позиционирования обусловлена действием как систематических, так и случайных отклонений.

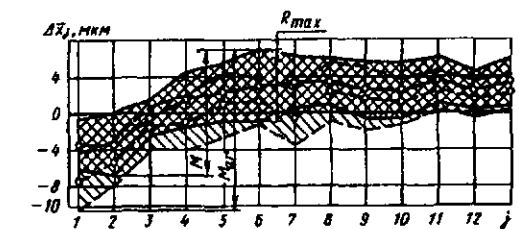


Рис. 58. График отклонений от заданного положения рабочего органа при определении точности линейного позиционирования

15. Допуски линейного позиционирования вертикально-сверлильных станков с ЧПУ

Наибольшее перемещение, мм	Допуски позиционирования, мкм		
	M	R_{\max}	M_{ar}
До 400	25/16	12/8	30/20
Св. 400 до 630	30/20	16/10	40/25
» 630 » 1000	40/25	20/12	50/30

Примечания: 1. В числителе приведены допуски для станков класса точности Н, в знаменателе – класса точности П.

2. Допуски: M – одностороннего позиционирования; R_{\max} – одностороннего повторного позиционирования; M_{ar} – двустороннего позиционирования.

3. Для станков с отношением продольного и поперечного перемещению не более 1,6 допуски позиционирования устанавливаются по наибольшему из указанных перемещений. Допуски по оси шпинделя увеличивают в 2,5 раза по сравнению с указанными в таблице.

4. Допуски установлены при условии применения в станках классов точности Н и П измерительных преобразователей линейных перемещений соответственно классов точности 5 и 4.

5. Допуски позиционирования для станков классов точности Н и П, оснащенных измерительными системами косвенного измерения положения рабочих органов, увеличивают по сравнению с указанными в таблице в 2,5 раза.

6. Для станков с цикловым управлением допуски увеличивают в 3 раза по сравнению с указанными в таблице.

В приводах подач токарных и фрезерных станков с ЧПУ с ходовым винтом и круговым датчиком обратной связи систематические отклонения обусловлены накопленной погрешностью винта, непараллельностью направляющих (систематические отклонения первого рода), внутришаговой погрешностью винта, погрешностью датчика обратной связи (систематические отклонения второго рода, повторяющиеся за каждый оборот винта). Для указанного привода систематические погрешности являются доминирующими (в 3 – 10 раз больше случайных).

Методы наладки станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы

Достижение заданной точности расположения обработанных на станке с ЧПУ поверхностей относительно баз заготовки, даже с допуски-

16. Допуски линейного позиционирования радиально-сверлильных станков с ЧПУ (ГОСТ 98-83)

Наибольшее перемещение, мм	Допуски позиционирования, мкм		
	M	R_{\max}	M_{ar}
До 1000	40/25	20/12	50/30
Св. 1000 до 1600	50/30	25/16	60/40
» 1600 » 2500	60/40	30/20	80/50
» 2500 » 4000	80/50	40/25	100/60

Примечания: 1. В числителе приведены допуски для станков класса точности Н, в знаменателе – класса точности П.

2. Допуски: M – одностороннего позиционирования; R_{\max} – стабильности одностороннего позиционирования; M_{ar} – двустороннего позиционирования.

3. Допуски по оси шпинделя (Z) в технически обоснованных случаях могут быть увеличены для станков с измерительной системой: прямого измерения положения рабочих органов в 2,5 раза; косвенного измерения положения рабочих органов – в 4 раза по сравнению с указанными в таблице.

4. Допуски установлены при условии применения в станках классов точности Н и П измерительных преобразователей линейных перемещений соответственно классов точности 5 и 4.

5. Допуски позиционирования для станков классов точности Н и П, оснащенных измерительными системами косвенного измерения положения рабочих органов, увеличивают в 2,5 раза по сравнению с указанными в таблице.

мым отклонением $\pm 0,05$ мм, связано с необходимостью точной выверки положения системы координат детали (СКД) (т.е. положения установочных элементов приспособления или баз заготовки) относительно системы координат станка (СКС). Осуществляют наладку нулевого положения. Комплекс приемов наладки учитывает способ установки заготовки для обработки, вид применяемого при наладке инструмента, конструктивные особенности станка, устройства ЧПУ (УЧПУ) и условия использования станка. Ориентацию заготовки на столе станка или в приспособлении проводят по трем плоскостям; по плоскости и двум установочным пальцам (один из которых срезанный); по цилиндрической поверхности и угловому упору.

Заготовка для обработки может непосредственно устанавливаться на стол станка (рис. 59, а), причем положение ее определяется

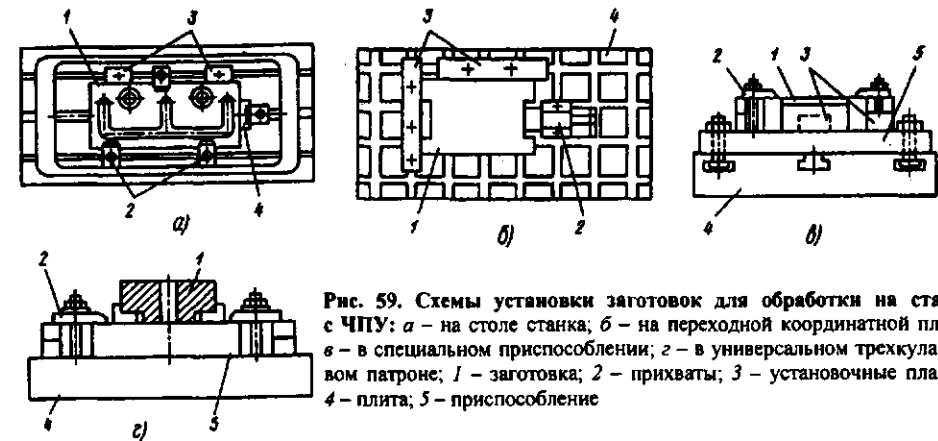


Рис. 59. Схемы установки заготовок для обработки на станке с ЧПУ: а – на столе станка; б – на переходной координатной плите; в – в специальном приспособлении; 2 – в универсальном трехкулачковом патроне; 1 – заготовка; 2 – прихваты; 3 – установочные планки; 4 – плита; 5 – приспособление

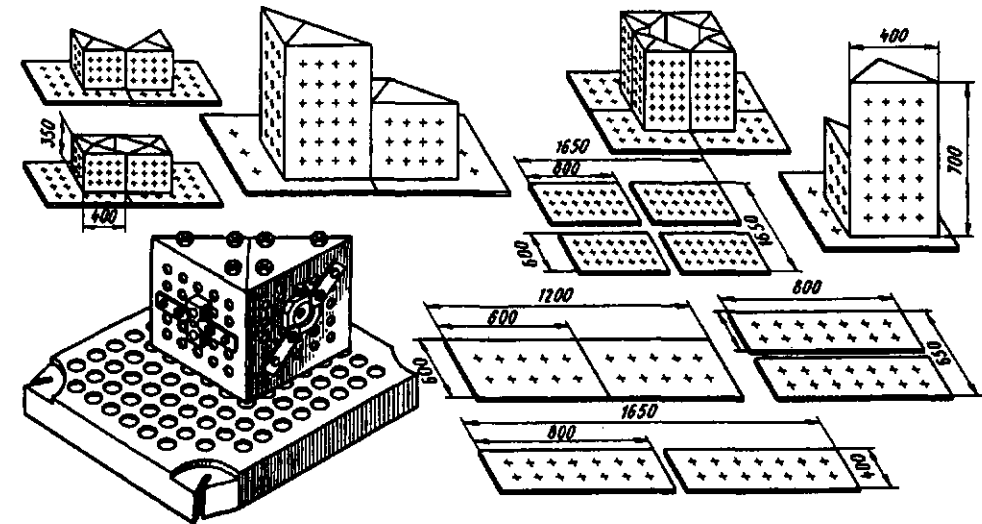


Рис. 60. Унифицированные плиты и призмы, закрепляемые на палете станка с ЧПУ

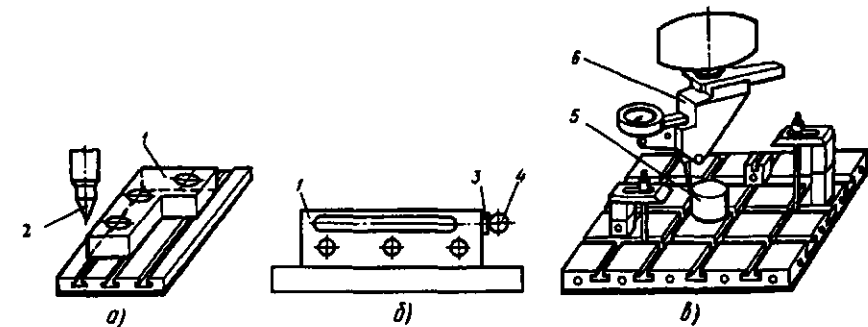


Рис. 61. Способы наладки нулевого положения: а – по боковой поверхности с помощью центра; б – по боковой поверхности с помощью контрольной оправки; в – по пальцу с помощью центроискателя; 1 – заготовка; 2 – центр; 3 – мерная плитка; 4 – контрольная оправка; 5 – установочный палец; 6 – центроискатель

направляющими и упорными планками. При использовании точных станков на стол станка устанавливают координатную плиту (рис. 59, б) или специальные призмы (рис. 60) с точными Т-образными пазами или отверстиями. Положение заготовки на плите (см. рис. 59, б) или в призме (рис. 60) определяется упорами или планками.

Применение унифицированных элементов позволяет установить для обработки одновременно несколько заготовок. Кроме унифицированных элементов используют специальные (см. рис. 59, в) и универсальные приспособления (например, трехкулачковый патрон, рис. 59, з).

Наладку нулевого положения осуществляют по цилиндрической поверхности (пальцу или отверстию в плите, пальце) и по боковым поверхностям. При этом в зависимости от требуемой точности используют центр (рис. 61, а), оптическое устройство для установки по боковой поверхности (рис. 62, а), контрольную оправку, центроискатель.

В комплекс приемов по наладке нулевого положения по боковым поверхностям входит: установка органов управления станком и УЧПУ в положение для осуществления наладки; установка центроискателя или контрольной оправки, оптического устройства в шпиндель станка; совмещение оси шпинделя с базой заготовки или приспособления или определение расстояния между боковой поверхностью и шпинделем или контрольной оправкой с помощью мерных плиток; набор с помощью переключателей установки нуля фактического положения исполнительных органов станка; снятие контрольных приспособлений. Наладку нулевого положения по отверстию осуществляют в такой же последовательности, только в этом случае с необходимой точностью ось шпинделя совмещают с осью отверстия.

Затраты времени на наладку нулевого положения учитывают в $T_{п-3}$.

В качестве примера рассмотрим методику наладки пятикоординатного станка с ЧПУ с горизонтально расположенным шпинделем, оснащенного двумя поворотными столами. Проанализируем случай, когда база детали перпендикулярна установочной плоской поверхности вертикального поворотного стола (рис. 63). Заготовка установлена в приспособлении по двум пальцам и плоской поверхности. Все остальные случаи могут быть сведены к указанному с соответствующим исключением

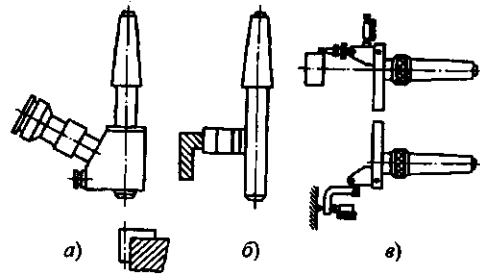


Рис. 62. Устройства, используемые при наладке нулевого положения: а – оптическое устройство; б – контрольная оправка; в – центроискатель

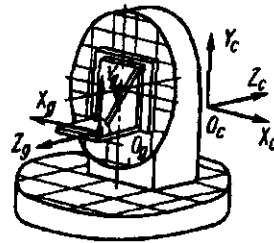


Рис. 63. Схема расположения систем координат станка (СКС) и детали (СКД) на пятикоординатном станке с ЧПУ

отдельных этапов наладки. Первоначально осуществляется угловая ориентация горизонтального поворотного стола (координата B), которую удобно проводить по одной из плоскостей приспособления (рис. 64, а). Поворотный стол устанавливают в такое положение, чтобы плоская поверхность приспособления была параллельна направлению перемещения рабочего органа вдоль оси X . Угловая ориентация вертикального поворотного стола (координата A) проводится по базе приспособления. Вертикальный поворотный стол устанавливают в такое положение, чтобы база приспособления была параллельна направлению перемещения рабочего органа вдоль оси X (рис. 64, б). Необходимо совместить теоретическую (принятую при программировании) ось вращения приспособления и ось вращения вертикального поворотного стола. Для проверки смещения осей вращения по координате X необходимо коснуться щупом индикаторного устройства цилиндрического установочного элемента приспособления, после чего повернуть вертикальный поворотный стол на 180° и переместить рабочий орган вдоль оси X (рис. 65) на расстояние, равное удвоенному запрограммированному

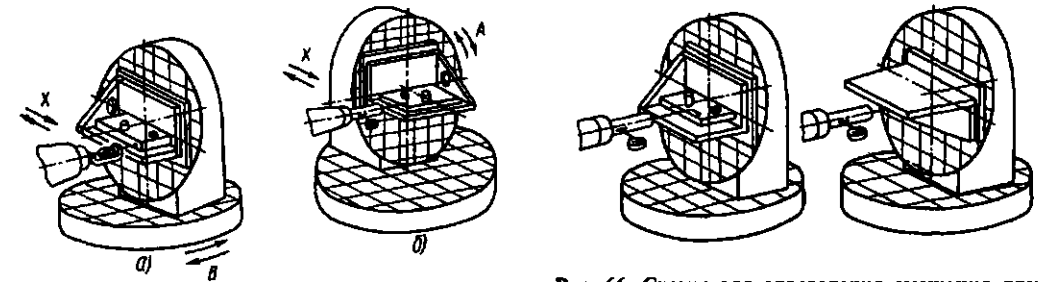


Рис. 64. Схемы установки поворотных столов в исходное положение: а – горизонтального стола; б – вертикального стола

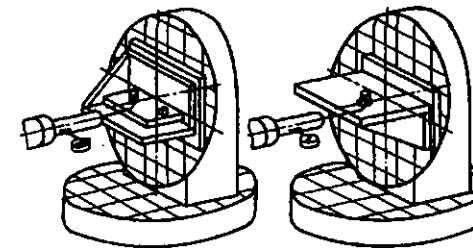


Рис. 65. Схемы для определения смещения приспособления относительно оси вращения вертикального стола в направлении оси X

расстоянию от теоретической оси вращения приспособления до оси установочного элемента приспособления. Коснувшись щупом индикатора этого элемента (для чего его изготавливают сквозным), определяют смещение оси вращения приспособления относительно оси вращения вертикального поворотного стола по координате X . Для проверки смещения осей вращения по координате Y необходимо коснуться щупом индикаторного устройства базы приспособления (рис. 66), повернуть вертикальный поворотный стол на 180° и переместить рабочий орган станка вдоль оси Y на расстояние, равное удвоенному запрограммированному расстоянию от оси вращения приспособления до его базы. Коснувшись щупом индикатора базы, определяют смещение оси вращения приспособления относительно оси вращения вертикального поворотного стола по координате Y . При наличии смещения регулируют положение приспособления на столе.

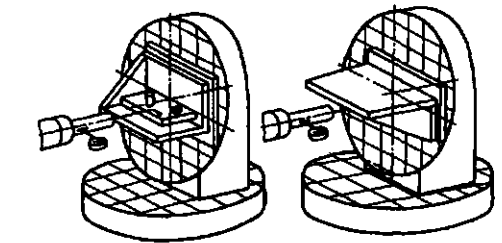


Рис. 66. Схемы для определения смещения приспособления относительно оси вращения вертикального поворотного стола в направлении оси Y

После этого необходимо проверить размер, характеризующий положение оси эталонного элемента относительно оси вращения горизонтального поворотного стола. Для этой цели необходимо повернуть горизонтальный и вертикальный поворотные столы на 90° и совместить оси шпинделя и эталонного элемента с помощью индикаторного устройства. По показаниям отсчетной системы надо определить необходимый размер, а в случае необходимости отрегулировать положение приспособления.

Линейная ориентация приспособления по осям X, Y, Z проводится от эталонного элемента. Для определения исходного положения СКД относительно СКС по координате X с помощью индикаторного устройства определяют положение оси эталонного элемента и перемещают рабочий орган по оси X на расстояние, равное запрограммированному размеру X_0 от СКД до СКС; при этом фиксируют показания отсчетной системы.

Для определения исходного положения СКД относительно СКС по координате Y используют специальный шаблон 1 (рис. 67), который устанавливают на базу приспособления 2. На шаблоне выгравирован фактический размер от его установочной плоскости до оси паза. При наладке с помощью индикаторного устройства 3 необходимо определить положение оси паза по координате Y и затем переместить рабочий орган станка по оси Y на расстояние, равное $(y_0 - I_\phi)$ мм, что соответствует расстоянию между СКД и СКС по координате Y . При этом необходимо зафиксировать показания отсчетной системы.

Для определения исходного положения СКД относительно СКС по координате Z используют специальную индикаторную оправку

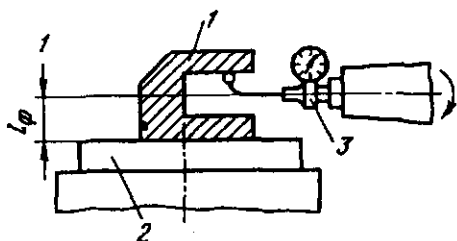


Рис. 67. Схема для определения исходного положения СКД по координате Y

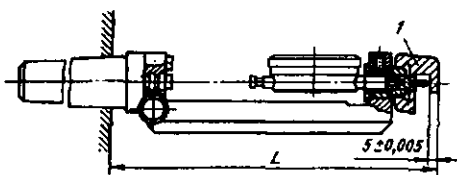


Рис. 68. Оправка для определения исходного положения СКД по координате Z

(рис. 68). На оправку накрут съемный колпачок 1, который внутренним торцом нажимает на шуп индикатора с небольшим натягом. Перед установкой оправки в шпиндель станка на приборе для наладки инструмента измеряют его фактическую длину L , после чего колпачок свертывают с оправки. Для наладки исходного положения необходимо переместить рабочий орган станка по координате Z до соприкосновения шупа индикаторной оправки с эталонным элементом с заданным натягом. Рабочий орган станка перемещают по оси Z на расстояние $(Z_0 - L + 5)$ мм, и фиксируют показание отсчетной системы. Таким образом, как линейная, так и угловая ориентация СКД завершена.

В процессе наладки при регулировании положения приспособления необходимо возвращаться к уже выполненным проверкам, так как при регулировании одного параметра может измениться другой. Например, после совмещения осей вращения приспособления и столов необходимо проверить угловую ориентацию приспособления и т.д. Это определяет высокую трудоемкость процесса наладки. Например, трудоемкость наладки для пятикоординатного станка составляет 3 – 5 ч в зависимости от способа установки детали и требований, предъявляемых к точности наладки.

Для ГПС с несколькими палетами в памяти УЧПУ необходимо зафиксировать погреш-

ности наладки нулевого положения всех применяемых палет.

Кроме рассмотренных методов наладки на станках с ЧПУ используют метод наладки для координатно-измерительных машин. В этом случае в шпиндель станка устанавливают специальный измерительный шуп. По программе с помощью шупа определяют положение фиксированных точек на заготовке или приспособлении. ЭВМ системы ЧПУ вычисляет фактическое положение заготовки или приспособления и вносит соответствующие коррективы в управляющую программу. Этот метод перспективен, так как позволяет автоматизировать процесс наладки. Кроме того, он менее трудоемок. Более подробно этот метод рассмотрен ниже.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ И В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Основные требования к точности станков, применяемых в гибких производственных системах. В ГПС механической обработки деталей входят станки с ЧПУ токарной, сверлильной, расточной, фрезерной групп и станки сверлильно-фрезерно-расточные и токарно-сверлильно-фрезерно-расточные. Все элементы технологической системы, входящие в ГПС или ГАЗ, должны обеспечить высокое качество выпускаемых изделий при работе в автоматическом режиме с ограниченным участием обслуживающего персонала в течение 18 – 24 ч. В связи с этим к станкам, входящим в ГПС, предъявляют повышенные требования по точности. При этом необходимо учитывать возможность использования этих станков в ГПС более высокого уровня для обработки деталей с точностью выше планируемой на данном этапе.

Станки должны обеспечивать требуемую траекторию взаимного перемещения обрабатываемой заготовки и инструмента. Однако вследствие элементарных погрешностей реальная траектория отличается от требуемой. В некоторых случаях (при рассмотрении отклонений формы, расположения поверхностей детали) погрешности станка являются доминирующими. Необходимо уменьшить погрешности станка до величин, в 3 – 5 раз меньше по сравнению с наименьшими допустимыми по-

грешностями деталей, обрабатываемых на этом станке.

В общем случае при создании ГПС стремятся полностью обрабатывать детали на одном станке (в результате чего исключаются точные станки для окончательной обработки); иметь в составе ГПС однотипное оборудование, желательно с малым разнообразием систем управления.

Необходимая точность станков обусловлена совершенством их конструкции, погрешностями, возникающими при изготовлении деталей и сборке станка, и погрешностями, допустимыми при наладке и регулировании технологической системы. В наибольшей степени на точность обработки влияют погрешности станка (включая кинематическую точность механизмов, погрешность позиционирования рабочих органов станка и т.п.). Кроме этого, важным является уменьшение чувствительности станка к внешним и внутренним воздействиям (силовым, тепловым и т.п.). По мере изнашивания начальная точность станка меняется. Поэтому следует осуществлять контроль, осмотры, проверку точности и периодическое регулирование узлов станка, обеспечивающие длительное сохранение требуемой точности.

Кинематическая точность механизмов приводов подач имеет особое значение при применении разомкнутой схемы управления приводом подач, в качестве которого применяется шаговый электродвигатель (рис. 69, а). Меньшее значение кинематическая точность имеет в приводах подач с замкнутой схемой

управления (рис. 69, б и в) особенно при применении линейных измерительных преобразователей (ИП) (рис. 69, з). В этом случае большое влияние имеет погрешность позиционирования рабочих органов станка. При применении схемы с круговыми ИП погрешности передачи винт – гайка различно влияют на точность обработки.

Точность позиционирования рабочих органов определяется не только точностью самого станка, но и зависит от типа системы ЧПУ (конструкции, места установки ИП, точностных параметров ИП и т.д.). Так, при применении шагового привода погрешность перемещения рабочих органов станка 1 (рис. 69, а) определяется погрешностью отработки шаговым двигателем командных импульсов, погрешностями гидроусилителя, зубчатой передачи 2 и передачи винт – гайка 3, а также погрешностями рабочего органа станка.

При применении следящего привода подачи с замкнутой схемой управления наблюдается два вида погрешностей, снижающих точность перемещений рабочих органов: 1) погрешности элементов привода подачи и рабочего органа, не охватываемые системой обратной связи; 2) погрешности результатов измерения перемещения или угла поворота рабочего органа станка измерительным преобразователем. Первая группа погрешностей появляется в основном при применении систем обратной связи с круговым ИП. Преобразователи устанавливают на ходовом винте (рис. 69, б) или измеряют перемещение рабочего органа через реечную передачу (рис. 69, в).

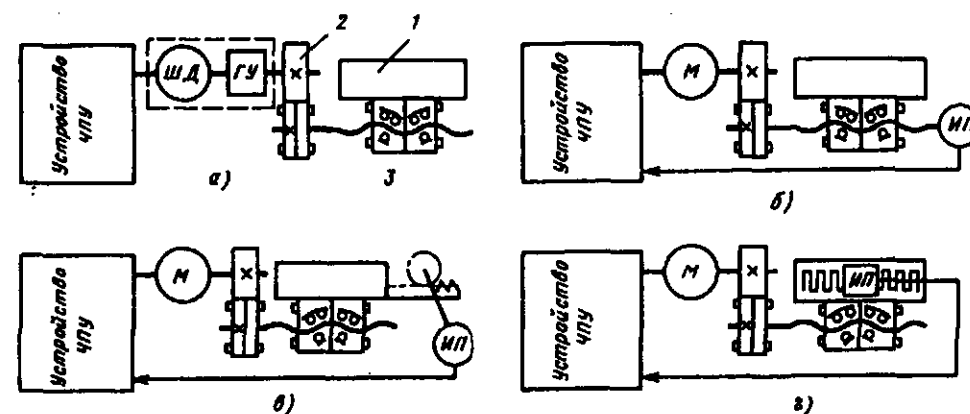


Рис. 69. Схемы управления приводами подач станков с ЧПУ: а – разомкнутого типа; б – замкнутого типа с круговыми ИП на ходовом винте; в – с круговым ИП с реечной передачей; з – с линейным ИП

В первом случае система обратной связи не учитывает погрешности передачи винт – гайка (накопленную погрешность по шагу ходового винта; зазоры в соединении винт – гайка и в опорах винта; упругие деформации ходового винта, его опор и соединения винт – гайка; тепловые деформации ходового винта и др.), а также погрешности рабочего органа (отклонения от прямолинейности и параллельности перемещений; зазоры в направляющих; упругие деформации рабочего органа и др.). Во втором случае на точность измерений влияют погрешности реечной передачи (накопленная погрешность по шагу рейки, ее тепловые деформации, зазоры в зацеплении и др.).

Погрешность результатов измерения угла поворота или перемещения рабочего органа станка обуславливается погрешностью ИП, вызванной погрешностями его изготовления и установки на станке, погрешностями, которые появляются в процессе эксплуатации ИП и ставка. Так, при эксплуатации линейных ИП (рис. 69, з) может изменяться зазор между его подвижными и неподвижными элементами.

В общем балансе погрешностей обработки на станках с ЧПУ значительную долю занимают погрешности, обусловленные тепловыми деформациями механизмов станка, приводящими к изменению относительного положения инструмента и заготовки в направлениях осей координат X , Y , Z и угловых поворотов вокруг этих осей. Их значение и направление действия в значительной степени определяется компоновкой и конструкцией базовых деталей и механизмов станка и размещением тепловыделяющих элементов относительно базовых деталей и механизмов станка, а также зависят от качества изготовления и сборки станка и условий его эксплуатации.

Точность станков с ЧПУ повышается путем рациональной компоновки и конструирования основных базовых деталей и механизмов, применения в приводах подач высокомоментных электродвигателей постоянного тока, беззорных механизмов и механизмов, имеющих высокий КПД, направляющих с малыми потерями на трение, стабилизации или компенсации отдельных погрешностей станка предскажемением программы управления, введением корректирующей программы в память системы ЧПУ при применении дополнительных обратных связей. На рис. 70 приведен пример повышения точности при использовании более рациональной компоновки станка.

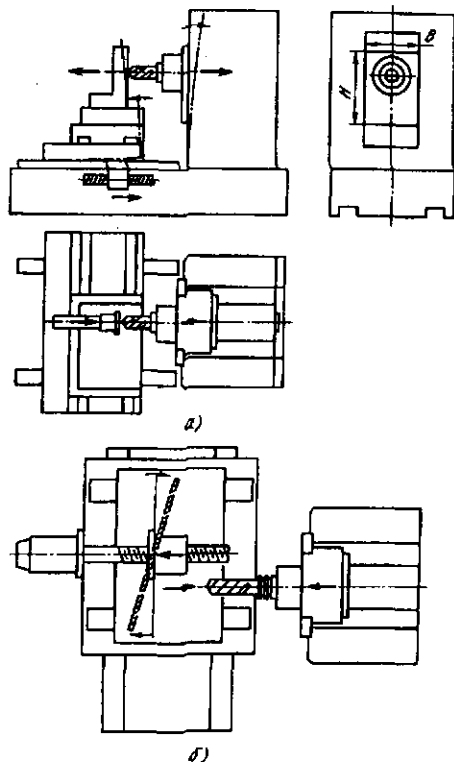


Рис. 70. Компоновка станка с ЧПУ с арочной конструкцией колонны с центральным (а) и смещенным (б) расположением ходового винта привода поперечной подачи стола

Применение в приводах подач новых высокомоментных малоинерционных электродвигателей постоянного тока, устанавливаемых непосредственно на ходовом винте, позволяет значительно упростить и сократить длину кинематической цепи привода подачи, увеличить ее крутильную жесткость и уменьшить число зазоров, влияющих на точность передачи движения.

Большое внимание уделяется повышению осевой жесткости передачи винт – гайка и опор ходового винта. В качестве опор ходового винта применяют роликовые упорные и комбинированные подшипники вместо ранее применяемых шариковых упорных подшипников, что позволяет значительно увеличить их осевую жесткость.

Для повышения жесткости рабочих органов станка с ЧПУ в рабочем состоянии их зажимают после позиционирования в заданную позицию.

В шариковых винтовых парах (ШВП) (рис. 71) в отличие от обычных винтовых пар с трением скольжения коэффициент трения почти не зависит от скорости перемещения. Поэтому их применение обеспечивает снижение пускового момента, легкость хода и высокую плавность движения на малых скоростях. Малые потери на трение уменьшают износ деталей ШВП, а закалка рабочих поверхностей гайки, ходового винта и шариков до твердости 58 ... 60 HRC с последующим шлифованием обеспечивает повышенную долговечность этих деталей. Малые потери на трение позволили создать безззорные ШВП с двумя полугайками, собранными с предварительным натягом, что устраняет зазоры в передаче, увеличивает жесткость и тем самым значительно повышает точность передаваемого движения при наличии реверсирования.

Уменьшения вибрации на станках с ЧПУ достигают повышением жесткости, применением различных демпфирующих средств, снижением уровня возмущающих воздействий динамической балансировкой быстровращающихся частей, применением электродвигателей с малой амплитудой колебаний или вынесением их за пределы несущей системы станка, стабилизацией силы резания и др.

Кроме рассмотренных методов снижения погрешностей механизмов станка с ЧПУ, для повышения точности его работы широко применяют методы, основанные на измерении погрешностей и их компенсации или стабилизации.

Первый метод заключается в компенсации систематической составляющей погрешностей на основе информации, полученной аналитическими расчетами или экспериментальными исследованиями. Управляющая программа предскажемается на этапе программирования или в процессе эксплуатации при редактировании программы вводом коррекций с пульта устройства ЧПУ.

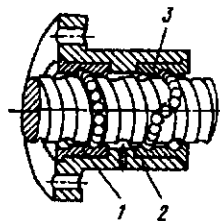


Рис. 71. Конструкция безззорной шариковой винтовой пары

Применение микропроцессоров и микроЭВМ в системах ЧПУ станка позволило реализовать функции управления приводами подачи станка программными средствами, компенсировать погрешности станка путем использования постоянно действующих программ коррекции, заложенных в памяти системы управления (рис. 72). Система компенсирует упругие деформации, вызываемые не только силами резания, но и массами траверсы и шпиндельной головки. Система содержит блоки 1, закрепленные на колонне и основании, трос 2 и устройство управления 3. Компенсирующее входное воздействие ϵ_F задается от устройства ЧПУ станка. Оно вычисляет это воздействие в зависимости от положения рабочих органов по координатам X , W , Z и действующих сил резания. Получая сигнал о величине компенсации, устройство компенсации формирует на выходе соответствующее механическое воздействие (силу или момент) на упругую систему станка.

При компенсации температурных деформаций на основе применения специальных обратных связей в качестве контролируемых параметров можно использовать: частоту вращения шпинделя; темп генерирования тепла в станке; изменение температуры характерных точек станка; смещение шпинделя станка; погрешность обработки детали.

Наиболее удобным является способ изменения температуры характерных точек станка. В этом случае достигается полное соответствие измеренной температуры и смещения шпинделя станка. Эти точки определяют путем анализа температурных полей станка, измеренных при различных режимах его работы. Термопары, установленные в характерных точках, посылают сигналы через устройство компенсации (рис. 73) в сравнивающее устройство для коррекции перемещения рабочего стола станка.

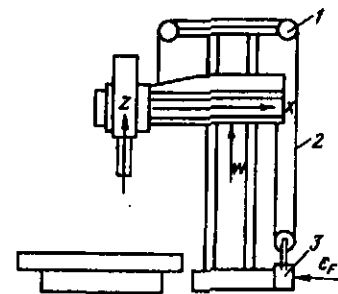


Рис. 72. Схема компенсации упругих деформаций тяжелого фрезерного станка с ЧПУ

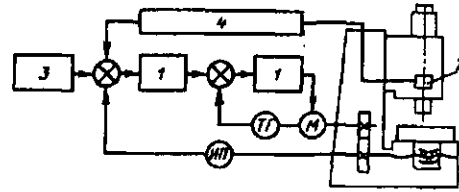


Рис. 73. Схема компенсации температурных деформаций шпиндельной бабки путем измерения температуры в характерной точке: 1 – усилитель; 2 – термопара; 3 – устройство ЧПУ; 4 – устройство компенсации

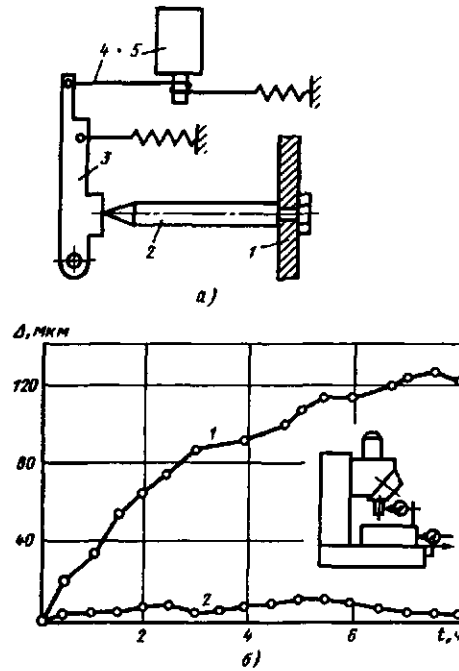


Рис. 74. Схема компенсации смещения шпинделя по координате Y вследствие температурных деформаций

На рис. 74, а показано устройство компенсации температурных деформаций шпиндельной бабки станка с ЧПУ, а на рис. 74, б – графики смещения шпинделя этого станка по координате Y без устройства компенсации (кривая 1) и с устройством (кривая 2) при частоте вращения шпинделя 2780 об/мин.

Примерно на уровне оси шпинделя в кронштейне 1 (рис. 74, а) шпиндельной бабки закреплен инваровый стержень 2, упирающийся в рычаг 3, поджимаемый к стержню 2 пружиной через струну 4, накрученную на вал

датчика 5. При работе станка и смещении передней части шпиндельной бабки со шпинделем вправо при нагреве инваровый стержень (имеющий очень малый коэффициент линейного расширения) смещается также вправо, рычаг 3 отклоняется, и датчик 5 выдает в систему управления сигнал для коррекции управляющей программы.

Точность обработки деталей в гибких производственных системах. При обработке партии заготовок в ГПС размеры деталей получают с заданной точностью: 1) при одной наладке технологической системы для всей партии заготовок, без подналадки системы;

2) при непрерывной коррекции обработки в зависимости от результатов контроля выполняемого рабочего хода (например, активный контроль при шлифовании) или контроля выполняемого перехода (операции) обработки детали. Контроль положения и размеров заготовки, а также детали осуществляют на станке или на специальной контрольно-измерительной машине.

Станок с ЧПУ характеризуется достаточно высокой точностью позиционирования рабочих органов. Поэтому широкое применение получил способ контроля обрабатываемых деталей непосредственно на станке. Система управления (регулирования) состоит из измерительного щупа, установленного в шпинделе станка, в revolverной головке или на столе станка, и системы обработки полученной информации и выдачи сигнала на подрегулирование (подналадку) технологической системы. Подналадка положения заготовки осуществляется соответствующей коррекцией управляющей программы.

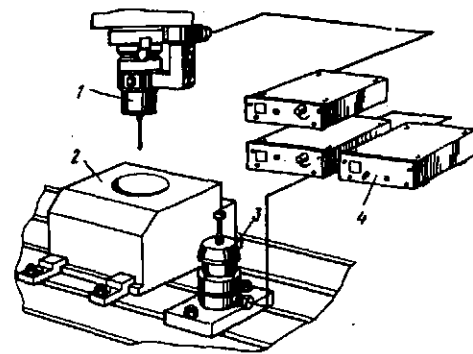


Рис. 75. Схема установки измерительных щупов на станке с ЧПУ

Положение резца на станках токарной группы изменяют, смещая суппорт. Более сложно регулирование положения инструмента, закрепленного во вращающемся шпинделе. В этом случае применяют специальные плансуппортные головки или расточные оправки с приводом, обеспечивающим радиальное смещение инструмента.

На рис. 76 приведена схема установки контрольно-управляющей системы. Для измерения детали 2 щуп 1 установлен в шпинделе станка. Для контроля размера и состояния (отсутствия выкрашивания режущей кромки) инструмента щуп 3 установлен на столе станка. Сигналы с этих щупов поступают в блоки 4 системы управления. Схемы измерения щупами показаны на рис. 77.

По принципу работы измерительные щупы могут быть контактного (рис. 77, а, б) и индуктивного типов (рис. 77, в). На рис. 78 показан один из вариантов конструкции щупа. Щуп имеет хвостовик 4 для установки в шпинделе 1 станка и в инструментальном магазине. В полости 3 хвостовика установлена батарея 2. К внутреннему торцу хвостовика прикреплен сменный элемент 5 с пружиной 6, упирающейся

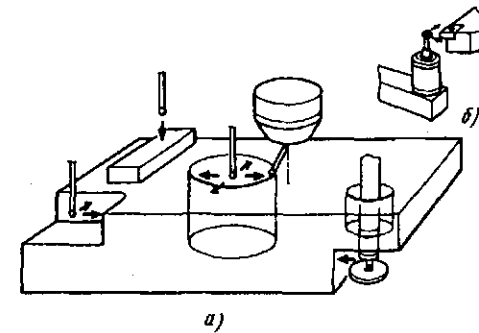


Рис. 76. Схемы измерений обрабатываемой детали (а) и режущего инструмента (б) щупами

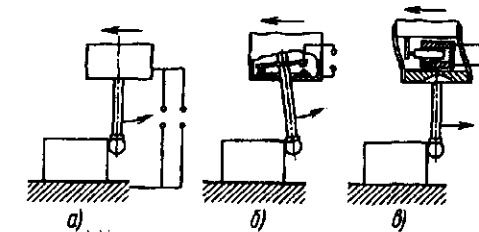


Рис. 77. Схема работы измерительных щупов: а – с внешним контактом; б – с внутренним контактом; в – индуктивного типа

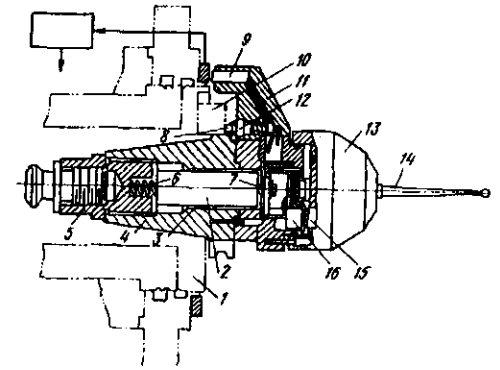


Рис. 78. Конструкция измерительного щупа

в отрицательный вывод батареи 2 и являющейся для него заземлением. К положительному выводу батареи прижат контакт 7. К внешнему торцу хвостовика 4 прикреплен корпус 13, в котором смонтирован щуп 14, связанный с блоком переключателей, расположенным в корпусе 13 (последний замыкает контакты при смещении щупа 14 по осям X , Y , Z станка). Блок переключателей через штепсельные вилку 15 и розетку 16 электрически связан со схемой на печатной плате, содержащей схему генератора, сигнал с выхода которого поступает на первичную обмотку 9. Первичная обмотка установлена на кронштейне 11, в котором смонтирован переключатель 12 с плунжером 8. Плунжер срабатывает при контакте со шпонкой 10 при зажиме хвостовика 4 в шпинделе. Переключатель 12 соединяет батарею 2 с печатной схемой при установке хвостовика в шпиндель и отсоединяет батарею, когда хвостовик извлечен из него. Для этого пружина переключателя сжимается при нормально разомкнутом его положении и разжимается сразу после выхода плунжера 8 из контакта со шпонкой 10 шпинделя.

Передача сигнала с измерительного щупа, установленного в шпинделе станка, в систему управления осуществляется бесконтактно-индуктивным способом (рис. 78) или оптическим способом (рис. 79). Схемы применения щупов на станках с ЧПУ приведены на рис. 80 и на рис. 81.

В большинстве конструкций специальных расточных оправок корректирующие микроперемещения резца обеспечивают путем деформации элемента оправки, несущего инструмент. Необходимые перемещения могут созда-

ваться механическими, электромеханическими, пневматическими и гидравлическими приводами.

На основе результатов измерения щупом 1 предварительно расточенного отверстия в детали 2 (рис. 82, а) корректируется радиальный вылет резца в расточной оправке (рис. 82, б). При опускании оправки со шпинделем на жесткий упор 2 палец 1 смещается (рис. 82, б), и проводится необходимая подналадка резца. Затем выполняется окончательное растачивание отверстия (рис. 82, в).

На рис. 83 приведены схемы измерения: 1 – наружного диаметра (вручную); 2 – внутреннего диаметра; 3 – наружного диаметра (автоматически); введения результатов измерения: 4 – в систему управления при ручном измерении; 5 и 6 – в системы управления при автоматическом измерении; последующей коррекции наладки с применением различных конструкций регулируемых оправок 9 или регулируемого резцедержателя 8 для токарного станка. Все оправки и резцедержатель имеют пневмогидравлический привод 7. Системы управления 5 и 6 позволяют вводить коррекцию также вручную.

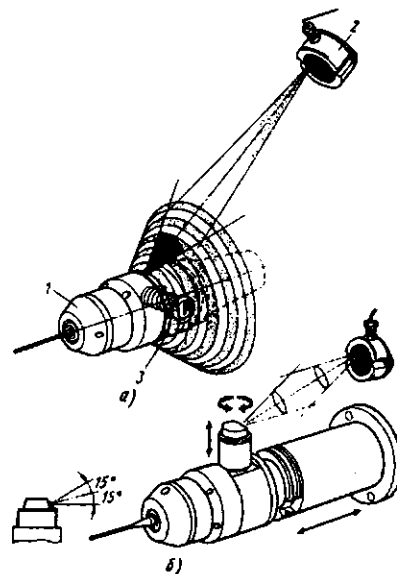


Рис. 79. Измерительные щупы с оптическим способом передачи сигнала: а – при произвольной установке щупа в шпинделе; б – при определенной установке щупа в шпинделе; 1 – щуп; 2 – приемник сигналов измерения; 3 – передатчики сигналов измерения (девять по окружности щупа)

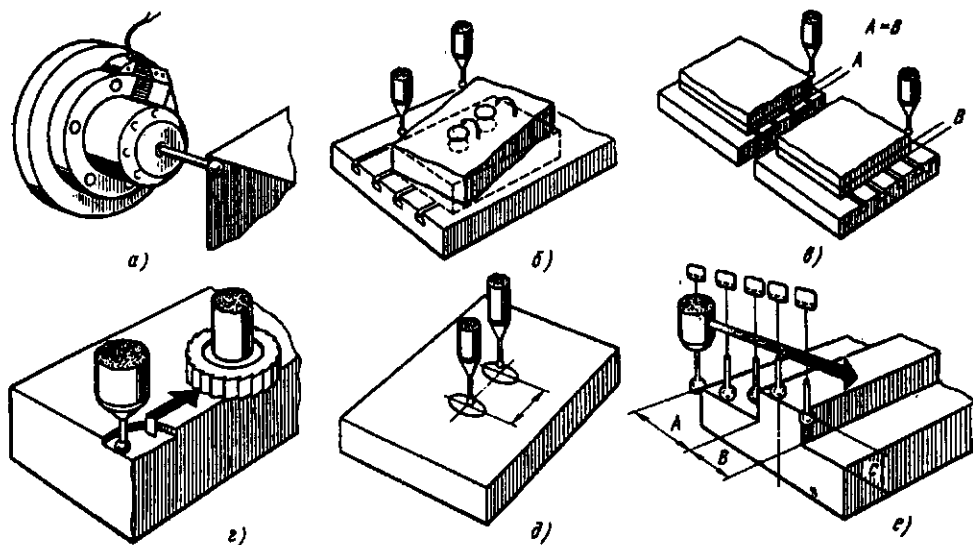


Рис. 80. Схемы применения щупов на сверлильно-фрезерно-расточном станке с ЧПУ для измерения: а – установки нулевой точки; б – погрешности установки заготовки на столе; в – снимаемого припуска; г – припуска на чистой переход; д – межосевого расстояния; е – обработанной детали

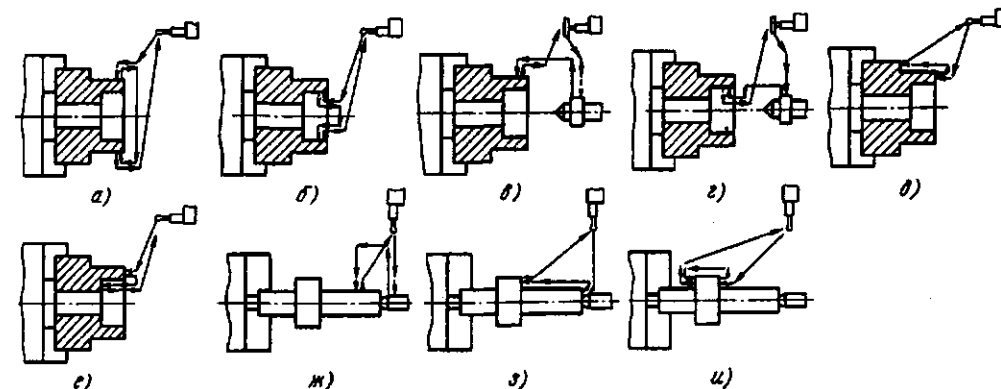


Рис. 81. Схемы применения щупов на токарном станке с ЧПУ для измерения: а и б – с двух сторон соответственно наружного и внутреннего диаметров детали в патроне; в, г – с одной стороны соответственно наружного и внутреннего диаметров детали в патроне с контролем по эталону; д, е – длины обработанной поверхности детали в патроне (соответственно наружной и внутренней поверхностей); ж – наружного диаметра детали в центрах с контролем по эталону; з – длины обработанной поверхности детали в центрах; и – толщины фланца в средней части детали, обрабатываемой в центрах

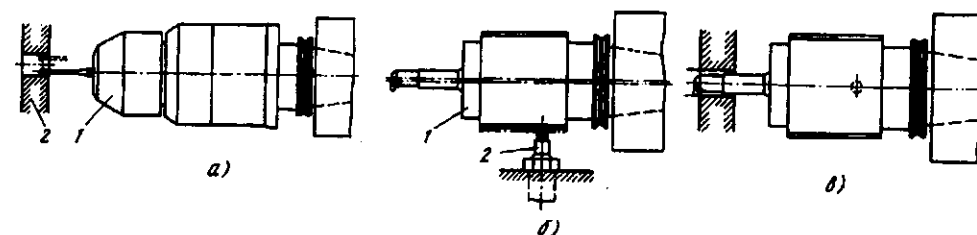


Рис. 82. Схемы внесения коррекций при использовании оправки с механическим приводом: а – измерение диаметра отверстия; б – коррекция радиального положения резца; в – окончательная обработка отверстия

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СТАНКОВ С ЧПУ И ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Производительность технологического оборудования – количество годной продукции, выдаваемой в единицу времени.

При бесперебойной работе оборудования его производительность (при условии, что вся выпущенная продукция является годной) определяется двумя факторами: длительностью T рабочего цикла и числом изделий, выдаваемых за цикл. Этот показатель получил название *цикловой производительности*. Как правило, станки с ЧПУ за рабочий цикл выдают единицу продукции, и поэтому формулу цикловой производительности чаще всего записывают в виде $Q_{ц} = 1/T_{ц}$.

Каждый рабочий цикл содержит:

1) время t_p рабочих ходов, когда проводится обработка, контроль, сборка, т.е. те технологические воздействия, ради которых и создается данное оборудование (это производственные затраты времени); 2) время t_n несомкнутых вспомогательных ходов, когда технологический процесс прерывается (это непроизводительно затраченное время, хотя загрузка и зажим обеспечивают необходимые условия для реализации технологии). Вспомогательные ходы, выполняемые автоматически действующими механизмами, являются признаком оборудования с автоматическим рабочим циклом. В полуавтоматах, в которых отсутствует один или несколько механизмов вспомогательных ходов, эти функции выполняют вручную (как правило, загрузка и зажим заготовок, разжим и сьем изделий).

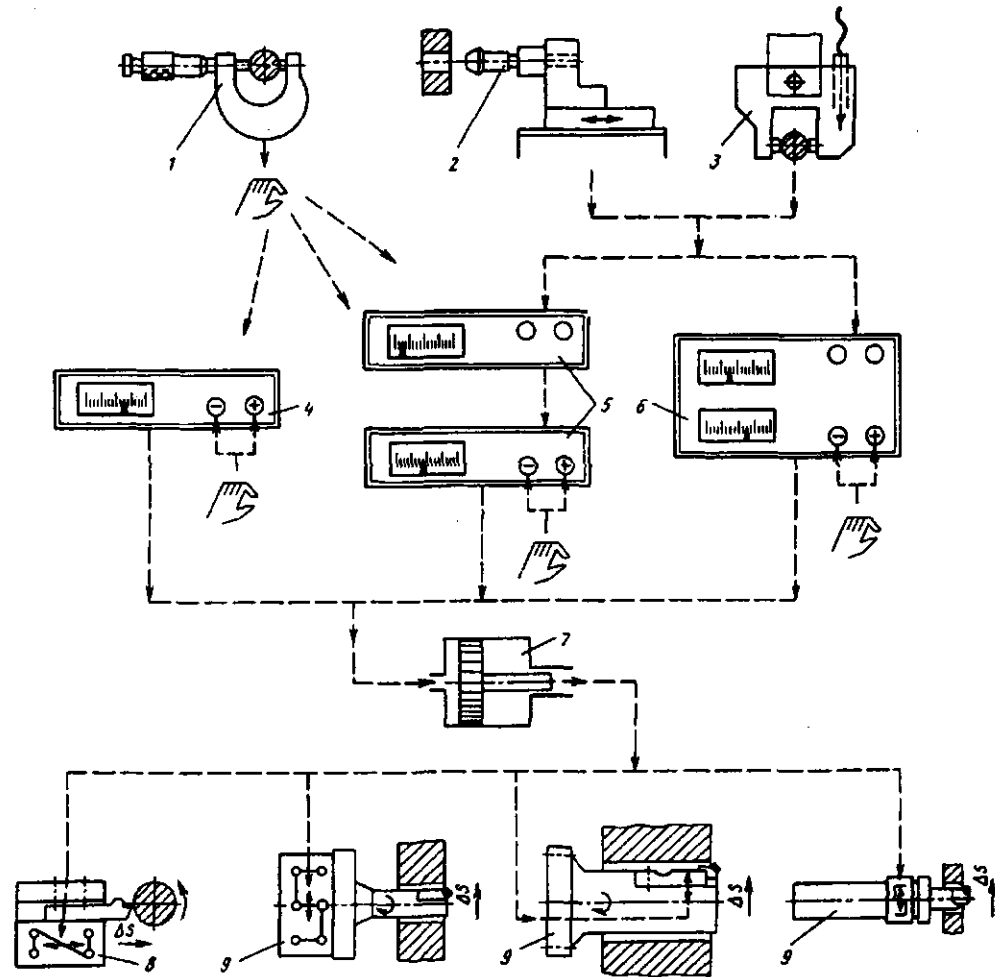


Рис. 83. Схемы измерения и коррекции с оправками и резцедержателем с пневмогидравлическим приводом

Цикловая производительность Q_c характеризует лишь потенциальные возможности оборудования по выпуску продукции в условиях, когда станки с ЧПУ работают непрерывно, без простоев, и при этом вся выпущенная продукция является годной. В реальных условиях это недостижимо. Поэтому формулы производительности учитывают простои оборудования и выпуск бракованной продукции.

Влияние простоев оборудования на его производительность определяют с учетом коэффициента использования или внецикловых потерь.

Коэффициент использования $\eta_{ис}$ численно показывает, какую долю планового фонда времени θ оборудование действительно функционирует и выдает продукцию. Например, $\eta_{ис} = 0,7$ означает, что 70 % времени, принятого за базу, оборудование работало, а 30 % этого времени простаивало. По определению,

$$\eta_{ис} = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_n} = \frac{1}{1 + \sum \theta_n / \theta_p}$$

где θ_p – суммарное время работы оборудования за время θ ; $\sum \theta_n$ – суммарное время простоев оборудования за этот же период.

Очевидно, что фактическая производительность равна теоретической цикловой, умноженной на коэффициент использования:

$$Q = \frac{1}{T} \eta_{ис} = \frac{1}{t_p + t_n} \eta_{ис}$$

Действительно, при $\eta_{ис} = 0,7$ выдается лишь 70 % продукции, которую можно было бы получить при бесперебойной работе оборудования, т.е. его производительные возможности используются лишь на 70 %.

Как при проектировании, так и при эксплуатации оборудования оценки значения коэффициента $\eta_{ис}$ в целом, как правило, недостаточно. Лишь иногда при укрупненных проектных расчетах принимают ожидаемое значение $\eta_{ис} = 0,75 \dots 0,80$, что позволяет сугубо ориентировочно прогнозировать ожидаемую производительность при определенном значении T . В большинстве случаев необходима расшифровка, почему величина $\eta_{ис}$ принимает те или иные значения, какие причины и виды простоев являются преобладающими.

Для станков с ЧПУ характерны:

а) собственные или технические простои $\sum \theta_c$, обусловленные техническими характеристиками самого оборудования (затраты времени на смену и регулирование инструмента, обнаружение и устранение отказов в работе, уборку и очистку, ремонт и профилактику и др.); они непосредственно связаны с технологическими процессами и конструкциями машин и механизмов;

б) организационные простои $\sum \theta_{орг}$, обусловленные внешними факторами, которые, как правило, не связаны с технологией и конструкцией машин (отсутствие обрабатываемых заготовок, инструмента, электроэнергии, несвоевременный приход и уход обслуживающих рабочих и др.); они определяются уровнем производства, степенью загрузки оборудования в данных конкретных условиях;

в) простои $\sum \theta_{пер}$ для переналадки оборудования на обработку новой продукции, которые занимают промежуточное положение между предыдущими видами простоев, так как

частота их определяется организационными факторами, а длительность – техническими.

Суммарные простои за произвольный период времени θ

$$\sum \theta_n = \sum \theta_c + \sum \theta_{орг} + \sum \theta_{пер};$$

$$\eta_{ис} = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\theta_p} (\sum \theta_c + \sum \theta_{орг} + \sum \theta_{пер})}$$

Коэффициент использования можно выразить как произведение частных коэффициентов, отражающих влияние тех или иных видов простоев:

$$\eta_{ис} = \eta_{тех} \eta_{пер} \eta_{загр}$$

Здесь $\eta_{тех}$ – коэффициент технического использования, численно показывающий долю времени, в течение которого оборудование при обеспечении всем необходимым работает:

$$\eta_{тех} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_c} = \frac{1}{1 + \sum \theta_c / \theta_p}$$

Например, $\eta_{тех} = 0,8$ означает, что в периоды, когда оборудование обеспечено всем необходимым для выпуска продукции, оно 80 % времени работает, а 20 % этого времени простаивает по техническим причинам (без учета переналадок).

Коэффициент переналадок $\eta_{пер}$ показывает долю планового фонда времени, когда при условии обеспечения всем необходимым оборудование может функционировать, выпуская определенную продукцию:

$$\eta_{пер} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_{пер}}{\theta_p + \sum \theta_c}}$$

Например, $\eta_{пер} = 0,9$ означает, что в периоды, когда оборудование имеет все организационные предпосылки для работы (есть заготовки, инструмент, электроэнергия и пр.), оно 10 % времени простаивает для переналадки для обработки другой продукции, а 90 % времени может ее выпускать с чередованием периодов бесперебойной работы и простоев.

Коэффициент загрузки $\eta_{\text{загр}}$ показывает, какую долю планового фонда времени оборудования обеспечено всем необходимым для работы, т.е. насколько оно загружено в данных конкретных условиях производства. Например, $\eta_{\text{загр}} = 0,9$ означает, что 90 % фонда времени оборудования имеет все необходимое для работы (есть заготовки, инструмент, рабочие на месте и т.д.), а в течение 10 % времени чего-то не хватает.

При комплексной автоматизации производства, в том числе создании гибких производственных систем, весьма редко собственная производительность всех звеньев технологической цепи бывает одинаковой. Поэтому только лимитирующие звенья имеют полную загрузку ($\eta_{\text{загр}} \rightarrow 1,0$), и реальный коэффициент загрузки определяется лишь случайными перебоями в обеспечении функционирования. Для остальных, нелимитирующих звеньев

$$\eta_{\text{загр}} < 1,0.$$

$$\eta_{\text{загр}} = \frac{\theta - \sum \theta_{\text{орг}}}{\theta} = 1 - \frac{\sum \theta_{\text{орг}}}{\theta}.$$

Преимуществом оценки фактической производительности с помощью относительных коэффициентов $\eta_{\text{ис}}$, $\eta_{\text{тех}}$, $\eta_{\text{пер}}$, $\eta_{\text{загр}}$ является наглядность и простота интерпретации численных значений. Например, если станок с ЧПУ загружен согласно производственной программе на 90 % ($\eta_{\text{загр}} = 0,9$), кроме того, 10 % оставшегося времени простаивает для переналадок ($\eta_{\text{пер}} = 0,9$), и в периоды обеспечения всем необходимым работает лишь 80 % времени ($\eta_{\text{тех}} = 0,8$), то в итоге доля планового фонда времени, когда станок работает и выпускает продукцию, составляет

$$\eta_{\text{ис}} = \eta_{\text{тех}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{загр}} = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,65,$$

т.е. потенциальные возможности станка с ЧПУ используются на 65 %.

Однако для углубленного анализа в теории и практике более употребительна оценка фактической производительности (с учетом простоев) через так называемые внецикловые потери ($\sum B$ или $\sum t_n$).

$$\sum B = \frac{\sum \theta_n}{\theta_p}; \quad \sum t_n = \frac{\sum \theta_n}{Z},$$

где $\sum B$ – внецикловые потери как простой, приходящиеся на единицу времени бесперебойной работы; $\sum t_n$ – внецикловые потери как простой, приходящиеся на единицу выпущенной продукции, мин/шт.; $\sum \theta_n$ – простой оборудования за некоторый произвольный период времени, мин; θ_p – суммарное чистое время работы оборудования за тот же период, мин; Z – количество продукции, выпущенной за тот же период.

Внецикловые потери связаны с коэффициентом использования

$$\eta_{\text{ис}} = \frac{1}{1 + \sum \theta_n / \theta_p} = \frac{1}{1 + \sum B} = \frac{1}{1 + \sum t_n / T}.$$

Суммарные внецикловые потери в соответствии с классификацией простоев делятся на собственные, организационные и потери из-за переналадки:

$$\sum B = \sum B_c + \sum B_{\text{орг}} + \sum B_{\text{пер}};$$

$$\sum t_n = \sum t_c + \sum t_{\text{орг}} + \sum t_{\text{пер}}.$$

Качественные характеристики работы станков с ЧПУ учитываются в формулах производительности с помощью безразмерного коэффициента γ выхода годной продукции, численно равного доле годной продукции, принятой ОТК. С учетом рабочего цикла, внецикловых потерь и безразмерных коэффициентов суточная производительность станков с ЧПУ (шт/сутки)

$$Q = \frac{\theta \gamma}{t_p + t_n + \sum t_c + \sum t_{\text{пер}}} \eta_{\text{загр}}$$

или

$$Q = \frac{\theta \gamma}{t_p + t_n} \frac{1}{1 + \sum B_c} \eta_{\text{загр}},$$

где θ – плановый фонд времени работы за сутки с учетом сменности работы.

Приведенные формулы и подобные им являются базовыми при расчетах и анализе производительности как в процессе проектирования (ожидаемые значения), так и при эксплуатации (фактические значения). На их основании формируют математические модели производительности различных видов технологического оборудования для решения задач анализа и синтеза.

Метод получения таких аналитических зависимостей состоит в следующем. Для данного конкретного типа оборудования выделяют группу параметров, которые в данном случае являются предметом анализа или расчета (x_1, x_2, \dots, x_n). Путем инженерного анализа отыскивают частные функциональные зависимости всех элементов затрат времени (рабочих и вспомогательных ходов, внецикловых потерь всех видов) от указанных параметров и констант A_i :

$$t_p(x_1; \sum t_c; \sum t_{\text{орг}}; \sum t_{\text{пер}}) = f_j(x_1; x_2; \dots; x_n; A_i).$$

Все частные зависимости подставляют в общую формулу производительности и получают зависимость производительности от данных параметров, специфическую для данного вида оборудования и условий производства:

$$Q = f(x_1; x_2; \dots; x_n; A_i).$$

Полученные уравнения решают относительно любого из входящих параметров в зависимости от поставленной задачи.

Для станков с ЧПУ и ГПС применимы два основных метода расчета производительности оборудования в условиях серийного производства.

1. По типовой детали-представителю. Из числа деталей, закрепленных за данным оборудованием, или тех, которые могут здесь обрабатываться, выделяется одна, которая принимается типовым представителем. В формулах учитываются характеристики оборудования при обработке данной конкретной детали, т.е. задача, по существу, сводится к выводу формул и методам расчета при массовом производстве. Дополнительно следует лишь учесть потери на переналадку с помощью характеристики среднего времени переналадки $\theta_{\text{пер}}$ и среднего размера Z партии деталей, обрабатываемых между двумя переналадками, а также числа параллельно работающих станков p :

$$Q = \frac{\theta \gamma}{t_p + t_n + \sum t_c + \theta_{\text{пер}} / Z} p \eta_{\text{загр}}.$$

Недостаток метода заключается в трудности достоверного подбора типового представителя, так как выбранная деталь может иметь среднюю длительность обработки, но не средние вспомогательные ходы или время переналадки. Кроме того, формула, по существу, не содержит ни одного параметра станка, технологического процесса и пр. Между тем очевидно, что производительность станков с ЧПУ определяется комплектом обрабатываемых деталей и технологическим процессом их обработки; техническими характеристиками оборудования; условиями эксплуатации в данном конкретном производстве. Эти факторы должны найти отражение в формулах производительности.

2. По интегральным характеристикам комплекта изделий, закрепленных за данным оборудованием. Допустим, на станке с ЧПУ обрабатывается n типоразмеров деталей, каждая из которых имеет неповторяющееся сочетание характеристик: число переходов S_i при обработке, число A_i обрабатывающих инструментов, длительность t_{pi} отдельных переходов, партию Z_i обрабатываемых деталей, вспомогательное время t_{ni} и т.д. Рассмотрим интегральные характеристики времени обработки комплекта деталей, закрепленных за станком.

Время рабочих ходов цикла

$$t_p = t_{pi} S_i,$$

где t_{pi} – среднее время единичного перехода при обработке; S – среднее число переходов при обработке одной детали;

$$t_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{S_i} t_{pi} Z_i}{\sum_{i=1}^n S_i Z_i}.$$

где числитель – суммарное время обработки всех деталей комплекта (с учетом партионности), знаменатель – число переходов.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i Z_i}{\sum_{i=1}^n Z_i}.$$

Здесь числитель – число переходов при обработке всего комплекта, знаменатель – число изделий в комплекте (с учетом партионности).

Время вспомогательных ходов цикла складывается из времени: замены координаты обработки (быстрый отвод инструмента, координатное перемещение стола, быстрый подвод инструмента), замены инструмента в рабочем шпинделе (с использованием инструментального магазина) и загрузки-съема:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{в1}}S + t_{\text{в2}}A + t_{\text{в3}},$$

где $t_{\text{в1}}$ – среднее время единичной замены координаты; S – среднее число переходов при обработке одной детали, т.е. среднее число замен координат в одном рабочем цикле; $t_{\text{в2}}$ – среднее время замены инструмента в шпинделе; A – среднее число инструментов при обработке одной детали; $t_{\text{в3}}$ – среднее время загрузки-съема. Величины $t_{\text{в}}$, $t_{\text{в1}}$, $t_{\text{в2}}$, $t_{\text{в3}}$, A являются среднестатистическими, как $t_{\text{р1}}$ или S .

Собственные внецикловые потери – по оборудованию, инструменту (аварийная замена и регулирование) и техническому обслуживанию могут быть выражены как простои, отнесенные к единице выпущенной продукции ($\sum t_{\text{с}}$) или к единице времени бесперебойной работы ($\sum B_{\text{с}}$). Для станков с ЧПУ типа "обрабатывающий центр", для которых длительность рабочего цикла при обработке некоторых корпусных деталей достигает нескольких часов, более перспективна оценка внецикловых потерь $\sum B_{\text{с}}$.

Выражая потери через характеристики безотказности и ремонтпригодности, получим $\sum B_{\text{с}} = \omega t_{\text{в}}$, где ω – параметр потока отказов

как обратная величина среднего времени безотказной работы, выраженной в абсолютном времени; $t_{\text{в}}$ – среднее время восстановления.

Внецикловые организационные потери также могут быть выражены в любой из двух форм: $\sum t_{\text{орг}}$ или $\sum B_{\text{орг}}$. Функционально связать их с какими-либо характеристиками производства, как правило, не удастся. Численные значения организационных потерь являются характеристикой всех условий данного производства в целом.

Внецикловые потери из-за переналадки целесообразнее определять относительно единицы выпущенной продукции (общее время переналадки станка на обработку конкретной партии делат на величину партии)

$$\sum t_{\text{пер}} = \frac{\theta_{\text{пер}}}{Z} = \frac{\theta_1 + \theta_2 S}{Z},$$

где $\theta_{\text{пер}}$ – среднее время переналадки станка на обработку различных деталей комплекта, закрепленного за станком, мин; Z – средний размер партии обработки, шт.; θ_1 – составляющая среднего времени переналадки, не зависящая от числа переходов при обработке (замена и выверка приспособлений, замена программноносителей и т.д.); θ_2 – составляющая среднего времени переналадки, пропорциональная числу переходов при обработке (замена комплекта инструмента, обработка пробных деталей с измерением размеров и коррекцией инструментов или программ обработки и т.д.).

Подставляя значения длительности цикла и внецикловых потерь в общую формулу производительности многооперационного оборудования в условиях серийного производства для одного станка ($p = 1$), получим

$$Q = \frac{\theta \gamma}{t_{\text{р1}}S + t_{\text{в1}}S + t_{\text{в2}}A + t_{\text{в3}} + \sum t_{\text{с}} + \sum t_{\text{орг}} + \frac{1}{Z}(\theta_1 + \theta_2 S)};$$

$$Q = \frac{\theta \gamma}{(t_{\text{р1}}S + t_{\text{в1}}S + t_{\text{в2}}A + t_{\text{в3}})(1 + \sum B_{\text{с}}) + \sum t_{\text{орг}} + \frac{1}{Z}(\theta_1 + \theta_2 S)}.$$

Таким образом, производительность оборудования с ЧПУ в условиях серийного производства выражена как функциональная зависимость: 1) характеристик комплекта обрабаты-

ваемых деталей и технологических процессов – средней длительности единичного перехода, среднего числа переходов и обрабатываемых инструментов при обработке детали; 2) харак-

теристик самого технологического оборудования и его оснастки – времени выполнения вспомогательных ходов, процессов загрузки и съема, надежности в работе, гибкости при переналадках; 3) характеристик того конкретного производства, в котором эксплуатируется оборудование, – организационных потерь и партионности обработки.

Представленная выше формула производительности и ей подобные можно использовать при расчете и анализе как ожидаемой (на стадиях проектирования), так и реальной (в процессе эксплуатации) производительности. При уточненных проектных расчетах величины $t_{\text{р1}}$, S и A берут из разработанной технической документации; значения $t_{\text{в1}}$, $t_{\text{в2}}$ и $t_{\text{в3}}$ также могут быть рассчитаны или приняты по аналогии. Величины $\sum t_{\text{с}}$ (или $\sum B_{\text{с}}$), θ_1 , θ_2 , $\sum t_{\text{орг}}$, $t_{\text{в}}$ можно оценивать по итогам эксплуатационных исследований однотипного действующего оборудования с той или иной степенью достоверности.

При анализе производительности в условиях действующего производства большинство параметров производительности рекомендуется оценивать по итогам исследований. Исследования проводят поэтапно.

Этап I. Характеристики комплекса обрабатываемых деталей ($t_{\text{р1}}$, S) оценивают по результатам многократных измерений, поскольку технологическая документация не всегда соответствует значениям технологических параметров на рабочих местах.

Этап II. Характеристики рабочего цикла технологического оборудования ($t_{\text{в1}}$, $t_{\text{в2}}$, $t_{\text{в3}}$ и др.) оценивают по результатам многократных измерений времени выполнения элементов рабочего цикла с последующей математической обработкой результатов (построением диаграммы распределения, расчетом средних значений и т.д.).

Этап III. Эксплуатационные наблюдения за работой оборудования в условиях серийного производства проводят с целью количественной оценки простоев оборудования, которые сопутствуют процессам его функционирования, с последующим расчетом и анализом эксплуатационных показателей, характеризующих как собственную надежность машин, так и уровень использования оборудования. Эксплуатационные наблюдения включают фотографию работы оборудования и хронометраж простоев.

Наблюдения за работой оборудования должны быть, по возможности, непрерывны в течение времени, обеспечивающего достоверность получения данных (обычно не менее 10 – 12 рабочих смен). Во время наблюдений фиксируют затраты времени планового фонда на работу и простои всех видов. По итогам составляют сводную таблицу работы и простоев и на ее основе – баланс затрат планового фонда времени, который показывает (в %), какую долю планового времени оборудование работает и какую простаивает.

Этап IV. Параметры работоспособности и станков с числовым программным управлением и гибких производственных систем рассчитывают: а) по фактическим циклограммам машин и обобщению характеристик рабочего цикла: $t_{\text{р1}}$, S , $t_{\text{в1}}$, $t_{\text{в2}}$, $t_{\text{в3}}$ и др.; б) по таблицам простоев машин с использованием результатов эксплуатационных наблюдений и баланса планового фонда времени.

К параметрам работоспособности, рассчитываемым по эксплуатационным наблюдениям, относят коэффициент $\eta_{\text{ис}}$ использования, коэффициент $\eta_{\text{тех}}$ технического использования, собственные внецикловые потери $\sum t_{\text{с}}$, $\sum B_{\text{с}}$, потери $\sum t_{\text{орг}}$ из-за организационных причин или коэффициент $\eta_{\text{згр}}$ загрузки, потери $t_{\text{пер}}$ вследствие переналадки, цикловую производительность $Q_{\text{ц}}$, фактическую производительность Q и т.д. Вместо абсолютных значений времени работы и простоев в формулу могут быть подставлены относительные процентные значения из баланса затрат фонда времени.

Пример. При обработке корпусных деталей средних габаритов из алюминиевых сплавов на станках с ЧПУ время единичной обработки $t_{\text{р}} = 0,9$ мин; число переходов при обработке одной детали $S = 13$; время загрузки и съема $t_{\text{в3}} = 1,5$ мин; время единичного вспомогательного хода при замене координаты обработки и инструмента $t_{\text{в1}} + t_{\text{в2}} = 0,4$ мин. Группа из шести станков работает в итоге 65 % планового фонда времени ($\theta_{\text{р}} = 65$ %). Время простоев $\sum \theta_{\text{с}} = 10,9$ %; $\sum \theta_{\text{орг}} = 18,4$ %; $\sum \theta_{\text{пер}} = 5,7$ %. За станками участка закреплено 15 типоразмеров деталей; средний размер партии $Z = 100$ шт., средняя длительность перена-

ладки $\theta_{\text{ср.пер}} = 153$ мин, из них составляющие $\theta_1 = 70$ мин, $\theta_2 = 6$ мин. Выход годных деталей $\gamma = 0,99$.

По исходным данным рассчитаны параметры работоспособности: $T = 18,7$ мин;

$$Q = \frac{\theta \gamma}{[t_{p1}S + t_{p1}S + t_{a2}A + t_{a3}] (1 + \sum B_c) + \sum t_{\text{опр}} + \frac{1}{Z} (\theta_1 + \theta_2 S)} = \frac{480 \gamma}{[t_{p1}S + 0,4S + 1,5] 1,17 + \sum t_{\text{опр}} + \frac{70 + 6S}{Z}}$$

Технические и эксплуатационные характеристики станков с ЧПУ (время загрузки заготовок и съема изделий, подводов и отводов инструмента, собственных внецикловых потерь, длительности переналадки и т.д.) выражены численно, а остальные – в общем виде (характеристики изделий и условий эксплуатации). Таким образом, полученное уравнение является паспортной характеристикой производительности станков данной модели и может быть использовано для расчетов ожидаемой производительности в любых условиях. В конкретных условиях исследований можно рассчитать среднее время t_p единичной обработки, среднее число S переходов обработки одной детали, средний размер Z партии обрабатываемых деталей, организационные потери $\sum t_{\text{опр}}$. В условиях проведенных эксплуатационных исследований эти показатели имели следующие значения: $t_{p1} = 0,9$ мин; $S = 13$; $Z = 100$ шт.; $\sum t_{\text{опр}} = 4,95$ мин/шт.; $Q = 16,6$ шт./смену.

Изложенная методика позволяет: 1) путем сравнительных испытаний оборудования различного типа для условий серийного производства (например, универсальных станков и станков с ЧПУ) оценивать важнейшие факторы, определяющие производительность оборудования, целесообразную область его применения, наиболее эффективные пути совершенствования; 2) на основе конкретного анализа важнейших факторов, определяющих уровень производительности, рассчитывать и прогнозировать резервы возможного повышения про-

дуктивности оборудования при его совершенствовании (например, переводе на управление от ЭВМ и встраивании в гибкие производственные системы); 3) выдавать заключения и рекомендации по сравнительным характеристикам и направлениям развития, формулировать важнейшие задачи и пути совершенствования конструкций.

Уравнение сменной производительности одного станка

Производительность (а также качество выпускаемых изделий, трудоемкость подготовки производства, обслуживания станков и т.д.) должна оцениваться в каждом случае конкретно, для определенных типов оборудования, видов изделий, характера обработки, серийности производства, с учетом характеристик быстрогодействия оборудования и надежности в работе, мобильности при переналадке. При этом обязательным является применение поэлементного метода сравнительного анализа, которому подвергаются отдельные элементы затрат времени: на рабочие и вспомогательные ходы (в случае необходимости – с их дифференциацией по составляющим), на собственные внецикловые потери из-за отказов, на потери при переналадке с дифференциацией по видам работ и пр. Сравнение этих величин для различных видов оборудования позволяет оценить, с помощью каких факторов можно повысить производительность, какое влияние на эти факторы оказывают технические характеристики самих станков (быстродействие, мобильность, надежность, характер изделий, серийность их выпуска и др.).

Результаты исследований по рассмотренной методике позволяют сделать ряд обобщений. Производительность (а также качество выпускаемых изделий, трудоемкость подготовки производства, обслуживания станков и т.д.) должна оцениваться в каждом случае конкретно, для определенных типов оборудования, видов изделий, характера обработки, серийности производства, с учетом характеристик быстрогодействия оборудования и надежности в работе, мобильности при переналадке. При этом обязательным является применение поэлементного метода сравнительного анализа, которому подвергаются отдельные элементы затрат времени: на рабочие и вспомогательные ходы (в случае необходимости – с их дифференциацией по составляющим), на собственные внецикловые потери из-за отказов, на потери при переналадке с дифференциацией по видам работ и пр. Сравнение этих величин для различных видов оборудования позволяет оценить, с помощью каких факторов можно повысить производительность, какое влияние на эти факторы оказывают технические характеристики самих станков (быстродействие, мобильность, надежность, характер изделий, серийность их выпуска и др.).

ОСОБЕННОСТИ НОРМИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Штучное время обработки детали

$$T_{\text{шт}} = t_o + t_s + t_{\text{обс}} + t_n,$$

где $t_o = \sum t_{oj}$ – основное время на операцию, мин; t_{oj} – основное время на выполнение j -го перехода обработки элементарной поверхности;

$$t_{oj} = \frac{(L+l)i}{ns} = \frac{(L+l)i}{s_m};$$

$t_s = t_{s,y} + t_{m,b}$ – вспомогательное время, включающее время $t_{s,y}$ на установку и снятие заготовки и вспомогательное время $t_{m,b}$, связанное с выполнением вспомогательных ходов и перемещений при обработке поверхности, мин; $t_{\text{обс}}$ – время обслуживания рабочего места, мин; t_n – время на личные потребности, мин; назначается в процентах от оперативного времени $t_{\text{оп}} = (t_o + t_{s,y} + t_{m,b})$; L – длина обрабатываемой поверхности, мм; l – длина врезания и перебега инструмента, мм; i – число рабочих ходов; s_m – минутная подача, мм/мин; n – частота вращения заготовки или инструмента, об/мин; s – подача на один оборот, мм/об.

Время работы станка по программе управления (время цикла обработки) $t_{п.у}$ равно неполному оперативному времени работы станка: $t_{п.у} = t_o + t_{m,b} = t_{\text{оп.н}}$.

Элементы штучного времени определяются так же, как и для случаев обработки на станках с ручным управлением. Если одновременно на станке обрабатывают q заготовок, то штучное время

$$T_{\text{шт}} = \sum t_i / q.$$

Машинно-вспомогательное время $t_{m,b}$ включает комплекс приемов, связанных с позиционированием, ускоренным перемещением рабочих органов станка, подводом инструмента вдоль оси в зону обработки и последующим отводом, автоматической сменой режущего инструмента путем поворота револьверной

головки (резцедержателя) или из инструментального магазина. Эти элементы времени зависят от скоростей перемещений рабочих органов и длины перемещений. В нормативах Оргстанкинпрома принята длина 5 и 300 мм соответственно для установочного и ускоренного перемещений. Если длины или скорости перемещения отличаются от принятых, то время перемещения необходимо пересчитать, умножив его на коэффициенты

$$K_L = \frac{L_\phi}{L_n}; \quad K_v = \frac{v_\phi}{v_n},$$

где L_ϕ и L_n – длина перемещения фактическая и по нормативам, мм; v_ϕ и v_n – скорость перемещения фактическая и по нормативам; по нормативам принята скорость установочного перемещения (позиционирования) 50 мм/мин.

При составлении программы управления (ПУ) следует учитывать возможность совмещения присмов и назначать такую последовательность выполнения переходов обработки, чтобы $t_{m,b}$ было минимальным. Так, при обработке на станках с крестовым столом и поворотной револьверной головкой следует полностью с одного позиционирования обрабатывать одно (например, центровать, сверлить), а затем другое и т.д. отверстия, так как время на смену инструмента значительно меньше времени на позиционирование ($t_{\text{поз}} \gg t_{\text{см.ин}}$). Для сверльно-фрезерно-расточных станков с магазинами $t_{\text{см.ин}} > t_{\text{поз}}$, поэтому целесообразно проводить обработку всех отверстий сначала одним, а затем другим инструментом.

Так как способы установки и закрепления заготовок при обработке на станках с ЧПУ принципиально не отличаются от способов, применяемых на станках с ручным управлением, то $t_{s,y}$ определяют по имеющимся нормативам для станков с ручным управлением. На станках со сменными палетами-спутниками учитывается только время на смену палеты и перемещение стола в рабочую позицию.

В состав работ по организационному обслуживанию рабочего места включены: осмотр, нагрев системы ЧПУ и гидросистемы, опробование оборудования, получение инструмента от мастера (налащика) в течение смены, смазывание и очистка станка в течение

смены, предъявление контролеру ОТК пробной детали, уборка станка и рабочего места по окончании работы.

К техническому обслуживанию рабочего места относятся: смена затупившегося инструмента, коррекция инструмента на заданные размеры, регулирование и подналадка станка в течение смены, удаление стружки из зоны резания в процессе работы.

Штучно-калькуляционное время

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-3}}{n_3},$$

где $T_{п-3}$ – подготовительно-заключительное время на партию, мин; n_3 – размер партии деталей, запускаемых в производство.

Размер партии определяется по фактическим данным или расчетом (при оценке экономической эффективности):

$$n_3 = \frac{P'}{S_n},$$

где P' – годовой выпуск деталей, шт.; S_n – число запусков в год.

В условиях серийного производства S_n равно 4; 6; 12 и 24. Для среднесерийного (600 – 1200 деталей в год) производства можно принять $S_n = 12$. Ориентировочно n_3 определяют по табл. 17.

17. Средний размер партии запуска деталей

Число переналадок		Размер партии запуска n_3 (шт.) при штучном времени обработки детали, мин											
в месяц	в смену	5	10	15	20	25	30	60	100	200	300	500	600
180	4	15	8	5	4	3	2	1	–	–	–	–	–
90	2	30	15	10	8	6	5	2	1	–	–	–	–
45	1	60	30	20	15	12	10	5	3	1	1	–	–
22,2	0,5	120	60	40	30	24	20	10	6	3	2	1	–
15	0,33	180	90	60	45	36	30	15	9	5	3	–	–
9	0,2	300	150	100	75	60	50	25	15	8	5	3	–
6,3	0,14	420	210	140	105	84	70	35	21	11	7	4	3
4,5	0,1	600	300	200	150	120	100	50	30	15	10	6	5
1	0,025	2400	1200	800	600	480	400	200	120	60	40	24	20

Примечания: 1. См. инструкцию МУ 2.5–81 "Определение экономической эффективности металлорежущих станков с ЧПУ", НПО ЭНИМС, НПО Оргстанкинпром, М.: 1981.

2. Размер партии запуска деталей рассчитан исходя из среднего фонда штучного времени работы станка, равного 300 мин в смену. Число смен в месяц принято равным 45.

Подготовительно-заключительное время $T_{п-3}$ при обработке на станках с ЧПУ состоит из затрат времени (приемов) $T_{п-31}$, из затрат $T_{п-32}$, учитывающих дополнительные работы, и времени $T_{п-33}$ на пробную обработку детали:

$$T_{п-3} = T_{п-31} + T_{п-32} + T_{п-33}.$$

В затраты $T_{п-31}$ включено время на получение наряда, чертежа, технологической документации на рабочем месте в начале работы и на сдачу в конце смены. На ознакомление с документами и осмотр заготовки затрачивается 4 мин; на инструктаж мастера – 2 мин; на установку рабочих органов станка или зажимного приспособления по двум координатам в нулевое положение – 4 мин; на установку перфоленты – 2 мин; итого на комплекс приемов – 12 мин. В соответствии с руководящим материалом Оргстанкинпрома принята единая норма ($T_{п-31} = 12$ мин) для всех станков с ЧПУ.

Время на пробную обработку одной детали учитывают в тех случаях, когда на станках не производится коррекция инструмента. Для станков с ЧПУ, на которых после обработки первой детали проводят коррекцию инструмента на заданные размеры, это время включено в нормативы на техническое обслуживание станков.

Нормативы времени на работы, выполняемые на станках с ЧПУ (принятые в станкостроительной промышленности), приведены в табл. 18–21.

18. Машинно-вспомогательное время $t_{м.в.}$, время $t_{об.п}$ на обслуживание рабочего места и личные потребности, подготовительно-заключительное время $T_{п-3}$ при работе на станках с ЧПУ

Токарные патронно-центровые станки 1А616Ф3, 16Б16Ф3, 16К20Ф3, МК6064Ф3, лоботокарные патронные станки РТ725Ф3, патронные станки 1713Ф3, 1Б732Ф3, 1734Ф3, токарно-карусельные одношпиндельные станки 1512Ф2, 1516Ф2

Время	1А616Ф3 ¹	16Б16Ф3	16К20Ф3	МК6064Ф3	РТ725Ф3	1713Ф3	1Б732Ф3	1734Ф3	1512Ф2	1516Ф2
Машинно-вспомогательное $t_{м.в.}$ (мин), затраченное:										
на одновременное перемещение рабочих органов станка по осям Z и X:										
ускоренное (на длине)	0,04 (300)	0,03 (300)	0,03 (300)	0,04 (300)	0,2 ² 0,13 (300)	0,12 (500)	0,15 (600)	0,08 (300)	0,06 (100)	0,06 (100)
установочное	0,08	0,08	0,10	0,10	–	0,16	0,14	0,12	0,12	0,12
установочное (холостое) в зоне резания	0,05	0,05	0,04	0,05	0,15	0,08	0,08	0,06	0,07	0,07
ускоренное поперечины (на длине)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,50 (200)	0,50 (200)
на поворот револьверной головки на одну позицию	0,07	0,07	0,02	0,04	0,15	0,06	0,06	0,10	0,06	0,06
$t_{об.п}$ на обслуживание рабочего места, личные потребности в % от оперативного времени	9	9	10	10	10	9	10	12	13	13

Продолжение табл. 18

Время	2P118Ф2	2P135Ф2	2A622Ф2	243ВМФ2	245ВМФ2	6906ВМФ2	6P11Ф3	6P13Ф3	6P13PФ3	6520Ф3	6520PФ3	6540PФ3	Время	
													0,25	0,5
на установку резьбонарезного приспособления	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
на установку одного инструмента в резервную головку (магазин)	0,25	0,25	-	(0,7)	(0,7)	(0,7)	-	-	0,5	-	0,5	0,5	-	-
на получение инструмента исполнителем работы до начала работы и сразу его после окончания работы	-	-	7	-	-	-	7	7	-	7	-	-	-	-
на наладку станка и инструмента	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
на перемещение стола в вертикальном направлении в процессе наладки станка	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-

Примечания. 1. Таблица составлена по руководящему материалу ПО Оргстанкинпром "Нормирование операций, выполняемых на металлорежущих станках", М.: НИИИмаш, 1975. 144 с.

2. Для станков 2P118Ф2 и 2P135Ф2 время поворота револьверной головки на две позиции (120°) – 0,05 мин; три позиции (180°) – 0,10 мин; четыре позиции (240°) – 0,12 мин; пять позиций (300°) – 0,14 мин. Так как время поворота на одну – три позиции перекрывается временем ускоренного и установочных перемещений, то обработку отверстий несколькими инструментами следует проводить при повороте револьверной головки.

3. Для станков 243ВМФ2, 245ВМФ2 все поверхности, находящиеся в одной плоскости, рекомендуется обрабатывать без смены инструмента, так как время смены инструмента больше времени ускоренных и установочных перемещений.

4. Для станка 2A622Ф2 в таблице указано время ускоренного и установочного перемещений по осям W и X. Ускоренное и установочное перемещение по оси Z происходит за 0,08 мин. Время изменения (ручную) частоты вращения шпинделя – 0,10 мин; изменения направления вращения шпинделя – 0,05 мин; изменения подачи – 0,05 мин; поворота стола вручную на 90° (180°) – 1,0 (1,5) мин. Для станка 6P11Ф3 время изменения (ручную) частоты вращения шпинделя – 0,07 мин; для станка 6P13Ф3 – 0,08 мин. Для станка 6P13PФ3 поворот (автоматический) револьверной головки на одну позицию (72°) происходит за 0,05 мин; для станка 6520PФ3 (60°) – за 0,05 мин; для станка 6540PФ3 (60°) – за 0,04 мин.

5. Элементы времени для станков, не указанных в таблице, назначаются по аналогии, с учетом паспортных данных станка.

19. Нормативы подготовительно-заключительного времени на токарные станки с ЧПУ

Время $T_{п-з}$ на приемы, вошедшие в комплекс¹

станка	Модель устройства ЧПУ	Тип зажимного устройства	Время $T_{п-з}$ (мин) при числе режущих инструментов в наладке											
			1	2	3	4	5	6	7	8	10	12		
PT725Ф3	"Контур 2ПТ-71"	КП-П ОП-П	25,1 11,3	26,9 13,1	28,7 14,9	30,5 16,7	32,3 18,5	34,1 20,3	-	-	-	-	-	
	ЭМ-907	КП-П ОП-П	18,9 5,1	20,7 6,9	22,5 8,7	24,3 10,5	26,1 12,3	27,9 14,1	-	-	-	-	-	
АТПр-2М12	"Салют-2Д"	КП-Г О-Г	-	15,9 2,9	-	16,3 3,3	-	16,7 3,7	-	17,1 4,1	17,5 4,5	17,9 4,9	-	
1П752МФ3	ЭМ-907 Н22-1М	КП-П ИП, ТП	-	20,7	-	23,1	-	25,5	-	27,9	-	-	-	
			-	6,4	-	8,8	-	11,2	-	13,6	-	-		
1734Ф3	Н55-1	КП-Г	9,8	10,3	10,8	11,3	11,8	12,3	12,8	13,3	-	-	-	
16К20Ф3	"Контур 2ПТ-71"	КП-У, ИП, ТП	9,1	9,7	10,3	10,9	11,5	12,1	-	-	-	-	-	
			ЭМ-907 Н22-1М	КП-У, ИП, ТП	4,4	5,0	5,6	6,2	6,8	7,4	-	-	-	-
16К30Ф3	ЭМ-907 Н22-1М	КП-П КП-У, ИП, ТП	20,0	21,8	23,6	25,4	-	-	-	-	-	-	-	
			5,7	7,5	9,3	11,1	-	-	-	-	-	-	-	
16Б16Ф3	ЭМ-907 Н22-1М	КП-П ИП, ТП	17,5 4,5	18,2 5,2	18,9 5,9	19,6 6,6	-	-	-	-	-	-	-	
1Б732Ф3	Н22-1М У22-1	ИП, ТП	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	-	-	-	-	-	
1713Ф3 1713ТФ3	"Контур 2ПТ-71"	КП-У ИП, ТП	10,0	11,5	13,0	14,5	-	-	-	-	-	-	-	
1713Ф3 1713ТФ3	Н22-1М	КП-У ИП, ТП	5,5 5,0	7,0 6,0	8,5 7,0	10,0 8,0	-	-	-	-	-	-	-	

¹ В комплекс приемов входят: наладка зажимного приспособления (смена кулачков патронов с приводом) – 6,5 – 7,3 мин; растачивание кулачков – 6,5 – 7,0 мин; замена одного инструментального блока (вставки) – 0,2 – 1,8 мин; настройка нулевого положения каретки и суппорта – 1,3 – 3 мин (для ЧПУ "Контур 2ПТ-71" – 6,0 – 7,0 мин); установка программносителя (перфоленты) в УЧПУ – 0,5 мин; ускоренная отработка программносителя в холостом режиме – 0,3 – 0,5 мин (для "Контур 2ПТ-71" и "Салют-2Д" – 2,0 мин).

Примечание. Трехкулачковые патроны КП: П – пневматические; Г – гидравлический приводы; У – универсальный; ИП – инерционный (саможимной) патрон; ТП – торцовый поводковый патрон (закрепление поджимом задней бабкой).

Продолжение табл. 19

Время $T_{п-3}$ (мин) пробной обработки деталей на токарных станках с ЧПУ

Число режущих инструментов в наладке	Число измеряемых по диаметру поверхностей												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Детали низкой точности^{*1}													
1	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	3,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Детали точные^{*2}													
1	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4,3	5,1	5,9	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5,9	6,6	7,4	8,2	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-
4	7,5	8,2	8,9	9,7	10,5	11,3	12,1	-	-	-	-	-	-
5	9,1	9,8	10,5	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4	15,2	16,0	-	-	-
6	-	11,4	12,1	12,8	13,5	14,3	15,1	15,9	16,7	17,5	18,3	-	-
7	-	-	13,7	14,4	15,2	15,9	16,7	17,5	18,3	19,1	19,9	20,7	-
8	-	-	15,3	16,0	16,7	17,4	18,1	18,9	19,7	20,5	21,3	22,1	23,9

*1 Отсутствуют поверхности с допусками на диаметры свыше 11-го качества, резьбовые поверхности и канавки; число измеряемых поверхностей принимать равным числу резцов.

*2 При наличии поверхностей с допусками на диаметры свыше 11-го качества, резьбовых поверхностей и канавок; поверхности с допусками на диаметры до 11-го качества в расчет не принимать; число канавок принимать равным числу канавочных резцов.

Примечания: 1. См. "Нормативы времени на наладку станков с ЧПУ. Токарные станки". НПО Оргстанкинпром, Рязанский филиал. М., 1978.

2. Время пробной обработки деталей $T_{п-3} = t_{п-3} + t_{п.у}$, где $t_{п-3}$ – элемент времени, определяемый по таблице; $t_{п.у}$ – время работы станка по программе.

3. Данные, приведенные в таблице, относятся к станкам 16Б16Ф3, 1713ТФ3, РТ725Ф3, 16К20Ф3, 1734Ф3, АТПр-2М12.

4. Число режущего инструмента в наладке принимают без учета осевого инструмента.

5. При подсчете числа измеряемых поверхностей учитывают только поверхности вращения с контролем диаметра; торцовые поверхности не учитывают.

Продолжение табл. 19

Время $T_{п-2}$ на дополнительные приемы, не включенные в комплекс $T_{п-3}$ и выполняемые в отдельных случаях (при необходимости)

Дополнительные приемы	Время, мин
Получить наряд, технологическую документацию; ознакомиться с чертежом, технологической документацией, осмотреть заготовки	4
Инструктаж мастера	2
Получить инструмент, необходимый для наладки, на партию деталей	7
Разложить и убрать инструмент, необходимый для наладки, на партию деталей	2
Заменить зажимное приспособление: трехкулачковый патрон на оправку: с пневмоприводом с гидроприводом трехкулачковый патрон с пневмоприводом и универсальный на инерционный патрон (для станков 16Б16Ф3, 1713Ф3, 1713ТФ3) инерционный патрон на торцовый патрон	7 6,5 10 (5 – 6) 7,5
Для станков с патроном, имеющим механизированный привод (РТ725Ф3, АТПр-2М12, 1П752МФ2, 1734Ф3, 16К30Ф3) в случае растачивания закаленных кулачков необходимо к времени комплекса приемов добавить	2
При работе с патроном, кулачки которого не растачивают, из $T_{п-3}$ следует вычесть время на растачивание кулачков (для станков 1734Ф3, 16К30Ф3)	6,5 (7)
Для станков с универсальным трехкулачковым патроном в время $T_{п-2}$ (оно не учтено в $T_{п-3}$) включить время растачивания кулачков: не закаленных закаленных	5 7
Отрегулировать диаметр кулачков рукояткой (для станка 1734Ф3) Заменить кулачки патрона (для станка 1734Ф3)	1 7,3
Переустановить кулачки инерционного патрона (для станка 1Б732Ф3) Заменить торцовый упор в патроне	2,5 (3,5) 2
Сместить заднюю бабку у станков: 16К20Ф3, 16Б16Ф3 16К30Ф3 1Б732Ф3 1713Ф3, 1713ТФ3	0,2 2,3 5,4 6,0
Сменить задний центр (для станка 1Б732Ф3)	0,2 – 0,3 (0,5)
Заменить инструментальный блок на блок с осевым или расточным инструментом (для станка 16К20Ф3)	2
Настроить диапазон частот вращения шпинделя заменой зубчатых колес для станков: АТПр-2М12 1734Ф3, 1713Ф3, 1713ТФ3	2,5 3

20. Нормативы подготовительно-заключительного времени на станки сверльно-расточной группы с ЧПУ

Время $T_{п-з1}$ (мин) на приемы, вошедшие в комплекс

Способ установки заготовки	Способ настройки нулевого положения	Модель устройства ЧПУ									
		2Р135Ф2	2Р118Ф2	2М55Ф2, 2Н55Ф2	243ВМФ2, 245ВМФ2	2Д450АФ2, 2Д450ПР	2620ВФ1, 2А620ГФ1, 2622ВФ1, 2622ГФ1, 2620ГФ1	2611Ф2	2611МФ2	2А622Ф2, 2А620Ф2	2636ГФ2, 2637ГФ2
		"Коор-дината С-70"	"Коор-дината С-68"	"Коор-дината С-70"	"Размер-2М"	ПЗ2-3А	УПУ-13М	"Размер-2М"	ПЗ2-3В	"Размер-2М"	
В универсальном приспособлении: на столе болтами и планками на координатной плите В самоцентрирующем патроне, в тисках, УСП, специальном приспособлении. С установкой приспособления: вручную краном	БП	8,5	10	8,5	8,5	6	6,8	8,2	8,3	-	
	ЦП	10	11,5	10	9,5	8,5	9,8	9,7	11,3	-	
	БП	11	12,5	11	11,5	13	-	-	-	11,0	
	ЦП	12,5	14	12,5	12,5	13,5	-	-	-	13,5	

Продолжение табл. 20

Способ установки заготовки	Способ настройки нулевого положения	Модель устройства ЧПУ									
		2Р135Ф2	2Р118Ф2	2М55Ф2, 2Н55Ф2	243ВМФ2, 245ВМФ2	2Д450АФ2, 2Д450ПР	2620ВФ1, 2А620ГФ1, 2622ВФ1, 2622ГФ1, 2620ГФ1	2611Ф2	2611МФ2	2А622Ф2, 2А620Ф2	2636ГФ2, 2637ГФ2
		"Коор-дината С-70"	"Коор-дината С-68"	"Коор-дината С-70"	"Размер-2М"	ПЗ2-3А	УПУ-13М	"Размер-2М"	ПЗ2-3В	"Размер-2М"	
Без установки приспособления В специальном приспособлении с установкой приспособления: вручную краном Без установки приспособления	БП	4,5	6	4,5	4,5	6	-	-	-	-	
	ЦП	6	7,5	6	5,5	6,5	-	-	-	-	
	БП	-	-	-	-	-	8	8,7	9,5	12,5	
	ЦП	-	-	-	-	-	11	10,2	12,5	15,0	
	БП	-	-	-	-	-	11	11,2	12,5	15,5	
	ЦП	-	-	-	-	-	14	12,7	15,5	18,0	
	БП	-	-	-	-	-	2	4,2	3,5	5,0	
	ЦП	-	-	-	-	-	5	5,7	6,5	7,5	

Примечания: 1. Способ настройки нулевого положения: БП – по боковой поверхности; ЦП – по цилиндрической (отверстия) поверхности.

2. В комплекс приемов входят: установка и снятие зажимного приспособления (для болтов, плашек – 2 – 6 мин; ручную – 4 – 7,5 мин; краном – 6,5 – 10,5 мин); настройка нулевого положения (по одной БП – 1 – 1,5 мин; по двум БП – 1,5 – 3,5 мин; отверстию – 2,5 – 4 мин); перемещение стола, бабки или шпинделя в зону, удобную для наладки, – 0,5 – 1,5 мин; набор информации на штекерной панели – 1 мин (для УЧПУ "Координата С-68"); установка перфоленты в считывающее устройство и снятие ее – 0,5 – 1 мин; ускоренная проверка работоспособности считывающего устройства и перфоленты – 1,0 – 2,5 мин.

Продолжение табл. 20

Время T_{n-2} на дополнительные приемы, не включенные в комплекс и выполняемые в отдельных случаях (при необходимости)

Дополнительные приемы	Время, мин
Получить и сдать наряд, технологическую документацию	2
Ознакомиться с чертежом, технологической документацией, осмотреть заготовки (при сложности обрабатываемой детали – простая – средняя – сложная)	1,5 – 2 – 3
Инструктаж мастера при сложности обрабатываемой детали простая – средняя – сложная	1 – 1,5 – 2
Получить и сдать приспособление и инструмент, необходимые для наладки на партию деталей: до 4 (до 6) шт. для станков 2P135Ф2, 2P118Ф2 до 8 (до 15) шт. для станков 2M55Ф2, 2H55Ф2 до 20 (до 30) шт. для других станков	3 (5) 5 (7) 5 (7)
Разложить и убрать инструмент, необходимый для наладки на партию деталей	2
Повернуть стол (для расточных станков) на угол 90° (180°)	0,25 – 0,6 (0,4 – 0,8)
Подключить приспособление к пневмо- или гидросети	2
Отрегулировать (переустановить) кулачки патрона, губки тисков	1 (2)
Переналадить УСП на другую деталь	2 – 3
Переналадить координатную плиту на другую деталь	2
Установить и снять дополнительный упор для ориентации детали	1
Наладить резьбонарезное приспособление для станков 2P135Ф2, 2P118Ф2	3
Сменить один режущий инструмент в ячейке инструментального магазина (револьверной головки)	0,3 – 0,4 (0,3)
Наладить один режущий инструмент по оси	1
Переместить путевой конечный переключатель для станков 2P135Ф2, 2P118Ф2	0,5
Установить (и снять) один режущий инструмент в инструментальную стойку	0,2
Установить (и снять) резцедержатель на планшайбу с постановкой и креплением резца	5 – 6
Настроить нулевое положение на вторую плоскую поверхность по поверхности (по отверстию)	0,7 – 1 (2,5 – 4)
Настроить сменные колеса для нарезания резьбы для станков 2A622Ф2, 2A620Ф2	5

Примечания: 1. См. "Нормативы времени на наладку станков с ЧПУ. Станки сверлильно-расточной группы". НПО Оргстанкинпром, Рязанский филиал. М.: НИИМаш, 1978.

2. Нормативы соответствуют условиям мелкосерийного и серийного производства. Они могут быть использованы для аналогичных станков, не указанных в таблице, путем сравнения признаков, влияющих на время наладки.

3. При совершенствовании станков и устройств ЧПУ к нормативам могут быть установлены понижающие поправочные коэффициенты.

Продолжение табл. 20

Время T_{n-3} (мин) пробной обработки деталей на расточных станках с ЧПУ

Диаметр отверстия, мм	2620ВФ1, 2620ГФ1, 2А620, 2622ВФ1, 2622ГФ1			2611Ф2, 2611МФ2, 2Д450АФ2, 243ВМФ2, 245ВМФ2			2Б622МФ2, 2А622Ф2, 2А620Ф2			2636ГФ2, 2637ГФ2		
	Число групп отверстий									1	2	3
Материал деталей – серый чугун. Обработка отверстия до 8 – 9-го квалитетов												
40 – 60	2,6	5,2	7,8	3,2	6,4	9,6	3,6	7,2	10,8	4,2	8,4	12,6
61 – 80	2,6	5,3	8,0	3,2	6,5	9,8	3,6	7,3	11,0	4,2	8,5	12,8
81 – 100	2,7	5,4	8,0	3,3	6,6	10,0	3,7	7,4	11,0	4,3	8,6	12,9
101 – 150	2,9	5,7	8,6	3,5	6,9	10,4	3,9	7,7	11,6	4,5	9,0	13,4
151 – 220	3,1	6,0	9,2	3,7	7,3	11,0	4,1	8,0	12,2	4,7	9,3	14,0
221 – 250	3,2	6,4	9,6	3,8	7,6	11,4	4,2	8,4	12,6	4,8	9,6	14,4
Обработка отверстия до 7-го квалитета												
40 – 60	5,3	10,5	15,8	6,45	13,0	19,4	7,3	14,5	21,8	8,5	17,0	25,4
61 – 80	5,4	10,8	16,2	6,6	13,2	19,8	7,4	14,8	22,2	8,6	17,2	25,8
81 – 100	5,6	11,2	16,8	6,8	13,6	20,4	7,6	15,2	22,8	8,8	17,6	26,4
101 – 150	6,0	11,8	17,7	7,0	14,2	21,3	8,0	15,8	23,7	9,0	18,2	27,3
151 – 220	6,4	12,8	19,2	7,6	15,2	22,8	8,4	16,8	25,2	9,6	19,2	28,8
221 – 250	7,0	13,8	20,7	8,0	16,2	24,3	9,0	17,8	26,7	10,0	20,2	30,3
Материал деталей – сталь. Обработка отверстия до 8 – 9-го квалитетов												
40 – 60	2,5	5,0	7,5	3,1	6,2	9,3	3,5	7,0	10,5	4,0	8,2	12,3
61 – 80	2,6	5,1	7,6	3,2	6,3	9,5	3,5	7,0	10,7	4,2	8,3	12,5
81 – 100	2,6	5,2	7,8	3,2	6,4	9,6	3,6	7,2	10,8	4,2	8,4	12,6
101 – 150	2,7	5,3	8,0	3,3	6,5	9,8	3,7	7,3	11,0	4,3	8,5	12,8
151 – 220	2,8	5,6	8,4	3,4	6,8	10,2	3,8	7,6	11,4	4,4	8,8	13,2
221 – 250	2,9	5,8	8,7	3,5	7,0	10,5	3,9	7,8	11,7	4,5	9,0	13,5
Обработка отверстия до 7-го квалитета												
40 – 60	5,0	10,0	15,0	6,2	12,4	18,6	7,0	14,0	21,0	8,2	16,4	24,6
61 – 80	5,0	10,2	15,3	6,3	12,6	19,0	7,0	14,2	21,3	8,3	16,6	25,0
81 – 100	5,2	10,4	15,6	6,4	12,8	19,2	7,2	14,4	21,6	8,4	16,8	25,2
101 – 150	5,4	10,7	16,0	6,6	13,0	19,7	7,4	14,7	22,0	8,6	17,0	25,7
151 – 220	5,6	11,2	16,8	6,8	13,6	20,4	7,6	15,2	22,8	8,8	17,6	26,4
221 – 250	5,8	11,6	17,4	7,0	14,0	21,0	7,8	15,6	23,4	9,0	18,0	27,0
Время установки n инструментов на длину обработки, мин	–			0,9 n			1,1 n			1,3 n		

Примечания: 1. T_{n-3} характеризует затраты времени на установку резцов на размер по методу пробных ходов и измерений (со снятием пробных стружек). При числе групп отверстий больше указанных в таблице время для одной группы умножить на число групп; при этом погрешность определения T_{n-3} по сравнению с нормативами – не более 1 – 5 %.

2. В комплекс приемов при пробной обработке деталей входят: отработка перемещения на ось отверстия и подвод инструмента к заготовке; установление режима обработки; обработка отверстия по методу пробных ходов и измерения размеров нутромером; вычисление и ввод коррекции микрометрическим регулированием; подвод инструмента к детали. При обработке глухого ступенчатого отверстия измеряют действительное положение инструмента по оси Z, вычисляют и вводят коррекцию по показателю цифровой индикации.

3. Группа отверстий – одно или несколько отверстий одинакового диаметра, растачиваемых одним и тем же инструментом. Время пробной обработки отверстий на сверлильных станках с ЧПУ 2P135Ф2, 2P118Ф2, 2M55Ф2, 2H55Ф2

$$T_{n-3} = nT_{n-3}(1),$$

где n – число инструментов, обрабатывающих ступенчатые или глухие отверстия (инструмент, работающий на проход, не учитывать); $T_{n-3}(1) = 1,4$ мин – время пробной обработки деталей одним инструментом.

21. Нормативы подготовительно-заключительного времени для станков с ЧПУ фрезерной группы

Время $T_{пз1}$ (мин) на приемы, вошедшие в комплекс

Способ установки заготовки	Способ настройки нулевого положения	Модель устройства ЧПУ						6М610Ф2	6М610Ф3
		6520Ф3	6М11Ф3, 6Р11Ф3	6Н13Ф3, 6Р13Ф3, 6Р13РФ3	654Ф3, 654РФ3	6904ВМФ2, 6906ВМФ2	6305Ф4, 6305МФ4		
		НЗ31	"Контур ЗП-68"	НЗ3-1М	НЗ3-2М	"Размер- 2М"	НЗ5-1		
В универсальном приспособлении: на столе с использованием болтов и планок на координатной плите в тисках в патроне В специальном приспособлении УСП с установкой приспособления: вручную	БП	10,5	12,5	13	13,5	-	-	16,5-17,5 ²	18-19 ²
	ЦП	11,5	13,5	14	14,5	-	-	18,5	20
	БП	16,5	20,5	21	22,5	-	-	-	-
	БП	9,5	11	11	11,5	-	-	-	-
	ЦП	10,5	12	12	12,5	-	-	-	-
	БП	8,5	10	10	10,5	-	-	-	-
	ЦП	9,5	11	11	11,5	-	-	-	-
	БП	11,5	14,5	16	16,5	11,5	12,5	19,5-20,5 ²	21-22 ²
	ЦП	12,5	15,5	17	17,5	-	-	21,5	23

Продолжение табл. 21

Способ установки заготовки	Способ настройки нулевого положения	Модель устройства ЧПУ						6М610Ф2	6М610Ф3
		6520Ф3	6М11Ф3, 6Р11Ф3	6Н13Ф3, 6Р13Ф3, 6Р13РФ3	654Ф3, 654РФ3	6904ВМФ2, 6906ВМФ2	6305Ф4, 6305МФ4		
		НЗ31	"Контур ЗП-68"	НЗ3-1М	НЗ3-2М	"Размер- 2М"	НЗ5-1		
краном	БП	-	17,5	19	19,5	-	-	24,5-25,5 ²	26-27 ²
	ЦП	-	18,5	20	20,5	-	-	26,5	28
	-	3,5	5	4	4	4,5	13,5	4,5	5

¹ При групповой обработке предусматривается не смена, а переналадка приспособления.² Для станков 6М610Ф2 и 6М610Ф3 указано время при наладке с использованием центра - оправки.

Примечания: 1. Способы настройки нулевого положения обозначены: БП - по боковой поверхности, ЦП - по цилиндрической поверхности (отверстие).

2. Нормативы приведены для используемых в мелкосерийном и серийном производстве станков с ЧПУ: вертикально-фрезерных 6520Ф3, 6М11Ф3, 6Р11Ф3, 6Н13Ф3, 6Р13Ф3, 654Ф3, 654РФ3, горизонтальных фрезерно-сверильно-расточных 6904ВМФ2, 6906ВМФ2, горизонтально-фрезерных 6305Ф4, 6305МФ4, продольно-фрезерно-расточных 6М610Ф2, 6М610Ф3.

3. В комплект приемов входят: установка и снятие зажимного приспособления (болты, планки - 4 - 7 мин; координатная плита - 10 - 15 мин; тиски - 3 - 4 мин; патрон - 2 - 3 мин; приспособления (вручную) 5 - 10 мин; приспособления (краном) - 10 - 15 мин]; настройка нулевого положения (по БП центром - 2,5 - 6 мин; по БП оправкой для станков 6М610Ф2, 6М610Ф3 - 6 - 7 мин; по ЦП - 3,5 - 8 мин); перемещение стола, бабки или шпинделя в зону, удобную для настройки, - 0,5 - 1 мин; установка (снятие) перфоленты в считывающее устройство - 0,5 - 1 мин; ускоренная проверка работоспособности считывающего устройства и перфоленты 0,5 - 2 мин; разложить и убрать инструмент, необходимый для наладки на партно детали, - 2 мин.

Продолжение табл. 21

Время $T_{п-2}$ на дополнительные приемы, не вошедшие в комплекс

Дополнительные приемы		Время, мин
Получить и сдать наряд, технологическую документацию		2
Ознакомиться с чертежом, технологической документацией, осмотреть заготовки (простые – средние – сложные)		1,5 – 2 – 3
Инструктаж мастера при обработке заготовок (простых – средних – сложных)		1 – 1,5 – 2
Получить и сдать приспособления и инструмент, необходимые для наладки:		
на партию до 5 (до 10) шт.		5 (7)
для станков 6904ВМФ2, 6906ВМФ2 на партию до 20 (до 30) шт.		5 (7)
для станков 6305Ф4, 6305МФ4 на партию до 15 (до 24) шт.		5 (7)
для станков 6М610Ф2, 6М610Ф3 на партию до 10 (20) шт.		5 (7)
Подключить приспособление к пневмо- или гидросети		2
Отрегулировать (переставить) кулачки патрона, губки тисков		1 (2)
Переналадить УСП на обработку другой детали		3
Переналадить координатную плиту на другую деталь		2,5
Собрать режущий инструмент с оправкой		2
Установить (снять) оправку с режущим инструментом в инструментальную стойку		0,2
Повернуть стол станков:		
6904ВМФ2, 6906ВМФ2 на 90°		0,12
6305Ф4, 6305МФ4 на 90° (180°)		0,4 (0,6)
Сменить один режущий инструмент в ячейке инструментального магазина (револьверной головки)		0,3 (0,5)

Примечания: 1. См. "Нормативы времени на наладку станков с ЧПУ. Станки фрезерной группы". М.: НИИИМаш, 1980.

2. Нормативы могут быть использованы для других аналогичных станков при сравнении признаков, влияющих на время наладки. При применении более совершенных станков и устройств ЧПУ к нормативам могут быть установлены понижающие поправочные коэффициенты.

Продолжение табл. 21

Время $T_{п-3}$ пробной обработки деталей. Время (мин) на растачивание групп отверстий

Группа станков	Модели станков	Диаметр отверстий, мм	Квалитет обработки отверстий	Число групп отверстий				
				1	2	3	4	5
1	6520Ф3, 6М11Ф3, 6Н13Ф3, 6Р13Ф3, 6Р13РФ3, 654Ф3, 654РФ3, 6Р11Ф3	40 – 120	8; 9	2,7	5,5	8,3	11,1	13,9
				3,0	6,0	9,0	12,0	15,0
2	6904ВМФ2, 6906ВМФ2, 6305Ф4	40 – 220	8; 9	3,7	7,4	11,1	14,8	18,5
				4,0	8,0	12,1	16,0	20,1
3	6М610Ф2, 6М610Ф3	40 – 250	6; 7	5,5	11,0	16,6	22,1	27,6
				6,3	12,6	18,9	25,2	31,5
			8; 9	4,4	8,9	13,4	17,9	22,4
				4,9	9,9	14,9	19,9	24,9
			6; 7	6,5	13,1	19,1	26,1	32,7
				8,4	16,7	25,1	33,4	41,8

Примечания: 1. В числителе приведено время растачивания деталей из стали, в знаменателе – из чугуна.

2. Установка резцов на диаметр при растачивании отверстий – по методу пробных ходов и измерений.

3. Группа отверстий включает одно или несколько отверстий одинакового диаметра, растачиваемых одним и тем же режущим инструментом.

Время установки одного инструмента на длину

Группа станков		1	2	3
Время установки одного инструмента на длину, мин		0,8	1,0	1,2

Время (мин) фрезерования пазов "в разгон" концевыми фрезами

Группа станков	Материал детали	Глубина паза по чертежу (диаметр фрезы), мм	Длина паза, мм									
			До 20	20 - 75	75 - 120	120 - 180	180 - 225	225 - 280	280 - 350	350 - 430	430 - 530	530 - 630
1	Сталь	До 15	4,6	5,2 - 6,8	6,8 - 7,5	8,4 - 9,3	10,6	12,2	14,2	16,5	19,3	22,4
		15 - 40	4,7	5,7 - 7,4	7,4 - 8,3	9,4 - 10,5	12,1	14,0	16,6	19,4	23,0	26,6
		До 15	4,5	4,9 - 6,2	6,2 - 6,8	7,4 - 8,1	9,2	10,4	12,0	13,9	16,1	18,4
2	Сталь	15 - 30	4,5	5,1 - 6,6	6,6 - 7,2	8,0 - 8,8	10,0	11,5	13,3	15,4	18,1	20,8
		30 - 40	4,6	5,3 - 7,2	7,2 - 8,0	9,0 - 10,0	11,5	13,3	15,7	18,3	21,7	25,0
		(До 20)	3,0	3,6	4,1	4,7	5,2	5,8	6,5	7,4	8,5	9,5
3	Сталь, чугун	(21 - 32)	3,0	3,4	3,7	4,2	4,6	5,0	5,5	6,2	7,0	7,7
		(32 - 40)	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,6	5,0	5,5	6,1	6,8
		(До 20)	4,5	5,1	5,9	8,0	8,0	8,0	8,0	8,9	10,0	11,0
	Сталь, чугун	(21 - 32)	4,5	4,9	5,5	6,1	6,1	7,0	7,0	7,7	8,5	9,2
		(32 - 40)	4,4	4,8	5,2 - 5,7	5,2 - 5,7	6,5	6,5	7,0	7,0	7,6	8,3

Примечания: 1. При обработке пазов на станках группы I время определено с учетом двух черновых переходов.

2. Допуски пазов 8; 9 качества.

3. Общие затраты времени на обработку пробной детали равны сумме составляющих времени $T_{\text{в.з.}}$ с учетом числа групп отверстий (по позиции I), числа инструментов, настраиваемых на длину обработки (по позиции II), времени фрезерования пазов (по позиции III).

В нормативы времени на наладку станка не входит время на настройку и сборку блоков и оправок с инструментом, сборку универсально-сборных приспособлений для установки и крепления заготовок при обработке, на разработку программы управления и другие работы. Затраты на эти операции учитывают отдельно, так как их выполняют вне станка.

На станках с оперативной системой управления (ОСУ) время на отладку программы управления (ПУ) имеет существенное значение при оценке эффективности и производительности обработки.

На станках с ОСУ работа оператора более интересная, так как оператор сам может составлять программу. На таких станках возможны следующие варианты разработки ПУ: 1) программу составляет станочник по чертежу детали и вводит в станок с клавиш (область применения - единичное производство, неповторяющиеся партии деталей); 2) программу записывает технолог на специальном бланке, и наладчик вводит ее в станок с клавиш (мелкосерийное производство, небольшие повторяющиеся партии); 3) программу записывают на магнитной ленте и вводят в станок с кассеты внешней памяти (среднесерийное производство, большие повторяющиеся партии деталей).

При работе на токарном станке с ОСУ в $T_{\text{п.з}}$ входят дополнительные элементы по вводу программы с клавиш (около 25 мин), привязке инструмента к системе (около 20 мин) при использовании варианта 1 (для вариантов 2 и 3 предусмотрена наладка инструмента вне станка). Во всех случаях предусматривают проверку ПУ в по кадровом режиме - 10 мин, установку кассеты - 2 мин. Так как при разовом заказе учитывается полное время отладки программы (включая составление и редактирование ПУ - около 45 мин), то общее время может быть весьма большим (в данном случае 106 мин). Варианты 2 и 3 обеспечивают сокращение этого времени соответственно в 2 и 3 раза.

Среднестатистические данные по распределению затрат времени (в %) для отдельно расположенных станков с ЧПУ (в скобках - соответственно для автоматизированного участка из станков с ЧПУ) таковы: время работы станка по программе управления $t_{\text{п.у}}$ - 40 (62); вспомогательное время, связанное с установкой, снятием и контролем детали, - 8,5 (10); время на обслуживание рабочего места и личные потребности - 14,5 (5); подготовительно-

заключительное время - 17 (8); планируемые потери - 20 (15). Так как $t_{\text{п.у}}$ может быть установлено измерением длительности работы станка от ПУ (без обработки детали), то по приведенным данным можно укрупненно оценить $T_{\text{шт}}$ или $T_{\text{шт.к}}$. Например, для автоматизированного участка из станков с ЧПУ $T_{\text{шт.к}} = 1,37t_{\text{п.у}}$.

Время на организационное и техническое обслуживание рабочего места $t_{\text{орг.л}}$ при пользовании нормативами по табл. 12 - 19 определяют в процентах от оперативного времени. При обработке на токарных станках с ЧПУ с наибольшим диаметром детали, устанавливаемой над станиной станка, до 400 мм - 10 (7) %; свыше 400 мм - 12 (8) %; при обработке на фрезерных станках с ЧПУ с длиной стола L до 1200; 2000 мм - 10 (7) %; 3000; 6000 мм - 12 (8) % 10000; 15000; 30000 мм - 15 (10) %. Если производственной инструкцией предусмотрен предварительный нагрев станка на холостом ходу, к указанным значениям следует добавить 2 %. Если время на уход за рабочим местом и время на личные потребности перекрываются временем работы по программе, то принимают значения, указанные в скобках.

Время $t_{\text{орг.л}}$ расходуется на раскладку инструмента в начале работы и уборку его в конце смены; осмотр и опробование станка в процессе работы; регулирование и подналадку станка; уход за рабочим местом в течение смены; смену инструмента вследствие его затупления; смазывание и чистку станка; уборку станка и рабочего места в конце смены; получение инструктажа в течение смены; время на личные потребности.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ И В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Основные требования к эксплуатации станков с ЧПУ, обеспечивающие их эффективное использование

Эффективность технологических систем определяют три фактора: качество выпускаемой продукции, производительность, число рабочих, занятых в производстве. Широкие перспективы повышения эффективности производства открылись в связи с внедрением в

машиностроении станков с ЧПУ и гибких производственных систем.

Основными преимуществами станков с ЧПУ по сравнению с универсальными станками с ручным управлением являются: повышение точности обработки; обеспечение взаимозаменяемости деталей в серийном и мелкосерийном производстве, сокращение или полная ликвидация разметочных и слесарно-притирочных работ, простота и малое время переналадки; концентрация переходов обработки на одном станке, что приводит к сокращению затрат времени на установку заготовки, сокращению числа операций, оборотных средств в незавершенном производстве, затрат времени и средств на транспортирование и контроль деталей; сокращение цикла подготовки производства новых изделий и сроков их поставки; обеспечение высокой точности обработки деталей, так как процесс обработки не зависит от навыков и интуиции оператора; уменьшение брака по вине рабочего; повышение производительности станка в результате оптимизации технологических параметров, автоматизации всех перемещений; возможность использования менее квалифицированной рабочей силы и сокращение потребности в квалифицированной рабочей силе; возможность многостаночного обслуживания; уменьшение парка станков, так как один станок с ЧПУ заменяет несколько станков с ручным управлением.

Применение станков с ЧПУ позволяет решить ряд социальных задач: улучшить условия труда рабочих-станочников, значительно уменьшить долю тяжелого ручного труда, изменить состав работников механообрабатывающих цехов, сделать менее острой проблему нехватки рабочей силы и т.д.

Стоимость станков с ЧПУ значительно превышает стоимость станков с ручным управлением. Кроме того, возникают дополнительные затраты на подготовку программ управления, наладку инструмента вне станка, обслуживание механизмов станка и устройств ЧПУ. В условиях применения сложного, дорогостоящего оборудования необходимо более тщательно выполнять технологические разработки, выбирать режущий и вспомогательный инструмент, более полно использовать технологические возможности станка, правильно выбирать модель станка и номенклатуру обрабатываемых на нем деталей.

На основе обобщения опыта эксплуатации станков с ЧПУ установлено¹, что если при их внедрении штучное время сокращается на 50 % по сравнению с обработкой на станках с ручным управлением, то, несмотря на дополнительные затраты, обеспечивается общее сокращение расходов. Наибольший экономический эффект дает обработка деталей на станках с ЧПУ, изготовление которых на станках с ручным управлением связано с использованием дорогостоящей технологической оснастки (кондукторов, копиров, фасонных режущих инструментов и т.д.), большими затратами времени на наладку технологической системы по сравнению с оперативным временем.

На станках с ЧПУ целесообразно изготавливать детали сложной конфигурации, при обработке которых необходимо одновременное перемещение рабочих органов станка по нескольким осям координат (контурная обработка), детали с большим числом переходов обработки (эффект обеспечивается в том числе из-за уменьшения брака). На станках с ЧПУ достаточно легко и с меньшими затратами можно откорректировать программу управления, поэтому на этом оборудовании можно изготавливать детали, конструкция которых часто меняется, причем на станках могут работать операторы более низкой квалификации, чем на универсальных станках с ручным управлением.

Для станков с ЧПУ разработаны рекомендации по повышению эффективности их использования, учитывающие особенности конструкции станков и устройств ЧПУ. Наиболее общие рекомендации таковы: целесообразно применять многоместные приспособления, обеспечивающие обработку нескольких одинаковых или разных по конструкции деталей (особенно это важно при использовании ГПС, так как на приспособлении могут быть закреплены и изготовлены за один цикл комплекты деталей для одного изделия). На станках с ЧПУ следует применять промежуточные плиты с точно обработанными отверстиями или пазами, что сокращает время наладки и переналадки оборудования на новую деталь; кроме того, это предохраняет от изнашивания рабочие поверхности стола и т.д. Учет времени позиционирования, смены инструмента, поворота стола

¹ Методические рекомендации МР-040-48-82 "Основные технические направления по проектированию автоматизированных технологических комплексов механической обработки деталей". НПО Оргстанкипром. М., 1983.

позволяет правильно назначить последовательность обработки отверстий (с учетом реальных затрат времени одним инструментом обрабатывают ряд отверстий одного диаметра, или каждое отверстие обрабатывают полностью со сменой инструмента). Рекомендуется, когда это возможно, вначале выполнять переходы, требующие наибольшей частоты вращения шпинделя (например, вначале целесообразно сверлить отверстие малого, а затем большого диаметра); следует избегать частых скачкообразных изменений частот вращения шпинделя.

Так как станки с ЧПУ дороги, то следует, по возможности, использовать самые совершенные инструменты и назначать интенсивные режимы обработки. Целесообразно применять инструменты со сменными пластинами с покрытием (в том числе и для сверления и развертывания), инструмент, оснащенный композитами. Комбинированный инструмент позволяет уменьшить затраты времени на смену, позиционирование стола и т.д., кроме того, при этом уменьшается число инструментов, необходимых для обработки детали, и необходимое число гнезд в инструментальном магазине.

На станках с ЧПУ следует использовать инструмент точного исполнения, небольшой длины, так как при этом выше режим обработки, точность, стойкость и надежность инструмента. Весь инструмент необходимо налаживать вне станка. На станке следует иметь устройство для контроля состояния режущей кромки, фиксации времени работы с указанием момента смены инструмента. Состояние инструмента, используемого на финишных переходах, необходимо контролировать с целью оперативной его подналадки в процессе обработки; с этой же целью можно контролировать точность обработки детали.

В некоторых случаях целесообразно применять многшпиндельные приспособления и головки или столы, позволяющие, например, на станке с горизонтальным шпинделем обрабатывать поверхности, расположенные произвольным образом относительно основной базы детали.

Общая рекомендация при использовании станков с ЧПУ – нельзя экономить время на технологические разработки, выбор оптимальных режимов резания, технологической оснастки. Широкое применение современных высококачественных инструментов, разнообразных приспособлений, устройств контроля, диагностики, автоматической загрузки станков

позволяет существенно повысить эффективность использования станков с ЧПУ.

Эффективность работы станков с ЧПУ может быть обеспечена только при применении рациональной системы технического обслуживания¹. В течение месяца после сдачи в эксплуатацию станок с ЧПУ должен работать со средней нагрузкой и на средних частотах вращения и подачах. Примерно через 200 ч работы следует остановить станок и, произведя его осмотр и промывку, заполнить все резервуары, картеры и индивидуальные смазочные точки свежим смазочным материалом. С этого момента станки с ЧПУ обслуживаются по графику.

Сохранение первоначальной точности станков с ЧПУ требует их периодического регулирования. Профилактическое регулирование выполняется по данным ежедневных и периодических осмотров и проверок геометрической и кинематической точности станков с ЧПУ в работе. Конструктивные решения, обеспечивающие сохранение точности, различны. Обычно в конструкции предусмотрены следующие регулировки, определяющие точность станков: восстановление прямолинейности перемещений столов, кареток, суппортов, салазок, траверс и шпиндельных бабок; устранение зазоров в салазках и столах; компенсация зазоров в цепях, связывающих движение шпинделя с перемещениями стола; устранение осевого и радиального биений шпинделей; устранение зазоров в винтовых парах и т.д.

Надзор за соблюдением правил эксплуатации и состоянием станков и устройств ЧПУ должен возлагаться на мастеров цехов, работников отдела главного механика и др.

Проверку точности станков классов П, В, А в комплекте с УЧПУ в работе, а также геометрической и кинематической точности станков, зависящей от узлов, поддающихся регулированию, рекомендуется проводить при плановых осмотрах станков, но не реже, чем через 1200 ч оперативного времени работы для станков с ЧПУ классов точности П и В, через 810 ч – для станков класса А. Так как точное определение оперативного времени достаточно сложно, то в качестве времени, практически отработанного станками с ЧПУ, принимают время потребления электроэнергии. С доста-

¹ "Рациональная система технического обслуживания и ремонта станков с устройствами ЧПУ", ЭНИМС, М.: НИИмаш, 1979.

точной для практики точностью вспомогательное время принимают в среднем равным 20 % времени работы по управляющим программам. Этот процент возрастает с увеличением массы обрабатываемой детали и для каждого типоразмера станка может быть уточнен хронометражом.

Большую часть операций планового технического обслуживания станков с ЧПУ выполняют без простоев, в нерабочие смены и праздничные дни.

Гибкие производственные системы (ГПС) предназначены для обработки корпусных деталей, деталей типа плит и т.п., в основном на станках с ЧПУ. Поэтому ГПС свойственны преимущества этих станков. Кроме того, выявляются дополнительные преимущества.

В ГПС стремятся использовать программное обеспечение общего, широкого назначения, которое могло бы изменяться в зависимости от производственного процесса. Такой подход позволяет уменьшить затраты на создание новых ГПС и сократить их стоимость. Стоимость программного обеспечения и всего комплекса АСУ ГПС составляет 12 – 20 % общей стоимости системы. Программное обеспечение может тиражироваться и полностью использоваться вновь при переходе к новым производственным задачам. Работоспособность такого программного обеспечения выше, чем создаваемого вновь.

В ГПС создается возможность оптимизации маршрута обработки деталей средствами вычислительной техники; можно рационально сочетать одно- и многоинструментальную обработку, вести обработку смешанных партий в зависимости от требований сборочного участка. По средним данным по внедренным ГПС затраты штучного времени сокращаются на 10 %, коэффициент использования станков увеличивается на 30 %, время на подготовку производства уменьшается на 40 %. Некоторые данные по эффективности ГПС механической обработки приведены в табл. 22.

Преимущества ГПС: 1) уменьшаются затраты на внесение изменений в производство, что приводит: к сокращению времени подготовки производства в среднем на 50 %, а в отдельных случаях на 75 %; к сокращению срока освоения новой продукции, что особенно важно в связи с тенденцией быстрой сменяемости продукции; к возможности вносить изменения в конструкцию выпускаемых изделий без остановки производства, что обеспечивает удовлетворение спроса вследствие модернизации и

постоянного обновления продукции; к сокращению времени переналадки, что делает возможным обрабатывать отдельные детали (т.е. группу из одной штуки); к уменьшению наименования и числа режущего инструмента; к сокращению необходимых станков (на 20 – 50 %); к упрощению конструкции приспособлений и сокращению времени установки заготовок на станке; к увеличению производственных мощностей путем высвобождения станков, оснастки и возможности постепенного наращивания производственных мощностей добавлением других модулей; к сокращению производственных площадей на 30 – 40 % и вспомогательных площадей на 75 %;

2) повышается производительность труда на всех стадиях проектирования, технологической подготовки, обработки, сборки, контроля и во вспомогательных производствах (при складировании, транспортировании деталей и заготовок); сокращается время цикла обработки каждой детали вследствие автоматизации установки и снятия заготовок (затраты времени уменьшаются до 5 с), смены режущего инструмента (до 3 с), автоматического слежения за стойкостью режущего инструмента и своевременной смены его; обеспечивается работа в автоматическом режиме с ограниченным участием оператора, что создает возможность работы в три смены; сокращается численность персонала (до 30 %) и высококвалифицированный физический труд; оператор управляет процессом производства, а не станком.

Все это приводит к увеличению коэффициента использования оборудования до 0,85 – 0,9, повышению сменности работы оборудования, сокращению длительности производственного цикла. Время нахождения детали в производстве в среднем снижается в 30 раз; уменьшаются заделы и запасы в незавершенном производстве; обеспечивается контроль местонахождения каждой детали в режиме реального времени; улучшаются условия управления производством, дисциплина труда и планирование производства.

Себестоимость изготовления детали сокращается в среднем на 10 % в результате уменьшения затрат на технологическую подготовку и вспомогательные работы (складирование, транспортирование, контроль); снижаются расходы на содержание производственных и вспомогательных площадей (расходов на отопление на 30 – 40 %), стоимость заделов (на 70 – 80 %), объем капитальных вложений (на 5 – 10 %).

22. Эффективность ГПС для механической обработки

Наименование ГПС	Число станков с ЧПУ	Техническая характеристика			Технико-экономическая эффективность		
		Выпуск деталей в год		Число обслуживающего персонала (станочников)	Число высвобождаемых		Экономическая эффективность, тыс. руб.
		тыс. шт.	номенклатура, шт.		универсальных станков	станочников	

Участки для обработки тел вращения в условиях мелкосерийного производства (работа в две смены)

АСВ-20	11	70	1200	26 (12)	25	40	360
АСВ-21	10	78	240	24 (10)	28	46	930
АСВ-22	12	58	300	28 (12)	30	48	420
АСВ-25	12	65	150	28 (12)	30	48	460
АСВ-30	8	45	150	22 (10)	22	32	380
АСВ-31	8	48	НД	НД	НД	НД	320
АУ-ДЗВЗ	40	80	300	НД	НД	НД	1100

Участки для обработки корпусных деталей в условиях мелкосерийного производства (работа в две смены)

АСК-10	6	НД	НД	НД	32	40	548
АСК-11	4	НД	НД	НД	НД	НД	140
АСК-20	5	НД	НД	НД	НД	16	292
АСК-30	2	НД	НД	НД	НД	НД	482
П5.06	5	НД	НД	НД	НД	6	124

Линии для обработки тел вращения в условиях мелкосерийного производства (работа в две смены)

АСВР-01	3	НД	НД	НД	5	4	135
АСВР-02	3	НД	НД	НД	НД	4	151
АСВР-06	2	НД	НД	НД	НД	6	125
АСВР-041	2	НД	НД	НД	НД	3	21
АСВР-041Л	2	НД	НД	НД	НД	3	21
АСВР-051	2 + 1	НД	НД	НД	НД	4	125
ЛАС-ЧПУ	2	НД	НД	НД	НД	НД	150

Линии для обработки корпусных деталей в серийном производстве

ЛМ 685	12	НД	НД	НД	НД	НД	62
--------	----	----	----	----	----	----	----

Линии для обработки тел вращения в серийном производстве

ЛКМ В136	11	НД	НД	НД	НД	НД	139,6
----------	----	----	----	----	----	----	-------

Примечания: 1. Участки типа АСК-10, АСК-11, АСК-30 содержат контрольно-измерительные машины и транспортно-накопительные системы. Габариты обрабатываемой детали соответственно для АСК-10, АСК-11, АСК-20, АСК-30 – 750 × 600 × 600, 500 × 500 × 500, 800 × 800 × 630, 3600 × 2200 × 1450 мм.

2. Линия ЛМ 685 предназначена для обработки кулаков сочленения шарниров переднего моста. В общем потоке обрабатываются детали трех типоразмеров; переналадка линии – автоматическая по команде от детали.

3. Линия ЛКМ В136 предназначена для фрезерно-центровой, токарной и шпоночно-фрезерной обработки зубчатых колес двух типоразмеров. Переналадка осуществляется вручную за 5 мин. Обработка проводится партиями.

4. В таблице обозначено: НД – нет данных.

ГПС является мощным средством совершенствования производства и совмещает в себе такие преимущества, как высокую производительность и низкую себестоимость массового производства и мобильность мелкосерийного производства. Недостатки ГПС связаны главным образом с высокой стоимостью. Проблемными остаются правильный выбор приспособлений, отбор деталей для обработки в ГПС, выбор типа и числа режущего инструмента, отвод и уборка стружки, сложность и недостаточная надежность программного управления, недостаток кадров.

Коэффициент загрузки станка

Коэффициент загрузки станка δ равен отношению годового штучно-калькуляционного времени работы станка к эффективному (расчетному) годовому фонду времени его работы. Коэффициент фактической загрузки нового станка с ЧПУ

$$\delta_{\phi} = \frac{\sum T_{шт-к.ф}}{\Phi_{\phi}}$$

где $T_{шт-к.ф}$ – фактическое годовое штучно-калькуляционное время обработки деталей на станке, ч; Φ_{ϕ} – эффективный (расчетный) годовый фонд времени работы станка (оборудования), дифференцированный в зависимости от сменности работы и массы станка, ч.

Для металлорежущих станков с ЧПУ (устанавливаемых отдельно или встраиваемых в автоматизированные комплексы, участки) массой до 10 т (10 – 100 т) при двух сменах работы эффективный годовый фонд (с учетом неизбежных потерь – простоев оборудования в планово-предупредительном ремонте) равен 3935 ч (3850 ч). Расчет эффективности станков с ЧПУ, а также комплексно-автоматизированных участков из станков с ЧПУ производят, исходя из условий их максимального использования во времени, с коэффициентом загрузки $\delta = 0,85$ при работе в две смены.

Фактический коэффициент загрузки с учетом неплановых простоев для ремонта

$$\delta = 0,85(1 - b_n K_{уд}),$$

где 0,85 – расчетный коэффициент загрузки станка; b_n – удельная длительность восстановления работоспособности станка в долях

23. Нормы надежности станков с ЧПУ

Оборудование	Удельная длительность восстановления работоспособности	Время восстановления работоспособности на 100 ч работы по ПУ, ч
Станки с ЧПУ: с револьверной головкой (или одноинструментальные)	0,05–0,07	5–7
	(0,03–0,05)*	(3–5)*
с инструментальным магазином	0,07–0,10	7–10
	(0,05–0,08)*	(5–8)*
Устройства ЧПУ (УЧПУ)	0,005–0,02	0,5–2,0

* В скобках приведены данные по станкам с ЧПУ за исключением УЧПУ, характеризующие простой станка с ЧПУ при неплановом ремонте из-за отказов механических узлов, электро- и гидрооборудования, систем смазывания и охлаждения.

Примечания: 1. Удельная длительность восстановления работоспособности определяется временем, затрачиваемым на обнаружение, поиск причин отказов и устранение отказов, приходящихся на единицу времени безотказной работы, т.е. работы по ПУ.

2. Суммарная наработка станка с ЧПУ определяется временем его работы, суммарная наработка УЧПУ – по времени нахождения во включенном состоянии; поэтому при выработке требований к надежности УЧПУ необходимо обеспечить равенство $b_2 = b_n k_0$, где b_2 и b_n – удельная длительность восстановления работоспособности УЧПУ по времени нахождения его во включенном состоянии (b_2) и по времени его работы по ПУ: k_0 – коэффициент, определяющий отношение времени нахождения УЧПУ во включенном состоянии к времени работы станка с ЧПУ по ПУ.

единицы (табл. 23); $K_{уд}$ – коэффициент, учитывающий удельный вес работы станка с ЧПУ по ПУ в эффективном (расчетном) фонде времени работы станка; при укрупненных расчетах принимают $K_{уд} = 0,4 \dots 0,5$.

Определение числа условно высвобождаемых рабочих при внедрении станков с ЧПУ

При работе на станках с ЧПУ учитывают не только затраты времени, непосредственно связанные с выполнением операции и входящие в $T_{шт}$, но и время на наладку T_n , которая может выполняться либо наладчиками, либо станочниками, а также затраты времени на работы, выполняемые вне станка.

Число условно высвобождаемых рабочих P_n при внедрении станка с ЧПУ

$$P_n = (P_{ст1} + P_{п1}) - (P_{ст2} + P_{п2} + P_{доп}),$$

где P_n – число условно высвобождаемых рабочих в расчете на один станок с ЧПУ; $P_{ст}$ и P_n – соответственно число станочников и наладчиков, приходящихся на один станок, определяемое с учетом суммарного годового штучного времени $\sum T_{шт}$ обработки детали и суммарного годового времени на наладку $\sum T_n$. При этом для вариантов 1 и 2 имеем (время, ч):

$$\sum T_{шт2} = \Phi_{\phi} \delta_2 - \sum T_{н2};$$

$$\sum T_{шт1} = x \sum T_{шт2};$$

$$\sum T_n = \frac{t_n}{60} a_2 S_n, \quad a_2 = \frac{\Phi_{\phi} \delta_2}{P' \frac{T_{шт2}}{60} + \frac{t_{н2}}{60} S_n};$$

$$P_{ст} = \frac{\sum T_{шт}}{\Phi_p d}; \quad P_n = \frac{\sum T_n}{\Phi_p}.$$

Здесь Φ_{ϕ} и Φ_p – соответственно эффективный годовый фонд времени работы оборудования и рабочих (при продолжительности рабочей недели 41 ч и основного ежегодного отпуска 15 рабочих дней $\Phi_p = 1860$ ч); δ_2 – коэффициент загрузки станка с ЧПУ ($\delta_2 = 0,82$); x – коэффициент роста производительности при работе по варианту 2 по сравнению с вариантом 1; t_n – время наладки станка, включающее помимо затрат на наладку и пробную обработку деталей также время на работы организационного характера, входящие в $T_{п.з}$; a – число наименований деталей, обра-

батываемых по варианту 2 в течение года, шт.; P' – годовая выпуск деталей, шт.; S_n – число запусков партий деталей в год; d – число станков, обслуживаемых одним рабочим.

Экономический эффект внедрения оборудования с ЧПУ рассчитывают по годовому выпуску деталей для варианта 2. Поэтому все затраты (в том числе $\sum T_{шт1}$) приведены в сопоставимый вид. Дополнительное число рабочих $P_{доп}$, приходящихся на один станок, определяют с учетом времени, затрачиваемого на подготовку УП, наладку инструмента вне станка, сборку универсальных сборных приспособлений для установки и крепления заготовок, изготовление режущего инструмента сверх обычных нормативов, техническое обслуживание и ремонт устройств ЧПУ. Значение $P_{доп}$ зависит от типа производства, числа эксплуатируемых станков с ЧПУ и т.д. При укрупненных расчетах при работе станка с ЧПУ в две смены с коэффициентом загрузки $\delta_2 = 0,85$ можно принимать $P_{доп} = 0,5$. Если $\delta_2 < 0,85$, то

$$P_{доп} = 0,5 \frac{\sum T_{шт} + T_n}{\delta \Phi_{\phi}}.$$

Занятость оператора (наладчика) на роботизированном технологическом комплексе в течение смены рассчитывают с учетом всей работы, выполняемой им в течение смены.

Активное время работы оператора (наладчика)¹

$$T_a = \frac{1}{60} (T_{з.м} + T_{н.с} + T_{об} + T_k + T_{р.м}).$$

Здесь $T_{з.м} = \frac{t_{з.д} \Phi_{см} \cdot 60}{T_{шт.л}}$; $T_{р.м} = \frac{t_{р.д} \Phi_{см} \cdot 60}{T_{шт.л}}$;

$$T_{н.с} = \frac{T_{н2} \cdot 60}{\Gamma_d K_{см}}; \quad T_k = t_{к.д} n_{к.л} \frac{\Phi_{см} \cdot 60}{T_{шт} K_k};$$

$$T_{об} = P_{н2} K_{о.т.о} \Phi_{см} \cdot 60,$$

¹ Инструкция по оценке экономической эффективности создания и использования автоматических манипуляторов с программным управлением (промышленных роботов). ЭНИМС, М.: НИИмаш, 1983. 102 с.

где $T_{з.м}$ – время загрузки в магазин заготовок в смену; $T_{р.м}$ – время разгрузки в магазин деталей; $T_{н.с}$ – время переналадки оборудования в смену; $T_{об}$ – время технического и организационного обслуживания рабочего места в смену; $t_{з.д}$ – время загрузки в магазин одной заготовки, мин; $\Phi_{см}$ – продолжительность смены, ч (сменный фонд времени); $T_{шт.л}$ – штучное время обработки детали по лимитирующей операции, мин; $T_{н2}$ – время наладки оборудования, входящего в состав ОТК за год, ч; Γ_d – число рабочих дней в году; $K_{см}$ – число смен в сутки; $K_{от.о}$ – коэффициент затрат времени на техническое и организационное обслуживание рабочего места, %; $P_{н2}$ – число станков в комплексе; $t_{к.д}$ – время контроля одной детали; K_k – коэффициент периодичности контроля деталей в смену; $n_{н.п}$ – число проверяемых поверхностей одной детали; $t_{в.д}$ – время выгрузки одной детали из магазина, мин.

Так как кроме перечисленных обязанностей наладчик должен иметь резерв времени на устранение неполадок и наблюдение за работой оборудования, то принимается, что активное время работы наладчика не должно превышать 60 % от его сменного фонда времени.

Эти операции может проводить в течение смены либо один наладчик, либо часть операций (загрузка-разгрузка магазинов), может выполнять транспортный рабочий.

Если все операции выполняет только наладчик, то число единиц оборудования, которое он может обслужить в течение смены,

$$d_{н2} = \frac{\Phi_{см} \cdot 0,6}{T_a}$$

В том случае, когда выполнение операций делится между транспортным рабочим и наладчиком, число единиц оборудования, обслуживаемого одним наладчиком,

$$d_{н2} = \frac{\Phi_{см} \cdot 0,6}{T_a(T_{з.м} + T_{р.м})}$$

Число комплексов, которое может обслужить один транспортный рабочий,

$$d_{т} = \frac{\Phi_{см}}{T_{з.м} + T_{р.м}}$$

Многостаночное обслуживание станков с ЧПУ

Внедрение станков с ЧПУ, особенно оснащенных устройствами для автоматической смены палет, роботизированных технологических комплексов с автоматизацией загрузки станков заготовками создает предпосылки для широкого внедрения многостаночного обслуживания. Имеющиеся нормы по обслуживанию станков оператором и наладчиком приведены в табл. 24 и 25.

Различают циклическое и нециклическое обслуживание группы станков оператором. При циклическом обслуживании оператор последовательно обслуживает станки, обходя их по определенному маршруту. При нециклическом обслуживании оператор обслуживает тот станок, на котором закончилась автоматическая работа по программе управления.

Норма штучного времени при многостаночном обслуживании

$$T_{шт.м} = \frac{T'_{шт}}{d} k_{шт},$$

где $T'_{шт}$ – штучное время при работе оператора на одном станке; d – число станков, обслуживаемых одним оператором; $k_{шт}$ – коэффициент штучного времени, зависящий от числа обслуживаемых станков и учитывающий случаи совпадения остановок станка со временем занятости оператора работой на другом станке, а также учитывающий интенсификацию труда при многостаночном обслуживании (табл. 26).

Штучное время $T'_{шт}$ и оперативное время $t'_{оп}$ при многостаночном обслуживании включают вспомогательное время $t_{вп}$ на переход оператора от одного станка к другому и вспомогательное время $t_{в.нзм}$ на измерения во время технологических пауз (если оно предусмотрено программой).

$$t'_{оп} = t_o + t_{м.в} + t_{вп} + (t_{в.г} + t_{в} + t_{в.нзм})k_{осв}.$$

Здесь $k_{осв}$ – поправочный коэффициент на время выполнения ручных вспомогательных работ, учитывающий степень освоения работы оператором (табл. 27). Вспомогательное время на переходы оператора от станка к станку приведено в табл. 28.

24. Нормы многостаночного обслуживания по группам оборудования

Группа оборудования	Число станков, обслуживаемых одним рабочим в зависимости от типа производства		
	Мелко-серийное	Средне-серийное	Крупно-серийное и массовое
Неавтоматизированные станки широкого применения: токарно-револьверные, токарные, сверлильные, расточные, круглошлифовальные, внутришлифовальные, плоскошлифовальные, продольно-шлифовальные, заточные, фрезерные, строгальные, долбежные, протяжные	1	1	1
Токарные и токарно-револьверные одношпиндельные прутковые автоматы	–	3–4	6–8 ^{*1}
Токарные многошпиндельные горизонтальные прутковые автоматы	–	2–3	4–5 ^{*1}
Токарные многошпиндельные горизонтальные и вертикальные патронные полуавтоматы	–	1–3	1–4
Токарные многолезцовые копируемые полуавтоматы	–	2–3	2–4
Трубо- и муфтообработывающие полуавтоматы	–	2–3	2–3
Токарные доделочные автоматы	–	4–5	4–5
Агрегатно-сверлильные и агрегатно-расточные станки для глубокого сверления и растачивания	1–2	1–2	1–2
Бесцентрово-шлифовальные автоматы с автоматической загрузкой	–	2–3	3–4
Бесцентрово-шлифовальные полуавтоматы с ручной загрузкой, плоскошлифовальные двухшпиндельные полуавтоматы непрерывного действия с ручной загрузкой	0,5–1	0,5–1	0,5–1
Плоскошлифовальные станки с прямоугольным и круглым столом (крупные)	1–3	1–4	1–4
Заточные автоматы и полуавтоматы для инструмента	2–3	2–3	3–4
Зубофрезерные, зубодолбежные, зубострогальные, шлицефрезерные полуавтоматы	2–3	2–5	2–5
Зубошлифовальные, зубопритирочные, резьбошлифовальные полуавтоматы	1–2	2–4	2–5
Зубообработывающие тяжелые и уникальные (крупные) станки	5–8	–	–
Агрегатные, отрезные, круглопиленные полуавтоматы и автоматы	1–2	2–3	2–3
Электрофизические и электрохимические полуавтоматы	2–3	2–3	3–4
Резьбонакатные, шлиценакатные и гайконарезные автоматы с автоматической загрузкой	1–2	3–4	3–5

Продолжение табл. 24

Группа оборудования	Число станков, обслуживаемых одним рабочим в зависимости от типа производства		
	Мелко-серийное	Средне-серийное	Крупно-серийное и массовое
Станки с ЧПУ и с автоматической сменой инструмента	2 – 3	2 – 3	–
Станки специальные	–	–	1 – 3

¹ Нормы обслуживания для одношпиндельных и многошпиндельных прутковых автоматов даны при условии одновременной работы станочника и наладчика.

Примечания: 1. "Общесоюзные нормы технологического проектирования механообрабатывающих и сборочных цехов предприятий машиностроения, приборостроения и металлообработки". Гипростанок, М.: НИИМаш, 1984. 112 с.

2. Для среднесерийного, крупносерийного и массового производства нормы даны при работе с наладчиком.

3. Меньшее или большее значение норм для каждой группы принимается в зависимости от штучного времени.

25. Нормы для расчета числа наладчиков оборудования

Группа оборудования	Число станков, обслуживаемых одним наладчиком в смену, в зависимости от типа производства			
	Мелко-серийное	Средне-серийное	Крупно-серийное	Массовое
Токарные и токарно-револьверные прутковые автоматы:				
одношпиндельные	–	4 – 6	5 – 7	6 – 8
многошпиндельные	–	2 – 4	3 – 5	4 – 5
Токарно-револьверные и токарные полуавтоматы многолезцовые копирующие одношпиндельные	–	5 – 7	5 – 7	6 – 8
Токарные многошпиндельные полуавтоматы	–	2 – 4	4 – 6	4 – 6
Трубо- и муфтообрабатывающие полуавтоматы и токарно-доделочные автоматы	–	8 – 10	8 – 10	8 – 10
Токарно-револьверные (прутковые и патронные) автоматы	6 – 8	8 – 10	8 – 10	10 – 12
Токарно-карусельные станки. Наибольший диаметр обрабатываемой детали до 2500 мм	–	7 – 9	9 – 11	11 – 13
Токарные станки. Наибольший диаметр обработки, мм:				
400	–	12 – 14	14 – 16	16 – 18
630	–	9 – 11	11 – 12	12 – 14
Сверлильные станки:				
одношпиндельные	–	12 – 14	14 – 16	16 – 18
многошпиндельные	–	2 – 4	10 – 12	10 – 12
Агрегатные сверлильные станки при числе шпинделей:				
до 15	–	3 – 5	8 – 10	10 – 12
св. 15	–	2 – 4	4 – 6	6 – 8

Продолжение табл. 25

Группа оборудования	Число станков, обслуживаемых одним наладчиком в смену, в зависимости от типа производства			
	Мелко-серийное	Средне-серийное	Крупно-серийное	Массовое
Фрезерно-центровальные станки:				
одношпиндельные	–	8 – 10	8 – 10	10 – 12
многошпиндельные	–	2 – 4	4 – 6	6 – 8
Алмазно-расточные станки:				
одношпиндельные	–	8 – 10	8 – 10	10 – 18
многошпиндельные	–	2 – 4	6 – 8	8 – 10
Агрегатные горизонтально-расточные, агрегатные резбонарезные станки с числом инструментов в наладке 40 и более	–	–	2 – 3	2 – 3
Круглошлифовальные универсальные, резбошлифовальные, плоскошлифовальные, одношпиндельные внутришлифовальные полуавтоматы	–	12 – 14	14 – 16	16 – 18
Круглошлифовальные с загрузочным устройством; бесцентрово-шлифовальные, шлищешлифовальные, зубошлифовальные, суперфинишные и хонинговальные одношпиндельные полуавтоматы	–	6 – 8	8 – 10	10 – 12
Круглошлифовальные специальные, плоскошлифовальные двухшпиндельные и специальные, внутришлифовальные с автоматической правкой круга и специальные, хонинговальные многошпиндельные, шлифовальные автоматы разных типов	–	–	–	3 – 7
Бесцентрово-шлифовальные автоматы с загрузочным устройством	–	2 – 3	3 – 4	4 – 5
Зубофрезерные многошпиндельные полуавтоматы, зубошеввинговальные автоматы с загрузочным устройством, зубонакатные станки	–	–	–	4 – 6
Зуборезные, шлицефрезерные полуавтоматы:				
одношпиндельные	–	3 – 5	8 – 10	10 – 12
многошпиндельные	–	2 – 4	5 – 7	7 – 9
Зубодолбежные, зуборезные для конических колес, зубошеввинговальные, зубофрезерные полуавтоматы одношпиндельные	6 – 8	6 – 8	8 – 10	10 – 12
Зубопротяжные, зубострогальные полуавтоматы	–	3 – 5	6 – 8	8 – 10
Горизонтальные, вертикальные и универсальные фрезерные, шпоночно-фрезерные, резбофрезерные станки	–	8 – 10	10 – 12	12 – 14
Карусельно-фрезерные, барабанно-фрезерные, вертикально-фрезерные с копирующим устройством, продольно-фрезерные станки	–	5 – 7	7 – 9	8 – 11
Протяжные станки для внутренних поверхностей одноплунжерные и двухплунжерные	–	11 – 13	13 – 15	15 – 17

Продолжение табл. 25

Группа оборудования	Число станков, обслуживаемых одним наладчиком в смену, в зависимости от типа производства			
	Мелко-серийное	Средне-серийное	Крупно-серийное	Массовое
Вертикально-протяжные станки для наружных поверхностей одноплунжерные	—	—	8–10	10–12
Вертикально-протяжные станки для наружных поверхностей многоплунжерные, специальные вертикально- и горизонтально-протяжные	—	—	—	6–8
Специальные резбонарезные станки: одно- и двухшпиндельные	—	8–10	10–12	12–14
многошпиндельные	—	2–4	4–6	6–8
Резьбонакатные станки	—	2–4	5–7	6–8
Токарные станки с ЧПУ. Наибольший диаметр обрабатываемой детали, мм:				
400	7–9	8–10	—	—
630	4–6	5–7	—	—
Сверлильные станки с ЧПУ	12–14	14–16	—	—
Универсальные вертикальные и горизонтальные фрезерные станки с ЧПУ	8–10	10–12	—	—
Сборочные автоматы и полуавтоматы	—	—	5–8	5–8
Сборочные установки с ЧПУ	—	—	4–6	4–6

Примечания: 1. "Общесоюзные нормы технологического проектирования механообрабатывающих и сборочных цехов предприятий машиностроения, приборостроения и металлообработки". Гипростанок, М.: НИИМаш, 1984. 112 с.

2. Наладчики не предусматриваются для следующих групп станков: требующих простых наладок (отрезные, заточные, точноно-шлифовальные, полировальные и др.); для обслуживания которых требуются рабочие-станочники высокой квалификации (горизонтально- и координатно-расточные, продольно-шлифовальные, тяжелые карусельные, тяжелые токарные, лоботокарные и др.).

3. При расчете числа наладчиков для их более полной загрузки применять принцип совмещения профессий, при котором один и тот же наладчик обслуживает станки различных групп.

4. Меньшие значения норм в пределах каждой группы следует принимать: для токарных многошпиндельных автоматов при одновременной обработке двух (и более) деталей за цикл; для зуборезных станков при обработке с 1–7-й степенями точности; для остальных станков при обработке с точностью 5–8-го качества.

В тех случаях, когда измерение проводится автоматически,

$$t'_{оп} = t_0 + t_{м.в} + t_{в.изм} + t_{вп} + (t_{вз} + t_{в})k_{осв}$$

Норма времени на обработку партии деталей при многостаночном обслуживании

$$T_{парт.м} = T_{шт.м}m + T_{п-з.м}$$

где m — число деталей в партии, запускаемой в обработку на одном станке; $T_{п-з.м}$ — подготови-

тельно-заключительное время при многостаночном обслуживании.

В тех случаях, когда наладку станков осуществляет оператор,

$$T_{п-з.м} = T_{п-з}$$

где $T_{п-з}$ — подготовительно-заключительное время при работе на одном станке; обычно при выполнении приемов $T_{п-з}$ на одном из станков другие станки простаивают.

26. Значения коэффициента $k_{шт}$ при многостаночном обслуживании станков с ЧПУ

Число обслуживаемых станков	Многостаночное обслуживание			
	нециклическое			циклическое
	Штучное время $T_{шт}$, мин			
	До 5	5–10	Св. 10	
2	1,12	1,08	1,08	1,08
3	1,25	1,15	1,15	1,15
4	1,4	1,25	1,2	1,2
5	—	1,35	1,3	1,3

27. Значения коэффициента $k_{осв}$ освоения работы оператором

Годовая программа, шт.	$k_{осв}$	Годовая программа, шт.	$k_{осв}$	Годовая программа, шт.	$k_{осв}$
10	2,43	70	1,204	350	1,0408
15	1,953	80	1,178	400	1,0357
20	1,715	90	1,159	450	1,0317
25	1,572	100	1,143	500	1,0286
30	1,476	125	1,114	600	1,0238
35	1,408	150	1,0953	700	1,0204
40	1,357	175	1,0816	800	1,0178
45	1,317	200	1,0715	900	1,0159
50	1,286	250	1,0572	1000	1,0143
60	1,238	300	1,0476	1250	1,0114

28. Вспомогательное время на переходы оператора от станка к станку и на перемещение заготовок электроподъемником

Направление и способ перемещения	Перемещение, м									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Переходы оператора										
Без груза	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
Перемещение заготовок электроподъемником										
Горизонтальное:										
с грузом	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
без груза	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,4
Вертикальное:										
с грузом	0,13	0,26	0,39	—	—	—	—	—	—	—
без груза	0,1	0,2	0,3	—	—	—	—	—	—	—

В тех случаях, когда наладку станков осуществляет наладчик,

$$T_{п-з.м} = \frac{1}{d} T_{п-з}$$

При введении многостаночного обслуживания необходимо учитывать фактическую занятость оператора (табл. 29).

Расчет экономической эффективности внедрения станков с ЧПУ

Расчет проводится по инструкции МУ2.5–81¹¹ (см. также т. 2 Справочника). Для предварительных расчетов экономической эффективности внедрения станков с ЧПУ (при определении целесообразности приобретения станка) учитывают лишь заработную плату станочника (оператора) и амортизационные отчисления на полное восстановление станка, которые представляют основной элемент экономики и затрат. Расчет ведут по формуле

$$\begin{aligned} \Xi_r = & \left(\frac{H_{c1} k_{cm}}{d_1} + \Pi_1 \alpha P_1 + E_n \Pi_1 \alpha \right) X - \\ & - \left(\frac{H_{c2} k_{cm}}{d_2} + \Pi_2 \alpha P_2 + E_n \Pi_2 \alpha \right), \end{aligned}$$

¹¹ Определение экономической эффективности металлорежущих станков с ЧПУ. М.: НПО ЭНИМС, НПО Оргстанкипром, М., 1981.

29. Занятость оператора при обработке деталей на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ

Виды работ ¹	Показатели занятости оператора при обработке детали					
	из чугуна		из стали		из алюминия	
	<i>n</i> , 1/ч	<i>T</i> , с/ч	<i>n</i> , 1/ч	<i>T</i> , с/ч	<i>n</i> , 1/ч	<i>T</i> , с/ч
Уборка стружки	1,68	64	4,20	194	3,37	93
Обеспечение подачи СОЖ	1,62	33	2,23	19	6,22	22
Измерение детали	2,29	81	1,94	50	0,59	24
Поддержание работоспособности инструмента	1,10	138	0,91	205	0,17	50
Регулирование режимов	0,74	4	0,74	4	0,74	4
Наблюдения за процессом обработки	0,88	28	2,60	99		
Установка-снятие-перезакрепление детали	2,23	351	0,98	283	2,91	440
Обслуживание станка	0,57	63	0,57	63	0,57	63
Подготовка детали к обработке	0,81	73	0,57	45	0,29	11
Подготовка детали к сдаче ОТК	0,72	58	0,34	21	1,46	66
Итого	12,64	893	15,08	983	16,32	773

¹ Среднее время продолжительности одной операции для деталей: из чугуна – 42 мин; из стали – 110 мин; из алюминиевого сплава – 27 мин.

Примечание. В таблице *n* – частота подходов к станку; *T* – затраты времени на работы, обеспечивающие обработку детали и обслуживание станка. Значения *n* и *T* даны на час работы станка.

где C_1 и C_2 – соответственно цены базового и нового станков; руб.; X – коэффициент роста производительности нового станка по сравнению с базовым; P_1, P_2 – соответственно доля амортизационных отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление базового и нового станков; $E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $\alpha = 1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на доставку и установку станка, включая пуско-наладочные работы; H_{c1} и H_{c2} – среднегодовая заработная плата станочника (оператора) по сравниваемым вариантам; $k_{см} = 2$ – коэффициент сменности работы станка с ЧПУ; d_1 и d_2 – соответственно число базовых и новых станков, обслуживаемых одним рабочим.

При расчете экономической эффективности внедрения дорогостоящих станков с ЧПУ взамен дешевого универсального оборудования может оказаться, что положительного эффекта нет. В таких случаях окончательное решение о целесообразности приобретения станка с ЧПУ принимают с учетом наличия или отсутствия кадров. Если предприятие испытывает дефицит кадров, то часто единственным выходом явля-

ется приобретение станков с ЧПУ. При принятии решения помимо экономического эффекта необходимо учитывать сокращение операций обработки и возможность быстрого перехода на изготовление других деталей, освобождение рабочего от монотонного и тяжелого физического труда.

При внедрении станков с ЧПУ (в том числе объединенных в участки и линии), для которых характерны высокая концентрация переходов обработки и сокращение длительности T_u производственного цикла обработки партии деталей, необходимо учитывать экономию от сокращения размера оборотных средств на незавершенное производство. Сокращение оборотных средств равноценно экономии капитальных затрат. Стоимость оборотных средств на незавершенное производство деталей одного вида:

$$k_o = \frac{T_u b_2}{365} (C_3 + 0,5C_4 \sum T_{шт.-к}),$$

где T_u – длительность производственного цикла обработки партии деталей (устанавливают с учетом табл. 30); C_3 – стоимость заготовки на

30. Длительность (рабочие дни) производственных циклов обработки партии деталей при последовательном виде движения

Время на обработку партии деталей, ч	Число операций																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
7	1	1		1	2	2	2	3	3	3	4	4	4			4	5	5	5	
14	1	1		2	2	2	3	3	3	4	4	4	4			5	6	6	7	7
21	2	2		3	3	4	4	4	4	5	5	5	5			6	7	7	8	8
28	2	3		3	4	4	5	5	5	6	6	6	6			7	8	8	9	9
35	3	3		4	4	5	5	6	6	6	7	7	7			8	9	9	10	10
42	3	4		4	5	5	6	6	6	7	7	7	8			9	10	10	11	11
49	4	4		5	5	6	6	6	7	7	7	8	8			10	11	11	12	12
56	4	5		5	6	6	6	7	7	7	8	8	9			11	12	12	13	13
63	5	5		6	6	7	7	7	8	8	8	9	9			12	13	13	14	14
70	5	6		6	7	7	8	8	8	9	9	10	10			13	14	14	15	15
77	6	6		7	7	8	8	8	9	9	10	10	11			14	15	15	16	16
84	6	7		7	8	8	8	9	9	9	10	10	11			15	16	16	17	17
91	7	7		8	8	9	9	9	10	10	10	11	11			16	17	17	18	18
98	7	8		8	9	9	9	10	10	10	11	11	12			17	18	18	19	19
105	8	8		9	9	10	10	10	11	11	11	12	12			18	19	19	20	20
112	8	9		9	10	10	10	11	11	11	12	12	13			19	20	20		
119	9	9		10	10	11	11	11	12	12	12	13	13			20				
126	9	10		10	11	11	12	12	12	13	13	13	14							
133	10	10		11	11	12	12	13	13	13	14	14	14							
140	10	11		11	12	12	13	13	13	14	14	14	15							
147	11	11		12	12	13	13	13	14	14	14	15	15							
154	11	12		12	13	13	14	14	14	15	15	15	16							
161	12	12		13	13	14	14	14	15	15	15	16	16							
168	12	13		13	14	14	15	15	15	16	16	16	17							

одну деталь, руб.; $C_3 = C_u M$; C_u – стоимость одного килограмма заготовки, включая транспортно-заготовительные расходы, руб.; M – масса заготовки, кг; $0,5$ – коэффициент, учитывающий примерно относительное равномерное нарастание затрат на обработку в течение всего производственного цикла; C_4 – средняя себестоимость одного часа работы металлорежущего станка (при укрупненных расчетах можно принимать $C_4 = 1,8$ руб.); $\sum T_{шт.-к}$ – суммарная трудоемкость обработки одной детали по всем операциям механической обработки (сумма штучно-калькуляционного времени), ч; 365 – число календарных дней в году.

Расчет оборотных средств в незавершенном производстве $k_{нез}$, приходящихся на один станок с ЧПУ при запуске деталей партиями (принято, что в производстве одновременно

находятся три партии: одна партия – в ожидании обработки, вторая – на рабочем месте в работе, третья – на транспортировании, либо на контроле), определяют по инструкции МУ 2.5–81.

$$k_{нез} = 3n_3(C_3 + 0,5C_4)\beta,$$

где n_3 – партия запуска деталей, шт.; C – себестоимость обработки одной детали на станке, руб.; β – коэффициент приведения (эквивалентности), равный отношению годового выпуска деталей, производимых при использовании нового и базового станков; β определяет, сколько базовых станков может заменить один новый станок с ЧПУ; его учитывают при расчете $k_{нез}$ только для базового варианта.

О высокой эффективности так называемых ГПС второго поколения говорят данные, приведенные в табл. 31.

31. Характеристика эффективности ГПС второго поколения

Компания, внедряющая и эксплуатирующая ГПС	Объем выпуска и номенклатура деталей	Размер партии	Число станков с ЧПУ (другие машины)	Число режущего инструмента	Тип склада	Тип транспорта	Максимальные размеры обрабатываемых деталей	Стоимость в млн. америк. доллар.	Примечание
1. "Воугт Корпорейшн", США	531 различная деталь в любой последовательности	Обычно по одной детали	8 (мойка, 2 кон-трольно-измерительные машины)	90	2 карусели по 10 па-лет на каждой	4 робокара	450 × 1500 × 600 мм	10	Экономия на покупке оборудования (необходимо количество станков с ЧПУ) составила 2,5 млн. ам. долларов
2. "Дженерал моторс" США	250 тыс. деталей в год в случайном порядке; детали оснастки	По одной детали	7	-	Много-этажный склад деталей на палетах	Один робокар	Любая деталь в объеме куба со стороной 1000 мм	-	-
3. "Интерсолл мил-линг машин", США	25 тыс. деталей в случайном порядке; детали станков	70 % по одной детали, 50 % никогда не повторяются	12	-	Много-этажный склад деталей на палетах	Робокар	В пределах куба со стороной 1000 мм	-	12 новых заменили 40 обычных станков. ГПС работает в 3 смены. Сокращено 75 % занятых
4. "Боинг Эйркрафт", США и Италия	Детали компрессоров	-	5	140	Многоэтажный склад со штабеле-ром	2 робокара	Масса деталей от 2 до 800 кг	9,6	Мойка деталей роботом

ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СОЗДАНИИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГО УРОВНЯ

Гибкое производство нельзя считать единственным путем совершенствования машиностроения, но требование комплексного подхода является единственным путем решения долгосрочной цели – создания автоматического завода. Создано несколько сотен ГПС, но нет еще примеров автоматизации всех производственных задач. Дело в том, что каждая реализованная ГПС – это компромисс между долговременными и текущими задачами и существующими технологическими и техническими возможностями, имеющимися финансовыми средствами, возможностью обеспечения всех создаваемых ГПС самым современным оборудованием, оснасткой, системами управления и т.д. Важной особенностью ГПС является возможность постепенного наращивания и совершенствования любой создаваемой или уже внедренной ГПС. Таким образом, каждый внедренный ГПС может стать ячейкой будущей ГПС более высокого уровня.

Первое, что должно быть решено при создании ГПС, это какой "гибкостью" должна обладать система. Предварительно необходимо пояснить само понятие гибкость, рассмотреть различные качества гибкости, факторы, от которых она зависит. Качество гибкости производственных систем определяется следующими главными показателями: производительностью, себестоимостью, стабильностью обеспечения качества продукции, экономической эффективностью использования всех средств, условиями работы человека. На базе этих главных показателей производства определяются четыре основных, наиболее важных качества гибкости:

универсальность – способность ГПС обрабатывать различные партии деталей по числу и номенклатуре (форме и размерам) во время нормальной работы системы без какой-либо ее модификации;

приспособляемость – способность ГПС после ее отладки быть измененной таким образом, чтобы обрабатывать другое число деталей и другие детали посредством введения надлежащих изменений извне или путем самонастраивания;

повторяемость – способность ГПС неоднократно возвращаться к выполнению ранее

осуществленных работ после завершения новой работы;

нечувствительность – способность системы адаптироваться к количественным и качественным отклонениям заготовок, процессов, условий при гарантии выполнения всех предписанных ей технических требований, без возникновения нарушений в работе и снижения качества продукции.

Факторы, определяющие гибкость, зависят от конкретных условий, целей и задач производства, для которого создается ГПС. Основные факторы, имеющие общее значение:

число возможных вариантов деталей в технологической группе, одновременно обрабатываемой на ГПС;

степень сходства и разнообразия номенклатуры деталей в технологической группе;

число технологических групп, которые можно обрабатывать на ГПС при минимальных, установленных заранее времени переналадки системы и количестве дополнительной оснастки и инструмента;

минимальное, заранее установленное время переналадки при переходе на обработку другой технологической группы деталей;

дополнительные оснастка и инструмент, необходимые для обработки новой технологической группы деталей;

дополнительные капитальные вложения и оборотные средства при переходе на обработку новых технологических групп деталей;

предельный разброс отклонений от установленных техническими условиями значений параметров (качество заготовок, инструмента, размер припуска и др.) при гарантированном качестве изготовленных деталей;

возможность адаптации к случайному, практически любому маршруту прохождения деталей от станка к станку и возможность их обработки на разных станках системы;

возможность системы обрабатывать детали на одном станке (за один установ);

возможность ГПС учитывать и приспособляться к случайному смещению производственных заданий в зависимости от сложившейся фактической загрузки станков или требований сборки;

возможность выполнения непредвиденных ранее заданий, условий, ситуаций, т.е. полное раскрытие и использование потенциальных возможностей системы;

возможность обеспечения минимальных потерь производительности при различных

отказах разных элементов системы и возможность обеспечения минимального снижения производительности и качества при адаптации системы к внутренним или внешним раздражителям (возмущениям);

максимально возможное время работы системы в безлюдном режиме;

продолжительность работы системы на отказ;

равномерность распределения загрузки станков в системе;

возможность работы системы без останова одних станков во время простоев (отказов) других станков;

соотношение числа самоустранимых отказов и отказов, требующих вмешательства оператора;

время устранения различных отказов и неполадок;

наличие автоматического устройства контроля отказов станков, инструмента, транспорта и другого оборудования для уменьшения их влияния на производительность и качество;

оптимизация универсальности и специализации оборудования системы;

усилия и время, необходимые для перехода на выпуск новой, более разнообразной продукции.

Приведенный перечень факторов, определяющих гибкость ГПС, не является исчерпывающим. Он будет дополняться и в связи с решением различных задач создания ГПС.

Таким образом, можно сформулировать понятие максимальной гибкости как возможность ГПС обрабатывать любые детали, в лю-

бой последовательности, в любом требуемом количестве при ограниченном участии обслуживающего персонала, как способность ГПС выпускать новые или модернизированные изделия без дополнительных капиталовложений, без увеличения оборотных средств, без останова производства, с малыми затратами средств и времени на переналадку технологической системы. Это не означает, что все создаваемые ГПС должны удовлетворять полностью всем требованиям гибкости. Каждая система должна обладать экономически и технически оправданными и возможными свойствами, но во всех случаях необходимо стремиться к максимальной экономии трудовых, материальных и других ресурсов и к возможности в будущем усовершенствовать данную ГПС.

Эффективность ГПС, возможность создания ГАП высокого уровня во многом зависят от того, как быстро будут преодолены трудности и проблемы, выявленные при создании этих новых образцов техники.

Одной из главных является проблема обеспечения высокой надежности всех элементов ГПС. Не всякое оборудование, приспособление, режущий инструмент и устройство управления могут быть использованы в ГПС, если надежность их работы недостаточна. Показатели надежности процессов обработки приведены в табл. 32. Повышения надежности в ГПС достигают созданием более совершенных конструкций, резервированием, внедрением систем диагностики, контроля и управления элементами ГПС.

32. Показатели надежности основных переходов обработки корпусных деталей на сверлильно-фрезерно-расточных станках

Переходы обработки	Доля в операции, %	Число инструментов в наладке	Показатели, характеризующие надежность			Наработка до замены инструмента в часах работы станка
			Доля отказов, %	Число замен инструмента на 1 ч работы станка	Число подналадок на 1 ч работы станка	
Фрезерование	40	2,6	15,5	0,06	0,050	6,67
Растачивание	15	7,6	61,0	0,23	0,195	0,653
Сверление	37	4,8	16,9	0,06	0,050	0,617
Нарезание резьбы	8	2,6	6,6	0,04	0,005	2,000
Итого	100	17,6	100	0,39	0,3	-

Примечание. Таблица составлена по методическим рекомендациям "Обработка корпусных деталей крупными сериями на многоинструментальных станках с ЧПУ с применением комбинированного инструмента". ЭНИМС, М., 1982. 24 с.

Недостатки ГПС связаны главным образом с их высокой стоимостью, требующимися при их внедрении большими капиталовложениями, особенно первоначальными. При этом станкостроители и те, кто использует системы, не могут при принятии решения дать четкое экономическое обоснование применения ГПС, так как имеется много взаимозависимых факторов, которые трудно поддаются количественному выражению. Задача разработки более совершенных методик определения эффективности ГПС остается актуальной.

В ГПС необходимо использовать более качественные и точные отливки, поковки, сварные конструкции. Постоянство качества заготовок играет важную роль. Большое значение имеет правильный выбор приспособлений для закрепления и установки деталей на станках. Приспособления должны позволять быстро устанавливать и закреплять детали, во многих случаях быть многоместными, обеспечивать позиционирование заготовок в весьма узких пределах допуска, позволять обрабатывать детали как можно полнее с одного станка. Создание таких автоматизированных приспособлений – непростая задача. В некоторых случаях велика стоимость приспособлений, которая часто выше стоимости остального оборудования. Приспособления должны быть универсальными или легко переналаживаемыми. Большое разнообразие, сложность и недостаточная точность и надежность существующих приспособлений затрудняют создание ГПС высокого уровня.

Создатели ГПС должны решить три задачи, связанные с применением приспособлений:

осуществить отбор деталей в партии для групповой обработки и выбрать схемы установки деталей в многоместных приспособлениях, рассчитать необходимое число приспособлений; при этом отбор деталей должен вестись не столько по форме, сколько по таким параметрам, как требования по точности обработки, подобно технологических переходов обработки;

выбрать оптимальную схему крепления заготовки в приспособлении, конструкцию установочных элементов; эта задача должна решаться конструктором и технологом одновременно, иначе может увеличиться число необходимых установов и тем самым будет нарушен главный принцип построения обработки в ГПС – максимальная концентрация переходов обработки при минимальных затратах;

хранить и ремонтировать приспособления так, чтобы затраты времени на поиск приспособлений на складе были минимальны, а ремонт обеспечивал полное восстановление точности приспособлений.

Проблемными остаются вопросы правильного выбора типов и числа режущего инструмента, его хранения. На первый план выступает задача автоматического слежения за состоянием режущего инструмента в процессе обработки и выбора режимов резания.

Развитие станков идет в направлении создания средств адаптивного контроля, измерения размеров деталей в процессе резания, устройств для автоматической компенсации износа инструмента, позволяющих получать точно заданные размеры. Такие станки обеспечат бесперебойную работу ГПС в течение 20–24 ч.

Весьма сложным и дорогостоящим оказался отвод и уборка стружки. При использовании отдельных станков эта проблема не имеет такой остроты, так как стружку убирает оператор. С увеличением коэффициента использования станков и при их использовании в ГПС количество стружки значительно увеличивается, и возникает задача ее автоматического удаления.

Форма заготовки для ГПС должна быть ближе к форме детали и более точной, чем в традиционном производстве.

Решение проблемы удаления стружки следует в первую очередь искать в совершенствовании способов получения заготовки с минимальными припусками на обработку.

Выбор средств для транспортирования стружки в основном зависит от количества стружки и площади, занимаемой металлорежущим оборудованием.

Комплексную систему транспортирования стружки и передачи ее в отделение стружкопереработки рекомендуется применять на площадях более 3000 м² с выходом стружки более 600 кг/ч. Транспортные системы целесообразно располагать следующим образом: линейные конвейеры – в каналах, магистральные – в тоннелях.

Проблемой остается снятие заусенцев и закругление острых кромок на деталях. Определена возможность и целесообразность применения промышленных роботов для снятия заусенцев и закругления острых кромок на деталях в роботизированных технологических комплексах механической обработки и ГПС. Однако номенклатура и качество выпускаемого

промышленностью инструмента (щеток) недостаточны и не могут удовлетворять полностью потребности роботизированного производства и ГПС. Наибольший эффект может быть достигнут применением в ГПС нескольких различных методов снятия заусенцев и закругления острых кромок. Необходимо разрабатывать новые методы снятия заусенцев и закругления острых кромок на деталях.

Лишь оптимальное сочетание ручных и автоматических методов гарантирует полное, качественное и экономически выгодное удаление заусенцев.

Внедрение ГПС требует организационных изменений, значительно большего внимания к планированию и соблюдению производственной дисциплины. Например, сокращение заделов и уменьшение времени нахождения детали в производстве требуют улучшения программирования производства и контроля за соблюдением графиков работы, иначе простои оборудования увеличатся. Задачи управления, таким образом, усложняются. Для успешной работы ГПС необходимо четко организовать ремонт и обслуживание техники. Все ремонтные службы необходимо интегрировать в единую службу.

Перечисленные задачи нельзя решить без соответствующей переподготовки кадров. Концепция гибкого производства меняет роль каждого, повышая ответственность при снижении непосредственного участия в том, что фактически делается. Без надлежащей подготовки кадров трудно понять и дать правильную оценку происходящему. Рабочий перестает быть оператором, знающим одну специальность, он становится техником, владеющим рядом профессий. Если раньше результаты работы конструктора нередко создавали трудности, которые приходилось решать и устранять техноло-

гу, то в гибком производстве с самого начала все должно быть правильным и простым. И об этом заботится конструктор-технолог, знающий те трудности, которые появляются в производстве из-за неудачной, нетехнологичной конструкции.

Управленческий персонал должен владеть основами программирования, но не ради умения программировать, а чтобы понимать специалистов (электронщиков, программистов), чтобы формулировать задачи, уметь оценить работу, сделанную другими специалистами.

Трудности при внедрении и реализации всех возможностей ГПС создаются и на этапе ее проектирования. Концепция гибкого производства затрагивает практически все стороны производства, и недооценка планирования недопустима. Недостаточное количество режущего инструмента, недостаточно спланированные участки наладки инструмента вне станка, сборки приспособлений и установки заготовок в приспособления, недостаточное или излишнее число палет, незапланированное своевременное совершенствование организации обслуживания электронного оборудования, так же как гидравлического и пневматического, – все это влияет на эффективность работы ГПС.

Нельзя сказать, что наибольшим препятствием на пути широкого использования ГПС на сегодня являются нерешенные чисто технические проблемы. Главным является определение путей наиболее экономичного внедрения этой новой техники и организации технологии производства, ведущей к повышению производительности труда и снижению себестоимости продукции. С точки зрения создателей ГПС нет особых трудностей. Эффективность ГПС подтверждается рядом примеров быстрой окупаемости капитальных затрат (за 2,5 – 3 года).

9

Глава

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Разработка нового изделия – сложная инженерная задача, связанная не только с достижением требуемого технического уровня, но и с приданием его конструкции таких свойств, которые обеспечивают максимально возможное снижение затрат труда, материалов и энергии на его изготовление, техническое обслуживание и ремонт. Успешное решение этой задачи зависит от делового творческого сотрудничества создателей новой техники – конструкторов и технологов – и их взаимодействия с изготовителями и потребителями на этапах разработки конструкции изделия.

Первостепенная роль в обеспечении технологичности конструкции изделия принадлежит конструктору, который должен руководствоваться соображениями как технической, так и экономической целесообразности проектируемой конструкции, уметь использовать (по согласованию с технологом) такие инженерные решения, которые обеспечивают достижение необходимых технических показателей качества изделия при рациональных затратах ресурсов, выделяемых на его создание и применение.

Возможности освоения новых изделий в реальных условиях производства в определенной мере зависят от текущих и перспективных возможностей предприятия, поэтому решающую роль в технологическом обеспечении процессов разработки, освоения и выпуска продукции заданного качества играет технолог, независимо от того, где он работает: в КБ, на предприятии или в специализированной технологической организации.

Каждый технолог должен знать основы обеспечения технологичности конструкции изделия, уметь руководствоваться современными требованиями, предъявляемыми к конструкции изделия на этапах его разработки и освоения, и всегда быть готовым решать в сотрудничестве с конструктором вопросы, связанные с конструкторско-технологической подготовкой производства изделия.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ (ТКИ). ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Определение ТКИ

Изделие, как и любой продукт труда, предназначенный для удовлетворения определенных потребностей, обладает свойствами¹, образующими его качество.

Конструктор, придавая конструкции изделия в процессе ее разработки необходимые свойства, выражающие полезность изделия, придает ей и такие конструктивные свойства, которые предопределяют уровень затрат ресурсов на создание, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой *технологичность конструкции изделия (ТКИ)*.

ТКИ выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности. Конструкцию изделия характеризуют в общем случае состав и взаимное расположение его составных частей, схема устройства изделия в целом, форма и расположение поверхностей деталей и соединений, их состояние, размеры, материалы и информационная выразительность. Поэтому для изделия следует применять термин "технологичность конструкции изделия".

Классификация и номенклатура показателей ТКИ

Показатели ТКИ классифицируют на виды в зависимости от исходного признака классификации.

¹ Здесь под свойством понимается объективная способность изделия проявлять в определенной степени свое качество по отношению к другим объектам, с которыми оно вступает во взаимодействие.

В зависимости от характеризующих свойств различают показатели технологической рациональности конструкции изделия, преемственности конструкции изделия, ресурсоемкости (трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости и т.п.) изделия, производственной ТКИ, эксплуатационной ТКИ, ремонтной ТКИ, общей ТКИ (по всем областям проявления).

По числу характеризующих свойств показатели делятся на частные (единичные), групповые и комплексные.

По способу выражения свойств различают размерные и безразмерные показатели.

В зависимости от формы представления свойств показатели делятся на общие (суммарные), структурные, удельные, относительные и сравнительные.

В зависимости от стадий определения характеристик показатели могут быть прогнозными, базовыми и достигнутыми.

По значимости для оценки различают основные и дополнительные показатели.

Все многообразие показателей ТКИ может быть сведено к семи группам, которые соответствуют перечисленным видам показателей по характеризующим свойствам. Различают следующие группы показателей ТКИ: технологической рациональности конструкции изделия; преемственности конструкции изделия; ресурсоемкости изделия (по одной или нескольким областям проявления ТКИ); производственной ТКИ; эксплуатационной ТКИ; ремонтной ТКИ; общей ТКИ.

Показатели технологической рациональности конструкции изделия отражают рациональность состава и структуры исполнения изделия, принятых конструктивных форм и материалов. К ним, например, относятся следующие коэффициенты: сложности конструкции изделия $K_{сл}$; сборности $K_{сб}$; легкостью составных частей $K_{лс}$; доступности мест обслуживания $K_{д}$; контролепригодности $K_{к}$; разноразмерности элементов при монтаже вне предприятия-изготовителя $K_{рв}$; распределения допуска между изготовлением и монтажом $K_{р.д}$.

Показатели преемственности конструкции изделия отражают конструктивную и технологическую преемственность изделия, изменимость и повторяемость его составных частей и их компоновок, его конструктивных эле-

ментов и материалов. К ним, например, относятся коэффициенты: новизны конструкции изделия $K_{н}$; применяемости унифицированных или стандартных составных частей изделия [деталей и (или) сборочных единиц] $K_{пр}^{с.ч}$; применяемости унифицированных конструктивных элементов детали (резьб, креплений, галтелей, фасок, отверстий и т.п.) $K_{пр}^{к.э}$; применяемости материала в изделии $K_{пр}^м$; повторяемости составных частей изделия $K_{пов}^{с.ч}$; повторяемости конструктивных элементов детали $K_{пов}^{к.э}$; повторяемости материалов в изделии $K_{пов}^м$; типизация конструктивного исполнения $K_{тип}^{к.и}$.

Показатели ресурсоемкости изделия отражают комплексную (общую) или частную (единичную) ресурсоемкость, т.е. воплощенные в конструкции изделия затраты ресурсов определенного вида. К ним относятся, например, общая, структурная, удельная и относительная трудоемкость (материалоемкость, энергоемкость и т.п.) изделия.

Показатели ресурсоемкости используют преимущественно для определения величины затрат ресурсов (труда, материалов, энергии, времени и др.) в той или иной области проявления.

Показатели ТКИ по областям ее проявления объединяются в группы, образованные исключительно показателями ресурсоемкости с учетом рассматриваемых областей проявления. Номенклатура показателей ресурсоемкости изделия, систематизированная с учетом областей проявления ТКИ, приведена на рис. 1.

Согласно рис. 1 в группы показателей ТКИ, образованные с учетом областей (или отдельных зон внутри областей) ее проявления, входят перечисленные ниже показатели ТКИ, группируемые по области проявления.

Показатели производственной ТКИ: трудоемкость изделия в технической подготовке производства $T_{т.п.п}$; трудоемкость изделия в изготовлении $T_{и}$; трудоемкость изделия в монтаже вне предприятия-изготовителя $T_{м}$; материалоемкость изделия в изготовлении $M_{и}$; энергоемкость изделия в изготовлении $Э_{и}$; продолжительность технической подготовки производства изделия $t_{т.п.п}$; продолжитель-

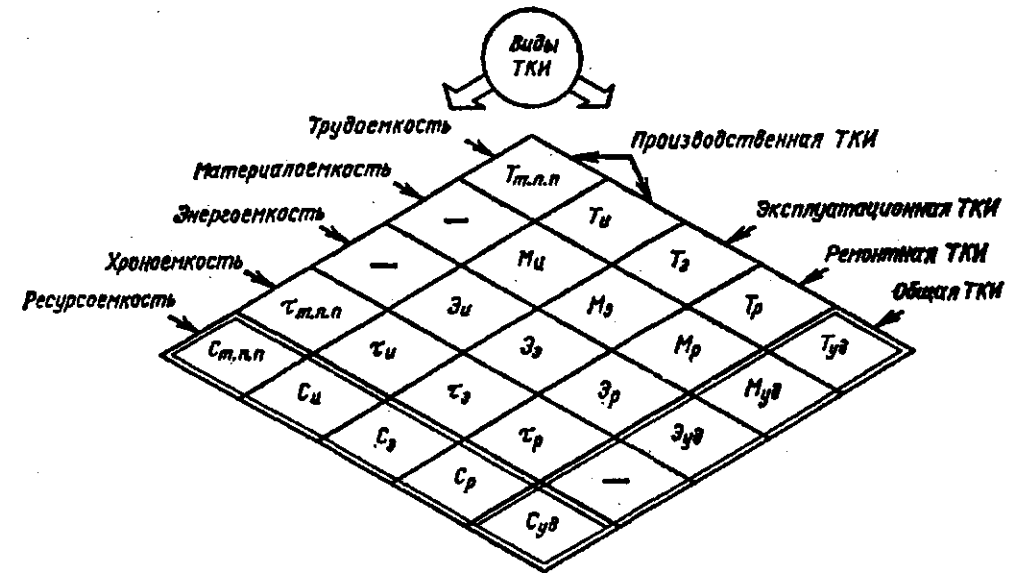


Рис. 1. Показатели ресурсоемкости изделия

ность изготовления изделия $t_{и}$; технологическая себестоимость изделия в технической подготовке производства $C_{т.п.п}$; технологическая себестоимость изделия в изготовлении $C_{и}$.

Показатели эксплуатационной ТКИ: трудоемкость изделия в эксплуатации $T_{э}$; трудоемкость изделия (разовая, оперативная) в техническом обслуживании $T_{о}$; трудоемкость изделия в монтаже (демонтаже) $T_{м}$; трудоемкость изделия в утилизации $T_{ут}$; материалоемкость изделия в эксплуатации $M_{э}$; энергоемкость изделия в эксплуатации $Э_{э}$; продолжительность (разовая, оперативная) технического обслуживания изделия $t_{о}$; технологическая себестоимость изделия в эксплуатации $C_{э}$.

Показатели ремонтной ТКИ: трудоемкость изделия в ремонте $T_{р}$; материалоемкость изделия в ремонте $M_{р}$; энергоемкость изделия в ремонте $Э_{р}$; продолжительность ремонта изделия $t_{р}$; технологическая себестоимость изделия в ремонте $C_{р}$.

Показатели общей ТКИ (по всем областям проявления): удельная трудоемкость изделия $T_{уд}$; удельная материалоемкость изделия $M_{уд}$; удельная энергоемкость изделия $Э_{уд}$; удельная технологическая себестоимость изделия $C_{уд}$.

Частные (единичные) показатели характеризуют отдельные, частные свойства, входящие в ТКИ. Применяются в случаях, когда необходим дифференцированный подход к выявлению и изучению отдельных свойств, оказывающих существенное воздействие на уровень ТКИ. Например, при оценке шероховатости поверхности, оказывающей решающее влияние на величину затрат труда в процессе изготовления.

Групповые показатели характеризуют группу родственных свойств, входящих в ТКИ. Применяются при оценке ТКИ по совокупности различных частных свойств, выражающих единый вид затрат ресурсов, как правило, в пределах одной области проявления ТКИ. Например, при оценке технологичности конструкции детали, изготавливаемой с применением различных видов обработки (литье, сварка, обработка резанием, термообработка и т.д.).

Комплексные показатели характеризуют совокупность однородных свойств, рассматриваемых в различных областях проявления ТКИ, либо совокупность разнородных свойств, рассматриваемых в одной области проявления ТКИ. Применяются при необходимости комплексной оценки ТКИ с использованием совокупности частных и (или) групповых показателей. Например, при оценке материалоемкости в сферах производства и ремонта изделия.

Размерные показатели выражают ТКИ в определенных единицах измерения (нормо-ч, киловатт и др.). Размерными являются, например, общие, структурные и удельные показатели ТКИ. Применяются в большинстве случаев для оценки ТКИ показатели всех видов, кроме сравнительных и относительных.

Безразмерные показатели выражают ТКИ посредством безразмерных величин. Безразмерными являются, например, относительные и сравнительные показатели ТКИ. Применяются для определения степени соответствия достигнутых показателей базовым или доли какого-либо вида затрат в общем ее количестве, т.е. в тех случаях, где размерность не играет никакой роли.

Общие (суммарные) показатели характеризуют ТКИ по сумме однородных затрат ресурсов в одной области проявления ТКИ. Применяются при необходимости выразить в абсолютных показателях общую величину затрат, как правило, по всей рассматриваемой области проявления ТКИ. Например, при определении общей трудоемкости изделия в изготовлении в нормо-ч.

Структурные показатели характеризуют ТКИ по сумме однородных затрат ресурсов в одной или нескольких зонах данной области проявления ТКИ. Применяются при необходимости дифференцированного анализа затрат ресурсов внутри области проявления ТКИ. Например, при определении суммы однородных затрат на выполнение слесарных работ во всех цехах и на всех рабочих местах в процессе изготовления одного изделия в абсолютных показателях.

Удельные показатели характеризуют общую ТКИ в целом, т.е. по всем областям ее проявления. Применяются для обеспечения сопоставимости свойств и показателей однотипных изделий, обладающих различными значениями главных параметров или реализующих различный полезный эффект. Например, при сравнительной оценке общей материалоемкости проектируемого образца и аналога машины, отнесенной к величине производимых ими работ.

Относительные показатели характеризуют ТКИ по сумме однородных затрат ресурсов в одной области проявления в относительном их выражении. Применяются при необходимости сопоставительного анализа отдельных затрат ресурсов внутри области проявления

ТКИ по отношению к общим затратам. Например, при определении доли трудоемкости изделия в сборочных работах в общей трудоемкости изделия в изготовлении.

Сравнительные показатели характеризуют ТКИ по отдельным или общим затратам ресурсов в сравнении с соответствующими затратами, характерными для конструкции изделия, принятой в качестве эталона для сравнения. Применяются для оценки степени соответствия достигнутых показателей значениям базовых в определенных допустимых пределах, например $0 < K \leq 1$.

Прогнозные показатели определяются на стадии инженерного прогнозирования. К ним могут быть отнесены любые, рассмотренные выше показатели ТКИ. Применяются при необходимости учета тенденций развития техники, технологии и организации производства, эксплуатации и ремонта.

Базовые показатели определяются на стадии планирования опытно-конструкторских работ исходя из значений прогнозных показателей. Применяются в качестве исходных для ограничения различных видов затрат ресурсов в процессе проектирования. Вносятся в техническое задание на разработку изделия и используются при оценке для сравнения с ними достигнутых показателей.

Достигнутые показатели определяются на стадиях разработки конструкции изделия с учетом номенклатуры базовых показателей. Применяются для определения сравнительных показателей при оценке уровня ТКИ и разработки в необходимых случаях мероприятий по совершенствованию конструкции изделия и условий его производства, эксплуатации и ремонта.

Основные показатели характеризуют наиболее важные, самые существенные свойства, входящие в ТКИ и, как правило, выражающие ее в целом. К ним относятся показатели трудоемкости, материалоемкости, энергоемкости, продолжительности изготовления (ремонта, эксплуатации), себестоимости изделия.

Дополнительные показатели характеризуют технологическую рациональность и преемственность конструкции изделия применительно к отдельным областям проявления ТКИ. Применяются для детального анализа свойств конструкции изделия в рассматриваемой области проявления ТКИ с целью выявления возможностей принятия рациональных конструк-

тивных решений и последующего улучшения основных показателей ТКИ. Дополнительные показатели позволяют эффективно и целенаправленно совершенствовать конструкцию в процессе проектирования.

Основные расчетные зависимости

Выбор математической модели для расчета показателей ТКИ зависит от формы представления характеризующих свойств.

В общем случае для определения показателей ТКИ используют следующие расчетные зависимости:

общий (суммарный) показатель ТКИ

$$K = k_1 + \dots + k_l = \sum_{i=1}^l k_i;$$

структурный показатель ТКИ

$$K_{\text{ст}} = \sum_{n=1}^N k_n;$$

удельный показатель ТКИ

$$K_{\text{уд}} = K / P;$$

относительный показатель ТКИ

$$K_{\text{отн}} = K_i / K_6;$$

сравнительный показатель ТКИ

$$K_{\text{ср}} = K / K_6,$$

где l – общее число рассматриваемых свойств, образующих ТКИ; N – выборочное число свойств из общей совокупности свойств, образующих ТКИ; P – главный (определяющий) параметр изделия или реализуемый им полезный эффект; K_6 – базовый показатель ТКИ.

Эти зависимости пригодны для расчета показателей ресурсоемкости изделий различных видов.

Методы и приемы обработки изделия на технологичность

Обработку конструкции изделия на технологичность при выполнении опытно-конструкторских работ целесообразно проводить на основе комплексного использования специальных методов и приемов конструирования, обеспечивающих технологическую рациональность и преемственность конструкции

изделия. Краткая характеристика наиболее распространенных методов и приемов, используемых при обработке конструкции изделия на технологичность, и общие рекомендации по их применению приведены в табл. 1.

ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Каждое изделие машиностроения является, как правило, системным образованием. Это относится как к конечным изделиям – машинам, приборам, оборудованию, средствам механизации и автоматизации, так и к их составным частям, конструктивным элементам и материалам. Даже любая деталь представляет собой совокупность взаимосвязанных конструктивных элементов, которые в сочетании должны быть технологически рациональны. Поэтому следует дифференцировано рассматривать технологические требования к исходным материалам и конструктивному испытанию деталей, соединений и сборочных единиц.

Применение прогрессивных материалов и технологий

Основными направлениями экономии ресурсов за счет применения *прогрессивных материалов* являются:

- использование рационального сортамента и марок исходных материалов;
- применение металлозаменителей;
- применение ресурсосберегающих технологий.

Использование рационального сортамента и марок исходных материалов существенно влияет на экономию материалов в производстве. Этому способствует, в частности, использование в качестве заготовок деталей сортового проката, фасонных и специальных гнутых профилей и других видов заготовок, исключающих многие операции механической обработки и необоснованное применение в отдельных случаях литых заготовок и поковок.

К рациональным исходным материалам могут быть также отнесены прогрессивные виды проката с повышенными прочностными характеристиками, минусовыми допусками, стабильными механическими свойствами, антикоррозионными покрытиями.

1. Методы и приемы, используемые при отработке конструкции изделия на технологичность

Метод (прием)	Краткая характеристика	Рекомендации по применению
<i>Обеспечение технологической рациональности конструкции изделия</i>		
Параметрическая оптимизация объектов производства	Упорядочение номенклатуры однотипных объектов производства, сходных по функциональному назначению, путем установления рациональных параметрических и типоразмерных рядов изделий	Метод позволяет упорядочить номенклатуру объектов производства на исходных этапах становления новых видов техники и заранее исключить возможность появления неоправданного множества этих объектов в будущем
Блочно-модульное построение систем и устройств	Выделение функционально законченной части системы или устройства с образованием блока-модуля, т.е. части изделия, представляющей собой совокупность функционально объединенных элементов	Наиболее эффективен при монтаже вне предприятия-изготовителя и необходимости частой смены модулей как составных частей целого в процессе эксплуатации
Агрегирование составных частей	Объединение взаимосвязанных составных частей изделия в более крупную составную часть – агрегат для применения как неделимого целого	Метод является основой развития специализации производства составных частей и внедрения высокопроизводительных агрегатных методов ремонта
Оптимизационный метод выбора и назначения конструктивных элементов деталей и материалов	Выбор наилучших вариантов конструктивных элементов и материалов из множества возможных с использованием современных математических средств, включая математическое и динамическое программирование, оптимальное управление, векторный анализ. Выбор метода оптимизации зависит от вида целевой функции и характера ограничений	Целесообразные области применения: выбор физических и механических свойств материалов и видов исходных заготовок; установление точности размеров и шероховатости поверхностей; выбор формы и расположения поверхности деталей и видов их соединений с сопрягаемыми деталями; выбор методов изготовления, в том числе сборки
Размерный анализ	Совокупность признаков расчленения объекта на элементарные поверхности и на связи между ними	Целесообразен при простановке размеров и их предельных отклонений, при учете оптимальности затрат на изготовление и взаимозаменяемость составных частей конструкции при сборке, монтаже, техническом обслуживании и ремонте

Продолжение табл. 1

Метод (прием)	Краткая характеристика	Рекомендации по применению
Функционально-стоймостной анализ	Минимизация затрат для обеспечения основных функций изделия	Применим независимо от типа производства. Наибольший эффект дает на ранних стадиях проектирования конструкции изделия
Экономико-математическое моделирование	Описание объектов (процессов) посредством экономических моделей с применением математических средств	Целесообразно при установлении взаимосвязи основных функциональных, конструктивных и технологических характеристик изделия, влияющих на затраты труда, материалов и энергии при изготовлении, техническом обслуживании и ремонте, с эффективностью проектируемой техники в народном хозяйстве
<i>Обеспечение конструктивной приемственности изделия</i>		
Типизация конструкции изделия	Создание типового образа изделия для множества его исполнений, обеспечивающего применение при их разработке унифицированных составных частей и связей между ними	Наиболее эффективна при многократной повторяемости конструктивных схем и компоновок изделия и его составных частей
Унификация составных частей изделия, конструктивных элементов и материалов	Сохранение разнообразия перечисленных объектов при сохранении (или увеличении) разнообразия сфер (объектов), в которых они применяются	Применяется на всех стадиях создания конструкции изделия и подготовки его производства в том случае, если в сфере производства и эксплуатации повышается производительность труда и качество работы, снижается себестоимость продукции и работ при техническом обслуживании и ремонте
Взаимозаменяемость составных частей	Придание составным частям изделия способности взаимной замены в данном изделии или группе изделий	Наиболее эффективна для составных частей изделия, часто сменяемых в процессе их эксплуатации и ремонта

Продолжение табл. 1

Метод (прием)	Краткая характеристика	Рекомендации по применению
Замствование	Выбор составных частей или материалов из числа существующих для применения в разрабатываемой конструкции	Целесообразно при наличии освоенного производства составных частей, конструктивных элементов и материалов
Симплификация	Ограничение или простое сокращение числа типоразмеров выпускаемых изделий и их составных частей однотипного исполнения, номенклатуры конструктивных элементов, сортамента и марок применяемых материалов	Применяма в случаях, когда технически и экономически целесообразно уменьшение числа принятых конструктивных решений и материалов
<i>Обеспечение технологической приемственности конструкции изделия</i>		
Типизация технологических процессов производства, эксплуатации и ремонта изделия	Систематизация, анализ и синтез возможных технологических решений с целью разработки технологических процессов, оптимальных для данных условий производства, технического обслуживания и ремонта	Применяется при любом типе производства. Целесообразна при единстве технологической последовательности и общности элементов процесса
Унификация технологических операций	Сокращение разнообразия операций, обеспечивающее изготовление или ремонт группы изделий различной конфигурации на специализированных рабочих местах в условиях групповой обработки	Применяется в целях резкого повышения загрузки средств технологического оснащения
Стандартизация средств технологического оснащения	Совокупность приемов унификации, агрегатирования и взаимозаменяемости средств технологического оснащения, обеспечивающих многократное использование стандартных компонентов и на этой основе минимизацию затрат на разработку и производство специальных средств оснащения	Наиболее эффективна в единичном и мелкосерийном производствах, а также при создании гибких автоматизированных производственных систем

Применение металлозаменителей. По многим прочностным характеристикам пластмассы давно стали заменителями металла, а по ряду свойств (стойкости к различным средам, диэлектрических и других) они существенно превосходят металлы. Например, автомобильные рессоры, изготовленные из материалов на основе синтетической полиэфирной смолы, служат в 5 раз дольше стальных.

Детали из керамики по основным технико-эксплуатационным свойствам вполне конкурентоспособны по сравнению с деталями из пластмасс.

Не всегда удастся заменить полностью в конструкции изделия металлы на неметаллические материалы. В отдельных случаях ограничением является требование недопустимости снижения общей массы изделия по условиям эксплуатации. Однако и в этих случаях могут быть найдены резервы экономии металла. Например, в конструкции локомотива во избежание снижения сцепного веса в результате "чрезмерной" экономии металла при его конструировании предусматривается применение компенсирующего балласта из неметаллических материалов. В станкостроении для сохранения или повышения точности станков их массу сохраняют или увеличивают соответственно за счет недорогих тяжелых наполнителей из неметаллических материалов.

Экономии металла способствует применение композиционных материалов, которые обладают большей удельной прочностью, повышенной коррозионной стойкостью, жесткостью.

Применение ресурсосберегающих технологий. Основное внимание при организации новых и реконструкции действующих производств уделяется освоению *средств технологического оснащения* (машин, оборудования, средств автоматизации), реализующих малоотходные, безотходные и энергосберегающие технологии.

Основными направлениями развития металло- и энергосберегающей техники и технологии являются:

- создание и массовое применение техники, реализующей упрочняющие, малоотходные и безотходные технологические процессы;
- разработка новых и совершенствование выпускаемых видов энергопотребляющей техники (электрооборудования, автомобилей, тракторов, локомотивов, электробытовых то-

варов и других изделий) в соответствии с современными, жесткими требованиями к показателям экономного расходования топлива и энергии.

При разработке и модернизации энергопотребляющей техники важную роль играет применение в конструкции энергетических и технологических установок систем и устройств, которые обеспечивают автоматический контроль и регулирование рабочих параметров изделий, оптимальный режим их работы.

Внедрение ресурсосберегающих технологий предполагает также решение проблемы экономного использования трудовых ресурсов. Эта проблема решается в двух направлениях:

1) экономия живого труда, т.е. труда, непосредственно используемого в технологическом процессе преобразования предмета труда в конечный продукт;

2) экономия овеществленного труда, т.е. рациональное (более экономное) использование трудовых затрат, воплощенных в продуктах труда, при их непосредственном использовании по назначению.

Применение технологических методов упрочнения и нанесения антикоррозионных покрытий, предусмотренное в конструкторской документации и реализованное в производственных условиях, создает предпосылки для снижения массы машин и повышения их ресурсных характеристик.

К современным высокоэффективным методам технологического упрочнения деталей, например, относятся:

плазменная поверхностная закалка, значительно увеличивающая износостойкость деталей (валки прокатных станов);

низкотемпературное жидкостное цианирование, повышающее стойкость рабочих поверхностей к выкрашиванию (технологические инструменты);

термическая обработка деталей в защитных атмосферах, предотвращающих поверхностное обезуглероживание металла (листовые рессоры автомобилей);

нивелирование микрорельефов поверхностей деталей методом вибрационного обкатывания, повышающее износостойкость деталей в результате улучшения условий смазки (гильзы и поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания);

упрочнение деталей методами пластического деформирования, наплавки износостой-

ких сплавов и материалов, индукционной наплавки твердых сплавов и другими методами, повышающими стойкость деталей при рабочих нагрузках и перегрузках, и т.д.

К числу *прогрессивных, ресурсосберегающих методов изготовления деталей и их заготовок* относятся принципиально новые методы формоизменения, формообразования и упрочнения, в том числе:

профилирование специализированных заготовок на ковочных вальцах и станах поперечно-винтовой прокатки;

безокислительный и малоокислительный нагрев, обеспечивающий уменьшение припусков и снижение расхода металла на угар;

автоматизированный раскрой материала в листах и лентах;

точная дозированная резка заготовок под горячую малоотходную объемную штамповку;

объемная вибрационная обработка и комбинированные с ней методы и др.

Выбор этих методов изготовления при конструировании и ориентация на применение соответствующих средств технологического оснащения – один из важнейших источников экономии материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов.

Обеспечение технологичности конструкции детали

В зависимости от принадлежности следует различать детали взаимосвязанные и самостоятельные. *Взаимосвязанными* считают детали, являющиеся составными частями других изделий, *самостоятельными* – детали, не входящие в состав других изделий (например, гаечный ключ, сверло и др.).

Технологичность конструкции взаимосвязанной детали должна удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к изделию, в состав которого она входит, и частным требованиям, связанным непосредственно с ее технологичностью. Технологичность конструкции самостоятельной детали следует обеспечивать на всех стадиях ее разработки, исходя из базовых показателей технологичности, указанных в техническом задании.

Конструкцию детали следует отрабатывать на технологичность комплексно, учитывая зависимости от технологичности исходной

заготовки детали, каждого вида обработки в технологическом процессе изготовления, технологичности сборочной единицы, в которую эта деталь входит как составная часть.

Конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов или быть в целом стандартной. Состав конструктивных элементов выбирают с учетом ограничительных перечней, стандартов и картотек применяемости.

Формы и габариты детали, основные и вспомогательные базы и их сочетания, схемы простановки размеров, конструктивные элементы, материалы, покрытия, требования к упрочнению должны максимально соответствовать принятым для типовой конструкции детали.

Для изготовления деталей следует применять стандартные или унифицированные заготовки.

Заготовки должны быть получены рациональным способом с учетом заданного объема выпуска и типа производства. При выборе метода изготовления заготовок следует исходить из возможности одновременного изготовления нескольких деталей.

Конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых и стандартных технологических процессов ее изготовления и ремонта.

Физико-химические и механические свойства материала, жесткость детали, ее форму и размеры выбирают с учетом требований технологии изготовления и ремонта (включая процессы упрочнения, коррозионной защиты и др.), хранения и транспортирования.

Свойства материалов связаны с методами изготовления двойной зависимостью: во-первых, методы, обладая определенными конструктивно-технологическими параметрами P_m , обеспечивают получение определенных свойств материала C_m , т.е. $P_m = f_1(C_m)$; во-вторых, свойства материала C_m для проведения процесса его преобразования требуют, чтобы свойствообразующие методы обладали соответствующими энергетическими параметрами E_m , т.е. $E_m = f_2(C_m)$.

Наличие качественных взаимосвязей между свойствами материала и распространенными методами изготовления иллюстрирует табл. 2.

2. Взаимосвязь между свойствами материалов и методами изготовления деталей

Свойства материалов	Взаимосвязь, обусловленная зависимостью							
	$P_m = f_1(C_m)$				$E_m = f_2(C_m)$			
	Литье	Обработка давлением	Обработка резанием	Тепловое воздействие	Литье	Обработка давлением	Обработка резанием	Тепловое воздействие
<i>Первичные</i>								
Химический состав (содержание элементов)	-	-	-	-	+	+	+	-
Структурное строение: размер зерна характер расположения зерен	+	+	-	-	+	+	+	-
<i>Вторичные</i>								
<i>Механические:</i>								
временное сопротивление	+	+	-	-	-	+	+	-
предел пропорциональности	+	+	-	-	-	+	+	-
предел текучести	+	+	-	-	-	+	+	-
относительное удлинение	+	+	-	-	-	+	-	-
удельная вязкость	+	+	-	-	-	+	-	-
твердость	+	+	-	-	-	+	+	-
<i>Физические:</i>								
плотность	-	-	-	-	+	-	-	-
температура плавления	-	-	-	-	+	+	+	+
температура кристаллизации	-	-	-	-	+	+	-	-
температура рекристаллизации	-	-	-	-	+	+	-	-
теплопроводность	-	-	-	-	+	+	+	-
<i>Технологические:</i>								
жидкотекучесть	-	-	-	-	+	-	-	-
пластичность	-	-	-	-	-	+	-	-
обрабатываемость резанием	-	-	-	-	-	-	+	-

Между методами обработки резанием и свойствами материалов существуют только энергетические взаимосвязи. Отсутствует влияние свойств материалов на процессы преобразования свойств деталей методами, основанными на использовании тепловой энергии, например, электроэрозийными, электронно-лучевыми методами, светолучевой обработки.

Нередко возникает вопрос о целесообразности замены одного технологического способа изготовления детали на другой (например,

литья на штамповку, обработки резанием на изготовление прокаткой и т.п.).

Этот вопрос решается проведением сопоставительного расчета и технико-экономического анализа сравниваемых вариантов по одному или нескольким комплексным показателям ТКИ (например, трудоемкости, материалоемкости или энергоемкости изделия в производстве, а для отдельных видов ремонтируемых изделий – в производстве и эксплуатации).

Обеспечение технологичности конструкции соединения и сборочной единицы

Технологичность конструкции соединения. При выборе вида соединения следует учитывать затраты труда, материалов и энергии на образование соединения конструктивных элементов и возможность использования тех видов соединений, которые ранее приняты и освоены в данных производственных условиях, обеспечены современными средствами технологического оснащения и обладают достаточными технико-эксплуатационными характеристиками.

Требования к неразъемным соединениям. Конструкция неразъемного соединения должна разрабатываться с учетом ее влияния на производственную технологичность конструкции изделия.

При выборе вида неразъемного соединения из числа соединений, обладающих равной прочностью, стойкостью к внешним воздействиям и т.п., следует предпочитать то соединение, которое может быть образовано при минимальных затратах ресурсов и является более рациональным технологически при выполнении операций контроля.

При выборе материалов для формирования соединения необходимо учитывать возможное изменение их физико-механических характеристик в процессе образования соединений. Характеристики применяемых материалов и формы заготовок, как правило, должны быть такими, чтобы в результате выполнения соединительных операций не возникла необходимость в дополнительных операциях обработки и контроля.

В конструкции соединения следует исключать сложную и необоснованно точную обработку сопрягаемых поверхностей.

Требования к разъемным соединениям. Конструкция разъемного соединения должна разрабатываться с учетом ее влияния на производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность конструкции изделия.

При выборе вида разъемного соединения из числа соединений, обладающих равными технико-эксплуатационными характеристиками, следует применять тот вид соединения, который требует наименьших затрат на выполнение операций монтажа и демонтажа в условиях производства, транспортирования, технического обслуживания и ремонта.

В конструкции соединения следует использовать такие формы конструктивных элементов и материалы, которые позволяют формировать или расформировывать соединение минимальным числом операций монтажа и демонтажа и исключать при этом необходимость последующей дополнительной обработки элементов соединения и возможность снижения его надежности в эксплуатации.

Технологичность конструкции сборочной единицы. Конструкция сборочной единицы должна удовлетворять требованиям изготовления, эксплуатации и ремонта наиболее производительными и экономичными способами при заданных условиях производства, эксплуатации и ремонта.

Технологичность конструкции сборочной единицы рассматривается относительно всего изделия и его составных частей с учетом условий сборки, испытания, монтажа вне предприятия-изготовителя, технического обслуживания и ремонта.

Конструкция сборочной единицы отрабатывается на технологичность комплексно, учитывая взаимозависимость производственной, эксплуатационной и ремонтной технологичности составных частей сборочной единицы, а также изделия, в которое данная сборочная единица входит как составная часть.

При обеспечении технологичности сборочных единиц следует учитывать их функциональное различие в составе изделия.

Сборочные единицы могут быть составной частью изделия и не выполнять самостоятельных функций (например, корпус клапана с запрессованной втулкой) либо выполнять самостоятельные функции (например, редукционный клапан насоса в отдельном корпусе; насос в отдельном корпусе относительно двигателя и т.д.).

Уровень технологичности конструкции определяют для всех сборочных единиц, для которых в техническом задании установлены базовые показатели технологичности.

Состав показателей технологичности, используемых для отработки конструкции сборочной единицы и определения уровня ее технологичности, и состав базовых показателей должны полностью совпадать.

Требования к составу сборочной единицы. Сборочная единица должна расчленяться на рациональное число составных частей с учетом принципа агрегирования, а ее конст-

рукция компоноваться из стандартных и унифицированных частей и исключать необходимость применения сложного технологического оснащения.

Виды используемых соединений, их конструктивное оформление и месторасположение выбирают с учетом требований механизации и автоматизации сборочных работ.

В конструкции сборочной единицы и ее составных частей, имеющих массу более 16 кг, необходимо наличие конструктивных элементов для удобного захвата грузоподъемными средствами, используемыми в процессе сборки, разборки и транспортирования.

В конструкции сборочной единицы предусматривается базовая составная часть, которая является основой для расположения остальных составных частей изделия. Форма базовой составной части должна быть удобной для правильной установки ее на рабочем месте сборки: в стапеле, приспособлении, на рабочем столе, сборочной площадке и т.д.

В конструкции базовой составной части необходимо предусматривать возможность использования конструкторских баз в качестве технологических и измерительных.

Компоновка конструкции сборочной единицы должна обеспечивать сборку изделия при неизменном базировании составных частей и исключать их промежуточные разборки и повторные сборки.

В компоновке составных частей сборочной единицы предусматривают удобный доступ к местам, требующим контроля, регулирования и проведения других работ, регламентированных технологией подготовки изделия к использованию по назначению, технического обслуживания и ремонта.

Компоновка сборочной единицы и способы соединений должны обеспечивать легкосъемность быстросменных составных частей.

При выборе компоновки сборочной единицы необходимо предусматривать рациональное расположение такелажных узлов, монтажных опор и других устройств для обеспечения транспортабельности изделия.

Число поверхностей и мест соединений составных частей должно быть по возможности минимальным, а места соединений составных частей доступными для механизации сборочных работ и контроля качества соединений.

Требования к точности и методу сборки. Точность расположения составных частей

должна быть обоснована и взаимосвязана с точностью их изготовления.

Метод сборки для данного объема выпуска и типа производства выбирают на основании *расчета и анализа размерных цепей*. Расчет размерных цепей следует проводить, используя метод максимума – минимума или вероятностный. Метод максимума – минимума применяют при расчете коротких размерных цепей (с числом звеньев менее пяти) с высокой точностью замыкающего звена или многозвенных размерных цепей с малой точностью замыкающего звена.

При выборе метода сборки следует учитывать трудоемкость изделия в сборочных работах и затраты на изготовление составных частей с точностью, необходимой для данного метода сборки. Методы сборки располагаются по убывающей производительности труда сборочных работ в следующем порядке: с полной взаимозаменяемостью; с неполной взаимозаменяемостью; с групповой взаимозаменяемостью; с регулированием компенсаторами; с пригонкой.

В конструкции необходимо предусматривать устройства, обеспечивающие заданную точность относительного расположения составных частей (центрирующие, фиксирующие, компенсирующие и др.).

Пределы регулирования и параметры компенсаторов рассчитывают на основе теории размерных цепей.

Компенсирующие, центрирующие и фиксирующие устройства должны иметь простую конструкцию и свободный доступ для рабочего и контрольного инструментов.

Требования к конструкции при автоматизированном процессе сборки. При разработке сборочной единицы необходимо стремиться к простоте ее конструкции, блочности построения, возможности присоединения деталей к базовой простейшим движением (по возможности вдоль одной оси), обеспечению полной взаимозаменяемости деталей по сопрягаемым поверхностям, выполнению точностных требований к деталям для осуществления правильного их базирования, возможности автоматического ориентирования и загрузки деталей.

Технологичность конструкции сборочной единицы определяется возможностью узловой последовательной сборки, технологичностью видов соединений и точностными показателями. При этом технологичность конструкции

деталей рассматривается по группам признаков, характеризующих устойчивость формы и поверхности деталей к различным воздействиям, удобство ориентирования и загрузки, возможность базирования и собираемость.

Конструкция изделия, подвергаемого контролю и испытанию должна обладать следующими свойствами:

быть доступной для подхода к элементам, подвергаемым контролю или испытанию, и для применения технических средств, соответствующих целям и задачам контроля и испытания;

быть рациональной с точки зрения членения конструкции на зоны (места) контроля и испытания, обеспечения преемственности методов контроля и испытания, испытательного оборудования и контролирующей аппаратуры, а также возможности применения средств механизации и автоматизации процессов контроля и испытания;

обеспечивать возможность полной или частичной имитации условий эксплуатации при проведении контроля и испытания.

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Этапы и содержание работ по обеспечению ТКИ. При организации процессов разработки конструкции изделия учитывается взаимосвязь этих процессов с другими сферами

формирования и проявления конструктивно-технологических особенностей исполнения изделия, включая сферы научных исследований и разработки новых процессов, технологических методов и средств, а также сферы изготовления, эксплуатации и ремонта изделия (рис. 2).

Определяющие конструкторско-технологические решения по изделию и обеспечению технологичности его конструкции формируются в процессе разработки конструкторской документации при выполнении технического предложения, эскизного и технического проектов.

Основное содержание работ по обеспечению технологичности конструкции изделия на стадиях его разработки и освоения приведено в табл. 3.

Обеспечение ТКИ в системе подготовки производства. Обеспечение технологичности конструкции изделия является, наряду с разработкой и освоением новых технологических процессов и средств технологического оснащения, одной из основных функций технологической подготовки производства. Согласно ГОСТ Р 50995.3.1-96 организатором и ответственным исполнителем работ по формированию определяющих технологических и организационных решений по производству изделия является разработчик, соисполнители-изготовители опытных образцов, единичных и серийных изделий, а также при необходимости специализированные технологические организации.

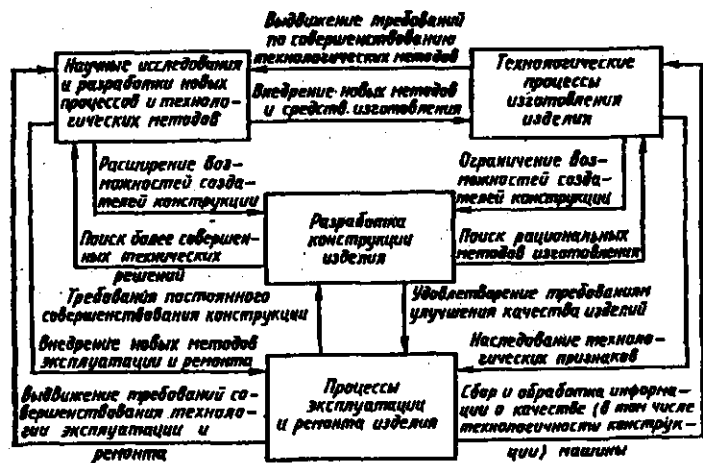


Рис. 2. Структура взаимосвязи процессов разработки конструкции изделия со сферами проявления ее свойств

3. Основное содержание работ по обеспечению ТКИ на стадиях разработки конструкторской документации

Стадии разработки конструкторской документации	Основное содержание работ по обеспечению ТКИ
Техническое предложение	<p>Выявление вариантов конструктивных решений, имеющих лучшие предпосылки для рационального членения и компоновки изделия.</p> <p>Выявление возможности заимствования составных частей изделия.</p> <p>Выявление новых материалов, технологических процессов и средств технологического оснащения.</p> <p>Расчет показателей технологичности вариантов конструкции изделия.</p> <p>Выбор окончательного варианта конструктивного решения и (или) компоновки основных составных частей изделия.</p> <p>Технологический контроль конструкторской документации.</p>
Эскизный проект	<p>Анализ соответствия компоновок и членения вариантов конструкции изделия условиям производства технического обслуживания и ремонта.</p> <p>Сопоставление вариантов конструкции изделия по унификации, стандартизации, точности расположения и способам соединения составных частей изделия.</p> <p>Расчет показателей технологичности вариантов конструкции изделия.</p> <p>Выбор вариантов конструкции изделия для дальнейшей разработки.</p> <p>Технологический контроль конструкторской документации.</p>
Технический проект	<p>Определение возможности параллельной и независимой сборки и контроля специфицированных составных частей изделия.</p> <p>Анализ соответствия конструкции и компоновки сменных и требующих технического обслуживания составных частей изделия требованиям технического обслуживания и ремонта.</p> <p>Выявление возможности применения покупных, стандартных, унифицированных или освоенных производством составных частей изделия.</p> <p>Анализ возможности применения новых, в том числе типовых и групповых высокопроизводительных технологических процессов.</p> <p>Расчет показателей ТКИ.</p> <p>Принятие основных принципиальных решений по ТКИ и совершенствованию условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте.</p> <p>Технологический контроль конструкторской документации.</p>

Продолжение табл. 3

Стадии разработки конструкторской документации	Основное содержание работ по обеспечению ТКИ
<p>Рабочая конструкторская документация</p> <p>а) опытного образца (опытной партии) или изделия единичного производства (кроме изготовления)</p>	<p>При разработке проводятся:</p> <p>анализ возможности сборки изделия и его составных частей без промежуточных разборок;</p> <p>выбор рациональных способов фиксирования, центрирования и регулирования составных частей изделия;</p> <p>определение доступности и легкосъемности сменных и требующих технического обслуживания и ремонта составных частей изделия;</p> <p>выявление возможности унификации сборочных единиц и их конструктивных элементов; деталей (включая детали крепежа) и их конструктивных элементов;</p> <p>установление экономически целесообразных методов получения заготовок;</p> <p>поэлементная отработка конструкции деталей и сборочных единиц на технологичность;</p> <p>расчет показателей ТКИ;</p> <p>технологический контроль конструкторской документации.</p> <p>При изготовлении и испытании проводятся:</p> <p>проверка соответствия членения конструкции организационной структуре предприятия-изготовителя;</p> <p>проверка соответствия конструкции деталей рациональным способам получения заготовок и их обработки;</p> <p>проверка соответствия заданной точности изготовления изделия технический данным средств технологического оснащения;</p> <p>проверка применимости нормальных рядов размеров, стандартного режущего и измерительного инструмента;</p> <p>проверка возможности использования конструкторских баз в качестве технологических и их увязка;</p> <p>проверка возможности сокращения обрабатываемых поверхностей, совмещения (расчленения) деталей;</p> <p>проверка удобства и быстроты регулировки расположения составных частей изделия;</p> <p>проверка возможности контроля, в том числе контроля технического состояния, диагностирования, доступа к составным частям при изготовлении, обслуживании и ремонте;</p> <p>проверка возможности замены составных частей изделия другими такими же частями при сохранении установленного качества изделия в целом;</p> <p>проверка возможности и удобства установки и съема составных частей изделия при его изготовлении, обслуживании и ремонте, а также монтажа и демонтажа составных частей изделия;</p> <p>проверка возможности восстановления геометрических характеристик и качества поверхностей деталей;</p> <p>проверка соответствия технологичности конструкции требованиям ремонтпригодности и транспортабельности;</p> <p>анализ технологичности опытного образца;</p> <p>расчет показателей технологичности после отработки конструкции при изготовлении и испытании опытного образца;</p> <p>корректировка и технологический контроль конструкторской документации с учетом предложений об изменении, выявленных при анализе технологичности опытного образца</p>

Продолжение табл. 3

Стадии разработки конструкторской документации	Основное содержание работ по обеспечению ТКИ
<p>б) серийного (массового) производства</p>	<p>Окончательное принятие решений по совершенствованию условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте и фиксация этих решений в технологической документации.</p> <p>Окончательная отработка конструкции изделия в период изготовления, испытания и оснащения технологического процесса изготовления установочной серии.</p> <p>Доведение конструкции изделия до соответствия требованиям: серийного (массового) производства с учетом применения наиболее производительных технологических процессов и средств технологического оснащения при изготовлении изделия и его основных составных частей; существующей и создаваемой системы обслуживания, диагностирования, ремонта, монтажа вне предприятия-изготовителя, транспортирования и хранения с учетом применения прогрессивных технологических процессов и средств технологического оснащения при подготовке изделия к применению по назначению, обслуживании, ремонте, монтаже вне предприятия-изготовителя, диагностировании, транспортировании и хранении.</p> <p>Оценка соответствия достигнутого уровня технологичности требованиям технического задания.</p> <p>Корректировка конструкторской документации.</p> <p>Оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности путем проведения испытаний или организации сбора данных о технологичности изделия в процессе эксплуатации и ремонта</p>

Разработчик в соответствии с планами-графиками разработки технического предложения, эскизного и технического проектов представляет проектную конструкторскую документацию (комплектно на изделие или по мере готовности на сложные элементы изделия) для совместной проработки со специалистами-технологами разработчика, изготовителя и, в необходимых случаях, специализированных технологических организаций.

Технологическая проработка (с учетом уточнений и корректировки ее результатов на последующих этапах проектирования), в частности, предусматривает:

– оценку сформированных при проектировании конструкторско-технологических решений с точки зрения их технологичности,

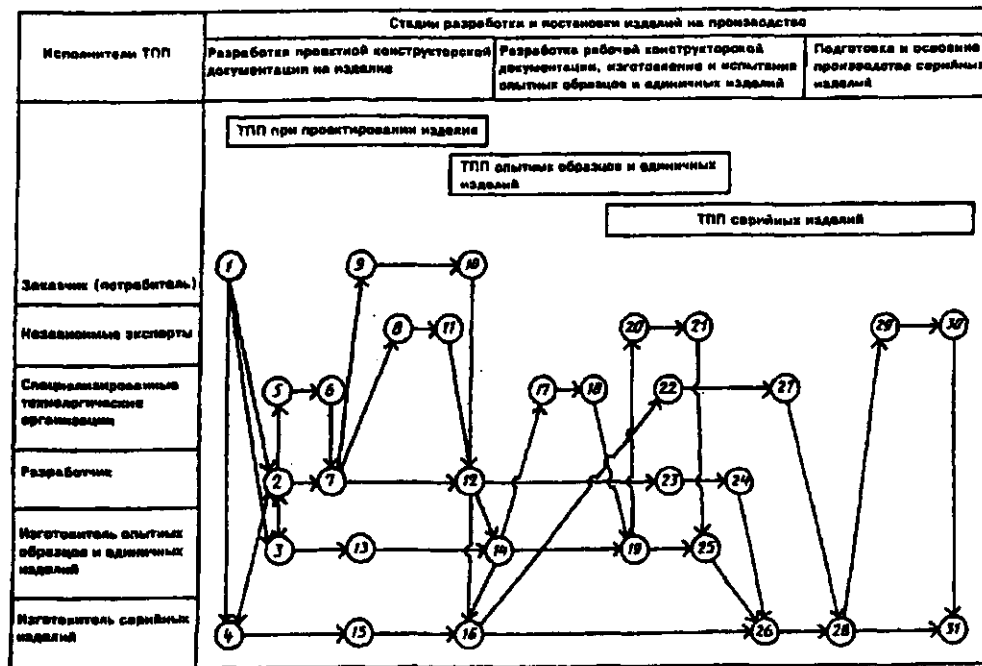
реализуемости в производстве и конкурентоспособности;

– выявление определяющих проблем, связанных с разработкой и освоением принципиально новых или ранее не освоенных у изготовителей технологических и организационных решений, материалов (сырья, заготовок, полуфабрикатов) и средств технологического оснащения;

– укрупненную оценку контролируемости, материалоемкости, трудоемкости, себестоимости изделия при его изготовлении и другие работы.

Типовая схема организации технологической подготовки производства (ТПП) при технологическом обеспечении создания продукции и содержание работ приведены в табл. 4.

4. Содержание работ типовой схемы организации ТПП при технологическом обеспечении



Типовая схема организации ТПП при технологическом обеспечении

Исполнители	Содержание работ
Заказчик (потребитель)	<p>1 → 2 – Выбор разработчика изделия</p> <p>1 → 3 – Выбор (участие в выборе) изготовителя единичных изделий</p> <p>1 → 4 – Выбор (участие в выборе) изготовителя серийных изделий</p> <p>9 → 10 – Оценка определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>10 → 12 – Передача разработчику результатов оценки</p>
Независимые эксперты	<p>8 → 11 – Оценка определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>11 → 12 – Передача разработчику результатов оценки</p> <p>20 → 21 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>21 → 25 – Передача изготовителю опытных образцов и единичных изделий результатов оценки</p> <p>29 → 30 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий</p> <p>30 → 31 – Передача изготовителю серийных изделий результатов оценки</p>

Продолжение табл. 4

Исполнители	Содержание работ
Специализированные технологические организации	<p>5 → 6 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>6 → 7 – Передача разработчику результатов работ по ТПП</p> <p>17 → 18 – Участие в выполнении работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>18 → 19 – Передача изготовителю опытных образцов и единичных изделий результатов работ по ТПП</p> <p>22 → 27 – Участие в выполнении работ по ТПП серийных изделий</p> <p>27 → 28 – Передача изготовителю серийных изделий результатов работ по ТПП</p>
Разработчик	<p>2 → 3 – Выбор изготовителя опытных образцов и единичных изделий</p> <p>2 → 4 – Выбор (участие в выборе) изготовителя серийных изделий</p> <p>2 → 5 – Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>2 → 7 – Организация и выполнение работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>7 → 8 – Организация независимой оценки определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>7 → 12 – Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>12 → 14 – Передача изготовителю опытных образцов и единичных изделий конструкторской и технологической документации, необходимой для выполнения ТПП</p> <p>12 → 16 – Передача изготовителю серийных изделий конструкторской и технологической документации, необходимой для начала выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП</p> <p>12 → 23 – Участие в выполнении работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>23 → 24 – Участие в оценке технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>24 → 26 – Передача изготовителю серийных изделий необходимой для ТПП конструкторской и технологической документации, отработанной по результатам изготовления и приемочных испытаний опытных образцов</p>
Изготовитель опытных образцов и единичных изделий	<p>3 → 2 – Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия</p> <p>3 → 13 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>13 → 14 – Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p>

Продолжение табл. 4

Исполнители	Содержание работ
	<p>14 → 16 – Передача изготовителю серийных изделий технологической документации, необходимой для начала выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП</p> <p>14 → 17 – Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>14 → 19 – Организация и выполнение работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>19 → 20 – Организация независимой оценки технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>19 → 25 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>25 → 26 – Передача изготовителю серийных изделий необходимой для ТПП технологической документации, отработанной по результатам изготовления и приемочных испытаний опытных образцов</p>
Изготовитель серийных изделий	<p>4 → 2 – Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия</p> <p>4 → 15 – Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>15 → 16 – Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>16 → 22 – Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП серийных изделий</p> <p>16 → 26 – Организация и начало выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП серийных изделий</p> <p>26 → 28 – Выполнение и завершение работ по ТПП серийных изделий</p> <p>28 → 31 – Оценка технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий</p>

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Общие положения

Показатели технологичности конструкции входят в группу ресурсосберегающих показателей качества, характеризуют его свойства, определяющие приспособленность конструкции к достижению оптимальных затрат, значений показателей качества продукции, объема ее выпуска и условий выполнения работ.

Показатели ТКИ не следует смешивать с показателями ресурсоемкости рабочего про-

цесса изделия, также входящими в группу ресурсосберегающих показателей качества, представленных на рис. 3.

Показатели ресурсоемкости рабочего процесса характеризуют свойства изделия, определяющие экономичность его функционирования (потребления), т.е. эффективность использования ресурсов (энергии, труда, материалов, времени), необходимых для непосредственного использования изделия по назначению. К таким показателям можно отнести следующие: коэффициент полезного действия установки; удельный расход электроэнергии; удельный расход топлива и т.д.

Основные показатели ТКИ и характеризующие ими свойства приведены на рис. 4.

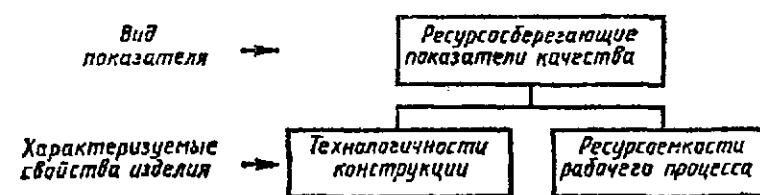


Рис. 3. Ресурсосберегающие показатели качества изделий

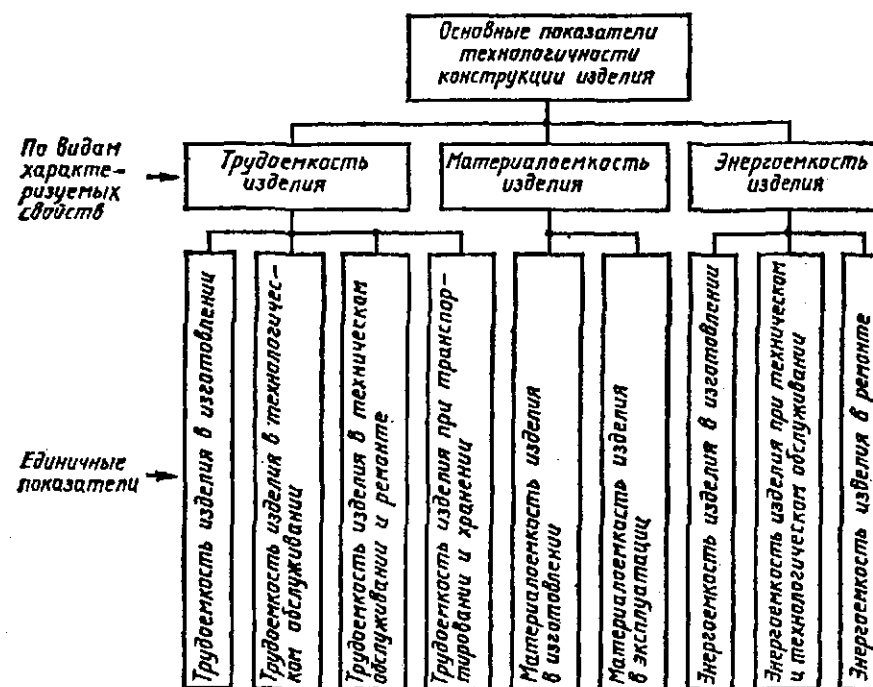


Рис. 4. Основные показатели ТКИ и характеризующие ими свойства

Наряду с этими тремя группами единичных показателей к основным показателям относят показатели технологической себестоимости изделия, характеризующие затраты различных видов ресурсов комплексно в стоимостном выражении.

Трудоемкость изделия

Трудоемкость изделия как показатель ТКИ характеризует количество труда, затрачиваемого на одно изделие с учетом его конструктивных особенностей в сферах производства, эксплуатации и ремонта. Разновидностями

этого показателя, определяемыми затратами труда в конкретных областях проявления ТКИ, является трудоемкость изделия: в технической подготовке производства (ТПП), в изготовлении, техническом обслуживании (ТО), ремонте, утилизации и общая трудоемкость изделия.

При сравнительном анализе вариантов конструкции изделия необходимо обеспечивать выполнение следующих требований:

существующие или предполагаемые условия выполнения работ в производстве, эксплуатации и ремонте для сравниваемых вариантов конструкции должны быть одинаковыми или приведены к одинаковому организационно-техническому уровню;

технологические процессы выполнения работ во всех сферах их реализации должны быть прогрессивными, т.е. соответствовать лучшим показателям действующей системы их аттестации;

сравниваемые варианты конструкции должны иметь примерно равные абсолютные, а также удельные массы, однотипную характеристику применяемых материалов;

трудоемкость изделий анализируемых конструктивных исполнений должна быть тем меньше, чем меньше их масса;

значения показателей трудоемкости изделия следует определять одним и тем же методом.

В случае невозможности принятия однозначного решения по конструкции на основе данных о трудоемкости изделия требуется обязательное применение других показателей ресурсоемкости. На практике показатель трудоемкости изделия чаще всего применяют совместно с показателем материалоемкости изделия.

Основные конструкторские документы и информационные данные, необходимые для определения трудоемкости изделия, а также методы учета конструктивно-технологических особенностей изделия в зависимости от стадии разработки конструкторской документации приведены в табл. 5.

5. Информация и методы, используемые для определения трудоемкости изделия

Стадия разработки конструкторской документации	Конструкторские документы для расчета трудоемкости изделия	Информация, получаемая из конструкторского документа	Методы учета конструктивно-технологических особенностей, определяющих трудоемкость изделия
Техническое предложение	Ведомость технического предложения; пояснительная записка; схемы	Масса изделия; параметры назначения; число элементов	Метод учета масс; метод удельного нормирования; метод элементкоэффициентов
Эскизный проект Технический проект	Чертеж общего вида; теоретический чертеж; габаритный чертеж; ведомость эскизного (технического) проекта; схемы	Масса изделия; параметры назначения; число составных частей; число элементов	Метод учета масс; метод удельного нормирования; метод учета сложности; метод элементкоэффициентов
Рабочая конструкторская документация	Чертеж детали; сборочный чертеж; спецификация; ведомость спецификаций; технические условия	Масса изделия; масса деталей; число деталей; технические требования; число сборочных единиц	Метод учета масс; метод удельного нормирования; метод учета сложности; метод учета значимости составных частей; моделирование трудоемкости на основе корреляционно-регрессионного анализа

Примечание. Методы учета конструктивно-технологических особенностей при определении показателей трудоемкости изделия приведены в [1].

Материалоемкость изделия

Материалоемкость изделия как показатель ТКИ характеризует количество материальных ресурсов, необходимых для создания и применения одного изделия с учетом его конструктивных особенностей в сферах производства, эксплуатации и ремонта. Разновидностями этого показателя, определяемыми затратами материалов в конкретных областях проявления ТКИ, являются: материалоемкость изделия в изготовлении; материалоемкость изделия в ТО; материалоемкость изделия в ремонте; общая материалоемкость изделия (рис. 5).

Как правило, показателями ТКИ не могут быть масса изделия, определяемая совокупностью масс деталей и сборочных единиц, входящих в изделие, и удельная масса изделия, определяемая отношением его сухой массы к номинальному значению основного параметра или к полезному эффекту, получаемому при использовании изделия по назначению.

Эти показатели характеризуют степень технического совершенства и рациональность конструкторского замысла изделия значительно больше, чем его технологическую рациональность. Однако изучение структуры массы изделия позволяет влиять на технологичность конструкции, изменяя ее габаритные размеры, число составных частей и покупных изделий, свойства применяемых материалов и т.п.

При разработке направлений моделирования и применения моделей ТКИ масса только косвенно выступает в качестве характеристики технологичности через материалоемкость, трудоемкость и себестоимость изделия в изготовлении.

Наряду с применением абсолютных значений материалоемкости изделия в качестве показателей ТКИ часто применяют *показатели удельной материалоемкости*.

Удельную производственную материалоемкость изделия в общем случае рассчитывают по формуле

$$M_n^{уд} = M_n / (P\tau), \quad (1)$$

где M_n – расход материала на изготовление изделия; τ – установленный срок службы изделия в эксплуатации; P – номинальное значение основного параметра изделия или полезный эффект от его использования, определяемые по результатам научных исследований для конкретных видов изделия.

Выбранные характеристики и параметры должны удовлетворять условию тесной связи с расходом металла, то есть изменения значений параметра, характеризующего потребительские свойства изделия, должны вызывать соответствующие изменения расхода металла.

Учет ресурса работы изделия обеспечивает более объективный подход к определению материальных затрат. Введение в формулу (1) параметра τ дает возможность при необходимости количественно обосновать увеличение расхода материала на изделие для увеличения ресурсных показателей. Чем ниже значение показателя $M_n^{уд}$, тем выше уровень ТКИ.

Удельную эксплуатационную материалоемкость изделия в общем случае рассчитывают по формуле

$$M_3^{уд} = M_3 / (P\tau), \quad (2)$$

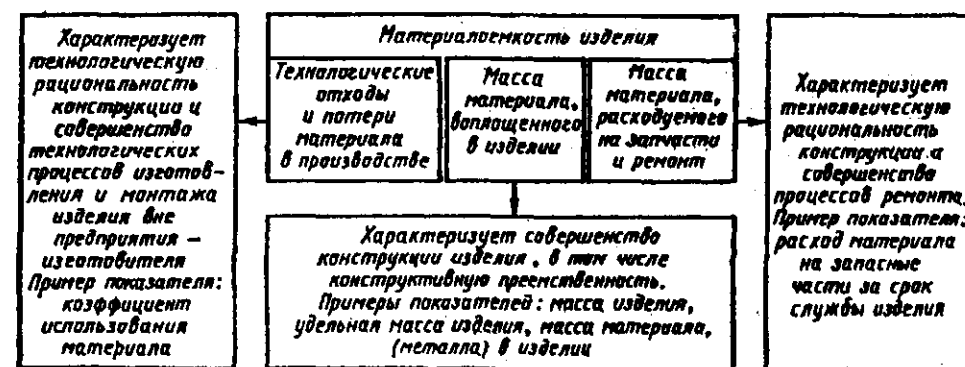


Рис. 5. Составляющие расхода материалов на изделие машиностроения

где M_3 – расход материала на эксплуатацию изделия, определяемый суммированием норм расхода материала на составные части изделия (детали и сборочные единицы), сменяемые за полный срок его службы.

Показатели $M_n^{уд}$ и $M_3^{уд}$ должны иметь одинаковую размерность для определения общей удельной материалоемкости изделия:

$$M^{уд} = M_n^{уд} + M_3^{уд}. \quad (3)$$

При достаточно малом значении $M_3^{уд}$ (например, не превышает 10 % от $M_n^{уд}$) практически можно допустить, что $M^{уд} = M_n^{уд}$. Оценка эксплуатационной ТКИ по материалоемкости обязательна при сопоставимости значений M_3 и M_n , т.е. при $M_3 \geq 0,1M_n$.

При необходимости конкретизировать вид определяющих материальных затрат (металл, дерево, пластмасса и т.п.) целесообразно оценивать отдельные свойства изделия, такие, как металлоемкость, пластмассоемкость и др., соответствующими удельными показателями, которые можно определить, используя формулы (1) – (3).

Анализ показателей удельной материалоемкости (иногда массы) изделия позволяет

установить на всех стадиях разработки конструкторской документации общее направление лучшего использования материалов. Иногда для этого целесообразно использовать дополнительные показатели ТКИ, связанные с унификацией и рациональным использованием материалов.

Для оценки материалов используют коэффициент применяемости материала

$$K_{пр.м} = M_{ni} / M_n,$$

где M_{ni} – норма расхода i -го материала данной марки и (или) профиля на изготовление изделия; M_n – норма расхода всех материалов на изготовление изделия.

Учет коэффициента $K_{пр.м}$ позволяет применять в перспективе прогрессивные марки и профили, обеспечивая при этом необходимый баланс потребности в материалах.

Применяемость материала целесообразно регламентировать для изделия в целом. Пример такой регламентации приведен в табл. 6.

Сумма значений коэффициентов $K_{пр.ми}$ для всех материалов

$$\sum_{i=1}^l K_{пр.ми} = 1.$$

6. Нормы расхода и применяемости материалов на изделие

Материал	M_{ni} , кг	$K_{пр.ми}$
Отливки:		
из серого чугуна	698,3	0,101
из ковкого чугуна	378,9	0,055
из стали	47,1	0,007
из алюминия	19,9	0,003
Листовой прокат	2225,8	0,323
Сталь сортовая	1745,6	0,254
Стальные ленты, полосы	196,7	0,028
Трубы стальные	363,9	0,053
Крепежные детали	127,9	0,019
Покупные и прочие материалы	1076,9	0,157

Анализ применяемости материалов должен совпадать с работами по контролю рационального использования в конструкторской документации ограничительных номенклатур марок материалов, профилей и размеров проката. Соответствие достигнутых показателей $K_{пр.м}$ заданным (базовым) проверяют при нормоконтроле.

Для оценки степени рационального использования материалов применяют коэффициент использования материала

$$K_{и.м} = M_i / M_{ni},$$

где M_{ni} – номинальное значение массы i -го материала в изделии.

Введение показателя M_{ni} означает, что уже на стадиях разработки конструкции изделия должна производиться объективная и достоверная оценка не только самой конструкции изделия, но и технологического процесса предполагаемого производства.

Коэффициент использования материала, по существу, является показателем совершенства технологии производства и может применяться для оценки ТКИ в случаях невозможности установления для изделий значений полезного эффекта или основного технического параметра, а также изделий, являющихся самостоятельными деталями (например, болт, штифт, гаечный ключ и др.).

Во всех случаях, когда для изделий можно установить значения полезного эффекта или основного технического параметра, ТКИ следует оценивать по удельным показателям материалоемкости, наиболее полно характеризующим технологическую рациональность конструкции по затратам материала в производстве и эксплуатации изделия.

Результаты оценки ТКИ по материалоемкости могут быть использованы для совершенствования условий выполнения работ в сферах проявления ТКИ осуществлением таких мероприятий, как:

разработка новых и совершенствование известных конструкционных материалов;

создание и применение прогрессивных технологических процессов изготовления, включая выбор рационального способа получения заготовок, повышение качества и точности изготовления, применение рационального раскроя, использование отходов;

повышение надежности конструкции, внедрение в конструкторские работы расчетов на прочность;

улучшение условий эксплуатации изделий их рационализацией, обеспечением сохранности машин (изделий), нормирование (сокращение) расхода запчастей;

создание и применение рациональных методов контроля и испытания материалов с учетом контролепригодности конструкции по материалоемкости;

вторичное использование изделия и его составных частей.

В табл. 7 приведены основные конструкторские документы и информация, используемые для определения материалоемкости изделия, а также методы учета конструктивно-технологических особенностей изделия в зависимости от стадии разработки конструкторской документации.

Энергоемкость изделия

Энергоемкость изделия как показатель ТКИ характеризует количество топливно-энергетических ресурсов, необходимых на одно изделие с учетом его конструктивных особенностей при производстве, эксплуатации и ремонте. Разновидностями показателя, определяемыми затратами топлива и энергии в конкретных областях проявления ТКИ, являются: энергоемкость изделия в изготовлении; энергоемкость изделия в техническом обслуживании; энергоемкость изделия в ремонте; энергоемкость изделия в утилизации; общая энергоемкость изделия.

Понятие энергоемкости изделия не следует смешивать с понятием экономичности энергопотребления, характеризующей степень технического совершенства и рациональности конструкторского замысла по уровню потребляемых топлива и (или) энергии в процессе работы изделия по назначению (например, КПД электрического генератора, холодильный коэффициент и др.).

В зависимости от вида топлива и энергии (электроэнергия, топливо, пар, вода, газ и т.п.), потребляемых на производство, техническое обслуживание, ремонт и утилизацию, различают показатели энергоемкости по каждому виду топлива и энергии: электроемкость, нефтеемкость и др.

7. Информация и методы, используемые для определения материалоемкости изделия

Стадия разработки конструкторской документации	Конструкторские документы для расчета материалоемкости изделия	Информация, получаемая из конструкторского документа	Методы учета конструктивно-технологических особенностей, определяющих материалоемкость изделия
Техническое предложение	Ведомость технического предложения; пояснительная записка; схемы	Масса изделия; параметры назначения; число элементов	Методы: аналогий; учета масс; удельного нормирования; элементкоэффициентов; учета значимости составных частей
Эскизный проект	Чертеж общего вида	Масса изделия	То же
Технический проект	Теоретический чертеж; габаритный чертеж; ведомость эскизного (технического) проекта; схемы	Параметры назначения; число составных частей; число элементов	Метод учета сложности конструкции изделия
Рабочая конструкторская документация опытного образца (опытной партии)	Чертеж детали; сборочный чертеж; спецификация; ведомость спецификаций; технические условия	Масса изделия; масса деталей; число деталей; число сборочных единиц; материал детали	То же
Рабочая конструкторская документация серийного (массового) производства	То же	То же и технические требования	Применение укрупненных методов недопустимо; следует использовать результаты технологического проектирования

Примечание. Методы учета конструктивно-технологических особенностей при определении показателей материалоемкости изделия приведены в [1].

Суммарную энергоёмкость изделия определяют, складывая затраты топлива и энергии и последовательно укрупняя элементы затрат (например, технологическая операция, процесс изготовления детали, процесс изготовления всего изделия в целом):

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} (\mathcal{E}_{ij}^{(1)} + \mathcal{E}_{ij}^{(2)} + \mathcal{E}_{вт,ij}),$$

где I – число сборочных единиц в изделии; J_i – число деталей (частей) в i -й сборочной единице; $\mathcal{E}_{ij}^{(1)}$ – количество расходуемого топлива и энергии на изготовление j -й детали i -й сбороч-

ной единицы; $\mathcal{E}_{ij}^{(2)}$ – количество расходуемых вторичных энергетических ресурсов на изготовление j -й детали i -й сборочной единицы, поступающих от других технологических процессов; $\mathcal{E}_{вт,ij}$ – количество вторичных энергетических ресурсов, не используемых за пределами данного технологического процесса.

При расчете суммарной энергоёмкости изделия, учитывающей затраты всех энергоресурсов, ведут пересчет на условное топливо, т.е. топливо с теплотой сгорания 29 300 кДж/кг или 7000 ккал/кг.

Пересчет натурального топлива на условное осуществляют по формуле

$$B_y = B_n \frac{Q_n^p}{29\,300},$$

где B_n – количество натурального топлива; Q_n^p – удельная теплота сгорания натурального топлива, Дж/кг.

Пересчет электрической и тепловой энергии условного топлива производится по их физическим эквивалентам.

Абсолютная энергоёмкость изделия характеризует затраты топлива и энергии на единицу продукции и выражается в абсолютных единицах. Например, энергоёмкость 1 т, 1 м², 1 м материалов, одного изделия и т.д.

Удельную производственную энергоёмкость изделия рассчитывают по формуле

$$\mathcal{E}_n^{уд} = \mathcal{E}_n / (P\tau),$$

где \mathcal{E}_n – расход топлива или энергии на изготовление изделия; τ – установленный срок службы изделия в эксплуатации; P – номинальное значение основного параметра изделия или полезный эффект от эксплуатации изделия, определяемые по результатам научных исследований для конкретного вида изделия.

Удельную эксплуатационную энергоёмкость изделия определяют по формуле

$$\mathcal{E}_3^{уд} = \mathcal{E}_3 / (P\tau),$$

где \mathcal{E}_3 – расход топлива или энергии на эксплуатацию изделия за полный срок его службы.

Особо следует обратить внимание, что в данном случае имеются в виду затраты топлива и энергии на техническое обслуживание изделия, его ремонт и утилизацию, но не их потребление для функционирования изделия (работы его по назначению). Показатели $\mathcal{E}_n^{уд}$ и $\mathcal{E}_3^{уд}$ должны иметь одинаковую размерность. Тогда можно определить общую удельную энергоёмкость изделия

$$\mathcal{E}^{уд} = \mathcal{E}_n^{уд} + \mathcal{E}_3^{уд}.$$

При достаточно малом значении $\mathcal{E}_3^{уд}$ (например, не более 10 % от $\mathcal{E}_n^{уд}$) практически можно допустить $\mathcal{E}^{уд} = \mathcal{E}_n^{уд}$. Оценка эксплуатационной ТКИ по энергоёмкости обязательна

при сопоставимости значений \mathcal{E}_n и \mathcal{E}_3 , т.е. при $\mathcal{E}_3 \geq 0,1\mathcal{E}_n$.

При расчете значений энергоёмкости изделия учитывают расход топлива и энергии только на технологические цели, не включая в расчетную формулу затраты на отопление и освещение производственных помещений и различные хозяйственные нужды.

Во всех случаях, когда для изделий можно установить значения полезного эффекта или основного технического параметра, ТКИ следует оценивать по удельным показателям энергоёмкости, наиболее объективно характеризующим технологическую рациональность конструкции по затратам топлива и энергии. Удельные показатели являются наиболее удобными объектами нормирования и прогнозирования их значений.

Технологическая себестоимость изделия

Технологическая себестоимость изделия как показатель ТКИ характеризует в стоимостном выражении ресурсоёмкость изделия с учетом его конструктивных особенностей в сферах производства, эксплуатации и ремонта. Разновидностями этого показателя, определяемыми затратами ресурсов в конкретных областях проявления ТКИ, являются: технологическая себестоимость изделия в технической подготовке производства (ТПП); технологическая себестоимость изделия в изготовлении; технологическая себестоимость изделия в техническом обслуживании; технологическая себестоимость изделия в ремонте; технологическая себестоимость изделия в утилизации.

Технологическую себестоимость изделия выражают в рублях – наиболее универсальном эквиваленте при сложении всех статей затрат и применяют как показатель ТКИ в случаях, когда стоимостные показатели являются основными при расчете экономической эффективности техники. Главным образом это относится к тем машинам, для которых текущие затраты определяются себестоимостью их в производстве, эксплуатации и ремонте при обязательном взаимосвязанном учете себестоимости продукции, производимой этими машинами.

В общем виде технологическая себестоимость изделия рассчитывается по формуле

$$C_\tau = C_m + C_3 + C_{н.р.}$$

где C_m – стоимость материалов, затраченных на изготовление (обслуживание, ремонт) изделия;

C_3 – заработная плата рабочих с начислениями; $C_{нр}$ – накладные расходы, включающие расходы на электроэнергию, потребляемую оборудованием, на амортизацию оборудования, инструмента и приспособлений, на смазочные, охлаждающие, обтирочные и другие материалы, предусмотренные процессом проведения работ.

На различных этапах проектирования технологическая себестоимость изделия определяется различными способами, основанными на укрупненном методе расчета. Например, в общем случае

$$C_{\tau} = \sum_{i=1}^I M_i (H_i K_i + C_i^m) + \sum_{j=1}^J M_j (K_{сн} H_j K_j + C_j^m),$$

где $i = 1, 2, \dots, I$; I – число заимствованных составных частей изделия; $j = 1, 2, \dots, J$; J – число оригинальных составных частей изделия; C_{τ} – технологическая себестоимость изделия в изготовлении, руб.; M_i, M_j – сухая масса соответственно заимствованных и оригинальных составных частей (без покупных), кг; H_i, H_j – затраты на производство соответственно заимствованных и оригинальных составных частей без стоимости материалов, приходящихся на 1 кг массы (норматив), руб.; C_i^m, C_j^m – стоимость 1 кг массы материалов, входящих в изделие; $K_{сн}$ – коэффициент конструктивной сложности нового изделия по сравнению с аналогом ($K_{сн} \leq 1,5$); K_i, K_j – коэффициенты изменения H в зависимости от объема выпуска.

При наличии разработанной спецификации материалов и уровне заимствования составных частей нового изделия в сравнении с аналогом не менее 60 % технологическую себестоимость изделия можно рассчитывать по формуле

$$C_{\tau} = \sum_{i=1}^I M_i H_i K_i + \sum_{j=1}^J M_j K_{сн} H_j K_j + C_{ос}^m,$$

где $C_{ос}^m$ – общая стоимость сырья и материалов, руб.

При заимствовании 80 % составных частей изделия и применении традиционных тех-

нологических методов изготовления оригинальных составных частей рекомендуется рассчитывать технологическую себестоимость изделия в изготовлении по формуле

$$C_{\tau} = \frac{C^{\tau}}{q K_{о.в}} 100 + C^m,$$

где C^{τ} – стоимость традиционных материалов, руб.; C^m – стоимость новых материалов, не требующих для обработки значительных затрат, руб.; q – удельный вес затрат на материалы в себестоимости, %; $K_{о.в}$ – коэффициент изменения q в зависимости от объемов выпуска.

На стадии разработки рабочей конструкторской документации опытного образца и серийного производства рекомендуется определять технологическую себестоимость изделия в изготовлении на основе прямого нормирования трудоемкости и материалоемкости изделия

$$C_{\tau} = C_{ос}^m + \sum_{p=1}^P t_p Z_p (1 + K/100),$$

где t_p – трудоемкость изделия в p -м виде производства ($p = 1, 2, \dots, P$), нормо-ч; Z_p – средняя часовая оплата труда рабочего для соответствующего вида производства, руб.; P – число видов производств; K – средние накладные расходы, %.

Наряду с абсолютной технологической себестоимостью изделия в качестве показателя ТКИ применяют удельную технологическую себестоимость по области ее проявления.

Удельную производственную технологическую себестоимость изделия рассчитывают по формуле

$$C_n^{уд} = C_n / (P\tau),$$

где C_n – производственная технологическая себестоимость изделия, руб.; τ – установленный срок службы изделия в эксплуатации; P – номинальное значение основного параметра изделия, или полезный эффект от его эксплуатации.

Характеристики и параметры должны удовлетворять тем же требованиям, что и при расчете материалоемкости изделия.

Удельную эксплуатационную технологическую себестоимость изделия рассчитывают по формуле

$$C_3^{уд} = C_3 / (P\tau),$$

где C_3 – эксплуатационная технологическая себестоимость изделия, руб.

Оценка ТКИ по удельной эксплуатационной технологической себестоимости при $C_3 \geq 0,1 C_n$ обязательна.

При сравнении вариантов конструкции изделия по технологической себестоимости необходимо выполнять те же требования, что и при оценке трудоемкости и материалоемкости изделия. Расчетные методы определения трудоемкости и материалоемкости изделия рекомендуются также для использования при укрупненном определении технологической себестоимости изделия.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Особенности технологического контроля

Технологическим контролем называется инженерная проверка конструкторско-технологических решений, формируемых на стадиях разработки конструкторской документации, требованиям технологичности.

Технологический контроль должен быть направлен на:

- соблюдение в конструкции разрабатываемых изделий установленных технологических норм и требований с учетом современного уровня развития техники и способов изготовления, эксплуатации и ремонта изделия;
- достижение в конструкции разрабатываемых изделий заданных показателей ее технологичности;
- выявление наиболее рациональных способов изготовления изделий с учетом заданных показателей качества и объемов выпуска продукции и условий выполнения работ.

Технологическому контролю, как правило, подлежит конструкторская документация на изделия основного и вспомогательного производства.

Конструкторская документация не регламентирует технологические способы и методы изготовления, технического обслуживания и ремонта изделия, однако содержащиеся в ней данные в значительной степени влияют на их выбор и применение при разработке производственной (технологической), эксплуатационной и ремонтной документации.

Содержание технологического контроля заключается в проверке полного и точного учета конструктором технологических требований к конструкции изделия как объекта производства, эксплуатации и ремонта.

Наибольшее распространение получил технологический контроль конструкторской документации на соответствие ее требованиям производственной технологичности. Различают следующие его виды:

– в зависимости от организации работ – внутренний, внешний, входной;

– в зависимости от объема контроля – сплошной, выборочный.

Внутренний контроль выполняется во время разработки конструкторской документации специалистами той организации, которая занимается этой разработкой.

Внешний контроль выполняется во время разработки конструкторской документации (до завершения разработки рабочей документации) специалистами предприятия-изготовителя.

Входной контроль выполняется специалистами предприятия-изготовителя после разработки рабочей конструкторской документации и передачи ее предприятию-изготовителю, не являющемуся разработчиком этой документации.

При *сплошном контроле* проверяется полный комплект конструкторской документации, при *выборочном* – некоторая ее часть.

При технологическом контроле проектной и рабочей конструкторской документации применяются разнообразные методы сравнительной (качественной и количественной) оценки.

Методы сравнительной качественной оценки составляют основу технологического контроля на всех этапах разработки рабочей конструкторской документации. Сущность их заключается в непосредственном сравнении (сопоставлении) контролируемого технического решения с решением, принятым за эталон. В результате сравнения в качестве оценочного критерия выбирается одна из альтернатив: "лучше" или "хуже"; "рационально" или "нерационально"; "хорошо" или "плохо"; "допустимо" или "недопустимо" и т.п.

В качестве эталона для сравнительной оценки принимаются:

- конструкция изделия-аналога из числа находящихся в производстве;
- конструкция изделия, исполнение которой представляет собой типовую структурную

компоновку (для сборочных единиц) или комплексную деталь (для деталей);

– нормативно-технические требования к изделию, регламентированные в действующих нормативно-технических документах с учетом тенденций развития данного вида техники и производства;

– личный опыт исполнителя, осуществляющего технологический контроль (при достаточно высокой квалификации исполнителя).

Методы сравнительной количественной оценки применяются при технологическом контроле в случаях, когда необходимо дополнить качественную оценку ТКИ сравнением контролируемого технического решения с решением, принятым за эталон, по основным показателям технологичности или по отдельным показателям, выражающим технологическую рациональность и преемственность конструкции изделия.

При сравнительной количественной оценке к основным показателям относят трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость и технологическую себестоимость. Показатели технологической рациональности конструкции изделия используют, как правило, для оценки рациональности состава и структуры изделия, его сложности, сборности и ремонтпригодности, легкосъемности составных частей, доступности мест обслуживания, удобства монтажа вне предприятия-изготовителя.

Показатели преемственности конструкции изделия применяют для оценки конструктивной и технологической преемственности изделия, изменчивости и повторяемости его составных частей и их компоновок, конструктивных элементов и материалов. К ним, например, относят коэффициенты новизны изделия, применимости унифицированных или стандартных составных частей, конструктивных элементов детали (резьб, креплений, галтелей, фасок, проточек, отверстий и т.п.) и материалов, повторяемости составных частей, конструктивных элементов и материалов и др.

Стадии разработки конструкторской документации, на которых она подвергается технологическому контролю, определяют в зависимости от вида изделия, его конструктивных особенностей, уровня новизны и сложности исполнения и других факторов. Примерное содержание технологического контроля в зави-

симости от стадии разработки приведено в табл. 8.

Порядок проведения технологического контроля

В зависимости от количества и содержания разрабатываемых конструкторских документов технологический контроль может производиться одним контролером или несколькими контролерами, специализированными:

– по характеру данных, содержащихся в конструкторских документах;

– по видам документов (например, по проверке спецификаций, чертежей, схем и т.п.).

Технологический контроль рекомендует-ся проводить в два этапа:

1 – проверка оригиналов текстовых и графических конструкторских документов;

2 – проверка текстовых и графических конструкторских документов в подлинниках.

Конструкторские документы должны предъявляться на технологический контроль комплектно:

а) для проектной документации – все документы, разрабатываемые на соответствующей стадии и включенные в ведомость технического предложения, эскизного или технического проектов;

б) для рабочей документации – документы, разрабатываемые на соответствующей стадии и включенные в основной или полный комплект конструкторских документов.

Документы, предъявляемые на технологический контроль, должны быть подписаны в графах "Разраб." и "Пров."

Подписание контролером проверенных конструкторских документов производится следующим образом:

а) если документ проверяет один контролер по всем показателям, то он подписывает документ в графе "Т.контр." основной надписи;

б) если документ последовательно проверяют несколько специализированных контролеров, то подписывает эти документы в графе "Т.контр." основной надписи исполнитель наиболее высокой (в группе контролеров) должностной категории. Остальные контролеры ставят свои подписи на поле подшивки.

8. Содержание технологического контроля на стадиях разработки конструкторской документации

Схема разработки	Что проверяется
Техническое предложение	Правильность выбора варианта конструктивного решения в соответствии с требованиями технологичности
Эскизный проект	<p>Правильность выбора принципиальной схемы конструкции, обеспечивающей простоту компоновки изделия и технологичность.</p> <p>Рациональность конструктивных решений с точки зрения простоты изготовления.</p> <p>Обеспечение преемственности конструкции.</p> <p>Правильность расчленения изделия на составные части, обеспечивающие удобство обслуживания, монтажа и регулировки.</p> <p>Установление номенклатуры основных марок материалов и соответствие этих марок установленному перечню.</p> <p>Возможность применения рациональных методов обработки для наиболее сложных деталей</p>
Технический проект	<p>Возможность проведения сборки и контроля изделия и его основных составных частей независимо и параллельно.</p> <p>Удобство и доступность мест сборки.</p> <p>Возможность исключения или доведения до минимума механической обработки при сборке.</p> <p>Возможность обеспечения необходимой взаимозаменяемости сборочных единиц и деталей.</p> <p>Выбор элементов конструкции сборочных единиц (основных составных частей) с точки зрения их технологичности.</p> <p>Оптимальность номенклатуры контролируемых параметров, а также методов и средств их контроля.</p> <p>Возможность применения стандартизованных методов выполнения и контроля</p>
Рабочая документация	<p>На стадии разработки рабочей документации проверяют данные, указанные для технического проекта, а также:</p> <p>технологичность деталей в зависимости от технологичности сборочных единиц;</p> <p>технологичность сборки как изделия в целом, так и его составных частей (в том числе сварных конструкций);</p> <p>технологичность механически обрабатываемых, литых, горячештампуемых, холоднотампуемых и термически обрабатываемых деталей;</p> <p>возможность разделения сборочной единицы на составные части, сборку которых целесообразно производить параллельно;</p> <p>наличие сборочных баз;</p> <p>удобство сборки и разборки;</p> <p>возможность уменьшения количества и объема пригоночных операций</p>

Примечание. При отсутствии стадии "Эскизный проект" технический проект может проверяться по всем пунктам, перечисленным для эскизного и технического проектов.

Связь технологического контроля с нормоконтролем

Нормоконтроль – это проверка исчерпывающего и точного соблюдения в конструкторской документации требований и норм действующих нормативно-технических документов и использования в ней принципов конструктивной и технологической преемственности, унификации и стандартизации.

Технологический контроль, как и нормоконтроль, является эффективным средством проверки соблюдения требований стандартов на систему подготовки производства, определяющих порядок и методы обеспечения ТКИ, а также других нормативно-технических документов, регламентирующих конструктивно-технологические нормы и требования. Различие между этими видами контроля состоит лишь в том, что при нормоконтроле проверяется применение в конструкторской документации всех действующих нормативно-технических документов, а при технологическом контроле – только тех, которые имеют отношение к конструктивно-технологическим нормам и требованиям.

При технологическом контроле, как и при нормоконтроле, проверяют использование в документации принципа конструктивной и технологической преемственности. Это естественно, так как преемственность конструкции наряду с ее технологической рациональностью определяет технологичность конструкции изделия.

При нормоконтроле проверяют соблюдение правил оформления чертежей деталей и сборочных единиц, установленных стандартами ЕСКД. Однако многие из этих правил прямо или косвенно затрагивают различные аспекты технологичности.

Поэтому при организации работ по технологическому контролю на предприятии следует четко разграничивать функции нормоконтроля и специалиста, осуществляющего технологический контроль.

Технологический контроль может рассматриваться как выборочный нормоконтроль по нормативно-техническим документам, регламентирующим технологические нормы на конструирование. Перечень таких документов для технологического контроля должен быть четко определен, а возможность

дублирования проверки их соблюдения нормоконтролем – полностью исключена.

Применение принципа конструктивной и технологической преемственности для нормоконтроля определяют, исходя из следующих возможных результатов:

– конструкция оригинальна и не имеет никакого сходства (подобия) с ранее разработанными;

– конструкция подобна ранее разработанному (находящемуся в производстве, примененному в других изделиях, стандартным) и может быть отнесена к определенной классификационной группе изделий. Такие конструкции разрабатываются на основе типовых конструктивных компоновок и базовых моделей;

– конструкция тождественна уже известным конструкциям и может быть без ущерба для качества заменена ими. Такие тождественные решения обычно называют унифицированными. Возможны промежуточные решения (унификация по отдельным элементам, частичное подобие и т.д.).

Работы по *унификации изделий* (изделий в целом, материалов, конструктивных элементов, линейных размеров и т.д.) относятся к одной из эффективных областей конструкторской деятельности. Их часто выделяют в самостоятельное направление конструирования. Поэтому контроль унификации относят к нормоконтролю.

Унификация существенно влияет на уровень технологичности. Однако наибольший эффект дает *типизация изделий*, выполненная при их конструировании. Типизация, как и унификация, уменьшает многообразие конструктивных решений, но по сравнению с унификацией является менее жесткой в отношении ограничения числа типов составных частей изделий, завершенности их конструкций и, следовательно, возможности замены применяемого оборудования и технологических процессов более прогрессивными. Поэтому контроль за типизацией конструкций относят к технологическому контролю.

Для исключения случаев, когда требования нормоконтроля будут снижать уровень технологичности конструкций, обязательна четко налаженная взаимосвязь специалистов, осуществляющих нормоконтроль и технологический контроль, а в необходимых случаях одновременное проведение нормоконтроля и технологического контроля, подготовка совместных рекомендаций, объединение их исполнителей под единым руководством и т.п.

Оформление и учет результатов технологического контроля

Результаты технологического контроля комплекта документов вносят в итоговый документ (перечень, журнал, экспертное заключение и т.п.), который должен быть подписан лицами, участвовавшими в проведении экспертизы, и руководителем органа, проводившего контроль.

Исправления и изменения, связанные с результатами технологического контроля, вносят в конструкторские документы в порядке, установленном ГОСТ 2.503–90.

В необходимых случаях для повышения эффективности технологического контроля и его результатов разрабатывают *типовые формы документов* для изложения замечаний и предложений технологических служб и учета результатов внесения в конструкторские документы необходимых изменений.

При анализе технологичности конструкции изделий технологические службы все замечания и предлагаемые конструктивные изменения должны внести в протокол анализа технологичности конструкции, рекомендуемые

формы которого приведены на рис. 6 и 7. В случае недостаточности места для эскизов на этих формах их рекомендуется выполнять на отдельных листах как приложение к протоколу.

Одновременно с оформлением протокола технологическая служба, осуществляющая проверку конструкторской документации, подготавливает ведомость оценки уровня технологичности, в которой производит проверку количественных показателей технологичности и достигнутого уровня технологичности. Рекомендуемая форма ведомости приведена на рис. 8.

После оформления протокола анализа технологичности и ведомости технологическая служба дает заключение о технологичности данного изделия. В заключении должны быть выдана общая оценка технологичности конструкции с точки зрения ее подготовленности к изготовлению на предприятии, приведены принципиальные предложения по изменению конструкции с целью повышения уровня технологичности, а также рекомендации по проведению поисковых и экспериментальных работ. Рекомендуемая форма заключения приведена на рис. 9.

42		28		72		4
Предприятие 1		Протокол анализа технологичности конструкции		Лист		4
Конструкторская организация 2		3		10		5
Деталь, сборочная единица		Конструктивные решения		20		10
Намер чертёжа	Наименование	Существующее	Предлагаемое	Обоснование предложений	Принятое решение	
6	7	8	9	10	11	
30		40		70		35
70		70		42		35
Технологическая служба		Конструкторская служба				
Исполнитель 12		Исполнитель 13		Исполнитель 14		14
Гл. технолог завода		Гл. конструктор				
70		32		25		15
				10		32
						25
297						

Рис. 6. Форма протокола анализа технологичности конструкции (лицевая сторона)

Рис. 7. Форма протокола анализа технологичности конструкции (2-я и последующие стороны)

Рис. 8. Форма ведомости оценки технологичности конструкции изделий

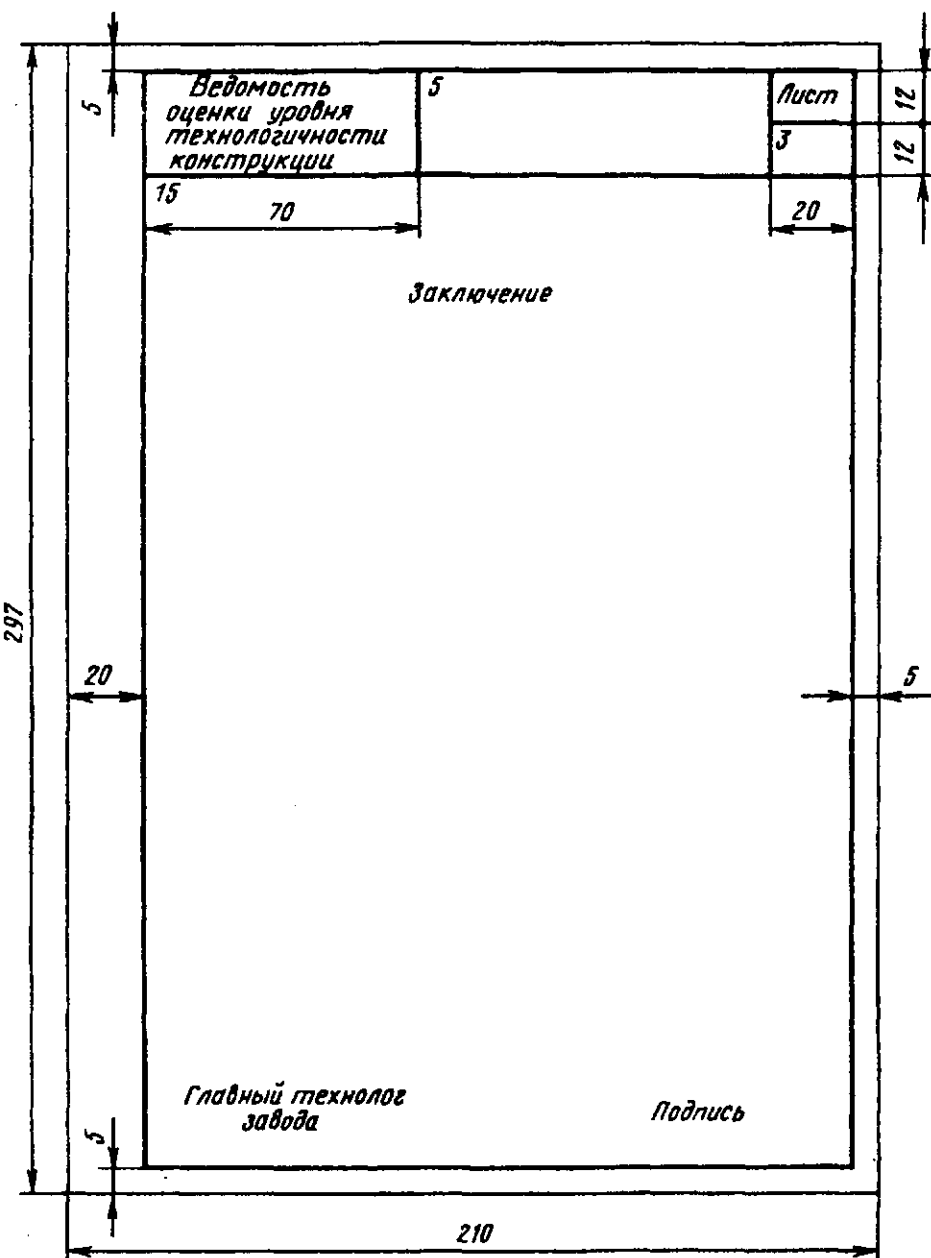


Рис. 9. Форма заключения о технологичности конструкции изделий

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

После доработки конструкторских документов в соответствии с протоколом анализа технологичности конструкции технологическая служба обязана провести повторную оценку достигнутого уровня технологичности с оформлением упомянутых ранее ведомости и заключения.

После передачи конструкторской документации с протоколом согласования технологической службой в производство ответственность за соответствие фактически достигнутых показателей технологичности расчетным, полученным в процессе исполнения конструкторской подготовки производства, несет технологическая служба.

1. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Под общ. ред. Ю. Д. Амирова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 768 с. (Б-ка конструктора).

2. Амиров Ю. Д. Основы конструирования: Творчество – стандартизация – экономика. Справочное пособие. М.: Изд-во стандартов, 1991. 392 с.

3. ГОСТ Р 50995.3.1-96 Техническое обеспечение создания продукции. Технологическая подготовка производства.

4. Михельсон-Ткач В. Л. Повышение технологичности конструкций. М.: Машиностроение, 1988. 104 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоматизация проектирования технологических процессов механосборочного производства – Математические модели 436–440
 – Методы проектирования 429, 430
 – Параметрическая оптимизация 440–443
 – Развитие систем САПР ТП 443
 – Структурный синтез 431–436
 – Характеристики и основные принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических процессов 428–431

В

Валы ступенчатые – Технично-экономические показатели производства 266, 269
Волнистость поверхности – Параметры 144, 145
Волочение – Применение 289 – Характеристика 289
Выдавливание 270
Вырубка – Допуски на размеры деталей 277–279 – Схема 277 – Технологические требования к деталям 278, 279
Высадка 270
 – полуавтоматическая 271, 272
Выгязка 280, 281
 – ротационная 284–286

Г

Гибка 279, 280
Гидропрессы – Ориентировочные данные для выбора 242

Д

Детали машин – Качество поверхностного слоя – см. *Качество поверхностного слоя деталей машин*

– получаемые механической обработкой 338, 339
 – получаемые электроэрозионной обработкой 337
Деталь комплексная 404, 405
Диаметры сверл для отверстий под нарезание резьбы 27
Допуск – Понятие 9
Допуски конструкторские 9
Допуски расположения осей отверстий после зенкерования 25, 26
 – развертывания 26
 – сверления 25
Допуски формы поверхностей плоских 11
 – цилиндрических 10
Допуски функциональные 9

З

Завод гибкий автоматизированный – Понятие 745
Заготовка – Понятие 204
Заготовки – Выбор 318–321 – Допуски на длину при разрезке 242 – Общие сведения 204, 205
 – для обработки на агрегатных станках и автоматических линиях – Установка 707–712
 – из конструкционной керамики 316–318
 – из проката 327–329 – Указания для расчета припусков и предельных размеров 328, 329
 – исходные – Подготовка к ковке и горячей штамповке 241, 242
 – комбинированные 300–304
 – получаемые методами порошковой металлургии 309–316
 – сварные 296–301
 – товарные 288
Заготовки штампованные – Дефекты 266, 267
 – Допуски 257–266
 – Исходный индекс 257, 258
 – Калибровка 253

– Кузнечные напуски 266
 – Общие требования к точности 254–256
 – Основные типы 249
 – Отделочные операции 252, 253
 – Очистка от окалины 253
 – Степень сложности 256, 257
 – Технологичность 253, 254
Заготовки штампованные, получаемые выдавливанием 251, 270
 – на гидропрессах 250
 – на кривошипных горячештаповочных прессах 249, 250
 – радиальным обжатием 272
Зажимы – Графическое обозначение 58
 – Обозначение формы рабочей поверхности 59 – Примеры нанесения обозначений на схемах 59
Зубодолбление 659–661
Зубозакругление 661–663
Зубофрезерование 656–659, 673
Зубохонингование 668, 669
Зубошевингование диагональное 664, 665
 – дисковым шевером 664
 – параллельное 664
 – с черновой и чистовой подачами 665
 – тангенциальное (касательное) 665
Зубошлифование непрерывное обкатное 670
 – обкатное с периодическим делением 670
 – профильное 669, 670
 – шифтинговое 670, 671

И

Инструменты – Корректировка условий работы 401, 402 – Определение допустимого числа в наладке 402, 403

К

Качество поверхностного слоя деталей машин – Взаимосвязь параметров состояния поверхностного слоя деталей с условиями их обработки 171–177
 – Возможности методов обработки 159–166
 – Выбор и назначение параметров 150–157
 – Надежность технологического обеспечения параметров качества 192–203

– Обеспечение при изготовлении 186–192
 – Параметры 144–150
 – Технологическое наследование параметров 183–185
 – Технологическое обеспечение эксплуатационного качества 157–183
Ковка 243 – Основные операции 244, 245 – горячая 243
Комплекс гибкий производственный – Понятие 744
Контроль технологической конструкторской документации 893–901
Коэффициент запаса точности 119
 – мгновенного рассеяния 119
 – смещения 119
 – точности 119

Л

Линия автоматическая – Понятие 690
 – переналаживаемая многономенклатурная – Понятие 690
Линия гибкая автоматизированная – Понятие 743 – Состав 751, 752

М

Материалы конструкционные порошковые – Свойства 304–309
Моделирование математическое 28–30
 – физическое 28
Модуль гибкий производственный – Понятие 743
 – поверхностей – Понятие 419

Н

Наследование технологическое 125–128
Наследственность технологическая 124–129
Нормы точности и жесткости долбежных станков 40
 – зуборезных станков для конических колес с прямыми зубьями 45 – с круговыми зубьями 46
 – зубошевинговальных станков 46

- круглошлифовальных бесцентровых станков 42
 - круглошлифовальных станков 42
 - плоскошлифовальных станков класса точности В(А) с крестовым столом и горизонтальным шпинделем 43
 - плоскошлифовальных станков с круглым столом и вертикальным шпинделем 44
 - плоскошлифовальных станков с прямоугольным столом класса точности В 43
 - поперечно-строгальных станков 40
 - продольно-строгальных станков 40
 - продольно-фрезерных станков 39
 - протяжных вертикальных полуавтоматов 41
 - протяжных горизонтальных полуавтоматов класса точности Н 41
 - радиально-сверлильных станков 38
 - резбошлифовальных станков 45
 - Нормы точности и жесткости токарно-карусельных станков 36**
 - токарно-револьверных одношпиндельных прутковых автоматов 34
 - токарно-револьверных станков 35
 - токарных многолезцовых и многолезцовых копировальных горизонтальных полуавтоматов 36
 - токарных многошпиндельных горизонтальных патронных полуавтоматов 37
 - токарных многошпиндельных вертикальных патронных полуавтоматов 37
 - токарных многошпиндельных прутковых горизонтальных автоматов 34, 35
 - фрезерных вертикальных станков с крестовым столом 38
 - фрезерных консольных станков 39
 - шлицешлифовальных станков 44
 - Носители наследственной информации 125**
- О**
- Обжатие радиальное 272, 273**
 - Оборудование ковочно-штамповочное – Ориентировочные данные для выбора 242**
 - Обработка деталей машин – Допуски прямолинейности, плоскостности и параллельности плоскостей в зависимости от качества допуска размера 11**
 - Допуски формы цилиндрических поверхностей в зависимости от качества допуска размера 10
 - Параметр шероховатости поверхности Ra детали в зависимости от качества допуска размера 11, 12
 - Обработка на агрегатно-фрезерных станках и автоматических линиях плоских поверхностей корпусных деталей – Обеспечение требуемой точности 718, 719**
 - Определение суммарной погрешности 719, 720
 - Точность обработки 712
 - Формирование суммарной погрешности 713–718
 - Обработка на агрегатных станках и автоматических линиях – см. также Станки агрегатные**
 - Анализ технических требований технологичности конструкций 697, 698
 - Последовательность технологических разработок 700, 701
 - Проектирование наладок 701–704
 - Размерная настройка технологических процессов 704–707
 - Требования к заготовкам 698–700
 - Обработка на агрегатных станках с делительным поворотным столом – Особенно-сти станков 739, 740**
 - Разработка технологии 741, 742
 - Структура операции 740, 741
 - Точность обработки 740
 - Обработка на вертикально- и радиально-сверлильных станках – Выбор метода сверления 512**
 - Зенкерование 516
 - Канавки в отверстиях 525
 - Многопереходная обработка 526, 527, 529
 - Нарезание резьбы 527, 528
 - Наружные поверхности 525, 526
 - Развертывание 516–521
 - Снятие фасок в отверстиях 522–524
 - Фасонные отверстия 524
 - Обработка на горизонтально-расточных станках – Закрепление заготовок 532**

- Назначение 529, 530
- Нарезание резьбы 541
- Обработка отверстий 536, 537
- Подготовка к обработке заготовок 531
- Принадлежности и приспособления 532–536
- Растачивание борштангами 537–541
- Режимы обработки 541
- Установка заготовки 531, 532
- Фрезерование 541
- Обработка на долбежных станках – Детали, получаемые долблением 564, 565**
- вертикальных и наклонных поверхностей 565, 566
- криволинейных и сложно-контурных поверхностей 566, 567
- Обработка на зубообрабатывающих станках – Зубозакругление 661–663**
- Зубодолбление 659–661
- Зубофрезерование 656–659
- Зубохонингование 668, 669
- Зубошвингование 664–667
- Зубошлифование 669–671
- Нарезание конических зубчатых и червячных колес 671
- Холодное накатывание зубьев 667, 668
- Обработка на координатно-расточных станках – Назначение 541–543**
- Обработка отверстий 544
- Особенности обработки заготовок 545–547
- Растачивание отверстий 545
- Сверление и рассверливание отверстий 545
- Технологическая оснастка 543, 544
- Фрезерование 545
- Обработка на многошпиндельных вертикальных токарных полуавтоматах – Примеры наладок 501–512**
- Проектирование наладок на полуавтоматы непрерывного действия 500, 501
- Проектирование наладок на полуавтоматы последовательного действия 498–500
- Типы суппортов 496, 497
- Обработка на одношпиндельных и многошпиндельных горизонтальных автоматах и полуавтоматах – Многошпиндельные горизонтальные автоматы 486–489**
- Одношпиндельные автоматы продольного точения 486
- Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы 486
- Одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы 485
- Примеры наладок 489–496
- Обработка на одношпиндельных токарно-многолезцовых полуавтоматах – Примеры наладок 480–485**
- Проектирование наладок 477, 478
- Расчет копиров 478–480
- Типовые детали 476
- Обработка на протяжных станках 567–573**
- Виды протягивания 567–569 – Области применения 567
- Обработка на сверлильно-фрезерно-расточных станках с ЧПУ – Инструментальная оснастка станков 801–805**
- Последовательность выполнения переходов обработки деталей 791–801
- Расчет координатных перемещений 783, 789–791
- Системы координат станка, детали, инструмента 779–782
- Типовые и постоянные циклы обработки 782–789
- Обработка на строгальных станках 560–564**
- Обработка на токарно-карусельных станках – Режущий инструмент и его установка 466, 467**
- Схемы обработки элементарных поверхностей 460–464
- Установка заготовок и применяемые приспособления 464–466
- Обработка на токарно-карусельных станках с ЧПУ 773–779**
- Обработка на токарно-револьверных станках – Интенсификация обработки на револьверных станках 472, 473, 476**
- Обработка на станках с вертикальной осью вращения револьверной головки 470, 471
- Обработка на станках с горизонтальной осью вращения револьверной головки 471–475
- Примеры наладок 471–473
- Резьбообразование 468
- Совмещение переходов обработки 468
- Обработка на токарных станках – Обрабатываемые детали и их установка 445–448**

- Обработка резьб 457
- Способы установки и выверки заготовок 448–457
- Обработка на токарных станках с ЧПУ** – Комплекты режущих инструментов 762–769
- Основные типы устройств ЧПУ и станков 757–772
- Элементы обрабатываемых деталей 770
- Обработка на фрезерных станках** – Интенсификация обработки 558–560 – Отрезка 548–559 – Фрезерование 547, 548
- Обработка на шлифовальных станках** – см. Шлифование бесцентровое круглое. Шлифование круглое наружное. Шлифование отверстий. Шлифование плоское
- Обработка на электрофизических и электрохимических станках** 681–689
- Обработка отверстий на агрегатных станках жестко закрепленным инструментом** – Геометрическое смещение 721–723
- Межосевые расстояния 729–731
- Позиционное отклонение 721
- Соосность отверстий 727
- Упругие отжатия 721, 723–726
- Обработка отверстий при плавающем соединении инструмента со шпинделем станка** – Геометрическое смещение оси 733, 734
- Отклонение межосевого расстояния 734, 735
- Отклонение от соосности 735
- Позиционное отклонение оси отверстия 733
- Схемы обработки 731, 732
- Точность диаметральных размеров 732, 733
- Обработка отделочная абразивным инструментом** – Доводка 647–656
- Полирование 643–646
- Суперфиниширование 639–643
- Тонкое шлифование 629
- Хонингование 631–639
- Обтяжка** 286
- Операции высокопроизводительные** – Методы уменьшения нормы времени 393, 394
- Особенности построения в различных уровнях производства 399, 400
- Слагаемые вспомогательного времени 394, 395
- Состав оперативного времени 395–399
- Схемы построения 395–399
- Операции штампосборочные** 286
- Операция групповая** 403
- Опоры** – Графическое обозначение 58
- Обозначение формы рабочей поверхности 59
- Примеры нанесения обозначения на схемах 59, 60
- Отклонения размеров, формы и расположения поверхностей образцов-изделий, обрабатываемых при проверке точности вертикально-сверлильных станков** 77
- внутришлифовальных станков 81, 82
- долбежных станков 110
- зубодолбежных вертикальных станков для цилиндрических колес 92, 93
- зуборезных станков для конических колес с круговыми зубьями 95 – с прямыми зубьями 94
- зубошпингаловальных станков 98
- зубошлифовальных станков для конических колес 96
- координатно-расточных и координатно-шлифовальных станков 70–75
- круглошлифовальных бесцентровых станков 80
- круглошлифовальных станков 78, 79
- плоскошлифовальных станков с крестовым столом и горизонтальным шпинделем 86, 87
- плоскошлифовальных станков с круглым выдвижным столом и вертикальным шпинделем 88
- плоскошлифовальных станков с прямоугольным столом 82–85
- продольно-строгальных станков 108, 109
- продольно-фрезерных станков 104–108
- протяжных полуавтоматов вертикальных 111 – горизонтальных 111 – для внутреннего и наружного протягивания 111
- профилишлифовальных станков 89, 90
- радиально-сверлильных станков с ЧПУ 76
- резьбошлифовальных станков 97, 98
- токарно-винторезных и токарных станков 68, 69
- токарно-карусельных станков 67, 68
- токарно-револьверных станков 66, 67
- токарно-револьверных одношпиндельных прутковых автоматов 63

- токарных многошпиндельных вертикальных патронных полуавтоматических станков 65
 - токарных многошпиндельных горизонтальных патронных полуавтоматов 65
 - токарных многошпиндельных горизонтальных прутковых автоматов 64
 - фрезерных вертикальных станков с крестовым столом 101–104
 - фрезерных консольных станков 99, 100
 - шлищешлифовальных станков 92
 - Отливка** – Понятие 205
 - Отливки** – Группы сложности 228, 229
 - Допуски массы 231, 240, 241
 - Допуски размеров, формы, расположения поверхностей и неровностей 229–239
 - Классификация из цветных сплавов по массе 205
 - Нормы точности 219–227
 - Обозначение точности 241
 - Общие припуски на обрабатываемые поверхности 351–357
 - Способы изготовления отливок, их особенности и область применения 206–210
 - Технологичность конструкций 210–218
- П**
- Переход технологический лимитирующий** – Выявление 400–402
 - Переходы технологические** – Порядок определения предельных промежуточных размеров заготовки 326, 327
 - Погрешности обработки, вызываемые размерным износом инструмента** 115, 116
 - Погрешности обработки элементарные** – Суммирование 120–124, 140–143
 - Погрешности обработки элементарные, возникающие в результате геометрических неточностей станка** 62–102
 - смещения элементов технологической системы под действием сил 32, 33, 47
 - Погрешность базирования при обработке деталей в приспособлениях** 52, 54–57
 - закрепления в приспособлениях 60–62
 - наладки (настройки) технологической системы на размер 112–115
 - обработки 9
 - приспособлений 60
 - Погрешность установки заготовок в патронах и на оправках без выверки** 49
 - в рабочих позициях автоматических линий 708–710
 - в цанговом и трехлапчатом патронах без выверки 50
 - на постоянные опоры 51
 - на станках с выверкой по цилиндрической поверхности 52, 53
 - на столе с выверкой по плоской поверхности 52, 53
 - размером до 60 мм в тисках 52
 - Поковки, изготавливаемые ковкой** – Технологичность конструкции 243, 244
 - Припуск** – Понятие 322 – Расчетные формулы 322–326
 - максимальный 323
 - минимальный 322
 - номинальный 323
 - Припуски** – Методика расчета 339–341 – Нормативные материалы для расчета 327–339 – Примеры расчета 341–345
 - общие на обработку поверхности отливок 352–357
 - промежуточные 358–371
 - Припуски на механическую обработку дополнительные** 349, 350
 - минимальные литейные 351
 - основные 345–348
 - торца проката 346
 - Программирование динамическое** 433
 - Прокат горячекатаный** – Правка 295, 296 – Способы резки 292–294 – Точность 289–292 – Формулы для расчета сил при выборе оборудования 296
 - трубный 288
 - Профили проката гнутые** 288
 - горячепрессованные 289
 - периодические 289
 - поперечно-винтовой прокатки 289
 - поперечной прокатки 289
 - продольной прокатки 289
 - Профили проката фасонные общего назначения** 288
 - отраслевого и специального назначения 288

- Процесс технологический** – Особенности построения операций в различных уровнях производства 399, 400 – Применение 391–393 – Разработка высокопроизводительных операций 393–399
- групповой 373, 374, 391 – Группирование деталей 405–410 – Разработка 403–417
 - единичный 372, 373, 391
 - механосборочного производства – Автоматизация проектирования – см. *Автоматизация проектирования технологических процессов механосборочного производства*
 - перспективный 372
 - рабочий 372
 - типовой 374
- Процессы технологические** – Виды 372–374
- Выбор заготовки 386
 - Исходная информация для разработки 375
 - Основные требования к разработке 374, 375
 - Стадии разработки и выбор документов 388–390
 - Схема классификации 372
 - Этапы разработки 376–386
- Процессы технологические модульные** – Классификация модулей поверхностей 420
- Построение чертежа детали в модульном исполнении 423, 424
 - Примеры конструктивного оформления модулей поверхностей 421, 422
 - Разработка модулей технологического процесса изготовления модулей поверхностей 425–429
- Р**
- Размеры координирующие** 9
- сборочные 9
- Растачивание отверстий на агрегатных станках без направления** – Влияние структуры операции 738, 739
- Геометрическая точность 736
 - Особенности станков 735, 736
 - Тепловые перемещения 736, 737
 - Упругие перемещения 737, 738
- Расчет точности обработки** – Модель 28–30
- Основные элементарные погрешности обработки 31, 32
- Способы обеспечения заданной точности 24, 28
 - Цель расчета 30, 31
- Редуцирование** 274
- С**
- Сварка** 286
- Свариваемость** 296
- Сверла** – Область применения 515 – Рекомендуемый диаметр для отверстий под нарезание резьбы 27
- Системы гибкие производственные механической обработки деталей** – Основные понятия 745–747
- Повышение точности обработки 812–819
 - Примеры структур 747–753
 - Проблемы, возникающие при создании систем 861–864
 - Производительность 819–826
 - Точность обработки 805–812
 - Требования к технологичности конструкции деталей 753–757
 - Эффективность 848–850, 860
- Системы технологические** – Методы оценки надежности 119, 120
- Станки агрегатные** – Адаптация агрегатных операций к серийному производству 692–695
- Группы точности 691
 - Инструментальная оснастка 704
 - Компоновки 690
 - Преимущества и область применения 690
 - Составляющие погрешности обработки 695–697
- Станки с ЧПУ** – Машинно-вспомогательное время, время на обслуживание рабочего места и личные потребности, подготовительно-заключительное время 829–832
- Методы наладки станков сверлильно-фрезерно-расточной группы 808–812
 - Многостаночное обслуживание 852–857
 - Нормы надежности 850
 - Основные требования к эксплуатации, обеспечивающие эффективное использование 845–850

- Особенности нормирования операций 827–845
 - Повышение точности обработки 812–819
 - Погрешность линейного позиционирования 807
 - Производительность 819–826
 - Расчет экономической эффективности 857–859
 - Средний размер запуска деталей 828
 - Точность обработки деталей 805–812
 - Требования к технологичности конструкции деталей 753–757
 - Число условно-высвобождаемых рабочих 851, 852
 - Элементарные погрешности обработки 806, 807
- Станки с ЧПУ сверлильно-расточной группы** – Нормативы подготовительно-заключительного времени 836–839
- Станки с ЧПУ токарные** – Нормативы подготовительно-заключительного времени 833–835
- Станки с ЧПУ фрезерные** – Нормативы подготовительно-заключительного времени 840–844
- Т**
- Технология маршрутная** 387
- операционная 388
- Технологичность конструкции изделия** – Классификация и номенклатура показателей 865–869
- Материалоемкость изделия 887–889
 - Методы и приемы обработки изделия 869–872
 - Обеспечение 878–884
 - Обеспечение технологичности конструкции детали 874, 875
 - Обеспечение технологичности конструкции соединения и сборочной единицы 876–878
 - Определение 865
 - Применение прогрессивных материалов 869, 873, 874
 - Технологическая себестоимость изделия 891–893
 - Трудоемкость изделия 885, 886
- Энергоемкость изделия 889–891
- Точение прецизионное** – Инструмент 574–578
- Оборудование 574
 - Примеры 584
 - Режимы резания 585, 586
 - Схемы и условия обработки поверхностей 579
 - Установка деталей для обработки 578, 579
- Точность деталей машин** 9, 10
- заданная – Способы обеспечения 24, 28
 - и параметры поверхностного слоя при обработке наружных цилиндрических поверхностей 13–16 – отверстий 17–23
 - расположения осей отверстий при растачивании 24
 - технологической операции 120
 - форм 9
- Точность обработки** – Вероятностно-статистические методы анализа 129–140
- Влияние температурных деформаций 116–119
- У**
- Устройства установочные** – Графическое обозначение 58
- Обозначение формы рабочей поверхности 59
 - Примеры нанесения обозначений на схемах 59
- Участок гибкий автоматизированный** – Понятие 743 – Состав 750, 751
- Ф**
- Формовка рельефная** 281
- Формы литейные** – Стойкость 215, 216
- Фрезерование с подачей диагональной** 657
- осевой 656
 - радиально-осевой 657
- Ц**
- Цех гибкий автоматизированный** – Понятие 743
- Цехи механические** – Температурный режим 118

Ш

Шероховатость поверхности – Стандартизированные параметры в разных странах 147

Шлифование бесцентровое круглое – Технологические особенности 605

– врезное 611–617

– напроход 606–611

Шлифование круглое наружное – Интенсификация 599–604

– Методы 588–599

– Основные операции 589–591

– Припуски 589

– Профилирование шлифовальных кругов 596, 597

– Рабочий цикл 587–589

– Средства и схемы измерения шлифуемой поверхности 596, 597–599

– Схемы установки обрабатываемых деталей 592

Шлифование отверстий – Технологические особенности 617–622

Шлифование плоское периферией круга 623 – 625

– торцом круга 626–629

Штамповка в закрытых штампах на гидропрессах 250

– на кривошипных горячештамповочных прессах в неразъемных матрицах 250

Штамповка в открытых штампах на винтовых фрикционных прессах 249, 250

– на гидравлических прессах 250

– на кривошипных горячештамповочных прессах 249, 250

– на молотах 249

Штамповка горячая – Способы 246–254

– выдавливанием 250, 251 – Припуски и допуски 251, 252

Штамповка комбинированная 281, 282

– импульсным магнитным полем 287

– на горизонтально-ковочных машинах 252

Штамповка холодная листовая 275–288 – Высокоэнергетические импульсные методы 286, 287

– объемная 270–275 – Технологичность изделий 275

Штампы для листовой штамповки – Стойкость 288

– молотовые – Стойкость 266–268

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Дальский Антон Михайлович, Суслов Анатолий Григорьевич,
Косилова Александра Григорьевна и др.

СПРАВОЧНИК ТЕХНОЛОГА – МАШИНОСТРОИТЕЛЯ

Том 1

Лицензия ИД № 05672 от 22.08.01 г.

Редакторы: И. Н. Жесткова, П. Е. Клейзер

Корректор М. Я. Барская

Оформление художника Т. Н. Галицкой

Инженеры по компьютерному макетированию: М. А. Евсейчева, Т. А. Сычкова

Сдано в набор 29.08.03 г. Подписано в печать 3.10.03 г.

Формат 70 × 100 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 74,1. Усл. кр.-от. 74,1. Уч.-изд. л. 79,6.

Заказ 8811

"Издательство Машиностроение-1", 107076, г. Москва, Строминский пер., 4

Оригинал-макет подготовлен в ИПЦ
Тамбовского государственного технического университета,
392032, г. Тамбов, ул. Советская, 106

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Колонка, строка	Напечатано	Должно быть
10	Табл. 1, примечание, 2-я снизу	ГОСТ 25346–82	ГОСТ 25346–89
32	Правая, 16-я снизу	кН/м	кН/мм
66	Правая, 6-я снизу	$d = 0,75D$	$d = 0,75D_{\max}$
68	Табл. 23, 8-я сверху	УЦПУ	УЦИУ
70	Табл. 23, 7-я сверху	нижеприведенных в	в нижеприведенных
72	Табл. 23, 14-я снизу	$D - B_2$	D и B_2
113	Правая, 6-я снизу	$\pm 2\delta$	$\pm 2\sigma$
116	Табл. 29, 1-я графа, 3-я сверху	мкм	мм
123	Правая, 19-я сверху	методы	метод
127	Правая, 20-я сверху	приведения	проведения
137	Правая, 1-я сверху	настойки	настройки
149	Правая, 21-я сверху	способность	способность профиля
163	Табл. 6, примечание 2	Ra, Rz	Ra, Rp
167	Табл. 10, головка, 1-я сверху	$p, \%$	$p, \%$ от R_{\max}
176	Табл. 15, 1 графа, 1-я сверху	Магнитообразивная	Магнитоабразивная
182	Левая, 1-я сверху	Приведение	Приведенные
193	Левая, 16-я сверху	значительного	значительного количества
216	Табл. 7, 2-я графа, 3-я снизу	по	до
217	Табл. 7, 2-я графа, 16-я снизу	m^2	m^3
218	Табл. 7, 2-я графа, 5-я и 8-я снизу	m^2	m^3
242	Левая, табл. 20, 14-я сверху	мм	кг
332	Левая, 17-я снизу	табл. 8	табл. 14
382	Табл. 2, 3-я графа, 18-я снизу	РД 50-54-11	Р 50-54-11-87
403	Левая, 12-я сверху	ГОСТ 14.303	Р 50-54-93-88
451	Рис. 6, подрис. подпись	оправах	оправках

Продолжение

Стр.	Колонка, строка	Напечатано	Должно быть
452	Правая, 16-я снизу	за пиноли	на пиноли
470	Рис. 42, подрис. подпись	центрования	центрирования
471	Правая, 3-я сверху	отжима	отжатия
477	Левая, 19-я снизу	крепления	способ крепления
493	Рис. 89, подрис. подпись	гайкой	гайки
499	Правая, 4-я сверху	станка	стола станка
519	Табл. 10, 1-я графа, 2-я снизу	< 5	> 5
525	Правая, 1-я снизу	c – гарантированный зазор ($m = f + c$)	C – гарантированный зазор ($m = f + C$)
547	Левая, 8-я сверху	расстоянием α	углом α
556	Правая, рис. 179, подрис. подпись	круглого	кругового
560	Правая, 28-я сверху	разлитого	различного
561	Левая, 14-я снизу	станков	станов
584	Табл. 33, 1-графа, 2-я сверху	Растрачивание	Растачивание
586	Табл. 35, головка, 1-я сверху	мм/мин	м/мин
749	Правая, 3-я сверху	ГПС	ГПМ
750	Рис. 4, подрис. подпись	гибкой производственной системы	гибких производственных модулей
779	Правая, 10-я снизу	увязла	увязка
847	Левая, 10-я сверху	контрольно-управляющей	контрольно-измерительной
825	Правая, 22-я снизу	причин	потерь