

18
99
ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ – БАКАЛАВРИАТ

серия основана в 1996 г.



В.А. ГОРОХОВ
Н.В. БЕЛЯКОВ
А.Г. СХИРТЛАДЗЕ

МАТЕРИАЛЫ И ИХ ТЕХНОЛОГИИ

В 2 частях

Часть 2

Под редакцией В.А. Горохова

*Допущено
Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации
по образованию в области автоматизированного машиностроения
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлениям подготовки «Технология, оборудование
и автоматизация машиностроительных производств»,
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств», «Автоматизированные технологии и производства»*

*Рекомендовано
Учебно-методическим объединением вузов Республики Беларусь
по образованию в области автоматизации технологических
процессов, производств и управления в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям
«Технология, оборудование и автоматизация машиностроения»,
«Автоматизированные технологии и производства»,
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»*

Минск
«Новое знание»

Москва
«ИНФРА-М»

2016

УДК [621.7.+621.9](075.8)

ББК 34я73

Г70

Рецензенты:

профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Полоцкого государственного университета, доктор технических наук, профессор *В.П. Иванов*;

директор Института технологии металлов НАН Беларуси, академик, доктор технических наук, профессор *Е.И. Марукович*

Горохов, В.А.

Г70 Материалы и их технологии : учебник / В.А. Горохов, Н.В. Бе-
ляков, А.Г. Схиртладзе ; под ред. В.А. Горохова. В 2 ч. Ч. 2. —
Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2016. — 533 с. : ил. —
(Высшее образование: Бакалавриат).

ISBN 978-985-475-633-2.

Приведены сведения по материаловедению металлов и неметаллов, включая наноматериалы. Рассмотрены основы порошковой металлургии, литья, термической обработки, а также различные способы обработки заготовок. Описаны методика проектирования заготовок и способы обеспечения точности и качества производства деталей, способы повышения их надежности и эксплуатационных свойств в режиме ресурсосбережения и экономической эффективности производства.

Для студентов технических вузов. Будет полезен учащимся колледжей, а также слушателям системы повышения квалификации и переподготовки кадров.

УДК [621.7.+621.9](075.8)

ББК 34я73

ISBN 978-985-475-633-2

© Горохов В.А., Беляков Н.В.,
Схиртладзе А.Г., 2016

© ООО «Новое знание», 2016



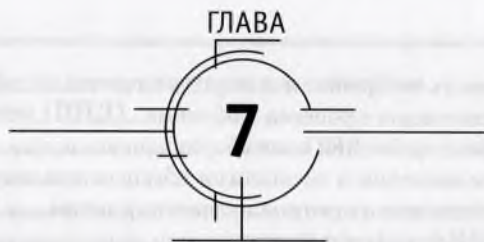
337681

Оглавление

Глава 7. Физические основы, способы, средства оснащения и компоненты технологических процессов обработки резанием	6
7.1. Методы обработки материалов и формообразования поверхностей деталей.....	6
7.2. Классификация металлорежущих станков и обозначения на их кинематических схемах.....	11
7.3. Теория резания, параметры режима обработки и смазочно-охлаждающие вещества.....	24
7.4. Назначение и структура технологической оснастки, размещение заготовок и инструмента в приспособлениях.....	48
7.5. Базирование и закрепление заготовок, размерная настройка на их обработку.....	72
7.6. Методика определения параметров режимов резания.....	89
7.7. Структурные компоненты технологического процесса обработки заготовок.....	97
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	102
Глава 8. Лезвийная обработка резанием	104
8.1. Точение.....	104
8.2. Фрезерование.....	124
8.3. Осевая обработка и растачивание.....	146
8.4. Обработка с поступательным движением резания.....	167
8.5. зубонарезание.....	180
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	198
Глава 9. Абразивная обработка	199
9.1. Шлифование, его виды и инструменты.....	199
9.2. Применение СОЖ при шлифовании.....	210
9.3. Круглое наружное шлифование.....	214
9.4. Круглое внутреннее шлифование.....	221
9.5. Координатно-планетарное шлифование.....	225
9.6. Плоское шлифование.....	229
9.7. Доводка.....	236
9.8. Полирование.....	242
9.9. Хонингование.....	248
9.10. Суперфиниширование.....	255
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	259

Глава 10. Обработка поверхностным пластическим деформированием (ППД)	262
10.1. Отделочно-упрочняющая обработка ППД, оборудование и инструменты.....	262
10.2. Приспособления, микрогеометрия поверхности и состояние металла при отделочно-упрочняющей обработке ППД.....	276
10.3. Комбинированные процессы и расчет параметров режима отделочно-упрочняющей обработки ППД.....	292
10.4. Формообразующая обработка ППД фасонных поверхностей.....	297
10.5. Упрочняющая обработка ППД.....	303
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	313
Глава 11. Слесарная обработка	315
11.1. Разметка.....	315
11.1.1. Назначение и технические требования разметки.....	315
11.1.2. Инструмент, приспособления и приемы разметки.....	318
11.1.3. Комбинированная разметка сложных сопряженных профилей.....	329
11.2. Рубка, правка и гибка.....	338
11.2.1. Назначение слесарной рубки.....	338
11.2.2. Инструмент, применяемый при рубке металла.....	341
11.2.3. Способы выполнения рубки.....	345
11.2.4. Брак при рубке и техника безопасности.....	346
11.2.5. Средства оснащения, применяемые при правке.....	347
11.2.6. Приемы ручной и машинной правки.....	350
11.2.7. Сущность слесарной гибки, ее виды и средства технологического оснащения.....	356
11.2.8. Виды брака и безопасность при правке и гибке.....	364
11.3. Разрезание металла.....	365
11.3.1. Пример оснастки и этапы процесса разрезания.....	365
11.3.2. Ручное разрезание металла.....	368
11.3.3. Механизированное разрезание металла.....	374
11.3.4. Электрические методы разрезания металлов.....	379
11.4. Опиливание металла.....	382
11.4.1. Сущность операции опилования, ее обеспечение и назначение.....	382
11.4.2. Виды опилования.....	392
11.5. Шабрение.....	402
11.5.1. Сущность, область применения и обеспечение шабрения.....	402
11.5.2. Подготовка к работе и приемы шабрения.....	408

11.5.3. Точность шабрения и контроль качества.....	417
11.5.4. Механизация процесса шабрения.....	419
11.6. Заклепочные соединения и их сборка.....	420
11.6.1. Типы заклепок и технология обеспечения клепки.....	420
11.6.2. Обеспечение и контроль качества клепки.....	423
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	425
Глава 12. Электрофизические, электрохимические, плазменные, лучевые и импульсные (ЭФХПЛИ) методы обработки	428
12.1. Электроэрозионная и электроконтактная обработка.....	428
12.2. Плазменная обработка.....	444
12.3. Лучевая обработка.....	448
12.4. Электрохимическая обработка.....	455
12.5. Ультразвуковая обработка.....	462
12.6. Электрогидроимпульсная и магнитно-импульсная обработка.....	474
12.7. Комбинированная обработка.....	479
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	492
Глава 13. Размерные особенности и технологии наноструктурных материалов	495
13.1. Размерные эффекты в наноструктурных материалах и их использование.....	495
13.2. Нанотехнологии и средства их обеспечения.....	504
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	516
Словарь терминов.....	518
Список использованных источников.....	529



ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, СПОСОБЫ, СРЕДСТВА ОСНАЩЕНИЯ И КОМПОНЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

7.1. Методы обработки материалов и формообразования поверхностей деталей



Всякая обработка направлена либо на формообразование, либо на отделку поверхностей деталей, либо на упрочнение подповерхностного слоя материала. Многие виды обработки обеспечивают одновременно формообразование и отделку поверхностей; отделку поверхностей и упрочнение материала; формообразование (калибрование), отделку поверхностей и упрочнение материала.

Обработка может быть механической, электрофизико-химической и комбинированной (совмещенной). К **методам обработки** относятся резание, поверхностное пластическое деформирование, электроэрозионная, электрохимическая и химическая, импульсно-механическая, лучевая и плазменная обработки.

Каждый из методов включает определенные виды (способы). Так, среди видов (способов) обработки резанием выделяются *точение, фрезерование, сверление, строгание (долбление), протягивание, шлифование*, которые, в свою очередь, делятся на более мелкие составляющие. Например, *абразивная обработка* подразделяется на *шлифование, доводку, полирование, хонингование, суперфиниширование*.

Классификация методов и видов обработки (рис. 7.1) составлена в соответствии с ГОСТ 25761–83, ГОСТ 25330–82, ГОСТ 25331–82,

ГОСТ 3.1109–82, ГОСТ 25762–83 и другими действующими стандартами, отраслевыми руководящими техническими материалами и принятой в научно-технической литературе терминологией.

Наиболее ответственной является отделочная обработка поверхностей заготовок. Этот процесс, как правило, должен обеспечивать точность размеров и формы поверхностей деталей, соответствующую квалитетам точности от 5 до 8, и уровни относительной геометрической точности В и С; способствовать размерной стабильности деталей и зазоров соединений; обеспечивать микрогеометрию (шероховатость) поверхностей по параметру Ra от 0,1 до 1,2 мкм; исключать загрязнение поверхностей деталей в процессе их производства и уменьшать загрязнение зазоров соединений при эксплуатации изделий; способствовать уменьшению дефектов (мелких раковин и пор) материала и покрытий деталей; обеспечивать рациональное для конкретных условий эксплуатации состояние подповерхностного слоя материала; способствовать улучшению эксплуатационных свойств деталей.

Метод обработки характеризуется видом используемой энергии, способом воздействия инструмента на заготовку и схемой обработки определенной поверхности заготовки. При обработке материалов используются следующие *виды энергии*: механическая (резание и ППД), электрическая, химическая, светолучевая, ультразвуковая и плазменная или их сочетание. По способу воздействия инструмента на заготовку различают *вид контакта* (точечный, линейный, по плоскости, пространственный) и *характер контакта* (непрерывный, прерывистый, импульсный, вибрационный). На схеме обработки в зависимости от используемого оборудования показывается условное изображение заготовки и инструмента в конечном положении, их закрепление и формообразующие (обрабатывающие) движения.

Формообразующая обработка основана на снятии слоя материала для обеспечения требуемой геометрической формы, точности размеров, относительного положения и микрогеометрии поверхностей деталей. Слой металла, снимаемый с заготовки при ее обработке, называется *припуском*. Для снятия припуска инструменту и заготовке сообщаются относительные движения. Движения, обеспечивающие снятие с заготовки припуска или изменение состояния обрабатываемой поверхности, называют *движениями резания* или другого метода обработки. К ним относятся главное движение резания (обработки) D_r и движения подачи D_s (ГОСТ 25762–83). Для примера на рис. 7.2 показана схема шлифования заготовки 1, установленной на столе плоскошлифовального станка 2, шлифовальным кругом 3.

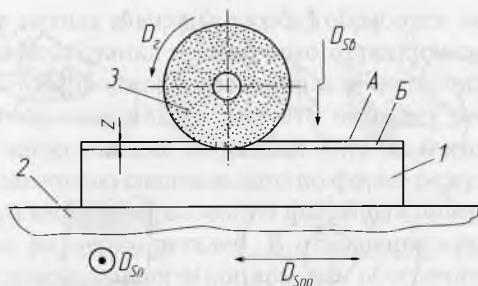


Рис. 7.2. Схема обработки заготовки на плоскошлифовальном станке: $D_г$ — главное движение резания; $D_{сп}$, $D_{сб}$, $D_{пн}$ — соответственно продольное, вертикальное и поперечное перемещения подачи; А — обрабатываемая поверхность; Б — обработанная поверхность, с которой снят припуск

Каждому сочетанию вида обработки, инструмента и станка соответствует строго определенный метод формообразования поверхностей. Все детали имеют пространственную форму, ограниченную плоскими, круговыми цилиндрическими и коническими, сферическими, торовыми и другими поверхностями. Любую геометрическую поверхность можно представить совокупностью последовательных положений следов производящей линии, называемой **образующей**, движущейся по другой производящей линии, называемой **направляющей**. Так, для образования круговой цилиндрической поверхности необходимо образующую в виде прямой линии перемещать по направляющей в виде окружности.

При обработке поверхностей на металлорежущих станках образующие и направляющие линии в большинстве случаев являются воспроизводимыми. Они воспроизводятся сочетанием движений заготовки и инструмента, скорости которых строго согласованы. Движения резания являются формообразующими. При механической обработке заготовок деталей машин и приборов реализуются обычно пять методов формообразования (копирования, следов, касания, комбинированный и обкатка).

Образование поверхностей *методом копирования* (рис. 7.3, а) состоит в том, что режущая кромка инструмента является реальной образующей линией 1. Направляющая линии 2 воспроизводится во времени вращением заготовки. Формообразующим в том случае является главное движение резания $D_г$. Движение подачи $D_{сп}$ нужно для получения геометрической поверхности определенного размера (диаметра). Метод копирования используется при обработке фасонных

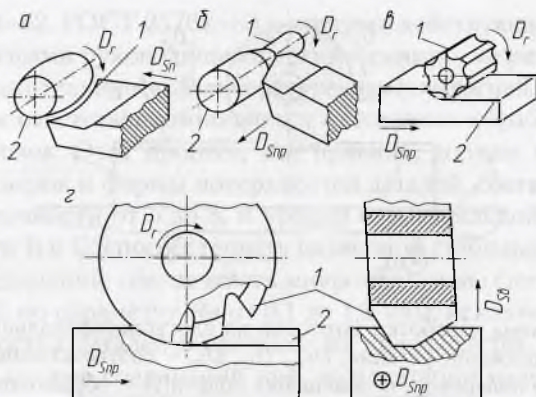


Рис. 7.3. Схемы формообразования поверхностей деталей методами: а — копирования; б — следов; в — касания; г — комбинированный

поверхностей заготовок на токарных, фрезерных, протяжных и шлифовальных станках.

Образование поверхностей *по методу следов* (рис. 7.3, б) заключается в том, что линия 1 является траекторией движения точки на главной режущей кромке инструмента, а направляющая линия 2 — траекторией движения точки заготовки. В этом случае образующими являются движения резания D_r и D_{Snp} . Метод следов наиболее широко распространен в машино- и приборостроении.

При образовании поверхностей *по методу касания* (рис. 7.3, в) образующей линией 1 является режущая кромка инструмента (фрезы), а направляющей линией 2 поверхности служит касательная к ряду геометрических вспомогательных линий — траекторий точек режущей кромки фрезы. Здесь формообразующим является движение $Z > s$ подачи.

На рис. 7.3, г приведен *комбинированный метод* формообразования прямолинейной фасонной канавки, содержащий в себе элементы предыдущих методов. Образующей линией 1 является фасонная режущая кромка фрезы, соответствующая форме сечения канавки. При этом направляющей линией 2 будет касательная к траектории точек режущей кромки инструмента. Движение D_{Sb} вертикальной подачи заготовки может быть использовано для получения высотного размера канавки (глубины) при обработке за несколько проходов.

Образование поверхностей *по методу обкатки* (рассмотрен) чаще всего применяется при изготовлении зубчатых колес.

При выборе метода и вида (способа) обработки конкретной заготовки, инструмента, станка необходимо отталкиваться от наиболее подходящего метода формообразования или копирования формы существующих поверхностей, так как это поможет реализовать принятую схему с наименьшими затратами. Вполне очевидно, что метод копирования с помощью специального по форме режущей кромки инструмента приемлем для образования фасонных поверхностей только у небольших по размерам деталей. В отношении крупногабаритных деталей желательно применять копиры или обеспечивать траекторию перемещения инструмента кинематическим путем.

7.2. Классификация металлорежущих станков и обозначения на их кинематических схемах



Металлорежущие станки — это разнообразные и широко распространенные машины, позволяющие выполнять обработку заготовок в основном путем снятия режущим инструментом слоев материала в виде стружки.

В основу классификации станков положены метод и вид обработки, назначение, степень автоматизации, число главных рабочих органов и их расположение, особенности конструкции, точность изготовления, масса (вес), функциональные характеристики и т.д. Классификация построена по десятичной системе. Все станки (за исключением специальных) поделены на десять групп, а группы — на десять типов (табл. 7.1). Группа 0, предназначенная для резервных станков, в таблицу не включена.

Нумерация (условное обозначение) станков основана на присвоении каждой модели станка определенного номера из трех-четырех цифр, иногда с добавлением прописных букв. Первая цифра указывает группу, к которой относится станок; вторая — тип станка в пределах группы; третья, а если имеется, то и четвертая цифры условно характеризуют его основные технологические особенности (например, наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, наибольший диаметр инструмента, размеры стола и т.п.). Буква на втором или третьем месте позволяет различать станки одного типоразмера, но с разными техническими характеристиками (модернизация). Буква, стоящая после всех цифр, обозначает модификацию (видоизменение) модели станка или его технологические особенности (например, более высокую точность). Шифр станков с программным управлением (ПУ) содержит

Классификация

Станки	Группа	Тип			
		0	1	2	3
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы			Токарно-револьверные
		специализированные	одношпиндельные	многошпиндельные	
Сверлильные и расточные	2	—	Настольно- и вертикально-сверлильные	Полуавтоматы	многошпиндельные
				одношпиндельные	
Шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные	3	—	Круглошлифовальные, бесцентровошлифовальные	Внутришлифовальные, координатно-шлифовальные	Обдирочно-шлифовальные
Электрофизические и электрохимические	4	—	—	Светолучевые	—
Зубо- и резьбообработывающие	5	Резьбонарезные	Зубодолбежные для обработки цилиндрических колес	Зубонарезные для обработки конических колес	Зубофрезерные для обработки цилиндрических колес и шлицевых валов
Фрезерные	6	Барабанно-фрезерные	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольные одностоечные
Строгальные, долбежные и протяжные	7	—	Продольно-строгальные		Поперечно-строгальные
			одностоечные	двухстоечные	
Разрезные	8	—	Отрезные, оснащенные		
			резцом	абразивным кругом	гладким или насечным диском
Разные	9	—	Трубо- и муфтообработывающие	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные

Таблица 7.1

металлорежущих станков

Тип					
4	5	6	7	8	9
Токарно-револьверные полуавтоматы	Карусельные	Токарные и лоботокарные	Многорезцовые и копировальные	Специализированные	Разные токарные
Координатно-расточные	Радиально-координатно-сверлильные	Расточные	Отделочно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Специализированные шлифовальные	Продольно-шлифовальные	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные, полировальные, хонинговальные, доводочные	Разные, оснащенные абразивным инструментом
Электрохимические	—	—	Электроэрозионные, ультразвуковые прошивочные	Анодно-механические отрезные	—
Зубофрезерные для нарезания червячных колес	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Копировальные и гравировальные	Вертикально-фрезерные бесконсольные	Продольные двухстоечные	Консольно-фрезерные операционные	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные фрезерные
Долбежные	Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные для протягивания внутреннего наружного		—	Разные строгальные
Правильноотрезные	Ленточно-пильные	Отрезные с дисковой пилой	Отрезные ножовочные	—	—
—	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	—	—

буквы Ц и Ф и цифру после них (Ц — с цикловым управлением, Ф1 — с цифровой индексацией положения и предварительным набором координат, Ф2 — с позиционной системой числового программного управления — ЧПУ, Ф3 — с контурной системой ЧПУ, Ф4 — с комбинированной системой ЧПУ), а также букву М, показывающую наличие у станка магазина с инструментом.

Примеры и расшифровка условных обозначений (шифров) станков приведены ниже.

1. Станок мод. 1В140. Первая цифра показывает, что станок относится к токарной группе. Буква В свидетельствует о том, что станок модернизирован, а вторая цифра 1 указывает на тип (одношпиндельный автомат); последние две цифры характеризуют наибольший диаметр обрабатываемого прутка — 40 мм.

2. Станок мод. 1Г340ПЦ — токарно-револьверный станок с горизонтальной головкой, наибольший диаметр прутка 40 мм, повышенной точности, с цикловым ПУ.

3. Станок мод. 2Н135 — вертикально-сверлильный станок (группа 2, тип 1), модернизированный (буква Н), с наибольшим условным диаметром сверления 35 мм (35).

4. Станок мод. 6Р82 — горизонтально-фрезерный, консольный, модернизированный станок со столом № 2 (размер стола 320 × 1250 мм).

5. Станок мод. 16К20Ф3 — токарно-винторезный станок с высотой центров над станиной 200 мм, оснащенный контурной системой ЧПУ.

6. Станок мод. 22002ВМФ4 — многоцелевой (сверлильно-фрезерно-расточный) горизонтальный станок высокой точности с инструментальным магазином и комбинированной системой ЧПУ.

Специальные и специализированные станки и автоматические линии (АЛ1) наделены в обозначении шифрами заводов (для АЛ — также шифрами проектных организаций) и порядковыми номерами моделей и АЛ. Например, ЕЗ-9 — специальный станок для нарезания зубчатых реек Егорьевского станкозавода.

Универсальные станки общего назначения используются для выполнения различных операций при обработке заготовок деталей многих наименований. Они применяются чаще всего в единичном и мелкосерийном производствах.

Специализированные станки служат для обработки заготовок деталей одного или нескольких наименований, сходных по конфигурации, но имеющих разные размеры, например ступенчатых валов и втулок, колец поршней, колец шарикоподшипников и т.д. Они применяются в основном в серийном производстве.

Специальные станки предназначены для обработки одной заготовки (или заготовок одного типоразмера), например поршней двигателей, гребных винтов и т.п. Используются в массовом и крупносерийном производстве.

В зависимости от веса и размеров (габаритов) станки подразделяются на категории: *легкие* — весом до 10 кН; *средние* — от 10 до 100; *крупные* — от 100 до 300; *тяжелые* — от 300 до 1000 и *особо тяжелые* (уникальные) — весом более 1000 кН. Исключением составляют внутршлифовальные, хонинговальные (группа 3, типы 6 и 8) и зубообрабатывающие (группа 5, кроме типа 6) станки: из них к крупным относятся станки весом от 100 до 200 кН, к тяжелым — от 200 до 600 и к особо тяжелым — более 600 кН.

В зависимости от точности установлено пять классов станков: нормальной точности Н, повышенной точности П, высокой точности В, особо высокой точности А, особо точные С. Например, на станках класса Н можно получать точность размеров обработанных поверхностей деталей по квалитетам 7...8 (ГОСТ 8–82Е).

Станки класса П обычно изготавливаются на базе станков класса Н и отличаются от последних лишь более точным исполнением или подбором отдельных пар деталей, а также особенностями монтажа. Точность обработки на станках этого класса по отклонениям размеров обработанных поверхностей деталей составляет 0,6 от отклонений, обеспечиваемых на станках класса Н. При обработке на станках класса В эти отклонения равны 0,4, а на станках класса А — 0,25 от отклонений при обработке на станках класса Н. Повышенная точность обработки на станках классов П, В и А достигается благодаря особенностям конструкции отдельных элементов, высокой точности изготовления деталей и соединений и специальным условиям эксплуатации этих станков.

Особо точные станки класса С производятся индивидуально, отклонения размеров обработанных на них поверхностей по сравнению с отклонениями, обеспечиваемыми на станках класса Н, составляют 0,16. Станки этого класса применяются при изготовлении высокоточных, прецизионных деталей (делительные диски, эталонные колеса, винты измерительных приборов, аэродинамические опоры и роторы гироскопов и т.п.).

Для осуществления процесса обработки каждый станок снабжен рабочими органами в виде шпинделя, суппорта, стола, инструментальной головки и т.п., которым сообщаются движения и соответствии с назначением станка и характером выполняемых работ. Необходимые

относительные перемещения могут совершаться либо заготовкой, либо инструментом, либо сочетанием движений заготовки и инструмента. *Исполнительные движения* на станках делятся на формообразующие, установочные, делительные и вспомогательные. *Формообразующие* движения принято разделять на главное движение и движение подачи (ГОСТ 25762–83). *Установочные* движения обеспечивают требуемые положения заготовки и инструмента с целью получения данных размеров. *Делительными* движениями производится поворот заготовки или инструмента на заданный угол. *Вспомогательные* движения выполняются на станках для транспортирования и установки заготовок, подвода и отвода инструмента и его правки, контроля размеров и т.д.

Главное движение (движение резания) определяет скорость резания. Оно бывает *вращательным* или *прямолинейным* и сообщается либо заготовке, либо инструменту. На токарных станках главное движение — это вращение заготовки; на фрезерных, сверлильных и шлифовальных — вращение инструментов; на строгальных, долбежных, протяжных и на некоторых зубообрабатывающих — прямолинейное возвратно-поступательное движение инструмента (на строгальных — может быть и заготовки).

Движение подачи — это прямолинейное поступательное или вращательное движение инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для снятия слоя материала со всей обрабатываемой поверхности. Это движение определяет один из размеров сечения стружки и бывает *непрерывным* (например, при точении, фрезеровании, сверлении) и *прерывистым* (например, при строгании, долблении). В станках может быть несколько движений подачи. Например, при плоском шлифовании (см. рис. 7.2) имеются движения продольной подачи $S_{пр}$, поперечной подачи $S_{п}$ (для перекрытия всей обрабатываемой поверхности кругом Z , ширина которого меньше ширины заготовки l) и вертикальной подачи $S_{в}$ (для обеспечения врезания шлифовального круга в заготовку до полного снятия припуска z).

Движения резания и подачи являются обязательными практически для всех групп станков. Исключение составляют протяжные станки, в которых движение подачи отсутствует, так как сечение срезаемого слоя каждым зубом определяется его превышением над предыдущим зубом, т.е. подача обеспечивается конструкцией протяжки.

В качестве примера металлорежущего оборудования приведен модернизированный токарный станок мод. КТС-250, предназначенный

для выполнения обработки виброрезанием цилиндрических поверхностей заготовок (рис. 7.4). На станине 1 закреплена передняя бабка 3. Внутри станины и бабки расположены коробка скоростей со шпинделем и установленным на нем патроном 5 для размещения заготовок, обеспечивающая бесступенчатое регулирование частоты главного вращательного движения D_r , и коробка подач для обеспечения движений продольной $D_{s_{пр}}$ и поперечной $D_{s_{п}}$ подач (перемещений) инструмента. На направляющих станины размещен суппорт 7, на котором крепится резцедержатель или другое приспособление, например виброголовка 6, для установки инструмента (резца, сверла и т.д.), а также задняя бабка или другое устройство, например редуктор 8 привода виброголовки. Суппорт имеет продольные и поперечные салазки для обеспечения подач $S_{пр}$ и $S_{п}$. Механизмы перемещения суппорта расположены в его фартуке 11 и приводятся в движение от вала 10. В случае, если на станке выполняется виброрезание, вибрация инструмента с частотой f_v обеспечивается приспособлением в виде механогидравлической виброголовки 6, золотник управления которой перемещается кулачком (эксцентрик) винтового редуктора 8. Бесступенчатое изменение частоты вращения шпинделя станка осуществляется маховиком 2, переключение подач выполняется рукояткой 4, включение вращения шпинделя обеспечивается поворотом рукоятки вала 9, а управление электродвигателем станка производится переключателями, расположенными на панели 12.

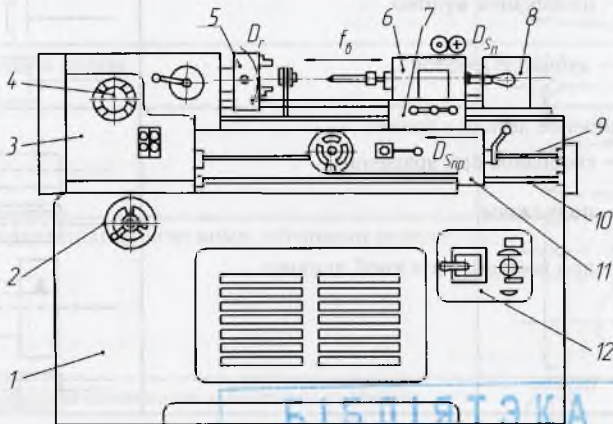


Рис. 7.4. Общий вид модернизированного токарного станка мод. КТС-250

инв. № 337681

Однако приведенные рисунок и описание не дают полного представления о кинематике и устройстве токарного станка. Более наглядное и полное представление о кинематике станков и в какой-то степени об их конструкции дают упрощенные условные схемы механизмов, называемые *кинематическими*. Для вычерчивания таких схем согласно ГОСТ 2.770–68 используются условные обозначения, основные из которых приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

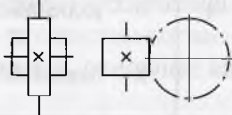
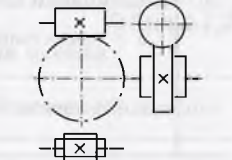
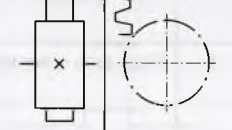
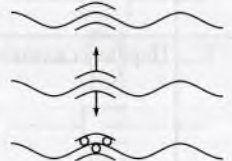
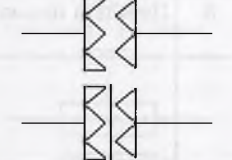
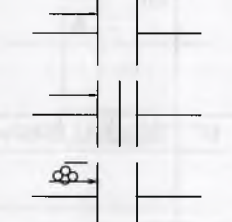
Условные обозначения на кинематических схемах

№ п/п	Название	Условное обозначение
1	Вал	
2	Соединение валов:	
	а – глухое	
	б – глухое с предохранением от перегрузки	
	в – эластичное	
	г – шарнирное	
	д – телескопическое	
	е – плавающей муфтой	
	ж – зубчатой муфтой	
3	Соединение детали с валом:	
	а – свободное при вращении	
	б – подвижное	
	в – при помощи вытяжной шпонки	
	г – глухое	
4	Подшипники скольжения:	
	а – радиальный	

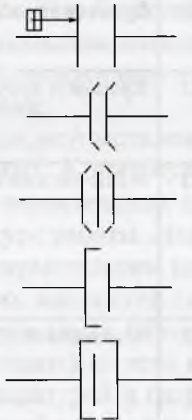
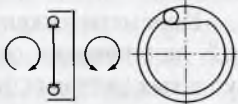
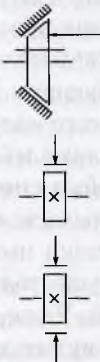
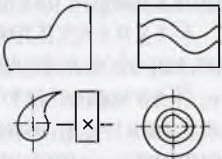
Продолжение табл. 7.2

№ п/п	Название	Условное обозначение
4	б – радиально-упорный односторонний в – радиально-упорный двусторонний	
5	Подшипники качения: а – радиальный (общее обозначение) б – радиально-упорный односторонний в – радиально-упорный двусторонний	
6	Передача плоским ремнем	
7	Передача клиновидным ремнем	
8	Передача цепью	
9	Передача цилиндрическими зубчатыми колесами	
10	Передача коническими зубчатыми колесами	

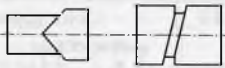


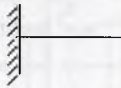
Продолжение табл. 7.2

№ п/п	Название	Условное обозначение
11	Передача винтовыми колесами	
12	Червячная передача	
13	Реечная передача	
14	Винтовая передача: а — гайка неразъемная б — гайка разъемная в — шариковая винтовая передача	
15	Муфты сцепления кулачковые: а — односторонняя б — двусторонняя	
16	Муфты сцепления фрикционные: а — односторонняя б — двусторонняя в — односторонняя электромагнитная	

Продолжение табл. 7.2

№ п/п	Название	Условное обозначение
16	г — односторонняя гидравлическая или пневматическая д — конусная односторонняя е — конусная двусторонняя ж — дисковая односторонняя з — дисковая двусторонняя	
17	Муфта обгона односторонняя	
18	Тормоза: а — конусные б — колодчатые в — ленточные	
19	Кулачки плоские: а — продольно-поперечные б — дисковые	

Окончание табл. 7.2

№ п/п	Название	Условное обозначение
20	Кулачки барабанные цилиндрические	
21	Храповой зубчатый механизм	
22	Мальтийский механизм наружного зацепления	
23	Неподвижное закрепление оси	

Кинематическая схема состоит из отдельных кинематических цепей, являющихся совокупностью ряда передач, например ременных, зубчатых, реечных, винтовых и т.п., обеспечивающих передачу движения от начального звена (ведущего элемента) к конечному (ведомому элементу). Передаточным отношением считается отношение частоты вращения ведомого вала к частоте вращения ведущего вала.

Кинематические цепи могут состоять либо из постоянно взаимодействующих элементов, либо из сменных элементов. Последними чаще всего являются зубчатые колеса, кулачки и шкивы. Группа сменных взаимодействующих элементов именуется узлом настройки. Узел настройки кинематической цепи посредством сменных зубчатых колес называется *гитарой*.

Станки имеют *индивидуальные приводы*, при этом все их движения осуществляются либо от одного, либо от нескольких электродвигателей. Чаще всего используются трехфазные, асинхронные, короткозамкнутые электродвигатели.

По характеру регулирования скоростей перемещения рабочих органов станков различают ступенчатые и бесступенчатые приводы.

Ступенчатые приводы выполняются в виде шестеренчатых коробок передач для обеспечения геометрического ряда.

В качестве источника движения бесступенчатого регулирования используются электроприводы, гидроприводы, пневмоприводы, механические приводы — вариаторы.

В качестве *электроприводов* бесступенчатого регулирования используются электроприводы постоянного тока с тиристорным преобразователем, позволяющим повысить частоты вращения шпинделей до 4000 мин^{-1} и более. Такой привод позволяет бесступенчато регулировать требуемые частоты вращения в большом диапазоне, имеет высокий КПД, но нуждается в источниках постоянного тока и проявляет высокую чувствительность к перегрузкам.

Гидроприводы применяются чаще всего для осуществления прямолинейных движений и реже для вращательных. К преимуществам гидроприводов можно отнести обеспечение значительных сил и моментов при небольших габаритах, большой ресурс работы. Недостатки гидроприводов заключаются в сложности герметизации подвижных соединений и в изменении свойств рабочих жидкостей (масел) при изменении температуры и попадании в них воздуха. Обычно гидропривод включает в себя насос (насосную станцию) со всей необходимой распределительной и регулирующей аппаратурой и гидродвигатель в виде гидроцилиндров или гидромоторов, обеспечивающих соответственно прямолинейное и вращательное движения органов станка. Для вычерчивания и расшифровки гидравлических схем станков используются условные обозначения (ГОСТ 2781, 2782).

Пневмоприводы станков обычно применяются для загрузки и зажима заготовки и инструмента, осуществления быстрых холостых перемещений рабочих органов и т.п. Рабочей средой выступает воздух, давление которого в заводских сетях достигает $0,4...0,6 \text{ МПа}$. Положительные свойства пневмопривода — их высокое быстродействие, независимость от температуры окружающей среды. Известные недостатки пневмоприводов сводятся к малым развиваемым ими силам и большим габаритам этих устройств. Поэтому взамен пневматических часто используются *комбинированные пневмогидравлические приводы*.

Механические бесступенчатые приводы относятся к числу фрикционных передач, поскольку передача движения с одного звена на другое осуществляется в результате сил трения, возникающих в контакте соприкасающихся поверхностей. Применяются эти приводы сравнительно редко из-за их недолговечности, наличия проскальзывания, малого диапазона регулирования и низкого КПД.

Важным моментом компоновки является размещение элементов станочной системы относительно станка (рис. 7.5). Насосные станции 2, 3 обычно располагаются за станком 1, что обеспечивает компактность системы и комфортность рабочего места станочника. Здесь же

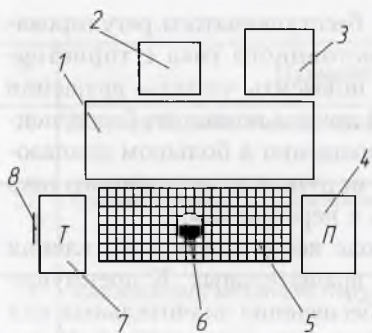


Рис. 7.5. Компоновка токарного станка с другими устройствами и вариант организации рабочего места станочника (токаря)

может размещаться, например, шкаф электроавтоматики. А вот устройство числового программного управления станком, если таковое предусмотрено в станочной системе, должно находиться с левой стороны рабочего места, чтобы был обеспечен доступ к нему оператора. На рабочем месте станочника кроме обрабатывающего оборудования и обслуживающих его устройств предусматриваются инструментальная тумбочка 7 с подставкой для чертежа (технологической карты) 8, приемный стол (стеллаж) 4 и напольный трап (решетка) 5. Место рабочего 6 должно располагаться так, чтобы органы управления станком 1, тумбочка (устройство ЧПУ) 7, приемный стол 4 находились в пределах досягаемости, и может оборудоваться регулируемым по высоте сиденья стулом.

Трап 5 изготавливается из токонепроводимого материала (дерево, пластмасса, резина) и предназначается для защиты ног станочника из-за переохлаждения от холодного цементного или металлического пола цеха и от воздействия электрического тока в случае пробоя изоляции в электросистеме. Следует помнить, что исключить поражение электротоком поможет также заземление станины станка и корпусов других элементов станочной системы, в которых используется электроэнергия.

7.3. Теория резания, параметры режима обработки и смазочно-охлаждающие вещества



Образование новых поверхностей заданных формы, точности и качества отделки обеспечивается при резании путем снятия припуска z . Наивыгоднейшей формой режущих элементов лезвийных

инструментов является клин с кромкой при виде сверху острой, тупой, несимметричной, криволинейной или другой сложной формы.

Технолог и рабочий-станочник, изменяя внешнее воздействие на технологическую систему на входе, например, назначая параметры режима обработки в соответствии со свойствами обрабатываемых материалов, характеристики внешней среды (СОЖ) и т.п., получают отдачу на выходе системы в виде производительности обработки, фактической стойкости инструмента, точности и качества обработанных поверхностей, экономичности изготовления деталей.

На рис. 7.6 представлены мгновенные относительные положения инструмента и заготовки при снятии слоя материала и характеристики процесса резания. *Обрабатываемая поверхность I* является исходной поверхностью заготовки, с которой снимается слой толщиной a и шириной b . Обработанная поверхность II образуется после снятия стружки толщиной a_1 и шириной b_1 . *Поверхность резания R* образуется режущей кромкой инструмента и результирующим движением резания и может быть плоской (рис. 7.6, а), цилиндрической (рис. 7.6, б), конической и других форм.

Режущий клин характеризуется передней поверхностью A_γ (рис. 7.6), контактирующей в процессе резания со срезаемым деформированным слоем, переходящим в стружку, и задней поверхностью A_α , контактирующей при резании с обработанной поверхностью и упрочняющей материал подповерхностного слоя. Пересечение A_γ и A_α образует режущую кромку. Когда инструмент имеет несколько режущих кромок,

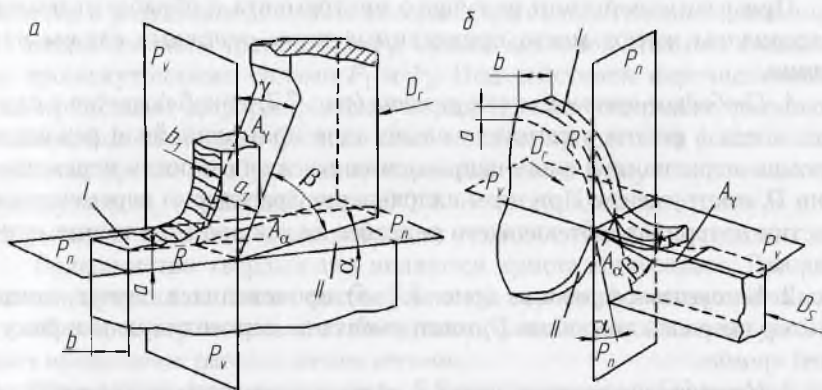


Рис. 7.6. Геометрические параметры процесса резания при обработке плоской (а) и цилиндрической (б) поверхностей заготовок

наиболее нагруженная из них называется *главной режущей кромкой*. В различных видах обработки существуют статические и кинематические углы режущего лезвия, определяющие положение передней и задней поверхностей инструмента относительно взаимно-перпендикулярных плоскостей — плоскости резания и основной плоскости. Под *основной плоскостью* P_v понимается координатная плоскость, проходящая через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению вектора скорости главного или результирующего движения резания в этой точке. Под *плоскостью резания* P_r принято понимать координатную плоскость, касательную к режущей кромке в какой-либо точке и перпендикулярную основной плоскости.

Кинематические углы зависят от положения плоскости резания и могут отличаться по величине от статических углов, полученных при заточке инструмента. Эти углы определяются в плоскости, перпендикулярной линии пересечения основной плоскости и плоскости резания (в главной секущей плоскости). *Передний угол* γ является углом в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью. Этот угол влияет на процесс стружкообразования и прочность режущего лезвия (клина). При совпадении положения передней поверхности с направлением основной плоскости $\gamma = 0$. *Задний угол* α — это угол в главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания. Для уменьшения потерь на трение угол α должен быть больше 0. Углом заострения β называется угол в секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

При взаимодействии режущего инструмента с обрабатываемым материалом имеют место приведенные ниже основные *схемы резания*.

1. *Свободное ортогональное резание* (рис. 7.7, а) наблюдается в случае, когда в работе участвует только одна прямолинейная режущая кромка, перпендикулярная направлению вектора скорости перемещения D_r инструмента. При этом направление траекторий перемещения частиц материала, обтекающего режущее лезвие, во всех точках одинаково.

2. *Косоугольное резание* (рис. 7.7, б) происходит в случае, когда вектор скорости движения D_r инструмента не перпендикулярен режущей кромке.

3. *Несвободное резание* (рис. 7.7, в) возникает тогда, когда в работе одновременно участвуют несколько сопряженных режущих кромок комбинированного лезвия, имеющих разное направление.

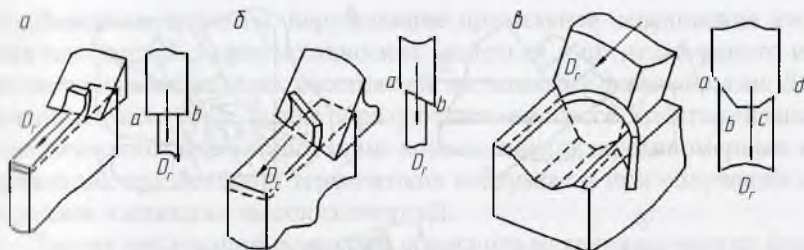


Рис. 7.7. Схемы резания:

a — свободное ортогональное; *б* — косоугольное; *в* — несвободное

При врезании в материал режущей части инструмента на его переднюю и заднюю поверхности действуют нормальные силы N_1 и N_2 и силы трения F_1 и F_2 . При допущении, что режущее лезвие (клин) абсолютно жесткое тело, можно путем сложения векторов всех сил получить вектор общей равнодействующей силы P , являющейся силой сопротивления резанию (рис. 7.8, *a, б*).

Для удобства определения параметров процесса резания вектор силы P можно разложить на составляющие, значения которых измеряют динамометрами или рассчитывают по формулам. При первой схеме резания (см. рис. 7.7, *a*) таких составляющих будет две: в направлении вектора скорости резания P_z и в направлении P_y , перпендикулярном поверхности резания. При второй схеме резания (см. рис. 7.7, *б*) составляющих силы P будет три (P_z, P_y, P_x). Сила резания является основой возникновения нормальных к поверхностям сил N_1 и N_2 , в результате действия которых при относительных движениях создаются силы трения F_1 и F_2 . Суммы векторов этих сил являются промежуточными силами P_1 и P_2 . Под действием перечисленных сил происходят деформирование и разрушение материала, сопровождающиеся сложными физико-химическими процессами (выделение теплоты, трение и образование наростов, износ режущих элементов инструментов, взаимодействие СОЖ и материалов заготовки и инструментов, возникновение вибрации технологической системы).

Большинство твердых тел являются кристаллическими. Все реальные кристаллы имеют несовершенства строения в виде точечных, линейных, поверхностных и объемных дефектов, локально нарушающих правильное расположение атомов.

Точечные дефекты — *вакансии* — возникают при удалении одного атома из кристаллической решетки в отличие от внедренных атомов-дефектов, возникающих при внедрении «лишнего» атома в решетку.

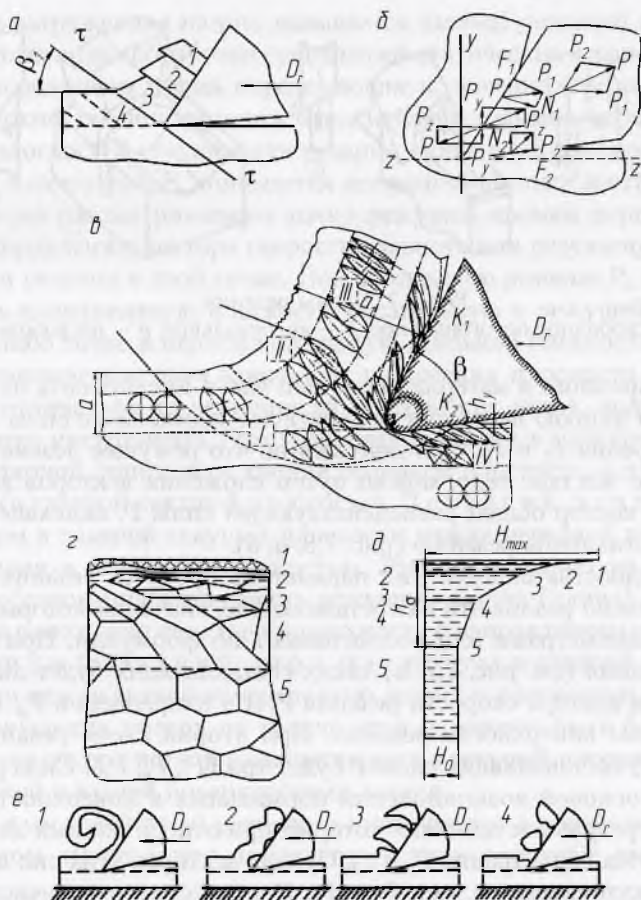


Рис. 7.8. Схемы стружкообразования и деформирования материалов при резании лезвийным инструментом и типы стружек:

a – упрощенная схема стружкообразования И.А. Тиме; *b* – схема сил, действующих на режущее лезвие (клин); *v* – процесс деформирования материала при образовании сливной стружки; *z* – микроструктура подповерхностного слоя материала после обработки (1 – пленка окислов; 2 – слой диспергированного материала; 3 – пластически деформированный слой; 4 – упругодеформированный слой; 5 – исходная структура); *d* – распределение микротвердости в подповерхностном слое материалов микроструктур (1–5); *e* – типы стружек (1 – сливная; 2 – суставчатая; 3 – элементная; 4 – надлома); *a* и *a*₁ – толщина срезаемого слоя и стружки; *h*₀ – толщина упрочненного слоя; *H*_{max} – максимальная твердость

Линейные дефекты, нарушающие правильное чередование атомных плоскостей в кристаллических решетках в пределах одного или нескольких межатомных расстояний, называются *дислокациями*. Дислокации различных видов образуются в процессе кристаллизации, пластического деформирования, возникновения неравномерных напряжений, при больших термических нагрузках и при облучении материалов частицами высоких энергий.

Теория дислокаций позволяет объяснить механизмы многих физических процессов, в том числе упрочнения и разрушения материалов, механические свойства металлов (пределы текучести, упругости и прочности), процессы старения, внутреннего трения, усталости и ползучести металлов, а также разработать рекомендации по упрочнению материалов или по более эффективному их разрушению при обработке резанием. Резание поликристаллических материалов одновременно с внутрикристаллической деформацией вызывает и межкристаллическую (относительное скольжение и поворот зерен, дробление их на отдельные блоки, разрушение по границам зерен).

При врезании режущего клина в заготовку вокруг него возникает *область деформированного материала*. Размеры этой области, характеристики процесса стружкообразования и состояния подповерхностного слоя заготовки зависят от свойств обрабатываемого материала и условий резания. Условно во всем пластически деформированном объеме можно выделить несколько зон (рис. 7.8, в), имеющих различные характеристики напряженно-деформированного состояния материала.

Зона I, наиболее удаленная от режущей части, характеризуется упругими и малыми пластическими деформациями. В этой зоне зерна металла слегка вытягиваются и поворачиваются, появляется текстура (преимущественная ориентация зерен) материала. Нижняя граница зоны характеризуется нулевыми значениями скорости ϵ_i и степени ϵ_i деформаций. Верхняя граница зоны представляет собой поверхность, являющуюся геометрическим местом точек максимальных скоростей деформаций ($\epsilon_i = \epsilon_{i\max}$). Материал в зоне находится в сложнопластическом состоянии, напряжения σ_i могут достигать значений предела текучести.

В зоне II наблюдается наибольшая интенсивность деформации. Зерна металла при перемещении максимально удлиняются, сжимаются и поворачиваются; образуется четкая текстура, носящая разный характер по толщине зоны. Происходит дополнительное деформирование материала в контактной области вследствие его торможения

при трении о переднюю и заднюю поверхности клина, а также смятия его части скругленной радиусом режущей кромкой. В случае повышения контактных температур до значений, близких к температуре плавления, на контактной поверхности движущегося металла может образовываться тонкий сильно деформированный и оплавленный слой.

Переход обрабатываемой поверхности в наружную поверхность зоны деформации осуществляется плавно с определенным радиусом кривизны, зависящим от значений переднего угла режущего лезвия и толщины срезаемого слоя. Такая переходная поверхность всегда ступенчато-шероховатая, хаотично покрытая мелкими трещинами и зазубринами.

Положение верхней границы зоны II зависит от многих факторов, в том числе от скорости резания, длины контакта, свойств материала и т.п. Выше границы этой зоны материал полностью деформирован ($\epsilon_i = \epsilon_{i\max}$) и, отделяясь от передней поверхности в точке K_1 , переходит в стружку. Напряженно-деформированное состояние материала зоны характеризуется большими напряжениями σ_i и постепенным уменьшением скоростей деформации вплоть до $\epsilon_i = 0$.

Вблизи режущей кромки материал зоны наиболее упрочнен, в нем появляется система микротрещин, которые, ветвясь и сливаясь, образуют макротрещины критических размеров. В результате возникает разрыв вытянутых волокон материала у вершины лезвия и длина трещины становится соизмеримой с толщиной срезаемого слоя. Дальнейшее развитие трещины происходит по нестабильной траектории и зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров зерен, состояния их границ и условий резания.

При резании твердых материалов возникает хрупкое разрушение и трещина полностью отделяет элемент стружки от основного материала. Распространение трещин ниже линии среза приводит к появлению на обработанной поверхности деталей нарывов, выступов и зазубрин.

В зоне III находится деформированный материал, образующий *стружку*. Приращения деформации не наблюдается ($\epsilon_i = 0$). Значения напряжений максимальны. При резании вязкопластичных материалов наблюдается образование сливной стружки (тип 1, рис. 7.8, *e*). Часто при резании пластичных материалов образуются стружки, на которых просматриваются сдвинутые друг относительно друга элементы. Но отделения элементов не наблюдается, а появляющиеся трещины со стороны режущего лезвия или с внешней поверхности стружки тормозятся в толще деформированного материала, не выходя на его

наружную поверхность. В этом случае имеет место суставчатая стружка (тип 2, рис. 7.8, *e*).

В случае, когда при резании материалов с пониженной пластичностью возникает интенсивное трещинообразование и происходит практически полное разделение отделяемого материала на элементы, имеющие определенную форму и системность образования, возникает элементная стружка (тип 3, рис. 7.8, *e*). При резании хрупких материалов (чугун, бронза, керамические и другие материалы) происходит откалывание отдельных частиц подповерхностного слоя от основного материала заготовки. В связи с тем что пластического деформирования материала практически не наблюдается, элементы стружки, образующиеся в процессе хрупкого разрушения, не имеют системной (правильной) формы. При этом образуется стружка надлома (тип 4, рис. 7.8, *e*). В практике обработки отдельных материалов и при определенных условиях резания могут возникать стружки, по своей форме значительно отличающиеся от перечисленных выше типов. Так, при резании твердых и хрупких керамических материалов или стеклопластиков наблюдается скалывание отдельных элементов с гладкими поверхностями или в виде иголок.

Зона IV (рис. 7.8, *в*) представляет собой подповерхностный слой обработанной заготовки, напряженно-деформированное состояние которого возникает вследствие перетекания деформированного материала из зоны I, дополнительного воздействия на этот материал округленной режущей кромки и деформирования его в процессе трения при контактировании с задней поверхностью инструмента (до точки K_2).

После того как материал перестает находиться под воздействием задней поверхности инструмента, подповерхностный слой испытывает упругое последствие h_y и восстанавливается по толщине (рис. 7.8, *в*, *з*). Микротвердость слоя имеет наибольшее значение H_{\max} у поверхности и снижается до исходного значения микротвердости H_0 (микротвердость материала заготовки). Толщина слоя с повышенной микротвердостью $H_{\mu} = H_{\max}$ (рис. 7.8, *з*, *д*) и физико-механические свойства материала подповерхностного слоя оцениваются его толщиной h_{σ} и степенью упрочнения $U_{\text{н}}$. Под степенью упрочнения понимается отношение

$$\frac{H_{\max} - H_0}{H_0} 100 \% = U_{\text{н}}$$

Градиент упрочнения

$$U_{\text{гр}} = (H_{\max} - H_0)/h_{\sigma}$$

При резании почти вся механическая энергия, затрачиваемая на деформирование, разрушение и трение, переходит в теплоту. Уравнение теплового баланса при резании можно представить таким образом:

$$Q_I + Q_{II} + Q_{III} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4,$$

где Q_I — количество теплоты, эквивалентное энергии, затраченной на деформирование и разрушение при стружкообразовании и формировании подповерхностного слоя; Q_{II} — количество теплоты, эквивалентное работе сил трения при контакте передней поверхности лезвия и деформированного материала; Q_{III} — количество теплоты, эквивалентное работе сил трения на задней поверхности лезвия при формировании подповерхностного слоя материала детали; q_1 — количество теплоты, уходящее в стружку; q_2 — количество теплоты, идущее в заготовку; q_3 — количество теплоты, переходящее в режущий инструмент; q_4 — количество теплоты, передающееся окружающей среде (воздух, СОЖ). Часть механической энергии (примерно от 0,5 до 3,0 %) расходуется на внутрикристаллические преобразования и накапливается в виде потенциальной энергии искаженной решетки материала в зоне деформации.

Тепловая энергия оказывает весьма существенное влияние на процесс резания, работоспособность режущего инструмента, физико-химические процессы, происходящие в контактной области, формирование обработанной поверхности и подповерхностного слоя материала. Резание сопровождается трением поверхностей инструмента и материала и огромными давлениями на площадях контакта, достигающими 1000...3000 МПа. Все эти факторы способствуют появлению на передней поверхности инструмента слоистого металлического образования, называемого *наростом*.

Наиболее вероятной причиной наростообразования можно считать возникновение застойной зоны упрочненного материала впереди режущего лезвия, а также торможение и схватывание тонких контактных слоев стружки на передней поверхности лезвия из-за наличия наиболее агрессивного для инструмента чистого трения, приводящего к большим значениям коэффициента трения в контакте (рис. 7.9, а). Нарост состоит из сильно деформированных слоев металла. Он может иметь разные размеры l_n и h_n , обладает высокой твердостью и режет металл. При наличии нароста режущее лезвие меняет угол заострения с β до β_n , передний угол γ , величину вылета инструмента (глубину внедрения лезвия в металл), а обработанная цилиндрическая поверхность уменьшает свой диаметр с D до D_n .

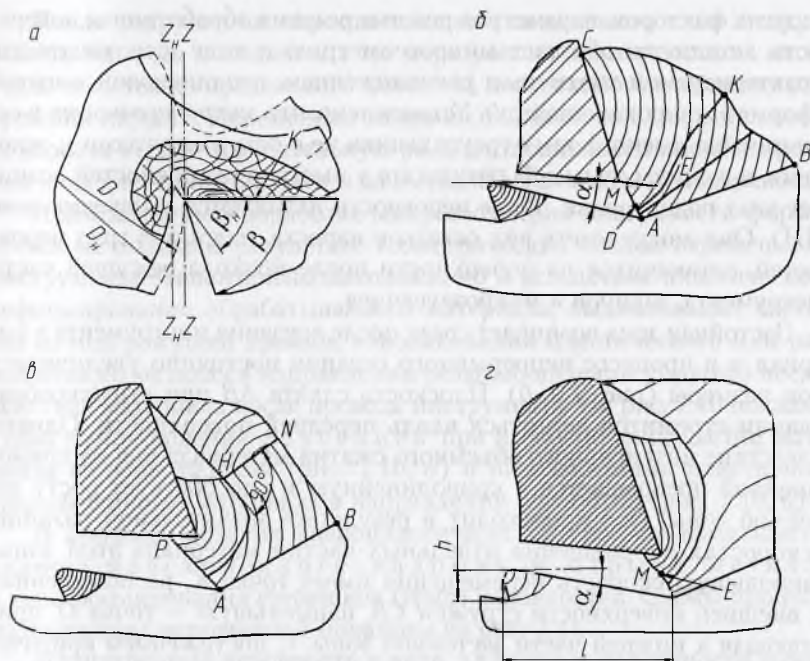


Рис. 7.9. Нарост и его влияние на процесс резания, размер, форму и микрогеометрию обработанной поверхности:

a — характеристики нароста; *б* — застойная зона; *в* — образование нароста; *з* — возникновение трещин и разрушение нароста

Высокая контактная температура способствует рекристаллизации металла нароста, снижающей его прочность. Нарост теряет свою режущую способность и частично или полностью разрушается. При разрушении нароста застойная зона приводит к возникновению и постепенному увеличению нового нароста. При этом фактический диаметр обработанной поверхности постепенно уменьшается от D до $D_{н}$, искажая геометрическую форму обработанного цилиндра. Поэтому резание с наростом на инструменте можно использовать лишь при черновой и получистовой обработках, так как в этом случае стойкость инструмента может возрастать. Частота разрушения нароста изменяется с изменением параметров режима обработки (v , t) и инструмента (γ). Поэтому при частом разрушении остатки нароста на обработанной поверхности влияют на ее волнистость и микрогеометрию. Известно, например, что при воздействии инструмента, тепловых

и других факторов, параметров режима резания обработанная поверхность детали приобретает микрогеометрию в виде шероховатости, характеризующейся хаотичным расположением, неодинаковой высотой и формой микронеровностей. Установлено, что *микронеровности* в сечении чаще имеют форму треугольника не с острыми углами у основания, а с одним тупым. В результате у выступов неровностей возникает угол поднутрения. Такие неровности называются *поднутренными* (ПН). Они могут иметь вид остатков нароста, надрывов гряд неровностей, остающихся на поверхности после прохода режущей части инструмента, задиоров и микрозаусенцев.

Застойная зона возникает сразу после врезания инструмента в материал и в процессе непрерывного резания постоянно увеличивает свои размеры (рис. 7.9, б). Плоскость сдвига AB при стружкообразовании стремится двигаться вдоль передней поверхности. Однако вследствие интенсивного объемного сжатия материала она из прямой превращается в криволинейную и способствует росту застойной зоны. Это происходит в результате значительной разницы в скоростях перемещения отдельных частиц материала этой зоны. Наибольшую скорость перемещения имеет точка K , расположенная на внешней поверхности стружки CB , наименьшую — точка D , прилегающая к нижней части застойной зоны. С достижением критических условий, определяющих высоту застойной зоны, происходит отделение элемента стружки.

Значительные силы трения между материалами инструмента и заготовки способствуют схватыванию в зоне контакта и образованию нароста (рис. 7.9, в). Сдвиг по плоскости AB приводит к ее последующей трансформации в поверхность PHN . Часть HN этой поверхности поглощается стружкой, часть PH — наростом, увеличивая его размеры. По мере увеличения объема нарост все больше внедряется в обрабатываемую заготовку ниже линии среза. При этом непрерывно растет сопротивление внедрению и падает прочность нароста в связи с возникновением трещины ME (рис. 7.9, г).

Таким образом, при резании в условиях наростообразования всегда имеет место срезание большей толщины слоя, чем это обусловлено положением вершины режущей кромки инструмента.

В процессе разрушения нароста по трещине ME нижняя часть, прочно соединенная с поверхностью, остается на ней и образует неровность высотой h и длиной l (рис. 7.9, г). Следует отметить, что процессам резания с определенным типом стружки соответствуют свои формы и размеры выступов в виде остатков нароста и других специфических неровностей.

После разрушения нароста толщина снимаемого слоя металла уменьшается до исходного, а по мере увеличения нароста — вновь увеличивается до предельного значения, достигаемого к моменту разрушения нароста. Переменная толщина снимаемого слоя металла из-за нароста играет отрицательную роль в стабильности процесса резания и обеспечении точности и качества обрабатываемой поверхности.

При отделочной обработке микрогеометрия поверхности формируется не только в результате геометрических следов перемещения инструмента относительно заготовки, но и вследствие пластического деформирования обрабатываемого материала, выдавливания частиц его из-под режущей кромки, наволакивания пластического или размягченного металла в направлении резания, явлений упругого последействия материала после прохода инструмента. На рис. 7.10 показана схема возникновения заусенцев при выдавливании частиц материала из зоны резания (рис. 7.10, *а*) и наволакивании пластичного (размягченного) материала в направлении обработки (рис. 7.10, *б*).

В процессе резания вязкопластичных материалов наблюдается явление пластического надрыва и отрыва металла в зоне формирования гребешков (гряд) неровностей. Схемы процесса надрыва гряд неровностей показаны на рис. 7.11.

Поднутренные неровности в виде задиров поверхности возникают из-за фрикционного взаимодействия и схватывания материалов инструмента (по задней поверхности) и обрабатываемой заготовки. После точечного схватывания часть металла стремится оторваться от общей массы заготовки (глубинное вырывание), но вследствие своей пластичности вытягивается в направлении обработки, а затем отрывается от инструмента. Схема формирования поднутренных неровностей в виде задиров показана на рис. 7.12.

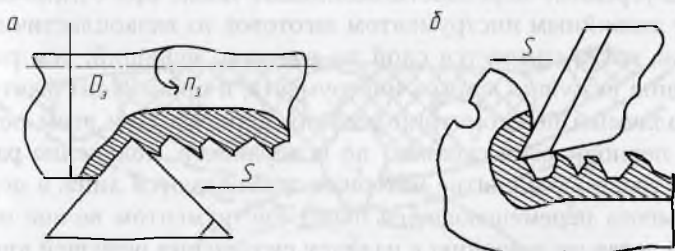


Рис. 7.10. Схемы возникновения микрозаусенцев:

а — при выдавливании материала из зоны резания; *б* — при наволакивании и пластической деформации материала в направлении обработки

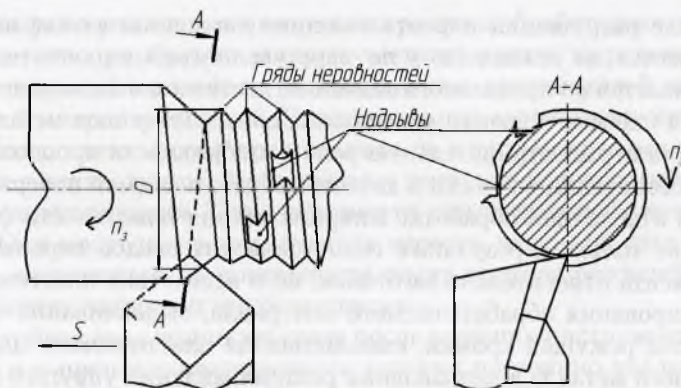


Рис. 7.11. Схема возникновения надрывов гряд неровностей в направлении резания

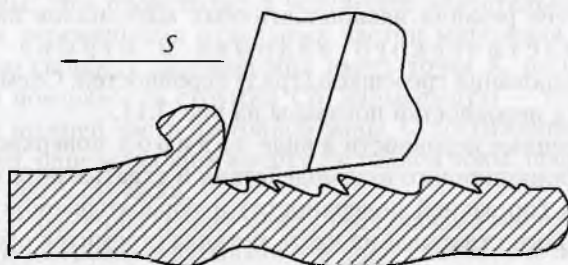


Рис. 7.12. Схема возникновения на обработанной поверхности материала задиры

Поднутренные неровности возникают также при отделочной обработке лезвийным инструментом заготовок из вязкопластичных материалов, когда снимается слой по толщине меньший, чем радиус r скругления режущих кромок инструмента, и происходит фактически неуправляемый по геометрии резания процесс. При этом режущая кромка периодически скользит по поверхности, появление разделительной трещины и снятие материала наблюдаются лишь в периоды, когда высота перемещающейся перед инструментом волны металла приближается по значению к радиусу скругления режущей кромки.

Наиболее нестабильным и неуправляемым по геометрии резания является процесс *абразивной обработки*, при котором происходит массовое деформирование и микрорезание (царапание) обрабатываемого

материала большим числом зерен из абразива, алмаза и СТМ. К нестабильности процесса абразивной обработки приводят отрицательные передние углы, радиусы округления и площади изнашивания зерен, трение о металл зерен, связки и частиц металла, неупорядоченное и разновысотное положение зерен относительно обрабатываемой поверхности, химическое и адгезионное взаимодействие материалов заготовки и зерен.

Все зерна абразивного круга можно условно поделить на режущие, составляющие 10 %, давящие — 12 % и неработающие — 78 % (рис. 7.13). Схема шлифующего зерна и микрорезания показана на рис. 7.14. У зерна можно различить переднюю поверхность ЕСВ, заднюю поверхность ВС₁Е₁ и отрицательный передний угол γ_3 . Микровыступы и субмикровыступы зерна имеют значение самостоятельных царапающих элементов, снимающих стружки толщиной в 10 и 100 раз меньше по сравнению с основным царапающим элементом. Из-за округления зерна радиусом r_3 в зоне снятия тонких стружек создаются тупые углы резания δ_p , зависящие от толщины снимаемого слоя $t_{ш}$. С повышением пластичности и вязкости обрабатываемых материалов возрастает доля пластического оттеснения металла по краям царапины и уменьшается доля удаленного металла, что характеризуется коэффициентом стружкообразования:

$$K_c = \frac{V_y}{V_0},$$

где V_y — объем удаленного металла; V_0 — теоретический объем царапины. Например, для труднообрабатываемых материалов $K_c = 0,2...0,4$.

Замечено химическое взаимодействие с алмазным абразивным инструментом титановых сплавов, циркония и ниобия. При микро-

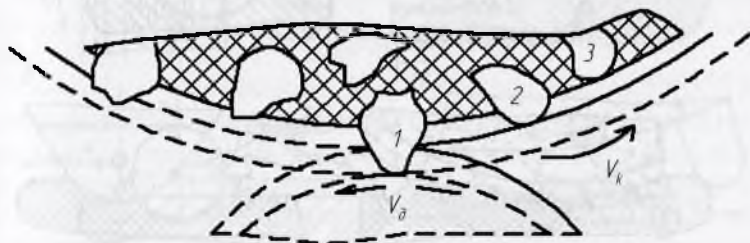


Рис. 7.13. Зерна шлифовального круга:
1 — режущие; 2 — давящие; 3 — неработающие

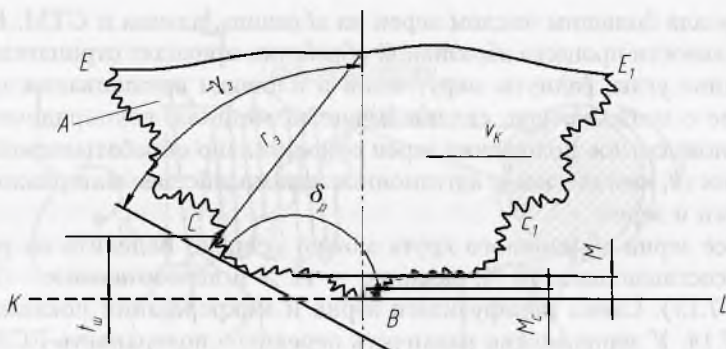


Рис. 7.14. Схема режущего (шлифующего) зерна:
 А — основной царапающий элемент; М — микровыступ;
 М_с — субмикровыступ; KL — линия среза

резании железоуглеродистые сплавы, никель и кобальт выступают как своеобразные катализаторы перехода алмаза в графит. В процессе абразивной обработки на зернах образуются сравнительно толстые наросты металла.

На рис. 7.15, а показан процесс образования поверхностей с остатками нароста при шлифовании. На краях рисок от зерен наблюдаются микрозаусенцы в виде навалов и вспучивания металла. Навалы, вспучивания и надрывы приростных гряд неровностей наблюдаются при обработке сталей (ШХ15, Р12) и алюминиевых сплавов зернами электрокорунда, алмаза и СТМ. Электронно-микроскопические и опти-

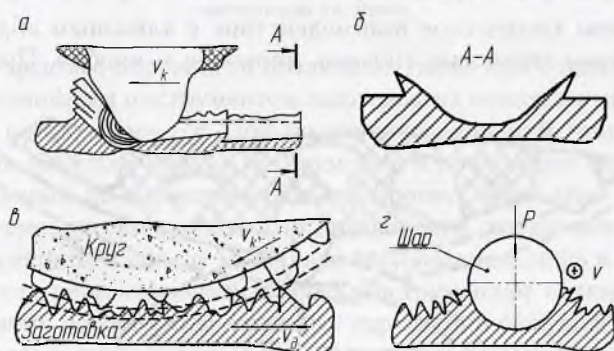


Рис. 7.15. Схемы возникновения неровностей при шлифовании (а-в) и вибронакатывании шаром (з)

ческие исследования подтвердили, что на поверхности рисунок присутствует размазанный металл, в направлении резания происходит наволакивание верхних слоев металла, образуются надрывы приросточных наплывов и местных нагромождений металла. Подобные явления возникают при доводке поверхностей шаржированными алмазным порошком притирами и свободным абразивом.

На рис. 7.15, б–г показаны схемы возникновения неровностей в виде микрозаусенцев при шлифовании и вибронакатывании поверхностей шаром в режиме создания ЧРМР.

Рисунок 7.16, а, б иллюстрирует возникновение неровностей в виде надрывов гряд — следов обработки при шлифовании и алмазном вибровыглаживании в режиме создания ЧРМР (рис. 7.16, в). На рис. 7.16, г показано возникновение микрозаусенца в результате скольжения по поверхности давящего алмазного зерна.

В целом лезвийная обработка резанием позволяет осуществлять как формообразование, так и отделку поверхностей деталей. Но управлять микрогеометрией поверхностей и состоянием подповерхностного слоя материалов при всех видах этой обработки в широком диапазоне невозможно. Поэтому чаще всего ее можно рекомендовать как получистую перед отделочной абразивной обработкой, обработкой ППД и обработкой другими методами. Абразивная обработка дает наилучшие показатели отделки поверхностей закаленных материалов.

Каждый процесс характеризуется *режимом его осуществления*. Под *режимом резания*, например, понимается совокупность значений

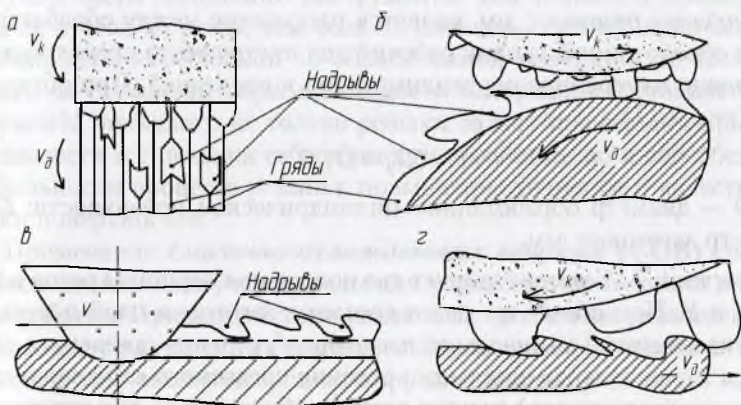


Рис. 7.16. Схемы возникновения неровностей при абразивной обработке (а, б, г) и вибровыглаживании алмазным наконечником (в)

таких параметров, как скорость v главного движения резания, скорость v_S движения подачи и глубины t резания. *Скорость* — это расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении главного движения D , в единицу времени. В случае, если главное движение вращательное, что имеет место при точении, скорость движения резания

$$v = \pi D_3 n_3 \cdot 10^{-3}, \text{ м/мин,}$$

где D_3 — наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм; n_3 — частота вращения заготовки, мин^{-1} .

Если главное движение резания возвратно-поступательное, а скорости рабочего и вспомогательного ходов различны, то скорость резания,

$$v = L n_{\text{дв.х}} (k + 1) \cdot 10^{-3}, \text{ м/мин,}$$

где L — расчетная длина хода инструмента, мм; $n_{\text{дв.х}}$ — число двойных ходов в 1 мин; k — коэффициент, являющийся отношением скоростей рабочего и вспомогательного ходов.

Скоростью движения подачи v_S является путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в единицу времени. Например, для точения скорость

$$v_S = S_o n_3 \cdot 10^{-3}, \text{ м/мин,}$$

где S_o — подача на оборот заготовки, мм/об; n_3 — частота вращения заготовки, мин.

Глубиной резания t , мм, является расстояние между обрабатываемой и обработанной за один рабочий ход инструмента поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней. При обтачивании (рис. 7.17)

$$t = (D_3 - D)/2,$$

где D — диаметр обработанной цилиндрической поверхности; D_3 — диаметр заготовки, мм.

Рисунок 7.17 демонстрирует два положения вершины резца в точках A и B . При обработке резец срезает с заготовки слой площадью f_{ABCD} называемый *номинальной площадью* f_n сечения срезаемого слоя. Форма и размеры номинального сечения срезаемого слоя зависят от элементов (параметров) режима резания ($S_{\text{пр}} = S_o$ и t), геометрических параметров инструмента (углов в плане ϕ и ϕ_1) и формы режущей кромки. Начав резание в точке A , резец за оборот заготовки вновь

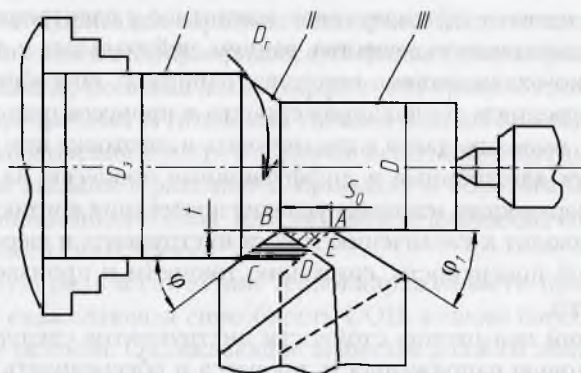


Рис. 7.17. Элементы резания и параметры срезаемого слоя:
 I – обрабатываемая поверхность; II – поверхность резания;
 III – обработанная поверхность

встретится с образующей цилиндрической поверхности в точке *B*. Следовательно, с заготовки будет срезан слой с сечением, площадь которого меньше $f_n = f_{ABCD}$ на значение площади f_{AEB} сечения оставшегося на поверхности гребешка. Действительная площадь сечения срезаемого слоя $f_d = f_{BCDE}$. Оставшиеся на обработанной поверхности гребешки с сечением *ABE* являются одной из составных частей шероховатости поверхности. Отсюда можно заключить, что шероховатость поверхности зависит от параметров режима обработки и геометрии режущей части лезвийного инструмента. Чем больше, например, подача S_0 и угол ϕ_1 реза, тем больше площадь сечения, высота и шаг расположения гребешков на обработанной поверхности. Поэтому, борясь за улучшение обрабатываемости материалов и стойкости инструмента, технологи не только решают задачу повышения производительности и снижения себестоимости обработки, но и способствуют стабильности процесса резания, повышению точности и качества отделки поверхностей.

Применение *смазочно-охлаждающих веществ* (СОЖ) связано с обеспечением наилучшей среды для успешного протекания процесса обработки. При воздействии различных сред в зоне резания может происходить ряд сложных взаимосвязанных физико-химических процессов, в том числе адсорбция, коррозия под напряжением, газонасыщение, возникновение микротрещин, охлаждение системы, электрические и другие явления. Среда может оказывать значительное положительное влияние на процесс резания материалов. В числе таких

сред можно назвать ультразвуковое, магнитное и электрическое поля, смазочно-охлаждающие вещества, вакуум, нейтральные и другие среды. Смазочно-охлаждающие вещества, например, способствуют снижению сил трения и теплонапряженности в процессе резания.

Теплота, выделяющаяся в инструменте и заготовке при обработке, активизирует адгезионные и диффузионные процессы на контактирующих поверхностях, изменяет условие протекания контактных явлений, что приводит к увеличению износа инструмента и шероховатости обработанной поверхности, снижению точности и производительности обработки.

С позиций повышения стойкости инструментов следует снижать общую тепловую напряженность процесса и обеспечивать интенсивный отвод теплоты из зоны резания. В связи с тем что основным источником теплоты является механическая энергия, в первую очередь необходимо уменьшать работу пластической деформации и трения. Поэтому смазочное действие СОВ является весьма полезным при взаимодействии нагретых поверхностей обрабатываемого материала и лезвия инструмента.

Возникновение больших давлений и температур в зоне резания затрудняет попадание СОВ на контактирующие поверхности обрабатываемого материала и инструмента. Поэтому вещества должны обладать хорошим проникающим действием, успешно преодолевать сопротивление и попадать во впадины (каналы) микрорельефа контактирующих поверхностей, пустоты и микротрещины материала.

Природа воздействия СОВ при резании существенно отличается от механизма смазывания пар при эксплуатации машин и приборов. При резании в условиях высоких давлений и температур на контактирующих поверхностях создаются лишь тончайшие слои смазочного материала, соизмеримые с величиной молекул, а нагретые поверхности могут оказывать каталитическое действие и снижать температуру разложения веществ. Так, при контактных температурах 875 К происходит активное термическое разложение (пиролиз) углеводородов СОВ и их эффективность значительно снижается. Кислород воздуха ускоряет окислительные процессы углеводородов СОВ, чем улучшает их смазочное действие. В целом смазочные вещества подбирают так, чтобы пленка имела низкое сопротивление сдвигу, высокую температуру плавления и обладала повышенным сцеплением с трущимися поверхностями.

Для активизации смазочного действия в СОВ добавляют присадки, содержащие фосфор, серу, хлор и йод. Под влиянием температур

и давлений эти присадки образуют с материалами заготовки и инструмента соединения в виде фосфидов, сульфидов (дисульфидов), хлоридов и диодидов, понижающих коэффициент трения. Например, при резании жаропрочных и титановых сплавов йод, добавленный в СОЖ, при соприкосновении с нагретой неокисленной контактирующей поверхностью вызывает реакцию и приводит к образованию тонкого противотрибционного слоя пластинчатого диодида, значительно уменьшающего силы трения.

Основную роль в снижении теплонапряженности процесса резания играет охлаждающая способность СОВ, а также способы их подвода в зону резания. Охлаждающие вещества должны обладать высокими теплопроводностью и объемной теплоемкостью, значительной скрытой теплотой парообразования и пониженной вязкостью. Действие охлаждающей среды при резании сопровождается конвективным теплообменом, способствующим снижению температурных деформаций и повышению стойкости инструмента, а также испарением и излучением.

Помимо смазочно-охлаждающего действия активные молекулы СОВ проникают в микротрещины подповерхностного слоя материала, адсорбируются на их поверхностях и в результате оказывают расклинивающее действие (эффект Ребиндера), способствуя разрушению удаляемого слоя. Такой процесс связан с кинетикой зарождения и развития многообразных дефектов структуры, дислокационными конфигурациями, микронеоднородностью пластического течения и другими процессами. Это подтверждается, например, характерной особенностью разрушения тугоплавких сплавов при воздействии адсорбционно-активных сред не по телу зерен, а в основном по их границам.

Эффект адсорбционного снижения сопротивления деформированию и разрушению может проявляться при резании любых твердых тел. При этом диспергирующее влияние одной из составляющих СОВ — смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) наблюдается в основном в случае снятия тонких стружек ($a \leq 0,2$ мм) при небольших скоростях резания.

В условиях резания хрупких материалов и при абразивной обработке важной является вымывающая функция СОЖ, т.е. удаление мелких частиц дробленой стружки и продуктов изнашивания из зоны резания. В этих целях СОЖ должна обладать высокой поверхностной активностью, хорошей способностью смачивать твердые частицы и образовывать вокруг них поверхностные пленки.

Существующие СОВ могут быть жидкими (СОЖ), газообразными и твердыми.

СОЖ, в свою очередь, подразделяются на синтетические (С), эмульсии (Э) и масляные (М).

Синтетические СОЖ являются водными растворами мыл, растворимых масел и минеральных электролитов. Ниже приведен пример состава жидкости АВК-2/ал, относящейся к этой группе, мас. %: триэтаноламин — 0,14; нитрит натрия — 0,3; мылонафт — 0,6; смачиватель ОП-7 (ОП-Ю) — 0,2; кальцинированная сода — 0,1; борная кислота — 0,3; остальное — вода. Чаще всего используются растворы на базе уже готовых составов типа ТУН, Аквол-1, Аквол-5, Аквол-10, Аквол-10М, Аквол-14, Аквол-15, Карбомол С-1, серии МХО и ФМИ-3.

Эмульсии — это двухфазные дисперсные системы, состоящие из жидкостей, нерастворимых или мало растворимых друг в друге. Они готовятся на базе воды и эмульсолов, в качестве которых используются РЗ-СОЖ8, Аквол-2, Аквол-3, Аквол-6, НГЛ-205, СДМУ-2, Укринол-1, Укринол-М, ЭМУС, ВНИИП-117Т, Укринол-3П, ИХП-45Э, ЭГТ и др.

Масляные СОЖ изготавливаются на базе промышленных масел (И-12 А, И-20 А, И-40 А и др.) с добавлением в них фосфора, серы, хлора, олеиновой кислоты, твердых смазочных веществ и других компонентов. Существуют готовые составы этих СОЖ, в том числе ОСМ-3, МР-1у, МР-2у, МР-3, МР-4, МР-5у, МР-6, МР-8, МР-10, МР-99, ЛЗ-СОЖ ЛТ, ЛЗ-СОЖ 1СП, ЛЗ-СОЖ ПИО, Укринол-14, ЛЗ-СОЖ 2СО и др.

В качестве газообразных СОВ используются воздух, азот, оксид углерода, а также воздушно-жидкостные туманы поверхностно-активных веществ и товарных эмульсий.

Твердые СОВ в виде порошков мыл и парафина, петролатума, битума, коллоидного графита, дисульфида молибдена, соды и хлористого кальция применяются чаще всего в качестве добавок к СОЖ.

Наибольшее распространение в обработке материалов резанием нашли смазочно-охлаждающие жидкости. Для обеспечения высокого эффекта применяемые СОЖ должны обладать хорошими функциональными, эксплуатационными и санитарными свойствами. К функциональным свойствам относятся смазочная, охлаждающая, вымывающая (смыывающая) возможности, а также способность жидкости проникать в зону резания. К эксплуатационным (технологическим) свойствам СОЖ причисляются стабильность состояния при хранении; отсутствие корродирующего действия на материалы заготовки,

инструмента, приспособления, станка; отсутствие отложений (осадка) и вспениваемости; устойчивость к заражению грибами и бактериями; пожарная безопасность. Среди санитарных свойств можно назвать отсутствие вредного воздействия на организм человека и неприятных запахов, а также минимальное загрязнение сточных вод и простоту обезвреживания СОЖ.

Применение СОЖ при обработке черных и цветных металлов позволяет повысить стойкость инструмента и улучшить условия резания в целом в два раза.

Наибольшие сложности связаны с резанием труднообрабатываемых материалов. Соответствующие рекомендации по применению СОЖ в виде растворов (синтетические) эмульсий и масел (соответственно с Э и М) представлены в табл. 7.3.

При обработке ППД также желательно применение СОЖ. Их назначение в этом случае заключается прежде всего в смазывании контактирующих поверхностей с целью уменьшить трение, исключить схватывание материалов заготовки и инструмента, повысить износостойкость дорнов, алмазных, твердосплавных и других наконечников, шаров и роликов, улучшения качества отделки поверхностей.

При обработке ППД чаще всего используются следующие СОЖ: при накатывании шарами и роликами — индустриальные масла И-12А, И-20А, И-30А и др.; при алмазном выглаживании — МР-1, МР-4; при дорновании — МР-2у, МР-3 и другие смазочные масла с присадками. Подаются они в зону обработки поливом, кисточкой или окунанием инструментов (например, дорнов) в СОЖ перед применением.

Для обработки неметаллических материалов, например при абразивном шлифовании стекла, керамики и других хрупких материалов, рекомендуется использовать СОЖ в виде раствора в воде, мас. %: триэтаноламина — 0,2...0,5; мылонафта — 0,2; олеиновой кислоты — 0,2; смачивателя ОП-7 (ОП-10) — 0,2; тринатрийфосфата — 0,2 или просто воды. При алмазном шлифовании тех же материалов применяют 5%-ю эмульсию из эмульсола ЭМУС, при шлифовании пластмасс — 3...10%-ю эмульсию из эмульсола НГЛ-205 либо ЭГТ или воду.

В табл. 7.3 представлены некоторые СОЖ, используемые при обработке шлифованием труднообрабатываемых материалов.

СОВ могут подаваться в зону резания следующими способами: свободно падающей струей или кисточкой; напорной струей; струей воздуха или воздушно-жидкостного тумана (аэрозоли), через каналы в теле лезвийного или через поры абразивного инструмента.

Таблица 7.3

Применение СОЖ при резании труднообрабатываемых материалов и закаленных сталей

Область использования	Группа	Вид СОЖ
Шлифование (плоское, круглое, внутреннее, бесцентровое) коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных сталей и сплавов	Синтетические (полусинтетические) СОЖ	Растворы Аквол-1 — 3...5 %, Аквол-5 — 2...3 и 3...5 %, Аквол-14 — 1...3 и 10...15 %, Аквол-15 — 3...5 %, Карбамол С-1 — 1...3 %
	Эмульсии	ИГЛ-205 — 10...15 %, СДМУ-2 — 5...10 %, РЗ-СОЖ8 — 7...10 %, Укринол-1 — 5...10 %, Укринол-ЗП — 10 %
	Масляные СОЖ	МР-3, растворы МР-5у в промышленных маслах — 5...10 и 10...20 %, МР-99 в промышленных маслах — 5...10, 10...20 и 20...50 %
Шлифование (плоское, круглое, внутреннее, бесцентровое) титановых сплавов	Эмульсии	РЗ-СОЖ8 — 3...7 %, Аквол-2 — 3...10 и 10...20 %, Аквол-6 — 10...20 %
Алмазное шлифование труднообрабатываемых сталей	Синтетические (полусинтетические) СОЖ	Растворы Аквол-5 — 2...3 и 3...5 %; Аквол-15 — 3...5 %
Обдирочное шлифование жаропрочных сталей	Масляные СОЖ	МР-10, Укринол-14, ЛЗ-СОЖ ПИО
Скоростное шлифование легированных сталей	Синтетические (полусинтетические) СОЖ	Растворы Аквол-5 — 2...3 и 3...5 %, Аквол-15 — 3...5 %, Карбамол С-1 — 1...3 %, Аквол-6 — 10...20 %
Резьбо- и зубошлифование	Масляные СОЖ	Растворы МР-5у в промышленных маслах — 50...100 %, МР-10, МР-99 в промышленных маслах — 50...100 %, ЛЗ-СОЖ ПИО, ЛЗ-СОЖ 2СО

Приготовление синтетических СОЖ сводится обычно к растворению в подогретой до 310...325 К воде солей поверхностно-активных веществ (ПАВ), иных компонентов или составов типа Аквол-10М и т.д. Масляные СОЖ поставляют обычно в готовом виде, а их растворы готовятся путем смешивания составных частей в емкостях.

Приготовление эмульсий осуществляется в условиях предприятия из стандартных эмульсолов. Поступающие эмульсоловы обычно содержат некоторое количество свободных кислот, что обеспечивает более длительный срок их хранения. Для нейтрализации кислот при приготовлении эмульсий добавляется до 0,2 % кальцинированной соды, тринатрийфосфата или поташа. Для предохранения обрабатываемого материала от коррозии добавляются ингибиторы коррозии: 0,3 % азотистокислого натрия или 1 % бензоата натрия, который менее токсичен.

Наиболее распространенное устройство для приготовления эмульсий представляет собой комплект баков-смесителей и раздаточных баков (рис. 7.18). Приготовление эмульсий производится специально обученными рабочими в следующей последовательности. Эмульсол, привезенный в транспортной тележке, перемешивается сжатым воздухом в течение 2...3 мин, после чего насосом 1 перекачивается в бак 2, где опять непрерывно перемешивается сжатым воздухом. Затем он перекачивается в бак-дозатор 3, в котором смешивается до однородной массы с подогретой до температуры 310...325 К водой в соотно-

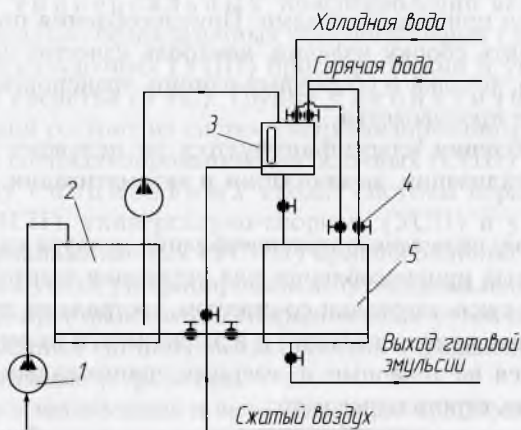


Рис. 7.18. Схема установки для приготовления эмульсии

пении 2:1. Готовая масса при открытом вентиле 4 сливается в бак-смеситель 5 и разбавляется водой той же температуры до требуемой концентрации при активном перемешивании. После этого засыпается кальцинированная сода (тринатрийфосфат, поташ) и азотистокислый натрий (бензоат натрия), и эмульсия перемешивается вновь (5...10 мин). Чтобы исключить вспениваемость, в СОЖ целесообразно добавить антипенную присадку типа ПМС-200А из расчета 0,005 % от количества жидкости. Готовая эмульсия поступает в расходные баки.

С точки зрения промышленной санитарии в целях предупреждения дерматитов и других профессиональных заболеваний при работе с жидкостями нельзя допускать содержания в СОЖ кальцинированной соды более 1 %, свободного едкого натра (гидроксида натрия) — 0,025 %, триэтаноламина — 1 % и азотистокислого натрия — 0,3 %.

7.4. Назначение и структура технологической оснастки, размещение заготовок и инструмента в приспособлениях



Технологическая оснастка состоит из двух основных частей: инструмента и приспособлений. В процессе обработки материалов на станках вводятся во взаимодействие заготовка и инструмент. Но осуществить это взаимодействие практически невозможно, если у заготовки и инструмента не будет связей со станком. Эти связи должны обеспечиваться приспособлениями. Приспособления позволяют также осуществлять сборку изделий, контроль качества заготовок, полуфабрикатов, деталей и сборочных единиц, транспортирование грузов в процессе производства.

Приспособления классифицируются по целевому назначению, степени специализации, механизации и автоматизации, другим признакам.

По *целевому назначению* приспособления делятся на пять групп:

□ станочные приспособления для установки заготовок, которые обеспечивают связь заготовки со станком, составляют до 80 % от общего количества приспособлений и в зависимости от вида обработки подразделяются на токарные, фрезерные, шлифовальные, сверлильные, расточные, строгальные и др.;

□ станочные приспособления для установки обрабатываемых инструментов (вспомогательный инструмент), обеспечивающие связь

инструмента со станком. В силу широкого использования нормализованных и стандартных обрабатывающих инструментов они характеризуются большим количеством нормализованных конструкций в виде различных патронов, резцедержателей, оправок и других устройств; к этой группе относятся приспособления для обработки ППД, приспособления группы;

□ сборочные приспособления, используемые для установки базовых деталей, обеспечения правильного положения одной детали относительно другой, предварительного деформирования собираемых упругих элементов (резиновых деталей, пружин, рессор), напрессовки, запрессовки, вальцовки, клепки, пайки, сварки, гибки по месту соединения и других сборочных операций;

□ контрольные приспособления, предназначенные для проверки заготовок, промежуточного и окончательного контроля изготавливаемых деталей, сборочных операций и единиц, машин; к этой группе относятся также испытательные и контрольно-измерительные стенды;

□ транспортно-кантовальные приспособления, используемые для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок и собираемых изделий обычно в массовом и крупносерийном производстве.

По *степени специализации* приспособления подразделяются на универсальные, специализированные и специальные. Если универсальные приспособления используются для изготовления единичных и мелких партий, то специальные применяются в основном в массовом и крупносерийном производстве.

В группу универсальных приспособлений включаются системы универсально-безналадочных приспособлений (УБП), а также универсально-наладочных (УНП) приспособлений и универсальные устройства и средства (УУС). Группа специализированных приспособлений состоит из систем специализированных безналадочных (СБП) и специализированных наладочных (СНП) приспособлений. В группу специальных входят системы неразборных специальных (НСП), универсально-сборных (УСП) и универсально-сборных перенастраиваемых (УСПП) приспособлений. В последних широко используются унифицированные функциональные фрагменты (УФФ) в виде пространственно упорядоченных устойчивых наборов деталей (сборочных единиц), выполняющих определенные функции, например зажимные устройства.

По *степени механизации и автоматизации* приспособления могут быть ручные, механизированные, автоматизированные (полуавтоматические) и автоматические.

Несмотря на большие различия в конструктивном оформлении, приспособления имеют практически одинаковую структуру и состоят:

- из установочных элементов (опор);
- зажимных элементов, устройств и их приводов;
- элементов для определения положения и направления инструментов;
- корпусов;
- вспомогательных устройств и элементов.

Установочные элементы, или *опоры*, служат для ориентации — базирования заготовок, деталей, сборочных единиц в пространстве при обработке, сборке и контроле. Опоры могут быть неподвижными, подвижными, плавающими и регулируемыми.

Неподвижные (постоянные) опоры жестко соединяются с корпусами приспособлений. *Подвижные опоры* могут перемещаться по базовым поверхностям (базам) в процессе обработки заготовок, сниматься, если требуется обработать сами базовые поверхности или установить заготовки в приспособлениях по упрощенной кинематике их перемещения (задвигания). Примерами таких установочных элементов могут быть опоры подвижных люнетов токарных станков, убираемые опоры токарных и фрезерных станков, утопающие пальцы автоматических приспособлений. *Плавающие опоры* используются для обеспечения контактирования нескольких баз заготовок одновременно с несколькими установочными элементами. Примерами таких опор служат плавающие конические пальцы, плавающие центры и другие подобные элементы. *Регулируемые опоры* могут использоваться в качестве установочных элементов. Регулируя их положение, можно компенсировать износ по высоте или произвести переналадку приспособлений. Но чаще всего они используются в роли дополнительных опор для повышения жесткости нежестких заготовок и подразделяются на *подводимые* и *самоустанавливающиеся*.

Разновидности наиболее распространенных установочных элементов, центровых гнезд (фасок) и дополнительных опор представлены на рис. 7.19...7.22. Установочные элементы для установки заготовок по плоским базам (рис. 7.19) имеют следующие размеры, мм: точечные опоры — $D = 6...40$, $d = 8...25$, $H = 10...76$, $h = 6...10$; опорные пластины — $L = 60...220$, $B = 16...35$, $H = 10...25$. Установочные элементы для установки заготовок по цилиндрическим поверхностям (рис. 7.20, *а-ж*) выполняются с параметрами, мм: призмы — $L = 25...150$, $B = 32...190$, $H = 10...70$, $\alpha = 90^\circ$ (реже 60 и 120°), значения диаметров заготовок

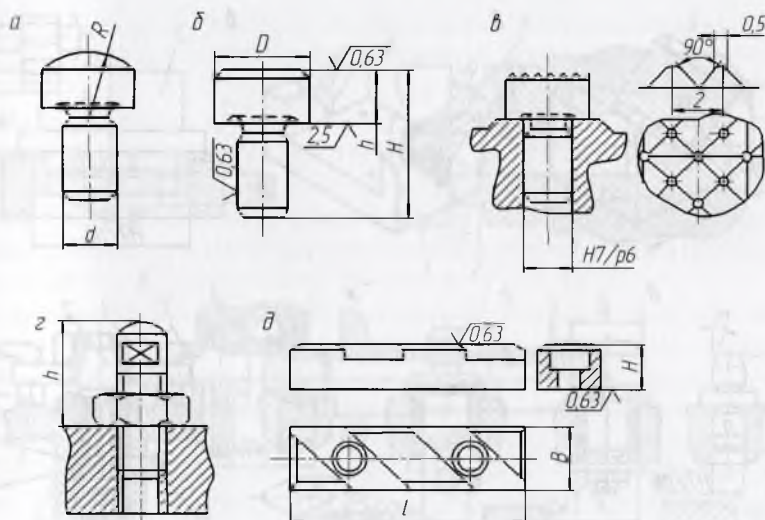


Рис. 7.19. Установочные элементы приспособлений:

а, б, в — точечные опоры соответственно со сферической, плоской и рифленной поверхностью; *г* — регулируемая по высоте *h* опора; *д* — опорная пластина

(деталей) — $D_3 = 5...150$; пальцы — $L = 9...85$, $l = 3...36$, $D = 1,6...50,0$, $d = 2,5...32,0$, $C = 0,5...6,0$, $\alpha = 15^\circ$, для срезанных пальцев В–D — $0,5...5,0$. На рис. 7.20, *в* втулки 1 служат для базирования и закрепления с силой W заготовок 2, обрабатываемых фрезой 3, по цилиндрическим поясам и перпендикулярной им плоскости.

На рис. 7.20, *з* плавающий конический палец 2 располагается во втулке 4 и в исходном положении находится под действием пружины 5 в крайнем верхнем положении в пределах паза до касания нижней его кромки с упором 6. При установке заготовки палец, центрируя заготовку 1 по коническому отверстию, под действием ее веса смещается вниз и позволяет торцевой поверхности контактировать с установочными элементами (опорными пластинами) 3. В этом положении заготовка закрепляется прихватами 7.

Центры (рис. 7.21, *а–г*) бывают неподвижными и подвижными (плавающими и вращающимися), цельными и составными (со вставками из твердых сплавов ВК6, Т15К6 и др.). Кроме того, различают центры нормальной и повышенной точности. У первых параметр Ra шероховатости рабочих поверхностей не должен быть больше 0,63 мкм, а биение рабочих конусов с углом 60° относительно конусов хвостов-

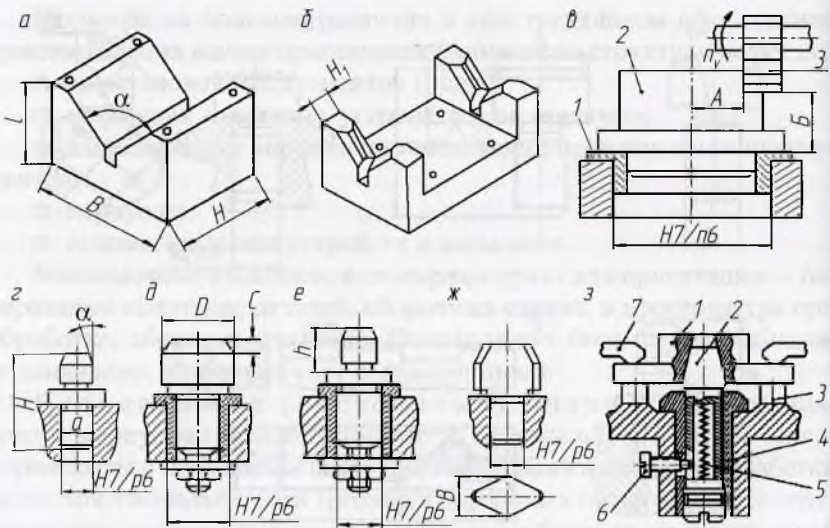


Рис. 7.20. Элементы для базирования заготовок по наружным (а–в: 1 — установочная втулка; 2 — заготовка; 3 — инструмент в виде фрезы); внутренним цилиндрическим (г–ж) и коническим (з) поверхностям: а, б — призмы широкая и узкая двоянная; г–е — пальцы цилиндрические постоянные и сменные, с буртом и без бурта; ж — палец цилиндрический срезанный (ромбический) без бурта; з — палец конический плавающий с опорными пластинами на его корпусе

виков — 0,01 мм. У конусов повышенной точности эти параметры соответственно уменьшаются до 0,32 мкм и 0,005 мм.

Плавающий центр (рис. 7.21, б) устанавливается в шпиндель токарного станка и предназначается для повышения точности базирования заготовки в осевом направлении. В исходном положении центр 2, размещенный в корпусе 1, выдвинут под действием пружины 5 вперед до упора паза в стопор 4. При поджиге центром задней бабки заготовки 3 центр, центрируя заготовку, утопает, и она своим торцом касается торца корпуса 1, установленного в шпинделе станка. Вращающиеся центры (рис. 7.21, в) используются для уменьшения потерь на трение и устанавливаются в пиноль задней бабки токарных станков. Эти центры обеспечивают менее точное базирование заготовок в радиальном направлении из-за наличия в них радиальных зазоров. Специальные центры делятся на срезанные (рис. 7.21, г), позволяющие обрабатывать торцы заготовки; грибко-

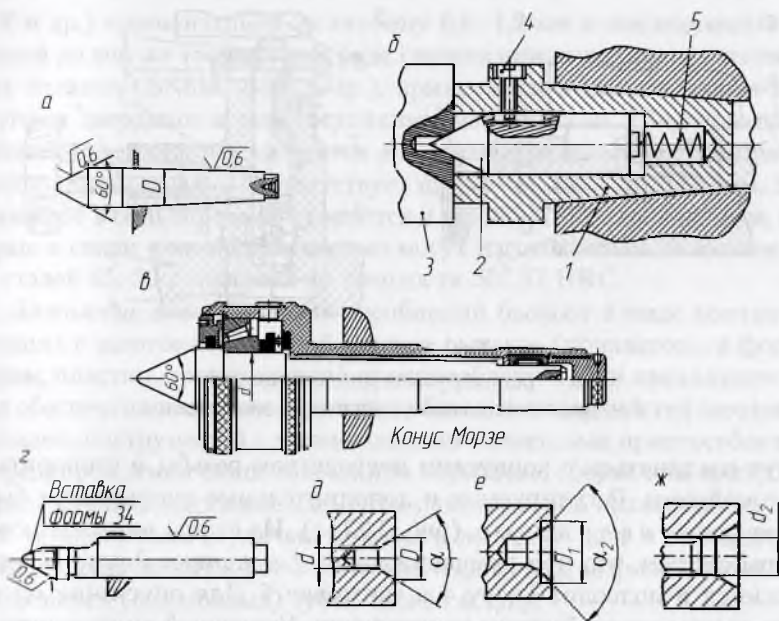


Рис. 7.21. Центры:

а — упорный неподвижный обычной конструкции (исполнение 1); *б* — скользящий; *в* — вращающийся для работ средней тяжести; *г* — упорный срезанный (полуцентр), армированный твердым сплавом (исполнение 2); *д*, *е*, *ж* — центровые гнезда соответственно обыкновенное, с защитной фаской (выточкой), с резьбой и защитной фаской

ные, предназначенные для установки заготовок по фаскам отверстий большого диаметра; поводковые, используемые для передачи крутящего момента от шпинделя станка к заготовке, и др.

Центровые гнезда (рис. 7.21, *д–ж*) чаще всего являются искусственными базами, т.е. создаются только для обработки заготовки. Они имеют следующие параметры: $\alpha = 60^\circ$, $D = 2,5d$, $\alpha_2 = 120^\circ$, $D_1 > D$. Фаска под углом α_2 или выточка диаметром D служит для защиты основной поверхности гнезда от забоин и других повреждений. Выточка диаметром d_2 предназначена для предотвращения смятия первой нитки резьбы, которая является конструктивным элементом детали.

Если точечные опоры и постоянные пальцы запрессовываются в корпуса приспособлений, то регулируемые установочные элементы

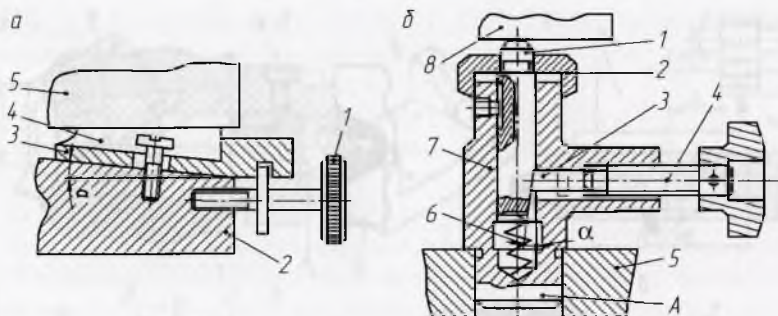


Рис. 7.22. Опоры:

- a* — регулируемая винтоклиновая;
б — дополнительная самоустанавливающаяся

могут соединяться с корпусами посредством резьбы и стопориться контргайками. Регулируемые и дополнительные опоры могут быть также винтоклиновые (рис. 7.22, *a*). Из схемы винтоклиновой опоры следует, что при вращении винта 1 в корпусе 2 клин 3 перемещается и подводит опору 4 к заготовке 5. Для опускания опоры винт вращается в обратном направлении. Указанный винтоклиновой механизм — самотормозящаяся система, так как угол клина 3 принимается до $\alpha < 8...9^\circ$. Самотормозящимся является и винтовое соединение. Поэтому указанная конструкция не нуждается в стопорном устройстве. Такие опоры используются для обработки тяжелых заготовок.

Конструкция самоустанавливающейся дополнительной опоры показана на рис. 7.22, *б*. Опора 1 своим хвостовиком подвижно установлена в отверстии корпуса 7 и пружиной 6 удерживается в верхнем положении. Под действием веса заготовки 8 опора утопает, и заготовка своей базовой поверхностью контактирует с установочными элементами. В таком положении опора по скосу на хвостовике под углом α фиксируется пальцем 3, поджимаемым вращением рукоятки винта 4. Корпус 7 устройства своим хвостовиком А устанавливается в корпусе 5 приспособления. Угол скоса обычно принимается $\alpha < 9^\circ$. Колпачок 2 предохраняет подвижное соединение от загрязнения.

Требования, предъявляемые к установочным элементам, связаны с их функциональным назначением. Установочные элементы должны длительное время сохранять свои размеры и относительное положение, быть износостойкими. Для этого они изготавливаются из углеродистых и легированных сталей (У7, У8, У10А, 65Г и др.) с закалкой до твердости 58...63 HRC или из конструкционных сталей (15ХН, 20,

20X и др.) с цементацией на глубину 0,8...1,2 мм и последующей закалкой до той же твердости. В ряде случаев они выполняются из твердых сплавов (ВК6М, ВК8 и др.), армируются этими сплавами или другими твердыми и износостойкими материалами. Шероховатость рабочих поверхностей элементов для установки заготовок по обработанным базам обычно соответствует параметру $Ra = 2,5...0,2$ мкм. Все сказанное в большой мере относится и к дополнительным опорам, которые в связи с их подвижностью могут изготавливаться, в частности, из сталей 45, 50 с закалкой до твердости 50...57 HRC.

Зажимные элементы приспособлений бывают в виде контактирующих с заготовками частей винтов, рычагов (прихватов), в форме призм, пластин, других деталей приспособлений. Они предназначены для обеспечения надежного контакта базовых поверхностей заготовок (деталей, инструмента) с установочными элементами приспособлений и предупреждения смещения их при обработке, сборке или контроле. В ряде случаев зажимные элементы одновременно выполняют функции установочных (кулачки, призмы и лепестки цанг в самоцентрирующих кулачковых, призматических и цанговых патронах, пластины сходящихся (подвижных) губок тисков и т.п.).

Зажимные устройства обеспечивают необходимые силы зажима на зажимных элементах. Наиболее распространены элементарные зажимные устройства: винтовые, клиновые, рычажные, эксцентриковые и цанговые. Чаще всего в приспособлениях используются комбинированные зажимные устройства, состоящие из двух или нескольких элементарных устройств.

К зажимным элементам и устройствам предъявляются определенные требования, в частности простота конструкции, надежность в работе и удобство в обслуживании; равномерность распределения сил зажима заготовок (деталей) в многоместных приспособлениях; износостойкость и легкосменность; достаточный ход (отвод элементов), обеспечивающий удобство в установке и снятии заготовок (деталей); отсутствие деформации закрепляемых заготовок (деталей) и порчи их поверхностей; исключение самопроизвольного отключения зажима; обеспечение закрепления и открепления заготовок с минимальными затратами сил и времени рабочего. Так, необходимая сила воздействия рабочего на рукоятку (штурвал, маховик) ручного привода не должна превышать 150 Н.

Приведение зажимных устройств в действие обеспечивается *приводами*. Наиболее широкое распространение получили пневматические приводы (поршневые, диафрагменные, лопастные, сифонные),

обеспечивающие высокое быстродействие, стабильность, простоту регулирования и контроля возбуждаемых ими сил закрепления заготовок (деталей). Существуют также вакуумные пневмоприводы. Однако их широкое использование сдерживается необходимостью применения вакуумных одно- и двухступенчатых поршневых и струйных насосов (эжекторов), работающих с использованием сжатого воздуха.

Для обеспечения больших по значению сил зажима с помощью малогабаритных устройств прибегают к гидравлическим, пневмо- и механо-гидравлическим приводам. Большие силы при малых габаритах гидроприводов создаются за счет высокого давления жидкости в гидросистемах (до 10 МПа и более).

Гидравлические приводы приспособлений можно применять лишь на гидрофицированных станках. Гидроприводы как минимум в 20 раз менее быстродейственны по сравнению с пневмоприводами, так как скорость истечения (передачи давления) сжатого воздуха ограничивается 180 м/с, а скорость передачи давления жидкости в среднем составляет 2,5...5,0 м/с и не превышает 9 м/с.

В качестве примера на рис. 7.23 представлен УФФ в виде рычажного зажимного устройства системы УСПП с гидроприводом. Зажимным элементом является часть *A* прихвата (рычага) *З*, обеспечивающая непосредственный зажим с силой *W* заготовки *8*. Вращением винта *1* и упора *4* можно изменять положение по высоте прихвата *З*. С помощью сферической шайбы *2* обеспечивается самоустанавливаемость зажимного элемента по поверхности заготовки *8*. При подаче масла через штуцер отверстия *Б* в корпусе *5* под поршень *6* посредством упора *4* сила гидропривода действует на правый конец прихвата *З*, увеличивается обратно пропорционально плечам рычага и изменяет направление на противоположное. Устройство устанавливается на корпус приспособления и головкой винта-втулки *7* входит в его Т-образный паз, после чего закрепляется в нужном положении гайкой *9*. Винт *1* стопорится контргайкой *10*.

Кроме перечисленных выше приводов используются магнитные и электромагнитные, электромеханические, центробежно-инерционные и приводы от движущихся элементов станков и сил, возникающих при обработке, а также ручные приводы зажимных устройств.

В качестве элементов для направления и обеспечения кинематики перемещения инструмента применяются кондукторные втулки для направления сверл, зенкеров, разверток, дорнов; направляющие втулки для расточных борштанг и копиры. К элементам для задания и кон-

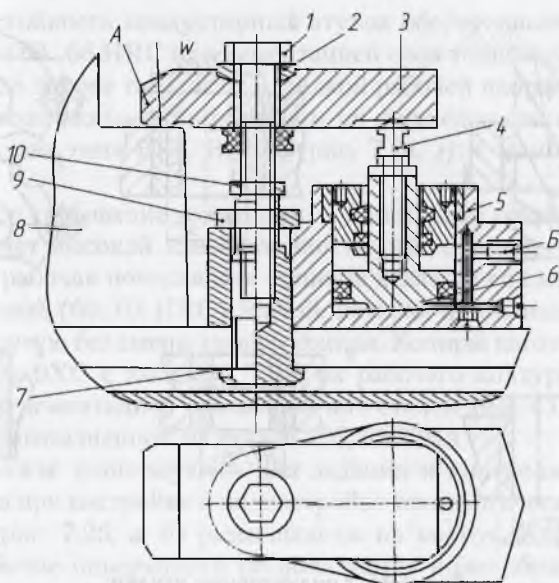


Рис. 7.23. Унифицированный функциональный фрагмент системы универсально-сборных переналаживаемых приспособлений

троля положения инструмента относятся высотные и угловые установки и установки для фасонного инструмента. Кондукторные втулки используются в сверлильных и других приспособлениях для обработки отверстий — кондукторах. Втулки для направления и повышения жесткости борштанг применяются в расточных приспособлениях. Копиры находят применение в приспособлениях для обработки заготовок на токарных, фрезерных и других станках. Установы используются в конструкциях токарных, фрезерных и других приспособлений.

Применение кондукторных втулок устраняет разметку, уменьшает увод (искривление) оси и разбивку обрабатываемого отверстия. При этом точность диаметра отверстий повышается в среднем на 50%. Втулки могут быть гладкими — тип 1 и с буртами — тип 2, постоянными (рис. 7.24, а, г), сменными (I), быстросменными (II) (рис. 7.24, б, а, г) и специальными (рис. 7.24, д). Постоянные втулки впрессовываются в кондукторные плиты приспособлений, сменные и быстросменные — устанавливаются в постоянные втулки с зазором и используются при обработке отверстий несколькими инструментами.

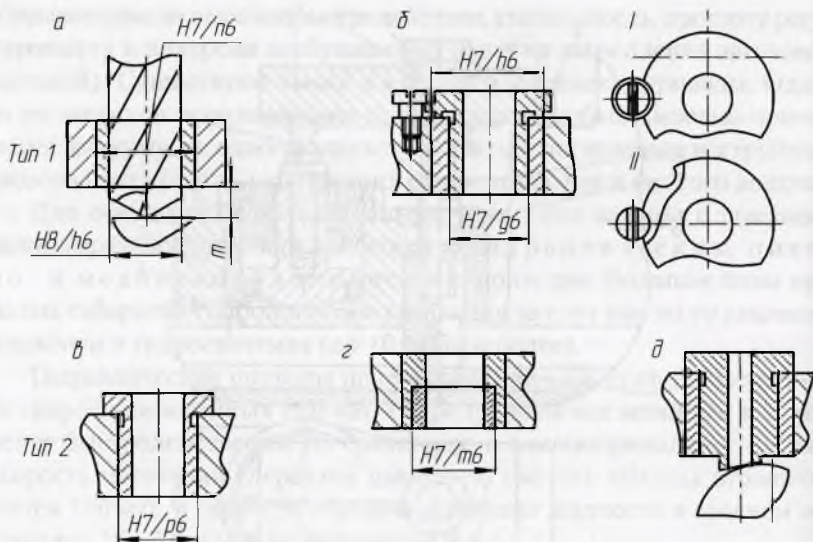


Рис. 7.24. Кондукторные втулки:

a, в — постоянные без бурта и с буртом; *б* — сменные (I) и быстросменные (II); *з* — постоянные, армированные вставками из твердого сплава; *д* — специальная для сверления отверстий на цилиндрических заготовках со смещенной относительно оси цилиндрической шейки осью

Для изготовления втулок при обработке отверстий диаметром до 25 мм используются стали У10А, У12А, 9ХС; при обработке отверстий диаметром более 25 мм — стали 20, 20Х и др. с термической или химико-термической обработкой.

К втулкам предъявляются три основных требования: точность, износостойкость, качество отделки поверхностей. Точность цилиндрических внутренней направляющей и наружной посадочной поверхностей обычно обеспечивается по квалитетам 7...8, смещение осей этих поверхностей (эксцентриситет e) не должно превышать 0,005 мм; перпендикулярность контактирующего с кондукторной плитой торца бурта относительно цилиндрической посадочной поверхности — 0,002...0,005 мм. Допуски на диаметр отверстия для прохода сверл и зенкеров устанавливаются с обеспечением посадки $F8/h6$, а для прохода разверток и дорнов — по посадке $G7/h6$ в системе вала. При высокой точности расположения оси отверстия (0,05 мм и менее) допуск на направляющее отверстие назначается из условия обеспечения посадок $H7/h6$, $H8/h6$.

Износостойкость кондукторных втулок обеспечивается закалкой до твердости 63...66 HRC или цементацией слоя толщиной 0,9...1,3 мм и закалкой до той же твердости; отделкой рабочей направляющей поверхности; возможным армированием их нижней части кольцами из твердого сплава типа ВК6, ВК8М (рис. 7.24, *з*); с помощью других приемов.

Основное требование к копирам — длительное сохранение своей формы за счет высокой износостойкости рабочей поверхности. Для этого часто рабочая поверхность копиров делается со сменной стальной закаленной (60...62 HRC) лентой, которая при изнашивании меняется на другую без смены самого копира. Копиры изготавливаются из сталей У12А, 9ХС с закалкой ТВЧ их рабочего контура, из сталей 20Х, 15ХН с цементацией и закалкой или сталей 40Х, 45ХН со сменной лентой, выполненной из сталей 70Г, 65С2ВА.

Установы используются для задания и контроля положения инструмента при настройке и поднастройке технологической системы. Установы (рис. 7.25, *а*, *б*) размещаются на корпусах приспособлений; их рабочие поверхности располагаются ниже обрабатываемых поверхностей, чтобы не мешать проходу над ними обрабатывающих

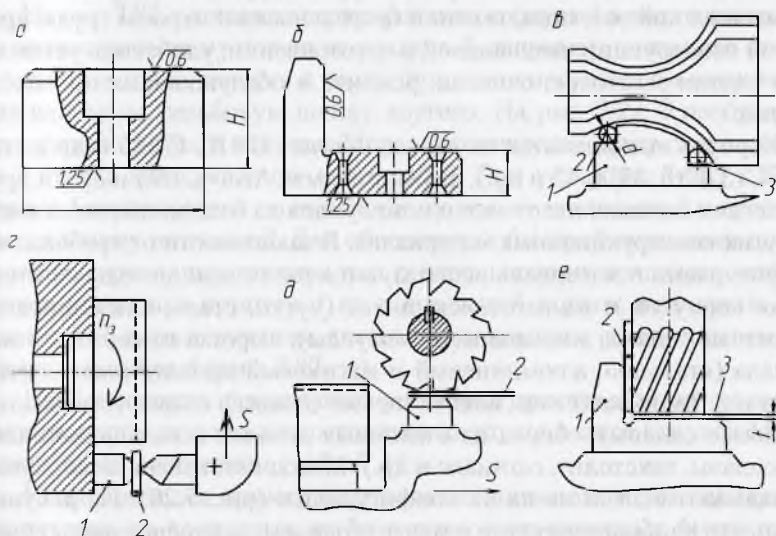


Рис. 7.25. Высотный (*а*) и угловой (*б*) установы и примеры установки фасонной фрезы (*в*), резца (*г*), цилиндрической фрезы для периферийного фрезерования (*д*) и концевой фрезы (*е*) по различным установам с помощью шупов

инструментов и длительное время сохранять свои размеры и качество поверхностей. Установка инструмента осуществляется по установкам с помощью щупов. Установы изготавливаются из сталей У7А, 20, 20Х, закаливаются или цементируются на глубину 0,8...1,2 мм и потом закаливаются до твердости 56...61 НРС. Допуски на основные размеры установов — 0,008...0,040 мм; качество рабочих и установочных поверхностей по Ra — 0,63...1,25 мкм.

Примеры использования установов для установки резца, фасонной, цилиндрической и концевой фрез представлены на рис. 7.25, в–е. Правильное положение инструментов (резца и фрез) обеспечивается введением между ними и рабочими поверхностями установов 1 плоских и круглых щупов 2 и 3 заданных толщины и диаметра.

Корпуса обеспечивают заданное относительное положение всех элементов и устройств и объединяют их в единое целое — приспособление. Они воспринимают силы обработки и зажима заготовки, вибрации, отводят теплоту и т.д. Для выполнения своего назначения корпуса должны обладать высокой точностью, прочностью и жесткостью; способностью отводить теплоту, стружку и СОЖ; возможностью быстро устанавливаться на оборудовании без выверки; соответствием общей архитектуре оборудования требованиям промышленной эстетики, техники безопасности и охраны труда; простотой конструкции; дешевизной в изготовлении; удобством установки и снятия заготовок, очистки, ремонта и обслуживания приспособлений.

Корпуса выполняются из серого чугуна (СЧ10, СЧ15 и др.), сталей (Ст3, Ст5, 35J1, 45 и др.), алюминиевых (АК4-1, В95 и др.) и других легких сплавов, пластмасс и компаундов на базе эпоксидных смол и других конструкционных материалов. В зависимости от требований, конфигурации и материала используются различные методы изготовления корпусов и их заготовок: литье (чугун, сталь, алюминиевые, магнитные сплавы, эпоксидные компаунды); вырезка из сортового материала (стальной, алюминиевый и магниевый прокат, пластмассы); ковка и штамповка (сталь, алюминиевые сплавы); сварка (сталь, алюминиевые сплавы); сборка из отдельных деталей (сталь, алюминиевые сплавы, текстолит, гетинакс и др.). Метод изготовления корпусов накладывает отпечаток на их конфигурацию (рис. 7.26). Из рисунка видно, что наиболее простую и менее обтекаемую конфигурацию имеют сборные и сварные корпуса.

Быстрая и точная фиксация (ориентирование) корпусов на столах станков без выверки обеспечивается обычно направляющими шпон-

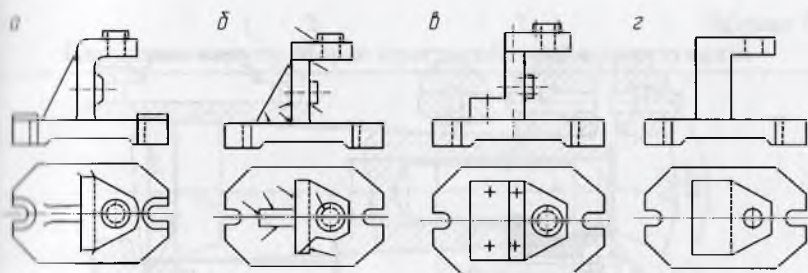


Рис. 7.26. Варианты изготовления корпуса приспособления:
а – литье; *б* – сварка; *в* – сборка из элементов; *г* –ковка

ками 3 (рис. 7.27, *а*), установленными в пазах корпуса 1 со стороны его нижней плоскости и вводимыми в Т-образные пазы стола 2. Крепление корпусов на столах может быть двух вариантов. Первый вариант: на корпусах 1 предусматриваются уступы (полочки), по которым они крепятся к столу 2 прихватами 3 (рис. 7.27, *б*). Второй вариант: в корпусах 1 предусматриваются пазы (в литых корпусах – ушки) Б для прохода винтов 3, головки которых входят в Т-образные пазы столов 2 станков, а на резьбу накручиваются гайки 4 (рис. 7.27, *в*).

На рис. 7.27, *г* показано центрирование корпуса 1 в виде планшайбы по цилиндрическому пояску шпинделя 2, например, токарного станка и поджатие торца корпуса к торцу шпинделя посредством накручивания одного на резьбовую шейку другого. На рис. 7.27, *д* изображена установка корпуса 1 конусом Морзе в коническое отверстие шпинделя 2 станка и закрепление его тягой 3. При установке (рис. 7.27, *е*) корпус 1 центрируется по коническому пояску шпинделя 2 и притягивается к нему винтами 3. Для обеспечения быстрой остановки шпинделей быстроходных станков или реверсивного их вращения используется установка корпуса 1 на конический поясок шпинделя 2 со шпонкой 3 с последующим стягиванием корпуса со шпинделем посредством гайки 4 (рис. 7.27, *ж*).

Наиболее часто используется установка приспособлений на шпиндели станков с помощью хвостовиков корпусов в виде конусов Морзе с резьбовым отверстием (табл. 7.4).

Ниже приведен пример изготовления литьем корпуса накладного кондуктора из компаунда на базе эпоксидно-диановых быстротвердеющих смол. Для повышения прочности в смолу вводятся различные наполнители (стекловолокно, металлическая стружка и порошки) или арматура. Предел прочности эпоксидных компаундов (без арматуры)

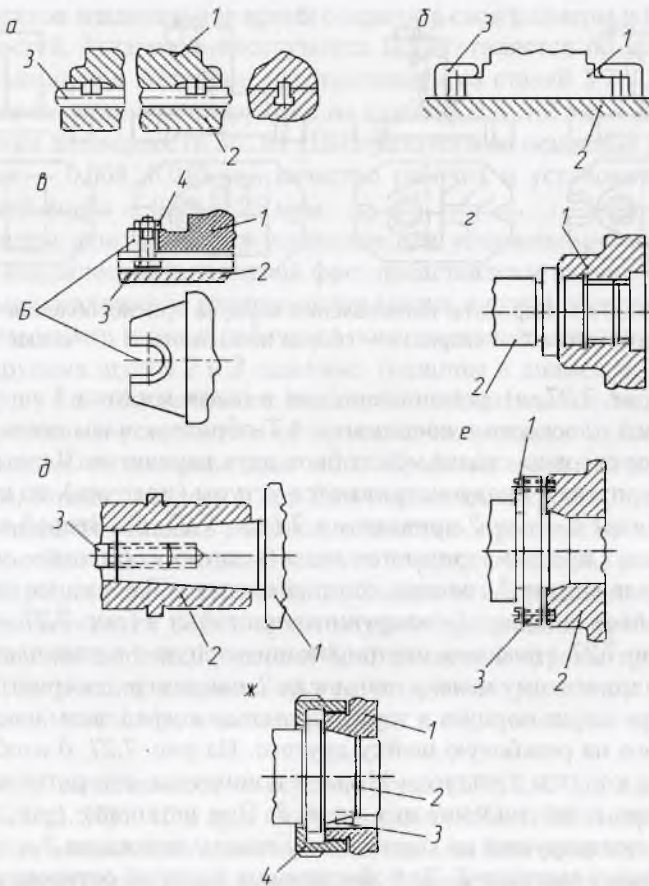
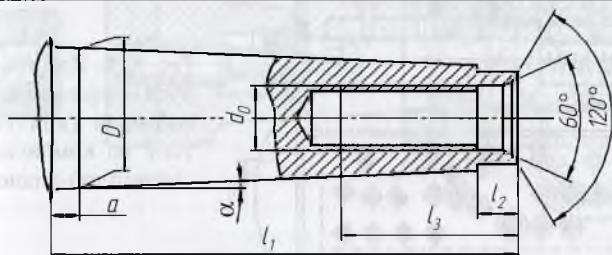


Рис. 7.27. Способы установки корпусов приспособлений на станках без выверки с помощью шпонок, прихватов и болтов на столе (*а, б, в*), цилиндрического пояска и резьбы на шпинделе (*г*), конуса Морзе и тяги с резьбой на конце в шпинделе (*д*), конического пояска и винтов (*е*), шпонки и накидной гайки в шпинделе (*ж*)

составляет при растяжении 60 МПа и при сжатии до 150 МПа. Эти компаунды имеют хорошую адгезию к поверхности обезжиренных металлов, легки, достаточно прочны, износостойки, хорошо гасят вибрации, длительное время сохраняют свои размеры, так как их усадка не превышает 0,05...0,10 %. Отливка может осуществляться в разовые формы из дерева, гипса, картона.

Таблица 7.4

Наружные конусы Морзе приспособлений и инструмента



Конус Морзе	D , мм	α	d_0 , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	a , мм
0	9,045	1°29'27"	—	53	4	0	3,0
1	12,065	1°25'43"	M 6	57	5	16	3,5
2	17,780	1°25'50"	M 10	69	5	24	5,0
3	23,825	1°26'16"	M 12	86	7	28	5,0
4	31,267	1°29'15"	M 16	109	9	32	6,5
5	44,399	1°30'26"	M 20	136	10	40	6,5
6	63,348	1°29'36"	M 24	190	16	50	8,0

Чаще всего используются эпоксидно-диановые смолы ЭД-16 и ЭД-20 и отвердитель в виде полиэтиленполиамин, который вводится в состав в количестве 0,28...0,63 моль на 0,16...0,20 моль смолы. В компаунд вводятся также наполнитель (массовая доля 0,74...2,20 моль) и пластификатор в виде дибутилфталата, уменьшающего хрупкость и повышающего ударную вязкость и эластичность состава.

Иллюстрирует изготовление корпуса кондуктора для сверления заготовки в виде пластины рис. 7.28. Просверленная по разметке или на координатно-расточном станке заготовка 1 устанавливается на плиту 2. В ее отверстия вставляются штифты 3, выполненные по диаметру отверстий кондукторных втулок. На штифты надеваются до упора в плиту кондукторные втулки 4, обработанные точно по чертежу лишь по направляющей инструмент поверхности. Далее на плиту ставится деревянная рамка 5, ограживающая заготовку со всех сторон. В свободные полости закладывается наполнитель в виде алюминиевой стружки и заливается смешанная с отвердителем смола. Затвердевание компаунда может осуществляться выдержкой 10...12 ч при комнатной температуре или в термошкафах при температуре 373...393 К и выдержке 4...6 ч.

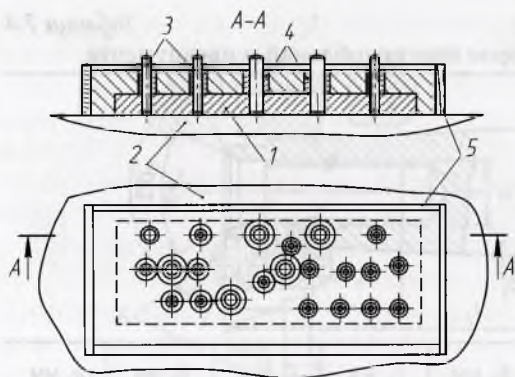


Рис. 7.28. Изготовление корпуса сверлильного приспособления (кондуктора) литьем из компаунда на базе эпоксидно-диановых смол

С затвердеванием компаунда штифты, деталь и рамка убираются и получается накладной кондуктор, который устанавливается на заготовку в виде планки по контуру. В подобных случаях может предусматриваться также зажимное устройство. После сверления партии заготовок кондуктор с присвоенным номером может храниться в кладовой цеха до изготовления следующей партии деталей.

Вспомогательные устройства и элементы служат для расширения технологических возможностей, повышения быстродействия, удобства управления и обслуживания приспособлений. К вспомогательным относятся поворотные и делительные устройства с дисками и фиксаторами; различные выталкивающие устройства (выталкиватели); быстродействующие защелки и откидные винты для крепления шарнирно установленных элементов приспособлений (например, кондукторных плит, планок); подъемные механизмы станочных приспособлений, обеспечивающие подъем и опускание элементов приспособлений для проведения обработки заготовок на нескольких уровнях; тормозные устройства с прижимными механизмами; рукоятки, сухари, шпильки, маховички и другие детали.

С помощью поворотных, делительных и подъемных устройств, применяемых в многопозиционных приспособлениях, обрабатываемой заготовке придаются различные положения в системе координат станка. Делительные устройства состоят из дисков, закрепляемых на поворотных частях приспособлений, и фиксаторов (рис. 7.29).

Наиболее просты по конструкции, но наименее точны в работе и не воспринимают крутящих моментов *шариковые фиксаторы* (рис. 7.29, а). Они состоят из шариков 1 и пружин 2, размещенных

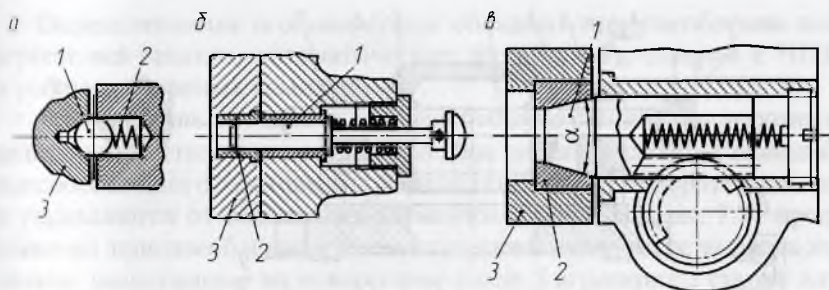


Рис. 7.29. Фиксаторы:

а — шариковый; *б, в* — с вытяжными цилиндрическим и коническим пальцами соответственно кнопочного и реечного типов

в неподвижных частях устройств, которые фиксируют положения подвижных частей 3 при западании шариков под действием пружин в гнезда.

Фиксаторы кнопочного типа с цилиндрическими пальцами (рис. 7.29, б) могут воспринимать крутящие моменты. Фиксация положения подвижных частей 3 обеспечивается при вхождении подпружиненных пальцев 1 в сменные втулки 2.

Наиболее точными являются *фиксаторы реечного типа* с коническими пальцами (рис. 7.29, в). Для повышения износостойкости и сохранения точности фиксации подвижных частей 3 приспособлений подпружиненные пальцы 1 и сменные втулки 2 закаливаются или цементируются и закаливаются до твердости 56...61 HRC. Управление фиксатором осуществляется с помощью рейки на боковой поверхности пальца 1, реечного колеса и рукоятки.

В качестве примера на рис. 7.30, а представлена конструкция расточного приспособления с неподвижными втулками 3 и 7, установленными в стойках 2 и 6 по посадке *H7/m6*. Борштанга 4 с двумя резцами размещена во втулках 3 и 7 и предназначена для одновременного растачивания отверстий заготовки 5, установленной по плоскости и двум отверстиям на установочные элементы корпуса 8, ориентация которого обеспечивается направляющими шпонками 9 относительно Т-образных пазов стола расточного станка. Вращение борштанге при дается шпинделем 1 станка посредством его паза и штифта на борштанге. Для прохода резцов при введении борштанги в отверстия втулок в первой из них предусмотрен паз П. На рис. 7.30, б представлена вращающаяся втулка с подшипником скольжения, зона которого защищена крышками от попадания стружки и других загрязнений.

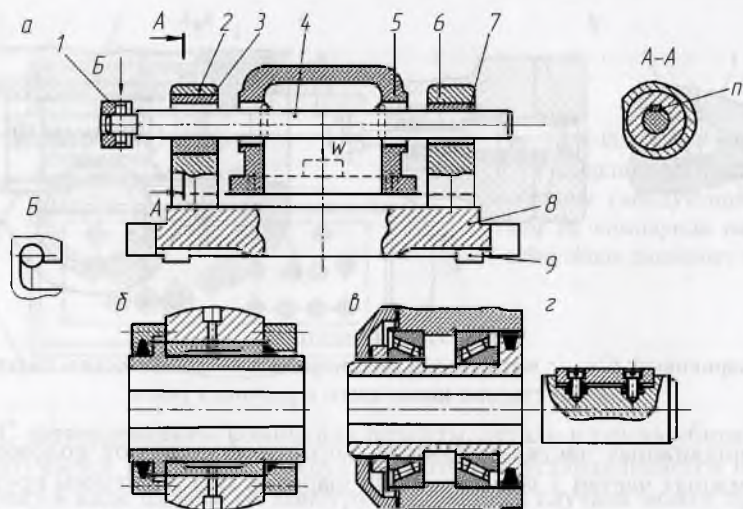


Рис. 7.30. Схемы расточного приспособления (а), вращающихся на подшипниках скольжения (б) и качения (в) направляющих втулок и конца расточной борштанги (г) с плавающей шпонкой

Рисунок 7.30, в, г иллюстрирует вращающуюся на подшипниках качения втулку и конец борштанги с плавающей (подпружиненной) в радиальном направлении шпонкой. Во вращающихся втулках предусмотрены шпоночные пазы, в которые входят шпонки борштанг для передачи им вращения. Чтобы облегчить попадание в пазы втулок, шпонки делают плавающими или со скошенными краями.

Оснастка и ее наиболее сложная и дорогая часть — приспособления играют очень важную роль в ориентации (базировании) заготовок при обработке их на станках, в обеспечении точности и качества отделки поверхностей деталей.

Наиболее простыми и часто применяемыми на практике являются однопозиционные приспособления. При использовании многопозиционных приспособлений необходимо создавать дополнительные вспомогательные устройства (поворотные, делительные, подъемные и др.). Вместе с тем многопозиционные приспособления позволяют значительно повысить концентрацию операций, за счет чего возрастает производительность обработки. Используются они преимущественно на специальных станках, применение которых наиболее эффективно в условиях массового и крупносерийного производства.

Определенными особенностями обладают приспособления для агрегатных станков, автоматических линий (АЛ), станков с ЧПУ и роботизированных комплексов.

На *агрегатных станках*, имеющих обычно станину с поворотным делительным столом и силовые головки по числу рабочих позиций, приспособления с заготовками устанавливаются на поворотном столе и управляются от подвижных элементов станка. На рис. 7.31 представлено приспособление с автоматическим отводом установочного пальца, размещенное на поворотном столе 5 агрегатного станка для обработки втулок 6. Базирование заготовок в приспособлении по отверстию на палец 1 и их закрепление прихватами 7 осуществляются в загрузочной позиции.

Палец 1 ввернут в шток одностороннего пневмоцилиндра 8, полость А которого соединена через переключающий кран 2 с пневмораспределителем 4, получающим сжатый воздух от магистрали. На позиции, где палец должен быть выведен из отверстия для обеспечения его обработки, предусмотрен кофир 3, по которому скользит плунжер Б самовозвратного золотника переключающего крана 2. На всем остальном участке стола 5 станка плунжер под действием пружины 10 находится в исходном положении, перекрывающем подачу сжатого воздуха в полость А, которая в этом случае не изолирована от атмосферы,

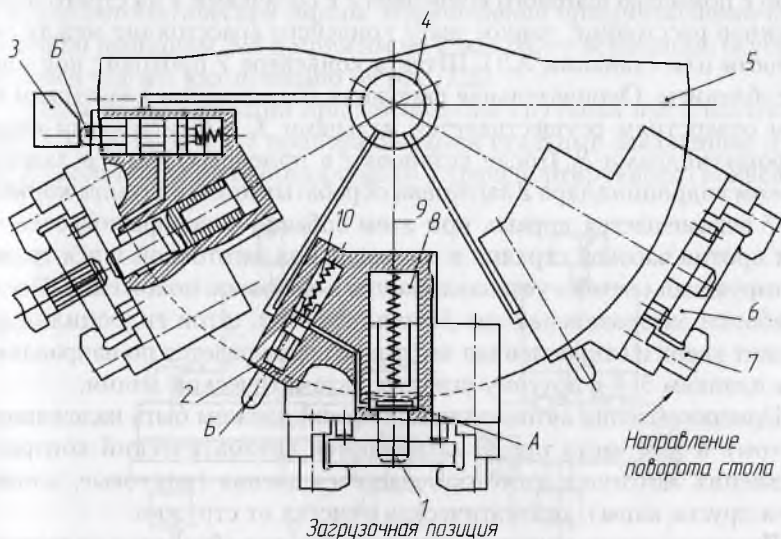


Рис. 7.31. Приспособление для агрегатного станка

а палец 1 под действием пружины 9 находится в выдвинутом положении и выполняет роль установочного элемента.

Автоматические линии (АЛ) представляют собой совокупность технологического оборудования, установленного в последовательности техпроцесса обработки, соединенного автоматическим транспортом и оснащенного автоматическими загрузочно-разгрузочными устройствами и одной общей системой программного управления (ПУ) или несколькими взаимосвязанными системами управления. На АЛ применяются два типа приспособлений: стационарные и приспособления-спутники.

В *стационарных* приспособлениях опорные пластины обычно являются продолжением направляющих планок транспортирующих устройств, их пальцы выполняются выдвижными (подвижными) и имеют конические фаски для выравнивания заготовок при их базировании. Перечисленные особенности обеспечивают упрощенную кинематику перемещения заготовок при их установке в приспособления. Чаще всего плоские заготовки перемещаются по плоскостям до упоров при утопленных пальцах, после чего пальцы выдвигаются и фиксируют заготовки по отверстиям.

На рис. 7.32 показана схема приспособления для обработки на АЛ заготовки корпусной детали. Заготовка 1 перемещается по планкам 5, 6 влево с помощью шагового конвейера 7 с собачками 4 на строго определенное расстояние, равное шагу конвейера (расстояние между позициями или станками АЛ). Штанга конвейера 7 проходит под приспособлением. Окончательная фиксация (базирование) заготовки по двум отверстиям осуществляется пальцами 3, выдвигаемыми вверх гидроцилиндрами 8. После установки в приспособление и зажима штоком гидроцилиндра 2 заготовка обрабатывается, а штанга конвейера 7 перемещается вправо, при этом собачки 4 поворачиваются на осях против часовой стрелки и проходят под заготовкой и вся транспортирующая система устанавливается в исходное положение. После обработки заготовки пальцы 3 утапливаются, шток гидроцилиндра отходит вверх и открепленная заготовка перемещается по направляющим планкам 5, 6 к другому агрегату автоматической линии.

Приспособления автоматических линий должны быть надежными. Поэтому в них часто предусматриваются автоматический контроль положения заготовки, самотормозящиеся звенья (винтовые, клиновые и другие пары), автоматическая очистка от стружки.

Приспособления-спутники применяются для обработки на автоматических линиях заготовок сложной конфигурации, которые разме-

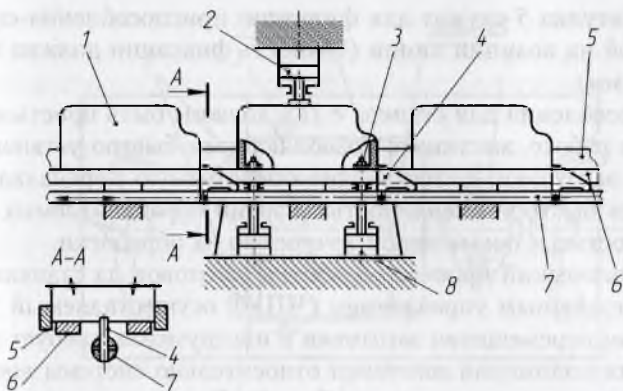


Рис. 7.32. Приспособление для установки и перемещения обрабатываемых заготовок на АЛ

щаются и закрепляются в этих приспособлениях в начале АЛ. Все стадии обработки выполняются при одной установке заготовки, что повышает точность обработанных поверхностей.

Закрепление и открепление заготовок в приспособлениях-спутниках обеспечиваются винтовыми зажимами с помощью многоспindelных электромеханических гайковертов соответственно в начале и конце автоматической линии. Перемещение приспособлений-спутников по позициям АЛ и прижим их к жесткому основанию осуществляются так же, как показано на рис. 7.32.

Одна из конструкций приспособления-спутника представлена на рис. 7.33. К корпусу 1 приворачиваются стальные закаленные планки 2, скользящие по направляющим 3 транспортирующего конвейера.

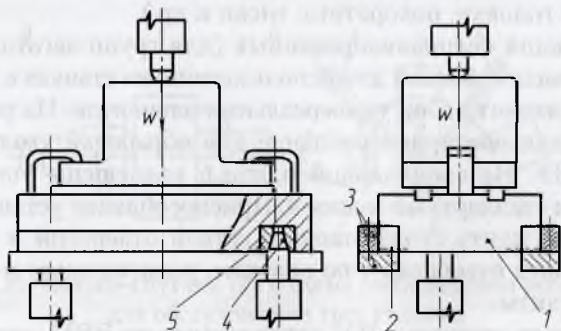


Рис. 7.33. Приспособление-спутник

Палец 4 и втулка 5 служат для фиксации приспособления-спутника с заготовкой на позиции линии (точность фиксации должна быть не менее 0,05 мм).

Приспособления для станков с ПУ должны быть простыми и надежными в работе, жесткими, позволяющими быстро устанавливать и снимать заготовки, допускающие оперативную переналадку. Это объясняется быстрой сменяемостью партий обрабатываемых заготовок, сложностью и повышенной точностью их обработки.

Технологический процесс обработки заготовок на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), осуществляемый при относительном перемещении заготовки и инструмента, требует точного определения положения заготовки относительно системы координат установочных элементов приспособления. В то же время положение заготовки должно быть точным относительно системы координат основной базы приспособления, совмещаемой с координатной системой станка.

В столах станков с ЧПУ обычно имеются центральные отверстия и поперечные пазы для базирования и закрепления приспособлений, на которых должны предусматриваться шпонки, пальцы или штифты. На столы станков без таких отверстий можно устанавливать накладные плиты с сеткой Т-образных пазов и координатных отверстий. Базирование заготовок на столах осуществляется с помощью различных подкладок, планок, упоров, домкратов, гладких, ступенчатых и регулируемых опор.

На *станках с ЧПУ* широко применяются универсальные приспособления: *безналадочные* с регулированием установочных и зажимных элементов и *переналаживаемые* со сменными установочными и зажимными элементами (самоцентрирующие патроны, делительные столы и головки, поворотные тиски и др.).

Конструкция специализированных (для групп заготовок) и специальных приспособлений для использования на станках с ЧПУ упрощена. В нее входит набор универсальных элементов. На рис. 7.34 показано специальное приспособление для обработки угольника 5 на станке с ЧПУ. На специальной плите 6 размещены установочные пальцы 2, 3 и стандартный зажим 4. Приспособление устанавливается на накладную плиту стола станка с сеткой отверстий и базируется с помощью двух отверстий 1 по пальцам, размещенным в отверстиях накладной плиты.

На участках станков с ПУ, управляемых от ЭВМ, используются универсальные и переналаживаемые приспособления-спутники. При-

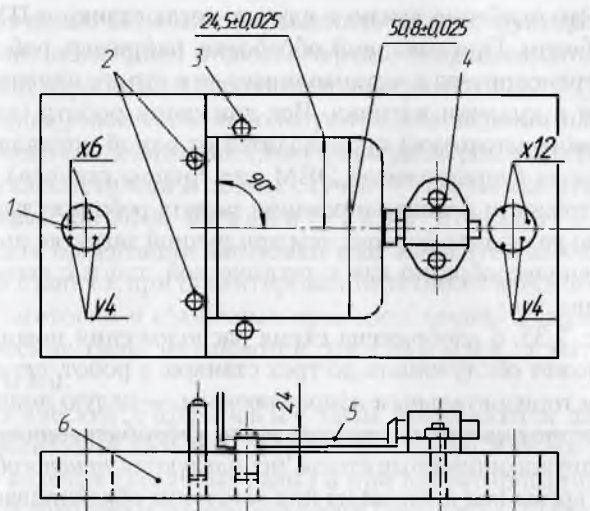


Рис. 7.34. Специальное приспособление для обработки заготовок типа «угольник» на станках с ЧПУ

мером таких приспособлений может служить трехлачковый самоцентрирующий патрон (рис. 7.35, *a*). На специальном стенде в этот патрон вставляется заготовка, а затем он последовательно передается на станки данного участка (линии). Патрон имеет коническую поверхность для точной установки в шпинделе станка и выточку для надежного закрепления быстродействующим автоматическим устройством.

Зажимные устройства приспособлений для станков с ПУ характеризуются точностью изготовления и повышенной надежностью

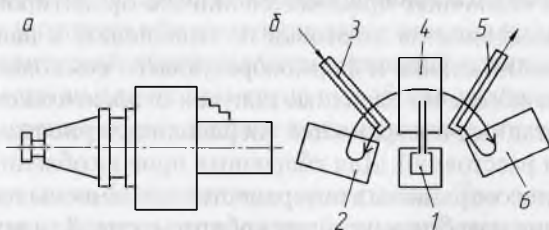


Рис. 7.35. Патрон-спутник (*a*) и схема расположения робота (*b*) для обслуживания трех станков:

- 1 — робот; 2, 4, 6 — станки с ПУ; 3 — транспортер подачи заготовок;
5 — транспортер удаления изготовленных деталей

в работе. Это особенно важно в случае, когда станки с ПУ обслуживаются роботом. При токарной обработке, например, робот берет заготовку с транспортера и устанавливает ее в строго ориентированном положении в кулачки патрона. Все движения робота (закрепление и открепление заготовки) производятся от одной управляющей программы станка (управляющей ЭВМ для группы станков). При недостаточной точности позиционирования захвата робота кулачки патрона необходимо разводить больше, чем при ручной загрузке приспособления, что нецелесообразно как с технической, так и с экономической точки зрения.

На рис. 7.35, б изображена схема расположения поворотного робота. Он может обслуживать до трех станков, а робот, перемещаемый по верхним горизонтальным направляющим, — целую линию станков.

На *многопозиционных станках типа «обрабатывающий центр»*, имеющих двухпозиционные столы, используются *приспособления-дублиеры*. В то время как в одном из них заготовка обрабатывается, в другом снимается изготовленная деталь и устанавливается новая заготовка. Применение таких приспособлений обеспечивает перекрытие вспомогательного времени и способствует более эффективному использованию дорогостоящего оборудования.

7.5. Базирование и закрепление заготовок, размерная настройка на их обработку



Любая техническая система, в том числе и технологическая оснастка, создается для выполнения определенного набора функций. Главной функцией приспособлений является ориентирование (базирование) объектов. Для станочных приспособлений это ориентирование обрабатываемых компонентов заготовки по отношению к направлениям рабочих движений станка и формообразующего компонента инструмента, которое обеспечит заданные допуски относительного расположения обработанных поверхностей (перпендикулярность, параллельность, угол) и расстояний. Для сборочных приспособлений это такое ориентирование сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей, которое обеспечит известные условия собираемости. Для контрольных приспособлений и комплексных калибров это ориентирование контролирующих компонентов относительно компонентов проверяемой детали, служащих началом отсчета, которое позволяет отсортировать годные и негодные (брак) детали.

По назначению базы можно разделить на конструкторские и технологические, последние, в свою очередь, подразделяются на базы механической обработки, сборочные и измерительные.

Конструкторские базы используются для задания на чертежах относительного расположения (линейных размеров, параллельности, перпендикулярности или в общем случае — угла) элементов детали.

Технологические базы механической обработки предназначены для ориентации заготовки или элементов заготовки в заданной зоне станка и при проектировании технологического процесса обработки заготовки и станочных приспособлений. В первом случае технологические базы называются *реальными*, а во втором — *проектными*.

Технологические сборочные базы применяются для относительной ориентации деталей, сборочных единиц или их элементов при сборке изделия (реальные базы) и при проектировании технологии сборки и сборочных приспособлений (проектные базы). *Основной* сборочной базой предлагается называть совокупность поверхностей детали или сборочной единицы, которая определяет ее положение в изделии. *Вспомогательная* сборочная база — совокупность поверхностей детали или сборочной единицы, которая определяет положение присоединяемой к ней детали или сборочной единицы.

Измерительные базы используются при измерении отклонений относительного расположения (реальные базы) и при проектировании технологии измерения и самих средств измерений (проектные базы). Реальная измерительная база служит для ориентации средств измерения по отношению к измеряемому объекту. Она должна совпадать с конструкторской во избежание погрешности схемы измерения.

Таким образом, под **реальным базированием** понимается процесс ориентации заготовки или элементов заготовки в заданной зоне станка при механической обработке; относительной ориентации деталей, сборочных единиц или их элементов при сборке изделия; ориентации средств измерения по отношению к измеряемому объекту при измерении.

Синоним слова базирование — ориентация. При решении разных задач оно имеет несколько различный смысл. В частности при обработке необходимо расположить заготовку в рабочей зоне станка так, чтобы обеспечивались заданная форма и расположение обрабатываемой поверхности (которой еще нет) при минимальных затратах на управление относительными движениями инструмента и заготовки.

Например, для обработки плоскости на строгальном или вертикально-фрезерном станке заготовку следует базировать таким образом, чтобы направляющая и образующая будущей плоскости были соответственно параллельны продольной и поперечной подаче. В принципе, можно обработать плоскость на указанных станках, даже если она наклонна по отношению к одной из подач. Для этого необходимо дополнительное управление, которое бы соответственным образом связывало перемещение вдоль этой подачи с вертикальным перемещением, зависящим от заданного угла. При такой обработке «строками» снижается производительность обработки и качество (форма) плоскости.

При обработке цилиндрической поверхности на токарном, сверлильном или расточном станках ее ось обязательно должна быть параллельна продольной подаче и совпадать с осью вращения шпинделя или инструмента.

Как же расположить поверхность, которой еще нет, в рабочей зоне станка? Очевидно, это можно сделать, только расположив в этой зоне станка определенным образом те компоненты заготовки, которые были получены ранее и по отношению к которым задано расположение обрабатываемой поверхности. Эти компоненты называют реальными технологическими базами, а процесс расположения заготовки в рабочей зоне станка, как было сказано выше, — реальным базированием.

Различают два класса реальных технологических баз: *явные* и *скрытые*. К первым относят реальные поверхности, линии и точки их пересечения, ко вторым — условные точки, линии и плоскости (например, симметрии).

Однако кроме элементов расположения (параллельность, перпендикулярность, угол) при обработке необходимо обеспечить заданные расстояния. Это достигается размерной настройкой (см. далее). При обработке на настроенном станке партии заготовок заданные размеры (расстояния) обеспечиваются соответствующим реальным базированием.

В технологии машиностроения используются три метода реального базирования: 1) выверкой по разметке; 2) выверкой по реальной технологической базе; 3) сопряжением.

Выверка по разметке применяется в единичном и мелкосерийном производстве, а также при обработке крупногабаритных заготовок.

Технологической базой (ТБ) в случае базирования заготовки в приспособлении-спутнике (рис. 7.36) являются линии разметки 2. Контроль их положения осуществляется обычно штангенрейсмусом 4.

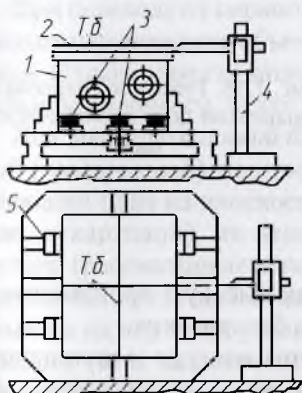


Рис. 7.36. Реальное базирование заготовки в приспособлении-спутнике по разметке

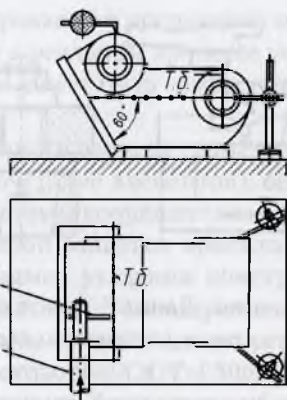


Рис. 7.37. Реальное базирование заготовки на столе станка

Регулировка положения заготовки 1 осуществляется домкратами 3 и кулаками 5. При базировании заготовки, показанной на рис. 7.37, на столе станка контроль положения линий разметки осуществляется штангенрейсмусом, а также с помощью чертилки 1, закрепленной в оправке 2. К недостаткам метода выверки по разметке следует отнести низкую точность (0,8...1,3 мм), высокие требования к квалификации рабочего, низкую производительность, а к достоинствам — возможность проверки пригодности заготовки до начала ее обработки, возможность наиболее рационального размещения контура детали в теле заготовки.

При базировании *выверкой по реальной технологической базе* правильность положения объекта контролируется точными средствами (индикатор, микроскоп и т.д.). При механической обработке выверяется параллельность технологической базы направлению подачи (рис. 7.38, а), положение оси отверстия относительно оси шпинделя станка, биение заготовки (рис. 7.38, б). К достоинству метода следует отнести высокую (0,02...0,10 мм) точность базирования, зависящую только от точности контролирующего инструмента и точности технологической базы, а к недостаткам — низкую производительность и высокие требования к квалификации рабочего.

Базирование *сопряжением* осуществляется при соприкосновении технологических баз заготовки с установочными элементами приспособ-

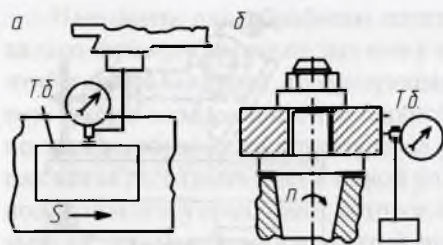


Рис. 7.38. Реальное базирование выверкой по технологической базе

собления. Данный метод обеспечивает как высокую производительность, так и достаточно высокую точность базирования.

Чаще всего в качестве баз используются плоские и цилиндрические поверхности в различных сочетаниях, реже — конические и сферические.

Для сохранения полученного при базировании относительного положения заготовки под действием нагрузок, возникающих во время ее обработки, необходимо силовое замыкание. Силы (моменты сил), создающие силовое замыкание, должны быть больше сил (моментов), стремящихся нарушить относительное положение заготовки, которое было получено при базировании. Для создания силового замыкания используются: 1) упругие деформации отдельных деталей или механизмов станочного приспособления; 2) силы трения; 3) сила тяжести; 4) давление жидкости или газа; 5) магнитные и электромагнитные силы; 6) сочетание различных сил.

Процессу реального базирования должен предшествовать процесс проектного базирования. Прежде чем изготавливать деталь, разрабатывают ее графическую модель (чертеж), модель технологического процесса ее выполнения и лишь затем модели необходимых приспособлений.

Процесс разработки модели установки заготовки предлагается осуществлять в пять этапов:

- 1) определение комплекта баз ориентации;
- 2) разработка теоретической схемы базирования (определение числа налагаемых связей);
- 3) разработка теоретической схемы установки — базирования плюс закрепления с выдачей задания на проектирование оснастки — приспособлений плюс инструмента;
- 4) оценка погрешности схемы установки;
- 5) разработка (или выбор) конструктивной модели приспособления.

При переходе от первого этапа проектирования к последнему происходит наращивание объема информации о реальном процессе установки. Однако никогда модель установки не может быть тождественна реальному процессу, да это и не требуется.

Под *конструкторской базой* будем понимать элемент геометрической (графической) модели детали (или сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат (как правило, декартовой), по отношению к которой задается ориентация другого (рассматриваемого) элемента. Пример указания конструкторских баз представлен на рис. 7.39. Ориентация рассматриваемого элемента на чертежах указывается допусками относительного расположения (или задается по умолчанию согласно ГОСТ 25069–81) и расстояниями до нескольких конструкторских баз, которые будем называть *комплексом конструкторских баз ориентации*. Так, например, ориентация оси отверстия $\varnothing 20^{+0,1}$ задана по отношению к двум комплектам конструкторских баз ориентации:

□ с помощью допуска перпендикулярности по отношению к базе А и с помощью линейных размеров $50 \pm 0,1$ по отношению к оси отверстия $\varnothing 18^{+0,1}$ и линейного размера $30 \pm 0,2$ по отношению к плоскости Е (комплект баз ориентации — две взаимно-перпендикулярные плоскости (А и Е) и ось отверстия $\varnothing 18^{+0,1}$);

□ с помощью допуска перпендикулярности по отношению к базе А и с помощью линейных размеров $70 \pm 0,15$ по отношению к плоскости Б и линейного размера $30 \pm 0,2$ по отношению к плоскости Е (ком-

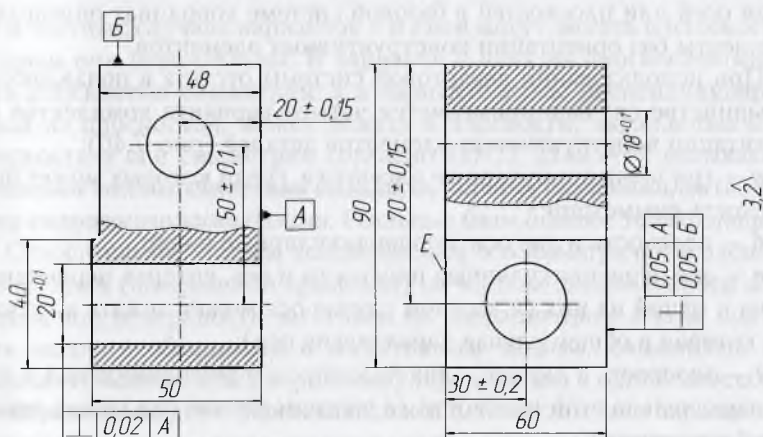


Рис. 7.39. Эскиз детали

плект баз ориентации — три взаимноперпендикулярные плоскости: А, Б и Е).

Основными видами расположения элементов при конструировании деталей являются параллельность, перпендикулярность, угол, соосность, симметрия. Причем два последних вида — производные от параллельности.

При проектировании технологических процессов механической обработки или станочных приспособлений с учетом порядка обработки следует указывать проектные технологические базы механической обработки. *Технологической проектной базой* (далее — технологические базы) называется элемент геометрической (графической) модели заготовки, определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается ориентация (расстояние и допуск относительного расположения) обрабатываемого элемента конструкции.

Под *проектным базированием* понимается введение системы отсчета (или собственной системы координат), сопряженной (соприкасающейся) с технологическими базами.

Указанную систему координат логично назвать собственной, так как она строится на элементах модели детали, или базовой, поскольку она определяет комплект баз, по отношению к которому ориентируется обрабатываемый элемент конструкции («комплект технологических баз ориентации» или «комплект баз»).

По виду базы будем делить на *оси* и *плоскости*. Различные сочетания осей или плоскостей в базовой системе координат определяют комплекты баз ориентации конструктивных элементов.

При использовании декартовой системы отсчета в подавляющем большинстве случаев применяется четыре варианта комплектов баз ориентации конструктивных элементов деталей (рис. 7.40):

a — три перпендикулярные плоскости, среди которых может быть плоскость симметрии;

б — плоскость и две оси, перпендикулярные к ней;

в — две перпендикулярные плоскости и ось, которая перпендикулярна к одной из них (в частном случае ось может лежать в плоскости, которая в общем случае параллельна оси);

г — плоскость и две оси, одна из которых перпендикулярна, а другая параллельна этой плоскости (в частном случае она может лежать в этой плоскости);

д — три перпендикулярные оси.

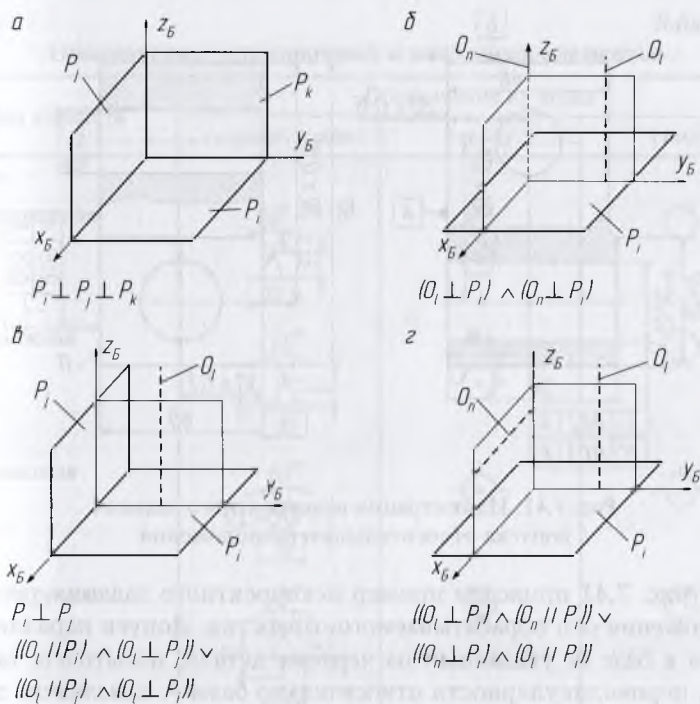


Рис. 7.40. Варианты комплектов баз ориентации конструктивных элементов

В частных случаях вариантов б и г оси могут лежать в плоскостях, которым они параллельны. В варианте а одна из плоскостей может быть плоскостью симметрии, а в варианте в ось, перпендикулярная одной из плоскостей, может лежать в плоскости, параллельной ей. Плоскость и оси симметрии согласно ГОСТ 21495–77 называются *скрытыми технологическими базами*, остальные базы комплекта — *явными технологическими базами*. Реальные базы бывают только явными.

Относительное угловое положение оси осесимметричного элемента конструкции (поверхности вращения) на чертеже детали или оси обрабатываемой поверхности заготовки на операционном эскизе должно быть задано необходимым и достаточным числом показателей. Так, ось может располагаться перпендикулярно только к одной плоскости, или параллельно двум пересекающимся плоскостям, или параллельно к одной плоскости и под некоторым углом с плоскостью, которая перпендикулярна первой.

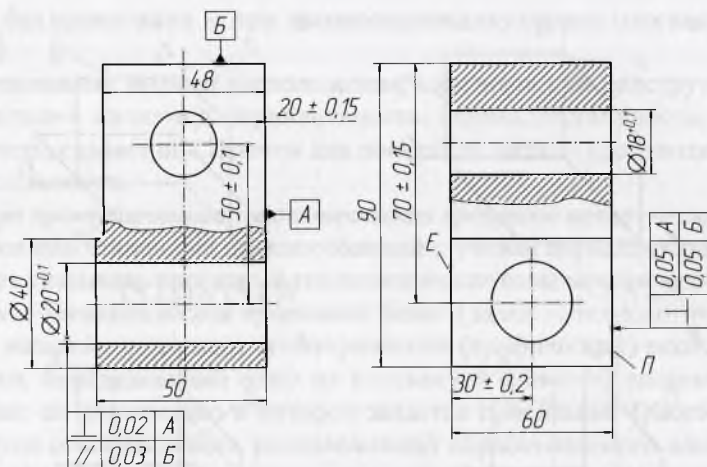


Рис. 7.41. Иллюстрация некорректного задания допуска относительного расположения

На рис. 7.41 приведен пример некорректного задания точности расположения оси обрабатываемого отверстия. Допуск параллельности оси к базе Б, указанный на чертеже детали, избыточен, так как допуск перпендикулярности относительно базы А однозначно задает относительное положение оси. При этом поле допуска параллельности будет дублировать поле допуска перпендикулярности.

Относительное угловое положение плоского конструктивного элемента (плоскости) на чертеже детали или обрабатываемой поверхности заготовки на операционном эскизе также должно быть задано необходимым и достаточным числом показателей. Так, плоскость может располагаться перпендикулярно к двум пересекающимся плоскостям или к оси либо перпендикулярно к одной плоскости и под некоторым углом к другой, которая перпендикулярна к первой.

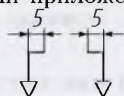
Таким образом, можно определить варианты однозначного задания ориентации элементов конструкции относительно того или иного комплекта баз ориентации. На схемах базирования и установки заготовок указываются обозначения установочных и зажимных элементов (табл. 7.5), установочных устройств (табл. 7.6) и формы рабочих поверхностей элементов приспособлений (табл. 7.7).

Таблица 7.5

Обозначения установочных и зажимных элементов

Вид элемента	Обозначение на видах		
	спереди, сзади	сверху	снизу
Опора:			
неподвижная			
подвижная			
плавающая			
регулируемая			
Зажим:			
одиночный			
двойной			






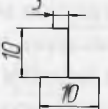

Примечание. Для двойных зажимов длина плеча l устанавливается разработчиком в зависимости от расстояния между точками приложения сил.



Допускается упрощенное изображение двойного зажима:

Таблица 7.6



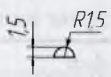



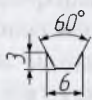
Условные обозначения установочных устройств

Установочное устройство	Обозначение на видах	
	спереди, сзади, сверху, снизу	слева, справа
Центр неподвижный		Без обозначения
Центр вращающийся		То же
Центр плавающий		•
Оправка цилиндрическая		
Оправка шариковая (роликовая)		
Оправка цапговая (ц) и гидропластовая (г)		
Патрон поводковый		

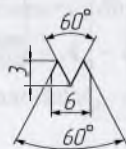
Примечания: 1. Обозначение обратных центров следует выполнять в зеркальном изображении. 2. Для базовых установочных поверхностей допускается применять обозначение вида слева оправки цилиндрической.

Таблица 7.7

Обозначения формы рабочих поверхностей элементов приспособлений

Форма рабочих поверхностей	Обозначение на всех видах	Форма рабочих поверхностей	Обозначение на всех видах
Плоская		Коническая	
Сферическая		Ромбическая	
Цилиндрическая (шариковая)		Трехгранная	
Призматическая			

Примечания: 1. Рельеф рабочих поверхностей (рифленая, резьбовая, шлицевая и т.д.) опор, зажимов и установочных устройств обозначается следующим образом:



Это обозначение наносится на обозначение соответствующего элемента приспособления. Например, оправка цилиндрическая шлицевая обозначается таким совмещенным знаком:



2. Обозначения устройств зажимов (пневматическое — Р, гидравлическое — Н, электрическое — Е, магнитное — М, электромагнитное — ЕМ, прочие — без обозначения) наносятся слева от изображения зажимов.

На рис. 7.42–7.45 приведены примеры схем установки (базирования и закрепления) различных заготовок в приспособлениях. Толстыми линиями на рисунке показаны обрабатываемые поверхности.

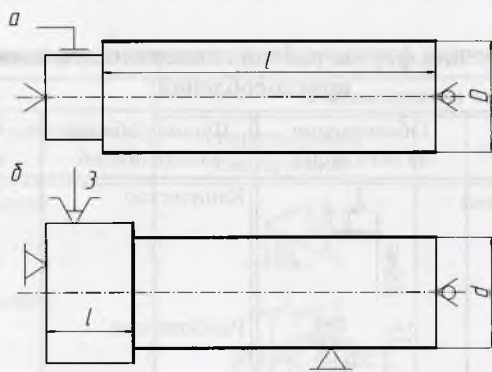


Рис. 7.42. Схемы установки цилиндрических заготовок:
 а — в центрах и поводковом патроне; б — в трехкулачковом патроне, вращающемся центре и подвижном люнете

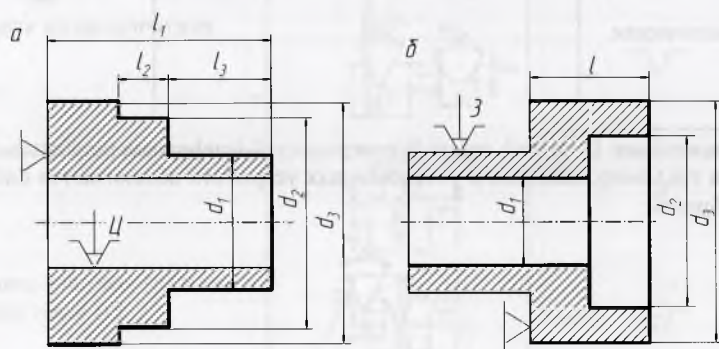


Рис. 7.43. Схемы установки цилиндрических заготовок:
 а — в цанговой оправке; б — в трехкулачковом патроне

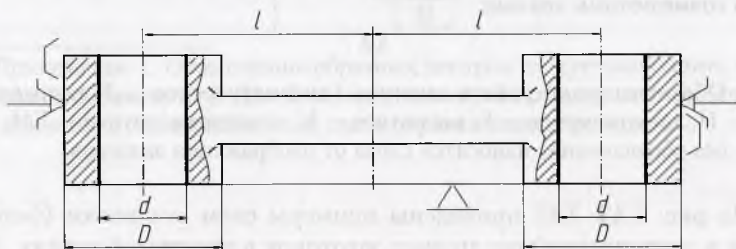


Рис. 7.44. Схема установки заготовки в самоцентрирующих тисках с призматическими губками

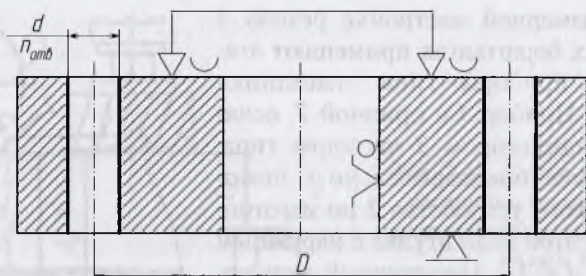


Рис. 7.45. Схема установки заготовки на плоскость и цилиндрический палец

Под *размерной настройкой* следует понимать ориентацию формообразующих элементов режущей кромки инструмента относительно технологических баз обрабатываемой заготовки и ограничение длины рабочего хода. Если базирование заготовки осуществляется методом сопряжения, то режуще-формообразующая кромка ориентируется относительно установочных элементов приспособления (рис. 7.46).

Наиболее простым методом размерной настройки на обработку заготовки 1 является настройка по эталону (рис. 7.47). Чтобы повысить точность настройки и не повредить режущую кромку инструмента 3 при его подводе к эталону 2, применяют промежуточный элемент — щуп 4 заданной толщины. Тогда размер эталона (расстояние от установочного элемента) определяется из выражения

$$A_{\text{эт}} = A_{\text{н}} - \delta,$$

где $A_{\text{эт}}$ — размер (высота) эталона; $A_{\text{н}}$ — размер настройки.

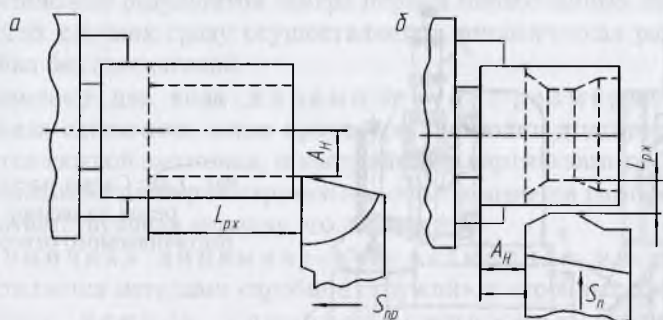


Рис. 7.46. Схема размерной настройки при токарной обработке:

а — с продольной подачей $S_{\text{пр}}$; б — с поперечной подачей $S_{\text{п}}$;

$L_{\text{рх}}$ — длина рабочего хода; $A_{\text{н}}$ — размер настройки

При размерной настройке резцов 4 в расточных борштангах применяют эталоны или приборы типа «наездник» (рис. 7.48). Прибор 1 с призмой 7, оснащенный индикатором 3 часового типа, настраивается предварительно с помощью винтового устройства 2 по изготовленной для этой цели втулке с наружным диаметром $d = 2A_n$ (внутренний диаметр равен диаметру борштанги d_6). Эта втулка по скользящей посадке устанавливается на борштангу 5. Иногда призма 7 прибора 1 снабжается магнитом, который при необходимости можно выключить. Такой прибор удобнее простого (без магнита). Вылет реза регулируется пробкой 6 и фиксируется зажимным винтом. Точность установки резцов по прибору 0,005...0,015 мм. Предварительная размерная настройка инструментов для станков с ЧПУ осуществляется вне станка при помощи оптико-механических приборов.

Некоторые станки с ЧПУ (рис. 7.49) снабжены измерительными преобразователями 2, позволяющими осуществить размерную настройку обработки заготовки 3. Для этого каждый из инструментов 1 подводится к измерительному преобразователю 2, который устанавливается на столе станка или на приспособлении с известной высотой B_n . Система ЧПУ переводится в режим измерения. При отводе

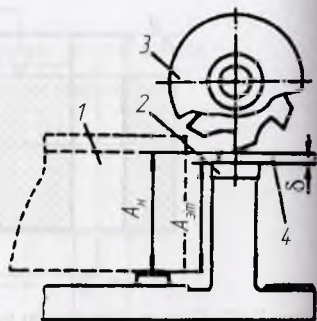


Рис. 7.47. Схема размерной настройки по эталону (установу)

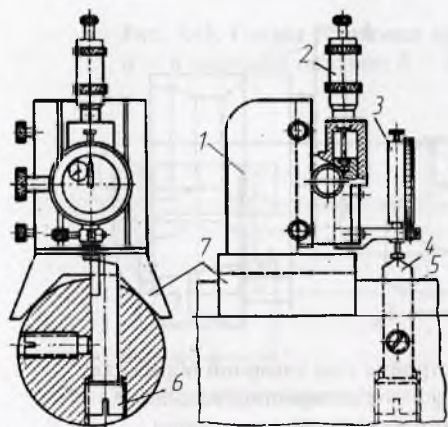


Рис. 7.48. Схема настройки реза на размер растачиваемого отверстия

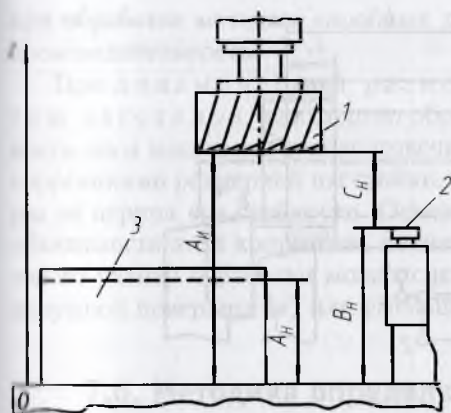


Рис. 7.49. Схема размерной настройки инструментов многоцелевого станка с ЧПУ по оси Z

шпиндельной бабки в исходное положение системой определяется расстояние C_n , а следовательно, и A_n от стола до инструмента. Таким образом, в памяти УЧПУ формируется необходимое перемещение $z = A_n - A_n$ для выхода на размер настройки A .

Все описанные выше методы статической размерной настройки имеют общий недостаток: они не учитывают действующие в процессе обработки силы и соответствующие им упругие деформации, вследствие которых фактический размер обработки $A_{\text{факт}}$ никогда не равен размеру настройки A_n . Последнее обстоятельство во многих случаях имеет существенное значение. Поэтому статическая настройка дополняется динамической, при которой регулирование положения инструментов и упоров, ограничивающих длину рабочего хода, осуществляется на основании результатов замера первых обработанных заготовок. Во многих случаях сразу осуществляется динамическая размерная настройка без статической.

Различают два вида динамической размерной настройки: единичная, когда процедура настройки повторяется при обработке каждой заготовки, и настройка на партию заготовок, когда настроенным на размер инструментом обрабатывается партия заготовок, соответствующая периоду его стойкости.

Единичная динамическая размерная настройка осуществляется методами «пробной стружки» и «пробных проходов».

Пример метода «пробной стружки», реализуемого на токарном станке, показан на рис. 7.50. После включения вращения шпинделя вершина резца переводится из исходного положения (точка 0) до касания с заготовкой (в точке 1). Затем резец отводится

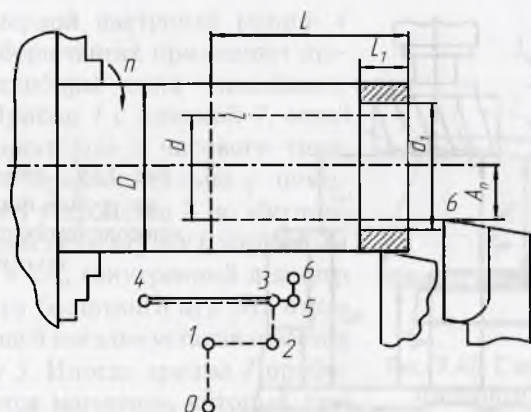


Рис. 7.50. Схема размерной настройки методом «пробной стружки»

вправо (в точку 2), лимб поперечной подачи устанавливается на нуль и осуществляется переход в точку 3 поперечной подачей на $(D - d_1)/2$. Значение d_1 выбирается согласно неравенству $d_1 > d$, где d — требуемый размер детали. Включается продольная подача, заготовка протачивается на небольшой длине L_1 , (переход в точку 4) и резец ускоренно отводится вправо (в точку 5, которая может совпадать с точкой 3). Вращение шпинделя выключается, и осуществляется измерение полученного диаметра d_1 . Снова включается вращение шпинделя, вершина резца перемещается в точку 6 на расстояние $(d_1 - d)/2$, и заготовка обрабатывается на полную длину L .

Недостатком данного метода является относительно низкая точность. Кроме того, окончательно на участке длиной L_1 получается уменьшенный размер, так как этот участок обрабатывается с меньшей глубиной резания, чем вся остальная заготовка.

Метод «пробных проходов» отличается от метода «пробной стружки» тем, что предварительно обрабатывается не малый участок заготовки, а вся заготовка. Далее, после отвода в точку 5, проводится коррекция размерной настройки (перевод в точку 6) и повторная обработка на всей длине. Последнюю процедуру можно повторять несколько раз, пока не будет достигнут заданный размер.

Данный метод обеспечивает высокую точность, ограничиваемую только точностью измерения, точностью регулировки (по лимбу винта подачи или по индикатору часового типа) и минимальной глубиной резания, с которой может работать данный инструмент. Однако

при обработке методом «пробных проходов» существенно теряется производительность.

При динамической размерной настройке на партию заготовок необходимо обеспечить не только заданную точность, но и максимальную долговечность работы инструмента между коррекциями размерной настройки, которые производятся несколько раз за период его стойкости. Основной причиной, вызывающей необходимость этой коррекции, является износ инструмента, из-за которого размер обработки может систематически увеличиваться (для наружной поверхности) или уменьшаться (для внутренней).

7.6. Методика определения параметров режимов резания



Определение режимов резания производится по расчетным формулам [37, с. 261–300] и по приближенным нормативам в следующей последовательности.

1. Вычисляется глубина резания t .

Пусть режимы резания рассчитываются для сверления, рассверливания, зенкерования или развертывания. Глубина резания для сверления $t = 0,5D$, а для рассверливания, зенкерования или развертывания

$$t = \frac{D - d}{2}.$$

2. Устанавливается и корректируется по паспорту станка подача S .

Для сверления, рассверливания, зенкерования или развертывания подача определяется по [37, табл. 25–27, с. 277].

3. Определяется период стойкости инструмента.

Экономическая стойкость инструмента для всех видов обработки

$$T = (\mu - 1) \left(\tau_{с.и} + \frac{З_{и}}{E} \right),$$

где μ — эмпирический параметр; $\tau_{с.и}$ — время смены затупившегося инструмента; $З_{и}$ — затраты на эксплуатацию инструмента за период стойкости; E — затраты на эксплуатацию рабочего места за одну минуту; значения μ , $\tau_{с.и}$ и отношения $З_{и}/E$ можно определить по табл. 7.8.

Таблица 7.8

Показатели для вычисления экономической стойкости

Вид обработки	Материал заготовки	Материал режущей части	t	μ	$\tau_{с.и}$	$Z_{и}/E$
Продольное точение	Сталь	T15K6	0,2	5	1,5	11
Отрезание и прорезание	Сталь	T15K6/ P6M5	0,25/0,3	4	2,5/1,5	10/13,5
Фасонное точение	Сталь	P6M5	0,3	3,33	2,5	22
Продольное точение	Чугун	BK6	0,2	5	1,5	11
Отрезание и прорезание	Чугун	BK6	0,2	5	2,5	10
Сверление: $d \leq 5$	Сталь	P6M5	0,2	5	0,6	4,4
$d = 6...10$			0,2	5	0,6	6,4
$d = 11...20$			0,2	5	0,7	11,3
$d = 21...30$			0,2	5	0,8	13,2
$d = 31...40$			0,2	5	0,9	16,1
Сверление: $d \leq 5$	Чугун и силумин	P6M5	0,125	8	0,6	4,4
$d = 6...10$			0,125	8	0,6	6,4
$d = 11...20$			0,125	8	0,7	11,3
$d = 21...30$			0,125	8	0,8	13,2
$d = 31...40$			0,125	8	0,9	16,1
Сверление: $d \leq 5$	Чугун	BK8	0,2	5	0,6	3,4
$d = 6...10$			0,2	5	0,6	5,4
$d = 11...20$			0,2	5	0,7	9,3
$d = 21...30$			0,2	5	0,8	10,2
$d = 31...40$			0,2	5	0,9	12,1
Рассверливание: $d = 21...30$	Сталь	P6M5/ BK8	0,2/0,25	5/4	0,8	13,2/10,2
$d = 31...40$			0,2/0,25	5/4	0,9	16,1/12,1
$d = 41...50$			0,2/0,25	5/4	1,1	20,9/15,9

Продолжение табл. 7.8

Вид обработки	Материал заготовки	Материал режущей части	m	μ	$\tau_{сн}$	$Z_{н}/E$	
Рассверливание:	Чугун	P6M5/ BK8	$d = 21...30$	0,125/0,4	8/2,5	0,8	13,2/10,2
			$d = 31...40$	0,125/0,4	8/2,5	0,9	16,1/12,1
			$d = 41...50$	0,125/0,4	8/2,5	1,1	20,9/15,9
Зенкерование:	Сталь	P6M5/ T15K6	$d = 8...20$	0,3/0,25	3,33/4	0,65	8,35/6,35
			$d = 21...30$	0,3/0,25	3,33/4	0,8	16,2/13,2
			$d = 31...40$	0,3/0,25	3,33/4	0,9	20,1/17,1
			$d = 41...50$	0,3/0,25	3,33/4	1,1	24,9/21,9
Зенкерование:	Чугун	P6M5/ BK8	$d = 8...20$	0,125/0,4	8/2,5	0,65	8,35/7,35
			$d = 21...30$	0,125/0,4	8/2,5	0,8	16,2/14,2
			$d = 31...40$	0,125/0,4	8/2,5	0,9	20,1/18,1
			$d = 41...50$	0,125/0,4	8/2,5	1,1	24,9/22,9
Развертывание:	Сталь	P6M5	$d \leq 5$	0,4	2,5	0,6	12,4
			$d = 6...10$	0,4	2,5	0,6	13,4
			$d = 11...20$	0,4	2,5	0,7	15,3
			$d = 21...30$	0,4	2,5	0,8	18,2
			$d = 31...40$	0,4	2,5	0,9	21,1
Развертывание:	Чугун	P6M5/ BK8	$d \leq 5$	0,3/0,45	3,33/2,22	0,6	12,4/13,4
			$d = 6...10$	0,3/0,45	3,33/2,22	0,6	13,4/14,4
			$d = 11...20$	0,3/0,45	3,33/2,22	0,7	15,3/16,3
			$d = 21...30$	0,3/0,45	3,33/2,22	0,8	18,2/19,2
			$d = 31...40$	0,3/0,45	3,33/2,22	0,9	21,1/22,1
Фрезерование: торцовой фрезой:	Сталь	T15K6	$d = 40...60$	0,2	5	5	25
			$d = 70...160$	0,2	5	6	39
			$d = 180...280$	0,2	5	8	52

Окончание табл. 7.8

Вид обработки	Материал заготовки	Материал режущей части	m	μ	$\tau_{сн}$	$Z_{н}/E$
торцевой фрезой: $d = 40...60$ $d = 70...160$ $d = 180...280$	Чугун	BK6	0,32	3,12	5	25
			0,32	3,12	6	39
			0,32	3,12	8	52
цилиндрической фрезой: $d = 90...180$ $d = 190...250$	Сталь	T15K6/ P6M5	0,33/0,2	3/4	6	84/102
			0,33/0,2	3/4	8	112/102
цилиндрической фрезой: $d = 90...180$ $d = 190...250$	Чугун	BK6/ P6M5	0,42/0,25	2,38/4	6	94/74
			0,42/0,25	2,38/4	8	122/102
дисковой фрезой: $d = 90...110$ $d = 112...170$ $d = 175...200$ $d = 200...250$	Сталь	T15K6/ P6M5	0,35/0,2	2,9/5	5	35/25
			0,35/0,2	2,9/5	6	44/34
			0,35/0,2	2,9/5	7	53/43
			0,35/0,2	2,9/5	8	72/62
дисковой фрезой: $d = 90...110$ $d = 112...170$ $d = 175...200$ $d = 200...250$	Чугун	P6M5	0,15	6,67	5	25
			0,15	6,67	6	34
			0,15	6,67	7	43
			0,15	6,67	8	62
угловой и фасонной фрезой: $d = 30...75$ $d = 80...110$	Сталь	P6M5	0,33	3	6	34
			0,33	3	7	53
угловой и фасонной фрезой: $d = 30...75$ $d = 80...110$	Чугун	P6M5	0,15	6,67	6	34
			0,15	6,67	7	53

4. По эмпирическим формулам вычисляется скорость резания.

Для сверления скорость резания

$$v_{и} = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v$$

а при рассверливании, зенкерования, развертывании

$$v_{и} = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v$$

C_v, q, m, x, y определяются по [37, табл. 28, 29 с. 278, 279].

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{mv} K_{iv} K_{lv}$$

где $K_{mv} = \left(\frac{750}{\sigma_b}\right)^{n_v}$ — сталь; $n_v = 0,9$ для быстрорежущей стали; $n_v = 1$

для твердого сплава; $K_{mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{1,3}$ — серый чугун; $K_{mv} = \left(\frac{150}{HB}\right)^{1,3}$ — ковкий чугун; K_{mv} для цветных сплавов определяется по [37, табл. 1–4, с. 262, 263]; K_{iv} определяется по [37, табл. 6, с. 263]; K_{lv} определяется по [37, табл. 31, с. 280].

5. Определяется частота вращения шпинделя

$$n = \frac{1000 v_{и}}{\pi D}$$

Полученное значение корректируется по паспорту станка.

Если неизвестны все значения частоты вращения шпинделей, подач и чисел двойных ходов, то принимают во внимание следующее.

Частоты вращения шпинделей металлорежущих станков нормализованы, поэтому полученные расчетом значения округляются до ближайших, имеющихся в нормальных рядах. Числа двойных ходов и подачи выбираются из этих рядов, каждый из которых построен по закону геометрической прогрессии.

В справочниках указываются обычно числа n_{\max} и n_{\min} оборотов шпинделей, двойных ходов и подач.

Из определения геометрической прогрессии следует, что

$$n_{\max} = n_{\min} \varphi^{m-1},$$

где m — общее число ступеней скорости соответствующего элемента станка — шпинделя токарного или фрезерного станка, стола продольно-строгального станка и др.; φ — знаменатель ряда.

Отсюда можно определить любую из четырех величин n_{\max} , n_{\min} , ϕ или m , если известны или выбраны значения всех остальных.

Чаще всего для построения ряда по известным n_{\max} , n_{\min} , m необходимо определить ϕ . В станкостроении принято семь нормализованных геометрических рядов соответственно следующим значениям знаменателя ϕ : 1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2.

В современных станках чаще всего применяются средние значения знаменателя ϕ : 1,26; 1,41 или 1,58; другие значения ϕ , особенно меньше 1,26, используются реже.

В тех случаях, когда ряды частоты вращения подач или двойных ходов построены на вышеуказанных нормализованных значениях знаменателя, можно воспользоваться следующей методикой для определения значения ϕ и принятого значения частоты вращения, подачи или двойных ходов.

Из формулы для n_{\max} следует

$$\phi^{m-1} = n_{\max} / n_{\min}$$

Значения нормализованных знаменателей рядов ϕ , возведенные в степень, приведены в табл. 7.9. Пользуясь таблицей, можно легко определить значение ϕ на основании заданных в технической характеристике станка n_{\max} , n_{\min} и т.д.

Таблица 7.9

Значения нормализованных рядов ϕ , возведенных в степень

Показатель степени	ϕ						
	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,00
2	1,12	1,26	1,58	2,00	2,50	3,16	4,00
3	1,19	1,41	2,00	2,82	4,00	5,64	8,00
4	1,26	1,58	2,50	4,00	6,32	10,08	16,00
5	1,34	1,78	3,16	5,64	10,08	17,92	32,00
6	1,41	2,00	4,00	8,00	16,00	32,00	64,00
7	1,49	2,24	5,04	11,28	25,28	56,80	
8	1,58	2,50	6,32	16,00	40,00		
9	1,67	2,81	8,00	22,56	64,00		
10	1,78	3,16	10,08	32,00			
11	1,89	3,55	12,64	45,12			
12	2,00	4,00	16,00	64,00			
13	2,12	4,48	20,16				

Продолжение табл. 7.9

Показатель степени	φ						
	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,00
14	2,24	5,04	25,28				
15	2,36	5,64	32,00				
16	2,50	6,32	40,00				
17	2,65	7,12	50,65				
18	2,81	8,00	64,00				
19	2,98	8,96	80,64				
20	3,16	10,08	101,64				
21	3,35	11,28					
22	3,55	12,64					
23	3,77	14,24					
24	4,00	16,00					
25	4,24	17,92					
26	4,48	20,16					
27	4,75	22,56					
28	5,04	25,28					
29	5,34	28,48					
30	5,64	32,00					
31	5,98	35,84					
32	6,32	40,00					
33	6,70	44,96					
34	7,12	50,56					
35	7,55	56,80					
36	8,00	64,00					
37	8,48						
38	8,96						
39	9,50						
40	10,08						
41	10,68						
42	11,28						
43	11,96						
44	12,64						
45	13,40						
46	14,24						
47	15,09						

Окончание табл. 7.9

Показатель степени	φ						
	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,00
48	16,00						
49	16,96						
50	17,92						

Для этого вычисляется частное n_{\max}/n_{\min} и в строке таблицы, соответствующей степени $m - 1$, находим то числовое значение φ^{m-1} , которое равно или близко вычисленному. В головке графы, в которой приводится это число, указано соответствующее данному ряду значение φ .

Затем делим расчетное значение частоты вращения двойных ходов или подачи на минимальное и получаем расчетное значение φ в степени x .

В той же графе таблицы для найденного ранее значения φ выбираем ближайшее меньшее число, соответствующее вычисленному $\varphi^x = n_{\text{расч}}/n_{\min}$. Умножив затем найденное в таблице значение φ^x на n_{\min} , получим принятые частоту вращения, число двойных ходов или подачу.

6. Рассчитывается действительная скорость резания.

Для сверления, рассверливания, зенкерования или развертывания

$$v_d = \frac{\pi D n_d}{1000}.$$

7. Определяются силы и моменты резания.

При сверлении осевая сила (H), крутящий момент ($H \cdot m$) определяются по формулам

$$P_o = C_p D^q S^y K_p,$$

$$M = 10 C_m D^q S^y K_m,$$

а при рассверливании и зенкерования

$$P_o = C_p D^q t^x S^y K_p; \quad M = 10 C_m D^q t^x S^y K_m,$$

где C_p, q, y — определяются по [37, табл. 32, с. 281]; $K_p = K_{\text{мр}} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{0,75}$ — сталь; $K_{\text{мр}} = \left(\frac{HB}{190}\right)^{0,6}$ — серый чугун; $K_{\text{мр}} = \left(\frac{HB}{150}\right)^{0,6}$ — ковкий чугун.

8. Устанавливается мощность, затрачиваемая на резание.
Для сверления, рассверливания, зенкерования или развертывания

$$N_{\text{рез}} = \frac{Mn}{9750}$$

9. Проверяется достаточность мощности привода станка по условию

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{шп}},$$

$$N_{\text{шп}} \leq N_{\text{дв}} \eta,$$

$$\eta = 0,8.$$

Изложенная методика определения параметров режимов и способов резания позволяет на практике назначать режимы обработки деталей.

7.7. Структурные компоненты технологического процесса обработки заготовок

Технологический процесс изготовления машины и ее элементов (деталей и сборочных единиц) дискретен в пространстве и времени. Он состоит из циклически повторяющихся для каждого объекта производства компонентов. С пространственно-функциональной точки зрения в технологическом процессе можно выделить следующие уровни иерархии разделения: этапы, операции, установки, позиции, переходы и проходы. Таким образом, технологический процесс изготовления детали на первом уровне делится на **этапы**. Главным признаком этапа является уровень показателей качества обработанных поверхностей (кавалитет точности размера IT , параметр шероховатости Ra , твердость HB или HRC), достигнутых после его выполнения. Совокупность этапов образует типовую схему обработки.

Каждый этап состоит из одной или нескольких операций. *Операцией* следует называть законченную повторяющуюся часть технологического процесса, которая выполняется на одном рабочем месте (на определенной технологической машине). Совокупность упорядоченных операций образует маршрут обработки. Операция является также основным организационным элементом технологического процесса.

Основным признаком **установки** является неизменность положения обрабатываемой заготовки относительно станочного приспособле-

ния. В каждой операции может быть один или несколько (редко более двух) установов.

На многопозиционных станках заготовка вместе с приспособлением последовательно переходит из одной рабочей *позиции* в другую, где она фиксируется на время обработки. На многих станках кроме *рабочей позиции*, выделяется *позиция загрузки заготовки в приспособление*.

Переходы бывают элементарными, инструментальными, блочными, позиционными и вспомогательными.

Элементарным переходом является законченный процесс образования одной типовой поверхности детали при ее обработке одним инструментом с конкретными режимами резания. *Инструментальным* переходом называется законченный процесс образования нескольких типовых поверхностей детали одним инструментом с конкретными режимами резания. *Блочным* называют переход, при котором выполняется законченный процесс образования поверхностей с помощью всех инструментов, закрепленных в блоке (суппорте многошпиндельной головке и т.д.). *Позиционный* переход — это совокупность всех блочных, а следовательно, и всех инструментальных переходов, выполняемых при обработке заготовки в одной рабочей позиции станка. *Вспомогательным* переходом называют часть процесса, связанного со вспомогательными движениями рабочего механизма и (или) механизмов станка, которые циклично повторяются и необходимы для выполнения процесса обработки детали на станке. Таким образом, операция — это комплекс всех инструментальных и вспомогательных переходов, выполняемых на одном рабочем месте с помощью определенного оборудования и оснастки.

Каждый элементарный переход можно формально представить некоторым множеством структурных и параметрических признаков. К первым относятся коды: формы обработанной поверхности, инструмента, станка и схемы установки заготовки, ко вторым — размеры обработанной поверхности и допуски на них, параметры режима обработки (скорость резания v , подача S , глубина резания t или a) и припуск z . Все это относится и к инструментальному, блочному и позиционному переходам, а также может быть распространено на операцию. Если толщина срезаемого слоя (припуск z или напуск) больше допустимой глубины резания t или a , то элементарный переход выполняется в несколько проходов.

Временная структура операции механической обработки, с одной стороны, является ее количественной характеристикой, указывающей,

сколько (один или несколько) одинаковых компонентов содержит операция, а с другой — определяет способ совмещения позиций, переходов и заготовок во времени и пространстве.

В свою очередь, временная структура операции зависит от количества рабочих позиций станка, инструментов и заготовок в каждой рабочей позиции, характера совмещения переходов и заготовок в рабочей позиции, особенностей совмещения вспомогательных и инструментальных переходов, способа получения размера и смены инструмента. **Классификация структур операций** по указанным признакам осуществляется следующим образом.

По количеству рабочих позиций P на станке операции делятся на однопозиционные (P_1) и многопозиционные (P_n). В зависимости от количества инструментов I (переходов) в каждой рабочей позиции различают одноинструментные (I_1) и многоинструментные (I_m) операции. В зависимости от количества заготовок D , обрабатываемых в каждой позиции, различают однодетальные (D_1) и многодетальные (D_n) операции.

По способу совмещения переходов и заготовок в рабочих позициях различают несовмещенные (0) операции, операции с последовательным (1) или параллельным (2) совмещением переходов и (или) заготовок, а также операции с последовательно-параллельным совмещением (3). Обычно в разных рабочих позициях станка обработка производится одновременно (параллельно), но бывают станки, на которых она выполняется последовательно, т.е. пока осуществляется обработка в одной из позиций, инструменты в других простаивают. Способ совмещения кодируется соответствующим символом (0, 1, 2 или 3), который записывается как показатель степени над символами качественных признаков (P , I и D).

По характеру совмещения вспомогательных и инструментальных переходов различают однозонные периодические ($Z_1^п$), двухзонные периодические ($Z_2^п$) и двухзонные непрерывные ($Z_2^н$) операции. В первом случае на станке рабочая зона совпадает пространственно с зоной загрузки заготовки. Следовательно, совмещение во времени вспомогательных и инструментальных переходов невозможно. В двухзонных операциях зона загрузки выделена пространственно и поэтому вспомогательные переходы могут полностью или частично совмещаться во времени с инструментальными.

В периодических операциях после выполнения рабочих движений инструмент и (или) заготовка возвращаются в исходное положение, т.е. выполняется вспомогательный переход, не совмещенный

с инструментальным. В непрерывных операциях вектор подачи заготовки в рабочую зону совпадает с вектором рабочей подачи, обработка ведется «на проход», поэтому нет необходимости в выполнении вспомогательного перехода возврата в исходное положение.

Операции, выполняемые на универсальных станках (токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных), обычно являются однопозиционными и однозонными периодическими. Если обработка одной заготовки ведется одним инструментом, то код временной структуры такой операции имеет вид $\Pi_1^0 I_1^0 D_1^0 Z_1^n$.

На рис. 7.51–7.53 приведены примеры структур операций. В операции, показанной на рис. 7.51, отверстие обрабатывается последовательно инструментами 1, 2, 3 и 4. Поэтому код временной структуры такой операции имеет вид $\Pi_1^0 I_m^1 D_1^0 Z_1^n$.

Обработка вала (рис. 7.52) ведется двумя блоками резцов. Один из которых осуществляет продольное (рис. 7.52, б), а другой — поперечное (рис. 7.52, а) точение. Оба блока работают одновременно. Код временной структуры такой операции имеет вид $\Pi_1^0 I_m^2 D_1^0 Z_1^n$.

В операциях, показанных на рис. 7.53, в рабочую зону действия фрезерных головок 1 и 2 последовательно и непрерывно подаются фрезеруемые заготовки. Загрузка заготовок и выгрузка деталей осуществляются вне рабочей зоны. Поэтому код временной структуры такой операции имеет вид $\Pi_1^0 I_1^0 D_k^1 Z_2^n$.

Временная структура операции определяет структуру и уровень затрат времени на ее выполнение.

Любая техническая система должна иметь по крайней мере две шкалы оценок: экономической эффективности и качества выполнения возложенных на систему функций. Эффективность функционирования технической системы определяется экономической целесообразностью ее использования.

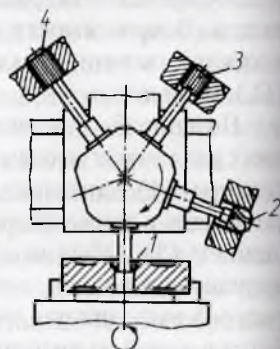


Рис. 7.51. Схема операции обработки отверстия на токарно-карусельном станке

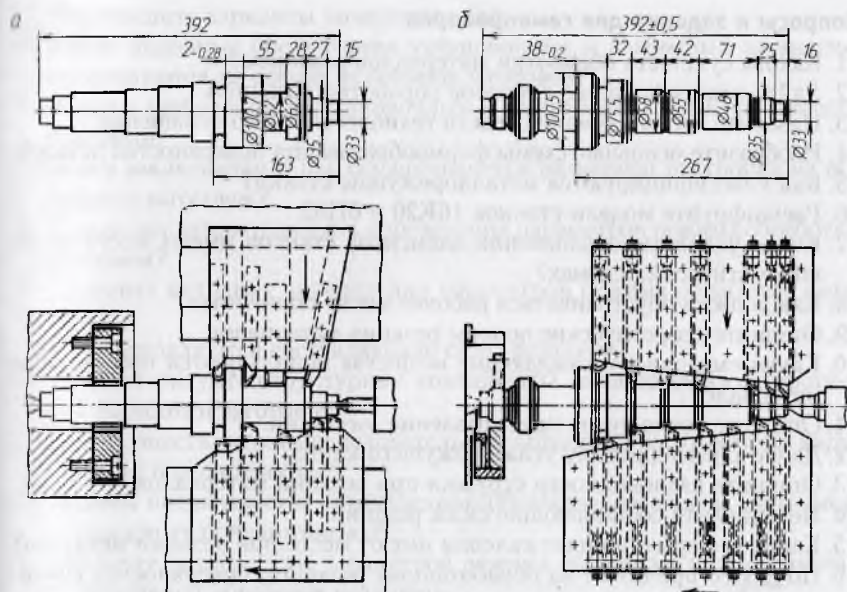


Рис. 7.52. Схема операции обработки вала на многорезцовом полуавтомате

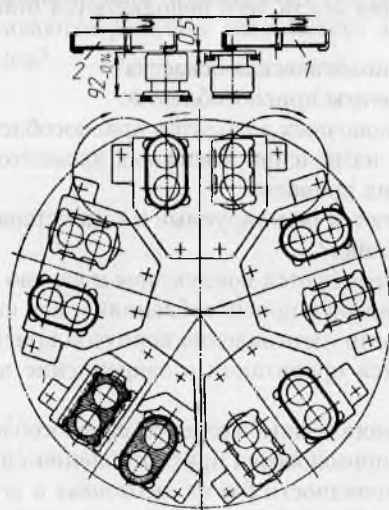
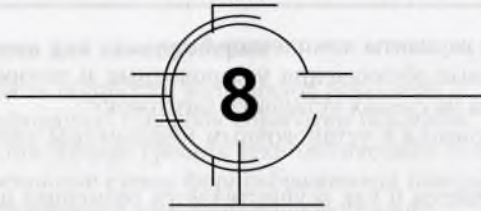


Рис. 7.53. Схема операции фрезерования заготовки с двух сторон на карусельном полуавтомате

Вопросы и задания для самопроверки

1. Какова сущность обработки материалов резанием?
2. Дайте классификацию способов обработки резанием.
3. Назовите составляющие средств технологического оснащения.
4. Изобразите основные схемы формообразования поверхностей деталей.
5. Как классифицируются металлорежущие станки?
6. Расшифруйте модели станков 16К20 и 6Н82.
7. Какие условные обозначения элементов станков имеют место на их кинематических схемах?
8. Как должно обустроиваться рабочее место станочника?
9. Опишите теоретические основы резания материалов.
10. Какие смазочно-охлаждающие вещества используются при резании материалов?
11. Опишите технологию приготовления эмульсии.
12. Дайте характеристику углам режущего клина.
13. Опишите разновидности стружки при резании материалов.
14. Перечислите составляющие силы резания.
15. Какие деформационные явления имеют место при резании металлов?
16. По каким причинам на обработанных резанием поверхностях возникают поднутренные неровности?
17. Изобразите схему резания материала абразивным зерном.
18. Перечислите и охарактеризуйте параметры режимов резания.
19. Как подразделяются и для чего используются станочные приспособления?
20. Что включает технологическая оснастка?
21. Перечислите элементы приспособлений.
22. Какова роль установочных элементов приспособлений?
23. Охарактеризуйте назначение зажимных элементов приспособлений и разновидности их приводов.
24. Для чего применяются регулируемые и самоустанавливающиеся опоры в приспособлениях?
25. В каких целях применяются кондукторы и каково их устройство?
26. Какова роль установов в приспособлениях и как они используются?
27. Опишите технологии изготовления корпусов приспособлений.
28. Как обеспечивается ориентация и закрепление приспособлений на станках?
29. Перечислите вспомогательные элементы приспособлений и их функции.
30. Когда и для чего применяются приспособления-спутники?
31. Перечислите разновидности баз на заготовках и деталях.
32. В чем сущность базирования и закрепления заготовок?
33. Как и когда осуществляется базирование заготовок с выверкой?
34. Каковы преимущества автоматического базирования заготовок?

35. Перечислите варианты комплектов баз.
36. Какие условные обозначения установочных и зажимных элементов используются на схемах установки заготовок?
37. Каковы требования к установочным и зажимным элементам приспособлений?
38. В чем заключается и как осуществляется размерная настройка на обработку заготовок?
39. Какова последовательность определения параметров режима обработки резанием?
40. Опишите методику определения параметров режима обработки резанием.
41. Как определяются составляющие силы резания?
42. Охарактеризуйте структурные компоненты технологических процессов обработки заготовок.
43. Как осуществляется последовательная обработка заготовок на карусельных полуавтоматах?
44. Каковы преимущества совмещенной обработки заготовок, например, на токарных полуавтоматах?
45. Опишите размерности параметров режима обработки при лезвийной и абразивной обработке резанием.
46. Какова роль контрольно-измерительных средств при обработке заготовок?
47. Приведите примеры стойкости различных режущих инструментов.
48. Как восстанавливаются режущие способности лезвийных и абразивных инструментов?



ЛЕЗВИЙНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ

8.1. Точение

Точение тел вращения осуществляется на станках токарной группы. Распространенными в единичном и мелкосерийном производстве являются **универсальные токарно-винторезные станки**, на которых можно осуществлять все виды точения, а также нарезание различных резьб, сверление, зенкерование, развертывание, накатывание и алмазное выглаживание. В состав этих станков (рис. 8.1, а) входят станина 10, передняя бабка 1, суппорт 2 с резцедержателем 3, задняя бабка 5, ходовой винт 6, ходовой вал 7, фартук 8 и коробка подач 9. Заготовка 4 может устанавливаться в центрах, в трехкулачковом патроне или в другом приспособлении. Движение резания осуществляется вращением шпинделя станка с закрепленной на нем заготовкой. Движения подачи $D_{S_{\text{пр}}}$ и $D_{S_{\text{п}}}$ обеспечиваются относительным продольным и поперечным перемещением суппорта станка с резцедержателем (резцом).

На рис. 8.1, б показан общий вид широко применяемого **токарно-винторезного станка мод. 16К20** (техническая характеристика приведена в табл. 8.1). Станина размещена на тумбах 1, 15. В тумбе 1 смонтирован электродвигатель главного привода станка, в тумбе 15 размещены бак и насосная станция подачи СОЖ. С левой стороны станины установлены коробка подач 2 с органами управления 3 и передняя бабка 4 с нониусом 5 и органами управления, в которой размещены коробка скоростей и шпиндель 6. На направляющих 13 станины установлены продольные салазки (каретка) 21, обеспечивающие движение $D_{S_{\text{пр}}}$ и имеющие поперечные направляющие 10, по которым, обеспечивая движение $D_{S_{\text{п}}}$, перемещаются поперечные салазки (каретка) 11. На каретке 11 размещена поворотная плита с направ-

ляющими для установки, поворота и перемещения резцовых салазок (верхней каретки) 7 с резцедержателем 8. На суппорте 21 закреплен фартук 22 с рукояткой 23 включения и выключения реечной шестерни и другими органами управления, соединенный соответствующими передачами с ходовым винтом 18, ходовым валом 19 и зубчатой рейкой 20 для обеспечения движений суппорта соответственно при нарезании резьбы, поперечном точении, продольном точении и быстром перемещении суппорта. Правые концы ходовых винта и вала поддерживаются задним кронштейном 16. С правой стороны на направляющих станины находится плита 14 с задней бабкой 12, в пиноли которой могут размещаться центры, сверла, зенкеры, развертки и патроны (державки) для другого инструмента.

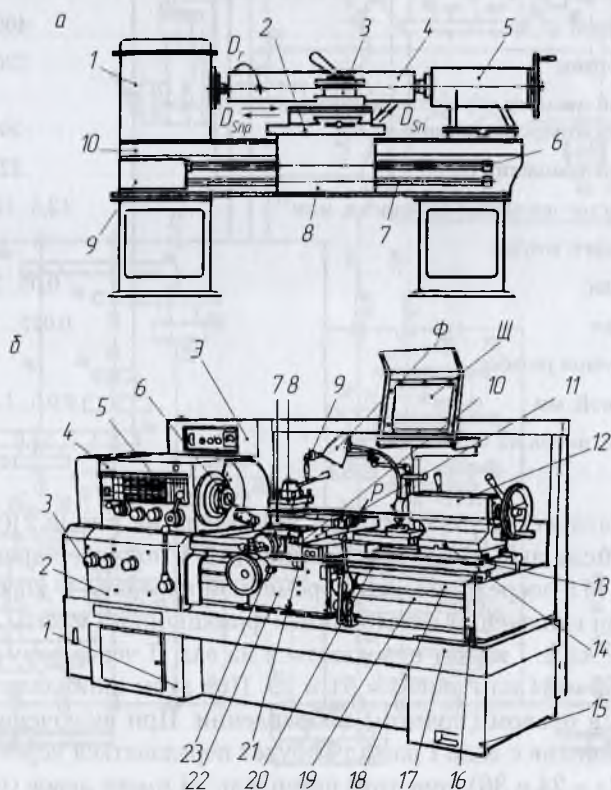


Рис. 8.1. Схема токарно-винторезного станка (а) и общий вид станка мод. 16К20 (б)

За передней бабкой установлен электроцилт Э с органами управления электросистемой. Насосная станция станка соединена трубопроводами с краном 9 подачи СОЖ, которая, поливая заготовку и инструмент, стекает в корыто (поддон) 17, а оттуда — в бак. Для предотвращения разбрасывания стружки и разбрызгивания СОЖ при обработке заготовок на станке предусмотрен откидной щиток Щ. Станок снабжен местным освещением в виде светильника (фонаря) Ф.

Таблица 8.1

Техническая характеристика станка 16К20

Параметр	Значение
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:	
над станиной	400
над суппортом	220
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, проходящего через отверстие шпинделя, мм	50
Число частот вращения шпинделя	22
Пределы частот вращения шпинделя, мин ⁻¹	12,5...1600,0
Пределы подач, мм/об:	
продольная	0,05...2,80
поперечная	0,025...1,500
Шаг нарезаемой резьбы:	
метрической, мм	0,5...112,0
дюймовой, ниток на 1"	56,0...0,5

Кинематическая схема станка приведена на рис. 8.2 (цифрами указаны числа зубьев колес). Шпиндель VI получает вращение от двигателя М1 посредством клиноременной передачи и коробки скоростей. При включении двусторонней фрикционной муфты М₁ влево вращение с вала I может передаваться на вал II через пару зубчатых колес $z = 56$ и 34 или пару $z = 51$ и 39 . При этом шпиндель VI будет вращаться в правом (прямом) направлении. При включении муфты вправо вращение с вала I на вал II будет передаваться через паразитный блок ($z = 24$ и 36), при этом шпиндель VI имеет левое (обратное) вращение. С вала II вращение на шпиндель передается по одним и тем же цепям как для прямого, так и для обратного вращения.

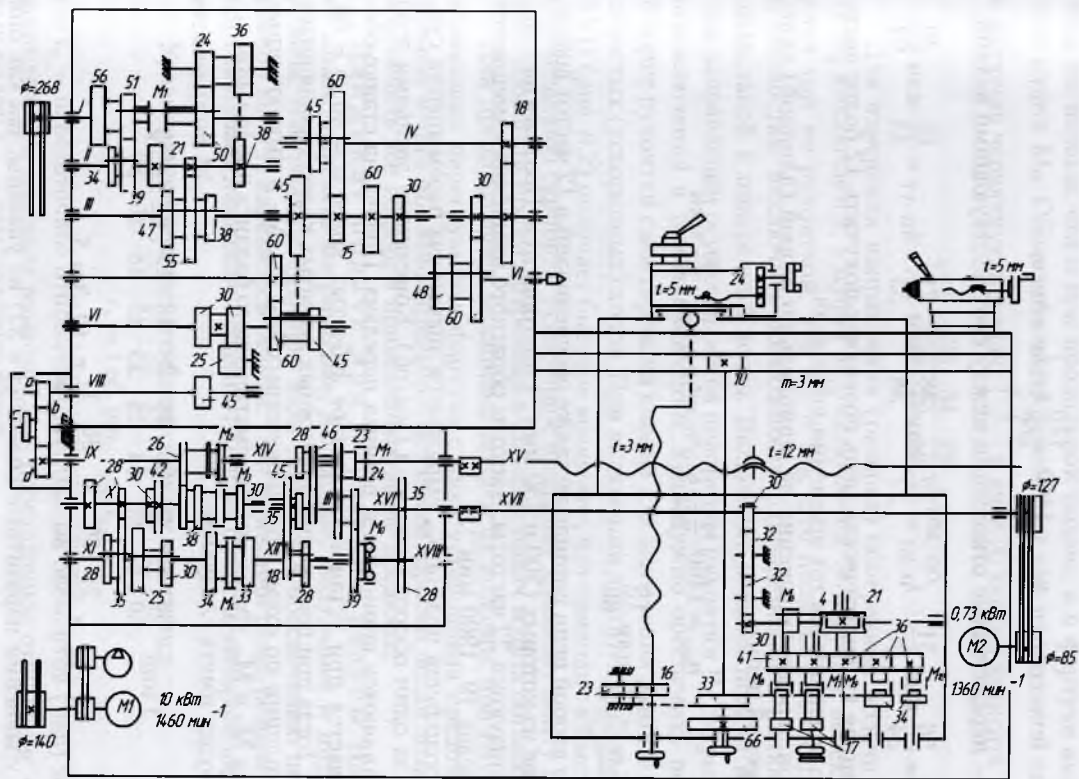


Рис. 8.2. Кинематическая схема токарно-винторезного станка мод. 16К20

Движение резания. При прямом вращении шпинделя коробка скоростей позволяет передавать вращение с вала I на шпиндель VI по двум кинематическим цепям. По первой (короткой) цепи

$$n_{\text{шп}} = 1460 \cdot \frac{140}{268} i_{I-II} i_{II-III} i_{III-VI}$$

где I — передаточные отношения между соответствующими валами:

$$i_{I-II} = \frac{56}{34} \text{ или } \frac{51}{39}; \quad i_{II-III} = \frac{29}{27}, \text{ или } \frac{38}{38}, \text{ или } \frac{21}{35}; \quad i_{III-VI} = \frac{60}{48} \text{ или } \frac{30}{60}.$$

Данная кинематическая цепь позволяет получить 12 более высоких по значению частот вращения шпинделя.

При передаче вращения на шпиндель по второй (длинной) кинематической цепи

$$n_{\text{шп}} = 1460 \cdot \frac{140}{268} i_{I-II} i_{II-III} i_{III-VI} \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60} \text{ мин}^{-1},$$

$$\text{где } i_{III-IV} = \frac{45}{45} \text{ или } \frac{15}{60}.$$

По второй цепи шпинделю также обеспечивается 12 частот вращения, две из которых (500 и 630 мин^{-1}) повторяются. Поэтому на станке реализуются 22 частоты. Частоты обратного вращения изменяются в пределах $19 \dots 1900 \text{ мин}^{-1}$.

Продольная подача $S_{\text{пр}}$ выражается значением перемещения суппорта за один оборот шпинделя (мм/об). Конечными звеньями этой цепи являются шпиндель и реечная передача. Подача на станке обеспечивается при установке в гитаре зубчатых колес $a = 40$, $b = 60$, $d = 64$. Тогда при положении подвижных зубчатых колес, находящихся в зацеплении по схеме при включенных M_3 , M_4 , M_6 и выключенных муфтах M_2 и M_5 , уравнение кинематического баланса продольной подачи будет иметь следующий вид:

$$1 \text{ мин}^{-1} \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{45} \cdot \frac{15}{48} \cdot \frac{23}{40} \cdot \frac{24}{39} \times \\ \times \frac{28}{35} \cdot \frac{30}{30} \cdot \frac{4}{21} \cdot \frac{36}{41} \cdot \frac{17}{66} \pi \cdot 10 \cdot 3 = S_{\text{пр}}$$

В уравнении паразитные колеса ($z = 32$) не указаны, так как они не изменяют передаточного отношения. Для реверса (включения обратного перемещения) продольной подачи включается муфта M_8 , а муфта M_7 выключается, что осуществляется одной рукояткой.

Движение поперечной подачи. Поперечная подача S_{Π} выражается также в мм/об. Конечные звенья цепи — шпиндель и ходовой винт. Для этого случая в коробке подач движение передается теми же парами, что и при продольной подаче, а в фартуке включается муфта M_9 . Обозначив часть уравнения для продольной подачи и включив червячную передачу $\left(\frac{4}{21}\right)$ в виде A , можно записать

$$S_{\Pi} = A \frac{36}{36} \cdot \frac{34}{29} \cdot \frac{29}{16} \cdot 5 \text{ мм/об.}$$

Для изменения направления (реверса) поперечной подачи муфта M_9 выключается, а муфта M_{10} включается. Эти муфты переключаются той же рукояткой, что M_7 и M_8 . Это позволяет блокировать и полностью исключить возможность одновременного включения продольной и поперечной подач. Включение нужной подачи в нужном направлении осуществляется поворотом рукоятки P (см. рис. 8.1) переключения в том направлении, куда нужно обеспечить подачу. В торце рукоятки смонтирована кнопка для включения двигателя M_2 холостых (ускоренных) ходов. При включении двигателя ходовой вал XVII (рис. 8.2) получает быстрое вращение, что приводит к быстрому перемещению суппорта. Ускоренное вращение ходовому винту позволяет сообщить предусмотренная в коробке подач муфта обгона M_6 .

Для предохранения механизма подачи от поломок при случайно возникших перегрузках в фартуке станка установлена предохранительная муфта M_6 . Множительный механизм коробки подач позволяет обеспечить все подачи в приведенных выше пределах.

Движение подачи при нарезании резьбы. На станке можно нарезать метрические, дюймовые, модульные и питчевые резьбы. Настройка станка при этом сводится к обеспечению подачи, равной шагу t_p нарезаемой резьбы. При нарезании резьб резцами суппорт получает движение подачи от ходового винта, который включается муфтой M_5 .

Уравнение кинетического баланса будет иметь вид

$$t_{\Pi} = 1 \text{ об. шп.} \cdot i_{\Pi} i_{\text{см}} i_{\text{х.в}}$$

где i_{Π} — передаточное отношение постоянных элементов (пар) между шпинделем и ходовым винтом; $i_{\text{см}}$ — передаточное отношение сменных колес; $i_{\text{х.в}}$ — шаг ходового винта.

При нарезании метрических и дюймовых резьб в гитаре устанавливаются сменные колеса ($a = 40$, $b = 86$, $d = 64$). При этом значения

шага метрической резьбы составляет 0,5...112,0 мм, дюймовой — 56,0...0,5 нитки на дюйм. Для нарезания модульных и питчевых резьб устанавливаются сменные колеса ($a = 60$, $b = 73$, $c = 86$, $d = 36$). В этом случае значения шага модульной резьбы находятся в диапазоне 0,5...112,0 мм и питчевой 56,0...0,5 питча.

В случае, если возникает необходимость нарезать резьбы с шагами, выходящими за приведенные выше пределы, подбираются и устанавливаются сменные колеса с другим количеством зубьев. Двойной блок вала VII с $z = 60$ и 45 называется *звеном увеличения шага резьбы*.

Если вал VII получает вращение от шпинделя через зубчатые колеса 60/60, то за один оборот шпинделя он поворачивается также на один оборот (это положение нормального шага). Когда валу VII сообщается вращение от вала III через зубчатые колеса 45/45, то за один оборот шпинделя в зависимости от положения блоков (45...60, 48...60) вал VII может получить в 2, 8 или в 32 раза большую частоту вращения, а соответственно подача и шаг нарезаемой резьбы увеличатся во столько же раз без переключения коробки подач.

При нарезании дюймовых и питчевых резьб муфты M_2 , M_3 и M_4 отключаются. Для нарезания резьбы повышенной точности включаются муфты M_2 и M_5 , и тогда вращение ходовому винту будет передаваться от гитары сменных колес через валы IX и XIV. Шаг нарезаемой резьбы при этом обеспечивается сменными зубчатыми колесами. Для нарезания многозаходных резьб на шпинделе станка закреплено кольцо с 60 делениями, а на корпус передней бабки нанесена риска.

К токарной группе относятся также *токарно-револьверные станки*, используемые в серийном производстве. После модернизации и превращения в автоматы их применяют в массовом и крупносерийном производстве. Токарно-револьверные станки отличаются от токарно-винторезных наличием револьверной головки (которая устанавливается на револьверном суппорте, размещаемом вместо задней бабки) и отсутствием ходового винта. В гнездах револьверной головки можно закреплять резцы, сверла, метчики, плашки и другие инструменты, а также многоинструментальные державки для одновременной обработки нескольких поверхностей заготовки. Поэтому эти станки более производительны, чем токарно-винторезные. Станки могут быть с вертикальной и горизонтальной осями вращения револьверной головки. На станках с вертикальной осью вращения головки наряду с револьверным суппортом предусмотрен такой же суппорт, как и на токарных станках, имеющий продольную и поперечную подачи, что расширяет технологические возможности и повышает производительность в результате совмещения операций.

Токарно-револьверные станки позволяют использовать в качестве заготовок прутки и штучные заготовки. На станке с вертикальной осью вращения револьверной головки (рис. 8.3, а) инструмент суппорта 6 имеет продольную и поперечную подачи.

На суппорте смонтирован барабан 2 с упорами, который используется при обработке с ручной подачей. Для револьверного суппорта 5 предусмотрена лишь продольная подача. На этом суппорте установлена револьверная головка 3, которая в период отвода суппорта вправо автоматически поворачивается для установки в рабочую позицию другого инструмента. Одновременно поворачивается и барабан 4 с упорами. При повороте упоры через соответствующие переключатели подают команду на переключение коробок 1 и 8, а соответственно

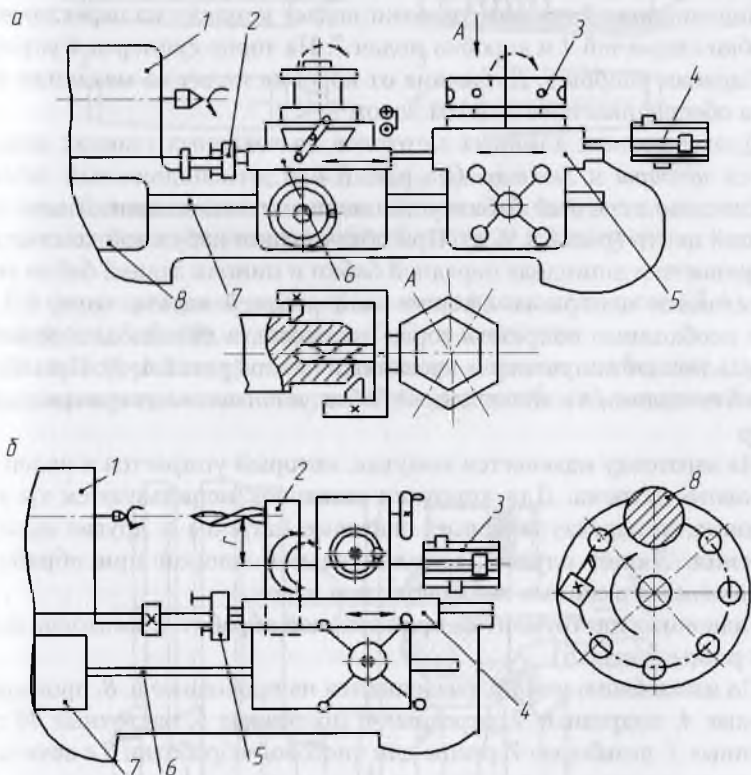


Рис. 8.3. Схемы револьверных станков с вертикальной (а) и горизонтальной (б) осью вращения револьверной головки

и на изменение скоростей и подач на новые параметры режима обработки v и S . Движение с коробки подач на суппорты передается ходовым валом 7. На виде сверху представлена многоинструментальная державка, позволяющая совмещать обработку нескольких поверхностей заготовки, установленной в шпинделе станка.

Револьверная головка 2 (рис. 8.3, б) с горизонтальной осью вращения посредством револьверного суппорта 4 получает продольную подачу. Другие суппорты на этом типе станков отсутствуют. Выполнение таких операций, как подрезка торцов, проточка канавок, отрезка детали 8, поперечная к оси заготовки подача, обеспечивается вращением револьверной головки, где имеет место круговая подача, выполняемая механически или вручную. Для замены инструмента в рабочей позиции головка поворачивается. При этом командоаппарат 3 своими упорами подает команду на переключение коробки скоростей 1 и коробки подач 7. На торце суппорта 4 установлен барабан упоров 5. Движение от коробки подач на механизм суппорта обеспечивается ходовым валом 6.

Для установки длинных заготовок на токарных станках используются *центры* и *люнеты* (на рис. 8.4, а — неподвижный люнет). В шпинделе передней бабки устанавливают неподвижный или плавающий центр (рис. 8.4, б, в). При обтачивании наружной конической поверхности в шпинделе передней бабки и пиноли задней бабки устанавливаются центры со сферической рабочей частью (рис. 8.4, г). Если необходимо подрезать торец заготовки, в пиноль задней бабки устанавливают полуцентр — срезанный центр (рис. 8.4, д). При обычном обтачивании в пиноль задней бабки устанавливают вращающийся центр.

На заготовку надевается хомутик, который упирается в палец поводкового патрона. Для коротких заготовок используются трехкулачковые, четырехкулачковые, цанговые патроны и другие приспособления. Люнет служит дополнительной опорой при обработке вращающихся длинных заготовок типа валов.

Основным инструментом при токарной обработке заготовок являются *резцы* (рис. 8.5).

По назначению они подразделяются на проходные 6, 8, проходные упорные 4, подрезные 7, отрезные и прорезные 5, расточные 10 и 9, фасонные 2, резьбовые 7, резцы для чистовой обработки 3 с зачищающей гранью и др.

По направлению движения резцы могут быть правые (3, 4, 6, 8) и левые (7), радиальные и тангенциальные.

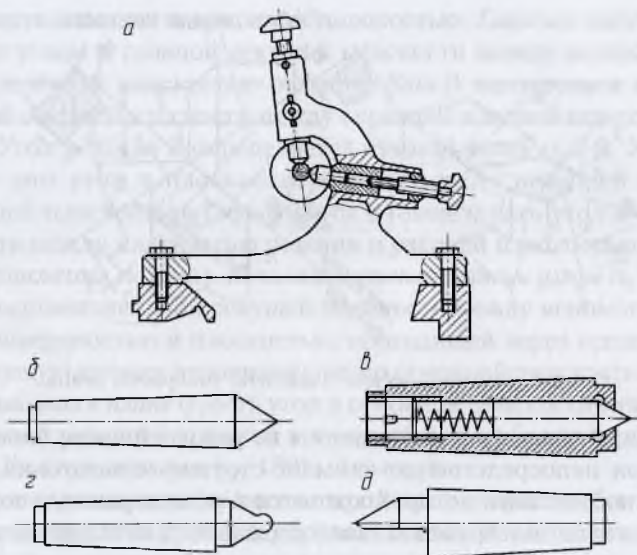


Рис. 8.4. Люнет и центры:

a — неподвижный люнет; центры: *б* — неподвижный; *в* — плавающий;
г — со сферической рабочей частью; *д* — срезанный

По форме режущей части среди них выделяют прямые (3, 6), отогнутые (1, 4, 8, 9, 10), оттянутые (5, 7) и изогнутые.

По конструкции различаются резцы цельные и сборные (с креплением режущих пластинок различными способами), резцовые блоки.

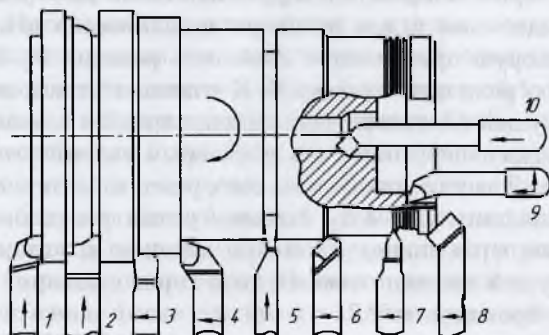


Рис. 8.5. Основные типы резцов и их относительные движения

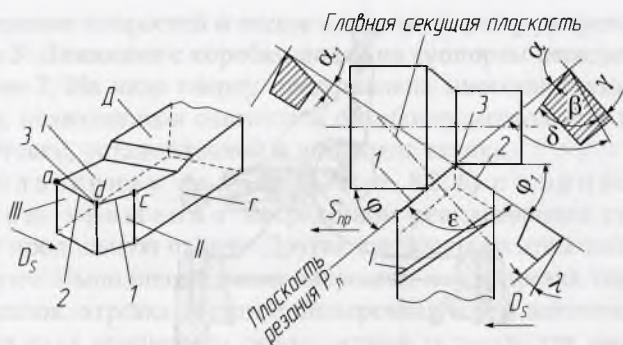


Рис. 8.6. Геометрические элементы токарного резца

Токарный резец (рис. 8.6) состоит из режущей части (головки) Г, которой он непосредственно снимает стружку с заготовки, и державки Д, посредством которой крепится в резцедержателе токарного станка или многоинструментальной державке. Для создания условий резания головка резца имеет определенные поверхности, кромки и углы.

Поверхности (грани) токарного резца: передняя I, по которой сходит стружка; главная задняя II, обращенная к обрабатываемой поверхности заготовки и поверхности резания; вспомогательная задняя III, обращенная к обработанной поверхности заготовки. При пересечении передней поверхности I с главной задней поверхностью II образуется главная режущая кромка 1 длиной dc . Пересечением поверхностей I и III образована вспомогательная режущая кромка 2 длиной ad . Точка пересечения поверхностей I–III образует вершину 3 резца. Последний работает при его движении D_s относительно заготовки.

Для определения углов резца устанавливается исходная плоскость, за которую принимается плоскость резания P_n , проходящая через главную режущую кромку 1. К главным углам, измеряемым в главной секущей плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке, относятся передний угол γ , главный задний угол α , угол δ резания и угол β заострения. Кроме того, резец характеризуется вспомогательным задним углом α_1 , главным углом φ в плане, вспомогательным углом φ_1 в плане, углом при вершине ϵ , углом λ наклона главной режущей кромки относительно горизонтальной плоскости, проходящей через вершину 3.

Ниже даны определения углов лезвия по ГОСТ 25762–83. *Передний угол γ* — это угол в главной секущей плоскости между передней

поверхностью лезвия и основной плоскостью. *Главный задний угол* α является углом в главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания. *Угол β заострения* есть угол в главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия. Угол резания δ определяется суммой углов α и β . *Угол λ наклона* — это угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью. *Главный угол* в плане φ есть угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью (направлением движения подачи). *Вспомогательным задним углом* α_1 является угол во вспомогательной секущей плоскости между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости. *Вспомогательный угол в плане* φ_1 есть угол в основной плоскости между вспомогательной режущей кромкой и направлением, обратным движению подачи. *Угол при вершине* $\epsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$.

Цельные резцы изготавливаются из одного материала (быстрорежущей стали, твердого сплава), сборные оснащаются пластинками из быстрорежущих сталей, твердых сплавов, минералокерамики или СТМ. Типы конструкции резцов выбираются с учетом комплекса технологических и экономических показателей (характера операции, свойств материала).

Геометрические параметры и материал резцов оказывают существенное влияние на процесс резания. Для точения твердых и прочных материалов применяются резцы с большим углом заострения ($\beta > 90^\circ$). Передний угол обычно имеет значения $\gamma = 5...15^\circ$. Наибольшие значения принимаются для обработки мягких, пластичных и менее прочных материалов. Наименьшие значения γ , вплоть до отрицательных, присущи резцам для обработки твердых и высокопрочных материалов. Иногда передняя поверхность с целью повышения прочности и стойкости резцов выполняется двойной: одна часть ее (у режущей кромки) изготавливается в виде фаски шириной 1...2 мм с углом $\gamma = -5^\circ$; другая — с положительным значением γ . Кроме того, на передней поверхности резца могут быть предусмотрены стружкозавивающие канавки и уступы — стружколомы, имеющие механическое крепление. Чем больше главный задний угол α , тем меньше потери на трение, но при этом меньшие значения принимают прочность и износостойкость резца, и наоборот. Задняя поверхность также может быть двойной: в виде фаски с углом $\alpha = 5...8^\circ$ и остальной поверхности с $\alpha = 10...12^\circ$. Резец с такой поверхностью также будет обладать повышенными износостойкостью и прочностью. Задавшись значениями,

например, двух углов, можно из равенства $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ определить значение третьего угла.

Главный угол φ в плане может принимать значения в пределах $\varphi = 45 \dots 90^\circ$. Вспомогательный угол φ_1 в плане во многом определяет качество отделки поверхностей. Чем меньше значение φ_1 , тем качественнее поверхность, и наоборот. Но при малых значениях увеличиваются потери на трение, возрастает температура в зоне резания. Значение угла ε при вершине можно определять из выражения $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$.

Следует иметь в виду, что в процессе обработки фактические значения углов режущей части могут изменяться в зависимости от правильности установки резца относительно заготовки в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Угол λ является положительным, если вершина головки резца — наинизшая точка режущей кромки, и наоборот. Значение и знак угла λ влияют на направление схода стружки и распределение силы резания по длине режущей кромки. Например, для обдирочных работ используются резцы с углом λ (до $+60^\circ$). Стружка в этом случае будет направлена на обработанную поверхность. Применять резцы с таким углом λ для чистовой обработки недопустимо, так как будет иметь место царапание стружкой обработанной поверхности. Для чистовой обработки лучше использовать резцы с отрицательным углом λ (до -5°), когда стружка направлена на обрабатываемую (исходную) поверхность. При прерывистом точении рекомендуется применять резцы с углами $\lambda = +10 \dots -15^\circ$ и $\gamma = -5 \dots -10^\circ$.

Токарная обработка осуществляется при главном движении (вращении заготовки) и движениях подачи инструмента (рис. 8.7, а). Формообразование поверхностей при обработке с продольным движением подачи осуществляется по методу следов, при обработке с поперечным движением — в основном по методу копирования. Перемещения инструментов и управление ими могут осуществляться полностью или частично вручную (универсальные станки), от кулачков или копиров (полуавтоматы и автоматы) или по управляющим командам программ системы ЧПУ станка.

Наружные цилиндрические поверхности обтачиваются (рис. 8.7, б) *прямыми* или *упорными проходными резцами*. Заготовки гладких валов обтачивают, устанавливая их в центрах. Заготовки ступенчатых валов обтачивают по схемам деления припуска (многопроходная обработка) или заготовки на части. Для обработки нежестких валов рекомендуется использовать резцы с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$.

При этом радиальная составляющая силы резания $P_y = 0$, что снижает деформацию (прогиб) в процессе обработки и повышает точность обработки.

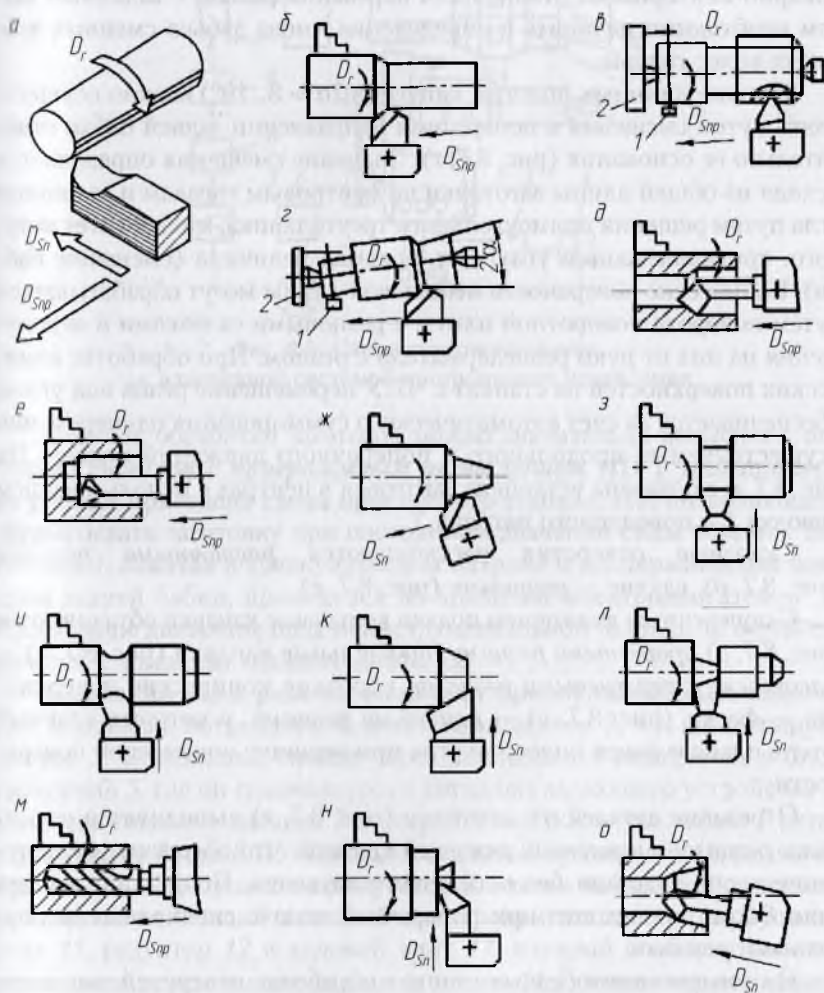


Рис. 8.7. Схемы обработки заготовок на токарных станках:

а — движения при токарной обработке; *б* — обтачивание; *в* — нарезание резьбы; *г, ж, к* — обтачивание конических поверхностей; *д, е* — растачивание; *з, и* — протачивание канавок; *л* — отрезание; *м* — сверление; *н* — подрезание; *о* — растачивание конической поверхности

Наружные (рис. 8.7, *в*) и внутренние резьбы нарезаются *резьбовыми резцами*, форма и расположение режущих кромок которых определяет профиль нарезаемых резьб. Наладку универсальных токарно-винторезных станков для нарезания резьбы с заданным шагом необходимо начинать с определения числа зубьев сменных зубчатых колес гитары.

Точение длинных пологих конусов ($2\alpha = 8...10^\circ$) можно осуществлять путем смещения в поперечном направлении задней бабки относительно ее основания (рис. 8.7, *г*). Значение смещения определяется исходя из общей длины заготовки по центровым гнездам и заданного угла путем решения прямоугольного треугольника, малый катет которого, противолежащий углу, есть искомая величина (смещение бабки). Конические поверхности небольшой длины могут обрабатываться путем поворота поворотной плиты с резцовыми салазками и перемещения на них от руки резцедержателя с резцом. При обработке конических поверхностей на станках с ЧПУ перемещение резца под углом обеспечивается за счет автоматического суммирования одновременно осуществляемых продольного и поперечного движений подачи. На рис. 8.7, *в, г* показана установка заготовок в центрах с использованием поводка 1 и поводкового патрона 2.

Сквозные отверстия растачиваются *расточными резцами* (рис. 8.7, *д*), глухие — *упорными* (рис. 8.7, *е*).

С поперечным движением подачи кольцевые канавки обтачиваются (рис. 8.7, *з*) *прорезными резцами*, профильные канавки (рис. 8.7, *и*) — *фасонными стержневыми резцами*, короткие конические поверхности — *фаски* (рис. 8.7, *к*) — *широкими резцами*, у которых главный угол в плане ϕ равен половине угла при вершине конической поверхности.

Отрезание деталей от заготовки (рис. 8.7, *л*) выполняется *отрезными резцами с наклонной режущей кромкой*, что обеспечивает получение торца у детали без остаточного заусенца. Подрезание торцов (рис. 8.7, *н*) происходит при поперечной подаче специальными *подрезными резцами*.

На токарно-винторезных станках обработка отверстий выполняется сверлами (рис. 8.7, *м*), зенкерами и развертками. Обтачивание наружных и растачивание внутренних конических поверхностей средней длины (рис. 8.7, *ж, о*) с любым углом конуса при вершине производятся на токарно-винторезных станках с наклонным движением подачи резцов при повороте резцовых салазков.

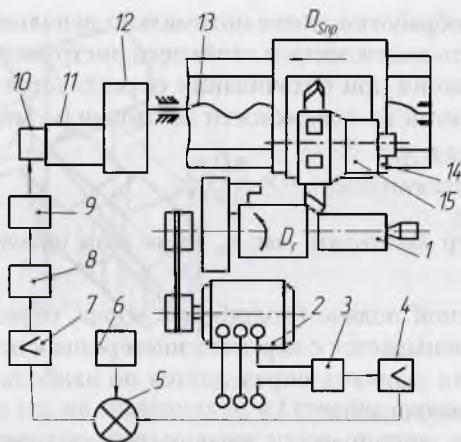


Рис. 8.8. Схема токарного станка с адаптивной системой программного управления

Точность обработки заготовок можно значительно повысить с помощью **станков с программным управлением** (ПУ). Для примера на рис. 8.8 приведена схема простейшего станка с ПУ, позволяющего обрабатывать заготовку при постоянном значении силы резания. Заготовка 1, зажатая в трехлапчатом патроне и поддерживаемая центром задней бабки, приводится во вращение электродвигателем 2. Продольное движение подачи инструментальной головки 15 осуществляется с помощью ходового винта 13.

Колебания силы резания вызывают пропорциональные изменения мощности, потребляемой электродвигателем 2, что регистрирует датчик 3. Возникший сигнал через усилитель 4 передается в блок сравнения 5, где он сравнивается с сигналом задающего устройства 6. Разность сигналов датчика 3 и устройства 6 после усилителя 7 регистрируется в блоке 8 ПУ. После этого сигнал суммируется с сигналом программы и поступает в коммутатор 9, а затем на силовой следящий привод, включающий шаговый электродвигатель 10, гидроусилитель 11, редуктор 12 и ходовой винт 13, который сообщает рабочее продольное перемещение подачи суппорта 14. В зависимости от знака разности сигналов датчика и задающего устройства происходит увеличение или уменьшение продольной подачи, которая через изменение сечения снимаемой стружки варьирует силу резания. Обработка заготовки при постоянной силе резания позволяет уменьшить колебания упругих деформаций в технологической системе, приводящих

к погрешностям обработки, более оптимально использовать мощность станка и повысить надежность и стойкость инструмента.

Скорость резания при обтачивании определяется окружной скоростью точки, взятой на поверхности заготовки, м/мин:

$$v = \frac{\pi D_3 n_3}{1000},$$

где D_3 — диаметр заготовки, мм; n_3 — частота вращения заготовки, мин^{-1} .

При поперечной подаче (подрезание торца, отрезка) скорость v непостоянна и уменьшается с перемещением резца к центру заготовки. При растачивании скорость определяется по наибольшему диаметру обработанной поверхности.

При точении различаются подачи продольная $S_{\text{пр}}$, поперечная $S_{\text{п}}$ и наклонная $S_{\text{н}}$ (при точении конических поверхностей; см. рис. 8.7, ж, о). Подача выражается в мм/мин ($S_{\text{м}}$) и в мм/об. ($S_{\text{о}}$). Глубина резания t при обработке в несколько проходов выбирается индивидуально для каждого из них.

Для различных видов обработки установлена эмпирическая связь между v , S и t . Для токарной обработки она выражается зависимостью

$$v = \frac{C_v k_v}{T_n^m t^{X_v} S^{Y_v}},$$

где C_v , k_v , m , X_v , Y_v — экспериментальные коэффициенты и показатели степени. Они учитывают свойства материалов, условия обработки в каждом конкретном случае точения и при определенном периоде стойкости T , мин, инструмента и приводятся в справочниках [36 и др.].

Толщина срезаемого слоя a измеряется в направлении, перпендикулярном режущей кромке, между двумя последовательными положениями плоскости резания за один оборот заготовки:

$$a = S_0 \sin \varphi,$$

где φ — главный угол в плане резца.

Ширина срезаемого слоя (ширина среза) b является длиной стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}.$$

Если у резца $\gamma \neq 0$, $\lambda \neq 0$, то в общем случае $a = S_0 \sin \varphi / \cos \gamma$, $b = t / \sin \varphi \cos \lambda$.

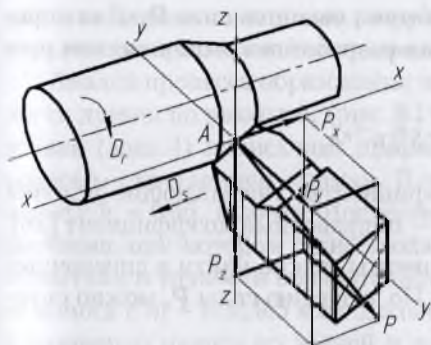


Рис. 8.9. Схема сил, действующих на проходной резец

При одних и тех же значениях S_0 и t сечение срезаемого слоя может принимать различную форму, зависящую от типа режущей кромки и значения угла ϕ .

В процессе обработки на резец, равно как и на заготовку, действуют силы сопротивления резанию. Вектор равнодействующей этих сил \mathbf{P}^* при точении можно приложить в середине (в точке A) контактной части главной режущей кромки резца (рис. 8.9). Для удобства расчетов вектор \mathbf{P} раскладывается на составляющие в системе координат XYZ : \mathbf{P}_x , \mathbf{P}_y , \mathbf{P}_z .

Осевая сила \mathbf{P}_x , действующая в направлении, противоположном направлению движения подачи D_s , учитывается при расчетах на прочность механизма продольной подачи станка и резца на изгиб в плоскости XU . Радиальная сила \mathbf{P}_y принимается во внимание при расчетах на прочность механизма поперечной подачи станка, сопротивления отжиму резца и изгиба заготовки в плоскости XU . Тангенциальная сила \mathbf{P}_z , совпадающая с направлением вектора скорости движения резания, называется силой резания. Эта сила учитывается при расчетах мощности станка, работы резания и сопротивления резца изгибу в плоскости YZ . Равнодействующая всех рассмотренных сил имеет следующий вид:

$$\mathbf{P} = \sqrt{\mathbf{P}_x^2 + \mathbf{P}_y^2 + \mathbf{P}_z^2}.$$

На значение и соотношение между силами \mathbf{P}_x , \mathbf{P}_y и \mathbf{P}_z влияют геометрические параметры режущей части резца, параметры режима резания, свойства материалов заготовки и лезвия инструмента, применяемые СОЖ, жесткость технологической системы, условия обра-

Здесь и далее векторные величины выделены полужирным шрифтом.

ботки. Наибольшей по значению обычно является сила P_z . Для определения значения этой и других сил разработаны эмпирические расчетные формулы. Например,

$$P_z = C_p t^{x_p} S^{y_p} v^{-z_p} k_p,$$

где C_p , x_p , y_p , k_p — опытные коэффициенты, учитывающие условия резания и свойства материалов; k_p — поправочный коэффициент [36].

Перечисленные выше коэффициенты можно найти в справочных и других нормативных источниках. По значению силы P_z можно определить эффективную мощность:

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z v}{60037,2}, \text{ кВт.}$$

С увеличением v , S , t возрастает объем снимаемого в единицу времени материала, повышается производительность. Но увеличение параметров режима резания сверх определенного уровня может привести к быстрому изнашиванию инструмента и выходу из строя оборудования.

Разрушение режущей части резца может происходить в виде абразивного разрушения (образование лунки на передней поверхности резца и площадки — на задней; рис. 8.10), выкрашивания при наличии адгезионно-усталостного или диффузионного воздействия, осыпания

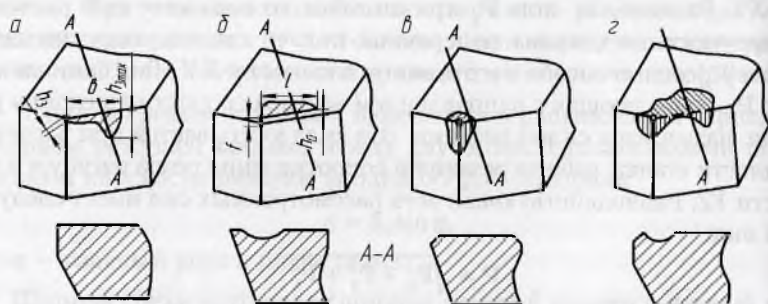


Рис. 8.10. Виды изнашивания лезвия резца из быстрорежущей стали: *a* — неравномерный износ по задней поверхности (образование площадки шириной b и высотой h_3); *б* — износ передней поверхности в виде образования лунки длиной l и максимальной шириной h_0 и фаски шириной f ; *в* — износ вершины резца; *г* — износ лезвия резца одновременно по задней и передней поверхностям

или мгновенного лавинного разрушения пластинок, например из минералокерамики, кристаллов алмаза, КНБ.

Анализ процесса образования площадки износа на задней поверхности лезвия по высоте h_3 (рис. 8.11) показывает, что в начале работы лезвия (зона I) происходит приработка рабочих поверхностей с некоторым округлением кромки. В этой зоне наблюдается начальный износ с $h_3 = 0,05...0,10$ мм. Постепенно износ достигает определенного значения, при котором не наблюдается заметного ухудшения микрогеометрии и точности обработанной поверхности (зона II нормального износа с $h_3 \sim 0,3...0,5$ мм). Дальнейшая работа приводит к резкому увеличению износа по задней и передней поверхностям и разрушению режущего лезвия (зона III катастрофического износа).

Время работы резца до допустимого значения износа, определяемого критерием затупления, называется периодом стойкости или просто стойкостью T_{II} инструмента, выражаемой обычно в минутах.

Допустимый износ определяют визуально: устанавливают момент прекращения работы инструмента путем измерения размеров площадок и лунок износа (например, при точении жаропрочных, титановых и тугоплавких сплавов допустимое значение $h_{II} = 0,3...0,5$ мм, а при точении сталей — $h_{II} = 0,8...1,0$ мм); находят погрешности обработанной поверхности, вызванные износом инструмента.

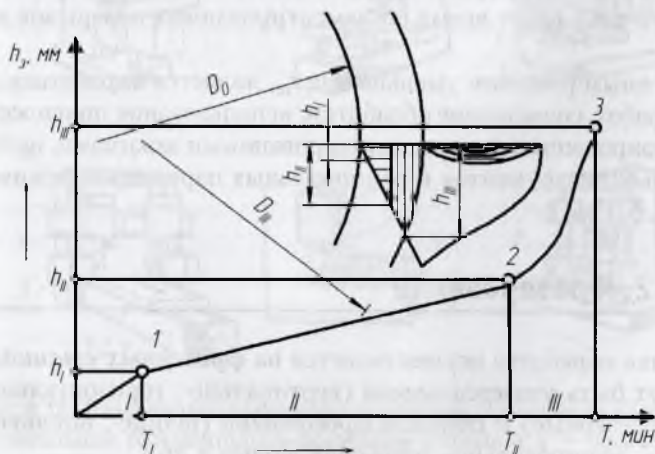


Рис. 8.11. Зависимость износа резца по задней поверхности от времени его работы

С учетом условий обработки и свойств материалов зависимость $T_{и} = f(v, S, t)$ имеет вид

$$T_{и} = \left(\frac{C_r K_v}{vt^3 S^y} \right)^{1/m}$$

Величина m , характеризующая интенсивность изменения стойкости, находится по справочникам, в частности для точения $m = 0,1 \dots 0,4$.

Обычно для проходных резцов $T_{и} = 30, 60, 90$ мин, для резьбовых и фасонных $T_{и} = 90, 120$ мин. Наибольшая размерная стойкость резцов достигается при оптимизации скоростей резания.

Оценка производительности и экономичности процесса обработки точением может производиться по штучному времени $t_{шт}$, мин:

$$t_{шт} = t_o + t_v + t_{об} + t_{пер}$$

Здесь t_o — основное (технологическое, машинное) время: при точении за один проход $t_o = L/n_3 S_o$, где L — длина прохода лезвия инструмента, которая складывается из длины обрабатываемой поверхности $l_{и}$, величины врезания l_v и выхода (перебега) l_n резца из контакта с заготовкой, мм; n_3 — частота вращения заготовки, мин^{-1} ; S_o — подача резца, мм/об.; t_v — вспомогательное время (установка заготовки и снятие ее с приспособления, управление станком и др.); $t_{об}$ — время технического и организационного обслуживания рабочего места (наладка приспособлений, транспортирование заготовок, уборка стружки и станка и т.п.); $t_{пер}$ — время регламентированных перерывов в работе (отдых).

Основным резервом уменьшения $t_{шт}$ является автоматизация станочных работ, совмещение обработки, использование приспособлений с механизированными и автоматизированными зажимами, выбор прогрессивных инструментов и рациональных параметров режима обработки (v, S, t).



8.2. Фрезерование

Данная обработка осуществляется на **фрезерных станках**, которые могут быть *универсальными* (вертикально-, горизонтально-, продольно-фрезерные) и *специализированными* (шлище-, шпоночно-, карусельно-, копировально-, резьбофрезерные и др.).

По конструктивным особенностям эти станки подразделяются на *консольные*, когда стол расположен на подъемном кронштейне-

консоли; *бесконсольные*, у которых стол перемещается на неподвижной станине в продольном и поперечном направлениях; непрерывного действия (карусельные и барабанные).

В единичном, мелкосерийном и серийном производстве наиболее распространены консольные станки. *Универсальный консольный горизонтально-фрезерный станок* (рис. 8.12, а) имеет горизонтальный шпиндель 2 и выдвижной хобот 1, на котором закреплена серьга (подвеска) 3, поддерживающая установленную в шпиндель оправку с фрезой. Консоль 4 перемещается по направляющим стойки 5. На консоли размещены салазки 6 и стол 7.

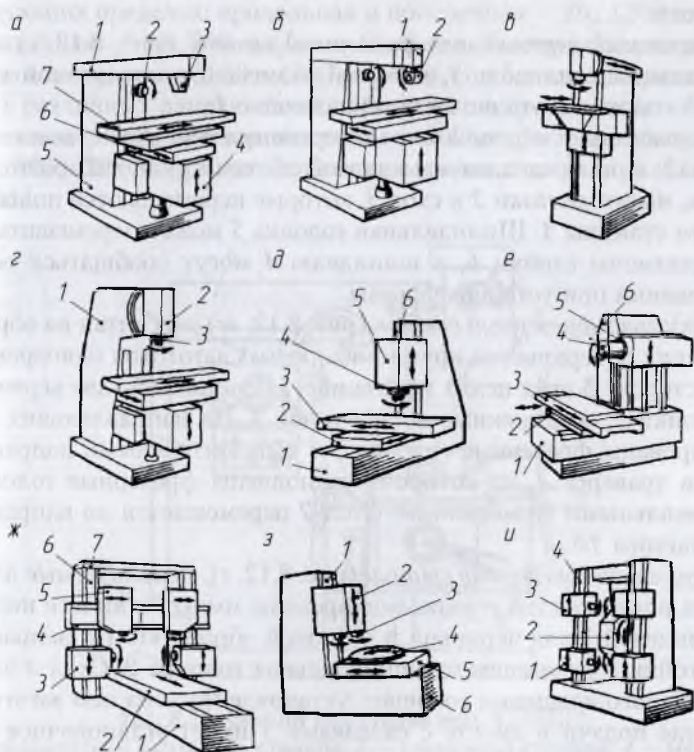


Рис. 8.12. Разновидности фрезерных станков и движения на них: а, б — консольные горизонтально-фрезерные станки; в, г — бесконсольный и консольный вертикально-фрезерные станки; д, е — бесконсольные вертикально- и горизонтально-фрезерные станки; ж, з, и — продольно-, карусельно- и барабанно-фрезерные станки

Консольный горизонтально-фрезерный (рис. 8.12, б) и *бесконсольно-фрезерный* (рис. 8.12, в) станки являются широкоуниверсальными. Первый из них, помимо горизонтального шпинделя, имеет шпиндельную головку 1, которая может поворачиваться на хоботе в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, благодаря чему шпиндель с фрезой можно фиксировать под любым углом к установленной на столе обрабатываемой заготовке. На головке 1 монтируют головку 2 для фрезерования, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания. Бесконсольно-фрезерный станок имеет такие же технологические возможности, как и консольный горизонтально-фрезерный, за счет поворота шпиндельной головки на любой угол в вертикальной плоскости.

Консольный вертикально-фрезерный станок (рис. 8.12, г) имеет вертикальный шпиндель 3, который размещен в поворотной шпиндельной головке 2, установленной на стойке 1.

Бесконсольные вертикально- и горизонтально-фрезерные станки (рис. 8.12, д, е) предназначены для обработки крупногабаритных заготовок, имеют салазки 2 и стол 3, которые перемещаются по направляющим станины 1. Шпиндельная головка 5 может перемещаться по направляющим стойки 6, а шпинделю 4 могут сообщаться осевые перемещения при установке фрезы.

Продольно-фрезерный станок (рис. 8.12, ж) рассчитан на обработку плоских поверхностей крупногабаритных заготовок одновременно с трех сторон. В этих целях на станине 1 установлены две вертикальные стойки 6, соединенные поперечиной 7. На направляющих стоек смонтированы фрезерные головки 3 с горизонтальными направляющими и траверса 4, на которой установлены фрезерные головки 5 с вертикальными шпинделями. Стол 2 перемещается по направляющим станины 1.

Карусельно-фрезерные станки (рис. 8.12, з), используемые для обработки поверхностей торцовыми фрезами, имеют один или несколько шпинделей 3 для черновой и чистовой обработки. По направляющим стойки 1 перемещается шпиндельная головка 2. Стол 4 за счет непрерывного вращения сообщает установленным на нем заготовкам движение подачи и вместе с салазками 5 имеет установочное перемещение по направляющим станины 6.

Барабанно-фрезерные станки (рис. 8.12, и) применяются в крупносерийном и массовом производстве. Заготовки устанавливаются на вращающемся барабане 2, который сообщает им движение подачи. Фрезерные головки 3 (для черновой обработки) и 1 (для чистовой) перемещаются по направляющим стоек 4.

Широкоуниверсальный (Ш) фрезерный станок мод. 6Т80Ш повышенной точности относится к консольным горизонтально-фрезерным станкам и предназначен для фрезерования плоскостей, торцовых поверхностей, скосов, пазов и для выполнения других фрезерных работ цилиндрическими, дисковыми и торцовыми фрезами. В приводе подачи станка имеется предохранительная муфта, которая срабатывает при подходе стола к жесткому упору. Станок имеет устройство автоматического торможения шпинделя. Основные сборочные единицы и органы управления станка представлены на рис. 8.13. Станок имеет 12 частот вращения горизонтального шпинделя от 50 до 2240 об/мин. Подачи на нем изменяются в следующих пределах: продольная и поперечная — 20...1200 мм/мин; вертикальная — 10...500 мм/мин. Скорость быстрого перемещения стола соответственно 3350 и 1700 мм/мин. Наибольшие перемещения стола в различных направлениях составляют: в продольном — 500 мм, поперечном — 160 мм и вертикальном — 300 мм. Рабочая поверхность стола 800 × 200 мм. Кинематическая схема станка приведена на рис. 8.14.

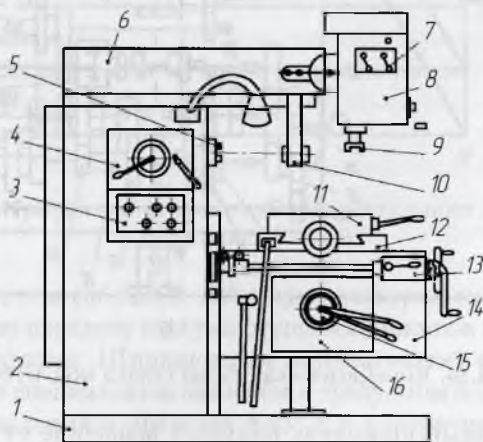


Рис. 8.13. Общий вид станка мод. 6Т80Ш:

1 — фундаментная плита; 2 — станина; 3 — кнопочная станция; 4 — механизм переключения частот вращения горизонтального шпинделя; 5 — горизонтальный шпиндель; 6 — хобот; 7 — механизм переключения частот вращения вертикального шпинделя; 8 — поворотная шпиндельная головка; 9 — вертикальный шпиндель; 10 — подвеска; 11 — стол; 12 — поперечные салазки; 13 — механизм включения вертикальной подачи; 14 — консоль; 15 — механизм переключения подачи; 16 — коробка подач

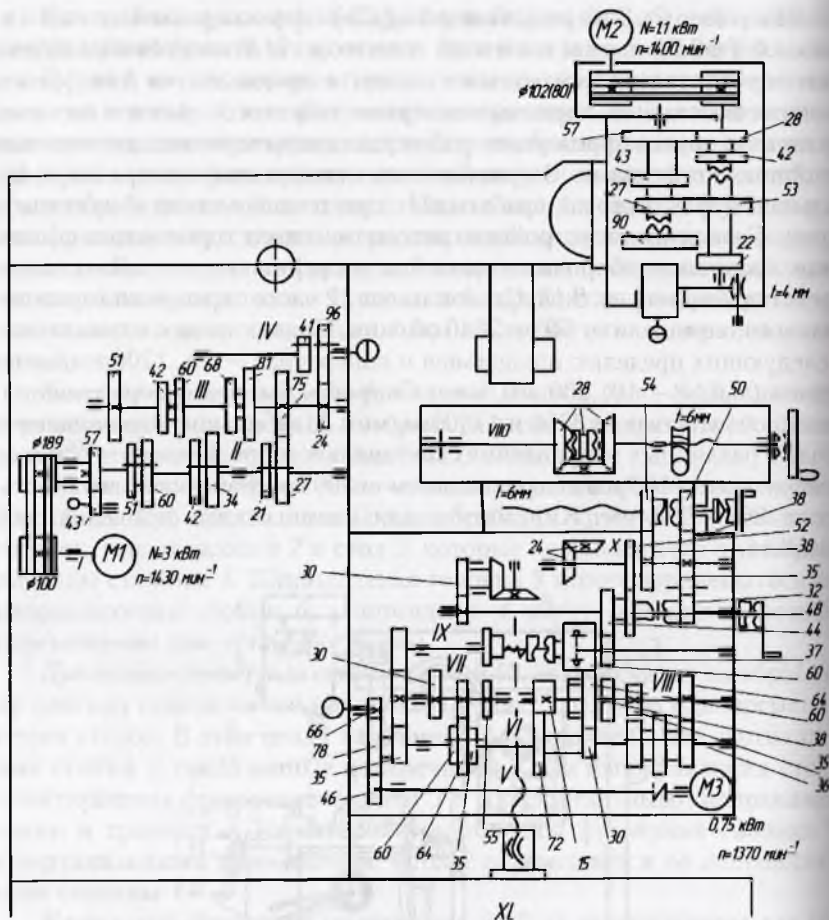


Рис. 8.14. Кинематическая схема станка мод. 6Т80Ш

Горизонтальный шпиндель получает вращение от размещенных в станине электродвигателя М1 (посредством клиноременной передачи) и коробки скоростей. Требуемая частота вращения устанавливается переключением в коробке скоростей подвижных блоков зубчатых колес. График частот вращения (рис. 8.15) показывает, включением каких передач обеспечивается определенная частота вращения горизонтального шпинделя.

Вертикальный шпиндель (см. рис. 8.14) смонтирован в поворотной шпиндельной головке с выдвигной пинолью. Он также получает

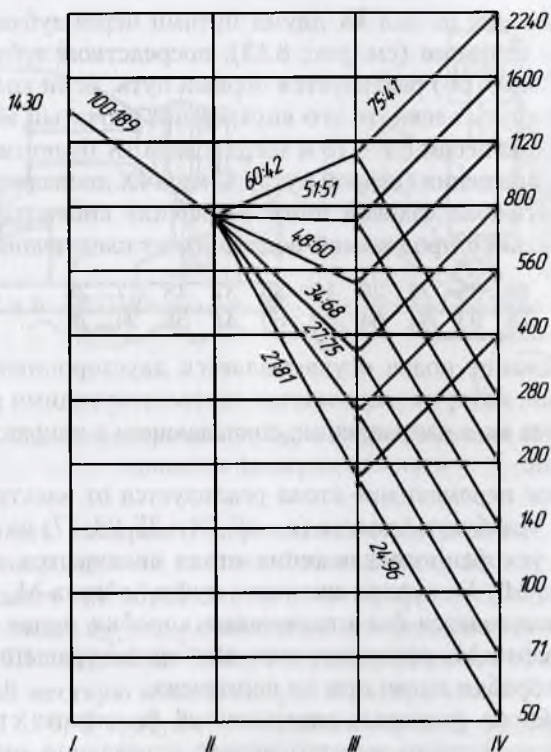


Рис. 8.15. График частот вращения горизонтального шпинделя станка мод. 6Т80Ш

12 частот вращения (56...2500 об/мин) от электродвигателя М2 через клиноременную передачу с двумя ступенями шкивов и коробку с кулачковыми муфтами. Шпиндельная головка может поворачиваться и закрепляться специальным зажимом в требуемом положении в продольном направлении в пределах $\pm 45^\circ$ и в поперечном к станине — до 30° , от станины — до 45° .

Привод подачи смонтирован в консоли. Столу может сообщаться 18 подач. Движения подачи могут осуществляться вручную или механически и имеют блокировку. Движение от электродвигателя М3 передается через вал V, зубчатые колеса ($z = 46, 78$ и $35, 93$) вала VII, с него посредством тройного подвижного блока ($z = 60, 64, 35$) — на вал VI и далее — на вал VIII через тройной подвижный блок ($z = 60, 55, 26$). В итоге вал VIII получает девять частот вращения, которые

могут передаваться на вал IX двумя путями через зубчатые колеса. Как показано на схеме (см. рис. 8.13), посредством зубчатых колес ($z = 18, 72$ и $30, 60, 60$) реализуется первый путь. Если колесо с $z = 60$ вала VIII сдвинуть влево, то его внутренний зубчатый венец войдет в зацепление с колесом с $z \sim 18$ и тогда с вала IX будет передано еще девять частот вращения (второй путь). С вала IX движение передается на соответствующий ходовой винт. Уравнение кинематического баланса минимальной продольной подачи имеет следующий вид:

$$S_{\text{прmin}} = 1370 \cdot \frac{46}{78} \cdot \frac{35}{93} \cdot \frac{26}{64} \cdot \frac{26}{64} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{37}{44} \cdot \frac{48}{38} \cdot \frac{17}{24} \cdot \frac{28}{28} \cdot 6 = 20 \text{ мм/мин.}$$

Реверсирование подач осуществляется двусторонними кулачковыми муфтами, которые включаются соответствующими рукоятками путем поворота их в направлении, совпадающем с направлением требуемой подачи.

Ускоренное перемещение стола реализуется от электродвигателя МЗ через вал V, зубчатые колеса ($z = 46, 78$ и $35, 93, 27$) на вал IX. Для обеспечения ускоренного движения стола включается электромагнитная муфта M_1 . Благодаря наличию муфты обгона M_0 ускоренное движение выполняется без отключения коробки подач. Предохранительная муфта M_1 предназначена для предотвращения поломки механизмов коробки подач при их перегрузке.

Для обработки фасонных поверхностей фрезерные станки могут оснащаться устройствами автоматического управления, работающими на механической, гидравлической, пневматической, пневмогидравлической, электрогидравлической и электронной основах. Принцип работы *копировально-фрезерного станка* состоит в том, что перемещение обрабатывающей фрезы должно быть строго согласовано с перемещением чувствительного элемента (щупа) копировального устройства, ощупывающего профиль копира.

На рис. 8.16, а изображена структурная схема следящей копировальной системы управления перемещением фрезы, установленной в шпиндельной бабке 2. Если в механических копировальных системах копир выполняет функции управления и подачи обрабатывающего инструмента, воспринимая при этом силы резания, то в следящих копировальных системах он осуществляет только функцию управления. Функцию подачи инструмента реализует силовой следящий электропривод 3, получающий сигналы управления 4 от копировальной головки 6 и обеспечивающий шпиндельной бабке 2 с фрезой 10 следящее движение подачи D_S . Это происходит при задающем движении D_S

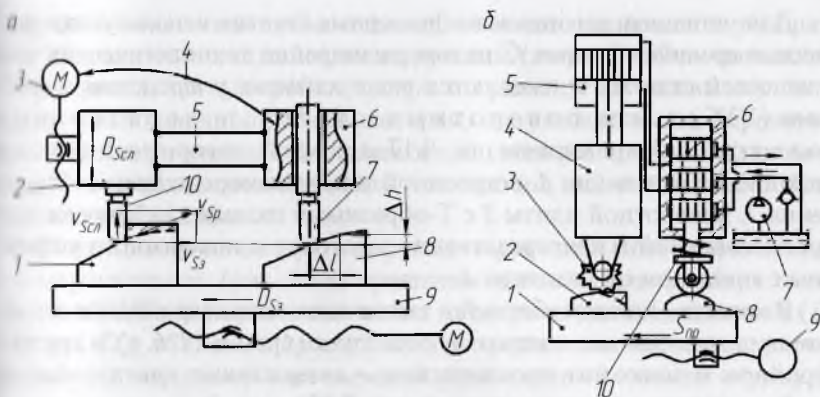


Рис. 8.16. Схемы электрического (а) и гидравлического (б) следящих приводов фрезерных станков

стола 9 станка с копиром 8 на расстояние Δl и подъеме щупа 7 относительно копировальной головки 6 на величину Δh .

В результате при обработке заготовки 1 фреза 10 перемещается со скоростями подач $v_{Scн}$ и v_{Sp} с обеспечением результирующей скорости подачи v_{Sp} . Шпиндельная бабка 2 и копировальная головка 6 имеют между собой жесткую механическую обратную связь 5.

На рис. 8.16, б изображен следящий привод фрезерного станка гидравлического действия. На столе 1 закреплены копир 8 и заготовка 2. В контакте с копиром находится ролик следящего золотника 6, а фреза 3 контактирует с заготовкой. Золотник закреплен на фрезерной бабке 4, которая связана со штоком гидроцилиндра 5. При сообщении столу 1 двигателем 9 продольной подачи плунжер золотника получает перемещение вверх под действием копира 8 или вниз под действием пружины 10. При этом масло под давлением от насоса 7 поступает в соответствующую полость гидроцилиндра 5 и фрезерная бабка 4 с фрезой 3 перемещаются в ту же сторону и на ту же величину, что и плунжер золотника. При этом противоположная полость гидроцилиндра соединяется со сливом в бак насосной станции.

Рассмотренный принцип работы следящих копировальных систем позволяет изготавливать копии из легкообрабатываемых материалов без термообработки, снижать их износ из-за уменьшенного силового воздействия и тем самым повышать точность обработки. При этом значительно сокращаются трудоемкость и стоимость копиров, потребность в запчастях для копирных устройств.

Для установки заготовок на фрезерных станках используются различные **приспособления**. С целью расширения технологических возможностей станков применяются *универсальные устройства и средства* (УУС) в виде поворотных столов и делительных головок. Для примера на рис. 8.17, а показан поворотный стол, состоящий из основания 1, встроенной пневмокамеры с краном управления 2, поворотной плиты 3 с Т-образными пазами для закрепления приспособлений и непосредственно заготовок и поворотного устройства с приводом от маховика 4.

В качестве приспособлений в единичном, мелкосерийном и серийном производстве часто используются *тиски* (рис. 8.17, б, в), в крупносерийном и массовом производстве — *специальные приспособления* (пример одного из них показан на рис. 8.18).

В пневмотисках (рис. 8.17, б) заготовка 3 для обработки фрезой 2 предварительно поджимается к неподвижной губке 1 путем подведения и закрепления подвижной губки 4 вращением винта 5. Затем сжатый воздух перемещением рукоятки 1 (рис. 8.17, в) подается от воздухопровода через канал 2 в рабочую полость пневмокамеры 3 и деформирует диафрагму 4, которая давит на диск, соединенный со штоком 5. При этом шток перемещается вниз, поворачивает рычаг 6, который через толкатель 7 перемещает подвижную губку 8. При отжиме

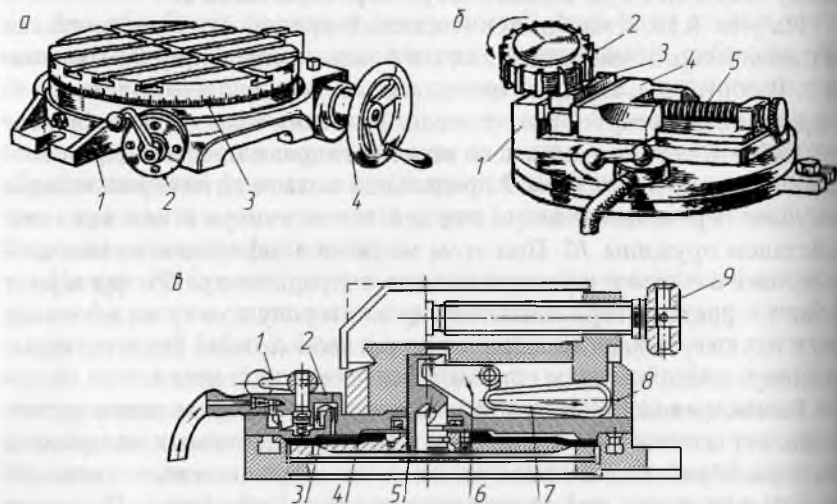


Рис. 8.17. Поворотный стол (а) и тиски (б, в) со встроенным пневмоприводом

заготовки подвижная губка отходит в исходное положение в обратном направлении под действием пружины (на рис. 8.17 не показана). Предварительная настройка тисков по размеру заготовки осуществляется неподвижной губкой, которая, как указано выше, перемещается винтом с головкой 9, а затем закрепляется в требуемом положении. Это необходимо выполнять, так как ход подвижной губки 8 не превышает 7...11 мм.

Многоместное фрезерное приспособление с гидроприводом (рис. 8.18) предназначено для фрезерования пазов шириной 0,8 мм поршневых колец автотракторных двигателей (D_H 182 мм, D_{BH} 162 мм, ширина 5 мм), которые пакетом в количестве 26 шт. устанавливаются на съемный установочный элемент-втулку 10 и зажимаются ее буртом к торцевой поверхности бурта втулки 9, запрессованной поверхностью Е и притянутой винтами 7 к поверхности Г стойки корпуса 1. Гидропривод, состоящий из цилиндра 3, поршня 5, крышек 2 и 4, посредством резьбы закреплен на втулке 9. К штоку поршня 5 гидроцилиндра при помощи резьбы прикреплен тяга 12 с головкой, которая через быстросъемную шайбу 11 и бурт втулки 10 зажимает пакет заготовок 8. Приспособление поверхно-

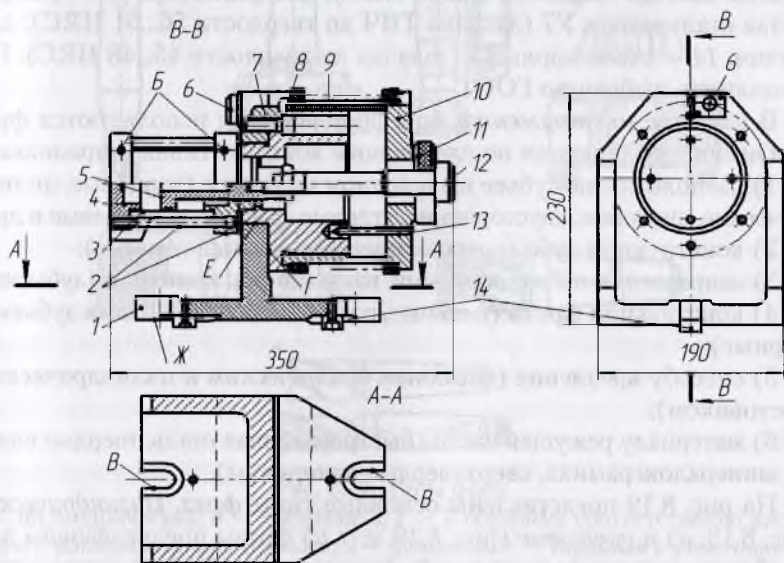


Рис. 8.18. Многоместное приспособление с гидроприводом для фрезерования дисковой фрезой сквозных пазов на поршневых кольцах

стью Ж устанавливается на стол станка, ориентируется шпонками 11 по Т-образным пазам стола и закрепляется болтами с помощью проушин В корпуса.

Фиксатор 13 предназначен для исключения поворота втулки 10 и обеспечения правильного положения паза для прохода прорезной фрезы, положение которой относительно оси заготовок 8 обеспечивается установом 6 по щупу соответствующей толщины. В конических резьбовых отверстиях Б размещаются штуцеры для подвода и отвода масла, поступающего от гидросистемы станка, при закреплении и откреплении заготовок.

Указанные на рисунке размеры позволяют судить о габаритах приспособления в сопоставлении с размерами заготовки (пакета заготовок). Поскольку приспособление специальное, то по нему можно судить о правильности выбора материалов и химико-термической обработки для его деталей. В качестве примера приведены материалы, используемые для деталей описанного выше приспособления: для корпуса 1 – серый чугун марки СЧ20; для установа 6 – сталь марки 20Х (цементация слоя толщиной 0,8...1,2 мм и закалка до твердости 56...61 HRC); для втулок 9 и 10 – сталь марки 65Г (поверхностная закалка ТВЧ до твердости 58...60 HRC); для фиксатора 13 – углеродистая сталь марки У7 (закалка ТВЧ до твердости 56...61 HRC); для шпонок 14 – сталь марки 45 (закалка до твердости 45...48 HRC). Гидроцилиндр выбран по ГОСТ.

В качестве *инструмента* при фрезеровании используются фрезы. Они подразделяются по следующим конструктивным признакам:

- 1) расположению зубьев на исходном цилиндре (торцовые, цилиндрические, дисковые, двусторонние, угловые, фасонные, концевые и др.);
- 2) конструкции зуба (острозаточенные и затылованные);
- 3) направлению зуба (с прямыми, наклонными, винтовыми зубьями);
- 4) конструкции фрезы (цельные, составные, со вставными зубьями, сборные);

5) способу крепления (насадные, с коническим и цилиндрическим хвостовиком);

6) материалу режущей части (быстрорежущая сталь, твердые сплавы, минералокерамика, сверхтвердые материалы).

На рис. 8.19 представлены основные типы *фрез*. *Цилиндрические* (рис. 8.19, а) и *торцовые* (рис. 8.19, е, з, и) фрезы предназначены для обработки плоских поверхностей; *дисковые* (рис. 8.19, б), в том числе *пазовые*, *двух-* и *трехсторонние*, — для фрезерования пазов, уступов и боковых поверхностей. *Прорезными* и *отрезными* фрезами выполня-

ются узкие пазы и разрезаются материалы. *Концевые* фрезы (рис. 8.19, *д, к, л*) применяются для обработки пазов, а также уступов и плоскостей, ширина которых $B < 0,8d_{\text{н}}$ ($d_{\text{н}}$ — диаметр концевой фрезы). *Угловые* фрезы (рис. 8.19, *ж*) используются в основном для фрезерования стружечных канавок режущих инструментов и скосов, а также пазов типа «ласточкин хвост», *T-образные* фрезы (рис. 8.19, *в, з*) — для T-образных и шпоночных пазов.

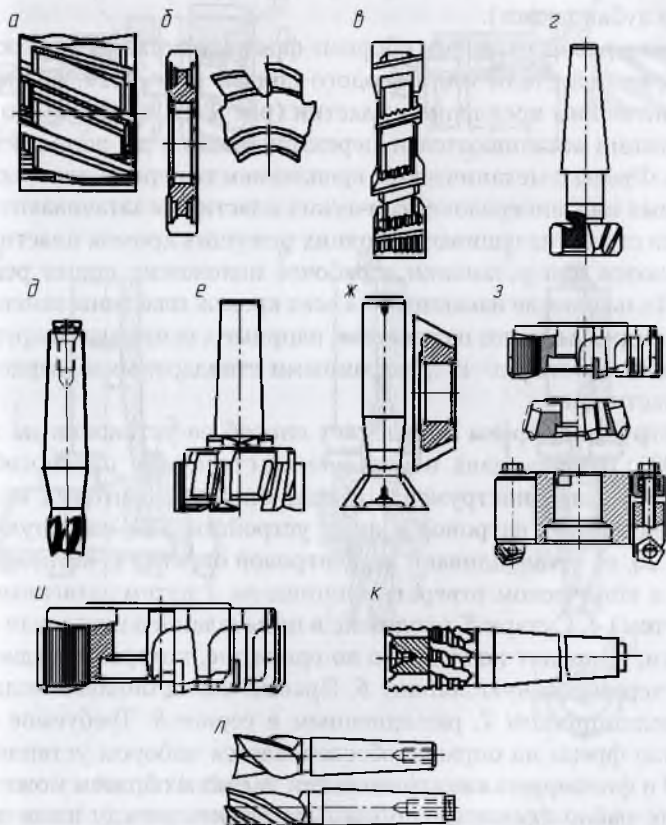


Рис. 8.19. Типы фрез:

а — цилиндрическая; *б* — дисковая; *в, з* — T-образные соответственно насадной и с коническим хвостовиком; *д* — концевая; *е* — торцовая с хвостовиком; *ж* — угловые; *з* — торцовые насадные со вставными ножами и механическим креплением пятигранных пластин; *и* — торцовая ступенчатая; *к* — концевая обдирочная; *л* — шпоночные

Фрезы изготавливаются *цельными* и *сборными*, когда корпус выполняется из конструкционной стали, а режущие зубья — из быстрорежущей стали или твердого сплава. Обычно цилиндрические фрезы диаметром до 90 мм, торцовые насадные фрезы диаметром до 110 мм, дисковые трехсторонние фрезы с мелким зубом, угловые, фасонные, отрезные, прорезные, концевые и шпоночные фрезы выполняются цельными. Цилиндрические фрезы диаметром более 90 мм, дисковые фрезы диаметром более 75 мм и торцовые фрезерные головки имеют вставные зубья (ножи).

Широко распространены сборные фрезы со вставными ножами из быстрорежущей стали или твердого сплава (рис. 8.19, а, в, е, з, и) и с механическим креплением пластин (рис. 8.19, з). Фрезы со вставными ножами затачиваются и перезатачиваются до полного износа пластин. Фрезы с механическим креплением неперетачиваемых твердосплавных или минералокерамических пластин не затачиваются. При выходе из строя (изнашивании) одних режущих кромок пластины поворачиваются для установки в рабочее положение новых режущих кромок. Только после изнашивания всех кромок пластины заменяются. Торцовые фрезы общего назначения, например, оснащаются круглыми, шести-, пяти-, четырех- и трехгранными стандартными твердосплавными пластинами.

Конструкция фрезы определяет способ ее установки на станке (рис. 8.20). В этих целях используются станочные приспособления (вспомогательный инструмент) в виде оправок, цанговых и других инструментальных патронов и иных устройств. Так, насадную фрезу 1 (рис. 8.20, а) устанавливают на центровую оправку 2, которая закрепляется в коническом отверстии шпинделя 3 путем затягивания тягой (винтом) 4. Сухари 5, входящие в пазы фланцев шпинделя станка и оправки, приводят последнюю во вращение, которое передается на фрезу 1 через длинную шпонку 6. Правый конец оправки поддерживается подшипником 7, размещенным в серьге 8. Требуемое осевое положение фрезы на оправке обеспечивается набором установочных колец 10 и фиксируется зажимом гайки 9. Таким образом можно устанавливать набор фрез с заданным расстоянием между ними для совмещенной обработки поверхностей заготовок. Данный способ крепления инструмента и такое приспособление используются обычно на горизонтально-фрезерных станках.

Торцовые и дисковые фрезы устанавливаются на концевых оправках 11 (рис. 8.20, б) с помощью шпонки 12 и винта 13. Размещение самой оправки в шпиндель станка осуществляется, как и в предыду-

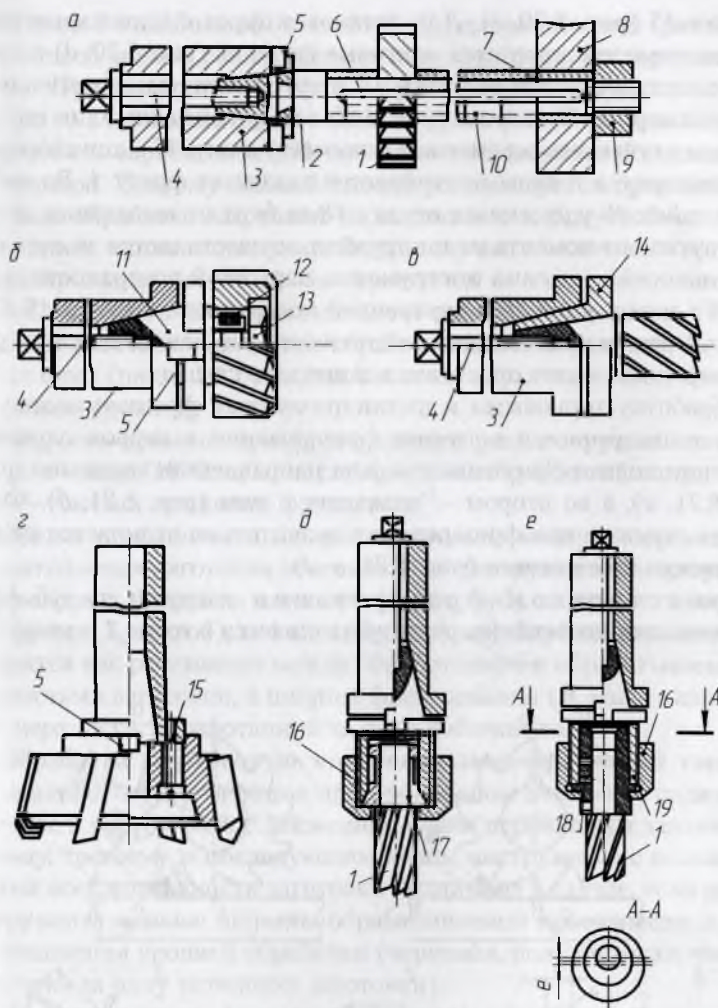


Рис. 8.20. Схемы установки фрез на станках:

а — насадной; *б* — торцевой и дисковой; *в* — с коническим хвостовиком; *г* — торцевой; *д*, *е* — с цилиндрическими хвостовиками

щем случае (рис. 8.20, *а*). Фрезы с коническим хвостовиком устанавливают либо непосредственно в коническом отверстии шпинделя станка, либо через переходную втулку 14 (рис. 8.20, *в*). Иногда торцевые фрезы закрепляются непосредственно на шпинделе станка

винтами 15 (рис. 8.20, з). Для установки фрез с цилиндрическими хвостовиками используются цанговые патроны (рис. 8.20, д) и патроны с эксцентриситетом e втулки 18, в которой винтами закрепляется фреза 1 и корпус 19 патрона (рис. 8.20, е). При закручивании гайки 16 в первом случае она перемещает (сжимает) цангу 17 в коническое отверстие корпуса и этим центрирует и зажимает фрезу 1. Во втором случае гайка 16 удерживает втулку 18 за бурт от выпадания, а передача крутящего момента на инструмент осуществляется за счет несовпадения осей вращения инструмента, наружной поверхности соединенной с ним втулки 18 и внутренней поверхности корпуса 19. Сами патроны своими коническими хвостовиками устанавливаются, подобно рассмотренным выше оправкам, в шпиндель станка.

Обработку торцовыми и цилиндрическими фрезами можно разделить на встречное и попутное фрезерование: в первом случае направление подачи S противоположно направлению вращения фрезы (рис. 8.21, а), а во втором — совпадает с ним (рис. 8.21, б). Форма сечения стружки при фрезеровании значительно отличается от формы стружки при точении (рис. 8.21, в—д).

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб фрезы увеличивается постепенно, резание начинается в точке 1 и заканчива-

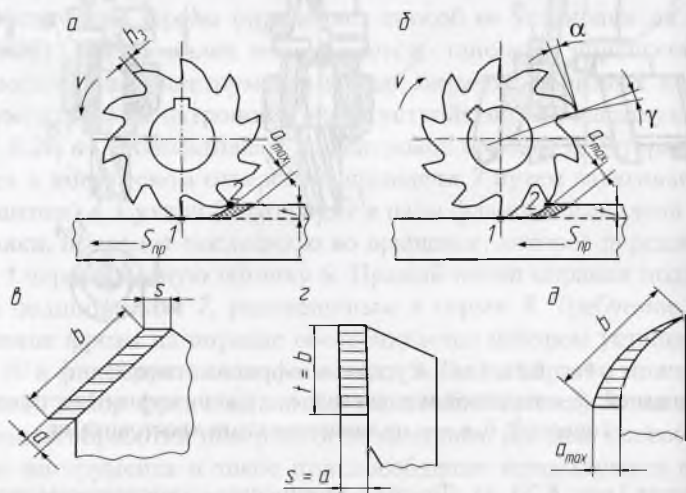


Рис. 8.21. Схемы встречного (а) и попутного (б) фрезерования; форма стружки при точении проходным (в) и проходным упорным (з) резцами и при фрезеровании (д)

ется в точке 2 с наибольшей толщиной a_{\max} срезаемого слоя (рис. 8.21, а). Этот способ можно рекомендовать для черногого фрезерования (по корке). При попутном фрезеровании зуб фрезы начинает резание со слоя наибольшей толщины (рис. 8.21, б), и в момент контакта зуба с обрабатываемой поверхностью может наблюдаться явление удара. Поэтому данный способ рекомендуется применять при чистовой обработке заготовки на жестком и виброустойчивом оборудовании с малыми подачами. В этом случае, в отличие от встречного фрезерования, заготовка не отрывается от стола, а прижимается к нему, а стол — к направляющим, что повышает жесткость технологической системы и качество обработанной поверхности. Режущие лезвия фрез (рис. 8.21, б) имеют такие же характеристики, как и лезвия резцов (γ , α и др.).

Скорость резания при фрезеровании равна окружной скорости фрезы: $v = \pi d_n n / 1000$, м/мин, где d_n — диаметр фрезы (инструмента), мм; n — частота вращения фрезы, мин^{-1} .

Подача определяется как расстояние, на которое перемещается обрабатываемая заготовка относительно инструмента за время углового поворота фрезы на один зуб (S_z , мм/зуб), за время одного оборота фрезы (S_o , мм/об), за 1 мин (S_m , мм/мин). Глубина резания (t , мм) находится как расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями заготовки, а ширина фрезерования (B , мм) — как ширина поверхности, обработанной за один рабочий ход.

Обработка заготовок на **горизонтально-фрезерных станках**, как правило, осуществляется при продольном движении подачи. Поперечное и вертикальное движения подачи перемещают заготовки по второму, третьему и последующим ходам инструмента с целью перекрытия всей поверхности заготовки по ширине в случае, если ширина инструмента меньше ширины обрабатываемой поверхности, а также для изменения уровней обработки (черновая, получистовая, чистовая обработка за одну установку заготовки).

На **вертикально-фрезерных станках** используются продольное и поперечное перемещения подачи в зависимости от пространственного расположения обрабатываемой поверхности заготовки. Вертикальное движение подачи в этом случае обычно применяется как установочное для изменения уровней обработки.

Схемы обработки поверхностей фрезерованием на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках представлены на рис. 8.22. На этих схемах в отличие от схем токарной обработки (см. рис. 8.7) вместо изображения установочных элементов использованы их условные

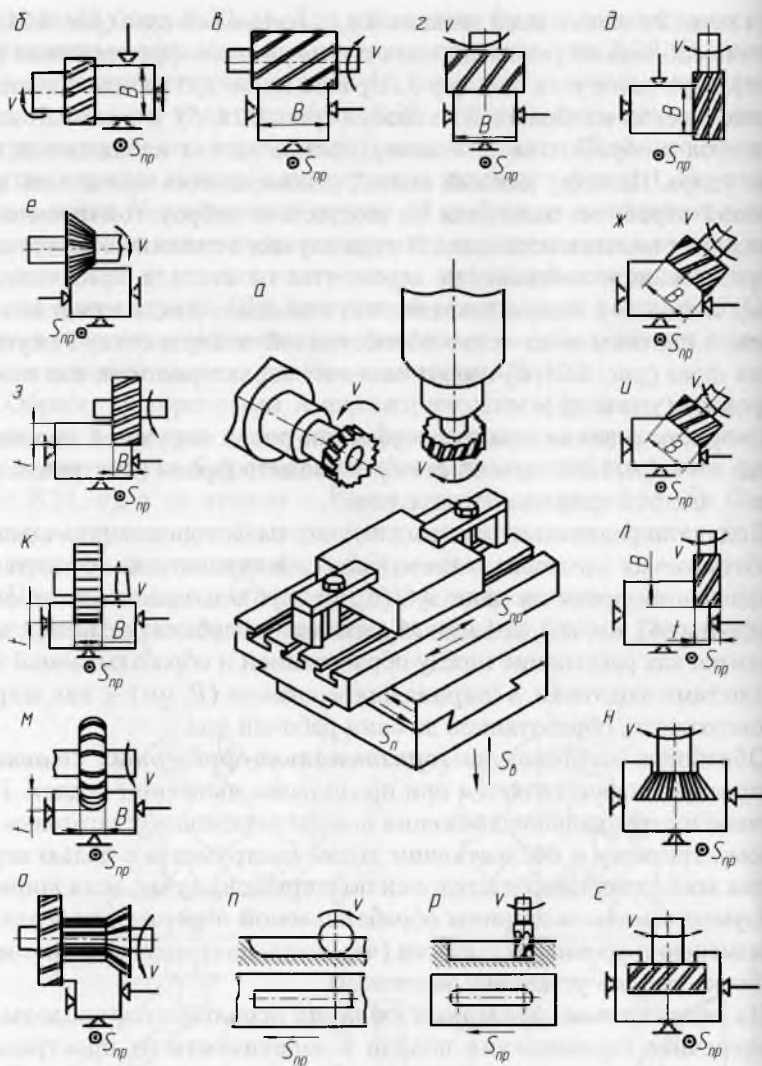


Рис. 8.22. Схемы фрезерования поверхностей на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках:

a — направления параметров режима обработки; *б, д* — вертикальных поверхностей; *в, з* — горизонтальных поверхностей; *е, ж, и* — поверхностей под углами; *з, л* — ступенчатых поверхностей; *к, м* — пазов; *н* — паза «ласточкин хвост»; *о* — фасонной поверхности набором фрез; *п, р* — шпоночных пазов; *с* — Т-образного паза

обозначения, вместо движений (D_n, D_s) — скорость v , подачи S , вместо шжимов — стрелки, что можно использовать как вариант оформления схем обработки.

Вертикальные плоскости на горизонтально-фрезерных станках (рис. 8.22, б) фрезеруются торцовыми насадными фрезами или фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках (рис. 8.22, д) — концевыми фрезами. Большие по высоте вертикальные плоские поверхности на горизонтально-фрезерных станках можно обрабатывать с использованием вертикальной подачи, а небольшие по высоте — при помощи концевых и дисковых фрез.

Горизонтальные поверхности обрабатываются цилиндрическими фрезами на горизонтально-фрезерных станках (рис. 8.22, в) и торцовыми насадными — на вертикально-фрезерных (рис. 8.22, з). Чаше чистовая обработка горизонтальных поверхностей осуществляется по второму варианту, так как торцовые насадные фрезы имеют более жесткое закрепление и обеспечивают плавный безвибрационный режим. При последовательных рабочих ходах фрез можно обрабатывать поверхности значительной ширины. Узкие горизонтальные плоскости следует обрабатывать концевыми фрезами.

Наклонные поверхности небольшой ширины можно получить на горизонтально-фрезерном станке угловой фрезой (рис. 8.22, е). Широкие наклонные поверхности удобно обрабатывать на вертикально-фрезерных станках с поворотом шпиндельной головки торцовой насадной (рис. 8.22, ж) или концевой фрезой. Уступы и прямоугольные пазы на горизонтально-фрезерных станках обрабатываются дисковыми двусторонними (рис. 8.22, з) и трехсторонними (рис. 8.22, к) фрезами соответственно, а на вертикально-фрезерных — концевыми фрезами (рис. 8.22, и). При вертикальном расположении уступов и прямоугольных пазов их можно обрабатывать концевыми фрезами на горизонтально-фрезерных станках.

Фасонные поверхности с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей обрабатывают фасонными фрезами на горизонтально-фрезерных станках (рис. 8.22, м). Пазы типа «ласточкин хвост» и Т-образные обычно обрабатываются на вертикально-фрезерных станках. При этом сначала фрезеруется прямоугольный паз концевой фрезой (рис. 8.22, л), а затем концевой угловой (рис. 8.22, н) или Т-образной (рис. 8.22, с).

Шпоночные пазы фрезеруются на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках соответственно дисковыми (рис. 8.22, н) и концевыми (рис. 8.22, р) фрезами. Одновременную обработку нескольких

поверхностей можно осуществлять на горизонтально-фрезерных станках набором фрез (рис. 8.22, *о*). Для обеспечения близких по значению скоростей рекомендуется применять набор фрез, диаметры которых отличаются друг от друга не более чем в 1,5 раза.

На *продольно-фрезерных станках* торцовыми насадными и концевыми фрезами обрабатываются вертикальные, горизонтальные, наклонные поверхности, уступы и пазы. Для формообразования Т-образных пазов и пазов типа «ласточкин хвост» применяют Т-образные и угловые фрезы. При обработке шпиндельные бабки станка обеспечивают вращение фрез (скорость резания), но сами остаются неподвижными. Продольную подачу совершает стол (рис. 8.23, *а*). Некоторые шпиндельные бабки могут поворачиваться для обработки наклонных поверхностей. На этих станках осуществляется совмещенная (одновременная) обработка всех поверхностей, что экономически оправданно.

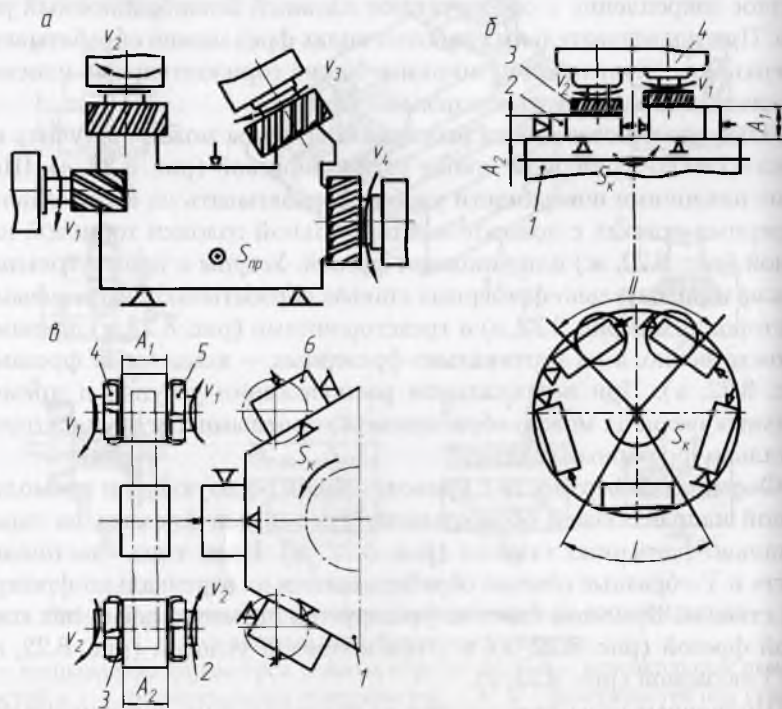


Рис. 8.23. Схемы обработки фрезерованием на продольно-фрезерном (*а*), карусельно-фрезерном (*б*) и барабанно-фрезерном (*в*) станках

На *карусельно-фрезерных станках* (рис. 8.23, б) применяют в основном торцовые насадные фрезы 3, которые устанавливаются на шпиндели фрезерной головки 4 и с помощью которых обрабатываются горизонтальные поверхности заготовок 2, размещенных равномерно на столе 1 станка в приспособлениях. Заготовки устанавливаются в зоне загрузки I в приспособления при непрерывно вращающемся столе. В зоне обработки II заготовки фрезеруются сначала в размер A_1 (черновая обработка), а затем в размер A_2 (чистовая обработка). В позиции I обработанная заготовка снимается и устанавливается новая.

На *барабанно-фрезерных станках* (рис. 8.23, в) стол-барaban 1 вращается в вертикальной плоскости на горизонтально расположенной оси. Установленные в приспособлениях на гранях барабана заготовки 6 можно обрабатывать одновременно с двух сторон. Размещенные на верхних фрезерных головках фрезы 4 и 5, как правило, выполняют черновую обработку поверхностей в размер A_1 , а фрезы 2, 3 нижних фрезерных головок — чистовую в размер A_2 . Движение круговой подачи обеспечивается, как и в предыдущем случае, постоянным вращением стола-барабана. Загрузка-выгрузка также осуществляется без остановки станка в свободной от инструмента позиции.

При работе фрезой, так же как и при точении, на инструмент и заготовку действует сила резания P , которая раскладывается на три составляющие (рис. 8.24): тангенциальная составляющая P_z , радиальная P_y и осевая P_x (при угле спирали $\omega = 0$ $P_x = 0$).

Сила P_z определяет мощность резания; P_y , обычно равная $(0,6...0,8)P_z$, способствует отжиму фрезы от заготовки, за счет чего снижается точность обработки; сила P_x нагружает подшипники шпинделя станка.

Сила P_z может быть определена по эмпирической формуле:

$$P_z = \frac{C_p t^{X_p} S_z^{Y_p} B^{U_p} z^{Z_p}}{d_n^{q_p}} k_M k_V k_C k_{h_3},$$

где k_M, k_V, k_C, k_{h_3} — коэффициенты, учитывающие влияние обрабатываемого материала, переднего угла фрезы, скорости резания, износа зубьев; значения постоянной C_p находят по справочникам и норма-

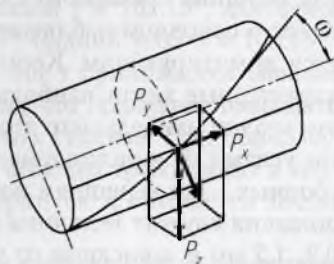


Рис. 8.24. Схема сил при периферийном фрезеровании

тивам режимов резания [36 и др.]; B , d_n , z — соответственно ширина фрезерования, диаметр и число зубьев фрезы.

Существуют формулы расчета P_z для групп материалов. Например, для сталей с $\sigma_B = 730$ МПа:

$$P_z = \frac{C_p t^{0,86} S_z^{0,72} B z}{d_n^{0,86}}$$

Среди основных особенностей процесса фрезерования выделяют следующие: 1) одновременно осуществляют резание несколько режущих лезвий; 2) корпус инструмента обладает значительной массой, что способствует лучшему отводу теплоты из зон резания; 3) площадь среза изменяется в широких пределах, а силы резания имеют переменные значения; 4) периодическое (непостоянное) контактирование зубьев фрез с заготовкой приводит к ударным нагрузкам и может возбуждать вынужденные колебания; 5) при малых значениях S_z процесс резания сильно зависит от биения зубьев, а нагрузка на режущие лезвия неравномерна; 6) микронеровности в виде следов инструмента имеют более равномерный волнообразный профиль.

Характер износа фрез несколько отличается от износа резцов, так как толщина срезаемого слоя при фрезеровании невелика. Поэтому износ в основном наблюдается по задним поверхностям (h_3) и является лимитирующим. Кроме того, фрезы разного назначения имеют характерные места наибольшего износа: у фрез угловых, например, это уголки наибольшего диаметра; у фасонных — места с наименьшими углами α ; у цилиндрических — в середине контакта; у торцовых сборных — по вершинам ножей и т.д. Для всех фрез критерием изнашивания служит величина фаски износа h_3 , находящаяся в пределах 0,3...1,2 мм и зависящая от условий резания и свойств материала.

Стойкость фрез изменяется в широких пределах, обычно 60...180 мин. Например, при обработке жаропрочных и коррозионностойких сталей для концевых фрез $T_n = 60$ мин; цилиндрических и дисковых $T_n = 90$ мин; для торцовых со вставными ножами $T_n = 120$ мин.

Скорость резания v , м/мин, зависит от многих факторов и определяется по общей зависимости:

$$v = \frac{C_v d_n^{z\nu} k_n k_m k_\phi k}{T_n^m t^{Xv} S_z^{Yv} B^{qv} z^{\eta v}},$$

где C_v — коэффициент, характеризующий условия обработки (материал заготовки и фрезы); k_n , k_m , k_ϕ , k — коэффициенты, учитывающие

соответственно конструкцию инструмента, состояние материала заготовки, влияние угла в плане и состояние подповерхностного слоя материала (окалина, загрязнение); $d_{\text{и}}$, B , z — диаметр инструмента, ширина фрезерования и число зубьев фрезы соответственно.

Значения постоянных показателей степени берутся из справочников. Так, например, при фрезеровании титанового сплава ВТЗ-1 приведенная выше формула скорости резания v принимает вид

$$v = \frac{11,8d_{\text{и}}^{0,4}}{T_{\text{и}}^{0,15}t^{0,3}S_z^{0,4}B^{0,1}z^{0,12}}$$

На практике используется следующая последовательность выбора конструкции, геометрии, материала фрез и назначения параметров режима фрезерования.

1. *Выбор инструмента.* При фрезеровании сталей с $\sigma_{\text{в}} < 1400$ МПа используются фрезы с зубьями из быстрорежущих сталей Р9М4К8 или Р6М5К5, а также твердые сплавы ВК8 при черновой обработке и ВКЗМ, ВК6М ВК60М при чистовой. При обработке высокопрочных материалов с пределом прочности $1400 < \sigma_{\text{в}} < 1600$ МПа фрезы следует оснащать пластинами из твердых сплавов группы ВК. Передний угол для фрез из быстрорежущих сталей $\gamma = 10...15^\circ$; для фрез, оснащенных твердыми сплавами, $\gamma = 5...10^\circ$. Задний угол $\alpha = 10...15^\circ$.

2. *Определение глубины резания.* Значение t принимается равным припуску $z_{\text{и}}$ при обработке за один проход, что позволяет повышать мощность и виброустойчивость современных станков. При пониженной жесткости технологической системы и высоких требованиях к точности и качеству отделки поверхностей припуск $z_{\text{и}}$ снимается за два прохода — черновой и чистовой.

3. *Выбор подачи S_z* осуществляется из следующего условия: чем прочнее материал и больше его предел прочности $\sigma_{\text{в}}$, тем меньшее значение принимает S_z . При фрезеровании, например, заготовок из жаропрочных и коррозионностойких сталей $S_z = 0,05...0,20$ мм/зуб.

4. *Определение периода стойкости инструмента* осуществляется в пределах 60...180 мин.

5. *Расчет скорости v резания* производится по приведенным выше эмпирическим формулам.

6. *Расчет частоты вращения инструмента n* $\left(n = \frac{1000v}{\pi d_{\text{и}}} \right)$.

7. *Корректировка значений n и S_z* производится по паспортным данным станка.

8. *Соотношение мощности* резания и мощности станка должно быть следующим: $N_p < N_{ст}$.

9. Расчет основного (машинного) времени, мин:

$$t_o = \frac{L_i}{S_M},$$

где $L = l_3 + l_B + l_{п}$ (l_3 — длина поверхности заготовки, l_B — длина врезания, $l_{п}$ — длина перебега, обычно $l_{п} = 0,2...5,0$ мм); i — число ходов.



8.3. Осовая обработка и растачивание

К видам *осевой обработки* относятся *сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, зенкование и цекование*.

В качестве оборудования для сверления используются *сверлильные станки*, на которых движение резания обеспечивается вращением инструмента (рис. 8.25).

Наибольшее распространение получили *вертикально-сверлильные станки* для сверления отверстий в заготовках сравнительно небольших размеров. Для совмещения осей обрабатываемого отверстия и инструмента в данном случае предусмотрено перемещение приспособления с заготовкой. *Радиально-сверлильные станки* используются для обработки отверстий в крупногабаритных заготовках. Совмещение осей отверстий и инструмента на этих станках достигается перемещением шпинделя станка относительно неподвижной заготовки. Существуют также *настольно-сверлильные, горизонтально-сверлильные* и другие станки.

Растачивание осуществляется на *расточных станках*, также имеющих вращающийся инструмент.

На расточных станках можно сверлить, зенкеровать, растачивать и развертывать отверстия, подрезать торцы бобышек резцами, фрезеровать контурные поверхности заготовок. Эти станки подразделяются на *горизонтально-расточные, алмазно-расточные* (отделочно-расточные) и *координатно-расточные*. На горизонтально-расточных станках используются расточные борштанги и приспособления с направляющими втулками. Высокоточные отверстия с отклонениями формы в пределах 3...5 мкм можно сделать на алмазно- и координатно-расточных станках. Последние позволяют получать межцентровые рас-

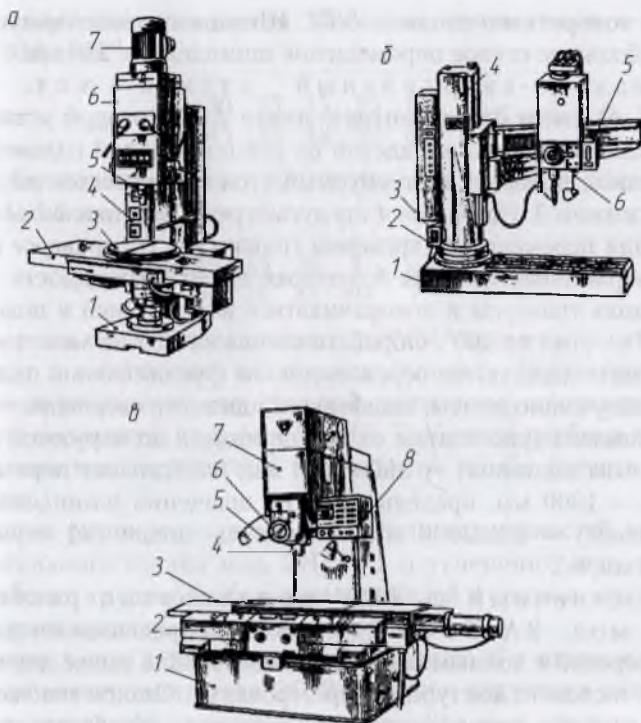


Рис. 8.25. Общий вид станков сверлильно-расточной группы:

а — вертикально-сверлильный мод. 2Н135-1; *б* — радиально-сверлильный мод. 2554; *в* — координатно-расточный мод. 2А450Ф30

стояния между отверстиями или расстояния осей отверстий от базовых поверхностей с отклонением в пределах 1...5 мкм.

Вертикально-сверлильный станок мод. 2Н135-1 (рис. 8.25, *а*) состоит из фундаментальной плиты 1, плавающего 2 и поворотного 3 столов, станины (стойки) 4, сверлильной головки 6 со шпинделем 5, электродвигателя 7. Продольное перемещение стола и поперечное перемещение салазок осуществляются по направляющим качения. В требуемом положении стол может фиксироваться зажимом. На плавающем столе смонтирован поворотный стол. Это позволяет совмещать оси инструмента и обрабатываемых отверстий без перезакрепления приспособления или самой заготовки на столе станка. На станке можно сверлить отверстия диаметром до 35 мм, вылет шпинделя (расстояние от оси шпинделя до стойки) — 300 мм, угол

поворота поворотного стола — 360° . Шпиндель имеет конус Морзе № 4. Наибольшее осевое перемещение шпинделя — 250 мм.

Радиально-сверлильный станок мод. 2554 (рис. 8.25, б) имеет фундаментную плиту 1, на которой установлена неподвижная колонна 2 с надетой на нее поворотной гильзой 4. Последняя после поворота на требуемый угол закрепляется на колонне 2 гидрозажимом 3. На гильзе 4 предусмотрены вертикальные направляющие для перемещения траверсы (рукава) 5. На траверсе смонтирована сверлильная головка 6, которая имеет возможность перемещаться вдоль траверсы и поворачиваться вместе с ней и поворотной гильзой 4 на угол до 360° . Обрабатываемая заготовка может устанавливаться на подставке, непосредственно на фундаментной плите (стол) и на полу около плиты. Наибольший диаметр сверления — 50 мм, вылет шпинделя (расстояние от оси шпинделя до наружной поверхности гильзы колонны) — 360...1600 мм, наибольшее перемещение траверсы — 1000 мм, пределы частоты вращения шпинделя станка (25 ступеней) — 21...2000 мин^{-1} , пределы подач (21 ступень) — 0,05...5,00 мм/об.

Одностоечный с ЧПУ координатно-расточный станок мод. 2А450Ф30 (рис. 8.25, в) предназначен для обработки отверстий с точным расположением осей, а также для получистового и чистового контурного фрезерования. Станок снабжен поворотными столами, позволяющими производить обработку отверстий и плоских поверхностей под различными углами. В станке применена позиционно-контурная система ЧПУ, расширяющая его технологические возможности. Шпиндель станка может иметь 25 частот вращения в пределах 10...2500 мин^{-1} и 30 рабочих подач в пределах 1,25...1000,00 мм/мин. Стол станка имеет 14 рабочих подач в пределах 2,5...1000,0 мм/мин. Дискретность отсчета подач по осям X, Y, Z — 0,001 мм.

Станок состоит из станины 1 с направляющими, на которых перемещаются салазки 2 со столом 3. В шпиндельной бабке 7 размещена коробка скоростей со шпинделем 4, гильза которого может перемещаться вертикально. Контроль этого перемещения фиксируется по лимбу 6. Рукоятка 5 предназначена для ускоренного перемещения шпинделя 4. На бабке 7 размещен пульт 8 управления устройством ЧПУ (УЧПУ).

Кинематическая схема станка мод. 2Н135-1 приведена на рис. 8.26 (цифрами обозначено число зубьев колес). Наличие в коробке скоростей одного тройного и двух двойных подвижных блоков обеспе-

чивает получение шпинделем 12 частот вращения n в пределах 31,5...1400,0 мин⁻¹:

$$n_{\min} = 1440 \frac{30}{45} \cdot \frac{25}{35} \cdot \frac{15}{42} \cdot \frac{25}{50} \cdot \frac{15}{60} = 31,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Коробка подач позволяет получить девять значений подач S в пределах 0,1...1,6 мм/об.:

$$S_{\max} = 1 \frac{34}{60} \cdot \frac{19}{54} \cdot \frac{45}{16} \cdot \frac{36}{26} \cdot \frac{1}{60} \pi \cdot 3 \cdot 13 = 1,6 \text{ мм/об.}$$

Механизм подачи обеспечивает ручное перемещение шпинделя, включение и выключение механической подачи. Вертикальное установочное перемещение сверлильной головки осуществляется вручную через червячную пару ($z = 1$ и 46). Требуемая глубина сверления устанавливается посредством кулачков на лимбе отсчета глубины сверления.

С целью расширения технологических возможностей вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135-1 и успешного использования для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов его конструкция модернизирована и дооснащена (рис. 8.27).

Вращательное движение виброшпинделю 6 с патроном 5 сообщается от электродвигателя 26. В качестве редуктора использован вариатор, состоящий из клинового ремня 19 и двух раздвижных шкивов 20. С учетом возникающих моментов и рекомендуемых скоростей резания труднообрабатываемых материалов вариатор обеспечивает частоту вращения шпинделя 611...5100 мин⁻¹. Для обеспечения вибрации шпиндель выполнен из двух частей — вала 18 и виброшпинделя 6, которые соединены между собой с помощью датчиковой муфты. Верхняя полумуфта 17 вместе с радиальным шарикоподшипником 11 расположена на валу 18. Нижняя полумуфта 12 с пальцами 16, входящими в пазы полумуфты 17 и опирающимися в ее подпружиненные упоры 30, расположена на шарикоподшипнике 11 и соединена с помощью шлиц с виброшпинделем 6. Посредством пальцев 16 и шлицевого соединения вращение от вала 18 передается на виброшпиндель 6.

Подача ($S = 100$ мм/мин) осуществляется столом 4, на котором устанавливается приспособление с обрабатываемой заготовкой, от электродвигателя 35 посредством муфты 36, червячной пары 2 и винта 1.

Виброшпиндель 6 размещен в радиальных шарикоподшипниках 7, 11 и находится под воздействием пружины 9, упирающейся одним концом в упорный шарикоподшипник 8, а другим — в бурт вибро-

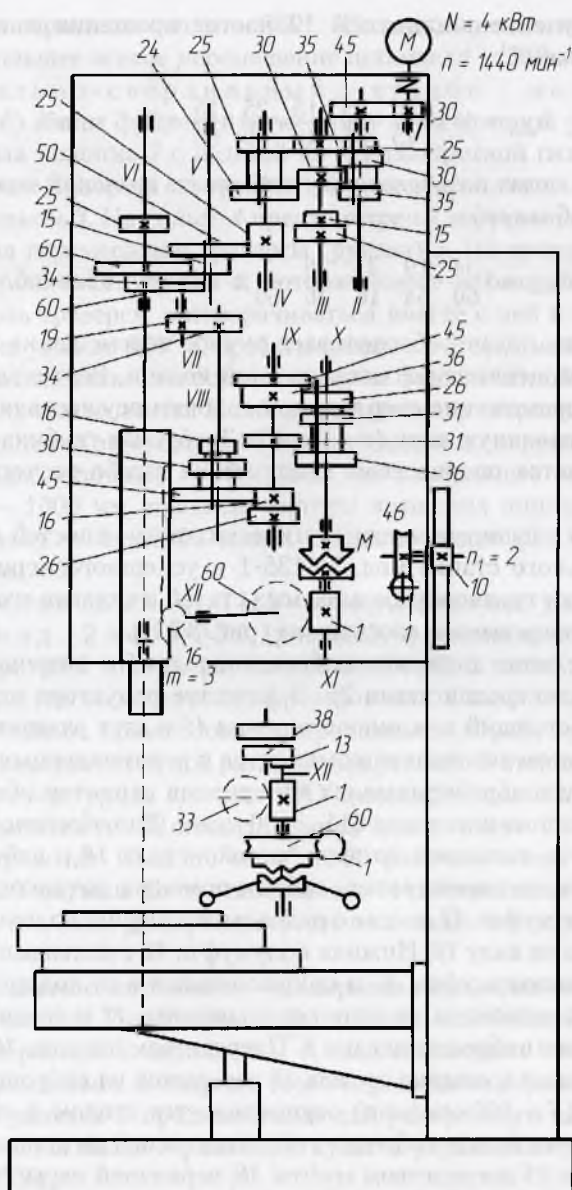


Рис. 8.26. Кинематическая схема станка мод. 2Н135-1

шпинделя 6. Вращение с вала 18 снимается посредством сменной цилиндрической 22 и конической 24 зубчатых пар и передается на кулачок 25 с эксцентриситетом e . Вилчатый рычаг 21 установлен на оси; одним концом посредством ролика 23 он контактирует с кулачком 25,

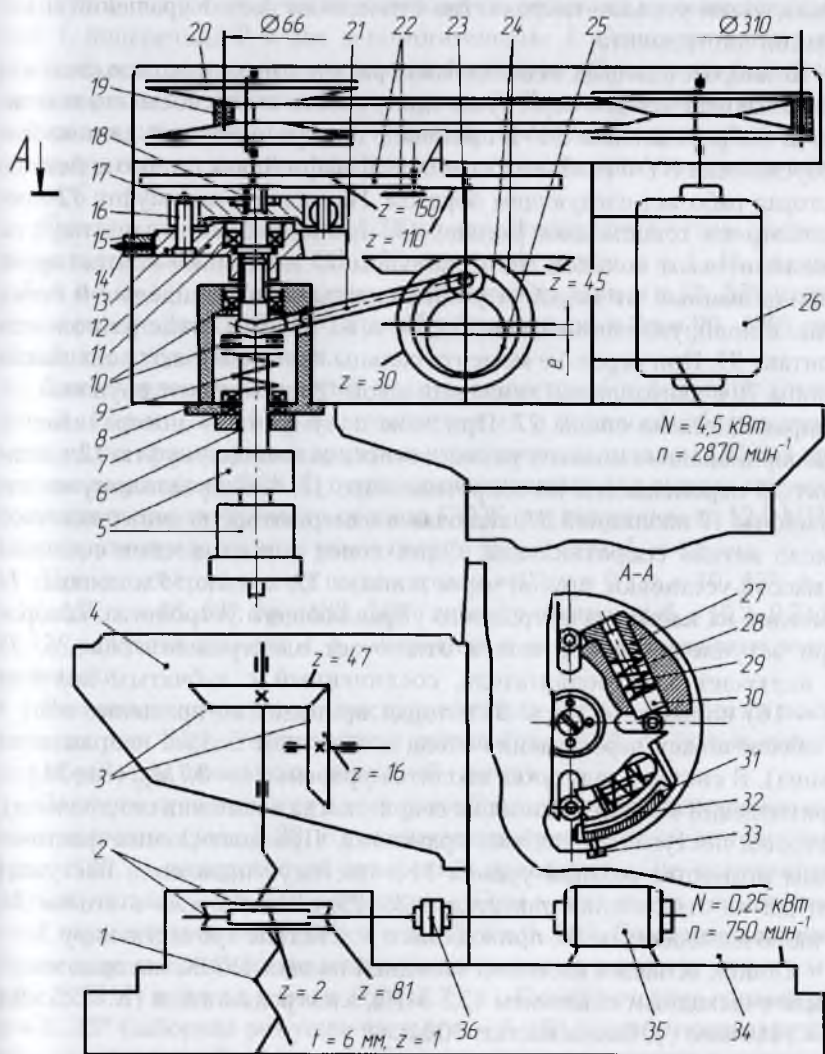


Рис. 8.27. Устройство модернизированного вертикально-сверлильного станка мод. 2Н135-1 (виброустановка ВУ-6)

другим — через упорный шарикоподшипник 10 воздействует на виброшпиндель 6. При вращении кулачка 25 рычаг 21 во взаимодействии с пружиной 9 обеспечивает осевую вибрацию виброшпинделя 6. При одном приводе вращения и вибрации виброшпинделя реализуется условие постоянства отношения частот вращения и вибрации инструмента.

В виброустановках использованы различные датчиковые системы, отключающие их при перегрузке инструмента и опасности его поломки. В виброустановке ВУ-1 применен тензорезисторный датчик. Виброустановка ВУ-6 снабжена датчиковой муфтой реостатного действия, которая работает следующим образом. На нижней полумуфте 12 предусмотрено токосъемное кольцо 15, изолированное от полумуфты текстолитовым кольцом 13. С кольцом 15 постоянно контактирует изолированный от массы и установленный на шпиндельной бабке станка подпружиненный контакт 14, а на самом кольце расположен контакт 33. При передаче момента пальцы 16 перемещают подвижные упоры 30 в направлении движения штока 28 и сжимают пружины 29, опирающиеся на опоры 27. При этом полумуфта 17 поворачивается пропорционально моменту резания относительно полумуфты 12, а контакт 33 перемещается по сопротивлению 32, изолированному от полумуфты 17 изоляцией 31, включая в измерительную цепь различное число витков сопротивления. Один конец сопротивления соединен с массой установки, другой через контакт 33, кольцо 15 и контакт 14 выведен на клемму электронного управляющего устройства, которое при затуплении инструмента отключает электродвигатели 26, 35 и включает электродвигатель, соединенный с зубчатым колесом ($z = 16$) конической пары 3, которая приводит во вращение винт 1 и обеспечивает перемещение стола в обратном по направлении (вниз). В систему задатчика вводится уровень $M = 0,7M_{кр}$ (где $M_{кр}$ — критический момент резания на сверле, когда возможна его поломка), который поступает в систему сравнения. При достижении фактическим моментом резания уровня M в систему управления поступает сигнал на отключение двигателей 26, 35, размещенных в стойке 34, и включение двигателя, приводящего в действие зубчатую пару 3.

Станок оснащен насосной станцией подачи СОЖ, которая имеет насос с выходным давлением 12,5 МПа, электродвигатель ($N = 5,5$ кВт, $n = 1440$ мин⁻¹), бак емкостью 100 л.

При осевой обработке наиболее широко используются *сверла* (рис. 8.28). Составными элементами *спирального сверла* (рис. 8.28, а) являются рабочая часть длиной l_1 , шейка l_2 , хвостовик l_3 и лапка l_4 .

Назначение хвостовика (конус Морзе № 1–6) — обеспечение установки сверла в шпиндель станка непосредственно или через переходные пушки. У сверл диаметром до 12 мм хвостовики могут быть цилиндрическими. Рабочая часть подразделяется на режущую l_5 и направляющую l_6 . На рабочей части имеется пять режущих кромок: две главные 1, поперечная 2 и две вспомогательные 3. Основная работа по резанию осуществляется кромками 1, которые образуются пересечением передних 4 и задних 5 поверхностей. Для направления и уменьшения влияния трения на работу сверла по его цилиндрической части вдоль винтовых канавок для выхода стружки предусмотрены ленточки 6.

Спиральные сверла (рис. 8.28, а) характеризуются углом наклона спиральной канавки $\omega = 26...30^\circ$, передним углом $\gamma = 1...4^\circ$, задним углом $\alpha = 8-14^\circ$, углом наклона поперечной кромки $\psi = 52...55^\circ$, углом при вершине $2\phi = 116...118^\circ$ при обработке стали и $2\phi = 90...100^\circ$ при обработке чугуна и бронзы.

Для сверления отверстий малого диаметра d и большой длины ($d = 2...12$ мм, $l/d > 3$) в вязкопластичных и труднообрабатываемых материалах используются армированные твердым сплавом (ВК8 и др.) *прямые сверла* (рис. 8.28, б) с прямыми канавками для выхода стружки и каналами для внутреннего подвода СОЖ под давлением до 12,5 МПа. На рисунке представлено такое сверло диаметром $d_{\text{н}} = 4,5$ мм.

Прямые сверла имеют параметры: $\omega = 0^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 10...12^\circ$; $\alpha_1 = 12...15^\circ$; $\psi = 48...53^\circ$; $2\phi = 130...140^\circ$, диаметр отверстия $d_o = (0,2...0,3)d_{\text{н}}$; 1–3 — режущие кромки; 4, 5 — передняя и задняя поверхности режущей части.

Разновидности другого инструмента для осевой обработки показаны на рис. 8.29. *Центровочные сверла* (рис. 8.29, а) используются для обработки центровых отверстий (гнезд).

Зенкеры применяются для формообразования соответственно цилиндрических (рис. 8.29, б), конических (рис. 8.29, в) и торцовых (рис. 8.29, г) поверхностей отверстий, предварительно полученных литьем, штамповкой или сверлением. Они могут иметь геометрические параметры: $\omega = 10...20^\circ$; $\alpha = 5...8^\circ$; $\gamma = 0...20^\circ$. **Развертки цилиндрические** и **конические** могут быть со вставными ножами (рис. 8.29, д) и цельными (рис. 8.29, е). Геометрические параметры: $\alpha = 6...15^\circ$ (заборная режущая часть), $\alpha = 0...10^\circ$ (калибрующая часть). Для отделочной обработки могут применяться развертки с углом наклона канавок к оси инструмента $\omega = 7...20^\circ$. В крупносерийном и массовом производстве часто используется комбинированный осевой

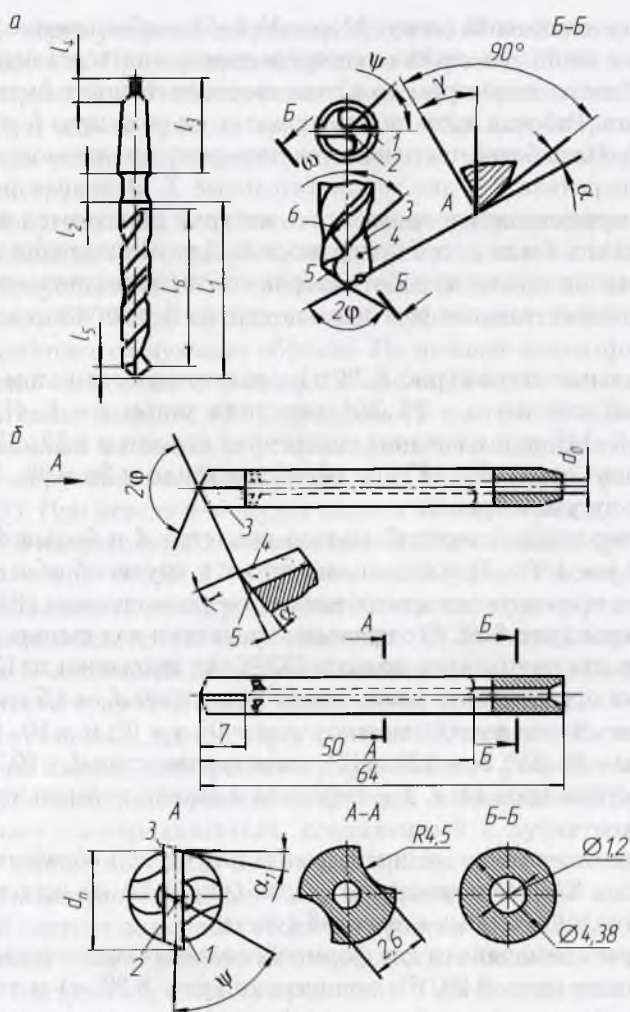


Рис. 8.28. Сверла:

a — спиральное; *b* — прямое с внутренним подводом смазочно-охлаждающей жидкости

инструмент, например сверло, зенкер, развертка (рис. 8.29, ж). Для нарезания внутренних резьб употребляются *метчики* (рис. 8.29, з).

Установка заготовок осуществляется обычно в *приспособления-кондукторы*, по втулкам которых сверлятся отверстия. В последние

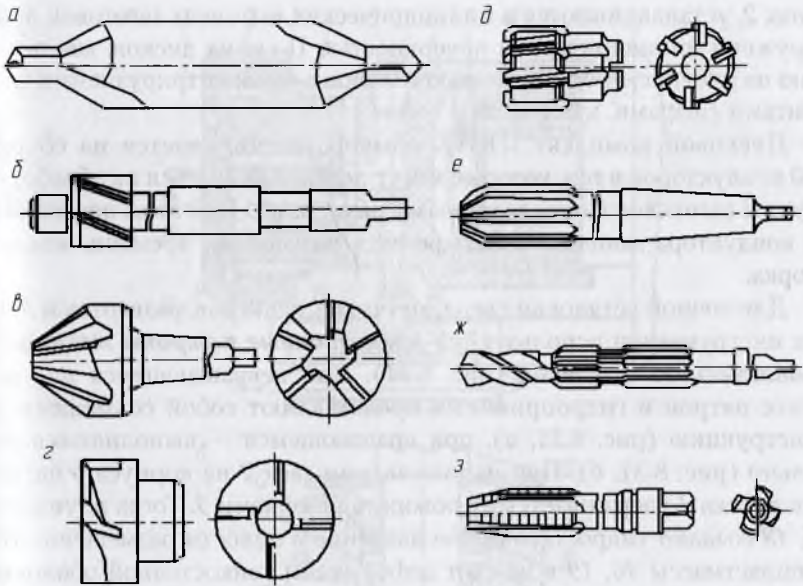


Рис. 8.29. Инструменты для осевой обработки:

а — центровочное сверло; *б, в, г* — зенкеры для обработки цилиндрических, конических и торцовых поверхностей отверстий; *д, е* — развертки цилиндрические и конические со вставными ножами и цельные; *ж* — комбинированный инструмент; *з* — метчик

годы производят переналаживаемые круглые накладные кондукторы (ПКНК), регламентированные ГОСТ 31.111.42–83 и каталогом К.31.112.41–89. Они входят в состав комплекта УСП (УСПП). Универсально-сборные ПКНК состоят из базовых деталей в виде делительных дисков; корпусных деталей в виде планок, делительных опор, ползунов, самоцентрирующихся шариками или кулачками головок; установочных деталей в виде пальцев; направляющих деталей в виде быстросменных удлиненных кондукторных втулок. Пример сборки кондуктора для сверления показан на рис. 8.30. Отверстия сверлятся в зоне диска 3 через кондукторные втулки 1, размещенные в кондукторных планках-пол-

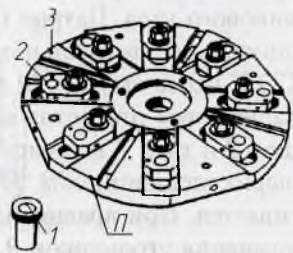


Рис. 8.30. Накладной кондуктор из элементов УСПП

зунах 2, устанавливаются в цилиндрических выточках заготовок либо наружной цилиндрической поверхностью II самих дисков, как показано на рисунке, либо с помощью головок с самоцентрирующими элементами (шарами, кулачками).

Пусковой комплект ПКНК обычно рассчитывается на сборку 700 кондукторов в год, которые могут переналаживаться на обработку группы заготовок с определенными размерами. При этом переналладка кондуктора занимает в четыре-пять раз меньше времени, чем его сборка.

Для точной установки сверл, метчиков, зенкеров, разверток и других инструментов используются **прецизионные патроны механоги-дравлического действия** (рис. 8.31). При невращающемся инструменте патрон и гидроприемник представляют собой совмещенную конструкцию (рис. 8.31, а), при вращающемся — выполняются отдельно (рис. 8.31, б). При навинчивании гаек 2 на корпуса 6 патронов втулка 4 удерживается от поворота шпонками 3. Тогда плунжеры 15, 18 создают гидростатическое давление в полости размещения гидропластмассы 16, 19 и за счет деформации тонкостенной оболочки втулок 17, 21 с продольными пазами обеспечивают зажим инструмента 1. Втулки 17 и 21 сменные и для каждого типоразмера инструмента имеют свой размер отверстия. Резиновые трубки 18, 20 и кольца 5 выполняют роль уплотнений. Штуцеры 5, 10 предназначены для подвода СОЖ от насосных станций.

Корпус 6 патрона (рис. 8.31, а) соединен с помощью резьбы с планшайбой 9, которая установлена на переходнике 11, например, задней бабки токарного станка или вибратора посредством радиального 8 и упорного 10 шарикоподшипников. Гайка 7 предназначена для закрепления патрона на переходнике и регулировки затяжки подшипникового узла. Патрон (рис. 8.31, б) закреплен на шпинделе (виброшпинделе) сверлильного станка 13 посредством резьбы и гайки 7. СОЖ через штуцер 10 поступает в выточку втулки 7 и оттуда через радиальные отверстия в канал виброшпинделя 13. С помощью крышек 8 и гаек 7 вся система гидроприемника, состоящая из упорных шарикоподшипников 14, уплотнительных манжет 15, шайб 16, стягивается. При вращении шпинделя гидроприемник удерживается от вращения угольником 9.

Датчиковая система выполнена в виде расположенной на двух опорах балки 13 (рис. 8.31, а) и наклеенного на нее тензорезистора 14. Рычаг 12 с помощью резьбы закреплен на корпусе 6 и путем упора

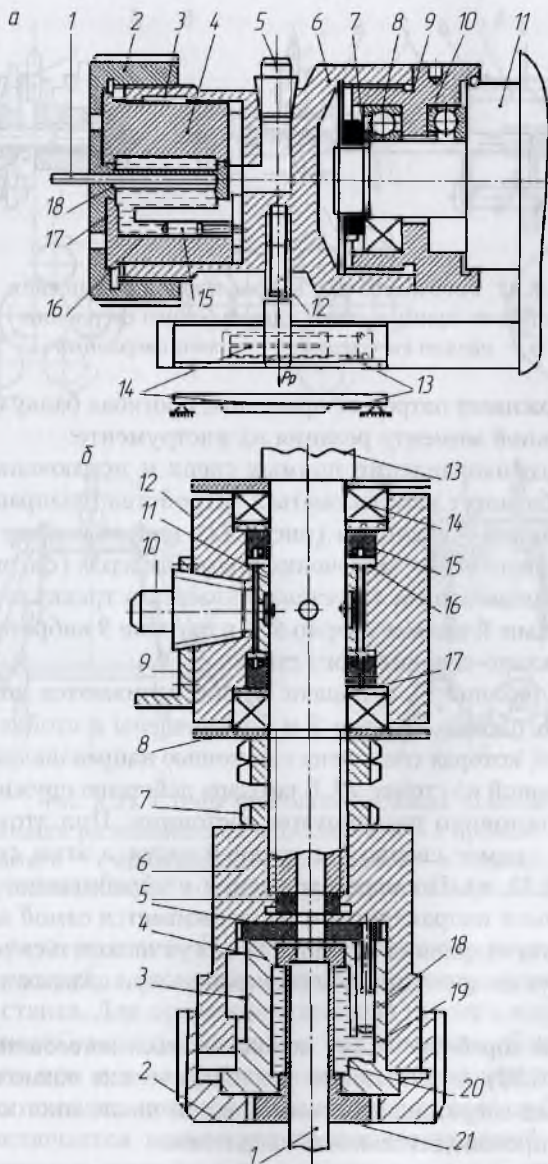


Рис. 8.31. Патроны для прецизионной установки осевого инструмента при обработке:

а — с вращением заготовки; б — с вращением инструмента

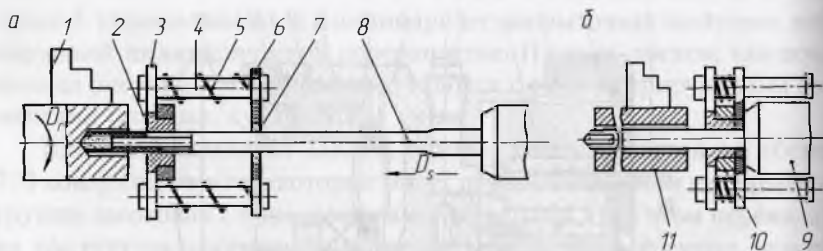


Рис. 8.32. Устройство для направления и повышения жесткости прямых сверл для глубокого сверления:
 а — начало сверления; б — конец сверления

в балку 13 удерживает патрон от вращения, прогибая балку с силой P_p , пропорциональной моменту резания на инструменте.

Для точного направления прямых сверл и исключения их продольного изгиба могут использоваться устройства с направляющей 2 и поддерживающей 7 втулками (рис. 8.32), направляющее отверстие которых выполнено по форме сечения прямого сверла (см. рис. 8.28, б). Обрабатываемая заготовка 11 устанавливается в трехкулачковом патроне с кулачками 1, прямое сверло 8 — в патроне 9 вибратора, например, горизонтально-сверлильного станка.

Движения резания D_r и подачи D_s обеспечиваются шпинделями станка и виброголовки. Втулки 2 и 7 размещены в стойке 10 и подвижной плите 6, которая соединена с помощью направляющих 4 с плитой 3, закрепленной на стойке 10. Благодаря действию пружин 5 втулки находятся в постоянно раздвинутом состоянии. При этом втулка 7 поддерживает прямое сверло 8 в средней части и этим снижает его прогиб (рис. 8.32, а). По мере вхождения в обработанное отверстие сверло все больше направляется и поддерживается самой заготовкой. При завершении сверления втулки 2, 7 могут находиться на близком расстоянии друг от друга или контактировать при сжатых пружинах 5 (рис. 8.32, б).

При осевой обработке могут использоваться **многошпиндельные головки** (рис. 8.33), повышающие технологические возможности одношпиндельных сверлильных станков, в том числе многооперационных с ЧПУ, и производительность сверления.

На рис. 8.33, а показана схема головки с постоянным расположением шпинделей. Вращение от шпинделя станка через конус 1 головки и центральное зубчатое колесо 2 передается на зубчатые колеса 4 шпинделей 3. Корпус головки для удобства сборки обычно выпол-

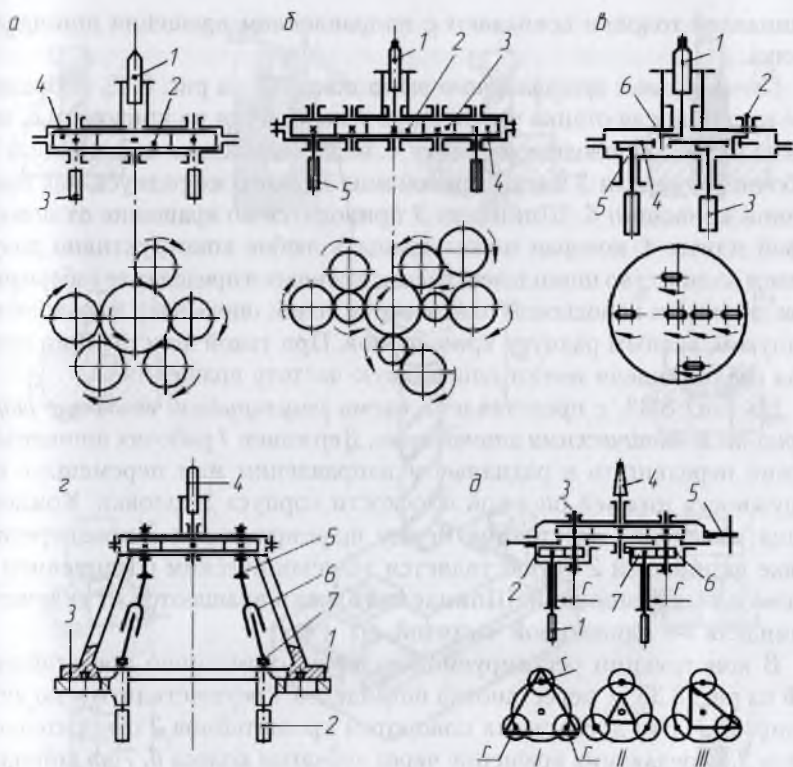


Рис. 8.33. Схемы многошпиндельных головок:

а — с постоянным расположением шпинделей; б — с промежуточными зубчатыми колесами; в — с кривошипным приводом; г — с шарнирно-телескопическими шпинделями; д — с регулируемым положением шпинделей

няется из двух половин. На верхней половине корпуса предусматривается раструб, с помощью которого головка крепится на гильзе шпинделя станка. Для вращения шпинделя головки вправо шпиндель станка должен вращаться в левом направлении. Для обеспечения подачи вниз при левом вращении шпинделя станка в цепь подачи приходится вводить промежуточное (паразитное) зубчатое колесо. В этом заключается недостаток головок описанной конструкции. Он отсутствует в головках с промежуточными зубчатыми колесами (рис. 8.33, б). Вращение от станка через конус 1 и зубчатое колесо 2 передается на зубчатое колесо 4 шпинделя 5 через промежуточное (паразитное) колесо 3. В результате направления вращения всех

шпинделей головки совпадают с направлением вращения шпинделя станка.

Схема головки *кривошипного типа* показана на рис. 8.33, в. Вращение от шпинделя станка через конус 1 передается на кривошип 6, который входит в поводковую плиту 4, поддерживаемую кривошипом 2. Рабочие шпиндели 3 имеют кривошипы 5 такого же радиуса, как приводной кривошип 6. Шпиндели 3 приводятся во вращение от поводковой плиты 4, которая может вращать любое конструктивно допустимое количество шпинделей, расположенных в пределах ее габаритов. При движении поводковой плиты все ее точки описывают окружности радиусом, равным радиусу кривошипов. При такой конструкции привода все шпиндели имеют одинаковую частоту вращения.

На рис. 8.33, г представлена схема *регулируемой головки с шарнирно-телескопическими шпинделями*. Державки 1 рабочих шпинделей можно передвигать в радиальном направлении или перемещать по окружности нижней опорной плоскости корпуса 3 головки. Компенсация изменения расстояния между шарнирами 5 и 7 при перестановке шпинделей 2 осуществляется телескопическим соединением 6 со скользящей шпонкой. Шпиндели головки вращаются от ведущего шпинделя 4 с одинаковой частотой.

В конструкции регулируемой головки, схематично представленной на рис. 8.33, д, перестановка шпинделей 1 осуществляется по дуге радиусом r . Это достигается поворотом кронштейнов 2 относительно валов 3, передающих вращение через зубчатые колеса 6, 7 на шпиндели 1. Конус (хвостовик) 4 головки соединяется со шпинделем станка, а ее корпус предохраняется от поворота фиксатором 5. Головки описанной конструкции удобны для обработки отверстий во фланцах разного диаметра. Варианты расположения шпинделей весьма разнообразны (I, II, III и др.).

Схемы осевой обработки на сверлильных и растачивания на расточных станках представлены на рис. 8.34. *Сверлением* (рис. 8.34, б) можно получать сквозные и глухие цилиндрические отверстия (качества точности 12, 13, $Ra = 6,3...15,0$ мкм). При обработке заготовок с помощью кондукторов обеспечивается расположение отверстий с точностью $\pm 0,15$ мм.

В *бросверлении* (рис. 8.34, в) можно получать цилиндрические отверстия (качества точности 8, 9, $Ra = 0,40...1,25$ мкм). Процесс осуществляется при вибрации с частотой f_v , в направлении подачи, что обеспечивает кинематическое дробление стружки и хорошую ее транспортабельность при вымывании подаваемой через каналы

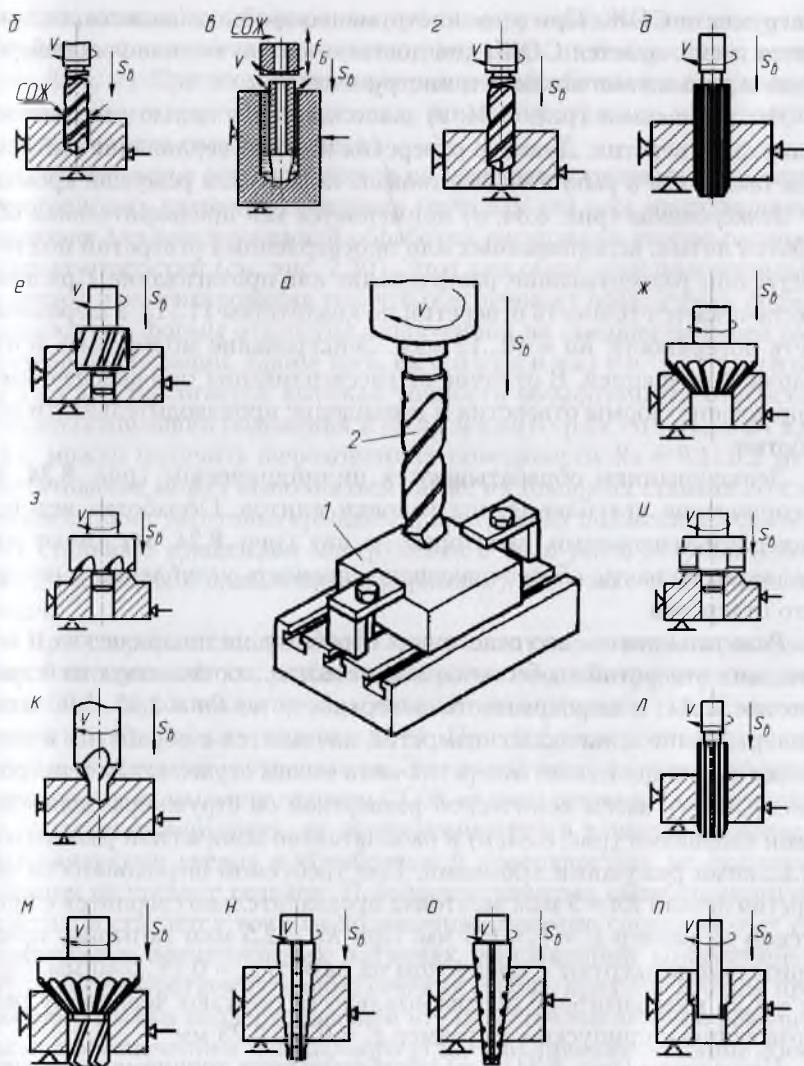


Рис. 8.34. Схема осевой обработки и растачивания:

а — положения заготовки 1 и инструмента 2 при сверлении; *б* — сверление; *в* — вибросверление; *г* — рассверливание; *д*, *е*, *ж* — зенкерование цилиндрических сквозных, ступенчатых и конических поверхностей; *з*, *и* — цекование; *к* — формирование центровых гнезд; *л-о* — развертывание цилиндрических и конических поверхностей; *п* — растачивание

инструмента СОЖ. При этом инструмент хорошо оmyвается, охлаждается и смазывается СОЖ, чем достигается улучшение условий резания и повышение стойкости инструмента.

Рассверливание (рис. 8.34, з) выполняется с целью увеличения диаметра отверстия. Диаметр отверстия под рассверливание выбирается так, чтобы в работе не участвовала поперечная режущая кромка.

Зенкерование (рис. 8.34, д) применяется как предварительная обработка литых, штампованных или просверленных отверстий под последующие развертывание, растачивание или протягивание. При этом обеспечивается точность отверстий по квалитетам 11...13, а шероховатость поверхности $Ra = 10...15$ мкм. Зенкерование может быть и отделочной операцией. В отличие от рассверливания оно обеспечивает исправление формы отверстия и повышение производительности обработки.

Зенкерованием обрабатываются цилиндрические (рис. 8.34, е) и конические углубления под головки винтов. Обработка ведется зенкерами-зенковками, некоторые из них (рис. 8.34, ж) имеют направляющую часть, обеспечивающую соосность углубления и основного отверстия.

Развертывание — это отделочная обработка цилиндрических и конических отверстий с обеспечением точности, соответствующей квалитетам 7...11, и шероховатости поверхности по $Ra = 1,25...5,00$ мкм. Развертывание конических отверстий начинается с обработки имеющегося цилиндрического отверстия коническим ступенчатым зенкером (рис. 8.34, м), затем конической разверткой со стружкоразделительными канавками (рис. 8.34, н) и окончательно конической разверткой с гладкими режущими кромками. При требуемой шероховатости отверстия детали $Ra = 5$ мкм заготовка предварительно сверлится с припуском на размер $z_{\text{п}} = 0,3...0,5$ мм. При $Ra = 2,5$ мкм заготовку предварительно зенкеруют с припуском на размер $z_{\text{п}} = 0,25...0,40$ мм. При $Ra = 1,25$ мкм заготовку предварительно подвергают черновому развертыванию с припуском на размер $z_{\text{п}} = 0,15...0,25$ мм.

Цекованием (рис. 8.34, з, и) обрабатываются торцовые поверхности, являющиеся опорными плоскостями головок винтов, шайб и гаек. Перпендикулярность торца к основному отверстию достигается наличием направляющей части у зенкера-цековки (рис. 8.34, з) и у пластинчатого резца (рис. 8.34, и).

Нарезание резьбы в отверстиях (рис. 8.34, к) обеспечивается метчиками. При этом подача должна быть равна шагу резьбы t .

С помощью комбинированного инструмента можно получать сложнопрофильные поверхности, например цилиндр плюс конус (рис. 8.34, м). При этом параметры режима обработки v и S_v принимаются по лимитирующему элементу комбинированного инструмента (центровочного сверла, зенкера).

Растачивание осуществляется на *расточных станках* с помощью однорезцовых патронов и оправок (рис. 8.34, n) или многорезцовых борштанг для одновременной обработки нескольких соосно расположенных отверстий (см. рис. 7.30). Этот вид обработки положительно отличается от зенкерования тем, что обеспечивает практически полное исправление формы отверстия, полученной на предшествующей растачиванию операции. Кроме того, на координатно-расточных станках достигается высокая точность обработанных отверстий и их относительного положения, а на алмазно-расточных станках можно получить шероховатость поверхности $Ra = 0,1...0,2$ мкм. Растачивание может выполняться также на токарных станках по следующей схеме: заготовка вращается, инструмент подается; на фрезерных станках с вращением инструмента в виде резца-летунка (одно- или двухрезцовой вращающейся державки), заготовке обеспечивается подача.

При сверлении могут иметь место следующие недостатки: уход сверла от заданной оси; разбивка отверстия по диаметру; неудовлетворительная шероховатость обработанной поверхности; смещение оси отверстия от базовых поверхностей. При вибросверлении перечисленные недостатки уменьшаются. Это достигается за счет дробления стружки и ее вымывания потоком СОЖ из зоны резания. Такая стружка не царапает поверхность, не затормаживается в каналах, образованных канавками сверла и обработанной поверхностью, не оказывает влияния на процесс резания. Повышение качества обработанного отверстия достигается точным положением прямого сверла за счет его установки в прецизионных патронах, направления кондукторной втулкой с отверстием по форме сечения сверла, предупреждения продольного изгиба поддерживающей втулкой, точной заточки режущей части с обеспечением одинакового угла, уравнивания по длине обеих основных режущих кромок, исключения обработки затупленным инструментом.

В подтверждение сказанного в табл. 8.2 представлены сведения по точности отверстий при сверлении и вибросверлении отверстий диаметром 3 мм и длиной 36 мм $\left(\frac{l}{d_n} = 12\right)$ в заготовках из титанового сплава ВТ3-1.

Таблица 8.2

**Геометрическая форма отверстий
при различных схемах сверления и инструментах**

Схема сверления	Инструмент	Биение отверстия, мм		Приращение биения отверстия на выходе сверла, мм	Увод (искривление оси отверстия), мм
		на входе сверла	на выходе сверла		
Сверло вращается, заготовка не вращается	Спиральное сверло из быстрорежущей стали марки Р6М3 (станок мод. 2А135)	0,13	0,47	0,34	0,17
Сверло не вращается, заготовка вращается	Спиральное сверло из быстрорежущей стали марки Р6М3 (станок мод. 16К20)	0,12	0,36	0,24	0,12
Сверло не вращается, но вибрирует, заготовка вращается	Вибросверло с пластиной твердого сплава ВК8 (виброустановка мод. ВУ-1)	0,10	0,12	0,02	0,01

Таким образом, вибросверлением отверстий малого диаметра и большой длины на высокоточном оборудовании с применением прецизионной оснастки можно обеспечить увод оси, не превышающий 0,015 мм.

На инструмент в процессе осевой обработки действуют крутящий момент M_p и осевая сила P_o . По максимальному M_p рассчитывается мощность резания, механизм главного движения и прочность деталей. Максимальная P_o определяет силовые факторы механизма подачи.

Расчет M_p и P_o может осуществляться по эмпирическим формулам:

а) при сверлении

$$M_p = C_M d_n^{x_M} S_o^{y_M} k_M,$$

$$P_o = C_P d_n^{x_P} S_o^{y_P} k_P;$$

б) при зенкерования и развертывании

$$M_p = C_{M1} d_n^{x_{M1}} S_o^{y_{M1}} t^{m_{M1}} k_{M1},$$

$$P_o = C_{P1} d_n^{x_{P1}} S_o^{y_{P1}} t^{z_{P1}} k_{P1}.$$

Значения величин C_m , C_p , k_m , k_p и показателей степени находятся по справочникам. Например, при сверлении стали $X_m = 2$, $Y_m = 0,8$, мощность резания пропорциональна квадрату диаметра $d_{и}$ инструмента.

Основной износ инструмента при осевой обработке наблюдается по задней поверхности h_3 , по уголкам режущей части h_y и ленточке $h_{л}$. Наибольшее влияние на износ h_3 по задней поверхности оказывает скорость v и значительно меньшее — подача S_0 . Поэтому с точки зрения стойкости инструмента выгоднее работать с большей подачей и меньшей скоростью резания. Допустимый износ для различных сверл и условий — в пределах $h_3 = 0,4...1,5$ мм.

Процесс резания при сверлении осуществляется в более сложных условиях, чем при точении и фрезеровании. Причины этого — в переменной деформации срезаемого слоя вдоль режущих кромок из-за переменных значений угла γ и скорости v ; очень большой деформации материала у поперечной режущей кромки; затруднениях по удалению стружки и подвода СОЖ в зону резания; трудностях по обеспечению жесткости инструмента, а также в большом трении сверла о поверхность отверстия.

Скорость резания при сверлении

$$v = \frac{C_v d_{и}^q}{T_{и}^m S^y} K_v$$

а при рассверливании, зенкерования, развертывании

$$v = \frac{C_v d_{и}^q}{T_{и}^m t^x S^y} K,$$

где $k_v = k_m \cdot k_{и} \cdot k_l$ — соответственно коэффициенты, учитывающие свойства обрабатываемого материала, состав СОЖ, износ сверла и длину сверления ($k_l = 1$ при $l/d_{и} < 2,5$; $k_l = 0,8$ при $l/d_{и} = 10$).

Максимально допустимая подача S_0 не должна приводить к превышению касательных напряжений τ , вызванных действием M_p :

$$\tau = \frac{M_p}{W},$$

где W — момент сопротивления ($W = 0,02d_{и}^3$).

Максимальное напряжение в сверле с учетом M_p и P_0

$$\tau_{\max} = 1,7\tau = \frac{1,7C_m d_{и}^{x_m} S_0^{y_m}}{0,02d_{и}^3}.$$

Значение τ_{\max} не должно превышать допустимого $[\tau] = \sigma_B/k$, где k — коэффициент запаса по прочности при его нормальном износе (для стали $k = 4$). В случае $\tau_{\max} = [\tau]$ можно получить допустимую подачу S_d по выражению

$$S_d = C_S d_{\text{и}}^{x_S},$$

где

$$C_S = \left(\frac{\sigma_B \cdot 0,02}{k \cdot 1,7C_M} \right)^{-y_M},$$

$$x_S = \frac{3 - x_M}{y_M} = 0,6.$$

При сверлении сквозных отверстий в конце обработки во избежание поломки сверла необходимо снижать подачу на 30...50 %. Из приведенной выше зависимости видно, что S_d зависит от $d_{\text{и}}$. С увеличением диаметра сверла возрастает S_d : для $d_{\text{и}} = 1...30$ мм, $S_d = 0,01...0,20$ мм/об.

Стойкость $T_{\text{и}}$ сверл принимается в пределах 10...40 мин. Частота вращения сверла

$$n = \frac{1000v}{\pi d_{\text{и}}}, \text{ мин}^{-1}.$$

Основное (машинное) время можно рассчитать из выражения

$$t_o = L/nS_o,$$

где $L = l_3 + l_{\text{в}} + l_{\text{п}}$ (l_3 — длина заготовки, $l_{\text{в}}$ — врезание, $l_{\text{п}}$ — перебег). Обычно $l_{\text{в}} + l_{\text{п}} = 0,3d_{\text{и}}$.

Вибросверление характеризуется, кроме n и S_o , частотой осевых колебаний $f_{\text{в}}$, амплитудой осевых колебаний инструмента A , числом k целых периодов осевых колебаний за время полуоборота инструмента, дробным остатком k_o периода осевого колебания вибросверла за время его полуоборота. Отношения $\frac{f_{\text{в}}}{n} = \frac{k + k_o}{30}$, $\frac{S_o}{A}$, $\frac{d_{\text{и}}}{A}$ определяют условия работы инструмента, длину дробленной стружки, кинематическое изменение заднего и переднего углов.

При вибросверлении прямыми сверлами, армированными пластинами из твердого сплава ВК8 рекомендуется принимать скорость резания, в 4...5 раз превышающую скорость резания при обычном сверлении; подачу устанавливать в 1,2...1,5 раза большей, чем при обычном сверлении; сумму $k + k_o$ принимать равной 17/8 или 19/8

при $n < 1000 \text{ мин}^{-1}$ и 9/8 или 11/8 при $n > 1000 \text{ мин}^{-1}$; частоту осевых колебаний определять по выражению $f_v = \frac{n(k + k_0)}{30}$; амплитуду осевых колебаний для сверления отверстий с отношением $\frac{l}{d_n} = 5 \dots 8$ принимать $A = (1 \dots 2)S_0$.

Период стойкости зенкеров находится в пределах $T_{и} = 15 \dots 80$ мин; разверток — $T_{и} = 20 \dots 90$ мин. Допустимый износ зенкеров и разверток по задней поверхности $h_z = 0,3 \dots 0,8$. Это связано с обеспечением точности диаметра обработанного отверстия. Чем меньше износ инструмента, тем меньшее отклонение от заданного диаметра будет иметь отверстие.

Растачивание на расточных станках выполняется так же, как и на токарных станках, с разницей лишь в том, что движение резания сообщается рецу. Поэтому параметры режима обработки можно определять, как и при растачивании на токарных станках. Подачи при этом можно снижать в 1,2...1,5 раза с целью уменьшения шероховатости поверхности и увеличения точности обработанного отверстия при применении, например, координатно-расточных станков.

В целом обработка различных внутренних поверхностей усложнена по причинам лимитированного доступа в зону обработки инструмента и СОЖ, ограниченной возможности наблюдения за процессом резания и инструментом, затруднений контроля точности и качества обработанной поверхности.

8.4. Обработка с поступательным движением резания



К обработке с возвратно-поступательным движением резания относятся *строгание, долбление и протягивание*, которые осуществляются соответственно на строгальных, долбежных и протяжных станках. Недостатком этих станков является наличие холостого (обратного) хода. Большинство указанных станков имеет бесступенчатые приводы движения резания (гидравлические и электрические).

Строгальные станки используются в единичном и мелкосерийном производстве, в инструментальных и ремонтных цехах. На них можно выполнять черновое ($Rz = 40 \dots 80$ мкм), чистовое ($Rz = 20 \dots 40$ мкм) и отделочное ($Rz = 3,2 \dots 10,0$ мкм) строгание. Станки подразделяются на поперечно- и продольно-строгальные. На рис. 8.35, а

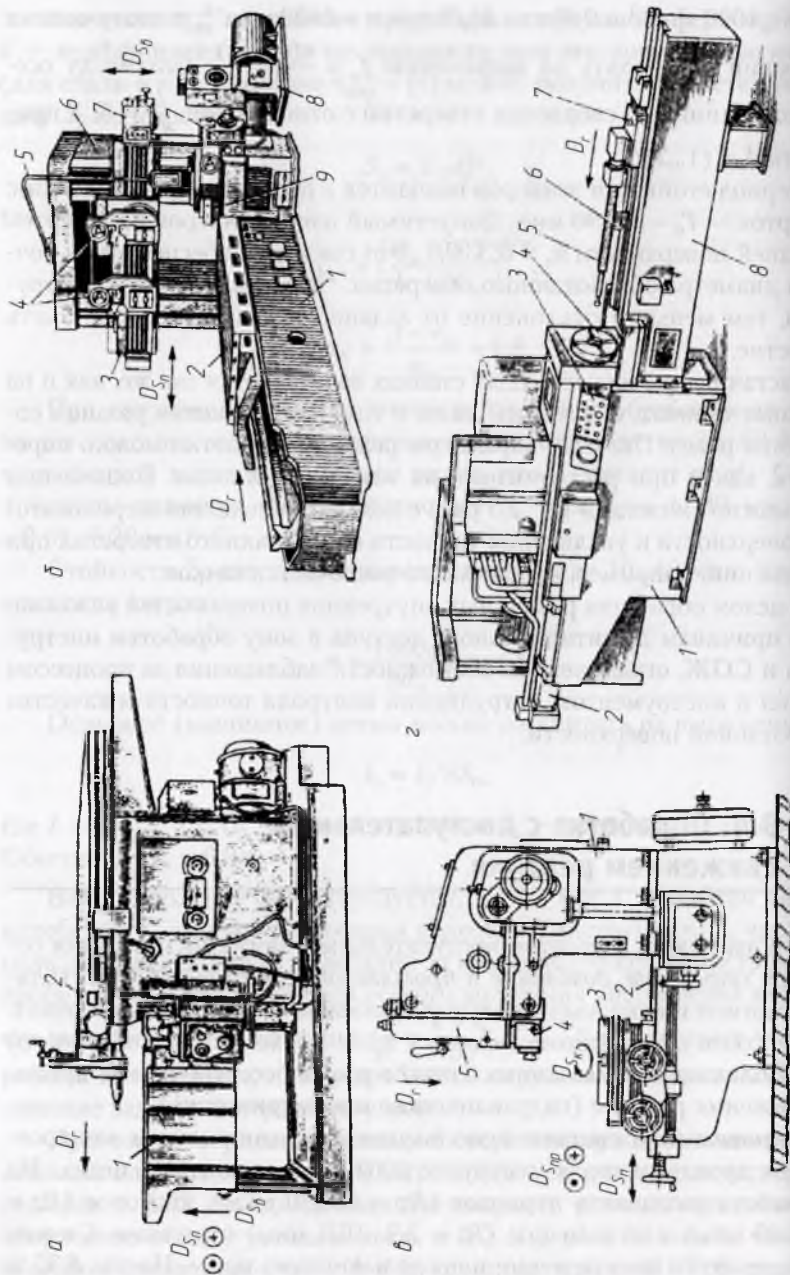


Рис. 8.35. Стругальные (а, б), долбежный (в) и горизонтально-протяжной (г) станки и движущиеся на них

показан общий вид *поперечно-строгального станка* с гидравлическим приводом. Главным движением D_r на этих станках является поступательное перемещение ползуна 2 со строгальным резцом. Обрабатываемая заготовка, закрепляемая на столе 1, получает поперечную $S_{\text{п}}$ или вертикальную $S_{\text{в}}$ подачи. Поперечно-строгальные станки мод. 7303, 7305, 7307Д и 7310Д имеют длину хода ползуна соответственно 320, 500, 710 и 1000 мм.

Продольно-строгальные станки бывают одно- и двухстоечные. На них можно обрабатывать более крупные заготовки. Главным движением на этих станках является возвратно-поступательное перемещение стола с обрабатываемой заготовкой. Длина рабочей поверхности стола на этих моделях станков может достигать 16 м при ширине обрабатываемой поверхности до 8 м.

Рисунок 8.35, б иллюстрирует общий вид двухстоечного продольно-строгального станка мод. 7212. Стол 2 установлен на направляющих станины 1. На стойке 6 смонтирован один боковой суппорт 9 и траверса 3, на которой расположены два верхних суппорта 4. В последних моделях станка предусмотрены два боковых суппорта 9 на левой и правой стойках 6.

Привод 8 главного движения выполнен в системе генератор — двигатель. Он обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости движения стола, а также плавное врезание резца в заготовку и замедленный выход его в конце рабочего хода. Предусмотрено также регулирование скорости обратного хода независимо от скорости рабочего хода. Движение подачи получают резцы во время холостого хода заготовки. Подача прерывистая, осуществляемая за каждый двойной ход заготовки. На рис. 8.35, б: 5 — подвеска пульта управления, 7 — коробки подач верхних и боковых суппортов. Движение резания D_r обеспечивается столом 2, движения подач — верхними суппортами 4 в поперечном, вертикальном и наклонном направлениях, а также боковыми суппортами 9 в вертикальном и поперечном направлениях.

Верхние суппорты приводятся в движение электродвигателем, размещенным на траверсе. Они получают установочное перемещение или рабочую подачу в вертикальном или горизонтальном направлениях. Ползуны этих суппортов могут быть повернуты на угол $\pm 60^\circ$ для обработки поверхностей под углом.

Боковые суппорты станка способны перемещаться вертикально по направляющим стоек 6, а их салазки — горизонтально. Каждый боковой суппорт приводится в движение от отдельного электродвигателя через свою коробку подач.

Скорость хода стола: рабочего — 4...80 м/мин; холостого — 12...80 м/мин. Подача верхних суппортов на двойной ход: горизонтальная — 0,5...25,0 мм/дв.х.; вертикальная — 0,25...12,5 мм/дв.х.

Долбежные станки предназначены для обработки плоских и фасонных поверхностей, шпоночных пазов, канавок в цилиндрических и конических отверстиях в единичном, мелкосерийном и серийном производстве. Эти станки являются станками вертикального типа. На рис. 8.35, в представлен станок мод. 7А420. Ползун 5, установленный на вертикальных направляющих станины 1, совершает вместе с закрепленным в резцедержателе 4 резцом рабочий (вниз) и холостой (вверх) ходы. Заготовка помещается на поворотном столе 3, размещенном на основном столе станка и перемещающемся на направляющих 2 станины 1 в поперечном направлении, на поперечных направляющих салазок — в продольном направлении. Круглый поворотный стол 3 снабжен делительным механизмом и может вращаться. Таким образом, установленная на столе 3 заготовка может получать продольную, поперечную и круговую подачи.

Ход ползуна (долбяка) станка — 20...200 мм; диаметр рабочей поверхности стола — 500 мм; число двойных ходов долбяка — 40...163 дв.х/мин.

Протяжные станки применяются для обработки внутренних и наружных поверхностей различных профилей преимущественно в массовом и крупносерийном производстве. Эти станки являются высокопроизводительными и обеспечивают высокую точность обработки (качества 5...8) и малую по высоте шероховатость ($Ra = 0,32...2,50$ мкм). На протяжных станках предусмотрено лишь одно движение резания в виде поступательного перемещения протяжки.

По конструктивному оформлению протяжные станки могут быть *горизонтальными* и *вертикальными*. Современные станки оборудованы гидравлическими приводами, обеспечивающими бесступенчатое регулирование скорости движения в пределах 1,5...15,0 м/мин. Промышленностью выпускаются станки с тяговой силой от 25 до 1000 кН и длиной хода до 2500 мм. Современные станки могут работать в полуавтоматическом и автоматическом режимах, что позволяет встраивать их в автоматические линии.

Горизонтально-протяжной полуавтомат мод. 7523 (рис. 8.35, г) предназначен для внутреннего протягивания сквозных отверстий. Его тяговая сила — 100 кН; максимальная длина хода — 1250 мм; скорости рабочего и обратного ходов — соответственно 1,5...11,5 м/мин и 20 м/мин; диаметр отверстия в план-

платформе для закрепления заготовки — 125 мм; длина протяжки наибольшая — 1365 мм, наименьшая — 400 мм.

На основной станине 1 протяжного станка смонтированы силовой гидроцилиндр 2 и гидростанция. Цикл работы станка определяется посредством пульта 3. Заготовка устанавливается непосредственно на опорной планшайбе 4 или при помощи приспособления, размещенного на ней. Протяжка 5 своим задним хвостиком закрепляется в патроне каретки 7. Замковая (передняя) часть протяжки, пройдя при подводе через отверстие заготовки, закрепляется в специальном патроне, смонтированном на штоке силового гидроцилиндра 2. Подвод перед обработкой отверстия и отвод протяжки в исходное положение после обработки и снятия заготовки осуществляется кареткой 7, которая перемещается по направляющим приставной станины 8 при помощи расположенного в ней гидроцилиндра. При этом протяжка 5 поддерживается роликом 6. Полуавтомат может работать в полуавтоматическом и наладочном режимах.

Устройство базовой модели 7Б55 горизонтально-протяжного станка для внутренней обработки иллюстрируется схемой, представленной на рис. 8.36. Станок состоит из станины 1, гидростанции 13, электродвигателя 12 привода шестеренчатого и радиально-поршневого насосов, гидроцилиндра 11, гидрораспределителя 10, рабочей каретки 9 с патроном для захвата протяжки 8, корпуса 7 с направляющими каретки, самоустанавливающейся опоры 6, вспомогательной каретки 5, стойки 3, насоса 2 для подачи СОЖ.

Принцип действия данного протяжного станка соответствует свободному протягиванию, при котором заготовка 4 базируется на протяжке и свободно прилегает к самоустанавливающейся опоре 6.

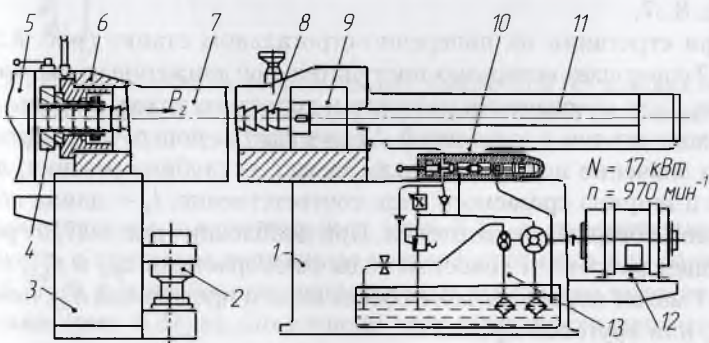


Рис. 8.36. Схема горизонтально-протяжного станка

Протяжка выравнивает заготовку и прижимает ее к поверхности опоры осевой силой P_z резания. Перед началом протягивания хвостовик протяжки пропускается через отверстие заготовки и закрепляется в патроне рабочей каретки, которая находится в рабочей зоне.

Рабочее движение протяжки осуществляется от гидроцилиндра 11, питаемого радиально-поршневым насосом регулируемой производительности. Перемещение скользящего блока радиально-поршневого насоса, которое определяет производительность, осуществляет шестеренчатый насос. Бесступенчатое регулирование скорости перемещения инструмента осуществляется изменением производительности насоса. Рабочее движение протяжки прекращается при воздействии упора каретки на конечный выключатель. Обратный (холостой) ход каретки ограничивается упором. На этом цикл работы станка заканчивается.

Вертикально-протяжные станки по сравнению с горизонтально-протяжными занимают меньшую площадь, более удобны в закреплении протяжек, но требуют более высокого расположения рабочего места и большой высоты помещения из-за необходимости размещения протяжки над рабочей позицией. Вертикальные станки могут использоваться в массовом производстве для обработки легких и средних по массе заготовок. Они применяются для наружного и внутреннего протягивания. Номинальная сила этих станков — 50...200 кН, скорость рабочего хода — 0,5...14,0 м/мин, длина хода каретки — 600...1600 мм.

В качестве *режущих инструментов* при строгании применяются строгальные резцы, при долблении — долбежные резцы, при протягивании — протяжки, а при прошивании — прошивки. Схемы процессов строгания, долбления, протягивания и прошивания показаны на рис. 8.37.

При строгании на поперечно-строгальном станке (рис. 8.37, а) *резец 2* совершает возвратно-поступательное движение со скоростями $v_{рх}$ и $v_{хх}$ для обеспечения рабочего и холостого ходов. В конце холостого хода столом с заготовкой *1* совершается поперечное перемещение на значение подачи мм/дв.х. Здесь t — глубина резания; a , b — длина и ширина срезаемого слоя соответственно; l_3 — длина обрабатываемой поверхности заготовки. При долблении (рис. 8.37, б) резец *2* совершает рабочий и холостой ходы со скоростями $v_{рх}$ и $v_{хх}$, а заготовка *1* может перемещаться с обеспечением продольной $S_{пр}$, поперечной $S_{п}$ или круговой $S_{к}$ подач.

Внутреннее (рис. 8.37, в) и наружное (рис. 8.37, г) протягивание по направлению и виду главного движения может осуществляться

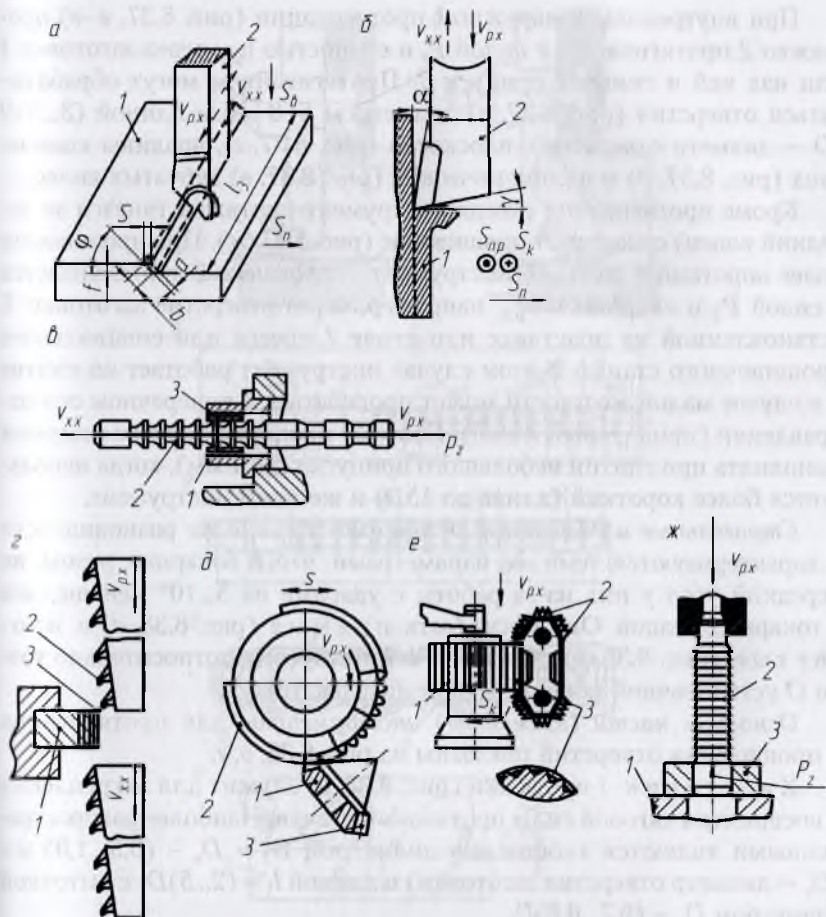


Рис. 8.37. Схемы обработки: строганием (а), долблением (б) плоских поверхностей, протягиванием внутренней (в), наружной плоской (г) поверхностей, шпиди зубчатых конического (д) и цилиндрического (е) колес, прошиванием отверстия (ж)

с горизонтальным и вертикальным (рис. 8.37, г) перемещением инструмента, с круговым движением круглой протяжки или заготовки (рис. 8.37, д), с конвейерным непрерывным движением заготовки или протяжки (рис. 8.37, е). По степени универсальности протягивание подразделяется на два типа: общего назначения (рис. 8.37, в, г) и специального (рис. 8.37, д, е).

При внутреннем и наружном протягивании (рис. 8.37, в–е) *протяжка 2* протягивается с силой P_z и скоростью $v_{p,x}$ через заготовку *1* или над ней и снимает припуск *3*. Протягиванием могут обрабатываться отверстия (рис. 8.37, в) диаметром 5–8 мм и длиной $(3...5)D$ (D – диаметр отверстия), плоскости (рис. 8.37, з), впадины конических (рис. 8.37, д) и цилиндрических (рис. 8.37, в) зубчатых колес.

Кроме протягивания (когда инструмент-протяжка тянется за передний конец) существует прошивание (рис. 8.37, ж). При прошивании более короткий и жесткий инструмент — *прошивка 2* проталкивается с силой P_z и скоростью $v_{p,x}$, например, через отверстие заготовки *3*, установленной на подставке или столе *1* пресса или специального прошивочного станка. В этом случае инструмент работает на сжатие и в случае малой жесткости может прогибаться в поперечном направлении (продольный изгиб). Поэтому прошивание рекомендуется выполнять при снятии небольшого припуска (до 1 мм), когда используется более короткий (длина до $15D$) и жесткий инструмент.

Строгальные и долбежные резцы имеют такие же разновидности и характеризуются теми же параметрами, что и токарные резцы, но передний угол у них из-за работы с ударами на $5...10^\circ$ меньше, чем у токарных резцов. Они могут быть *прямыми* (рис. 8.38, а) и *изогнутыми* (рис. 8.38, б) с вылетом L и радиусом R относительно точки O установочной поверхности резцедержателя.

Основные части (элементы) инструментов для протягивания и прошивания отверстий показаны на рис. 8.38, в, г.

Хвостовик 1 протяжки (рис. 8.38, в) служит для закрепления и восприятия тяговой силы протяжного станка. Наиболее распространенными являются хвостовики диаметром $D_1 = D_3 - (0,5...1,0)$ мм (D_3 – диаметр отверстия заготовки) и длиной $l_1 = (2...5)D_1$ с выточкой диаметром $D_0 = (0,7...0,8)D_1$.

Шейка 2 диаметром $D_2 = D_1 - (0,5...1,0)$ мм и длиной l_2 является вспомогательным элементом, связывающим хвостовик с переходным конусом *3* с D_2 и длиной $l_3 = 10...25$ мм, который облегчает направление оправки в момент входа в отверстие передней направляющей *4*, имеющей диаметр D_4 и длину l_4 . Величина D_4 принимается равной наименьшему значению диаметра D_3 обрабатываемого отверстия, а длина l_4 обычно выбирается равной длине отверстия.

Далее следует *режущая Р* и *калибрующая 5* части диаметрами d_1 и D_5 и длинами l и l_5 . Зубья режущей части срезают припуск, поэтому они имеют превышение a одного зуба над расположенным перед ним соседним ($a > 0$), т.е. $d_1 < d_2 < d_3 < \dots < d_n$ (n – число

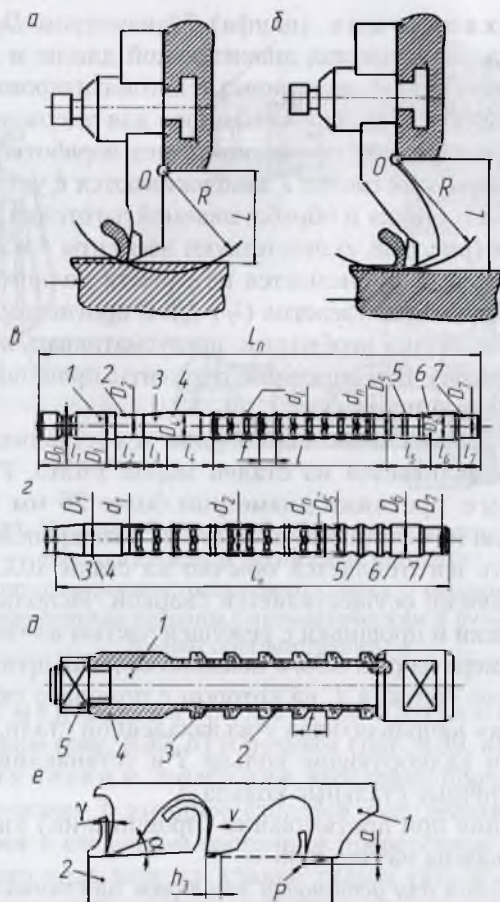


Рис. 8.38. Инструменты для обработки строганием и схема резания при протягивании (прошивании):

- a* – прямой строгальный резец; *б* – изогнутый; *в* – протяжка;
г, д – прошивки; *е* – схема резания при протягивании (прошивании)

режущих зубьев), а калибрующие зубья имеют один и тот же размер. Именно превышение *a* обеспечивает подачу t , мм/зуб. На режущих зубьях предусмотрены стружкоделительные канавки. Эти зубья делятся на черновые и чистовые (зачищающие).

Задняя направляющая *б* предназначена для выхода без перекоса задних зубьев протяжки из обработанного отверстия; ее длина обычно принимается равной половине длины отверстия l_3 .

Задний хвостовик (цапфа) 7 диаметром D_7 и длиной l_7 выполняется на инструментах значительной длины и массы (более 15 кг), а также при механизированных и автоматизированных процессах обработки. Этот хвостовик необходим для удержания протяжки и установки ее в исходное положение перед обработкой следующей заготовки. Размеры хвостовика 7 выдерживаются с учетом конструкции применяемого станка и обрабатываемой заготовки.

У прошивок (рис. 8.38, *г*) отсутствуют элементы 1 и 2 (рис. 8.38, *в*), а длина l_7 хвостовика принимается из расчета полного выхода прошивки из обработанного отверстия ($l_7 > l_3$). В противном случае в конструкции ползуна прессы необходимо предусматривать выступ (дополнительный элемент прошивки). Все остальные элементы прошивки мало отличаются от элементов протяжки.

Протяжки бывают цельные, сборные и составные. Цельные протяжки изготавливаются из сталей марок Р6М5, Р9М4К8, ХВГ и др. Сборные протяжки диаметром более 20 мм выполняются с рабочей частью из быстрорежущей стали, а их крепежно-присоединительная часть изготавливается обычно из стали 40Х. Соединение частей, как правило, осуществляется сваркой. Используются также сборные протяжки и прошивки с режущей частью из твердосплавных колец. Для примера на рис. 8.38, *д* показана сборная прошивка, состоящая из стального стержня 1, на котором с помощью гайки 5 закрепляются передняя направляющая 4 из закаленной стали, твердосплавные режущие и калибрующие кольца 3 и устанавливаемые между ними промежуточные стальные кольца 2.

Схема резания при протягивании (прошивании) инструментом 1 заготовки 2 показана на рис. 8.38, *е*.

Приспособления для установки заготовок на станках этой группы не являются сложными и часто похожи на токарные, фрезерные и сверлильные приспособления. Однако приспособления для закрепления инструмента имеют свои отличительные особенности и специфику. На рис. 8.39, *а* показан суппорт поперечно-строгального станка с резцедержателем. Суппорт 2 перемещается на вертикальных направляющих основания 1, закрепленного на торце передней части ползуна. В суппорте смонтирована откидная планка 4 с резцедержателем 5. Во время рабочего хода влево планка упирается в опорную плоскость, а при обратном ускоренном ходе она свободно откидывается, поворачиваясь на оси 3. Положение резцедержателя относительно вертикальной оси ползуна можно в случае необходимости регулировать и закреплять в требуемом положении винтом 6.

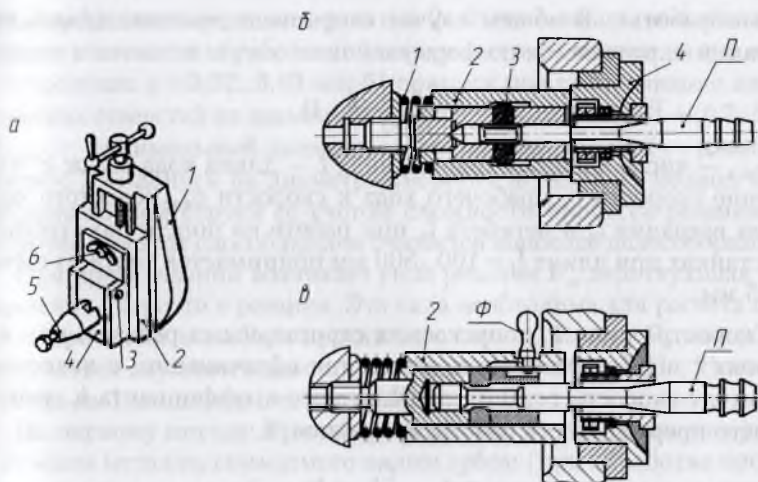


Рис. 8.39. Приспособления для закрепления инструментов на строгальных и протяжных станках:

а — суппорт поперечно-строгального станка с резцедержателем;
б, в — быстросменные патроны с автоматическим и ручным управлением соответственно

Быстросменные патроны для протяжек могут быть с автоматическим (рис. 8.39, б) и ручным (рис. 8.39, в) управлением. В *автоматическом патроне* хвостовик протяжки П захватывается кулачками 3, которые сходятся под действием гильзы 2 и удерживаются в сведенном состоянии посредством пружины 1. В конце обратного хода каретки станка гильза (втулка) 2 упирается в торец опорного приспособления 4 (или другой предусмотренный для этого упор) и смещается влево. Вследствие этого кулачки попадают в зону выточки, освобождаются от действия втулки 2 и раздвигаются. Аналогичным образом действует и патрон, управляемый рабочим, воздействующим на втулку 2 посредством рукоятки Ф. Патрон (рис. 8.39, б), показан в положении, соответствующем отжиму протяжки П, а патрон (рис. 8.39, в) — в положении зажима (захвата) хвостовика протяжки П.

Работа строгальных и долбежных резцов в процессе прерывистого резания с ударами и инерционное воздействие масс при реверсировании их движения, наличие холостых ходов — все это накладывает отпечаток на условия резания, стойкость инструмента и производитель-

ность обработки. В общем случае скорость v резания, м/мин, при строгании определяется по формуле

$$v = \frac{Ln_{\text{дв.х}}}{1000} (k + 1),$$

где $n_{\text{дв.х}}$ — число двойных ходов, мин^{-1} ; L — длина хода реза; k — отношение скорости $v_{\text{р.х}}$ рабочего хода к скорости $v_{\text{х.х}}$ холостого хода. Сумма врезания $l_{\text{в}}$ и перебега $l_{\text{п}}$ при работе на поперечно-строгальных станках при длине $l_3 = 100 \dots 500$ мм принимается соответственно 35...75 мм.

Скорость резания, допускаемая строгальными резцами при выбранных t и S , определяется, как и при обтачивании, с введением в формулу скорости резания поправочного коэффициента k_c , учитывающего прерывистость работы инструмента:

$$v = \frac{C_v}{T_n^{m_t} t^{x_t} S^{y_t}} k_c.$$

Для строгания можно рекомендовать $k_c = 0,75$; для долбления $k_c = 0,5 \dots 0,6$.

Основное (машинное) время t_0 , мин, при строгании рассчитывается по формуле

$$t_0 = \frac{B + y_1 + y_2}{n_{\text{дв.х}} S},$$

где B — ширина обрабатываемой поверхности заготовки, мм; $y_1 = l_{\text{в}}$ — расстояние врезания реза в направлении движения подачи, мм; $y_1 = t \text{ctg} \phi$, мм; $y_2 = l_{\text{п}}$ — перебег реза в том же направлении, мм.

Схема снятия слоев металла с заготовки 2 толщиной a при протягивании и геометрические характеристики режущих лезвий зубьев протяжки 1 представлены на рис. 8.38, *e*, из которого видно, что стружка накапливается в стружечных канавках перед каждым режущим зубом. В целом процесс протягивания характеризуют следующие особенности: 1) большая деформация срезаемого слоя, вызванная малыми толщинами a среза и пониженными скоростями резания; 2) обеспечение подачи конструкцией инструмента (превышением a последующего зуба над предыдущим); 3) осуществление одним инструментом черновой, чистовой и отделочной обработки; 4) выбор геометрии режущих зубьев в зависимости от твердости и прочности обрабатываемого материала, точности обрабатываемой поверхности; значение переднего угла $\gamma = 0 \dots 15^\circ$, при этом чем выше твердость, тем меньше значение γ .

и наоборот; значение заднего угла $\alpha = 2...4^\circ$ тем меньше, чем выше требования к точности обработанной поверхности; 5) подъем на зуб обычно в пределах $a = 0,02...0,10$ мм; 6) припуск под протягивание цилиндрических отверстий на диаметр $2z = 0,05D_{3\min} + (0,5...0,2)\sqrt{l} + (0,7...1,0)T$ ($D_{3\min}$ — минимальный диаметр отверстия заготовки; l — длина отверстия; T — допуск на диаметр отверстия детали); 7) подвод СОЖ высоконапорной струей (с учетом сложности процесса резания при протягивании этот способ подачи считается наиболее целесообразным).

При протягивании возникает сила резания P_z , действующая в направлении скорости v резания. Эта сила необходима для расчета прочности протяжки и выбора протяжного станка. Расчет P_z может осуществляться двумя методами: 1) по удельной силе p , МПа; 2) по силе резания на 1 мм длины лезвия p_1 , Н/мм.

По первому методу: $P_z = pfz_{\max}k_yk_{h_3}k_c$, где f — площадь поперечного сечения металла, снимаемого одним зубом (при обработке протяжкой круглого сечения $f = nDa$); $z_{\max} = l_3/t + 1$ — количество одновременно работающих зубьев; k_y, k_{h_3}, k_c — поправочные коэффициенты, учитывающие влияние переднего угла, износа зубьев по задней поверхности режущего лезвия, состава СОЖ и способа ее подвода; t — шаг расположения зубьев протяжки.

Износ протяжек проявляется в увеличении радиуса ρ скругления режущего лезвия (см. рис. 8.38, *e*) и истирании задних поверхностей зубьев (износ h_3). Наибольшие значения h_3 характерны для границы стружкоотделительных канавок и лезвий черновых зубьев протяжек (канавки располагают на зубьях в шахматном порядке с шагом 8...12 мм), а также по углам, на участках возникновения наибольших деформаций и температур.

При обработке вязкопластичных и коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов имеет место налипание металла на задние поверхности лезвий, что ухудшает качество отделки обработанной поверхности и приводит к росту силы P_z . В целях устранения этого отрицательного явления следует выбирать активные составы СОЖ (например, Аквол-10 и др.) при обильном их подводе. Допускаемый износ по задней поверхности протяжек составляет при обработке сталей $h_{3\min} = 0,25...0,40$ мм; при черновом протягивании титановых сплавов $h_{3\min} = 0,3...0,4$ мм; при чистовом — 0,15...0,20 мм.

Стойкость протяжек изменяется в широких пределах: $T_{II} = 30...420$ мин. Скорость v резания, м/мин, при протягивании

$$v = \frac{C_v}{T_{II}^m a^{yc}} k_{II}$$

Значения постоянной C_v , коэффициента k_n и показателей степени m и y_v находятся по справочникам, а T_n и a принимаются исходя из изложенных в справочной литературе рекомендаций.

Основное время t_o , мин, протягивания

$$t_o = \frac{L i k_x}{1000 v},$$

где L — длина рабочего хода протяжки, мм; i — количество протяжек в комплекте ($i = 1 \dots 3$); причем чаще всего обработка осуществляется одной протяжкой и $i = 1$; k_x — коэффициент, учитывающий обратный ход протяжки и принимаемый равным 1,2...1,5.

Строгание и долбление — незаменимые виды обработки плоских и фасонных поверхностей, шпоночных и других продольных канавок в отверстиях, отверстий прямоугольной и другой некруглой формы, линейчатых призматических и иных направляющих на станинах в единичном, мелкосерийном и серийном производстве. Они не требуют больших затрат на оснастку. Единственный их недостаток — низкая производительность.

Протягиванием (прошивкой) можно обрабатывать отверстия гладкие, шлицевые и любой другой формы, плоские и иные поверхности в массовом, крупносерийном и реже в серийном производстве. Они требуют больших затрат на инструмент, но обеспечивают высокую производительность обработки заготовок, повышенную точность и качество отделки поверхностей.



8.5. зубонарезание

Зубчатые колеса — одни из самых распространенных деталей машин и приборов. Их размеры составляют от нескольких миллиметров до 10 м. Основным способом формообразования зубчатых, равно как и шлицевых поверхностей деталей, является нарезание зубьев лезвийными режущими инструментами. **Зубонарезание** может осуществляться методами копирования и обкатки. При *копировании* в качестве инструментов используются дисковые и конические фрезы, зуборезные головки, долбяки и протяжки. Зубофрезерование и зубодолбление методом копирования используются в мелкосерийном, единичном и ремонтном производстве и осуществляются на универсальных фрезерных и долбежных станках с использованием делительных головок. Зуборезные головки, протяжки и зубонарезание

методом обкатки применяются в массовом и крупносерийном производстве с использованием станков-полуавтоматов.

Нарезание зубчатых колес червячными модульными фрезами основано на имитации зацепления пары червяк — червячное колесо. По сути, червячная фреза представляет собой червяк с прорезанными стружечными канавками. При нарезании прямозубых цилиндрических колес (рис. 8.40, а) ось фрезы 1 устанавливается относительно плоскости, перпендикулярной оси обрабатываемой заготовки 2, под углом, равным углу ω наклона винтовой линии фрезы на делительном цилиндре. В случае нарезания цилиндрических колес с винтовым зубом (рис. 8.40, б) фреза 1 устанавливается относительно заготовки 2 на угол $\omega_1 \pm \omega$ (ω_1 — угол наклона винтовой линии зубьев нарезаемого колеса; знак «плюс» используется при двустороннем наклоне зубьев фрезы и колеса, знак «минус» — при одностороннем наклоне). Для нарезания червячных колес (рис. 8.40, в) ось фрезы устанавливается горизонтально.

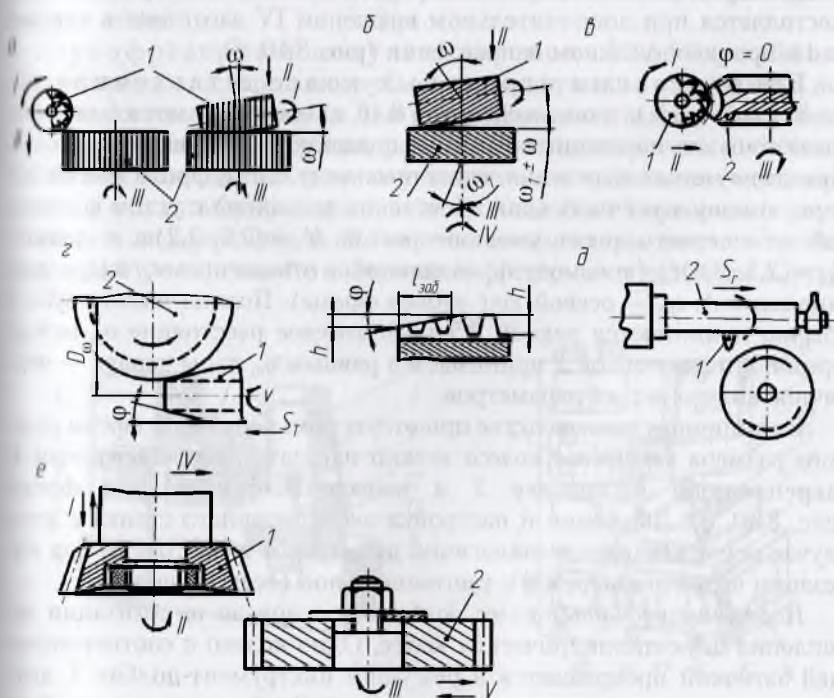


Рис. 8.40. Схемы зубонарезания методом обкатки

зонтально к плоскости червячного колеса (перпендикулярно к его оси). В процессе обработки фреза 1 получает вращательное движение I вокруг своей оси (движение резания) и поступательное движение II (движение подачи).

Подача имеет вертикальное направление при нарезании цилиндрических колес и радиальное (горизонтальное) — при нарезании червячных колес (нарезание с радиальной подачей). Заготовка 2, установленная с помощью приспособления на станке, при нарезании цилиндрических прямозубых и червячных колес получает только вращательное движение III вокруг своей оси, согласованное с вращением червячной фрезы (движение деления). Согласование вращений фрезы и заготовки вытекает из условия работы червячной пары: за один оборот фрезы (червяка) заготовка (червячное колесо) должна повернуться на z_1/z часть делительной окружности, по которой измеряются шаг t_3 зацепления, толщина зуба и ширина впадины (z_1 — число заходов фрезы (червяка); z — число зубьев нарезаемого червячного колеса). Нарезание цилиндрических колес с винтовыми зубьями осуществляется при дополнительном вращении IV заготовки в том же или в противоположном направлении (рис. 8.40, б).

При нарезании червячных колес с тангенциальной (осевой) подачей (рис. 8.40, з) обеспечивается более высокая точность нарезанных колес, но понижается производительность. При этом методе нарезания червячные модульные фрезы имеют заборную конусную часть (для облегчения врезания) с углом φ , высотой зуба первого витка, уменьшенной на $h' = (2,0 \dots 2,2)m$, и длиной $l_{\text{заб}} = (2,5 \dots 3,0)t_{\text{ос}}$ (m — модуль, являющийся отношением t_3/π (t_3 — шаг зацепления); $t_{\text{ос}}$ — осевой шаг зубьев фрезы). Полная высота зуба h обычно принимается равной $2,5m$. Межосевое расстояние a_w между фрезой 1 и заготовкой 2 принимается равным a_w пары червяк — червячное колесо тех же параметров.

В единичном производстве при отсутствии червячной фрезы нужного размера *червячные колеса* можно нарезать *резцом-летунком* 1, закрепленным в оправке 2 и имеющим форму зуба фрезы (рис. 8.40, д). Движения и настройка зубофрезерного станка в этом случае осуществляются аналогично движениям и настройке при нарезании червячной фрезой с тангенциальной (осевой) подачей.

Нарезание зубчатых колес долбяками основано на имитации зацепления двух цилиндрических колес. Одно колесо с соответствующей заточкой превращается в режущий инструмент-долбяк 1, другое — в нарезаемую заготовку 2 (рис. 8.40, е). Долбяк, закрепленный на шпинделе (шпинделе) станка, совершает возвратно-поступательное

перемещение I (движение резания) и вращательное II (движение подачи). Рабочий ход осуществляется при движении долбяка I вниз, холостой — при движении его вверх.

Заготовка, закрепленная с помощью приспособления на столе станка, совершает непрерывное вращательное движение III вокруг своей оси, согласованное с вращением долбяка; за время поворота долбяка на один зуб заготовка тоже должна повернуться на один зуб.

Кроме перечисленных движений долбяк совершает движение IV радиальной подачи — врезание в заготовку. Для уменьшения трения долбяка о заготовку при холостом ходе стол с заготовкой на небольшое расстояние отводится от долбяка, а перед рабочим ходом вновь перемещается к нему и занимает исходное положение (движение V). Зубодолбление позволяет изготавливать колеса с более высокой точностью, но оно менее производительно, поэтому используется только тогда, когда выполнить колесо зубофрезерованием невозможно, как, например, при производстве блоков зубчатых колес с близким расположением венцов, колес с внутренним зацеплением, а также шевронных колес.

Зубофрезерный полуавтомат мод. 53А50 (рис. 8.41, а) предназначен для нарезания зубьев цилиндрических и червячных колес. Он состоит из станины 1, в которой размещены коробка скоростей 2, транспортер стружки, резервуары гидросистемы и системы СОЖ и их приводы. На станине установлена неподвижная (передняя) стойка 3 с пультом управления, в которой находятся механизмы гитар обкатки и дифференциала. По вертикальным направляющим стойки перемещается каретка 4 с поворотным фрезерным суппортом 6, уста-

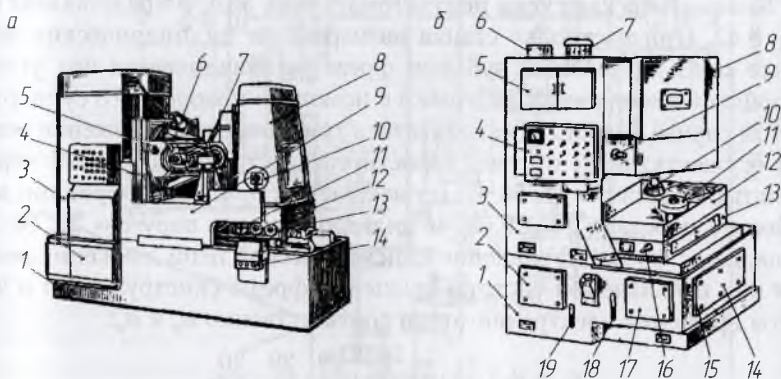


Рис. 8.41. Зубообрабатывающие станки-полуавтоматы:
 а — зубофрезерный; б — зубодолбежный

новка которого на необходимый угол осуществляется вращением валика 5. С правой стороны на направляющих станины размещен стол 9 с задней стойкой 8, по направляющим которой для повышения точности и жесткости установки заготовки перемещается поддерживающая траверса 7, управляемая рукояткой 10. На корпусе стола находятся рукоятки 11 ручного насоса смазывания и 12, 13 для перемещения стола и установки его упоров, а на станине в коробке 14 установлены конечные выключатели и сигнальные лампы.

Наибольшие диаметр обрабатываемого на станке колеса — 500 мм, его ширина — 350 мм, модуль — 10 мм, диаметр червячной фрезы — 180 мм, ее длина — 200 мм, угол поворота суппорта — $\pm 60^\circ$, осевое перемещение фрезы — 200 мм, наименьшее число нарезаемых зубьев — 12.

Зубодолбежный полуавтомат мод. 5А122 (рис. 8.41, б) предназначен для нарезания методом обкатки внутренних и наружных зубчатых венцов, блоков зубчатых колес и зубчатых секторов. При наличии долбяков на полуавтомате можно нарезать шлицы, кулаки. Полуавтомат состоит из станины 1, агрегата смазывания 2, стойки 3, пульта управления 4, гитары круговых подач 5, механизма 6 вывода долбяка, электродвигателя 7, каретки 8 штосселя (шпинделя), вала 9 ручного перемещения долбяка 10, сборника стружки 12, каретки 13 стола с заготовкой 11, вала 14 настройки межосевого расстояния, гидроагрегата 15, линейки 16 межосевого расстояния, насосной станции 17 подачи СОЖ, указателя 18 ее уровня, указателя 19 уровня смазочного материала. На станке можно обрабатывать колеса диаметром до 250 мм и шириной до 50 мм с модулем до 5 мм; число двойных ходов — $195 \dots 1200 \text{ мин}^{-1}$.

Кинематическая схема полуавтомата мод. 53А50 представлена на рис. 8.42. При настройке станка на нарезание цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями фреза устанавливается под углом к торцовой поверхности заготовки с помощью поворотного суппорта. В этом случае должны обеспечиваться три движения. Движение резания осуществляется от трехскоростного электродвигателя М1 через зубчатые колеса $z = 31, 56, 62$ и сменные a и b , а также через три конические передачи $z = 29, 29$ и цилиндрическую пару $z = 20, 80$ на шпиндель с фрезой. Уравнение кинематической цепи движения резания при обозначении частоты вращения фрезы (инструмента) и частоты вращения электродвигателя соответственно n_n и n_d :

$$n_n = n_d \cdot \frac{31}{62} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{20}{80},$$

откуда $a/b = 8n_n/n_d$.

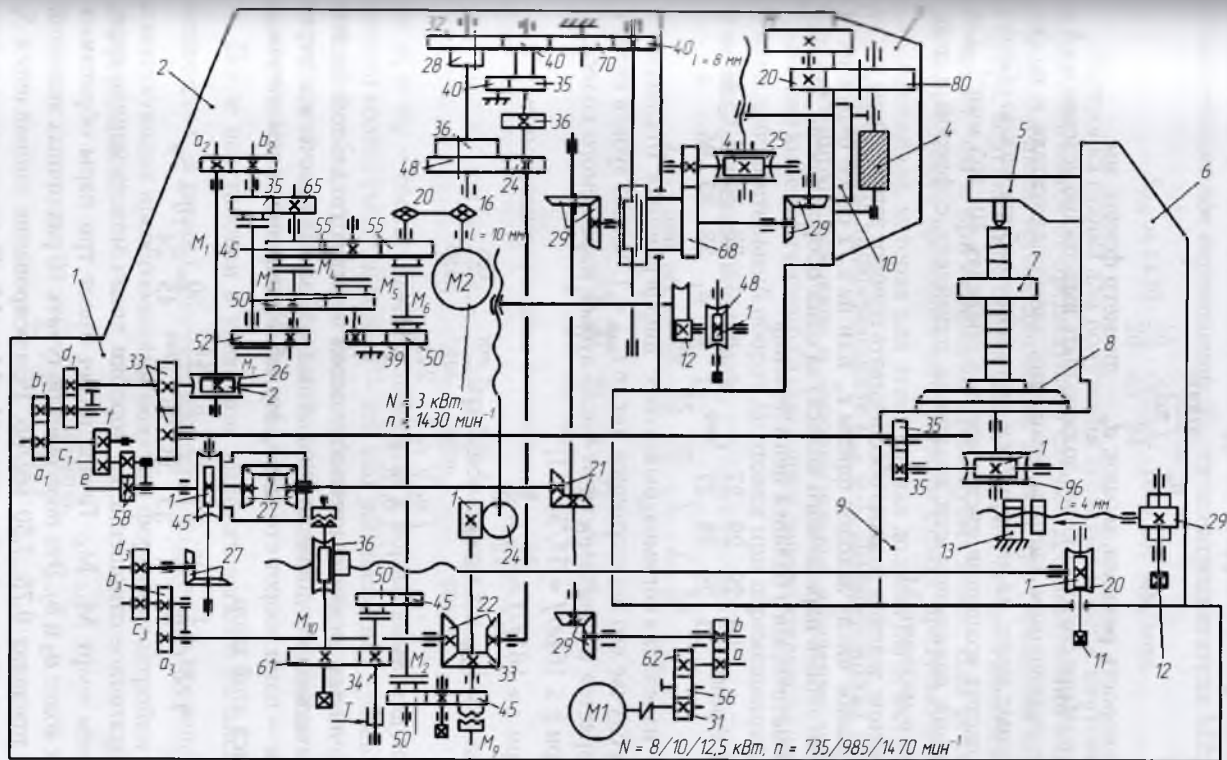


Рис. 8.42. Кинематическая схема зубофрезерного станка мод. 53A50:

- 1 — станина; 2 — неподвижная стойка; 3 — поворотный суппорт фрезы; 4 — фреза; 5 — поддерживающая траверса; 6 — задняя стойка; 7 — заготовка; 8 — стол; 9 — каретка стола; 10 — опора; 11, 12 — квадраты; 13 — упор

Частота вращения фрезы

$$n_{\text{ш}} = \frac{1000v}{\pi d_{\text{ш}}},$$

где v — скорость резания, м/мин; $d_{\text{ш}}$ — диаметр фрезы, мм.

При подборе сменных колес должно быть выдержано условие $a + b = 87$. Переключением частоты вращения электродвигателя и подбором сменных колес из имеющегося при станке набора можно обеспечить 11 частот вращения инструмента в пределах 40...405 мин⁻¹. Для обеспечения равномерности вращения шпинделя с фрезой в цепи установлен маховик М.

Движение деления должно обеспечивать поворот заготовки на число зубьев, равное числу заходов фрезы $z_{\text{ч}}$, или на $z_{\text{ч}}/z$ своей окружности (z — число зубьев нарезаемого колеса) за один оборот фрезы. Уравнение кинематического баланса цепи деления

$$1 \text{ об. фрезы} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{29}{29} \cdot \frac{27}{27} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{1}{96} = \frac{z_{\text{ч}}}{z}.$$

При нарезании прямозубых колес дифференциал отключается и в этом случае его передаточное число $i_{\text{диф}} = 1$. Число зубьев колес e и f выбирается в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса:

$$\square \text{ при } z \leq 161e/f = 54/54 = 1;$$

$$\square \text{ при } z > 161e/f = \frac{36}{72} = \frac{1}{2}.$$

Тогда при $i_{\text{диф}} = 1$ можно получить

$$\left(\frac{a_1}{b_1}\right)\left(\frac{c_1}{d_1}\right) = \frac{24z_{\text{ч}}}{z}.$$

Конечными звеньями кинематической цепи вертикальной подачи будут заготовка и ходовой винт с шагом $t = 10$ мм. Их расчетные перемещения — один оборот стола и $S_{\text{в}}$, мм/об. Уравнение кинематического баланса этой цепи

$$1 \text{ об. стола} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{2}{2} i_{\text{кп}} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{1}{24} 10 = S_{\text{в}}.$$

Передаточное отношение $i_{\text{кп}}$ коробки подач можно менять переключением муфт $M_1...M_4$. Гитара подач имеет три пары обратимых сменных колес a_2 и b_2 . Это позволяет получить 16 различных значений подач в пределах 0,75...7,50 мм/об. Реверсирование направления $S_{\text{в}}$ осуществляется переключением муфт M_5 и M_6 . Это позволяет реали-

повышать встречное или попутное фрезерование. Суппорт может получать ускоренное перемещение $S_{\text{уск}}$ от электродвигателя М2:

$$S_{\text{уск}} = 1430 \cdot \frac{16}{20} \cdot \frac{50}{45} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10 = 530 \text{ мм/мин.}$$

Настройка станка для получения зубчатых колес с винтовыми зубьями отличается от предыдущего случая. Для получения винтового зуба необходимы четыре движения. Первые три (вращения заготовки и фрезы, вертикальное перемещение подачи) осуществляются по тем же цепям, что и при нарезании прямозубых колес. Для реализации дополнительного вращения заготовки на станке предусмотрена цепь дифференциала, которая для этого случая должна быть включенной. При включенном дифференциале $i_{\text{диф}} = \frac{1}{2}$. Дифференциал алгебраически суммирует основное и дополнительное вращение заготовки. Уравнение кинематического баланса цепи дополнительного вращения на один дополнительный оборот заготовки при перемещении суппорта на шаг t_1 нарезаемой спирали

$$t_1 = 1 \text{ доп. об. з.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{1}{i_{\text{дел}}} \cdot \frac{f}{e} \cdot \frac{58}{58} \cdot i_{\text{диф}} \times \\ \times \frac{45}{1} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{d_3}{c_3} \cdot \frac{b_3}{a_3} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{1}{24} \cdot 10.$$

С учетом геометрических отношений

$$t_1 = \frac{\pi D_n}{\text{tg} \omega_1} = \frac{\pi m_t z}{\text{tg} \omega_1} = \frac{\pi m_n z}{\text{tg} \omega_1}, \quad m_t = \frac{m_N}{\cos \omega_1},$$

где m_t и m_N — соответственно торцовый и нормальный модули нарезаемого колеса (модуль колеса — это шаг расположения зубьев, деленный на π , $m = t/\pi$), мм; z — число зубьев нарезаемого колеса ($tz = \pi d$, $mz = d$, где d — диаметр начальной, делительной окружности колеса); ω_1 — угол наклона нарезаемого зуба, град.

После подстановки в уравнение кинематического баланса выражения для t_1 , а также $i_{\text{дел}} = \frac{24z_4}{z}$ при $\frac{e}{f} = 1$ и $i_{\text{диф}} = \frac{1}{2}$ и проведения соответствующих преобразований получим формулу настройки гитары дифференциала:

$$\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = \frac{25 \sin \omega_1}{\pi m_N z_4},$$

где z_4 — число заходов фрезы.

Для нарезания червячного колеса методом радиальной подачи необходимы три движения. Первые два (вращения заготовки и фрезы) работают по тем же формулам, что и при нарезании прямозубых и винтовых колес. Заготовка получает радиальную подачу, что обеспечивается перемещением каретки 9 (см. рис. 8.42) стола посредством ходового винта с шагом $t = 10$ мм, который получает осевое перемещение при вращении червячного колеса $z = 36$ с гайкой. Включение радиальной подачи осуществляется муфтой M_{10} . При этом муфта M_9 также включена под действием пружины, что обеспечивает работу до упора 14. В этой цепи предусмотрен тормоз T . Подача S_p , мм/об, устанавливается посредством гитары подач (a_2, b_2) и коробки подач (переключением муфт $M_1 \dots M_4$). Уравнение кинематического баланса цепи подач для максимальной подачи:

$$S_{p\max} = 1 \text{ об. з.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{64}{34} \cdot \frac{52}{48} \cdot \frac{55}{55} \cdot \frac{45}{50} \cdot \frac{34}{61} \cdot \frac{1}{36} \cdot 10 \approx 2,25.$$

При нарезании червячных колес методом тангенциальной подачи используются червячные фрезы с конусной заборной частью. В этом случае необходимы вращение фрезы, вращение заготовки, тангенциальная (осевая) подача фрезы и дополнительное вращение заготовки, вызываемое осевым перемещением фрезы. Вращения фрезы и заготовки осуществляются по тем же цепям, их настройка аналогична настройке для цилиндрических прямозубых и винтовых колес.

При осевом перемещении фрезы ее начальный цилиндр будет перемещаться по касательной к начальному диаметру нарезаемого колеса. Поэтому осевое перемещение фрезы называется *тангенциальной подачей* S_T . Для осуществления этого движения на станке имеется ходовой винт с шагом $t = 8$ мм, при вращении которого гайка, соединенная с салазками 10, будет перемещать фрезу в осевом направлении. Конечными звеньями этой цепи будут стол и ходовой винт тангенциальной подачи, а их расчетные перемещения 1 об. ст. — S_T . Уравнение кинематического баланса

$$1 \text{ об. ст.} \cdot \frac{96}{1} \cdot \frac{35}{35} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{2}{26} \cdot \frac{2}{2} \cdot i_{\text{кп}} \cdot \frac{45}{55} \cdot \frac{33}{22} \cdot i_{\text{пер}} \times \\ \times \frac{32}{40} \cdot \frac{40}{70} \cdot \frac{70}{40} \cdot \frac{2}{36} \cdot \frac{68}{40} \cdot \frac{4}{25} \cdot 8 = S_T,$$

где $S_T = 0,97 i_{\text{кп}} i_{\text{пер}}$ ($i_{\text{кп}}$ — передаточное отношение коробки подач, $i_{\text{пер}}$ — передаточное отношение перебора (24/48 или 36/36). Быстрое осевое перемещение фрезы осуществляется от электродвигателя М2.

При обработке необходимо, чтобы за время осевого перемещения фрезы на значение шага t нарезаемого колеса заготовка повернулась дополнительно на $1/z$ оборота. Уравнение кинематического баланса при условии, что конечными звеньями цепи являются ходовой винт тангенциальной подачи и заготовка, будет иметь вид

$$\frac{t}{8} \cdot \frac{25}{4} \cdot \frac{40}{68} \cdot \frac{36}{2} \cdot \frac{40}{32} \cdot \frac{1}{i_{\text{пер}}} \cdot \frac{22}{22} \cdot \frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} \times \\ \times \frac{27}{27} \cdot \frac{1}{45} \cdot i_{\text{диф}} \cdot \frac{58}{58} \cdot \frac{e}{f} \cdot \frac{d_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} \cdot \frac{33}{33} \cdot \frac{1}{96} \cdot \frac{35}{35} = \frac{1}{z} \text{ об. з.}$$

После подстановки $t = \pi m$, $i_{\text{диф}} = 2$, $\frac{e}{f} = \frac{54}{54}$, $\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{c_1}{d_1} = \frac{24z_4}{z}$ получим

$$\frac{a_3}{b_3} \cdot \frac{c_3}{d_3} = 8,7 \frac{i_{\text{пер}}}{\pi m z_4}$$

Поворот фрезерного суппорта на требуемый угол осуществляется вручную посредством червячной передачи $z = 1/48$, колеса $z = 12$ и рукоятки, надеваемой на квадрат 15 (см. рис. 8.42). Ручное перемещение суппорта и горизонтальное перемещение заготовки реализуются рукоятками, устанавливаемыми на квадраты 11 и 12. Квадрат 13 используется при установке длины хода до упора 14.

При нарезании колес с винтовыми зубьями на штоссель долбяка и червячное колесо ($z = 90$) устанавливаются винтовые направляющие с углом наклона, равным углу наклона нарезаемого зуба (рис. 8.43). При этом долбяк также должен быть с винтовым зубом. Таким образом, долбяку обеспечивается дополнительное возвратно-вращательное движение.

Для нарезания зубчатых колес методом копирования чаще всего используются модульные дисковые (рис. 8.44, а) и концевые (рис. 8.44, б) фрезы, зубодолбежные головки, протяжки. Сущность метода состоит в том, что профиль режущих кромок инструмента является копией профиля впадин между зубьями нарезаемого колеса. Фреза при подаче вдоль оси заготовки прорезает впадину между зубьями (обычно за несколько проходов). Далее заготовка поворачивается делительной

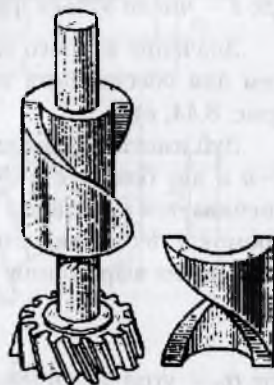


Рис. 8.43. Винтовые направляющие

головкой на $1/z$ часть окружности и прорезается вторая впадина. Затем вновь происходит поворот заготовки. И так до нарезания всех впадин, а значит, всего колеса с числом зубьев z . Работа осуществляется на универсальных горизонтально- (рис. 8.44, а) и вертикально-фрезерных (рис. 8.44, б) станках, оборудованных универсальными делительными головками (УДГ).

Методом обкатки колеса нарезаются червячными фрезами и долбяками. Конструктивными элементами и геометрическими параметрами червячной модульной фрезы (рис. 8.45, а) являются наружный диаметр d_a ; делительный диаметр d ; диаметр посадочного отверстия d_o ; число заходов z_n (обычно $z_n = 1$); угол винтовой канавки ω ; шаг винтовой линии t_o (окружной) и t_n (нормальный); угол наклона стружечных канавок β (обычно $\beta = \omega$); передний угол γ ; задний угол α , α_0 (здесь α_0 — задний угол боковых режущих кромок); длины режущей части l и фрезы L ; число зубьев; параметры зуба. К последним относятся полная высота H ; высота профиля h ; толщина зуба S (нормальная толщина S_n), величина затылования k . Для этих фрез должно выдерживаться соотношение $d_a > d_o + 2H + 2C$, где C — толщина стенки фрезы у шпоночного паза П.

Задняя поверхность зубьев фрезы имеет форму спирали Архимеда, т.е. зуб выполнен с затылованием k , значение которого выражается формулой

$$k = \frac{\pi d_a}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где z — число зубьев фрезы; α — задний угол на вершине зуба.

Значение второго затылования (у фрез со шлифованным профилем для обеспечения выхода шлифовального круга) $k_1 = (1,2 \dots 1,7)k$ (рис. 8.44, в).

Зуб имеет три режущие кромки: периферийную (на вершине зуба) $a-a$ и две боковые $a-b$. Значение заднего угла α у кромки $a-a$ обеспечивается в пределах $10 \dots 12^\circ$. Задний угол α_0 для боковых режущих кромок $a-b$ определяется в перпендикулярной к ним плоскости и находится из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha_0,$$

где α_0 — угол зацепления, обычно $\alpha_0 = 20^\circ$.

Передний угол для чистовых и прецизионных фрез равен нулю, а для черновых фрез может принимать значения $\gamma = 5 \dots 10^\circ$.

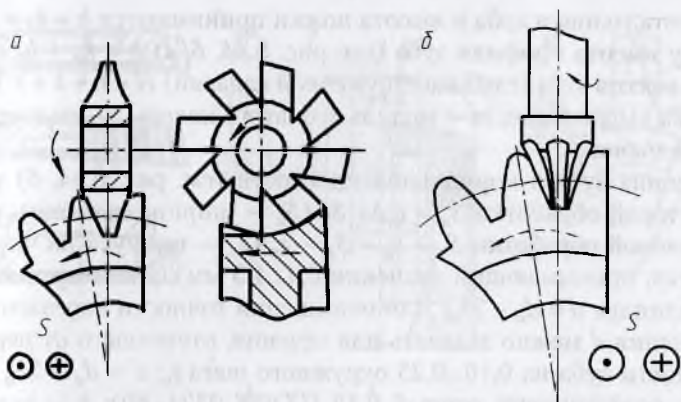


Рис. 8.44. Схемы нарезания зубчатых колес методом копирования:
 а – модульной дисковой фрезой; б – концевой фрезой

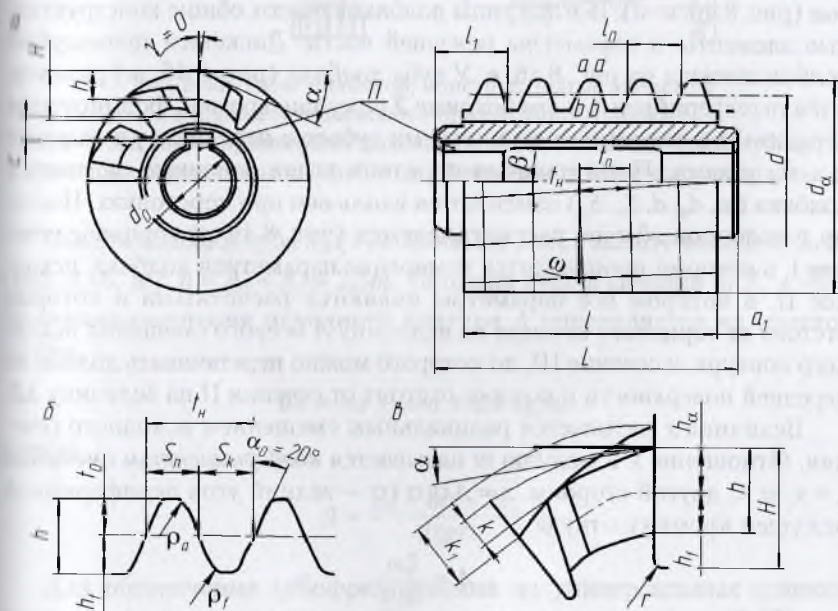


Рис. 8.45. Червячная модульная фреза:

а – конструктивные элементы и параметры; б – профиль зуба и впадины в нормальной плоскости; в – высотные параметры зуба и параметры затылования

Высота головки зуба и высота ножки принимаются $h = h_f = 1,25m$. Поэтому высота профиля зуба (см. рис. 8.44, б, в) $h = h_a + h_f = 2,5m$. Полная высота зуба (глубина стружечной канавки) $H = h + k + r$. В приведенных выражениях m — модуль зубчатого колеса; r — радиус скругления канавки.

Толщина зуба в нормальной плоскости (см. рис. 8.44, б) у фрезы для чистовой обработки $S_n = t_n - S_k$ (S_k — ширина канавки), у фрезы для черновой обработки $S_n = t_n - S_k - z_n$ (z_n — припуск на чистовую обработку, принимающий значения 0,4...1,5 мм). Диаметр делительного цилиндра $d = d_a - 2h_a$. Для повышения точности нарезаемых колес значения d можно задавать для сечения, отстоящего от передней поверхности зуба на 0,10...0,25 окружного шага t_0 : $d = d_a - 2h_a - 2\sigma k$, где σ — коэффициент, равный 0,15 (ГОСТ 9324–80); k — величина затылования.

Долбяки подразделяются на *дисковые прямозубые, дисковые косозубые, чашечные прямозубые, хвостовые прямозубые и хвостовые косозубые* (рис. 8.46, а–д). Все эти типы долбяков имеют общие конструктивные элементы и параметры режущей части. Дисковый прямозубый долбяк показан на рис. 8.46, е. У зуба долбяка (рис. 8.46, ж) различаются периферийная 1 и две боковые 2 режущие кромки, формируемые передними и задними поверхностями зубьев с передним γ и задними α и α_0 углами. Из-за наличия передних углов основные параметры долбяка (m, d_a, d, S_0, S_a) изменяются вдоль оси при переточках. Поэтому у долбяков обычно рассматриваются (рис. 8.46, е) торцовое сечение I, в котором производится измерение параметров долбяка, исходное II, в котором все параметры являются расчетными и которые отстоят от торцового сечения на величину A осевого смещения исходного контура, и сечение III, до которого можно перетачивать долбяк по передней поверхности и которое отстоит от сечения II на величину ΔH .

Величина x называется радикальным смещением исходного сечения. Отношение x к модулю m называется *коэффициентом смещения* $\xi = x/m$. С другой стороны, $x = A \operatorname{tg} \alpha$ (α — задний угол периферийной режущей кромки), откуда

$$A = \frac{\xi m}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Для боковых режущих кромок задний угол α_0 (рис. 8.46, з) определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha_0,$$

где α_0 — угол зацепления (обычно $\alpha_0 = 20^\circ$).

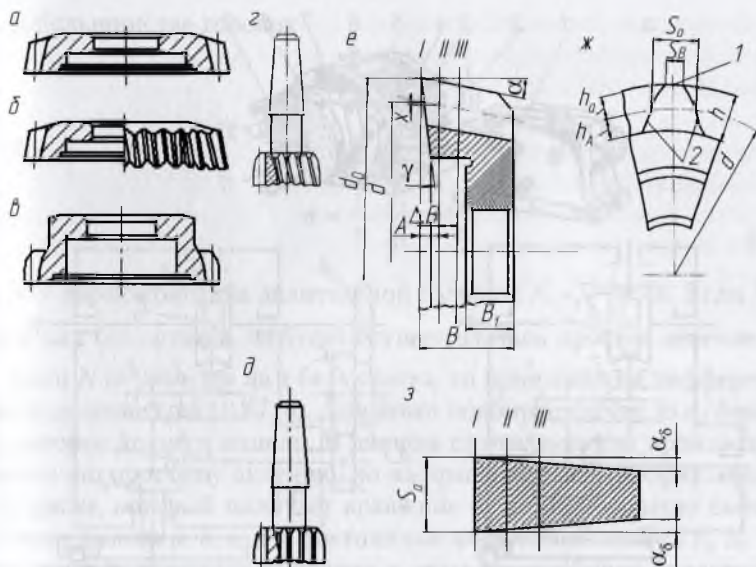


Рис. 8.46. Типы долбяков, конструктивные элементы и параметры дискового прямозубого долбяка:

а, б — дисковые прямозубые долбяки; в, г, д — чашечные прямозубые, косозубые и хвостовые косозубые долбяки; е, ж, з — параметры долбяка

Высота головки зуба h_a (в сечении II) равна высоте ножки зуба h_f (рис. 8.46, ж): $h = h_a + h_f = 2,5m$. Толщина зуба в сечении II $S_0 = \frac{\pi m}{2}$. Величина смещения исходного контура A определяется из соотношения

$$da = mz + 2ha + 2A \operatorname{tg} \alpha,$$

откуда

$$A = \frac{d_a - mz - 2h_a}{2 \operatorname{tg} \alpha}.$$

Для обеспечения зубофрезерования на универсальных станках используются **универсальные делительные головки** (рис. 8.47), которые позволяют производить непосредственное, простое и сложное (дифференциальное) деление. Для отсчета угла поворота шпинделя можно пользоваться диском 4 (рис. 8.47, а) с делениями через 1° . Такой способ деления называется **непосредственным**.

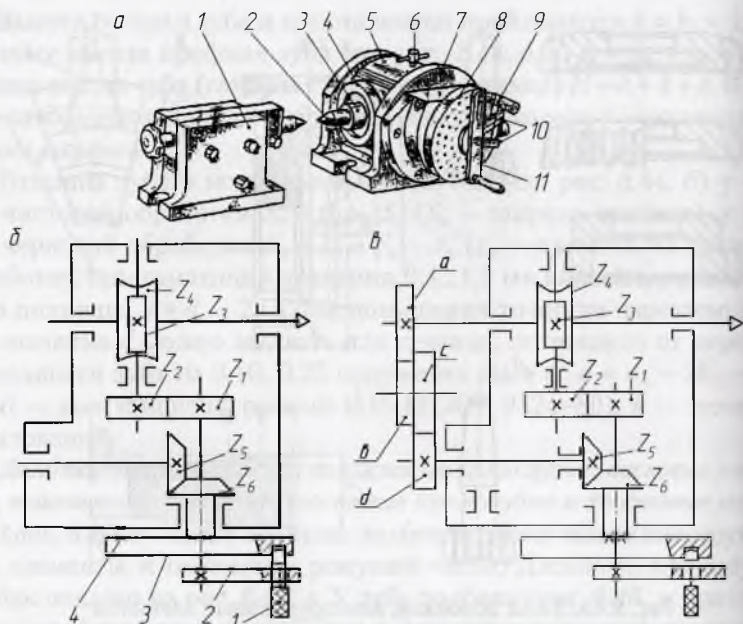


Рис. 8.47. Универсальная делительная головка:

a — общий вид (1 — поддерживающая (задняя) бабка с центром; 2 — центр головки; 3 — шпиндель; 4 — диск непосредственного деления; 5 — корпус; 6 — стопор; 7 — основание; 8 — делительный диск; 9 — фиксатор; 10 — радиально подвижной сектор; 11 — рукоятка); *б, в* — кинематические схемы (1 — фиксатор, 2 — рукоятка; 3 — диск; 4 — защелка)

Простое деление осуществляется при неподвижном диске 4 (рис. 8.47, б), скрепленном с корпусом защелкой 4. На диске с равномерным шагом по концентрическим окружностям насверлены отверстия под фиксатор, который размещен на рукоятке 2 и может перемещаться в ее пазу в радиальном направлении с фиксацией в положении против одной из окружностей расположения отверстий на делительном диске. Шпиндель при выведенном фиксаторе 1 вращается через зубчатую пару $\frac{z_1}{z_2}$ и червячную пару $\frac{z_3}{z_4}$. Для деления заготовки на z частей шпиндель надо повернуть на $\frac{1}{z}$ оборота. Требуемое число n оборотов рукоятки определяется из уравнения

$$\frac{1}{z} = n \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4}$$

В большинстве головок

$$\frac{z_1}{z_2} = 1, \quad \frac{z_3}{z_4} = \frac{1}{40}.$$

Тогда

$$n = \frac{1}{z} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{N}{z},$$

где N — характеристика делительной головки: $N = \frac{z_4}{z_3} = 40$. Если N делится на z без остатка, то будет осуществляться простое деление.

Если N не делится на z без остатка, то принимается дифференциальное деление (рис. 8.47, в). Для этого подбирается число z_0 , близкое к z , которое делится нацело. В данном случае деление производится аналогично простому делению, но на вращающемся (расфиксированном) диске, который получает вращение от шпинделя через сменные зубчатые колеса a, b, c, d и постоянные конические колеса z_5, z_6 . Требуемое число оборотов рукоятки в этом случае будет представлять алгебраическую сумму поворота рукоятки относительно диска и поворота самого диска:

$$\frac{N}{z} = \frac{N}{z_0} \pm \frac{1}{z}i,$$

где $\frac{N}{z}$ — требуемый поворот рукоятки; $\frac{N}{z_0}$ — поворот рукоятки относительно диска; i — передаточное отношение сменных зубчатых колес от шпинделя к диску ($z_5/z_6 = 1$).

Из приведенного выражения можно определить

$$i = \frac{N}{z_0}(z - z_0).$$

При $z_0 > z$ диск будет вращаться в сторону вращения рукоятки, при $z_0 < z$ — в противоположную сторону. Для изменения направления вращения диска в гитаре можно установить паразитное колесо.

Обрабатываемая заготовка размещается на центральной оправке, которая устанавливается в центр 2 УДГ и центр поддерживающей бабки 1 (см. рис. 8.47, а). УДГ и поддерживающая бабка ориентируются с помощью шпонок по Т-образному пазу и закрепляются на столе фрезерного станка. Оправка вместе с заготовкой посредством поводка соединяется со шпинделем 3 УДГ и вращается вместе с ним.

При повороте на заданный угол механизм УДГ перед обработкой очередной впадины колеса стопорится стопором 6.

На рис. 8.48 показана фланцевая кулачковая двухместная оправка с независимым зажимом каждой заготовки 3 по отверстию. Заготовки 3 пакетом центрируются и закрепляются по отверстию кулачками 7, 8 при перемещении конусов 2, 6 под действием пакетов тарельчатых пружин 5, 1. Одновременно заготовки 3 поджимаются в осевом направлении стаканом 4.

Приспособление пояском А центрируется по отверстию, а торцом Б устанавливается на верхнюю рабочую поверхность вращающегося стола зубофрезерного станка и закрепляется через отверстие В фланца корпуса 11 к столу посредством его Т-образных пазов. При зубонарезании вращением стола обеспечивается движение круговой подачи D_{S_k} . После нарезания зубьев червячной фрезой 9, вращаемой с обеспечением движения D_r , и перемещаемой для обеспечения движения D_{S_k} , заготовки 3 открепляются гидроприводом (пневмоприводом) путем перемещения вверх тяги 10, ввинченной в шток поршня гидропневмоцилиндра, встроенного в стол станка. Для снятия обработанных заготовок и установки следующей пары заготовок откручивается и снимается стакан 4. Затем стакан ставится на место, включается привод оправки и осуществляется зубонарезание новых заготовок. Центровое гнездо Ц служит для поддержания свободного конца оправки центром поддерживающей траверсы 7 (см. рис. 8.41, а) или 5 (см. рис. 8.42) зубофрезерного полуавтомата.

Скорость v при зубофрезеровании в зависимости от стойкости инструмента $T_{ин}$, модуля m нарезаемого колеса и вертикальной подачи может определяться из эмпирической зависимости

$$v = \frac{C_v}{T_{ин}^m S_n^{x_v} m^{y_v}} k_v.$$

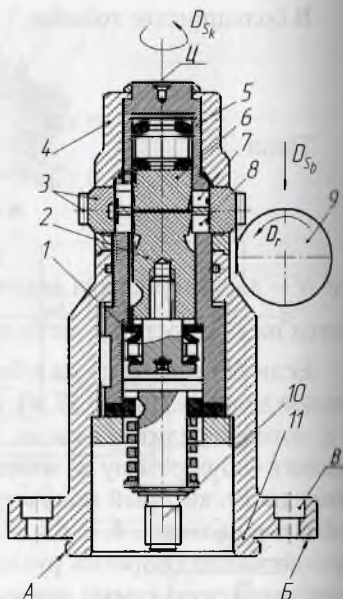


Рис. 8.48. Двухместная оправка с независимым зажимом заготовок

Значения C_v , k_v , x_v и y_v для конкретных условий обработки находят по справочникам. Период стойкости червячных фрез выбирается в зависимости от их модуля в пределах 180...500 мин. Значение вертикальной подачи принимается в пределах $S_B = 0,5...5,0$ мм за один оборот заготовки. После определения по приведенной выше формуле скорости резания рассчитывается частота вращения фрезы (инструмента), мин^{-1} :

$$n_{II} = \frac{1000v}{\pi d_{II}}$$

где d_{II} — диаметр фрезы, мм.

Полученное значение n_{II} корректируется по имеющимся на станке частотам вращения шпинделя станка и после этого уточняется фактическая скорость резания.

Основное (машинное) время, мин, определяется из выражения

$$t_0 = \frac{Liz}{n_{ст} S_B z_ч}$$

где L — длина хода фрезы: $L = l_3 + l_B + l_{II}$ (l_3 — толщина заготовки, l_B , l_{II} — длины врезания и перебега фрезы), мм; i — число ходов; $n_{ст}$ — частота вращения стола станка, мин^{-1} ; $z_ч$ — число заходов фрезы, обычно $z_ч = 1$; z — число зубьев нарезаемого колеса.

При зубодолблении скорость резания, м/мин, определяется из выражения

$$v = \frac{2Ln_{дв.х}}{1000}$$

где L — длина хода долбяка: $L = l_3 + l_{II}$ (l_3 — толщина заготовки, мм, l_{II} — длина суммарного перебега при рабочем и холостом ходах долбяка, равная 5...7 мм); $n_{дв.х}$ — число двойных ходов долбяка в минуту.

В целом лезвийная обработка резанием является в машино- и приборостроении одной из самых распространенных и применяется для формообразования, черновой, получистовой, а иногда и для чистовой обработки, а также для отделки поверхностей заготовок и деталей. Положительным является то, что лезвийная обработка в определенной степени управляема относительно процесса резания, так как режущие лезвия инструмента имеют строго определенные геометрические параметры (углы γ , α , ϕ , ϕ_1 , λ) для определенных видов и условий обработки.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Перечислите виды лезвийной обработки и опишите их особенности.
2. Назовите основные типы станков, используемых при выполнении следующих видов обработки: а — точения, б — фрезерования, в — осевой обработки и растачивания, г — обработки с поступательным движением резания, д — зубонарезания.
3. Перечислите разновидности инструментов, используемых при лезвийной обработке различных видов, и классифицируйте инструменты по стойкости.
4. Опишите по одному из приспособлений для каждого вида лезвийной обработки.
5. В отношении каких поверхностей и при каких движениях можно выполнять лезвийную обработку?
6. Перечислите параметры режимов лезвийной обработки. В каких единицах они измеряются?
7. Какими методами можно определить параметры режима при лезвийной обработке?
8. Как определить основное (машинное) время при различных видах лезвийной обработки?
9. Для чего автоматизируются процессы лезвийной обработки?
10. В каких случаях процессы лезвийной обработки применяются как отделочная обработка?
11. Назовите принципы выбора СОЖ в зависимости от способов лезвийной обработки.
12. Какие станки (по мощности, производительности, точности и качеству отделки поверхностей) используются при выполнении лезвийной обработки конкретного вида?
13. В чем отличия формообразования зубчатых и шлицевых поверхностей копированием и обкаткой?
14. Из каких материалов и с какой термообработкой изготавливаются протяжки и прошивки?
15. Какие инструментальные материалы обеспечивают наивысшую стойкость фрез, резцов, долбяков, протяжек?
16. Какими путями может осуществляться модернизация оборудования для лезвийной обработки?
17. Опишите типовые приспособления для различных способов лезвийной обработки.
18. Каковы преимущества и недостатки процесса протягивания?
19. Как осуществляются комбинирование лезвийной обработки на металлорежущих станках?
20. На каких производствах выгодно применять автоматизированное оборудование и приспособления?
21. Как происходит и контролируется износ режущих элементов инструментов для лезвийной обработки?