

ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ

---

*В. А. Гапонкин*

*Л. К. Лукашев*

*Т. Г. Суворова*

# ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ, МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И СТАНКИ

*Допущено Управлением кадров  
и социального развития  
Министерства автомобильного  
и сельскохозяйственного машиностроения  
в качестве учебника  
для средних специальных учебных заведений  
по машиностроительным специальностям*



---

МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
1990

ББК 34.63-5я723  
Г19  
УДК 621.9.02/.06(075.32)

Рецензенты *И. А. Коротков, Г. М. Стискин*

**Гапонкин В. А. и др.**

**Г19**      **Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В. А. Гапонкин, Л. К. Лукашев, Т. Г. Суворова. — М.: Машиностроение, 1990. — 448 с.: ил.**

**ISBN 5-217-01015-0**

Рассмотрены общие принципы обработки резанием, основные группы металлорежущих станков, инструменты и приспособления. Приведены сведения о металлорежущем оборудовании с автоматизированным циклом работы, включая оборудование с ЧПУ. Описаны методы электрофизико-химической обработки. Изложены вопросы эксплуатации и модернизации металлорежущих станков.

Г  $\frac{2704040000-244}{038(01)-90}$  244—90

**ББК 34.63-5я723**

**ISBN 5-217-01015-0 © В. А. Гапонкин, Л. К. Лукашев,  
Т. Г. Суворова, 1990**

В начале XVIII в. началось производство транспортных средств, вооружения и текстильных машин. Их надежное функционирование зависело от точности изготовления их деталей.

Высокую точность изготовления обеспечивала лишь обработка резанием. Она позволила из заготовки, отличающейся по форме и размерам от детали, получить деталь требуемой точности. Расширение масштабов производства заставило одновременно заниматься практическими и теоретическими вопросами обработки резанием.

Русский механик А. К. Нартов создал прообраз токарного станка с самоходным суппортом. В связи с увеличившимися потребностями оружейного производства Я. Батищев, Л. Собакин и П. Захава сконструировали многошпиндельные сверлильные и хонинговальные станки. В целях обеспечения развивающегося флота такелажными блоками англичанин Г. Модсли создал автоматическую линию для их изготовления. Он также создал крестовый суппорт, строгальный и многие другие станки. Большой вклад в развитие теоретических вопросов обработки резанием внесли русские ученые И. Л. Тиме, К. А. Зворыкин и Я. Г. Усачев, которые предложили модель стружкообразования, обосновали ее расчетами и определили силы резания. Академик А. В. Годолин теоретически обосновал принцип использования геометрического ряда частот вращения в ступенчатых приводах главного движения станков.

Бурное развитие обработка резанием в нашей стране получила в послеоктябрьский период, в годы индустриализации, когда практически заново создавалось отечественное станкостроение. Были не только построены станкостроительные и инструментальные заводы, но и организованы конструкторские бюро, исследовательские (ЭНИМС)

и учебные (СТАНКИН) институты. В эти годы была создана Комиссия по обработке резанием, объединившая под руководством Б. П. Наденнской ведущих специалистов страны.

Достижения в области обработки резанием позволили наряду с достижениями в других областях науки и техники в начале Великой Отечественной войны быстро наладить производство разнообразной военной техники, необходимой фронту, а также в кратчайшие сроки восстановить разрушенное войной хозяйство. В последующие годы прогресс в обработке резанием определялся требованием повышения ее производительности и точности, что реализовалось путем создания новых инструментальных материалов и повышения точности металлорежущих станков. Разработка новых синтетических сверхтвердых инструментальных материалов позволила расширить не только диапазон режимов резания, но и спектр обрабатываемых материалов. Повышение точности станков было достигнуто введением в их конструкцию узлов, реализующих новые принципы (например, использование бесконтактных измерительных систем).

Наряду с повышением точности станков происходил процесс дальнейшей их автоматизации на базе регулируемых электроприводов, средств электроавтоматики и вычислительной техники. В связи с применением ЧПУ при обработке на станках увеличилась степень концентрации обработки на каждом отдельном станке, и с целью повышения надежности их стали оснащать средствами диагностирования и оптимизации обработки, что весьма важно при использовании станков в составе гибких производственных систем (ГПС).

В настоящее время развитие станкостроительной отрасли идет в направлении повышения производительности металлорежущих станков, их надежности и точности на базе широкого применения автоматизированных процессов, унифицированных станочных модулей, роботизированных технологических комплексов и вычислительной техники.

## РАЗДЕЛ 1

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

---

## ГЛАВА 1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

### § 1.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Обработка резанием* — это технологический процесс изготовления деталей, заключающийся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки. Резание происходит путем внедрения в обрабатываемую заготовку клинообразного твердого тела — режущей части инструмента, движение которого осуществляется под действием сил привода станка. В зоне соприкосновения режущего клина инструмента и срезаемого слоя заготовки происходит сложный процесс пластического деформирования и разрушения металла, приводящий к образованию стружки и отделению ее от заготовки.

Для осуществления резания необходимо относительное движение между заготовкой и режущим инструментом. Совокупность относительных движений инструмента и заготовки, необходимых для получения заданной поверхности, называют *кинематической схемой обработки*. Все принципиальные схемы обработки резанием основаны на сочетании двух элементарных движений — вращательного и прямолинейного. Так, например, при токарной обработке вращательное движение заготовки и поступательное движение резца, параллельное оси вращения заготовки, образуют суммарное движение резания по винтовой спирали (рис. 1.1, а).

Прямолинейное поступательное или вращательное движение инструмента или заготовки, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания и определяющее скорость снятия материала срезаемого слоя, называют *главным движением резания*  $D_r$  (ГОСТ 25762—83). Скорость главного движения обозначают буквой  $v$ . Прямолинейное поступательное или вращательное движение инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное

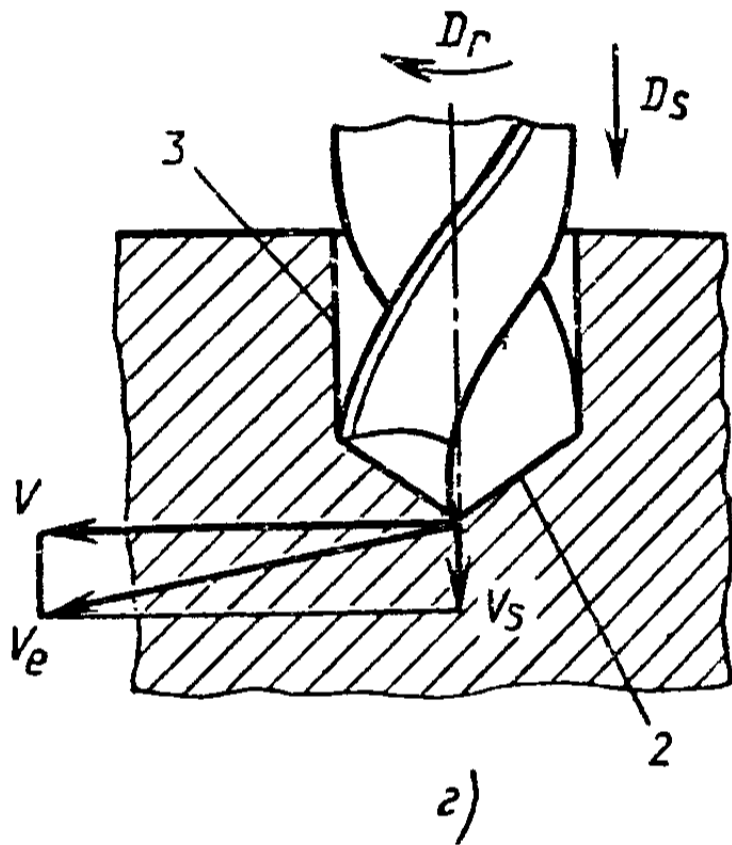
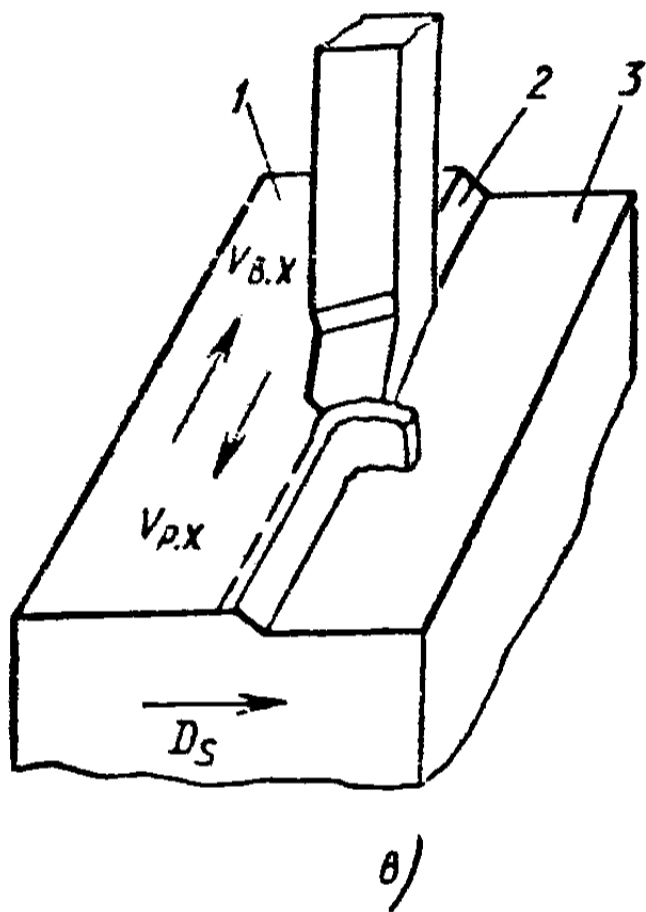
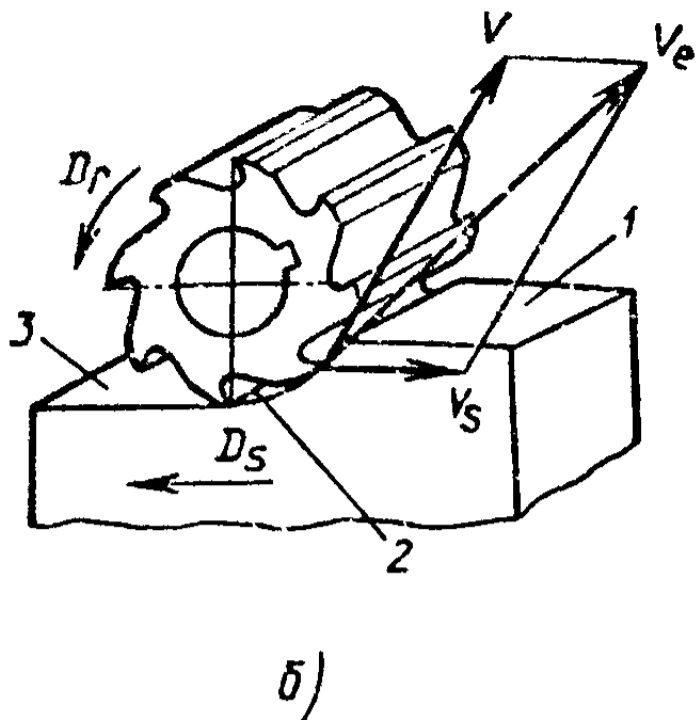
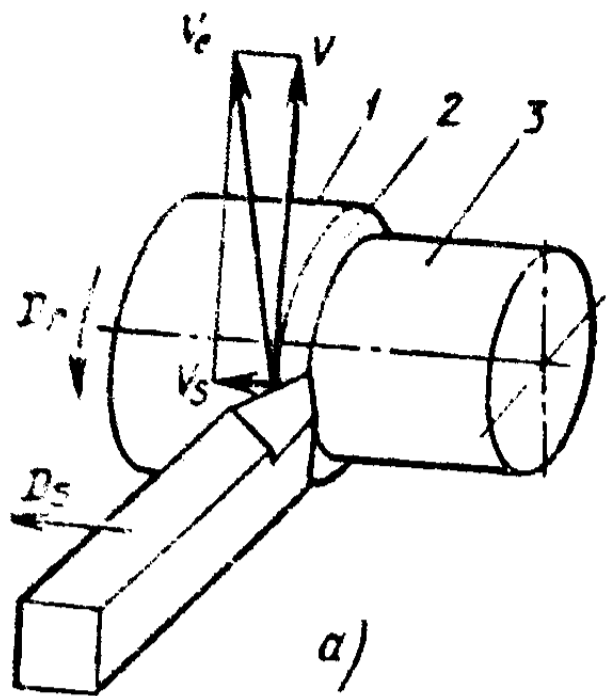


Рис. 1.1. Схемы обработки заготовок:

а — точение; б — фрезерование; в — строгание; г — сверление

для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность, называют движением подачи  $D_s$ . Скорость движения подачи обозначают буквой  $v_s$ . Результирующее движение резания является суммой векторов двух движений: главного движения резания  $D_r$  и движения подачи  $D_s$ . У фрезерных станков главным движением является вращательное движение инструмента, а движение подачи сообщается, как правило, заготовке (рис. 1.1, б); у строгальных станков оба движения являются поступательными (рис. 1.1, в); у сверлильных станков оба движения сообщаются инструменту (рис. 1.1, г).

На обрабатываемой заготовке различают три поверхности: обработанную (3), образованную на заготовке в результате обработки; обрабатываемую, подлежащую воздействию в процессе обработки (1); поверхность резания (2), образуемую режущей кромкой инструмента в результате движении резания (рис. 1.1, а—в).

### § 1.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Элементами режима резания являются скорость резания, подача и глубина резания. Совокупность их значений принято называть *режимом резания*.

*Скорость резания  $v$*  — это скорость рассматриваемой точки режущей кромки инструмента или заготовки в главном движении. Скорость резания измеряют в м/мин при всех видах обработки резанием, кроме шлифования и полирования, где ее измеряют в м/с.

Если главное движение резания является вращательным, то скорость резания определяют по формуле  $v = \pi D n / 1000$ , где  $D$  — наибольший диаметр заготовки (точение) или инструмента (шлифование, фрезерование, сверление), мм;  $n$  — частота вращения заготовки или инструмента,  $\text{мин}^{-1}$ .

Если главное движение является возвратно-поступательным, например при строгании, то скорость резания определяют по формуле

$$v = \frac{Ln}{1000} (K + 1),$$

где  $L$  — длина рабочего хода резца или заготовки, мм;  $n$  — число двойных ходов резца или заготовки в минуту;  $K$  — коэффициент, характеризующий отношение скоростей рабочего и вспомогательного ходов ( $K = v_{р. х} / v_{в. х}$ ).

*Подача  $S$*  — это отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой режущей кромки или заготовки в направлении движения подачи, к соответствующему числу циклов или определенных долей циклов другого движения. Под циклом движения понимают полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента или заготовки. При разных технологических методах обработки подача имеет одну из следующих единиц: мм/об (подача на оборот  $S_0$ ) — при точении, сверлении, фрезеровании; мм/ход (подача на ход); мм/дв. ход (подача на двой-

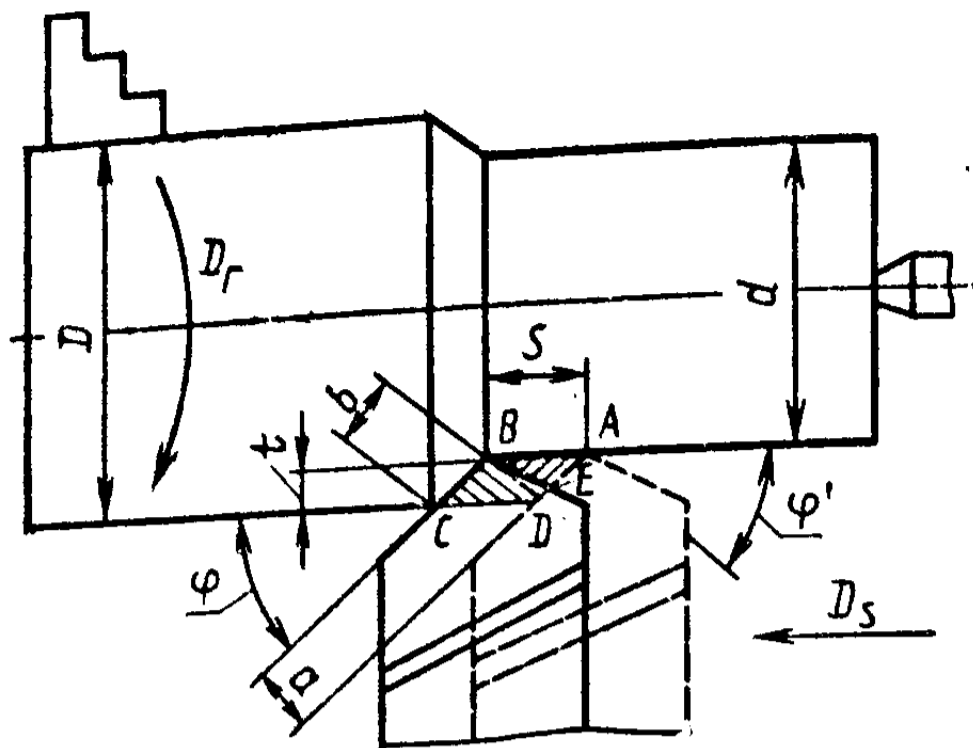


Рис. 1.2. Элементы режима резания при токарной обработке

ной ход  $S_{2x}$ ) — при строгании, долблении; мм/зуб (подача на зуб  $S_z$ ) — при фрезеровании и т. д.

Например, при точении подача характеризуется перемещением инструмента за один оборот заготовки (рис. 1.2). Движение подачи может быть продольным, направленным вдоль оси обрабатываемой заготовки ( $D_{s \text{ пр}}$ ); поперечным — поперек этой оси ( $D_{s \text{ поп}}$ ); наклонным — под углом к оси ( $D_{s \text{ н}}$ ); круговым — по окружности обрабатываемой заготовки ( $D_{s \text{ кр}}$ ) и др.

Глубина резания  $t$  определяется как расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней. Глубину резания измеряют в мм.

При точении цилиндрической поверхности глубину резания определяют как полуразность диаметров до и после обработки:  $t = (D - d)/2$ , где  $D$ ,  $d$  — соответственно диаметры заготовки и детали, мм.

На рис. 1.2 показано положение режущей кромки резца после перемещения его на расстояние, численно равное подаче, заштрихованный участок представляет собой площадь срезаемого слоя,  $f = ab = St$ , где  $a$  и  $b$  — соответственно толщина и ширина срезаемого слоя, мм.

Толщина срезаемого слоя  $d$  — длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя.

Ширина срезаемого слоя  $b$  — это длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания. Параметры  $S$  и  $t$  называются технологическими



(производственными) в отличие от параметров  $a$  и  $b$ , которые называются физическими, так как они непосредственно влияют на физические показатели процесса резания (температуру, силы резания и т. д.).

Между толщиной и шириной срезаемого слоя, глубиной резания и подачей существуют следующие соотношения:  $a = S \sin \varphi$ ;  $b = t/\sin \varphi$ .

Площадь срезаемого слоя  $f = f_{ABCD}$  представляет собой площадь номинального или расчетного сечения. Действительное же сечение срезаемого слоя  $f_d = f_{BCDE}$  меньше номинального сечения на величину, равную площади осевого сечения гребешков, остающихся на обработанной поверхности  $f_0 = f_{ABE}$ . Разность между действительным и номинальным сечениями заметна лишь при больших подачах ( $S > 2$  мм/об), поэтому в практических условиях площадь (мм<sup>2</sup>) срезаемого слоя определяют по формуле  $f = tS$ . С уменьшением глубины резания  $t$ , подачи  $S$ , углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi'$ , а также радиуса кривизны при вершине резца  $r_B$  высота остаточных гребешков уменьшается.

К элементам процесса резания относят также основное время  $t_0$ , являющееся одной из составляющих штучного времени  $t_{шт}$ .

*Штучное время* — это интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий или равный календарному времени сборочной операции (ГОСТ 3.1109—82):

$$t_{шт} = t_0 + t_B + t_{об} + t_{п},$$

где  $t_0$  — основное время при всех видах обработки на металлорежущих станках, затрачиваемое непосредственно на осуществление технологического процесса, т. е. на изменение формы и размеров заготовки;  $t_B$  — вспомогательное время, необходимое на установку и закрепление заготовки, на управление станком, на отвод и подвод режущего инструмента и т. п.;  $t_{об}$  — время, затрачиваемое на техническое и организационное обслуживание рабочего места;  $t_{п}$  — время на личные потребности рабочего (время регламентированных перерывов, отнесенное к одной заготовке).

Известно, что в общем случае время равно пути, деленному на скорость. При резании путь — это расчетная длина  $l$  перемещения инструмента или заготовки в на-

направлении движения подачи; скорость — это скорость движения подачи  $v_s$ . Следовательно,

$$t_0 = \frac{l}{v_s} i,$$

где  $v_s$  — путь, пройденный инструментом или обрабатываемой заготовкой в направлении подачи за 1 мин;  $i$  — число рабочих ходов.

Основное время (мин) можно представить в развернутом виде

$$t_0 = \frac{l}{v_s} = \frac{l_0 + l_1 + l_2 + l_3}{S_0 n} i.$$

Здесь  $l = l_0 + l_1 + l_2 + l_3$ , мм;  $l_0$  — размер поверхности детали, по которой осуществляется перемещение инструмента в направлении подачи, мм;  $l_1$  — величина врезания инструмента, мм;  $l_2$  — выход инструмента (перебег), мм;  $l_3 = 3 \dots 10$  мм — дополнительная длина на взятие пробных стружек (на настроенных станках взятие пробных стружек не производится);  $v_s = S_0 n$  или  $v_s = S_z z n$ , где  $S_z$  — подача на одно режущее лезвие на 1 зуб, мм/зуб;  $z$  — число режущих зубьев инструмента;  $n$  — частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$  или число двойных ходов в минуту в зависимости от кинематики рабочего (главного) движения на станке.

По известному значению скорости резания и размерам обрабатываемой поверхности или инструмента определяют частоту вращения или число двойных ходов  $n$  заготовки или инструмента по следующим формулам:

при вращательном главном движении (точение, сверление, фрезерование и т. п.) частота вращения ( $\text{мин}^{-1}$ )

$$n = \frac{1000v}{\pi D};$$

при возвратно-поступательном главном движении (строгание, долбление и т. п.) число двойных ходов в 1 мин

$$n = \frac{1000v}{l_x (1 + v_{р. х}/v_{в. х})},$$

где  $v$  — скорость резания, м/мин;  $D$  — диаметр обрабатываемой поверхности детали или инструмента, мм;  $v_{р. х}$  — скорость рабочего хода, м/мин;  $v_{в. х}$  — скорость вспомогательного (обратного) хода, м/мин;  $l_x$  — длина

хода инструмента или детали в направлении главного (рабочего) движения, мм, равная длине обрабатываемой поверхности плюс перебеги за обрабатываемую поверхность в начале и конце хода.

Для различных видов обработки величину  $l$  определяют по-разному в зависимости от кинематики движений основных узлов станка и технологических особенностей выполнения операции.

В связи с этим формула основного времени  $t_0$  для различных видов обработки будет видоизменяться. Например, при продольном точении (рис. 1.3)

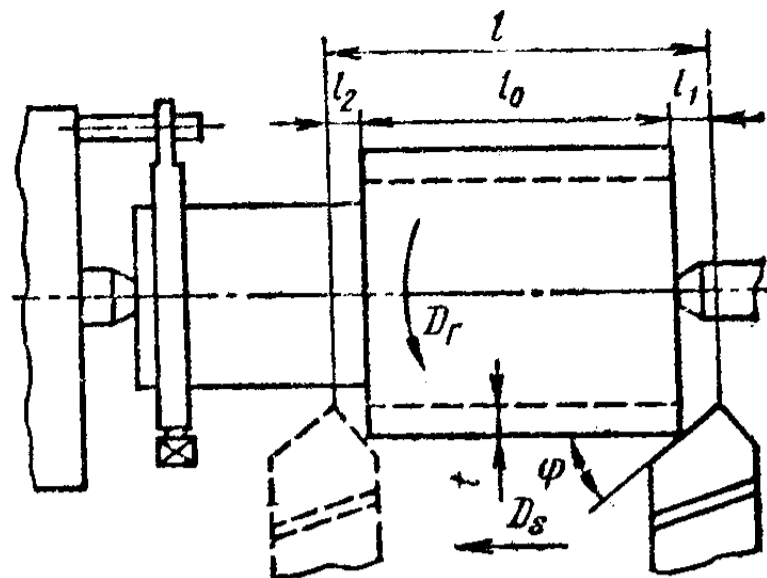


Рис. 1.3. Схема к расчету основного времени при обтачивании цилиндрической поверхности

$$t_0 = li/(nS_{пр}),$$

где  $l = l_0 + l_1 + l_2$ ;  $l_1 = t \operatorname{ctg} \varphi$ ;  $l_2 = 0,5 \dots 5$  мм;  $n$  — частота вращения заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $S_{пр}$  — продольная подача резца, мм/об.

Число рабочих ходов  $i$  зависит от припуска на обработку. Если каждый рабочий ход совершается с одинаковой глубиной резания  $t$ , то  $i = h/t$ , где  $h$  — припуск на обработку, мм. Формула основного времени (мин) примет вид

$$t_0 = \frac{lh}{nSt}.$$

В справочнике [13] приведены формулы для расчета  $t_0$  при различных видах работ, схемы обработки с указанием главного движения и движения подачи, таблицы значений врезания и перебега.

### § 1.3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗЦА

Одним из наиболее простых и распространенных режущих инструментов является токарный резец. Поэтому геометрические параметры инструмента рассмотрим на примере токарного проходного резца. Резец так же, как и режущий инструмент всех других видов, состоит из двух частей: рабочей (лезвия)  $A$  и крепежной  $B$  (рис. 1.4).

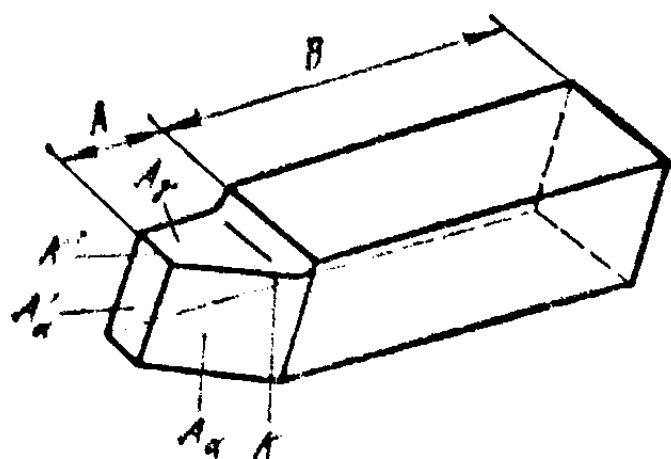


Рис. 1.4. Элементы токарного резца

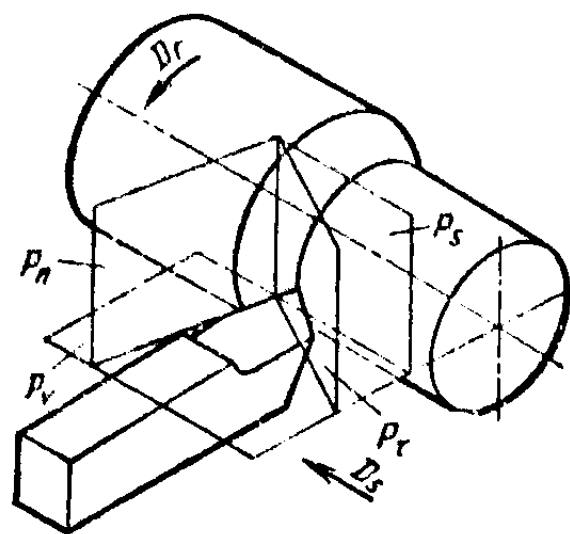


Рис. 1.5. Координатные плоскости

Крепежная часть имеет квадратную или прямоугольную форму поперечного сечения и служит для закрепления резца. Рабочая часть осуществляет резание и состоит (ГОСТ 25762—83) из ряда элементов (рис. 1.4). *Передняя поверхность  $A_y$*  — поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой. *Задняя поверхность  $A_\alpha$*  — поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки. Различают главную и вспомогательную задние поверхности. *Главная задняя поверхность  $A_\alpha$*  — задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к главной режущей кромке. *Вспомогательная задняя поверхность  $A_\alpha'$*  — задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к вспомогательной режущей кромке. *Режущая кромка  $K$*  — кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхностей лезвия. Часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя, называют *главной режущей кромкой  $K$* . Часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону сечения срезаемого слоя, называется *вспомогательной режущей кромкой  $K'$* . *Вершина лезвия* — участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей. У проходного токарного резца вершиной является участок лезвия в месте пересечения главной и вспомогательной режущих кромок. Вершина лезвия может быть острой, закругленной или в виде прямой линии. Форма лезвия резца определяется конфигурацией и расположением его поверхностей и режущих кромок. Форму лезвия, т. е. взаимное расположение передней и задних поверхностей и режущих кромок в пространстве, определяют углы резца.

Для определения углов реза приняты четыре координатные плоскости (рис. 1.5). Основная плоскость  $P_v$  — координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения в этой точке. Плоскость резания  $P_n$  — координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная к основной плоскости. Главная секущая плоскость  $P_\tau$  — координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания. Рабочая плоскость  $P_s$  — плоскость, в которой расположены направления скоростей движения резания и движения подачи.

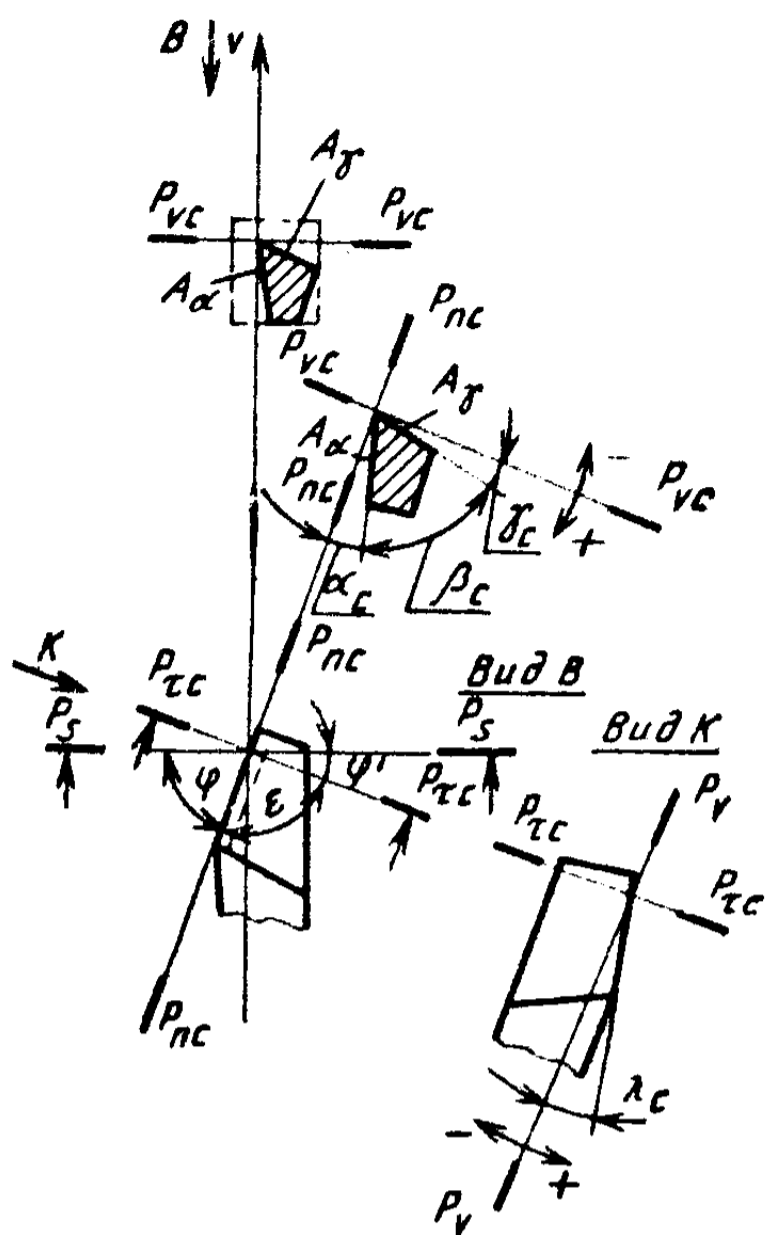


Рис. 1.6. Углы реза в статике

Рассмотрим углы токарного реза прямоугольного сечения в статике ( $v = 0, v_s = 0$ ). Тогда направление скорости главного движения резания принимается перпендикулярным конструкторской установочной базе реза (рис. 1.6).

В главной секущей плоскости  $P_\tau$  измеряют главные углы реза: передний угол  $\gamma$  — угол между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью; задний угол  $\alpha$  — угол между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания; угол заострения  $\beta$  — угол между передней и задней поверхностями лезвия. Между этими углами существует зависимость  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ . При  $(\alpha + \beta) < 90^\circ$  угол  $\gamma$  считают положительным, при  $(\alpha + \beta) > 90^\circ$  — отрицательным.

В основной плоскости  $P_v$  измеряют углы в плане: главный угол в плане  $\varphi$  — угол между плоскостью резания  $P_n$  и рабочей плоскостью  $P_s$ ; вспомогательный угол в плане  $\varphi'$  — угол между проекцией вспомогательной

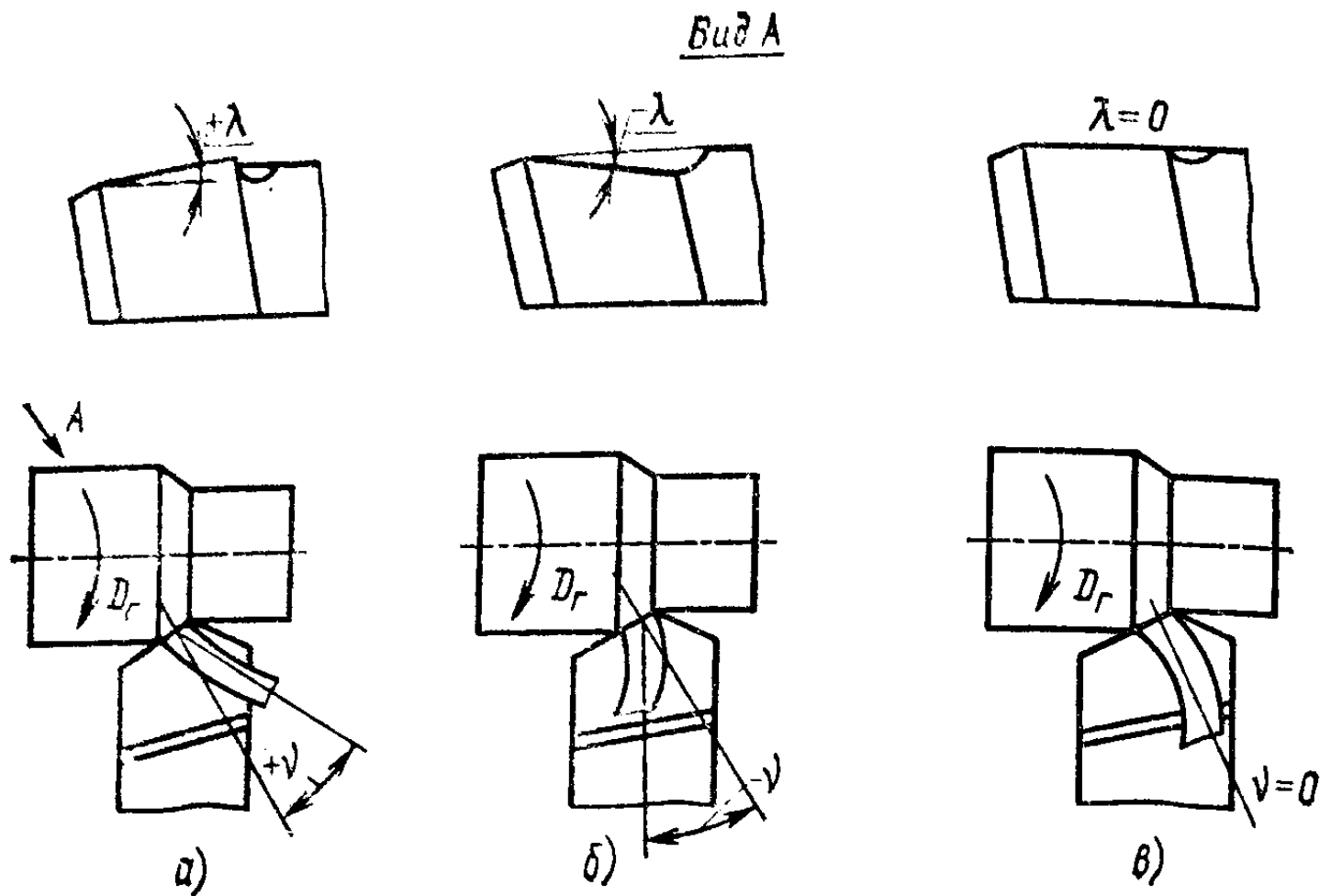


Рис. 1.7. Углы наклона главной режущей кромки

режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскостью; угол при вершине  $\epsilon$  — угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.  $\varphi + \varphi' + \epsilon = 180^\circ$ .

В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  — угол между режущей кромкой и основной плоскостью. Угол наклона главной режущей кромки считается положительным, когда вершина резца является самой низкой точкой режущей кромки (рис. 1.7, а), отрицательным, когда вершина является самой высокой точкой режущей кромки (рис. 1.7, б) и равным нулю, когда режущая кромка параллельна основной плоскости (рис. 1.7, в).

Углы режущей части резца, как и любого другого инструмента, оказывают большое влияние на процесс резания. Правильно назначив углы резца, можно значительно уменьшить интенсивность его изнашивания, силы, затрачиваемые на процесс резания, мощность станка. От углов зависят также качество обработанной поверхности и производительность обработки.

Задний угол  $\alpha$  служит для уменьшения трения между задней поверхностью лезвия и поверхностью резания. Однако увеличение заднего угла снижает прочность лезвия, поэтому при выборе угла  $\alpha$  необходимо учитывать

свойства обрабатываемого материала инструмента, а также условия резания. При обработке вязких материалов применяют резцы с большими углами  $\alpha$ . При обработке твердых и хрупких материалов, а также при большом сечении срезаемого слоя выбирают меньшие углы. Для различных условий токарной обработки угол  $\alpha$  назначают в пределах  $6-12^\circ$ .

*Передний угол  $\gamma$*  оказывает большое влияние на процесс резания материалов. С увеличением переднего угла уменьшается работа, затрачиваемая на процесс резания, улучшаются условия схода стружки и повышается качество обработанной поверхности. Вместе с тем увеличение переднего угла приводит к снижению прочности режущего лезвия и увеличению его износа вследствие выкрашивания и менее интенсивного теплоотвода. Поэтому при обработке твердых и хрупких материалов применяют небольшие передние углы, а при обработке мягких и вязких материалов углы увеличивают. При обработке закаленных сталей твердосплавным инструментом, а также при прерывистом резании для увеличения прочности лезвия назначают отрицательные углы  $\gamma$ . В зависимости от механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов и от формы передней поверхности углы  $\gamma$  назначают от  $-10$  до  $+20^\circ$ .

*Главный угол в плане  $\phi$*  существенно влияет на стойкость режущего инструмента и на шероховатость обработанной поверхности. С уменьшением угла  $\phi$  уменьшается шероховатость обработанной поверхности. Одновременно с уменьшением угла  $\phi$  увеличивается длина активной части главной режущей кромки (ширина срезаемого слоя) и уменьшается толщина срезаемого слоя, что приводит к снижению тепловой и силовой нагрузки на резец и, следовательно, к уменьшению износа инструмента. Однако при малых значениях угла  $\phi$  резко возрастает составляющая силы резания, перпендикулярная оси заготовки, что приводит к ее прогибу. Возможно возникновение вибраций, в результате чего ухудшается качество обработанной поверхности и увеличивается износ инструмента. Угол  $\phi$  назначают от  $30$  до  $90^\circ$  в зависимости от вида обработки, типа резца, жесткости заготовки и инструмента. При обработке заготовок малой жесткости угол  $\phi$  берут близким или равным  $90^\circ$ .

*Вспомогательный угол в плане  $\phi'$*  служит для уменьшения трения вспомогательной задней поверхности об

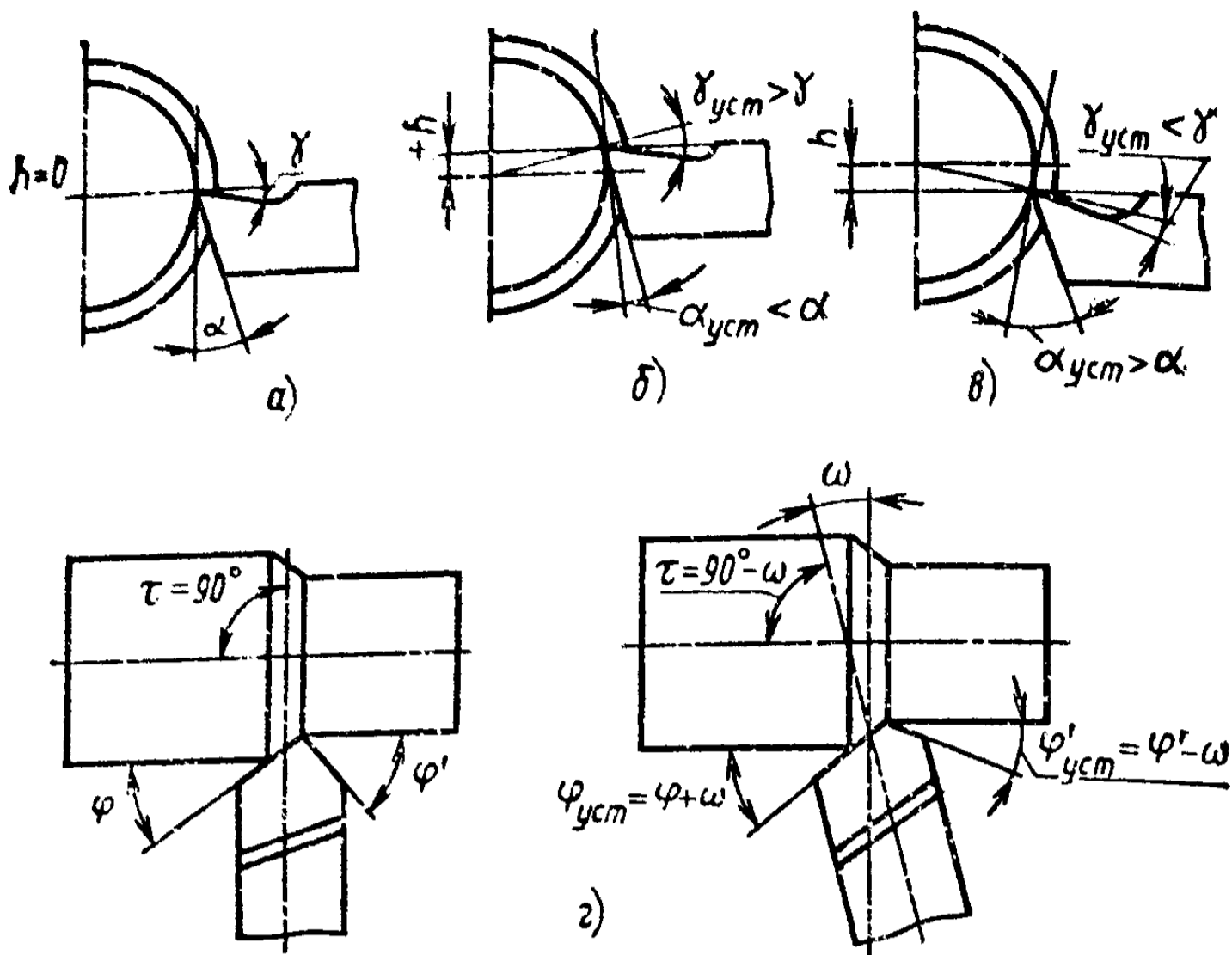


Рис. 1.8. Изменение углов при установке токарного проходного резца по высоте оси заготовки (а), выше (б) и ниже (в) оси заготовки под углом  $\tau \neq 90^\circ$  (г)

обработанную поверхность. С уменьшением угла  $\varphi'$  уменьшается шероховатость обработанной поверхности, увеличивается прочность вершины лезвия и снижается износ резца. Для проходных резцов, обрабатывающих жесткие заготовки без врезания,  $\varphi' = 5 \dots 10^\circ$ ; при обработке заготовки малой жесткости и работе с врезанием  $\varphi' = 30 \dots 45^\circ$ .

Угол наклона главной режущей кромки определяет направление схода стружки: при  $\lambda = 0$  стружка сходит в направлении главной секущей плоскости перпендикулярно главной режущей кромке (см. рис. 1.7). При положительном  $\lambda$  стружка сходит к обработанной поверхности под положительным углом  $\nu$  к главной секущей плоскости  $P_\tau$ . При отрицательном  $\lambda$  стружка сходит к обрабатываемой поверхности под отрицательным углом  $\nu$  к главной секущей плоскости. Угол схода стружки  $\nu$  — это угол в плоскости, касательной к передней поверхности лезвия, между направлением схода стружки и следом главной секущей плоскости.

Положительный угол  $\lambda$  служит также для упрочнения режущей кромки, так как в момент врезания резца удар-



ная сила приходится не на вершину лезвия, а на более прочное место режущей кромки, удаленное от вершины. При чистовой обработке принимать угол  $\lambda$  положительным не рекомендуется, так как стружка может наматываться на заготовку и царапать обработанную поверхность. Поэтому при чистовой обработке угол  $\lambda$  отрицательный (до  $-5^\circ$ ); при черновой обработке, когда нагрузка на резец большая и качество обработанной поверхности не имеет особого значения, угол  $\lambda$  положительный (до  $+5^\circ$ ).

Значения углов  $\alpha$  и  $\gamma$  изменяются в процессе резания при установке вершины лезвия выше или ниже оси вращения заготовки (линии центров), а значения углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi'$  изменяются в зависимости от расположения оси резца относительно оси заготовки. Так, при наружном обтачивании установка вершины лезвия резца выше оси вращения заготовки (рис. 1,8, а—в) ведет к увеличению переднего угла  $\gamma$  и уменьшению заднего угла  $\alpha$ ; при установке вершины лезвия ниже центров, наоборот, угол  $\gamma$  уменьшается, а угол  $\alpha$  возрастает.

При работе расточными резцами установка вершины лезвия выше или ниже линии центров приводит к обратным по сравнению с наружным обтачиванием изменениям углов  $\alpha$  и  $\gamma$ .

На рис. 1.8, г показано изменение углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi'$  в зависимости от положения оси резца относительно линии центров станка. Из рисунка видно, что при отклонении от перпендикулярности между осью резца и линией центров углы в плане будут отличаться от расчетных: один из них увеличится, а другой уменьшится.

Таким образом, установка резца на станке должна соответствовать расчетным значениям его углов. Изменения в установке резца учитывают при заточке.

В процессе резания ( $v \neq 0$ ,  $v_s \neq 0$ ) передний  $\gamma$  и задний  $\alpha$  углы инструмента изменяются. Изменение углов вызвано изменением положения координатных плоскостей. Углы в этом случае будут измеряться в кинематической системе координат, ориентированной относительно направления скорости результирующего движения резания  $v_e$ . Основная плоскость  $P_o$  для токарного проходного резца в процессе резания будет перпендикулярна направлению вектора результирующей скорости  $v_e$  (рис. 1.9). Изменится и положение плоскости резания  $P_n$ .

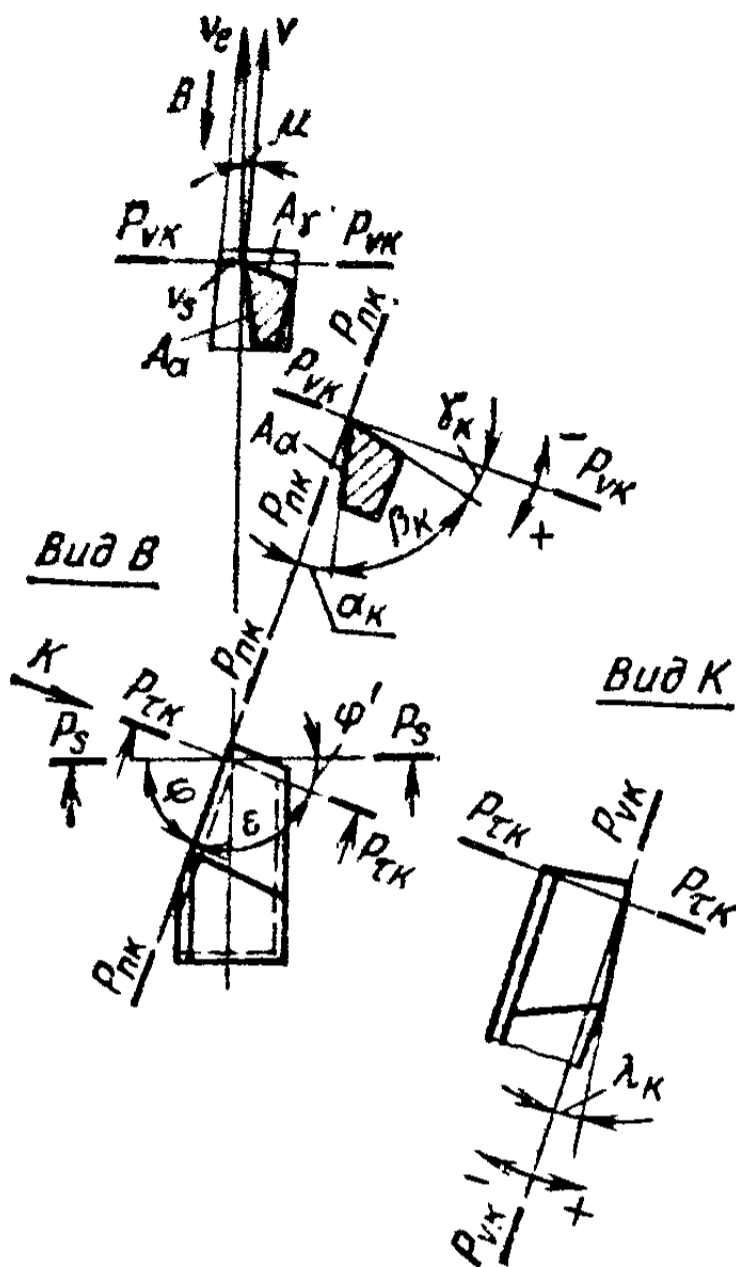


Рис. 1.9. Кинематические углы резца

Вследствие этого задний угол  $\alpha$  уменьшится, а передний угол  $\gamma$  увеличится. У проходного упорного резца эти углы изменятся на величину, равную углу  $\mu$ :  $\alpha_k = \alpha - \mu$ ;  $\gamma_k = \gamma + \mu$ . Угол  $\mu$  можно определить из прямоугольного треугольника:  $\operatorname{tg} \mu = S/(\pi D)$ .

Если направление подачи не совпадает с главной секущей плоскостью ( $\varphi \neq 90^\circ$ ), то угол  $\mu$  в этой плоскости определится по формуле  $\operatorname{tg} \mu_\varphi = \operatorname{tg} \mu \sin \varphi = \frac{S}{\pi D} \times \sin \varphi$ , т. е.  $\mu = \operatorname{arctg} \left( \frac{S}{\pi D} \sin \varphi \right)$ .

Следовательно, кинематические углы

$$\alpha_k = \alpha - \mu_\varphi = \alpha - \operatorname{arctg} \left( \frac{S}{\pi D} \sin \varphi \right);$$

$$\gamma_k = \gamma + \mu_\varphi = \gamma + \operatorname{arctg} \left( \frac{S}{\pi D} \sin \varphi \right).$$

Для обычных условий обработки резцами изменения углов незначительны и ими можно пренебречь. Но при нарезании резьбы с большим шагом (резание с большой подачей) с этими изменениями приходится считаться. Поэтому у резьбового резца задний угол со стороны направления движения подачи увеличивают на  $3-5^\circ$ .

#### Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение элементам режима резания.
2. Назовите основные элементы лезвия токарного резца и дайте им определение.
3. Дайте определение углам  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi'$ ,  $\lambda$  и укажите назначение каждого из них.
4. Как изменяются углы резца в зависимости от положения его вершины относительно оси вращения обрабатываемой заготовки?

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

### § 2.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Одним из главных условий высокопроизводительной работы режущего инструмента является правильный выбор материала для его изготовления.

Режущие лезвия инструмента в процессе работы находятся под действием больших давлений, трения и высоких температур, что приводит к изнашиванию режущего инструмента. Поэтому инструментальные материалы должны обладать особыми физико-механическими свойствами и отвечать определенным требованиям, связанным с условиями протекания процесса резания, технологическими особенностями каждого вида обработки, свойствами и состоянием обрабатываемого материала.

К инструментальным материалам, применяемым для изготовления режущей части инструмента, предъявляют следующие требования: высокие *механические свойства* (особенно прочность на изгиб и твердость); высокая *износостойкость*, заключающаяся в способности инструментальных материалов сопротивляться изнашиванию при работе; высокая *теплостойкость* — свойство инструментальных материалов сохранять свою твердость, а следовательно, и режущие свойства при высокой температуре нагрева.

Кроме перечисленных основных требований, к инструментальным материалам предъявляются и другие требования. Например, инструментальные материалы должны обладать определенной *технологичностью*, к которой относят: обрабатываемость резанием, свариваемость, шлифуемость, отсутствие склонности к образованию трещин при напайке, заточке и доводке, закаливанию и т. п. Режущие инструменты не следует целиком изготавливать из дорогих и дефицитных материалов, поскольку это неэкономично.

Разработанные и применяемые в настоящее время инструментальные материалы подразделяют на следующие группы: инструментальные стали; твердые сплавы; керамические материалы; алмазы и синтетические сверхтвердые материалы.

## § 2.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

В зависимости от химического состава инструментальные стали подразделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие. В холодном состоянии эти стали различаются по твердости незначительно. Основное их различие — разная теплостойкость.

*Углеродистые стали* появились в середине XIX в. и более пятидесяти лет были единственным материалом для изготовления режущих инструментов. Содержание углерода в них, от которого во многом зависят свойства стали, составляет 0,6—1,4 %. Для получения высокой твердости углеродистые стали подвергают закалке (нагревают до температуры 750—820 °С и быстро охлаждают в воде) с последующим отпуском при температуре 120—150 °С для снятия внутренних напряжений и повышения прочности и вязкости. В результате термической обработки углеродистые стали приобретают твердость 61—63 HRC<sub>2</sub> и могут обрабатывать материалы твердостью до 30 HRC<sub>2</sub>.

Из-за отсутствия легирующих элементов углеродистые стали обладают хорошей технологичностью и являются дешевым инструментальным материалом. Недостатком углеродистых сталей является низкая теплостойкость (200—250 °С). При более высоких температурах нагрева в результате структурных превращений твердость углеродистых сталей снижается и инструмент теряет свои режущие свойства.

Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления слесарно-монтажных и ручных режущих инструментов, работающих при малых скоростях резания: зубил, отверток, ножниц, пил, ножовок, разверток, метчиков, плашек и т. п.

Предусмотрен выпуск двух групп инструментальных углеродистых сталей (ГОСТ 1435—74): качественные стали (например, У7, У13) и высококачественные стали (например, У7А, У13А). Цифра обозначает содержание в стали углерода в десятых долях процента (0,7—1,3 %).

*Легированные стали* появились в конце XIX в. Это углеродистые стали, легированные хромом (Х), вольфрамом (В), ванадием (Ф), кремнием (С) и другими элементами. Хром обеспечивает глубокую прокаливаемость и повышает твердость; вольфрам способствует повышению теплостойкости и износостойкости; ванадий создает наи-

более твердые и стойкие карбиды и благоприятствует получению мелкозернистой структуры. После термической обработки твердость легированных сталей составляет 62—65 HRC<sub>9</sub>, теплостойкость 250—350 °С. Это позволяет повысить скорость резания в 1,2—1,4 раза по сравнению со скоростью резания углеродистыми сталями. Допустимые скорости резания составляют 15—25 м/мин.

Наибольшее распространение получили стали X, XBG, 9XC, XBCG, B1 и др. Из легированных сталей изготавливают метчики, плашки, протяжки, развертки, фасонные резцы и другой инструмент, работающий при невысоких скоростях резания.

Марки и химический состав легированных сталей определены ГОСТ 5950—73.

*Быстрорежущие стали* появились в начале XX в. Основным легирующим элементом в них является вольфрам (6—18 %). Помимо вольфрама быстрорежущие стали содержат ванадий, хром, кобальт, молибден. Введение их в сталь приводит к образованию сложных карбидов, связывающих почти весь углерод, в результате чего сталь приобретает высокую твердость, теплостойкость (до 650 °С), износостойкость, сопротивляемость пластическому деформированию и хорошую прокаливаемость. Это позволило увеличить скорость резания в 3—4 раза по сравнению со скоростью резания углеродистыми сталями.

Указанные выше свойства быстрорежущие стали приобретают после термообработки — закалки и трехкратного отпуска. Структура после термообработки — мартенсит и карбиды.

Быстрорежущие стали обозначают буквой P; следующая за ней цифра указывает среднее содержание вольфрама в процентах. Стали, содержащие кобальт, молибден, ванадий, имеют в маркировке соответственно буквы K, M, Ф и цифры, показывающие их среднее количество в процентах. Содержание хрома (около 4 %) и углерода (0,7—1,5 %) в марках не указываются. Например, P6M5, P9Ф5, P18K5Ф2 и др.

Согласно классификации ИСО вся номенклатура быстрорежущих сталей подразделяется на две группы: HSS — быстрорежущие стали обычной производительности и HSS—E — быстрорежущие стали повышенной производительности. Из сталей нормальной производительности P9, P18, P6M5 изготавливают резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки, зуборезные инструменты,

а из быстрорежущих сталей повышенной производительности, например Р9К5, Р18Ф2, Р9Ф5, Р18К5Ф2 — аналогичные инструменты для обработки жаропрочных и титановых сплавов, коррозионно-стойких и других труднообрабатываемых материалов. Химический состав быстрорежущих сталей определен ГОСТ 19265—73.

Разработаны для промышленного применения стали с уменьшенным содержанием дефицитного вольфрама, например Р6М5К5, Р2М9К8. Сохранение удовлетворительных режущих свойств достигается повышенным содержанием углерода и легированием молибденом, кобальтом, ванадием. Разрабатывают также безвольфрамовые быстрорежущие стали.

Обработка резанием высокопрочных и тугоплавких материалов требует повышения режущих свойств инструментов из быстрорежущих сталей. Это достигается различными способами: хромированием, цианированием, цементацией, покрытием рабочих поверхностей тонким слоем твердых карбидов вольфрама или титана, лазерной обработкой, электронскровым упрочнением (до 80—85 НRC<sub>2</sub>) и др.

Для экономии дорогостоящих материалов из быстрорежущих сталей изготавливают стандартные пластины, которые приваривают, припаивают или крепят механически к корпусной или крепежно-присоединительной части.

### § 2.3. ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

Твердые сплавы появились в конце 20-х годов нашего столетия. Их изготавливают методом порошковой металлургии. Исходными материалами для их изготовления являются порошки карбидов тугоплавких металлов, связанных металлическим кобальтом. Порошки смешивают в определенных пропорциях, прессуют в формах и спекают при температуре 1500—2000 °С. При спекании твердые сплавы приобретают высокую твердость (HRA 85—92) и в дополнительной термической обработке не нуждаются. Эта твердость сохраняется при нагреве до 800—900 °С, поэтому оснащенный твердым сплавом инструмент более износостоек по сравнению с инструментом из инструментальных сталей, что позволяет вести обработку при высоких скоростях резания (до 800 м/мин).

Твердые сплавы химически пассивны к воздействию кислот и щелочей, а некоторые из них почти не окисляются даже при температурах 600—800 °С.

Твердые сплавы разделяют на три группы: вольфрамовые (однокарбидные), содержащие карбиды вольфрама WC (BK2, BK3, BK4, BK6, BK8 и др.); титановольфрамовые (двухкарбидные), содержащие карбиды вольфрама и карбиды титана TiC (T5K10, T14K8, T15K6 и др.); титанотанталовольфрамовые (трехкарбидные), состоящие из карбидов титана TiC, карбидов тантала TaC и карбидов вольфрама WC (TT7K12, TT7K15, TT8K6). Отечественная промышленность выпускает около 20 марок твердых сплавов для изготовления режущих частей инструментов (ГОСТ 3882—74).

В обозначении сплавов вольфрамокобальтовой группы цифра показывает содержание кобальта в процентах; например, в сплаве BK4 4 % кобальта, остальное — карбиды вольфрама. В обозначении сплавов титановольфрамовой группы число после T показывает процентное содержание TiC, после буквы K — содержание кобальта. Например, в марке T5K10 содержится 5 % TiC, 10 % Co и 85 % WC. В марках титанотанталовольфрамовой группы цифра после букв TT показывает суммарное содержание карбидов титана и вольфрама, после буквы K — содержание кобальта; например, в марке TT7K12 содержится 7 % карбидов титана и тантала, 12 % кобальта, остальное — карбиды вольфрама.

Главными недостатками твердых сплавов являются хрупкость, а также недостаточная прочность при изгибе и растяжении. Поэтому целесообразно так располагать режущие элементы инструмента, чтобы они по возможности работали на сжатие, а не на изгиб и растяжение.

Вязкость твердых сплавов (а следовательно, и их хрупкость) зависит от содержания в них кобальта. Сплавы, содержащие наименьшее количество кобальта (BK2, BK3, T30K4), обладают меньшей вязкостью; их используют для инструментов, применяемых для чистовых операций. Сплавы, обладающие большей вязкостью (BK8, T5K10 и др.), применяют на черновых операциях, т. е. при снятии стружек большого сечения. Твердые сплавы группы BK, как менее хрупкие, применяют при обработке чугунов и других хрупких материалов, при прерывистом резании (строгании, фрезеровании). Для обработки сталей применяют инструменты из сплавов группы TK (T15K6, T14K8 и др.).

Группа трехкарбидных сплавов TTK характеризуется повышенной износостойкостью, прочностью и вязкостью.

Их применяют при обработке труднообрабатываемых сталей аустенитного класса.

При обработке жаропрочных и титановых сплавов применяют твердосплавный инструмент группы ВК, не содержащий в своем составе титана. Это объясняется тем, что все жаропрочные конструкционные сплавы содержат титан и при их обработке инструментом, содержащим титан, происходит адгезия — схватывание с последующим вырыванием частиц инструментального материала стружкой или материалом заготовки вследствие их молекулярного сцепления. Это приводит к выкрашиванию и преждевременному разрушению инструмента.

Режущие свойства твердых сплавов в значительной степени зависят от их структуры. В СССР и за рубежом ведут работы по использованию мелкого и особомелкого зерна карбидов вольфрама в производстве металлокерамического твердого сплава. Так, сплавы с мелко- и особомелкозернистой структурой (ВК6М, ВК60М) по своим режущим и физико-механическим свойствам превосходят все другие сплавы этой группы.

Для дополнительного повышения износостойкости повторно не затачиваемых твердосплавных пластин и цельнотвердосплавных инструментов на них наносят тонкий слой (2—10 мкм) карбида или нитрида титана или других высокотвердых материалов. Это позволяет в 2—5 раз повысить стойкость инструмента с покрытием по сравнению со стойкостью исходного материала.

В последние годы большое внимание уделяется разработке новых твердых сплавов, не содержащих карбидов вольфрама. Карбиды вольфрама заменены карбидами титана с добавками молибдена, никеля и других тугоплавких металлов. Разработанные сплавы ТМ1, ТМ3, ТН-30, КТН-16 и др. обладают высокой износостойкостью.

Карбидохромистые твердые сплавы, например КХН-20, КХН-30 (цифры в обозначении этих марок указывают на процентное содержание никеля, остальное — карбиды хрома), хорошо сопротивляются изнашиванию и коррозии, обладают низкой склонностью к схватыванию. Пониженная склонность к адгезионному взаимодействию с обрабатываемым материалом снижает износ инструмента по передней поверхности, обеспечивая более низкую шероховатость обработанной поверхности.

Безвольфрамовые твердые сплавы целесообразно применять при чистовой и получистовой обработке низколе-



гированных, высокохромистых и хромоникелевых сплавов и цветных металлов вместо стандартных сплавов Т30К4 и Т15К6.

Для оснащения металлорежущего инструмента твердые сплавы выпускают в виде пластин. Пластины из твердых сплавов припаивают или крепят механически к стальному корпусу.

В промышленности используют и монокристаллический инструмент, например отрезные фрезы, спиральные сверла, зенкеры, развертки небольших диаметров, дисковые и червячные мелкозубные фрезы, фасонные резцы.

Инструмент сложных форм, а также небольших размеров изготавливают из пластифицированных заготовок. Пластифицированный твердый сплав представляет собой спрессованный порошок, погруженный в кипящий при  $400^{\circ}\text{C}$  парафин и после остывания составляющий с ним однородную массу, которая легко поддается механической обработке на металлорежущих станках. После придания им нужной формы пластифицированные заготовки подвергают спеканию, заточке и доводке.

Инструменты из твердых сплавов в металлообработке применяют все чаще, чем инструменты из других инструментальных материалов. Режущие свойства выпускаемых отечественных твердых сплавов соответствуют свойствам стандартных марок, установленных классификацией ИСО.

#### § 2.4. КЕРАМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Керамические инструментальные материалы появились в начале 50-х годов. Они не содержат дорогостоящих и дефицитных компонентов. Основой керамики является корунд — минерал кристаллического строения оксида алюминия (технический глинозем)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Получают корунд из глинозема в электропечах при температуре  $1720\text{—}1750^{\circ}\text{C}$ , в связи с чем их принято называть электрокорундами. Из кристаллов электрокорунда изготавливают стандартные керамические пластины белого цвета. Белый цвет имеют кристаллы электрокорунда, свободного от примесей. Примеси химических элементов придают электрокорундам различные цветовые оттенки.

Оксидная керамика обладает высокими твердостью ( $90\text{—}94\text{ HRA}$ ), теплостойкостью (до  $1200^{\circ}\text{C}$ ) и в ряде слу-

часв значительно превосходит по стойкости и производительности твердые сплавы. Ее малое сродство с металлами исключает адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом, вследствие чего достигается меньшая шероховатость поверхности, чем при обработке твердосплавным инструментом.

Существенным недостатком оксидной керамики является высокая хрупкость, низкая ударная вязкость ( $KC = 0,5 \dots 1,2 \text{ Дж/см}^2$ ) и плохая сопротивляемость циклическим изменениям тепловой нагрузки.

Инструменты из оксидной керамики используют при чистовой и получистовой обточке и расточке заготовок из высокопрочных и отбеленных чугунов, труднообрабатываемых сталей, некоторых цветных сплавов и неметаллических материалов с высокими скоростями резания (до 600 м/мин) в условиях безударной нагрузки, без охлаждения и при повышенной жесткости системы станок — приспособление—инструмент—заготовка. Наибольшее применение получила минералокерамика ЦМ-332 и ВО-13, которая имеет предел прочности при изгибе  $\sigma_{\text{н}} = 295 \dots 370 \text{ МПа}$ .

С целью повышения механической прочности в оксидную керамику добавляют различные тугоплавкие соединения (карбиды вольфрама, титана, молибдена, хрома и др.). Такие материалы получили название *оксидно-карбидной керамики*. Предел прочности при изгибе у нее  $\sigma_{\text{н}} = 400 \dots 700 \text{ МПа}$ , что почти в 2 раза выше, чем у ЦМ-332, но несколько ниже теплостойкость и износостойкость.

Оксидно-карбидная керамика имеет черный цвет, изготавливается в виде многогранных и круглых пластин. Представителями этой керамики являются ВЗ, ВОК-60, ВОК-63, ВШ-75 и др. Их применяют при обработке ковких и отбеленных чугунов, труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Пластины из керамических материалов могут подвергаться отжигу, в результате чего стойкость их повышается, например у ВОК-60 и ВОК-63 она в 2—4 раза выше, чем у неотожженных.

## § 2.5. ПРИРОДНЫЕ АЛМАЗЫ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ СВЕРХТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К режущим сверхтвердым материалам относятся природные алмазы и синтетические материалы. Самым твердым из известных инструментальных материа-

лов является алмаз. Его применяют для оснащения лезвийных и абразивных режущих инструментов.

По химическому составу алмаз представляет собой одну из аллотропных модификаций углерода — кристаллический углерод. Он обладает высокой износостойкостью, хорошей теплопроводностью, небольшим коэффициентом трения и малой адгезионной способностью к металлам, за исключением сплавов железа с углеродом. Наряду с высокой твердостью алмаз обладает большой хрупкостью. Следует добавить, что кристаллы природных алмазов обладают большой *анизотропией* — твердость и прочность его в различных направлениях могут изменяться в сотни раз и при надлежащей кристаллографической ориентации можно значительно повысить стойкость инструмента. Это учитывают при изготовлении лезвийного инструмента. Необходимо, чтобы алмаз обрабатывался в «мягком» направлении, а изнашивание соответствовало бы «твердому» направлению.

Алмазный инструмент характеризуется высокой производительностью при тонком точении и растачивании цветных сплавов, пластмасс и т. п. При этом обеспечивается высокое качество поверхности, что, как правило, исключает необходимость операции шлифования обрабатываемых поверхностей. К недостаткам алмазных инструментов относится их высокая стоимость (более чем в 50 раз выше стоимости других инструментов) и дефицитность.

Для изготовления режущих инструментов используют как природные (А), так и синтетические (АС) алмазы. Синтетические алмазы получают путем перевода углерода в другую модификацию и значительного уменьшения объема исходного графита в условиях высоких температур и давлений.

Синтетические алмазы выпускают следующих марок: АСБ — баллас (АСБ-5, АСБ-6); АСПК — карбонадо (АСПК-1, АСПК-2, АСПК-3). Вследствие поликристаллического строения алмазы перечисленных марок обладают изотропностью механических свойств, поэтому отсутствует необходимость ориентирования поликристалла по плоскостям. Лезвийный инструмент с такими алмазными вставками обладает высокой динамической прочностью, что позволяет применять его при обработке особопрочных сплавов.

Баллас высокоэффективен при точении цветных сплавов с повышенным содержанием кремния, стеклопласти-

ков и пластмасс. При обработке стеклопластиков и пластической керамики на основе смол износостойкость алмазов баллас в 70—80 раз выше износостойкости резцов с пластинами твердых сплавов ВК2, ВК3М и в 1,5—2 раза выше износостойкости резцов из природных алмазов. Балласы применяют для оснащения режущей части резцов, сверл, фрез, а также для изготовления шлифовальных кругов.

Монокристаллические алмазы САМ используют для обработки полупроводниковых материалов, радиотехнической керамики и высококремнистых цветных сплавов.

Кристаллы алмазов закрепляют в инструменте пайкой и механически. Резцы с алмазными вставками можно затачивать с минимальным радиусом округления режущей кромки. Острота режущей кромки долго сохраняется, что позволяет вести обработку с малыми глубинами резания и получать малый параметр шероховатости.

В последние годы широкое распространение получил синтетический сверхтвердый материал на основе кубического нитрида бора (КНБ). КНБ синтезирован как и искусственный алмаз при температуре 1360—2000 °С и давлении 6000—9000 МПа. Он обладает высокой твердостью, уступая лишь синтетическому алмазу. По теплостойкости (до 1600 °С) кубический нитрид бора превосходит все инструментальные материалы и химически инертен к железу и углероду. Это дает возможность использовать кубический нитрид бора в качестве абразивного инструмента при обработке различных высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, обеспечивая требуемое качество обработки и экономичность при высокой стоимости самого инструмента. Резцы, оснащенные кубическим нитридом бора, успешно применяют при тонком точении и растачивании закаленных сталей, что совершенно недоступно для работы алмазными резцами.

На основе плотных модификаций кубического нитрида бора создан ряд инструментальных материалов, носящих название композиционных (композиты). Композиты делят на две группы: материал с массовой долей КНБ от 95 % и выше и массовой долей КНБ 75 % с различными добавками (например,  $Al_2O_3$ ). К первой группе относят эльбор Р (композит 01), бельбор (композит 02), гексанит (композит 10) и др. Их изготавливают в виде цилиндрических столбиков диаметром 4—6 мм, высотой 3—6 мм, которые затем закрепляют в державки режущего инстру-

мента. Материалы этой группы различаются технологией изготовления и исходным сырьем.

Ко второй группе композитов относятся: композит 05, состоящий из КНБ и двуокиси алюминия  $Al_2O_3$ ; композит 09, представляющий собой поликристаллы твердого нитрида бора (ПТНБ). Композит 09 используется для оснащения инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок.

Одновременно с совершенствованием имеющихся сверхтвердых материалов разрабатывают новые материалы. Наиболее перспективным из них представляется силинит-Р — материал на основе нитрида кремния (SiN). Получают силинит-Р методом горячего спекания в графитовых пресс-формах в виде пластин различной формы. Для силинита-Р характерно отсутствие склонности к адгезии по отношению к большинству сталей, сплавов на основе меди, алюминия. Он обладает более высокими прочностью, ударной вязкостью и теплопроводностью, чем инструменты из минералокерамики. Силинит-Р имеет достаточно высокие эксплуатационные свойства при точении и фрезеровании чугуна, а также при точении закаленных сталей. Силинит-Р не содержит дефицитных элементов, что в совокупности с высокими режущими свойствами открывает перспективы для более широкого применения этого материала.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
2. Перечислите основные группы материалов, применяемых для изготовления режущего инструмента.
3. Сравните теплостойкость быстрорежущих сталей и твердых сплавов.
4. При каких режимах резания целесообразно использовать режущий инструмент из керамического материала?
5. Назовите область применения инструментов из СТМ.

## ГЛАВА 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕЗАНИЯ

### § 3.1. СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ

Резание является сложным физическим процессом, при котором возникают упругие и пластические деформации. Этот процесс сопровождается трением, тепловыделением, наростообразованием, усадкой стружки, наклепом обработанной поверхности и изнашиванием ин-

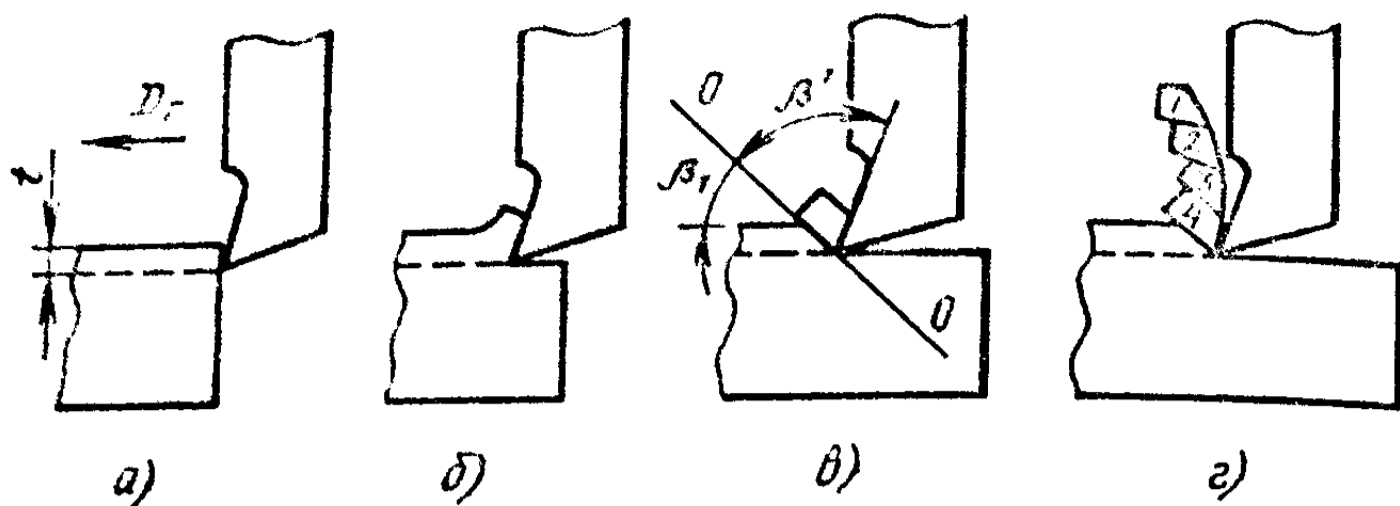


Рис. 3.1. Последовательность образования элементов стружки

струмента. Знание физической сущности резания и закономерности явлений, которыми он сопровождается, позволяет рационально управлять этим процессом и качеством обработанной поверхности.

Первые научные исследования резания были проведены профессором Санкт-Петербургского политехнического института И. А. Тиме (1838—1920 гг.) и изложены им в монографии «Сопротивление металлов и дерева резанию». В результате опытов по строганию свинца, стали и других материалов с малыми скоростями резания он предложил элементарную механическую схему стружкообразования, основанную на визуальном наблюдении за процессом резания.

В начальный момент, когда движущийся резец под действием силы  $P$  соприкасается с металлом (рис. 3.1, а), в материале возникают упругие деформации. При дальнейшем движении резец своей кромкой вдавливается в металл, вызывая его пластическое деформирование (рис. 3.1, б). По мере перемещения резца объем пластически деформированного металла возрастает и внутренние напряжения достигают значений, превышающих временное сопротивление металла. В этот момент весь пластически деформированный материал под действием сил сдвигается резцом в виде окончательно сформированного элемента стружки (рис. 3.1, в). Далее процесс деформирования повторяется, образуются новые элементы 1, 2, 3 и т. д. стружки (рис. 3.1, г). Объем металла, подвергающийся пластическому деформированию, ограничен с одной стороны передней поверхностью лезвия резца, с другой — плоскостью  $O-O$ , по которой периодически сдвигаются или скалываются сформировавшиеся элементы стружки. И. А. Тиме назвал эту плоскость плоскостью скалывания. В более поздних исследованиях эту плоскость

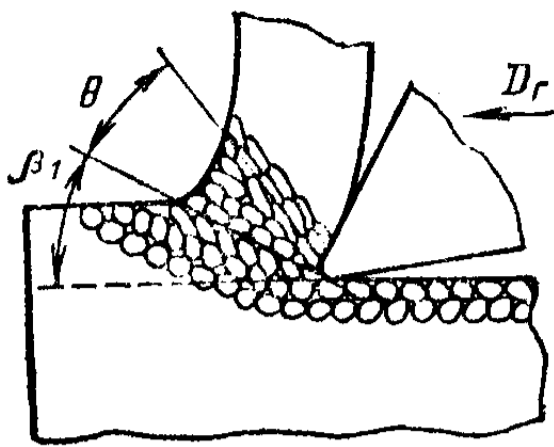


Рис. 3.2. Схема пластически деформированной зоны при резании

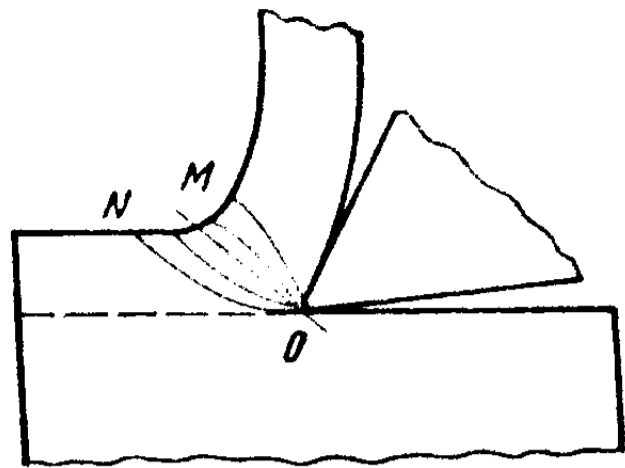


Рис. 3.3. Границы распространения пластических деформаций в зоне резания

стали называть плоскостью сдвига. Угол  $\beta_1$ , определяющий положение плоскости сдвига относительно направления движения инструмента, называют углом сдвига (углом скалывания). Угол  $\beta'$  И. А. Тиме назвал углом действия.

Позднее Я. Г. Усачев установил, что наибольшие деформации зерен возникают не в направлении плоскости  $O-O$ , а в другом направлении, определяемом углом  $\theta$ . Срезаемый слой подвергается дополнительному деформированию вследствие трения стружки о переднюю поверхность инструмента. Окончательная структура формируется в виде вытянутых зерен. Упорядоченную ориентацию деформированных кристаллических зерен называют текстурой, а угол  $\theta$  — углом текстуры (рис. 3.2).

Характер деформирования зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента, режимов резания и условий обработки. Для сталей средней твердости положение плоскости сдвига  $O-O$  практически постоянно ( $\beta_1 = 30^\circ$ ). Угол  $\theta$  зависит от свойств обрабатываемого материала и геометрических параметров инструмента. При обработке хрупких материалов угол  $\theta$  близок к нулю, при обработке пластичных материалов доходит до  $30^\circ$ .

Советские ученые с помощью измерения микротвердости установили, что в процессе стружкообразования металл подвергается деформированию не только в пределах угла действия  $\beta'$ , как установил И. А. Тиме, но и за пределами плоскости скалывания. Судя по распределению микротвердости в зоне стружкообразования, граница распределения пластического деформирования может проходить не только по плоскости скалывания, но

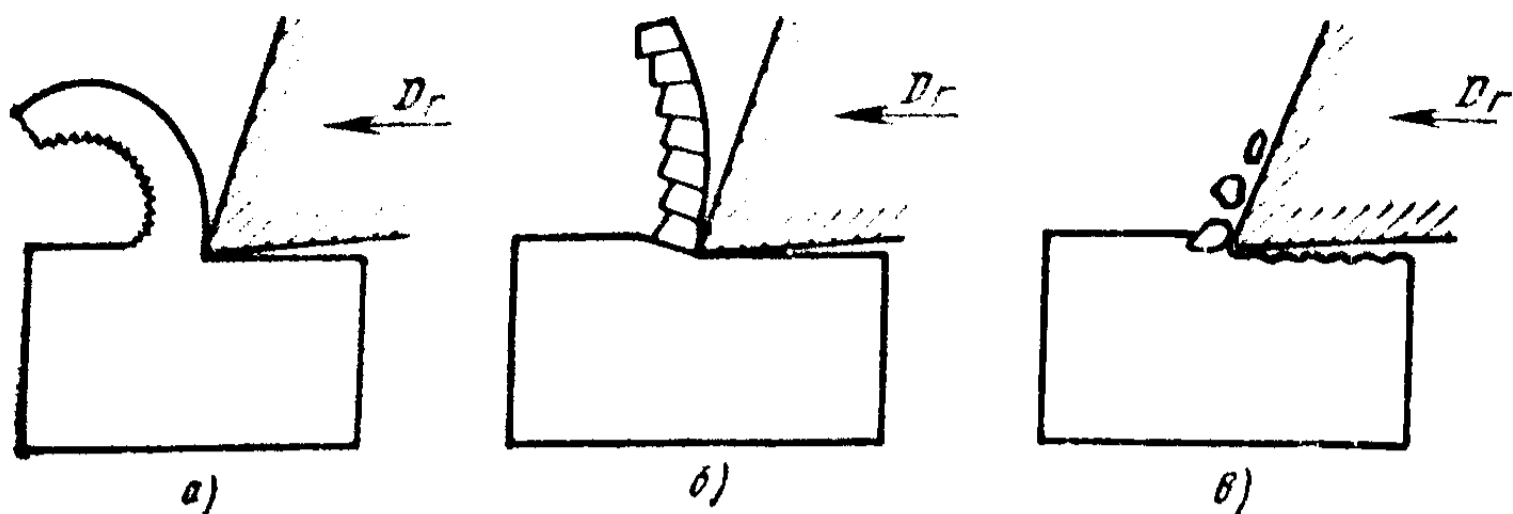


Рис. 3.4. Типы стружек:

а — сливная; б — скалывания; в — надлома

и по некоторым криволинейным поверхностям, лежащим между кривыми  $OM$  и  $ON$  (рис. 3.3). Анализ картины распределения микротвердости в этой области показал, что разность значений микротвердости в различных точках незначительна, поэтому с незначительной погрешностью можно определять степень пластического деформирования в плоскости скалывания (сдвига).

По действующей и поныне классификации процессора И. А. Тиме при обработке различных материалов могут образовываться следующие виды стружек: сливная, скалывания и надлома. Вид стружки в основном определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, режимом резания и геометрическими параметрами инструмента.

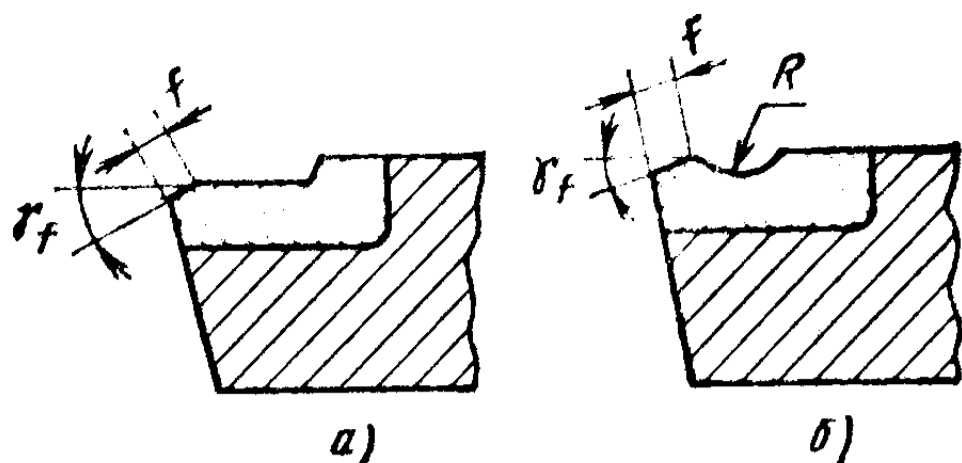
Сливная стружка (рис. 3.4, а) представляет собой сплошную ленту с гладкой блестящей наружной (прирезцовой) стороной. Внутренняя сторона стружки матовая со слабо выраженными пилообразными зазубринами. Она образуется при резании пластичных материалов с большими скоростями резания, с малой толщиной срезаемого слоя и с большими передними углами инструмента.

Стружка скалывания (рис. 3.4, б) с наружной стороны гладкая, а на внутренней имеет ярко выраженные зазубрины — отдельные элементы (элементная стружка) или элементы, соединенные между собой в ленту (суставчатая стружка). Такая стружка характерна для обработки материалов средней твердости, при малых скоростях резания, с большей толщиной срезаемого слоя и меньшими передними углами.

Стружка надлома (рис. 3.4, в) образуется при обработке хрупких материалов. Под действием силы, приложенной к инструменту, происходит надлом и разрушение



Рис. 3.5. Резцы с порошком (а) и лункой (б) для ломания и завивания стружки



материала. Образуются мелкие разнообразных форм и размеров кусочки, не связанные или слабо связанные между собой. Обработанная поверхность при образовании такой стружки получается шероховатой, с зазубринами и вырывами.

Изменяя условия и режим резания, можно получить различные виды стружек. Например, при резании меди обычно образуется сливная стружка, а при глубоком охлаждении — стружка надлома, при резании твердых и хрупких материалов с подогревом — стружка скалывания. По мере увеличения скорости резания большинства углеродистых и легированных конструкционных сталей стружка скалывания превращается в сливную. Повышение скорости резания при обработке хрупких материалов также приводит к упрочнению связей между отдельными элементами. Однако это сцепление легко нарушается и стружка, имевшая вид сливной, рассыпается на отдельные кусочки.

Образующаяся при обработке большинства сталей сливная стружка сходит в виде длинных полос или спирали. Она наматывается на механизмы станка, на инструмент и обрабатываемую заготовку. Это затрудняет эксплуатацию станка, может вызвать травму рабочего и повреждение обработанной поверхности. Особенно недопустима такая стружка в условиях автоматизированного производства. Кроме того, такая стружка загромождает цех, так как занимает большой объем. Оптимальной стружкой в массовом производстве считают спираль в виде отрезков длиной 30—80 мм, диаметром до 15 мм. Разработан ряд способов дробления стружки: регулирование режима резания и геометрических параметров режущего инструмента; искусственное дробление с помощью различных приспособлений.

Чтобы получить устойчивое стружкодробление, на передней поверхности резца затачивают специальные ка-

навки и уступы вдоль главной режущей кромки (рис. 3.5). Благодаря канавкам увеличивается передний угол  $\gamma$  в месте схода стружки, что облегчает резание. Стружка сходит крутой спиралью или ломается отдельными кольцами. Нередко прибегают к использованию специальных стружколомов, устанавливаемых на резце (рис. 3.6).

Искусственное дробление стружки можно осуществлять изменением кинематики процесса резания — наложением на равномерное движение подачи осевых вибраций. Прочная сливная стружка, получающаяся при обычном резании, превращается в стружку с переменной толщиной, дробится на части и легко удаляется.

В результате пластического деформирования обрабатываемого материала в зоне резания длина стружки  $L_c$  получается меньше длины срезаемого слоя  $L$ , толщина стружки  $a_c$  — больше толщины срезаемого слоя, а ширина  $b_c$  — больше ширины срезаемого слоя ( $L_c < L$ ,  $a_c > a$ ,  $b_c > b$ ) (рис. 3.7). Изменение размеров срезаемого слоя называется *усадкой стружки*. Изменение размеров стружки по сравнению с размерами срезаемого слоя характеризуется тремя коэффициентами: коэффициентом укорочения стружки  $k_l = L/L_c$ ; коэффициентом утолщения стружки  $k_a = a_c/a$ ; коэффициентом увеличения ширины стружки  $k_b = b_c/b$ . По экспериментальным данным, увеличение ширины стружки невелико ( $k_b = 1,05 \dots 1,15$ ), поэтому им можно пренебречь. Так как объем пластически деформированного материала не изменяется, то  $abL = a_c b_c L_c$  и при  $b = b_c$  получим  $k_l = k_a$ .

Коэффициенты усадки стружки представляют собой простые соотношения линейных размеров стружки и срезаемого слоя заготовки. В тех случаях, когда длину стружки измерить трудно,  $k_l$  определяют по соотношению площадей сечений стружки

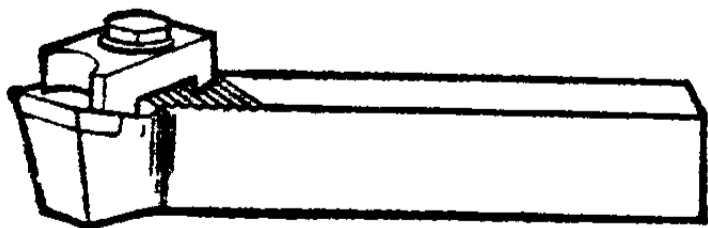


Рис. 3.6. Накладной стружколоматель конструкции МАИ и МВТУ

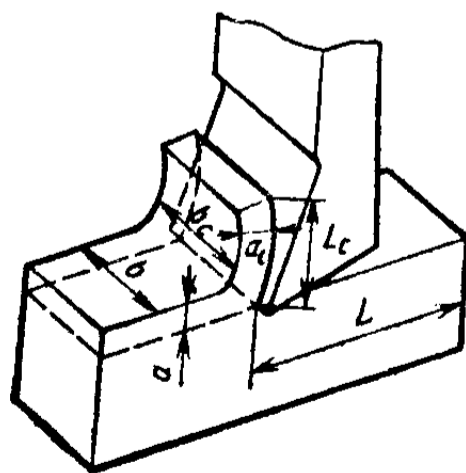


Рис. 3.7. Размеры срезаемого слоя и стружки

$f_{стр}$  и срезанного слоя  $f_{сл}$  так называемым «весовым» методом:

$$k_l = \frac{f_{стр}}{f_{сл}} = \frac{G_{стр}}{\rho l_1 a_1 b_1},$$

где  $G_{стр}$  — масса элементов стружки;  $\rho$  — плотность материала;  $l_1, a_1, b_1$  — линейные размеры элемента стружки.

Усадка стружки является внешним выражением пластического деформирования и до некоторой степени характеризует условия протекания резания: чем меньше усадка стружки, тем меньше пластическая деформация, более благоприятны условия для стружкообразования и меньше расход мощности на обработку данной заготовки.

Коэффициент укорочения стружки позволяет выяснить влияние некоторых факторов на протекание процесса резания и объяснить ряд явлений, сопутствующих стружкообразованию.

На усадку стружки основное влияние оказывают механические свойства обрабатываемого материала, передний угол инструмента  $\gamma$ , толщина срезанного слоя (подача), скорость резания и применяемая смазочно-охлаждающая жидкость.

При резании пластичных материалов коэффициент укорочения стружки больше, чем при резании хрупких. Например, при резании чугуна  $k_l = 1,5 \dots 2,5$ , а при резании стали  $k_l = 2 \dots 6$ .

С уменьшением переднего угла  $\gamma$  усадка стружки увеличивается. Резец с большим углом  $\gamma$  легче врезается в обрабатываемый материал, и срезанный слой будет менее деформирован.

Уменьшение усадки  $k_l$  (рис. 3.8) с увеличением скорости резания объясняется снижением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью инструмента.

Увеличение толщины срезанного слоя (подачи) ведет к уменьшению усадки стружки. Чем тоньше срезанный слой, тем больше его деформация и больше коэффициент усадки.

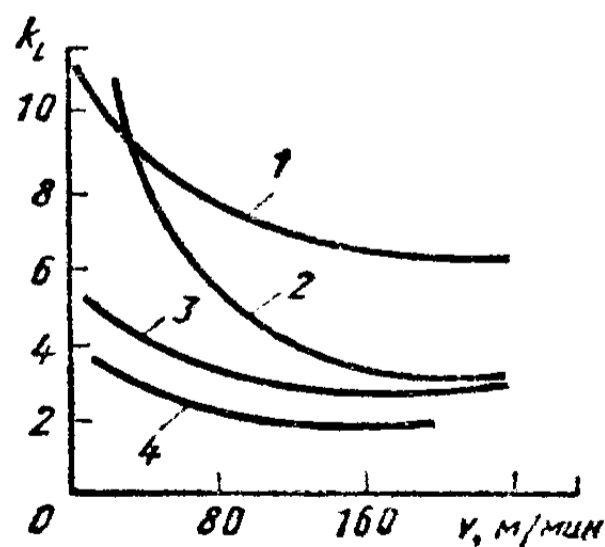


Рис. 3.8. Зависимость усадки стружки от скорости резания различных металлов:

1 — медь; 2 — сталь 10; 3 — латунь; 4 — сталь У2

Кроме того, тонкая стружка в большей степени подвергается дополнительному деформированию при трении о переднюю поверхность инструмента по сравнению с толстой.

Смазочно-охлаждающие жидкости, снижая коэффициент трения, уменьшают коэффициент усадки стружки. Эффект от влияния СОЖ увеличивается с уменьшением толщины срезаемого слоя.

### § 3.2. СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Для осуществления резания к инструменту должны быть приложены силы, которые определяются сопротивлением металла стружкообразованию. В результате сопротивления деформированию возникают реактивные силы, действующие на рабочие поверхности лезвия со стороны обрабатываемого материала (рис. 3.9): сила упругого и пластического деформирования  $P_1$ , действующая перпендикулярно передней поверхности инструмента; сила  $P_2$ , действующая перпендикулярно главной задней поверхности инструмента. В результате относительного перемещения инструмента и заготовки на передней и задней поверхностях инструмента действуют силы трения  $T_1 = \mu_1 P_1$  и  $T_2 = \mu_2 P_2$ , где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  — коэффициенты трения соответственно стружки о переднюю поверхность лезвия и задней поверхности лезвия о заготовку. Считая клин режущего инструмента абсолютно жестким телом, после сложения всех действующих на него сил можно получить равнодействующую силу  $P$ . Для практических целей обычно рассматривается не сама

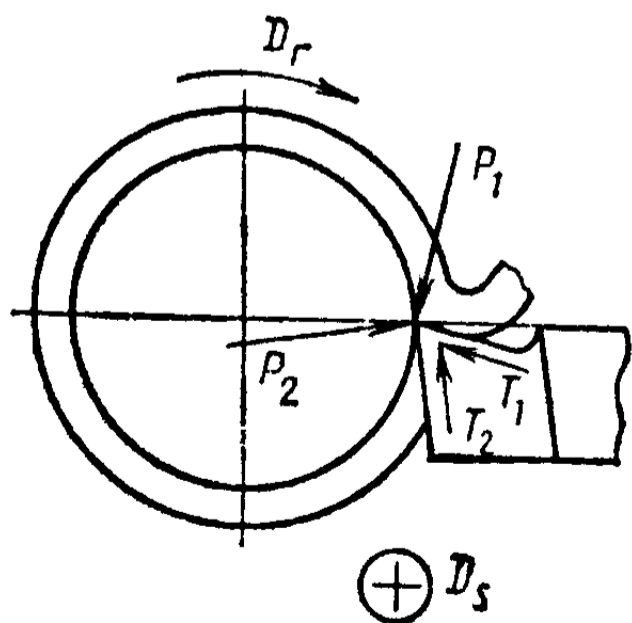


Рис. 3.9. Схема сил, действующих на резец

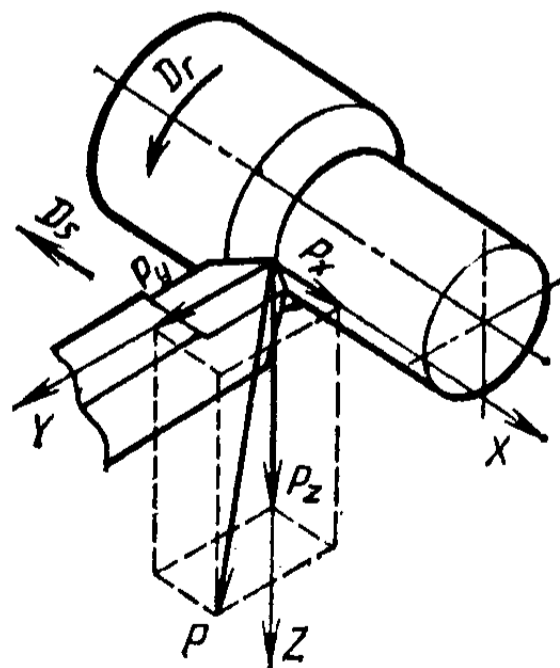


Рис. 3.10. Разложение силы резания на составляющие

сила  $P$ , а ее составляющие. Рассмотрим схему сил, действующих на резец в процессе точения (рис. 3.10).

При точении силу  $P$  раскладывают на три составляющие, действующие вдоль осей, принятых в теории резания. Такими осями для токарного станка являются: ось  $X$  — линия центров станка; ось  $Y$  — линия, перпендикулярная к линии центров станка; ось  $Z$  — линия, перпендикулярная к плоскости  $XY$ .

Главная (касательная) составляющая силы резания  $P_z$  совпадает по направлению со скоростью главного движения резания в вершине лезвия. С учетом силы  $P_z$  рассчитывают на прочность детали и узлы коробки скоростей станка, а также прочность резца.

Радialная составляющая силы резания  $P_y$  направлена по радиусу вращательного движения резания в вершине лезвия (перпендикулярно оси заготовки). Эта составляющая определяет силу отжима резца от заготовки и прогиб заготовки, влияющие на точность изготовления детали; по силе  $P_y$  рассчитывают на прочность механизм поперечной подачи.

Осевая составляющая силы резания  $P_x$  действует параллельно оси главного вращательного движения резания. По этой силе рассчитывают механизм продольной подачи станка и изгибающий момент, действующий на стержень резца  $M_x$ . По величине суммарного изгибающего момента от сил  $P_z$  и  $P_x$  рассчитывают на прочность крепежную часть резца. Равнодействующая сил определяется как сумма векторов трех составляющих (диагональ параллелепипеда):  $P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$ . В некоторых случаях одной из двух составляющих  $P_x$  или  $P_y$  может и не быть. Например, при разрезании заготовки отрезным резцом отсутствует сила  $P_x$ , тогда  $P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$ ; при обработке резцом с углом в плане  $\varphi = 90^\circ$  и  $\lambda = 0$  отсутствует составляющая  $P_y$ , тогда  $P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2}$ .

Соотношение между величинами  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  зависит от геометрических параметров лезвия инструмента, элементов режима резания ( $v$ ,  $S$ ,  $t$ ), физико-механических свойств обрабатываемого материала, износа резца, условий обработки и приближенно равно  $P_z : P_y : P_x = 1 : (0,5 \dots 0,3) : (0,4 \dots 0,25)$ . Тогда  $P = (1,1 \dots 1,15) \times P_z$ . Поэтому силу  $P_z$  называют главной составляющей силы резания.

Мощность (кВт), расходуемая на резание, складывается из мощностей, затрачиваемых на преодоление трех составляющих сил резания:

$$N_{e_z} + N_{e_y} + N_{e_x} = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} + \\ + \frac{P_y n S_{\text{поп}}}{60 \cdot 102 \cdot 1000} + \frac{P_x n S_{\text{пр}}}{60 \cdot 102 \cdot 1000},$$

где  $v$  — скорость резания, м/мин;  $n$  — частота вращения заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $S_{\text{поп}}$  и  $S_{\text{пр}}$  — соответственно поперечная и продольная подачи инструмента, мм/об.

При обработке цилиндрической поверхности на токарном станке перемещение жестко закрепленного резца в направлении силы  $P_y$  не происходит, поэтому  $N_{e_y} = 0$ . Следовательно,

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} + \frac{P_x n S_{\text{пр}}}{60 \cdot 102 \cdot 1000}.$$

При отрезании заготовки  $N_{e_x} = 0$  (нет перемещения в направлении действия силы  $P_x$ ), тогда

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} + \frac{P_y S_{\text{поп}} n}{60 \cdot 102 \cdot 1000}.$$

Значения  $N_{e_x}$  и  $N_{e_y}$  во много раз меньше составляющей  $N_{e_z}$ , так как скорость подачи во много раз меньше скорости резания. Поэтому на практике эффективную мощность рассчитывают только по силе  $P_z$ , т. е.  $N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 102}$ . С учетом коэффициента полезного действия станка  $\eta$  можно подсчитать необходимую мощность электродвигателя:  $N_{\text{э. д}} = N_e / \eta$ , где  $\eta = 0,75 \dots 0,80$ .

Основными факторами, влияющими на силы резания, являются физико-механические свойства и структура обрабатываемого материала, геометрические параметры лезвия инструмента, элементы режима резания, условия обработки.

При практических расчетах используют полученные экспериментально зависимости:  $P_z = C_z (\text{НВ})^{x_1}$ ;  $P_y = C_y (\text{НВ})^{x_2}$ ;  $P_x = C_x (\text{НВ})^{x_3}$ , где НВ — твердость обрабатываемого материала по Бринеллю. Коэффициенты  $C_z$ ,  $C_y$ ,  $C_x$  и показатели степеней  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , зависящие от физико-механических свойств обрабатываемого материала

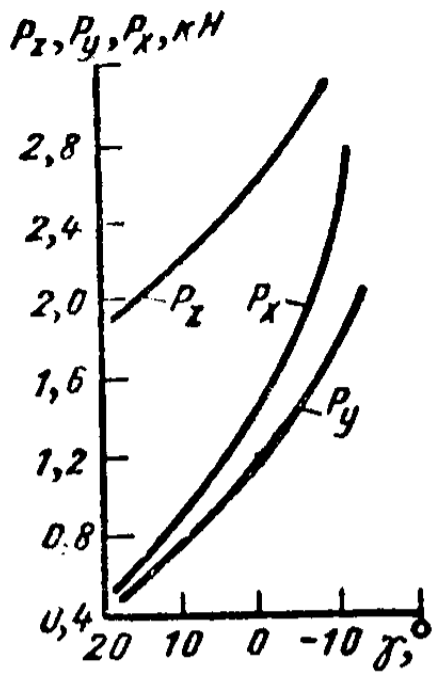
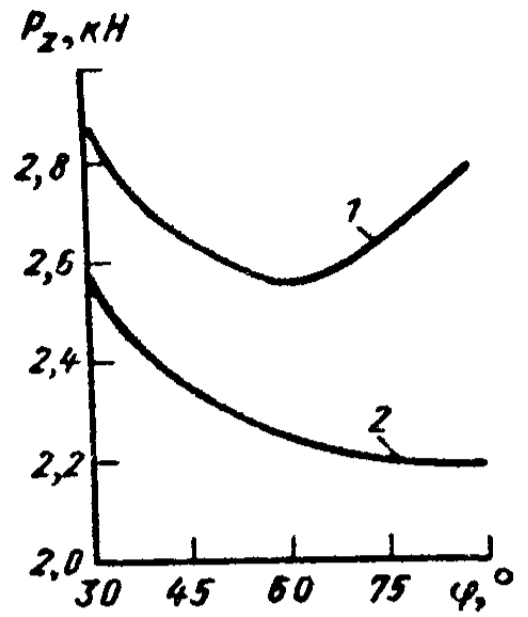


Рис. 3.11. Влияние переднего угла  $\gamma$  на силы резания при точении стали 40 ( $v = 40$  м/мин,  $t = 4$  мм,  $S = 0,3$  мм/об)

Рис. 3.12. Влияние главного угла в плане  $\phi$  на силу  $P_z$  при точении стали ( $v = 40$  м/мин,  $S = 0,48$  мм/об,  $t = 2$  мм):  
1 —  $r_B = 2$ ; 2 —  $r_B = 0$



и условий обработки, выбирают по справочнику по нормативам режимов резания.

Влияние переднего угла  $\gamma$  на значения сил резания показано на рис. 3.11. С уменьшением угла  $\gamma$  увеличивается давление стружки на резец, так как увеличиваются деформация стружки и силы трения по передней поверхности лезвия инструмента. При этом составляющие силы резания  $P_x$  и  $P_y$  возрастают быстрее, чем  $P_z$ .

На рис. 3.12 показана зависимость силы резания  $P_z$  от главного угла в плане  $\phi$  при обработке стали. Сложная зависимость  $P_z$  от угла  $\phi$  для резцов с  $r_B > 0$  связана с действием двух конкурирующих факторов: изменением толщины срезаемого слоя и длины криволинейного участка активной части режущей кромки. Чем больше  $r_B$ , тем больше длина криволинейного участка режущей кромки, тем больше деформация и, следовательно, больше сила резания  $P_z$ . При увеличении  $r_B$  возрастает и сила  $P_y$ , а сила  $P_x$  уменьшается.

На рис. 3.16 показан характер зависимости силы  $P_z$  от скорости резания  $v$  при обработке материалов, склонных к наростообразованию. В диапазоне скоростей, при которых высота нароста растет, сила  $P_z$  уменьшается, так как увеличивается передний угол  $\gamma$  и облегчается стружкообразование. При скоростях резания, при которых высота нароста уменьшается, сила  $P_z$  вновь возрастает. Начиная со скоростей резания, соответствующих исчезновению нароста, сила  $P_z$  непрерывно уменьшается. Это объясняется увеличением температуры резания и уменьшением коэффициента трения.

Изменение глубины резания  $t$  и подачи  $S$  сопровождается изменением всех трех составляющих силы реза-

ния  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ . Чем больше глубина и подача, тем больше площадь поперечного сечения срезаемого слоя и объем деформируемого металла, тем больше сопротивление стружкообразованию и силы резания. Влияние глубины резания и подачи на силы резания различно: глубина резания оказывает большее влияние на силы резания, чем подача.

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), применяемые при резании металлов, уменьшают трение, облегчают процесс стружкообразования и, следовательно, уменьшают силы резания, действующие на резец.

Влияние различных факторов на силы резания весьма сложно. Учитывая это, Комиссия по резанию металлов предложила использовать для определения сил резания упрощенные обобщенные эмпирические формулы:

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} v^{z_{P_z}} k_{P_z};$$

$$P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} v^{z_{P_y}} k_{P_y};$$

$$P_x = C_{P_x} t^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}} v^{z_{P_x}} k_{P_x},$$

где  $x$ ,  $y$ ,  $z$  — показатели степеней, учитывающие влияние элементов режима резания ( $t$ ,  $S$ ,  $v$ ) на величину силы резания; например, при обработке сталей в первом грубом приближении  $x_{P_z} = 1$ ,  $y_{P_z} = 0,75$ ,  $z_{P_z} = -0,15$ ;  $k_{P_z}$ ,  $k_{P_y}$ ,  $k_{P_x}$  — обобщенные поправочные коэффициенты, численно равные произведениям коэффициентов, учитывающих условия обработки, не вошедшие в коэффициенты  $C_{P_z}$ ,  $C_{P_y}$  и  $C_{P_x}$  (углы  $\varphi$  и  $\gamma$ , применяемую СОЖ, износ, радиус кривизны вершины лезвия и т. п.). Все коэффициенты и показатели степеней даны в справочниках по режимам обработки. На практике определяют лишь силу  $P_z$ , а силы  $P_y$  и  $P_x$  берут в долях от  $P_z$ .

Для измерения составляющих сил резания и изучения влияния на них различных факторов применяют динамометры различных конструкций. В зависимости от метода обработки применяют одно-, двух- и трехкомпонентные динамометры. По принципу действия их делят на упруго-механические, гидравлические и упругоэлектрические.



Динамометр состоит из устройства, служащего для закрепления инструмента и разложения силы резания на составляющие, датчиков для преобразования измеряемых составляющих сил резания в механические перемещения, силу электрического тока, давление жидкости и т. д. и регистрирующего устройства.

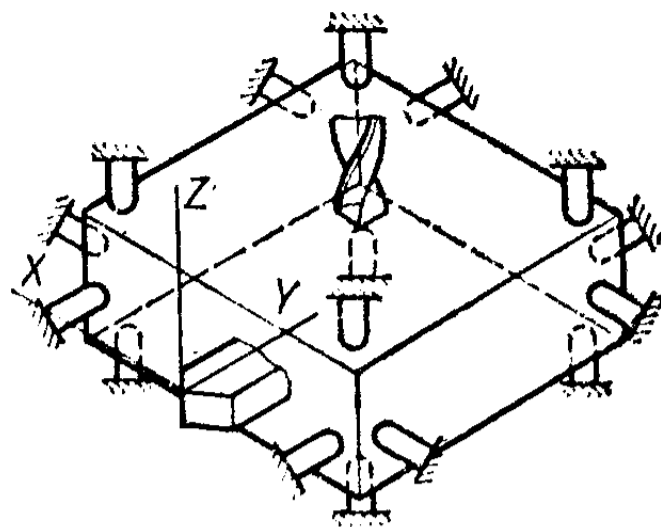


Рис. 3.13. Схема универсального динамометра УДМ

В последнее время для измерения сил резания при работе различным режущим инструментом чаще применяют проволочные датчики. Принцип их действия основан на использовании способности металлической проволоки изменять омическое сопротивление при растяжении и сжатии. Среди динамометров с проволочными датчиками наибольшее распространение нашел универсальный динамометр УДМ ВНИИинструмента. Динамометр позволяет измерять три составляющие силы резания при точении, фрезеровании и шлифовании, осевую силу и крутящий момент при сверлении, развертывании и нарезании резьбы метчиком.

Принципиальная схема динамометра изображена на рис. 3.13. Проволочные датчики сопротивления наклеены на 16 опор, поддерживающих квадратную пластину. Опоры, изготовленные из термически обработанной стали, имеют трубчатую форму и обладают высокой жесткостью вдоль оси и малой жесткостью в направлении, перпендикулярном оси. Под действием сил резания или крутящего момента пластина стремится к перемещению и деформирует трубчатые опоры. Деформирование опор приводит к изменению омического сопротивления, что фиксируется на осциллографе или гальванометре.

### § 3.3. ЯВЛЕНИЕ НАКЛЕПА ПРИ РЕЗАНИИ

При обработке резанием на инструменте всегда образуется радиус кривизны вершины лезвия  $r_v$  (рис. 3.14). Поэтому в стружку переходит лишь часть металла, подвергающаяся упругопластическому деформированию. Другая часть, толщина которой соизмерима с радиусом  $r_v$ , образует обработанную поверхность. После прохождения

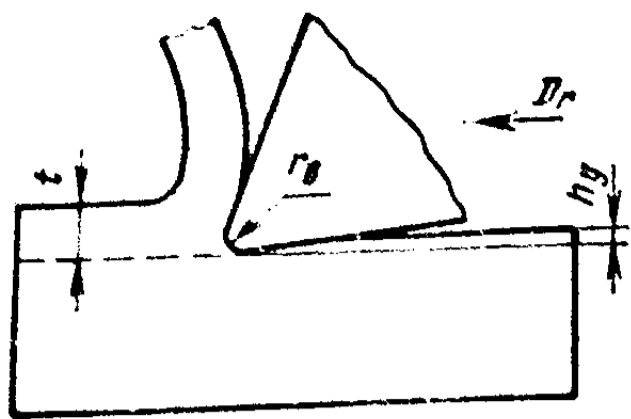


Рис. 3.14. Схема образования поверхностного слоя заготовки

резца относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление поверхностного деформированного слоя на величину  $h_y$  — упругое последствие. В результате упругопластического деформирования обработанной поверхности повышаются прочностные характеристики (временное сопротивление, предел текучести  $\sigma_T$ , твердость НВ), сни-

жается пластичность и изменяются физические свойства материала. Совокупность изменения указанных свойств материала называют упрочнением, или наклепом. Наклеп характеризуется глубиной  $h_H$  и степенью  $i_H = \frac{HV_{пов}}{HV_{исх}}$ , где  $HV_{пов}$  и  $HV_{исх}$  — микротвердость соответственно поверхностного и исходного материала.

Глубина и степень наклепа зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента, радиуса кривизны вершины лезвия, режима резания ( $h_H$  составляет несколько миллиметров при черновой обработке и тысячные доли миллиметра при чистовой обработке).

Чем мягче и пластичнее обрабатываемый материал, тем большему наклепу он подвергается. Например, чугуны обладают значительно меньшей способностью к наклепу, чем стали, как по степени, так и по глубине его распространения. Глубина наклепанного слоя возрастает с увеличением сечения срезаемого слоя,  $r_B$  и уменьшением переднего угла  $\gamma$ . Увеличение скорости резания снижает  $h_H$ .

Результатом упругопластического деформирования металла являются также взаимно уравновешивающие остаточные напряжения, возникающие вследствие неравномерности пластического деформирования и значительного нагрева поверхностных слоев. Они могут быть растягивающими и сжимающими. Напряжения сжатия повышают временное сопротивление деталей, а напряжения растяжения снижают его. Если остаточные напряжения превосходят временное сопротивление обрабатываемого материала, то это может привести к образованию поверхностных трещин. Для твердых сталей повышение усталостной прочности в результате действия сжимаю-

щих напряжений достигает 50 %, а снижение ее за счет растягивающих напряжений — около 30 %.

Упрочнение обработанной поверхности полезно при чистовой обработке, если остаточные напряжения будут сжимающими. Однако упрочнение оказывает и отрицательное влияние на резание. Повышение твердости поверхностного слоя в результате черновой обработки затрудняет чистовую обработку, так как повышается износ инструмента и увеличивается шероховатость поверхности. Уменьшить глубину и степень наклепа можно применением СОЖ, увеличением скорости резания  $v$  и термообработкой (отжиг и нормализация).

### § 3.4. НАРОСТООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ

При некоторых условиях резания под влиянием высоких давлений и температур частицы обрабатываемого материала задерживаются на передней поверхности лезвия, прочно сцепляются с ней, образуя нарост. Вследствие значительных деформаций твердость нароста становится в 2—3 раза больше твердости обрабатываемого материала и нарост сам начинает резать металл, являясь как бы новым элементом режущего лезвия.

При наличии нароста изменяется форма передней поверхности резца, увеличивается передний угол  $\gamma$  (рис. 3.15). Это облегчает стружкообразование, уменьшает нагрев режущего лезвия. Кроме того, нарост защищает режущую кромку инструмента от истирания сходящей стружкой. Образование нароста — нестабильное явление. В процессе обработки резанием нарост, постепенно формируясь, достигает максимального значения. Затем за счет сил трения он может быть унесен со стружкой или вдавлен в обработанную поверхность. Частота срывов нароста зависит от скорости резания и достигает нескольких сотен в секунду. Нестабильность нароста по высоте приводит к существенному увеличению шероховатости обработанной поверхности, изменяет ее размер и при определенных условиях вызывает интенсивные вибрации резца. Нарост является положительным явлением при черновой обработке и отрицательным — при чистовой, так как снижает качество обработанной поверхности.

Наростообразование зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрических параметров инструментов, наличия и

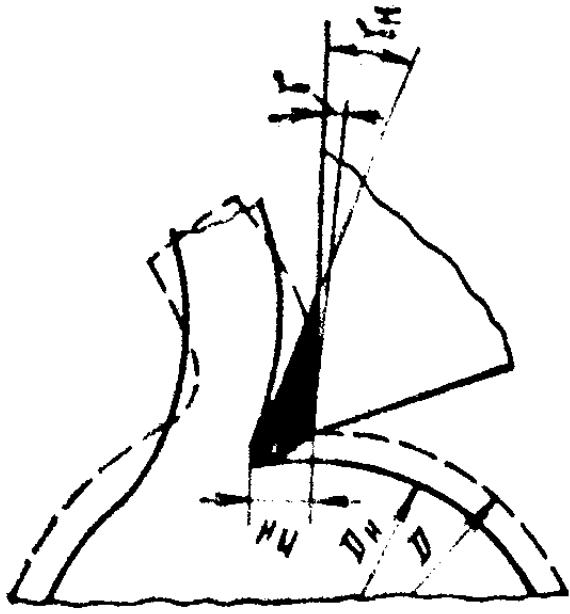
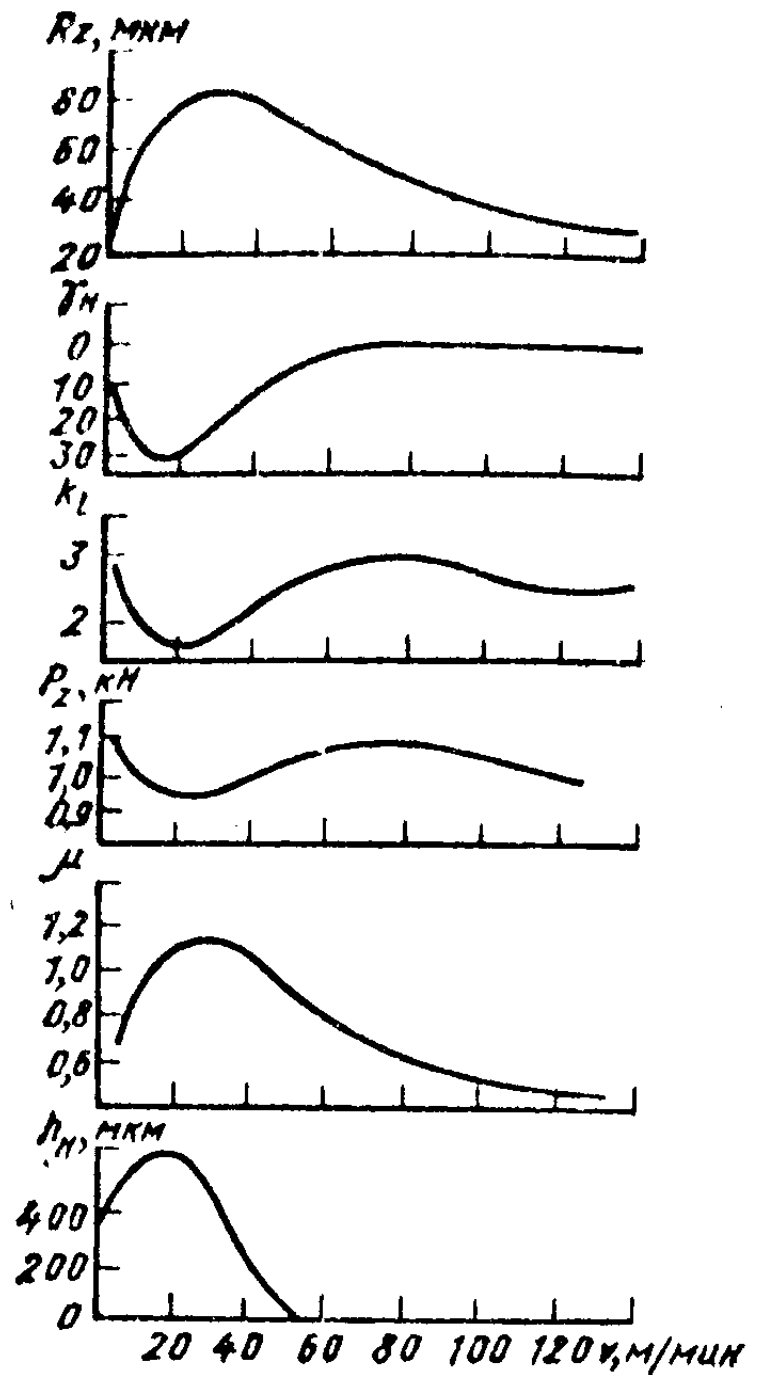


Рис. 3.15. Схема наростообразования и влияние нароста на размер детали ( $\gamma$ ,  $\gamma_n$  — передние углы соответственно без нароста и с наростом,  $D$  и  $D_n$  — соответственно диаметры детали)

Рис. 3.16. Влияние высоты нароста  $h_n$  на коэффициент трения  $\mu$ , силу резания  $P_t$ , коэффициент укорочения стружки  $k_t$ , передний угол  $\gamma_n$  и параметр шероховатости  $Rz$  при различных скоростях резания стали 40X



состава СОЖ и других факторов. Наиболее интенсивно нарост образуется при обработке пластичных материалов. При обработке хрупких металлов нарост может и не образовываться.

Зависимость высоты нароста  $h_n$  от скорости резания дана на рис. 3.16. Для разных материалов существует определенный диапазон скоростей, для которых высота нароста  $h_n$  — максимальна. Повышение пластичности обрабатываемого материала сдвигает максимум кривой влево. Для этих же скоростей резания шероховатость поверхности также максимальна. При повышении скорости резания выше 60—70 м/мин нарост на режущем инструменте не образуется, так как под действием теплоты он становится пластичным. С увеличением подачи размеры нароста увеличиваются. Глубина резания существенного влияния на размеры нароста не оказывает.

С уменьшением переднего угла  $\gamma$  увеличивается зона деформированного материала и, следовательно, увеличивается нарост. Применение СОЖ уменьшает нарост. В ре-

зультате исследования наростообразования установлены способы борьбы с ним при чистовой обработке: увеличение скорости резания, увеличение переднего угла  $\gamma$ , применение СОЖ, тщательная доводка поверхностей лезвия для уменьшения коэффициента трения между ними и обрабатываемым материалом.

### § 3.5. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Теплота является одним из основных факторов, влияющих на резание. Теплообразование оказывает двойное воздействие на резание. С одной стороны, интенсивное тепловыделение облегчает деформирование материала срезаемого слоя, способствует образованию пограничного слоя на контактных поверхностях стружки и заготовки, вследствие чего уменьшается износ инструмента и повышается качество обработанной поверхности. С другой стороны, тепловое воздействие на режущее лезвие инструмента приводит к изменению структуры и физико-механических свойств инструментального материала (снижению его твердости). Температура в зоне главной режущей кромки достигает  $800—1000^{\circ}\text{C}$ . Это приводит к потере режущих способностей инструмента и ускоренному изнашиванию.

Кроме того, с повышением температуры инструмента увеличиваются его размеры, что вызывает снижение точности обработки. Нагрев жестко закрепленной обрабатываемой заготовки ведет к изменению ее размеров и деформациям, что также влияет на точность обработки.

Тепловыми явлениями при резании необходимо управлять так, чтобы выделяющаяся теплота облегчала резание и не снижала стойкости инструмента и точности обработки. Погрешности обработки заготовки, возникающие вследствие тепловыделения, необходимо учитывать при наладке станков, особенно автоматов и полуавтоматов. Для определения погрешностей нужно знать температуру инструмента и заготовки в процессе резания.

Почти вся механическая энергия, затрачиваемая на деформирование, разрушение и трение, переходит в тепловую и только небольшая часть накапливается в виде потенциальной энергии искаженной решетки материала в зоне деформирования. Поэтому количество  $Q$  выделяющейся теплоты в единицу времени (Дж/с) можно подсчи-

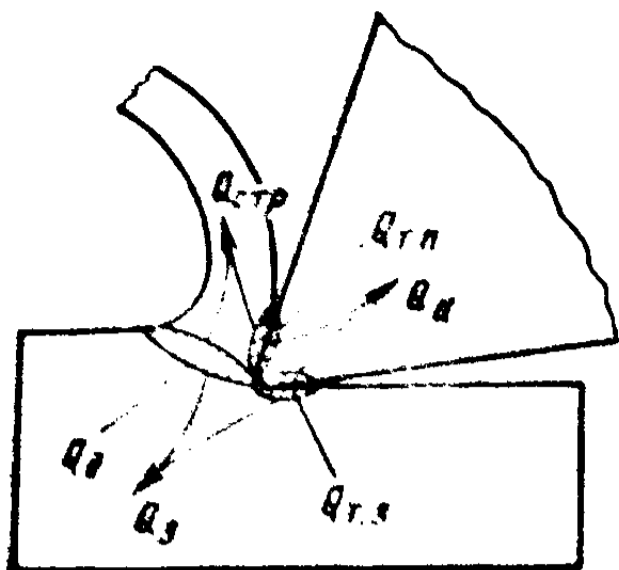


Рис. 3.17. Источники образования и распределения теплоты при резании

тать по формуле  $Q = P_2 v$ , где  $P_2$  — сила резания, Н;  $v$  — скорость резания, м/с.

Источниками теплоты при резании являются пластическое деформирование в зоне стружкообразования, трение стружки о переднюю поверхность инструмента и трение поверхности резания и обработанной поверхности о задние поверхности лезвия инструмента (рис. 3.17). Тепловыделениями за счет упругих деформаций и дисперги-

рования обычно пренебрегают ввиду их незначительной величины.

Уравнение теплового баланса можно представить следующим образом:

$$Q_d + Q_{т.л} + Q_{т.з} = Q_{стр} + Q_з + Q_и + Q_{окр},$$

где  $Q_d$  — количество теплоты, выделяющееся при пластическом деформировании обрабатываемого материала;  $Q_{т.л}$  — количество теплоты, выделяющееся при трении стружки о переднюю поверхность лезвия;  $Q_{т.з}$  — количество теплоты, выделяющееся при трении задних поверхностей лезвия о заготовку;  $Q_{стр}$  — количество теплоты, уходящей в стружку;  $Q_з$  — количество теплоты, уходящей в заготовку;  $Q_и$  — количество теплоты, уходящей в инструмент;  $Q_{окр}$  — количество теплоты, передаваемой окружающей среде.

Количественное выражение составляющих уравнения теплового баланса зависит от вида операции, физико-механических свойств материалов заготовки и инструмента, режима резания, геометрических параметров режущего инструмента и условий обработки. При обработке конструкционных сталей со скоростями резания до 50 м/мин количество теплоты, выделяющейся при пластическом деформировании,  $Q_d = 0,75 Q$ , при  $v = 200$  м/мин это количество теплоты снижается до  $Q_d = 0,25 Q$ . Следовательно, при скоростном резании основным источником теплоты является трение.

Значение слагаемых правой части уравнения теплового баланса зависит прежде всего от вида операции. Например, при точении различных конструкционных ма-

териалов наибольшее количество теплоты уходит со стружкой, а при сверлении — в обрабатываемую заготовку.

Наибольшее влияние на температуру резания (среднюю температуру по всей поверхности контакта инструмента и заготовки) оказывает скорость резания. При скоростях резания до 400 м/мин температура инструмента повышается быстро; при дальнейшем повышении скорости ее влияние заметно снижается. С увеличением подачи температура в зоне резания повышается, но менее интенсивно, чем при повышении скорости резания. Еще меньшее влияние на температуру оказывает глубина резания. Это объясняется тем, что с увеличением глубины резания возрастает длина активной части режущей кромки инструмента, что улучшает условия теплоотвода. Уравнение температуры резания в зависимости от режима обработки может быть записано в виде эмпирической формулы:  $\theta = Cv^z S^y t^x$ , где  $C$  — общий коэффициент, характеризующий условие обработки;  $z$ ,  $y$ ,  $x$  — показатели степени, характеризующие интенсивность прироста температуры с увеличением  $v$ ,  $S$  и  $t$ .

С уменьшением переднего угла  $\gamma$  увеличивается сила резания и, следовательно, температура резания. Вследствие увеличения угла заострения  $\beta$  теплоотвод в данном случае тоже будет усиливаться, но в меньшей степени, чем тепловыделение. С уменьшением угла в плане  $\phi$  удлиняется активная часть режущей кромки, увеличивается угол при вершине  $\epsilon$  и за счет этого улучшается теплоотвод.

Существуют различные методы измерения температуры в зоне резания: калориметрический, термопар (искусственных, полуискусственных, естественных), термоласок, цветов побежалости, оптический, радиационный и др.

Наиболее распространенным и точным является метод термопар, впервые предложенный в 1912 г. Я. Г. Усачевым. Спай искусственной термопары (рис. 3.18, а) вставляют в просверленное в определенном месте инструмента отверстие и располагают его возможно ближе к источникам теплоты. Термопару изолируют от стенок отверстия в инструменте слюдой или стеклянной трубкой. Возникающую в цепи термоэлектродвижущую силу, пропорциональную разности температур места спаивания и холодных концов проволок, измеряют регистрирующим прибором. Для перевода электродвижущей силы в градусы термопару тарируют.

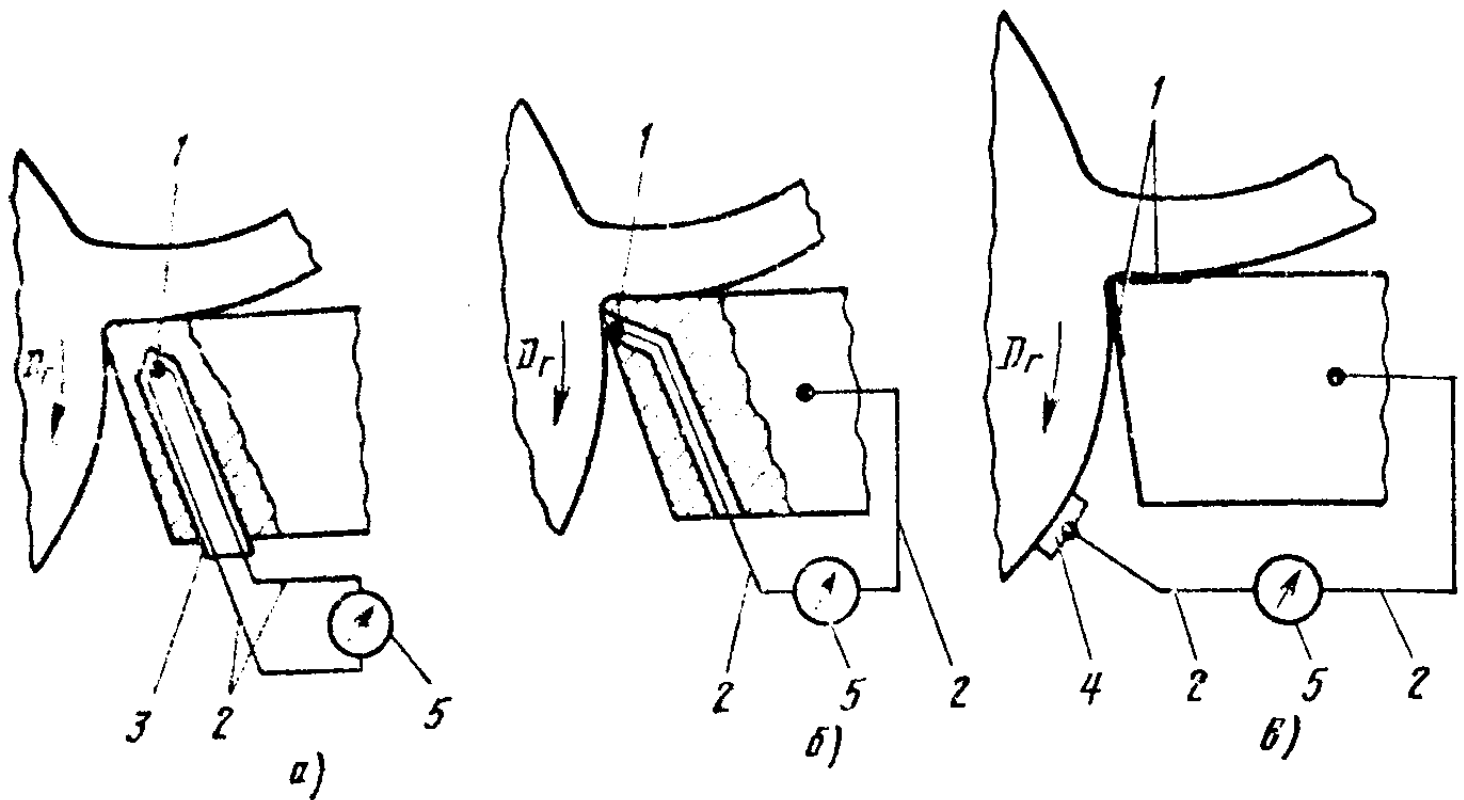


Рис. 3.18. Схемы термопар:

*a* — искусственной; *б* — полусинтетической; *в* — естественной; 1 — спай термопары; 2 — проволока; 3 — изоляционная трубка; 4 — токосъемник; 5 — регистрирующий прибор

При измерениях методом полусинтетической термопары одним элементом является инструмент (рис. 3.18, б), другим — изолированная проволока, которую расклепывают на задней или передней поверхности инструмента.

В настоящее время для температурных исследований широко применяют естественные термопары, состоящие из инструмента и детали. Спаем термопары является область контакта режущего клина с металлом заготовки (рис. 3.18, в). Для повышения точности показаний инструмент и заготовку изолируют от узлов станка. Для передачи термотока с вращающейся заготовки регистрирующим приборам применяют специальные токосъемники: скользящие контакты, ртутные ванночки, гибкие валики и т. п. Так как в разных точках контакта инструмента с заготовкой температура различна, естественная термопара измеряет некоторую усредненную температуру.

Кроме температуры, важным для теории и практики обработки резанием является разработка методов расчета температурного поля в зоне резания. Под температурным полем подразумевают совокупность различных значений температур во всех точках определенного участка деформированного слоя или инструмента в определенный момент времени. Температурное поле в зоне резания можно получить измерением (например, термопарой), моделированием процесса на аналоговых счетно-решающих устройствах и расчетом на основе теории теплообмена в твердых



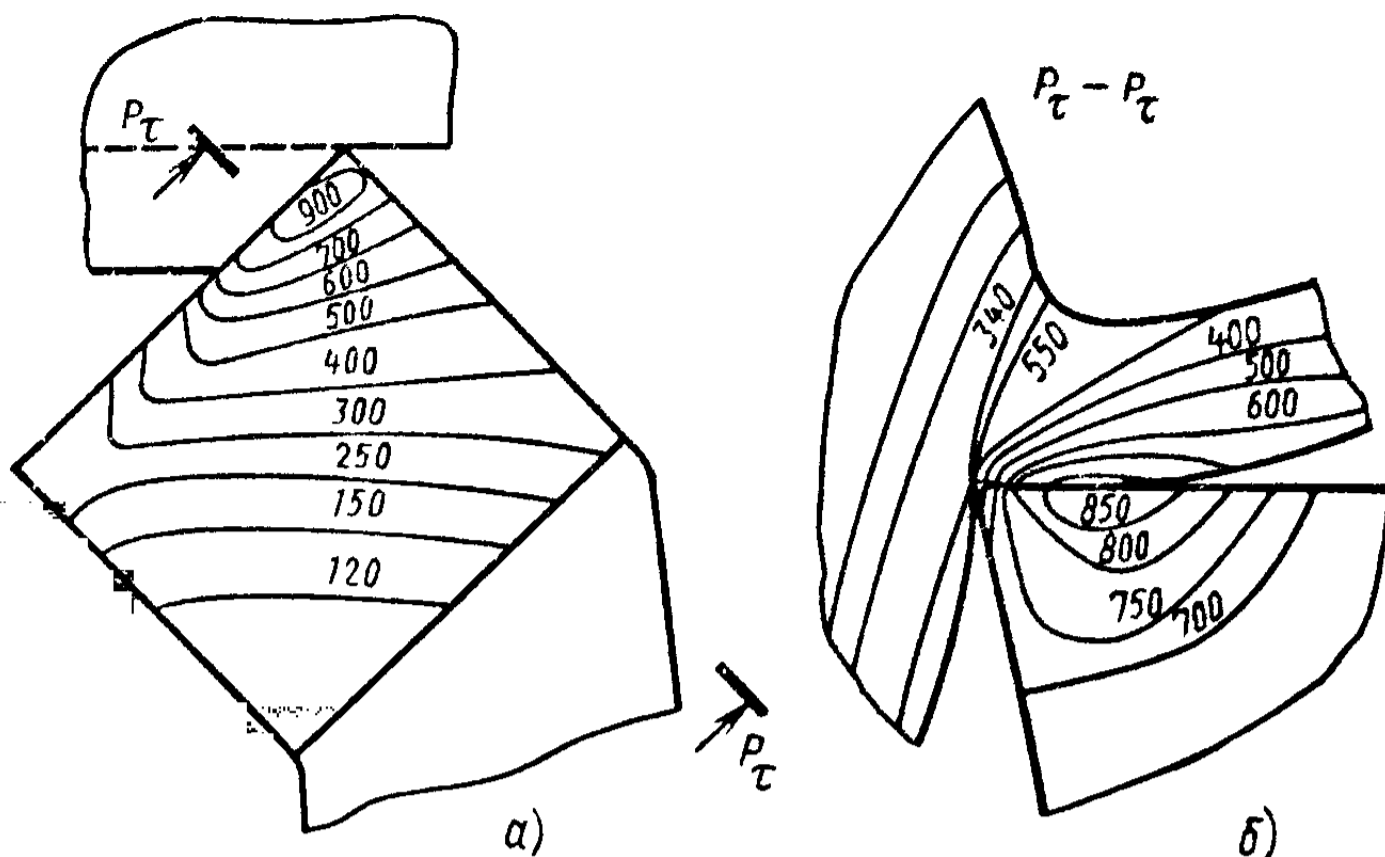


Рис. 3.19. Температурное поле резца и стружки:  
 а — на передней поверхности; б — в главной секущей плоскости

телах. На рис. 3.19 приведены изотермы температурного поля в зоне деформирования при точении без охлаждения резцом из твердого сплава Т14К8 стали ШХ15 на режиме:  $v = 80$  м/мин,  $t = 4,1$  мм;  $S = 0,5$  мм/об. Наибольшая температура у места контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

### § 3.6. ИЗНАШИВАНИЕ И СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА

Одной из основных характеристик работоспособности режущего инструмента является его способность сопротивляться изнашиванию. Изнашивание инструмента при резании происходит в результате трения стружки о переднюю поверхность лезвия инструмента и задних поверхностей лезвия о поверхности заготовки. Трение происходит при больших контактных давлениях и высоких температурах. Механизм изнашивания инструмента очень сложен. Здесь имеют место абразивный, адгезионный, диффузионный и окислительный процессы. Все эти виды изнашивания тесно связаны между собой и влияют в целом на суммарный износ инструмента. Удельный вес каждого из этих видов изнашивания зависит от свойств контактирующих материалов и условий взаимодействия (прежде всего от скорости резания).

*Абразивное изнашивание* происходит в результате царапания и истирания отдельных участков поверхностей

инструмента твердыми включениями, находящимися в обрабатываемом материале. Контактные поверхности инструмента могут царапать также частицы периодически разрушающегося нароста, твердость которого в несколько раз превосходит твердость обрабатываемого материала.

*Адгезионное изнашивание* происходит в результате действия сил молекулярного сцепления — адгезии, выражающейся в схватывании поверхностных слоев режущего инструмента с обрабатываемым материалом. Частицы материала вырываются с поверхности инструмента и уносятся со стружкой.

*Диффузионное изнашивание* происходит в результате растворения инструментального материала в обрабатываемом. Взаимному диффузионному растворению металла инструмента и заготовки способствует высокая температура, большие пластические деформации и схватывание в контакте. При этом происходит диффузия не молекул химического соединения, а отдельных элементов этого соединения, например углерода, кобальта, титана, вольфрама, входящих в состав инструментального материала. Наиболее активно диффузионному изнашиванию подвергаются твердые сплавы, работающие при высоких скоростях резания, когда температура контактных слоев более 900—950 °С.

*Окислительное изнашивание* происходит в связи с коррозией металлов в условиях активного охлаждения зоны резания и газонасыщения; происходит разрушение поверхностных слоев путем образования оксидов и растравливания зерен в сочетании с царапанием и истиранием.

При обработке резанием в условиях сухого и полусухого трения преобладающим является абразивное изнашивание инструмента. В результате изнашивания на передней поверхности лезвия образуется лунка длиной  $l_d$  и глубиной  $\delta_d$ , а на задней поверхности — площадка высотой  $h_z$ . Общий характер износа режущего инструмента на примере токарного резца показан на рис. 3.20, а. В зависимости от условий обработки и свойств материала может преобладать износ по передней или по задней поверхностям.

Износ по задним поверхностям преобладает при обработке твердых хрупких материалов и при обработке пластичных материалов с малой толщиной срезаемого слоя ( $a < 0,1$  мм) и низких скоростях резания. Износ инструмента по главной задней поверхности изменяет его

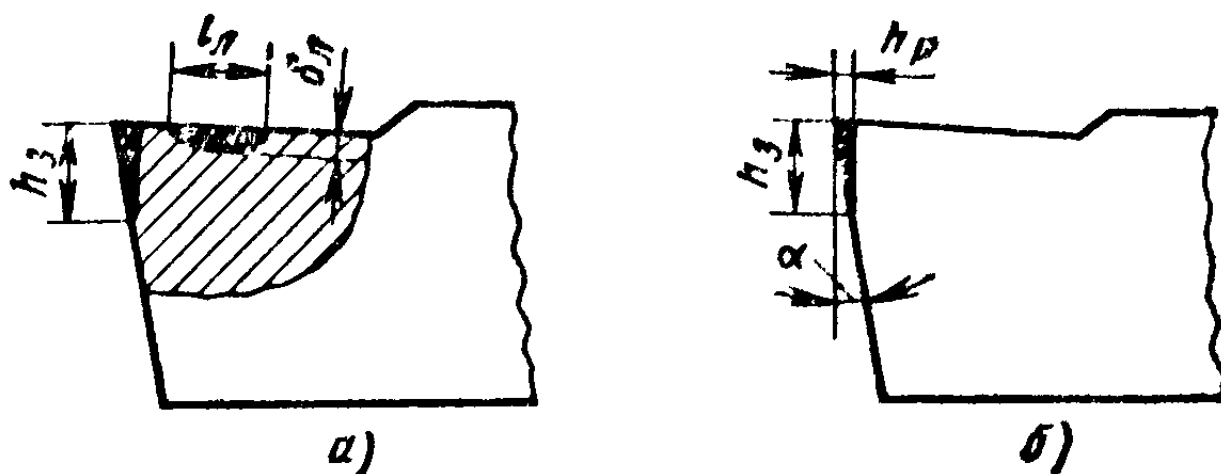


Рис. 3.20. Виды износа инструмента

линейные размеры в радиальном направлении  $h_p$ , что приводит к уменьшению глубины резания  $t$  и изменению размеров обработанной поверхности. Радиальный износ  $h_p \approx h_3 \operatorname{tg} \alpha$ , где  $\alpha$  — задний угол (рис. 3.20, б).

Износ по передней поверхности преобладает при обработке пластичных материалов с толщиной срезаемого слоя  $a > 0,5$  и высоких скоростях резания без охлаждения. По мере изнашивания реза длина лунки  $l_d$  увеличивается, ширина перемычки уменьшается, режущая кромка разрушается. Для восстановления соответствующей геометрической формы лезвия инструмент затачивают повторно.

Время резания новым или восстановленным режущим инструментом (лезвием) от начала резания до отказа называется *периодом стойкости* режущего инструмента. *Критерий отказа* режущего инструмента определяется в зависимости от требований к обработке при выполнении конкретной технологической операции. Например, на операциях предварительной обработки с невысокими требованиями к шероховатости поверхности и точности размеров за критерий отказа могут быть приняты предельно допустимые значения износа инструмента по задней поверхности лезвия, определенные по условию его рациональной эксплуатации, значения силы резания.

За *критерий затупления инструмента* (частный случай критерия отказа) принимают допустимую высоту площадки износа по задней поверхности  $h_3$ . На рис. 3.21 показана зависимость  $h_3$  от продолжительности работы инструмента. Кривую изнашивания можно разделить на три периода: I — период приработки, в который происходит истирание выступающих частиц поверхности инструмента; II — период нормального изнашивания; III — период катастрофического изнашивания.

Величину  $h_3$ , соответствующую точке В перегиба на кривой износа, называют оптимальным износом. Напри-

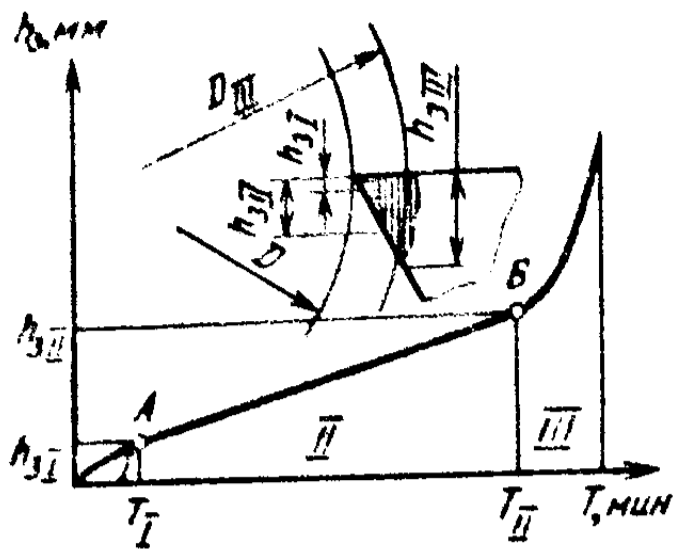


Рис. 3.21. Зависимость величины износа  $h$  резца от времени его работы

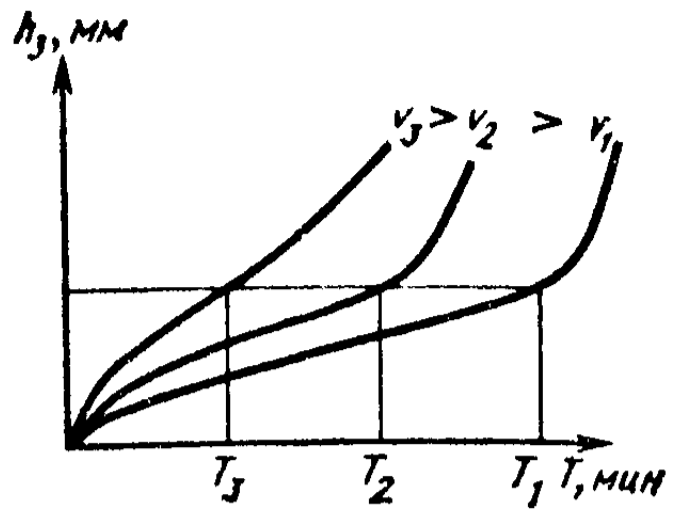


Рис. 3.22. Зависимость износа инструмента от времени его работы при различных скоростях резания

мер, при обработке обычных конструкционных сталей разрушение резцов, оснащенных твердым сплавом, происходит при  $h_з = 0,8 \dots 1$  мм; при обработке жаропрочных сплавов катастрофический износ наступает при  $h_з = 0,5 \dots 0,6$  мм.

При чистовой обработке установлен так называемый *технологический критерий затупления*. Инструмент считают изношенным, когда шероховатость обработанной поверхности и точность ее размеров перестают отвечать заданным техническим условиям.

Стойкость инструмента зависит от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрических параметров инструмента, режима резания, условий обработки. Наибольшее влияние на интенсивность изнашивания оказывает скорость резания. Чем выше скорость резания, тем быстрее начинается катастрофическое изнашивание (рис. 3.22), что вызвано возрастанием температуры в зоне резания.



Рис. 3.23. Зависимость стойкости резца от скорости резания

Чем выше скорость резания, тем меньше стойкость резцов из инструментальных сталей. Для твердосплавного инструмента эта зависимость имеет более сложный характер (рис. 3.23). Зона рационального использования твердого сплава является участком, расположенный вправо от максимальной стойкости. Поэтому за-

зависимость между  $v$  и  $T$  можно выразить также в виде ниспадающей кривой.

Установлено, что между  $v$  и  $T$  при данном критерии затупления, неизменных подаче и глубине резания существует следующая зависимость:  $v_1 T_1^m = v_2 T_2^m = \dots = C_v = \text{const}$ . В общем виде эта зависимость выражается формулой  $v = C_v / T^m$  или  $v T^m = C_v = \text{const}$ , где  $T$  — стойкость, мин, соответствующая данной скорости резания  $v$ . Коэффициент  $C_v$  и показатель относительной стойкости  $m$  зависят от физико-механических свойств инструментального и обрабатываемого материала, площади срезаемого слоя, охлаждения и др.

Величина  $m$  играет большую роль при эксплуатации режущих инструментов. Она показывает, насколько интенсивно изменяется стойкость с изменением скорости резания. При точении  $m \approx 0,1 \dots 0,4$  (определяют по справочникам).

В логарифмических координатах зависимость между скоростью резания и стойкостью изображают прямой линией, тангенс угла наклона которой равен показателю относительной стойкости  $m = \text{tg } \alpha = a/b$  (рис. 3.24). Из приведенной зависимости видно, что даже при незначительном увеличении скорости резания стойкость резцов резко снижается. Поэтому заготовки следует обрабатывать на расчетной скорости, которой соответствует определенная стойкость инструмента.

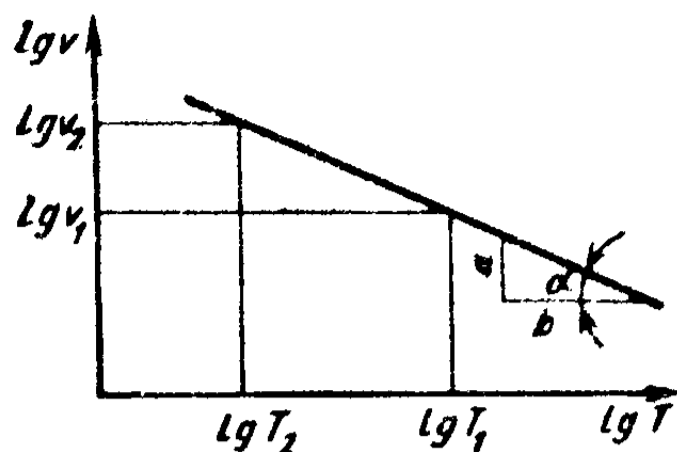


Рис. 3.24. Логарифмическая зависимость стойкости резца от скорости резания

### § 3.7. ОХЛАЖДЕНИЕ И СМАЗЫВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) при обработке резанием значительно уменьшают изнашивание режущего инструмента и силы резания, улучшают качество обработанной поверхности, повышают эксплуатационные характеристики деталей. Применение СОТС является одним из основных способов улучшения резания труднообрабатываемых материалов.

СОТС всех видов должны отвечать следующим требованиям: не вызывать коррозию материала заготовки и оборудова-

дования; не оказывать вредного физиологического влияния на рабочего (раздражение кожи и слизистых оболочек, запах); быть устойчивыми при эксплуатации и хранении; не воспламеняться при температурах, сопровождающих процесс резания.

В зависимости от технологического метода обработки, физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, режима резания применяют различные смазочно-охлаждающие средства: твердые, жидкие, пластичные и газообразные.

К твердым смазочно-охлаждающим средствам относятся: неорганические материалы со сложной структурой (тальк, слюда, графит, бура, нитрид бора, дисульфиды молибдена, вольфрама и титана, сульфат серебра и др.); твердые органические соединения (мыло, воск, твердые жиры); полимерные пленки и ткани (нейлон, полиамид, полиэтилен и др.); металлические пленочные покрытия (медь, латунь, свинец, олово, барий, цинк); лед и перешедшие при низких температурах в твердое состояние жидкости и газы.

К *смазочно-охлаждающим жидкостям* (СОЖ) относятся: водные растворы минеральных электролитов, эмульсии; минеральные, животные и растительные масла; минеральные масла с добавками фосфора, серы и хлора (сульфофрезолы); керосин и растворы поверхностно-активных веществ в керосине; масла и эмульсии с добавками твердых смазывающих веществ; расплавы металла и др. Смазочно-охлаждающие жидкости получили наибольшее применение при обработке резанием.

К *пластичным смазочным веществам* относятся густые мазеобразные продукты, занимающие по консистенции промежуточное положение между твердыми и жидкими смазочными веществами. Их получают загущением минеральных и синтетических масел. Применяют в основном четыре вида загустителей: мыльные, углеводородные, неорганические и органические.

К *газообразным смазочным веществам* относятся воздух, азот, двуокись углерода, кислород, пары поверхностно-активных веществ, распыленные жидкости.

Улучшение обрабатываемости материалов при использовании в процессе резания СОТС является результатом их физико-химических воздействий на обрабатываемый материал, основными из которых являются: смазывающее, охлаждающее, режущее, защитное и упрочняющее.

Выбор СОТС определяется физико-механическими свойствами обрабатываемого и инструментального материалов и технологического метода обработки. Для каждого конкретного случая подбирают определенное, наиболее эффективное СОТС.

При черновой и получистовой обработке, когда необходимо эффективное охлаждающее действие, применяют водные растворы электролитов и поверхностно-активных веществ, масляные эмульсии.

При чистовой обработке, когда требуется получить высокое качество обработанной поверхности, основное значение приобретают смазочные свойства СОТС. В этих случаях применяют чистые и активированные минеральные масла и сульфозрезол. При чистовой обработке с высокими скоростями резания рекомендуется применять эмульсии с 5—10 %-ным раствором эмульсола.

При черновой обработке хрупких материалов (чугунов, бронзы), когда образуется стружка надлома, а также при прерывистой обработке заготовок твердосплавным инструментом в качестве СОТС применяют газы: сжатый воздух, углекислоту. Газ охлаждает зону резания и одновременно удаляет стружку в специальные стружкосборники. Конкретные рекомендации по правильному выбору СОЖ при различных видах обработки конструкционных материалов даны в работе [3]. Эффективность действия СОЖ в значительной степени зависит от способа подвода их в зону резания. Наиболее распространенным способом подачи СОЖ является полив свободной струей (рис. 3.25, а). Этот метод подачи жидкости в зону резания малоэффективен и обладает следующими недостатками: большой расход жидкости (10—16 л/мин), разбрызгивание жидкости, слабое смазочное действие.

Более эффективным является высоконапорное охлаждение. Жидкость подают под давлением 1,5—2,0 МПа со стороны задней поверхности инструмента через отверстие диаметром 0,4—0,5 мм (рис. 3.25, б). При этом способе расход жидкости составляет примерно 0,5 л/мин. В результате высокого давления частицы жидкости интенсивнее проникают в микротрещины и зазоры, быстрее превращаются в пар и охлаждают нагретые поверхности. Однако струйное охлаждение имеет и недостатки: необходимость применения насосов; сильное разбрызгивание жидкости, требующее применения специальных защитных устройств; необходимость тщательной очистки жидкости.

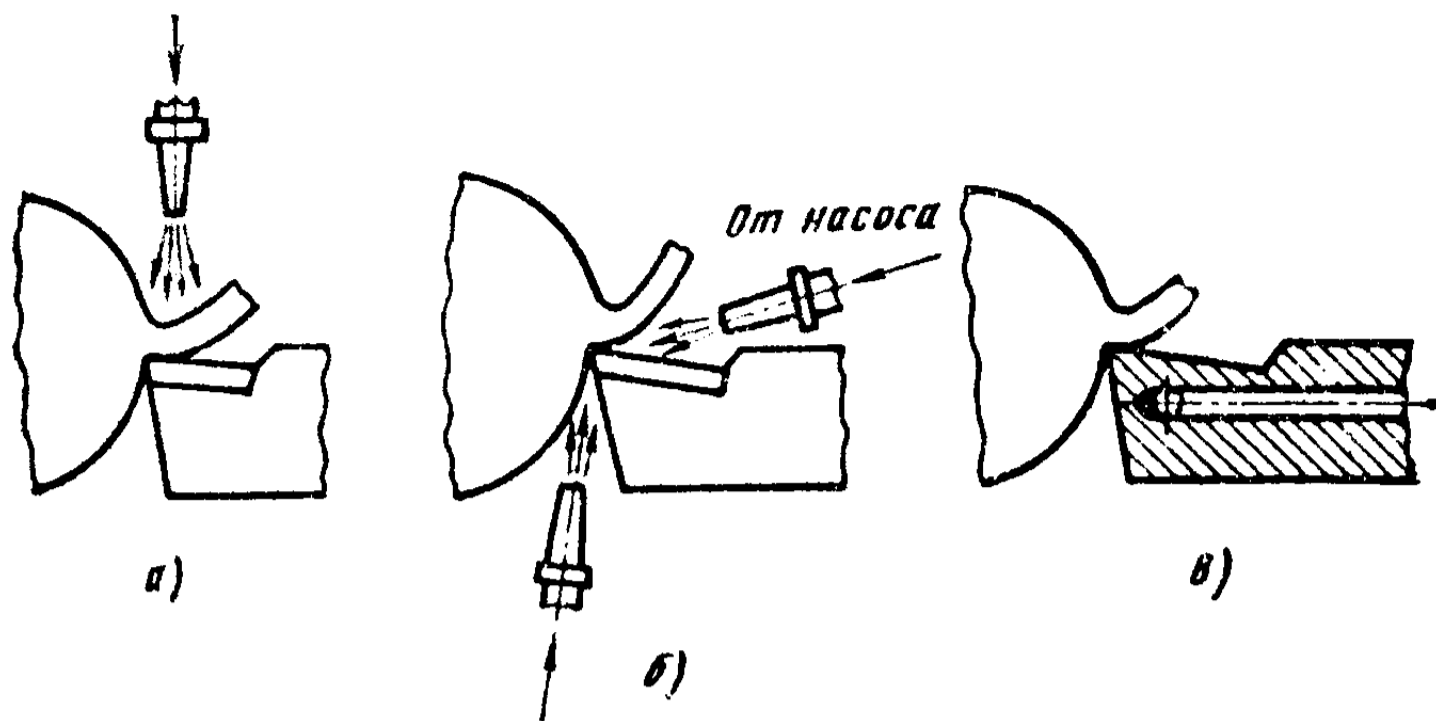
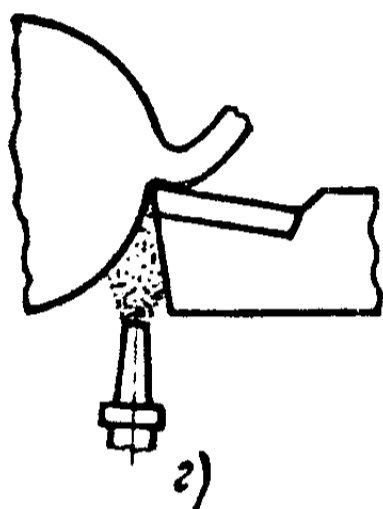


Рис. 3.25. Способы подвода СОСТ в зону резания:

а — полив свободной струей; б — струйное охлаждение; в — внутреннее охлаждение резца; г — охлаждение распыленной жидкостью



В некоторых случаях, например при глубоком сверлении, жидкость под давлением 2,0—2,5 МПа подают в зону резания по каналам, сделанным внутри инструмента, или по трубкам, вмонтированным в инструмент. В этом случае охлаждаются инструмент и зона резания и одновременно вымывается стружка.

Иногда применяют внутреннее охлаждение инструментов (при сверлении или точении хрупких материалов). Для этого в инструменте делают каналы, по которым прокачиваются сильно охлаждающие жидкости (рис. 3.25, в).

Охлаждение распыленной жидкостью производят с помощью инжекторной установки. Распыленная эмульсия подается в зону резания со стороны задней поверхности инструмента (рис. 3.25, г). При выходе из сопла воздушно-жидкостная смесь расширяется, вследствие чего происходит понижение ее температуры на 10—12 °С. При попадании на нагретые поверхности заготовки и инструмента частицы жидкости мгновенно испаряются и отводят большое количество теплоты. При небольшом расходе жидкости (200—400 г/ч) полно и эффективно используются ее смазывающие и охлаждающие свойства. Стойкость инструмента при охлаждении распыленной жидкостью по сравнению со стойкостью при охлаждении свободной струей значи-



тельно увеличивается. Этот метод требует тщательного соблюдения правил техники безопасности. Для защиты работающего от воздействия тумана на станках устанавливают специальные отсасывающие установки.

### § 3.8. ВИБРАЦИИ ПРИ РЕЗАНИИ

В процессе резания в системе станок — приспособление — инструмент — заготовка при определенных условиях возникают вибрации — периодические колебательные движения. Вибрации оказывают вредное действие на процесс резания: возникает утомляющий работающих шум; ухудшается качество обработанной поверхности; значительно снижается стойкость инструмента, особенно твердосплавного и керамического; знакопеременные и динамические нагрузки снижают долговечность станка.

Вибрации при резании бывают двух видов: *вынужденные*, когда причиной колебаний является внешняя, периодически действующая возмущающая сила, и *автоколебания*, совершающиеся без действия внешней, периодически возмущающей силы.

Причинами вынужденных колебаний системы станок — приспособление — инструмент — заготовка являются: неуравновешенность вращающихся частей станка, приспособлений, заготовки и инструмента; дефекты передач станков; колебания близко расположенного оборудования; условия резания (например, неравномерный припуск, прерывистый характер резания и т. д.). Для борьбы с вынужденными колебаниями необходимо устранить действие периодической возмущающей силы. Это достигается балансировкой инструмента и заготовок, виброизоляцией фундаментов станков, применением виброопор и др.

Наибольшие затруднения при резании вызывают самовозбуждающиеся колебания — автоколебания. Отличительной особенностью колебаний этого вида является отсутствие внешней периодической силы, возмущающей колебательный процесс. Частота колебаний при этом, как правило, не зависит от режимов резания, геометрических параметров инструмента и равна одной из собственных частот системы.

Колебательная система станка имеет бесконечное число степеней свободы. Обычно в станке рассматривают две основные колебательные системы: систему заготовки (шпиндель, заготовка, пиноль и др.) и систему инструмента

(инструмент, резцедержатель, суппорт и др.). Эти системы имеют различные частоты собственных колебаний, поэтому автоколебания при резании делят на два вида: низкочастотные (50—300 Гц) колебания заготовки, вызывающие звук низкого тона и создающие грубую волнистость обработанной поверхности, и высокочастотные (800—3000 Гц) колебания инструмента, вызывающие звук высокого тона и создающие мелкую рябь на обработанной поверхности.

Основными причинами автоколебаний являются: образование нароста на передней поверхности инструмента и периодический его срыв, приводящие к изменению силы резания; неравномерное упрочнение срезаемого слоя по его толщине; вибрационные следы предыдущих рабочих ходов; изменение сил трения на рабочих поверхностях инструмента; изменение площади поперечного сечения срезаемого слоя и т. д.

Основные способы повышения устойчивости процесса резания, устраняющие или уменьшающие вибрации, следующие: правильный выбор параметров системы станок—приспособление—инструмент—заготовка (жесткости, сопротивления и массы); рациональная схема обработки, обеспечивающая максимальное использование динамических свойств системы; правильный выбор геометрических элементов режущей части инструмента и режимов резания, сводящих к минимуму действия возмущающих сил; улучшение динамических свойств технологической системы за счет применения специальных конструкций виброгасителей.

Виброустойчивость системы станок—приспособление—инструмент—заготовка в значительной степени определяется рассеянием энергии в местах контакта сопрягаемых деталей, в масляных слоях, а также в материале деталей (внутреннее трение). Уменьшить колебания можно путем применения демпфирующих прокладок, манжет, материалов с большим декрементом затухания (с высоким коэффициентом внутреннего трения).

Жесткость системы может быть повышена применением коротких и жестких инструментов, жестких приспособлений для крепления заготовки и инструмента, люнетов, уменьшением зазоров суппорта и др.

Уменьшение массы колебательных систем станка увеличивает собственную частоту колебаний и снижает интенсивность вибраций. Этого можно достигнуть применением легких патронов, уменьшением вылета инструмента.

Использование наиболее рациональных схем обработки обеспечивает максимальное использование динамических свойств системы станок—приспособление — инструмент — заготовка. Так, например, вертикально-фрезерная обработка обеспечивает более спокойное резание, чем горизонтально-фрезерная; при работе перевернутым резцом на токарном станке обеспечивается одностороннее удаление неизбежных зазоров в результате совпадения направления действия силы резания и силы тяжести заготовки.

Наиболее простым способом уменьшения интенсивности вибраций является правильный выбор геометрических параметров инструмента (углов  $\varphi$ ,  $\varphi'$ ,  $\gamma$ ,  $\alpha$  и радиуса вершины  $r_B$ ) и режимов резания. С увеличением скорости резания вибрации сначала возрастают, а затем уменьшаются. Существует «критическая зона» скоростей резания, в пределах которой автоколебания усиливаются (рис. 3.26). Ширина этой зоны зависит от жесткости системы и площади сечения срезаемого слоя, геометрических параметров инструмента и свойств обрабатываемого материала. С увеличением подачи автоколебания умень-

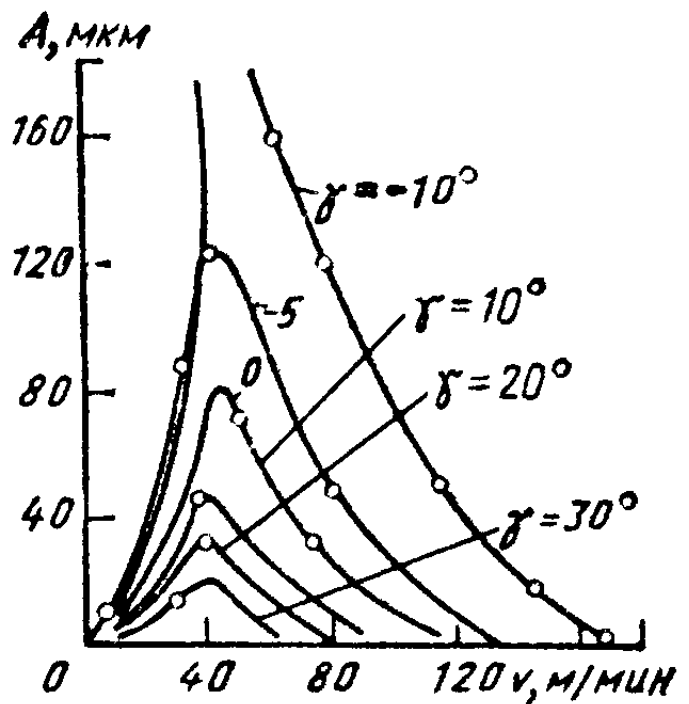


Рис. 3.26. Зависимость амплитуды колебаний от скорости резания  $v$  и переднего угла  $\gamma$

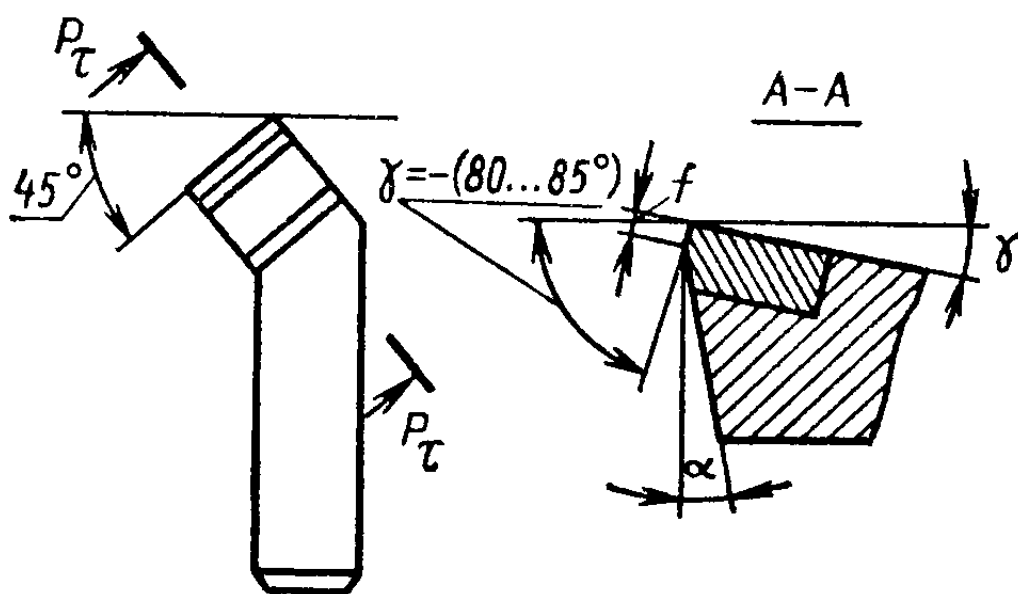


Рис. 3.27. Резец с виброгасящей фаской  $f$

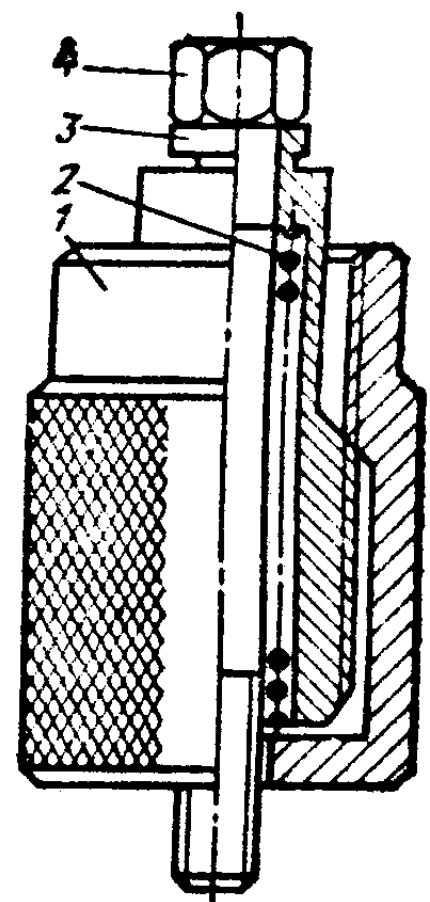


Рис. 3.28. Динамический виброгаситель конструкции Д. И. Рыжкова

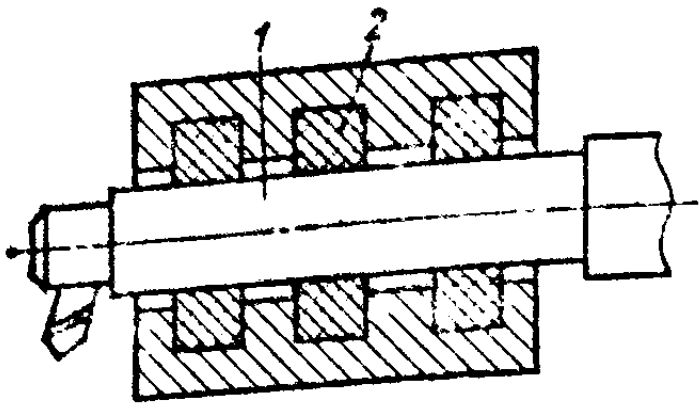


Рис. 3.29. Виброгаситель для расточных борштанг

увеличение которого снижает колебания. Поэтому выбирать геометрические параметры инструмента нужно в зависимости не только от физико-механических свойств обрабатываемого материала, но и от жесткости системы станок—приспособление—инструмент—заготовка.

Для гашения низкочастотных вибраций при черновом и получистовом точении используют виброгасящую фаску Д. И. Рыжкова (рис. 3.27). Действие этой фаски подобно работе изношенным резцом приводит к значительному повышению внешнего трения и снижению интенсивности вибраций.

Повысить виброустойчивость резания можно применением виброгасителей специальных конструкций: фрикционных, гидравлических, динамических, ударных и др.

На рис. 3.28 показан виброгаситель конструкции Д. И. Рыжкова, работающий по принципу динамического поглотителя колебаний. Его используют для гашения вибраций резца. Болт 4 виброгасителя ввинчивают в стержень резца. При соударении втулки 3 и корпуса 1, между которыми установлена пружина 2, возникают вибрации, противоположные по фазе колебаниям резца. На рис. 3.29 показан виброгаситель для расточных борштанг 1 с прокладками 2 из микропористой резины.

При резании труднообрабатываемых материалов средством для гашения вибраций может служить наложение на инструмент звуковых и ультразвуковых искусственных колебаний (вибраций) инструмента в направлении движения подачи (осевых колебаний) или в направлении скорости резания (тангенциальных колебаний).

### § 3.9. КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Надежность работы деталей и узлов машин в значительной степени зависит от качества обработанных поверхностей. Качество поверхности определяет ее корро-

зношную стойкость, износостойкость, усталостную прочность и ряд других показателей. В понятие качества поверхности входит целый ряд характеристик, определяющих, с одной стороны, геометрические параметры реальной поверхности, а с другой — ее физико-механические свойства.

Физико-механические свойства поверхностного слоя характеризуются глубиной и степенью упрочнения (наклепа), а также значениями остаточных напряжений, глубиной их проникновения и знаком (см. § 3.3).

Геометрические параметры обработанной поверхности характеризуются следующими отклонениями от геометрической формы: макрогеометрией (бочкообразность, конусность, овальность, неплоскостность и т. д.) и микрогеометрией (шероховатость и волнистость).

Критерием для условного разграничения шероховатости и других отклонений формы поверхности служит отношение шага  $S$  к высоте неровности  $Rz$ ; при  $S/Rz < 50$  — шероховатость поверхности; при  $S/Rz = 50 \dots 1000$  — волнистость поверхности; при  $S/Rz > 1000$  — макрогеометрические отклонения.

Погрешности геометрической формы должны укладываться в допуск на размер в соответствии с заданной точностью изготовления детали.

Под *точностью обработки* понимают степень соответствия формы, размеров и положения обработанной поверхности требованиям чертежа и технических условий. Точность размеров обработанной детали определяется допусками, т. е. разностью между наибольшим и наименьшим предельными размерами. Допуск, величина которого зависит от номинального размера, обозначается одной или двумя арабскими цифрами (кавалитет). ЕСДП СЭВ для всех диапазонов размеров устанавливает 19 квалитетов, которые имеют номера 01, 0,1, 2...16, 17. Ориентировочная применяемость квалитетов: квалитеты 01—7 — допуски средств измерения; квалитеты 4—12 — допуски размеров в посадках; квалитеты 12—17 — допуски неотчетливых размеров (несопрягаемых или в грубых соединениях).

Предельные отклонения формы и размеров на рабочих чертежах деталей указывают условными обозначениями в соответствии с ГОСТом или оговаривают в технических требованиях на изготовление детали. Числовые значения допусков, соответствующих указанным выше квалитетам, установлены ГОСТ 25346—82.

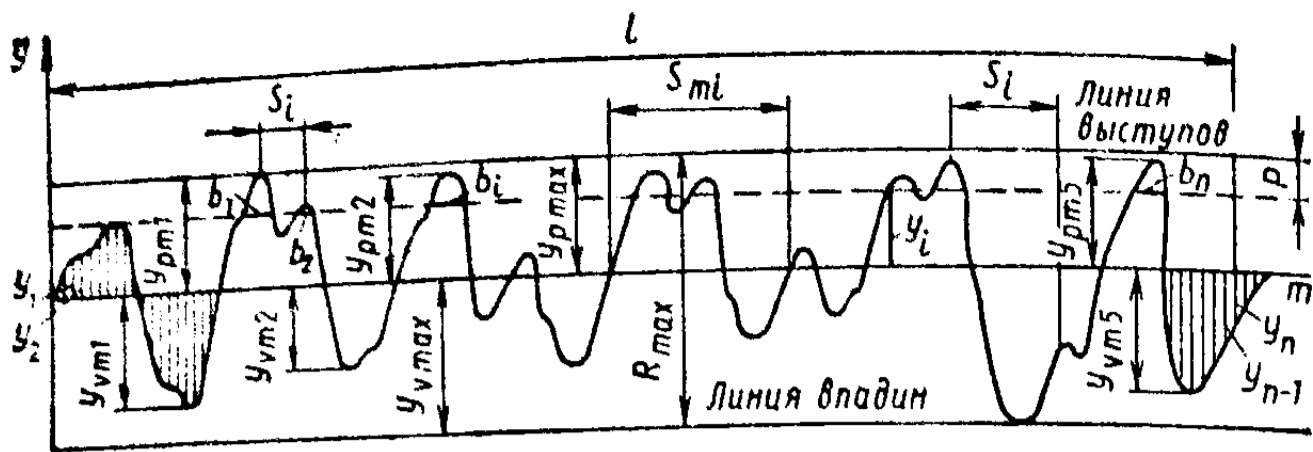


Рис. 3.30. Профиль шероховатости, его характеристики и параметры

Одной из основных геометрических характеристик качества поверхности деталей, является ее шероховатость. Шероховатость поверхности — это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами  $S$  на базовой длине  $l$ . Шероховатость поверхности, направленную перпендикулярно к движению резания, называют поперечной, а в направлении, параллельном ему, — продольной. Наибольшее практическое применение имеет поперечная шероховатость. Базой для отсчета отклонений профиля является средняя линия профиля  $m$  (рис. 3.30).

Для количественной оценки шероховатости ГОСТ 2789—73 устанавливает шесть параметров.

1. Среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$  — это среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \text{ или } Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $l$  — базовая длина;  $n$  — число измеренных точек профиля на базовой длине.

2. Высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$  — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |y_{pm_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vm_i}| \right),$$

где  $y_{pm_i}$  — высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $y_{vm_i}$  — глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

3. Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$  — расстояние между линией выступов и линией впадины профиля в пределах базовой длины.

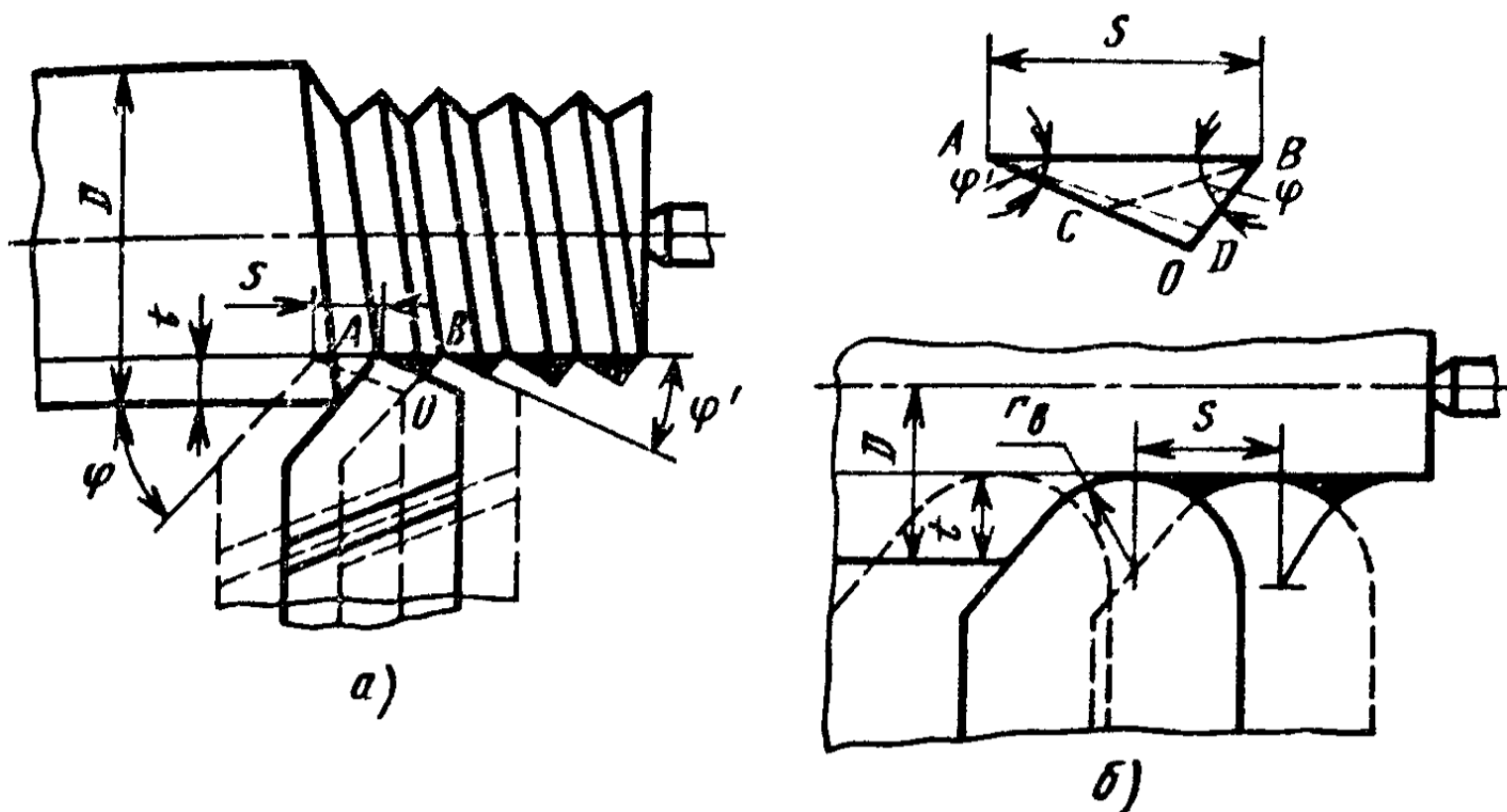


Рис. 3.31. Профили обработанной поверхности при точении резцом:  
 а —  $r_B = 0$ ; б —  $r_B \neq 0$

4. Средний шаг неровностей профиля  $S_m$  — среднее значение шага неровностей профиля по средней линии  $m$  в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i}.$$

5. Средний шаг местных выступов профиля  $S$  — среднее значение шагов местных выступов профиля (по вершинам), находящихся в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i.$$

6. Относительная опорная длина профиля  $t_p$  — отношение опорной длины профиля  $\eta_p$  к базовой длине  $l$ :

$$t_p = \eta_p / l,$$

где  $\eta$  — опорная длина профиля, равная сумме длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины;

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i.$$

Причиной образования шероховатостей на обработанной поверхности является сложное относительное движение инструмента и заготовки, а также наличие углов в

### 3.1. Точность и качество поверхности при обработке цилиндрических поверхностей

Метод обработки	Параметр шероховатости $R_a$	Глубина дефектного слоя	Квалитет	
	мм			
Обтачивание:	черновое	50—6,3	120—60	14—12
	получистовое	25—1,6	50—20	13—11
	чистовое	6,3—0,4	30—20	10—8
	тонкое	1,6—0,2	10—5	9—6
	Сверление и рассверливание	25—0,8	70—15	13—9
Развертывание:	нормальное	12,5—0,8	25—15	11—10
	точное	6,3—0,4	15—5	9—7
	тонкое	3,2—0,1	10—5	6—5
Шлифование:	предварительное	6,3—0,4	25—10	9—8
	чистое	3,2—0,2	20—5	7—6
	тонкое	1,6—0,1	10—5	5
Притирка, хонингование	1,6—0,1	5—3	5—4	

плане у режущего инструмента. Поэтому при резании на обработанной поверхности всегда остаются гребешки, высота которых зависит от подачи  $S$ , главного и вспомогательного углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi'$ , радиуса кривизны вершины лезвия. Профили обработанной поверхности, представляющие собой след режущих кромок инструмента, показаны на рис. 3.31. При уменьшении подачи  $S$ , угла  $\varphi$  (направление  $BC$ ), угла  $\varphi'$  (направление  $AD$ ), с увеличением радиуса  $r_b$  высота гребешков уменьшается. В действительности профиль обработанной поверхности значительно отличается от теоретического, так как наряду с геометрическими параметрами на шероховатость существенное влияние оказывают технологические факторы: скорость резания, свойства обрабатываемого материала, передний угол  $\gamma$ , наростообразование, упругие деформации поверхности, шероховатость режущей кромки инструмента, износ инструмента, СОЖ и др.

Требования к шероховатости поверхности и точности обработки следует устанавливать исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Технологическое обеспечение заданных параметров шероховатости базируется в основном на экспериментальном изучении зависимостей между параметрами  $R_a$  или  $R_z$  и методом окончательной обработки.



В табл. 3.1 приведены параметры точности и качества поверхностей при различных видах обработки цилиндрических поверхностей.

### § 3.10. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ВЫБОР РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

Производительность механической обработки обратно пропорциональна штучному времени:  $P = T_{см} / t_{шт}$ , где  $T_{см}$  — продолжительность смены;  $t_{шт}$  — время, затрачиваемое на выполнение технологической операции. В формуле для определения штучного времени (см. § 1.2) доля основного  $t_o$  и вспомогательного  $t_v$  времени является наибольшей. Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем. Время обслуживания рабочего места  $t_{об}$  и время на личные потребности  $t_{л}$  составляет 4—9 % оперативного времени. Основное время составляет 30—75 % штучного времени. Следовательно, для увеличения производительности обработки и уменьшения  $t_{шт}$  необходимо уменьшать главным образом  $t_o$  и  $t_v$ .

Вспомогательное время уменьшают путем механизации трудоемких работ и автоматизации отдельных операций и всего цикла обработки деталей.

Основное время  $t_o$  можно сократить путем уменьшения припуска на обработку, уменьшения числа рабочих ходов (за счет одновременного применения нескольких резцов) и увеличения элементов режима резания ( $v$ ,  $S$ ,  $t$ ). При увеличении  $S$  и  $t$  производительность возрастает, но резко снижается качество поверхности. Поэтому обработку следует вести на таких режимах резания, которые обеспечивают необходимые точность и качество поверхности при удовлетворительной производительности.

Качество изготовления деталей машин зависит от правильного выбора геометрических параметров инструмента, качества его заточки, технологически и экономически обоснованного режима резания.

Элементы режима резания назначают в следующем порядке: определяют глубину резания, назначают подачу и скорость резания.

Глубина резания связана с припуском на обработку. Припуск — слой металла, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности. Припуск целесообразно удалять за

один рабочий ход инструмента. За несколько рабочих ходов припуск удаляют в следующих случаях: при повышенных требованиях к точности размеров и качеству обработанной поверхности; при недостаточной мощности станка.

При чистовой обработке на окончательных операциях припуск составляет не более 0,5 мм. При получистовой обработке припуск изменяется от 0,5 до 1,5 мм. При черновой обработке припуск может быть более 5 мм, однако при припуске более 7 мм удалять его за один рабочий ход, исходя из технологии обработки, нерационально.

Подача ограничивается шероховатостью обрабатываемой поверхности, прочностью механизма подачи, жесткостью заготовки и прочностью инструмента.

Для повышения производительности труда целесообразно назначать максимально допустимую подачу, но при черновой обработке она обязательно проверяется по прочности деталей механизма подачи станка, а иногда по прочности и жесткости заготовки.

При чистовой обработке подача определяется в зависимости от заданной точности и шероховатости обработанной поверхности. Ее рассчитывают по формулам:

$$\text{при точении } S_o = C_s R_z^y r_B^u / t^x \varphi^z \varphi'^2;$$

$$\text{при обработке осевым инструментом } S_o = C_s D^q;$$

$$\text{при фрезеровании } S_z = C_s H_{\text{СК}}^{x_s} D^{z_s} / t,$$

где  $C_s$  — коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала;  $R_z$  — параметр шероховатости обработанной поверхности, мкм;  $H_{\text{СК}}$  — среднеквадратичная высота микронеровностей, мкм;  $x, y, z, q, u, x_s, z_s, y_s$  — показатели степеней;  $r_B$  — радиус кривизны вершины лезвия.

Расчетное  $S_{\text{расч}}$  или выбранное  $S^*$  значение подачи корректируют по кинематическим данным станка согласно условию  $S^* \leq S_{\text{расч}}$ .

Скорость резания определяют исходя из выбранных глубины, подачи и стойкости режущего инструмента по эмпирическим формулам:

$$\text{при точении } v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v} (HB/200)^{n_v}} K_{v_i}$$

$$\text{при обработке осевым инструментом } v = C_v D^q HB^{\pm n_v} \times K_{v_i} / (T^m t^{x_v} S^{y_v});$$

при фрезеровании  $v = C_v D^q \omega^p K_v / (T^m S_z^{l_v} B^{z_v} z^{n_v})$ ;

где  $C_v$  — коэффициент, учитывающий характер и условия обработки; НВ — твердость обрабатываемого материала;  $z$  — число зубьев фрезы;  $\omega$  — угол наклона винтовой канавки фрезы;  $B$  — ширина обрабатываемой поверхности;  $K_v$  — поправочный коэффициент на условия обработки;  $m$  — показатель относительной стойкости;  $x_v, y_v, n_v, q, p, z_v$  — показатели степеней. Знак «+» — для показателя  $n_v$  при обработке малоуглеродистых сталей; знак «—» — для обработки сталей твердостью более 150 НВ и других материалов.

По рассчитанной скорости находят частоту вращения ( $\text{мин}^{-1}$ ) заготовки или инструмента  $n = 1000 v / (\pi D)$ .

Значение частоты вращения корректируют по паспорту станка согласно условию  $n^* \leq n$ .

По выбранной на станке частоте вращения рассчитывают фактическую скорость резания (м/мин)  $v^* = \pi D n / 1000$ .

Проверку правильности выбора подачи, глубины и скорости резания производят, исходя из мощности станка. Эффективную мощность, затрачиваемую на резание, рассчитывают по формулам:

при точении и фрезеровании  $N_e = P_z v / (60 \cdot 102)$ ;

при обработке осевым инструментом  $N_e = M_{кр} n / 9750$ , где  $M_{кр}$  — крутящий момент при обработке осевым инструментом.

Полученная мощность не должна превышать мощности электродвигателя станка.

При назначении элементов режима резания используют таблицы справочников по режимам резания различных материалов [13, 14].

Рассмотренный выше порядок назначения элементов режима резания дан применительно к одноинструментной обработке. При многоинструментной обработке элементы режима резания определяют по специальной методике (приводят к единому периоду стойкости для всех инструментов, участвующих в работе).

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите основные виды стружек.
2. Какие силы действуют на лезвие инструмента со стороны обрабатываемого материала?
3. Что называют наклепом обработанной поверхности?

4. Какое влияние оказывает парост на процесс резания и качество обработанной поверхности?
5. Перечислите источники теплоты при резании.
6. Какое влияние оказывает теплообразование на процесс резания?
7. Какие процессы изнашивания инструмента имеют место при резании?
8. Какие факторы влияют на стойкость инструмента?
9. Каково назначение СОТС?
10. Назовите пути уменьшения вибраций при резании.
11. Какие характеристики входят в понятие качество обработанной поверхности?
12. Какие факторы определяют выбор величины элементов режима резания?

## РАЗДЕЛ 2

# МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

---

### ГЛАВА 4. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТАНКОВ

#### § 4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЕ СТАНКОВ

Металлорежущими станками называют технологические машины, предназначенные для обработки материалов резанием. Они должны обеспечивать заданные производительность, точность и качество обработанных поверхностей. В экономически оправданных случаях металлорежущие станки используют для реализации технологических методов, отличных от обработки резанием (например, поверхностное пластическое деформирование).

Серийно выпускаемые в СССР станки классифицируют и обозначают по системе, предложенной ЭНИМСом. Согласно этой системе все станки делятся на технологические группы в зависимости от характера выполняемых работ.

Первая группа объединяет токарные станки, для которых общим технологическим методом является точение.

Вторая группа состоит из сверлильных и расточных станков, т. е. станков, предназначенных для обработки отверстий.

Третья группа включает шлифовальные, полировальные, доводочные и заточные станки, на которых выполняется абразивная обработка.

В четвертую группу входят комбинированные станки и станки, в которых для удаления материала с заготовки используется электрический ток либо явления, связанные с ним (например, электроэрозионные, анодно-механические, ультразвуковые и т. п.).

Пятая группа включает зубо- и резьбообрабатывающие станки, т. е. станки, на которых осуществляется обработка эвольвентных и винтовых поверхностей.

В шестую группу входят фрезерные станки, предназначенные для обработки плоскостей, уступов, пазов и фасонных поверхностей.

Седьмая группа включает строгальные, долбежные и протяжные станки.

Восьмая группа состоит из разрезных станков, предназначенных для резки заготовок различными инструментами.

Девятая группа объединяет станки различного назначения, не вошедшие в предыдущие группы.

Станки каждой группы в зависимости от общих технологических признаков и конструктивных особенностей делят на девять типов. Так, например, отрезные делят на станки, работающие резцом, шлифовальным кругом, диском, правильно-отрезные, и пилы (ленточные, дисковые и ножовочные).

Станки каждого типа наиболее распространенных групп подразделяют на типоразмеры. Совокупность типоразмеров образует размерный ряд. За каждым типоразмером закреплен определенный диапазон изготавливаемых деталей. Этот диапазон характеризуется основным размером рабочего пространства станка. Так, для токарных станков — это максимальный диаметр обрабатываемой поверхности, для фрезерных — размеры стола, для сверлильных — наибольший условный диаметр просверливаемого отверстия.

От размера обрабатываемых заготовок и типа станка зависит его масса. По массе станки разделяют на легкие (массой до 1 т), средние (массой 1—10 т), тяжелые (массой более 10 т) и уникальные (массой свыше 100 т).

В зависимости от типа производства (единичное, серийное, массовое), где предполагается использовать станки, их проектируют и изготавливают универсальными, специализированными или специальными.

Универсальные станки предназначены для изготовления широкой номенклатуры деталей малыми партиями, их используют в единичном и серийном производствах. Эти станки весьма сложны по конструкции, требуют высококвалифицированного обслуживания.

Специализированные станки используют для изготовления больших партий деталей одного типа (зубчатые колеса, коленчатые валы, кольца подшипников и т. п.) в средне-серийном и крупносерийном производстве. Они требуют редкой переналадки, в большинстве случаев имеют высокий уровень автоматизации.

Специальные станки применяют для обработки одной или нескольких мало различающихся заготовок в условиях крупносерийного и массового производства. Эти станки обеспечивают наивысшую производительность, просты

в наладке, имеют весьма высокий уровень автоматизации, их конструкция очень проста.

Для обработки заготовок с различной точностью выпускаются станки пяти классов точности — нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В), особо высокой (А) и особо точные станки (С). Станки классов точности В, А, С обеспечивают требуемую точность изготовления только при эксплуатации их в термоконстантных цехах, т. е. таких, в которых поддерживаются постоянные температура и влажность.

Модели всех серийно выпускаемых в СССР станков обозначают по единой общесоюзной системе, связанной с классификацией ЭНИМСа. Согласно этой системе первая цифра в обозначении станка указывает группу, вторая — тип, следующая за первой или второй цифрами буква означает уровень модернизации (улучшения), далее следуют цифры, характеризующие основные размеры рабочего пространства станка. Буквы, стоящие после этих цифр, указывают на модификацию (видоизменение) базовой модели или на особые технологические возможности (например, повышенная точность). Так, для станка 16К20П цифра 1 означает токарную группу, 6 — токарно-винторезный тип, К указывает на очередную (соответствующую месту буквы в алфавите) модернизацию базовой модели, 20 — высота центров (200 мм), П — повышенная точность.

Для станков с программным управлением (ПУ) в обозначение добавляют букву Ф с цифрой: Ф1 — станки с предварительным набором координат и цифровой индикацией; Ф2 — с позиционной системой числового программного управления (ЧПУ); Ф3 — с контурной системой ЧПУ (например, 16К20ПФ3); Ф4 — с универсальной системой ЧПУ. В обозначение станков с цикловыми системами ПУ вводится буква Ц, а с оперативными системами ПУ — буква Т.

Обозначения для специальных и специализированных станков устанавливают заводы-изготовители, используя буквенные индексы, закрепленные за каждым заводом.

#### § 4.2. ДВИЖЕНИЯ В СТАНКАХ

Любая поверхность детали, обрабатываемая на станке, может быть геометрически представлена как результат согласованного движения двух производящих

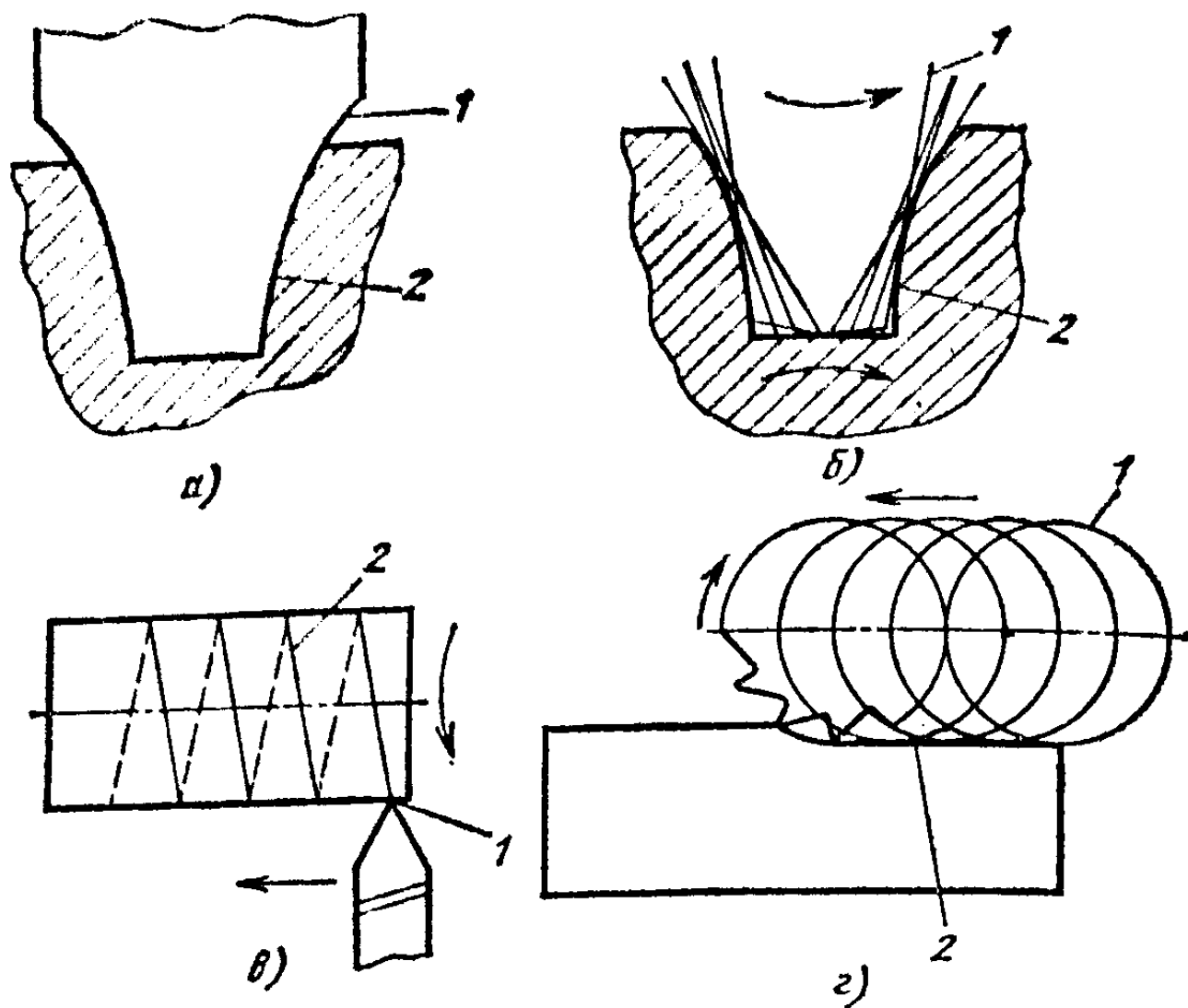


Рис. 4.1. Методы формообразования:

а — копирование; б — обкатка; в — метод следа; з — метод касания

линий: образующей и направляющей. При обработке на станке эти линии и их взаимное перемещение обеспечиваются относительным движением заготовки и инструмента. В отдельных случаях роль образующей выполняет профиль режущей кромки инструмента. Результатом согласованного перемещения образующей и направляющей является форма поверхности детали. Согласованные движения, обеспечивающие получение образующей и направляющей и их взаимное перемещение, называют формообразующими. Формообразующие движения могут быть простыми и сложными. К простым движениям формообразования относятся вращательное и прямолинейное. Сложные движения формообразования получаются в результате сложения двух или более простых движений.

В зависимости от профиля режущей кромки и вида инструмента производящая линия может быть получена одним из четырех методов: копирования, обката, следа и касания (рис. 4.1).

При обработке методом копирования производящая линия 2 получается как копия профиля режущей кромки 1 инструмента. Метод копирования целесообразно использо-



вать в том случае, когда профиль режущей кромки близок к форме производящей линии.

При обработке методом обката производящая 2 получается как огибающая нескольких последовательных положений режущей кромки 1 при ее обкатывании по получаемой производящей линии. Применение этого метода оправдано, если режущая кромка инструмента и производящая линия соизмеримы по протяженности, но различаются по профилю (форме). Если протяженность режущей кромки намного (на порядок и более) меньше протяженности производящей линии, наиболее целесообразно использовать для получения производящей метод следа или метод касания. Для упрощения режущую кромку можно условно рассматривать как режущую точку.

При обработке методом следа производящая линия 2 получается в результате движения режущей точки вдоль заданной траектории. Таким образом, производящая является следом от движения режущей точки 1 (режущей кромки инструмента).

При обработке методом касания производящая 2 образуется как огибающая совокупности траекторий движений режущей точки. Эти траектории обычно имеют форму прямой линии или окружности 1.

Образование поверхности при обработке резанием происходит в результате согласованных движений инструмента и заготовки. При этом непрерывно получают образующие и направляющие, каждая из которых образуется одним из четырех рассмотренных методов.

При сопоставлении методов получения производящих линий видно, что число движений формообразования, необходимых для их проведения, различно. Так, если для метода обката и следа достаточно одного формообразующего движения (простого или сложного), то для метода касания таких движений должно быть два или более. Таким образом, каждый из методов требует определенного числа формообразующих движений. Общее число движений, необходимых для формообразования обрабатываемой поверхности, равно их сумме. Но очень часто одно и то же движение участвует в получении как направляющей, так и образующей, и тогда общее число движений формообразования получается вычитанием из их суммы числа совмещенных движений.

В большинстве случаев число формообразующих движений на металлорежущих станках не превышает трех.

Все формообразующие движения на металлорежущих станках принято называть движениями резания. То из них, которое совершается с наибольшей скоростью, называют главным движением резания ( $D_r$ ). Все остальные, выполняемые с меньшей скоростью, называют движениями подачи ( $D_s$ ). Движения резания являются составной частью совокупности исполнительных движений, осуществляемых на станке. Все исполнительные движения станка можно разделить по назначению: формообразующие; установочные, обеспечивающие получение поверхностей требуемого размера (например, врезание); делительные, обеспечивающие равномерное расположение на детали поверхностей одинакового профиля; вспомогательные, обеспечивающие установку, зажим, транспортирование и правку инструмента; движения управления, совершаемые органами управления, регулирования и координирования.

Установочные и делительные движения могут быть частично или полностью совмещены с движениями формообразования.

#### § 4.3. КИНЕМАТИКА СТАНКОВ, ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

Каждому исполнительному движению в станке соответствует своя кинематическая цепь, т. е. ряд элементов, по которым передается движение от источника к исполнительному органу (шпинделю, суппорту, столу, ползуну и т. п.). Осуществляемая кинематическими цепями связь накладывает на элементы и исполнительные органы ограничения, не позволяющие им занимать произвольные относительно друг друга положения и иметь произвольные скорости. Кинематическая связь может осуществляться как механическими, так и немеханическими передачами (например, электрическая цепь в станках с ЧПУ).

Для изменения параметров движения (скорости, направления, траектории) исполнительных органов в кинематические цепи вводят органы настройки в виде коробок скоростей (подач), гитар сменных колес и электронных управляющих блоков.

Взаимосвязанную совокупность условно изображенных исполнительных органов, элементов кинематических цепей и источников движения называют кинематической схемой станка.

#### 4.1. Условные графические обозначения кинематических схем

Наименование	Условное изображение	Наименование	Условное изображение
Вал, стержень, шатуны		Передача:	
Соединение соосных валов:		с плоским ремнем	
глухое		с клиновым ремнем	
шарнирное		с зубчатым ремнем	
телескопическое		Передача зубчатая цилиндрическая	
Муфта:		зубчатая коническая	
кулачковая		Передача червячная с цилиндрическим червяком	
фрикционная		Передача винт-гайка качения	
электромагнитная односторонняя		Передача винт-гайка скольжения	

Для изображения кинематических схем металлорежущих станков используют условные графические обозначения по ГОСТ 2770—74 (табл. 4.1). Схемы обычно вычерчивают в виде развертки, на которой в целях удобства допускается перенос и поворот отдельных элементов относительно их истинного положения. В этих случаях сопряженные элементы соединяют штриховой линией (см. рис. 9.2).

Сложность кинематических схем различна для универсальных, специализированных и специальных станков. Так, в специальных станках кинематические схемы просты и обеспечивают одну-две скорости перемещения исполнительных органов. В универсальных станках кинематические схемы сложны, что связано с весьма широкими технологическими возможностями таких станков. Эти воз-

возможности должны обеспечить обработку поверхностей любого размера ( $D$ ) внутри заданного интервала ( $D_{\max} — D_{\min}$ ) в широком диапазоне скоростей главного движения ( $v_{\max} — v_{\min}$ ) и подач ( $S_{\max} — S_{\min}$ ). Диапазон скоростей главного движения может быть представлен в виде диапазона частот вращения шпинделя ( $n_{\max} — n_{\min}$ ). Наибольшую ( $n_{\max}$ ) и наименьшую ( $n_{\min}$ ) частоты вращения рассчитывают соответственно по формулам:

$$n_{\min} = \frac{1000v_{\min}}{\pi D_{\max}}; \quad n_{\max} = \frac{1000v_{\max}}{\pi D_{\min}}.$$

Таким образом, технологические возможности станка могут быть охарактеризованы диапазоном регулирования частот вращения шпинделя ( $R_n$ ), представляющим собой отношение предельных частот вращения:  $R_n = n_{\max}/n_{\min}$ . С увеличением  $R_n$  возрастают технологические возможности станка. Так, например, для станков токарных, фрезерных, расточных  $R_n = 50...100$ , сверлильных  $R_n = 15...30$ , шлифовальных  $R_n = 1...3$ .

Разнообразие режимов обработки резанием предполагает обеспечение станком любой требуемой частоты вращения шпинделя. Это условие в полной мере выполнимо при использовании бесступенчатого регулирования в кинематической цепи привода шпинделя. В то же время устройства бесступенчатого регулирования (механические или электрические) сложны и дороги, а потому используются только в экономически оправданных случаях. Большинство станков общего назначения (без систем ЧПУ) оснащают более простыми устройствами ступенчатого регулирования, которые выполняют в виде коробок скоростей либо гитар сменных колес. Промежуточные значения частот вращения шпинделя при ступенчатом регулировании обычно выбираются по закону геометрической прогрессии:

$$\begin{aligned} n_{\min} &= n_1, \\ n_2 &= n_1\varphi, \\ n_3 &= n_2\varphi = n_1\varphi^2, \\ &\dots \\ &\dots \\ n_z &= n_1\varphi^{z-1} = n_{\max}, \end{aligned} \tag{4.1}$$

где  $\varphi$  — знаменатель геометрического ряда;  $z$  — число ступеней скорости.

Графически зависимость (4.1) в координатах  $v-D$  для ряда  $n$  и  $\varphi = \text{const}$  представляется в виде лучевой диаграммы частот вращения (рис. 4.2). Преимущества геометрического ряда частот вращения сводятся к тому, что он

обеспечивает постоянство максимальной возможной потери ( $\Delta v_{\text{max}}$ ) экономически выгодной скорости  $v_2$  (для всех интервалов ряда) при переходе на ближайшую меньшую скорость  $v_1$ . При прочих равных условиях обработки максимальная относительная потеря скорости ( $A = \Delta v_{\text{max}}/v$ ) и соответствующая ей потеря производительности постоянны:

$$\frac{\Delta v_{\text{max}}}{v_2} = \frac{v_2 - v_1}{v_2} = \frac{n_2 - n_1}{n_2} = 1 - \frac{1}{\varphi} = \text{const.}$$

Целесообразность использования закона геометрической прогрессии при построении рядов частот вращения в приводах станков впервые доказал в 1876 г. русский академик А. В. Годолин. В настоящее время в СССР ряды частот вращения и значения знаменателя  $\varphi$  стандартизованы. Выбор знаменателя  $\varphi$  из стандартного ряда (1,06; 1,12; 1,41; 1,58; 1,78; 2,0) определяется технологическими возможностями, габаритными размерами и особенностями кинематической схемы станка. Сопоставление значений  $\varphi$  показывает, что наименьшее значение относительной потери скорости  $A = 5\%$  соответствует  $\varphi = 1,06$ , а наибольшее  $A = 50\%$  соответствует  $\varphi = 2,0$ . Наибольшее распространение получили значения  $\varphi$ , равные 1,26 и 1,41. Подобным образом формируются ряды чисел двойных ходов в станках с прямолинейным главным движением, а также ряды подач большинства станков.

В станках с прерывистым движением подачи (поперечно-строгальные, продольно-строгальные, долбежные и т. п.), в приводах которых используются храповые механизмы, ряды подач строятся по закону арифметической прогрессии. Цепи подач токарно-винторезных станков спроектированы в соответствии с номенклатурой резьб, и ряды подач этих станков близки к арифметическому ряду.

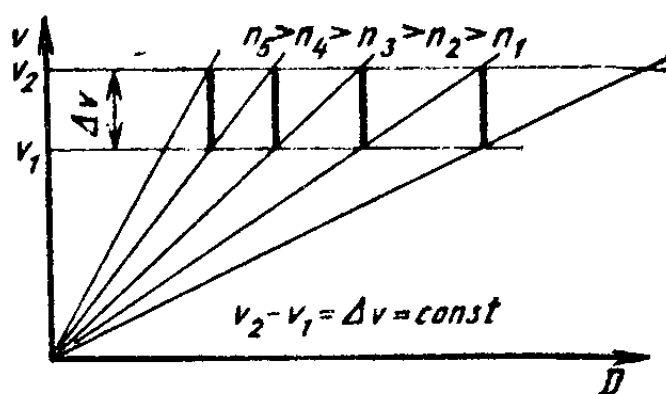


Рис. 4.2. Лучевая диаграмма  $v-D$

Наглядное представление о широте технологических возможностей станка, наряду с величиной  $R_n$ , дает диапазон регулирования подач  $R_s$ , определяемый как отношение предельных значений подач:  $R_s = S_{\max}/S_{\min}$ . Для группы токарных станков  $R_s = 6 \dots 60$ , для универсальных горизонтально-расточных  $R_s = 30 \dots 150$ , для фрезерных  $R_s = 25 \dots 60$ , для круглошлифовальных (при круговом движении подачи)  $R_s = 4 \dots 10$ .

Важнейшей характеристикой любой кинематической цепи является ее передаточное отношение ( $i_k$ ), определяемое как произведение передаточных отношений кинематических пар, входящих в состав этой цепи. Наиболее часто в качестве кинематических пар цепей привода главного движения используют ременные и зубчатые передачи.

Передаточным отношением  $i$  в соответствии с ГОСТ 16530—83 называют отношение угловых скоростей ведомого ( $\omega_2$ ) и ведущего ( $\omega_1$ ) валов (либо шкивов ременной передачи):  $i = \omega_2/\omega_1$ . Передаточное отношение ременной передачи можно также выразить как  $i = D_{ш1}/D_{ш2}$ , где  $D_{ш1}$  — диаметр ведущего шкива;  $D_{ш2}$  — диаметр ведомого шкива. Подобным образом выражается передаточное отношение зубчатой передачи:  $i = D_1/D_2 = z_1/z_2$ , где  $D_1$  и  $z_1$  — соответственно диаметр и число зубьев ведущего зубчатого колеса;  $D_2$  и  $z_2$  — соответственно диаметр и число зубьев ведомого зубчатого колеса.

#### § 4.4. КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ И МОЩНОСТЬ НА ШПИНДЕЛЕ И ПРИВОДНОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ СТАНКА

Мощность приводного электродвигателя в металло-режущих станках расходуется на процесс резания (полезная нагрузка) и силы сопротивления (потери), возникающие в кинематических парах привода. Все потери можно разделить на постоянные, возникающие в режиме вспомогательного хода, и переменные, сопровождающие передачу полезной нагрузки. При выборе мощности приводного электродвигателя потери во всей кинематической цепи принято учитывать общим коэффициентом полезного действия  $\eta_{\text{общ}}$ . Величина  $\eta_{\text{общ}}$  снижается в основном с увеличением потерь вспомогательного хода при возрастании скорости. Поэтому для приводов главного движения желательно, чтобы во всем диапазоне  $R_n$  обеспечивалось постоянство передаваемой мощности. Потребляемая на резание мощность называется эффективной

мощностью ( $N_e$ ), которая выступает в качестве полезной нагрузки. Она связана с крутящим моментом на шпинделе  $M_{\text{шп}}$  (Н·м) следующим соотношением:

$$M_{\text{шп}} = 9750 \frac{N_e}{n_{\text{шп}}},$$

где  $N_e$  — эффективная мощность, потребляемая на резание, кВт;  $n_{\text{шп}}$  — частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>.

Из данного соотношения следует, что с увеличением частоты вращения шпинделя  $n_{\text{шп}}$  крутящий момент на шпинделе  $M_{\text{шп}}$  снижается.

Мощность приводного электродвигателя  $N_a = N_e / \eta_{\text{общ}}$ .

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Поясните принципы классификации и обозначения станков.
2. Какие движения в станках называют формообразующими?
3. Какое движение называют главным движением резания?
4. В чем преимущество геометрического ряда частот вращения?
5. Каким образом увеличить крутящий момент на шпинделе?

## ГЛАВА 5. ЭЛЕКТРОПРИВОД

### § 5.1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Наибольшее распространение в станкостроении получили трехфазные асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, впервые разработанные в 1891 г. русским инженером М. О. Доливо-Добровольским. Основными преимуществами двигателей этого типа являются компактность, надежность и экономичность эксплуатации. Экономичность, в частности, проявляется в их способности сохранять практически постоянной частоту вращения при изменении нагрузки (жесткая характеристика), что обеспечивает заданные производительность и качество обработки резанием. Изменение нагрузки на приводной двигатель при обработке резанием происходит вследствие того, что припуск на

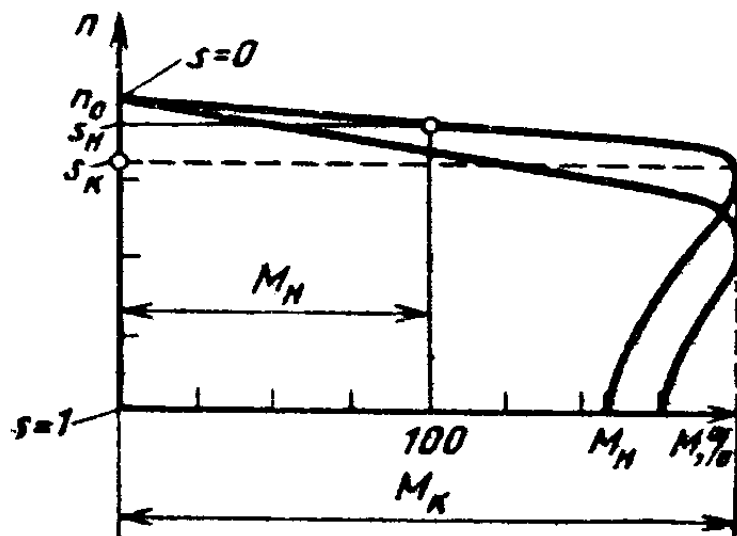


Рис. 5.1. Механическая характеристика трехфазного асинхронного электродвигателя

обрабатываемой заготовке является переменной величиной. Наиболее полно свойства приводного электродвигателя отражает его механическая характеристика (рис. 5.1), устанавливающая связь между моментом  $M$  и частотой вращения выходного вала  $n$ . Для асинхронных электродвигателей важным показателем является скольжение  $s$ , представляющее собой относительную разность частоты вращения магнитного поля  $n_0$  (синхронная частота) и частоты вращения вала электродвигателя  $ns = (n_0 - n)/n_0$ . Наибольший момент, с которым двигатель работает в нормальном режиме, называют номинальным моментом  $M_n$ . Ему соответствуют номинальные мощность на валу  $N$ , частота вращения  $n_n$  и скольжение  $s_n$ . Величина  $M_n$  определяется из соотношения  $M_n = 9550N/n_n$ . Номинальное скольжение составляет 2—5%. Перегрузочная способность асинхронных электродвигателей характеризуется критическим моментом  $M_k$ . Для отечественных электродвигателей отношение критического момента к номинальному (кратность критического момента)  $\lambda = M_k/M_n = 1,65 \dots 2,5$ . С учетом возможного понижения напряжения в сети (например, вследствие возрастания нагрузки в цехе) наибольший допустимый момент перегрузки принимают равным  $0,85M_k$ .

Вследствие многократности пусков, изменений частоты вращения и остановок при эксплуатации станков работа двигателей на этих режимах имеет особенности. При пуске электродвигателей с короткозамкнутым ротором сила пускового тока превышает силу номинального тока в 4—8 раз. Увеличение силы тока при пуске является причиной падения напряжения, что может вызвать нарушение работы оборудования, установленного в цехе. В связи с этим асинхронные электродвигатели можно пускать без средств ограничения силы пускового тока лишь в случае, если номинальная мощность двигателя не превышает 25% мощности трансформатора, питающего цех.

Запуск асинхронного двигателя большой мощности проводят при пониженном напряжении, которое получают введением в цепь статора добавочных сопротивлений и переключением в момент пуска обмоток статора со схемы треугольник ( $\Delta$ ) на схему «звезда» ( $\star$ ). Пусковой режим асинхронного короткозамкнутого двигателя характеризуется кратностью пускового момента  $M_{пн}$ , равной  $M_{пн}/M_n = 0,8 \dots 2$ . Меньшие значения  $M_{пн}/M_n$  характерны для двигателей, запускаемых без нагрузки (например,



двигатели главного привода), бóльшие значения — для двигателей, включаемых в работу под нагрузкой. В кинематических цепях, включаемых в работу под нагрузкой, в качестве двигателей часто используют асинхронные двигатели с повышенным скольжением (7—16 %), имеющие мягкую механическую характеристику (см. рис. 5.1) и увеличенный пусковой момент.

В асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором весьма ограничено регулирование частоты вращения  $n$ . Частота вращения  $n = 60f(1 - s)/P$ , где  $f$  — частота тока цепи;  $s$  — скольжение;  $P$  — число пар полюсов. Ее можно регулировать изменением  $f$ ,  $s$  и  $P$ . Наибольшее распространение в станках общего назначения получило ступенчатое регулирование частоты вращения изменением числа пар полюсов. Отечественная промышленность производит двух-, трех- и четырехскоростные асинхронные двигатели. Регулирование частоты вращения изменением частоты тока выполняется на базе полупроводниковой техники (тиристоров), происходит плавно и используется в станках с ЧПУ.

Регулирование частоты вращения изменением скольжения в станкостроении не применяют, так как оно требует использования двигателя с контактными кольцами и реостатом в цепи ротора. Это увеличивает стоимость и габаритные размеры двигателя в 1,5 раза и экономически неприемлемо.

Торможение асинхронных двигателей осуществляют либо переключением двух фаз обмоток работающего двигателя (торможение противовключением), либо, отключая двигатель от сети трехфазного тока, включают его на питание постоянным током (динамическое торможение). Наиболее часто в станкостроении используют динамическое торможение, так как оно менее интенсивно, чем торможение противовключением и соответственно вызывает меньший нагрев двигателя.

В станках часто применяют приводы со встроенным механическим тормозом, управляемым электромагнитом.

Для остановки многоскоростного двигателя (с переключаемыми полюсами) используют режим генераторного рекуперативного торможения, происходящего при переключении работающего двигателя на низшую частоту вращения. Для полной остановки дополнительно осуществляют динамическое торможение или торможение противовключением.

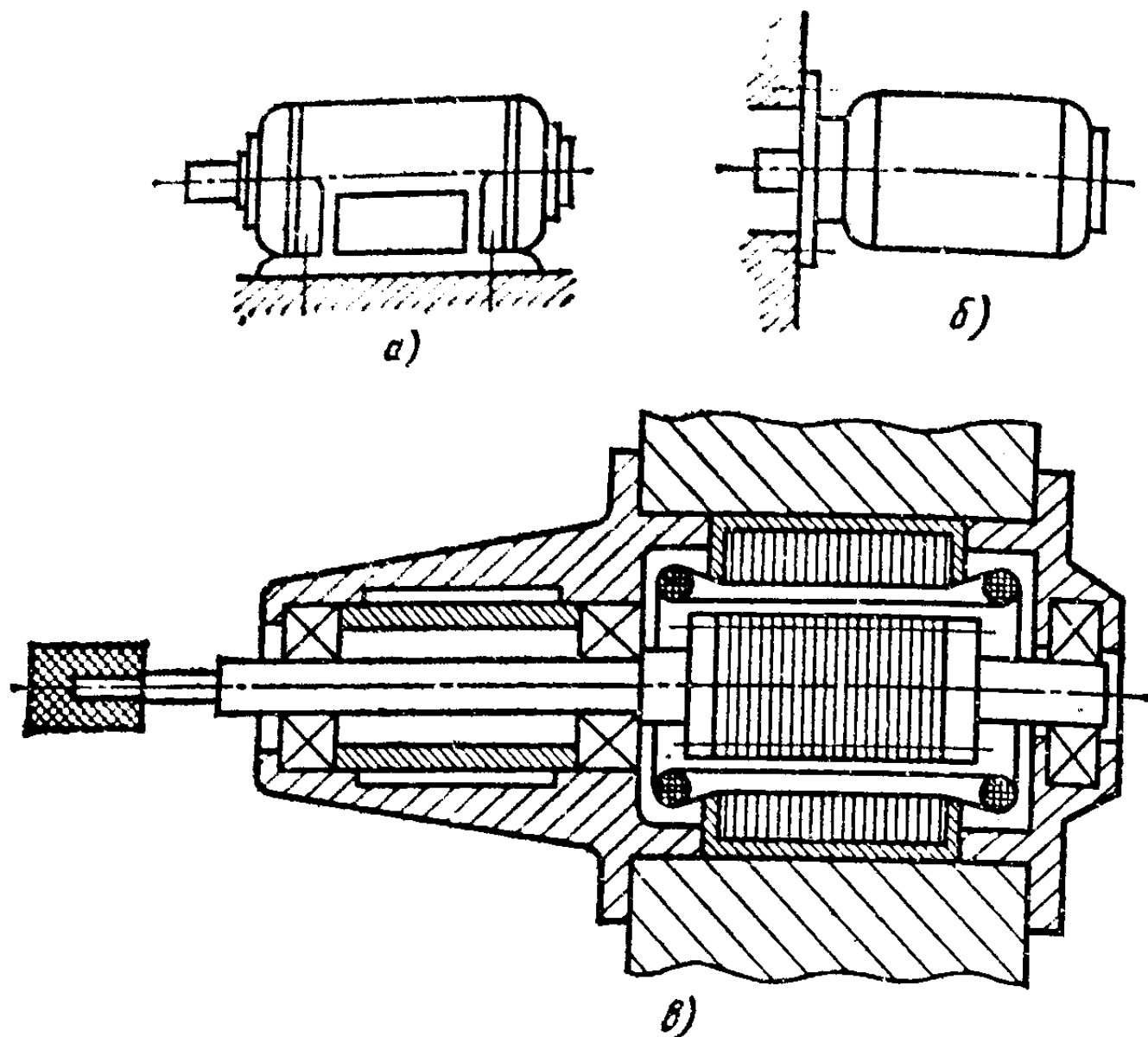


Рис. 5.2. Компонировки асинхронных электродвигателей:  
*а* — на лапах; *б* — фланцевая; *в* — встроенная

В станкостроении используют три основные компоновки асинхронных двигателей: нормальную на лапах (рис. 5.2, *а*) с горизонтальным расположением вала; фланцевую (рис. 5.2, *б*), допускающую вертикальное и горизонтальное расположение вала; встроенную (рис. 5.2, *в*), при которой конструктивные элементы двигателя встраиваются в корпусные детали станка.

По форме защиты от воздействия окружающей среды двигатели, используемые в станках, разделяются на защищенные, закрытые и закрытые обдуваемые. Чаще других для привода металлорежущих станков используют обдуваемые двигатели единой серии А, так как они по сравнению с закрытыми имеют меньшие массу и стоимость.

Асинхронные двигатели рассчитаны на стандартные напряжения 127, 220 и 380 В, причем один и тот же двигатель может быть включен в сети с напряжениями, различающимися в  $\sqrt{3}$  раз. Для меньшего из двух напряжений обмотки статора соединяют треугольником, а для большего — звездой.

## § 5.2. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электродвигатели постоянного тока используют в станкостроении как в приводах для осуществления движений формообразования (до 200 кВт), так и в системах автоматического регулирования (до 1 кВт). Причиной широкого применения этих двигателей для привода станков является высокая экономичность бесступенчатого регулирования их частоты вращения. Наиболее часто в станках используют двигатели с параллельным возбуждением (рис. 5.3), так как в отличие от двигателей с последовательным и смешанным возбуждением они имеют жесткую механическую характеристику.

Электрические цепи ротора и обмоток возбуждения этих двигателей содержат реостаты  $RП$  и  $RС$ , используемые при пуске и изменении частоты вращения. При пуске двигателя с параллельным возбуждением в целях предотвращения возникновения в цепи якоря тока недопустимо большой силы ее сопротивление увеличивают включением секций реостата  $RП$ . По мере разгона ротора и отключения секций реостата  $RП$  происходит постепенный переход от искусственной характеристики 4, в соответствии с которой начинается разгон, к естественной механической характеристике 1. В современных станках пуск двигателей постоянного тока производится автоматически.

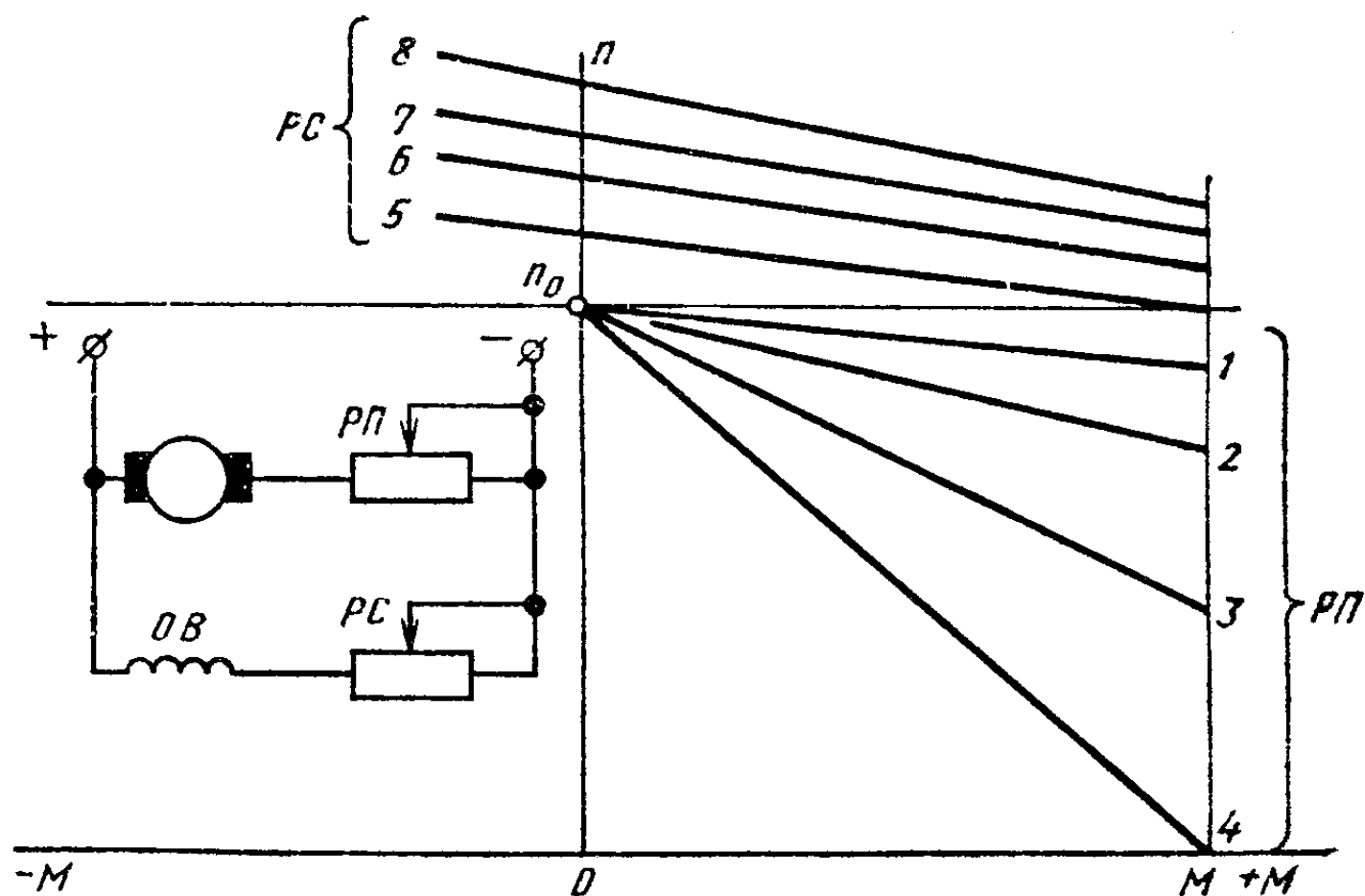


Рис. 5.3. Механическая характеристика электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

Частоту вращения двигателя постоянного тока можно регулировать тремя способами: изменением сопротивления якоря, изменением питающего двигателя напряжения, изменением магнитного потока. Первый способ не используют ввиду его низкой экономичности. Регулирование частоты вращения изменением подводимого напряжения требует использования специальных схем, и его применяют, в частности, в системах генератор—двигатель. Наиболее распространенным способом является регулирование частоты вращения изменением магнитного потока. Магнитный поток изменяют реостатом РС. Изменяя магнитный поток, получаем совокупность механических характеристик в виде прямых линий 5, 6, 7, 8, не параллельных естественной характеристике 1 (рис. 5.3).

Диапазон регулирования двигателей постоянного тока обычно не превышает 2—4, чего явно недостаточно для охвата всего диапазона  $R_n$  станка. Вследствие этого целесообразно использовать в экономически оправданных случаях для привода главного движения двигателя постоянного тока в сочетании со ступенчатой коробкой скоростей. Параметры коробки скоростей выбирают таким образом, чтобы при включении каждой ступени коробки использовался весь диапазон регулирования электродвигателя.

Торможение двигателей постоянного тока производят, как правило, электродинамическим способом при неизменном сопротивлении реостата в цепи якоря.

Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением подключают к цеховой трехфазной сети через кремниевые выпрямители, входящие вместе с двигателем в комплект привода.

В станках с числовым управлением широко применяют комплектные приводы с двигателем постоянного тока и тиристорным блоком управления серии ЭТЗС и ЭТЗР, обеспечивающие высокие гибкость управления, КПД и быстродействие.

Отечественные двигатели постоянного тока выпускают с горизонтальной осью вала на лапах с дополнительным фланцевым щитом и с вертикальной осью с фланцем. Двигатели постоянного тока по сравнению с асинхронными имеют меньший КПД, большую массу и более высокую стоимость.

В приводах подач станков используют двигатели постоянного тока (серий 2П и ПБСТ), обеспечивающие

постоянный предельно допустимый момент на частотах вращения — от самой низкой до номинальной.

В цепях подач применяют малоинерционные двигатели с гладким ротором, с дисковым ротором и печатной обмоткой. Эти двигатели имеют пусковой момент, в 3—4 раза больший, чем у обычных двигателей, при этом их быстродействие на порядок выше, чем у двигателей с обычным ротором. Все чаще в приводах подач устанавливают высокомоментные двигатели серии ПБВ, позволяющие обойтись в цепи привода без безззорных зубчатых передач и редукторов, устанавливаемых между двигателями (рассмотренных выше серий) и ходовым винтом. Это связано с тем, что высокомоментные двигатели устойчиво работают при частоте вращения от  $0,1 \text{ мин}^{-1}$ ; кроме того, они допускают 6—10-кратную перегрузку по крутящему моменту и диапазон регулирования частоты вращения до нескольких тысяч.

Особое место среди двигателей приводов подач занимают шаговые двигатели, являющиеся синхронными машинами (рис. 5.4), обмотки которых питаются импульсами напряжения от специальных коммутаторов. Подача единичного импульса на обмотки шагового двигателя вызывает поворот ротора на единичный шаг, обычно равный  $(1,5 \pm 0,5)^\circ$ . В приводах подач шаговые двигатели серии ШД1 — ШД5 используют в паре с гидроусилителями крутящего момента, а силовые шаговые двигатели типа Ш2.65 непосредственно встраивают в кинематическую цепь. Шаговые двигатели применяют как в приводах подач, имеющих старт-стопный характер движения, так и в приводах, в которых преобладают непрерывные движения.

### § 5.3. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ

Неотъемлемой частью станочного электропривода является аппаратура управления, используемая для пуска, останова, реверсирования и защиты от перегрузок

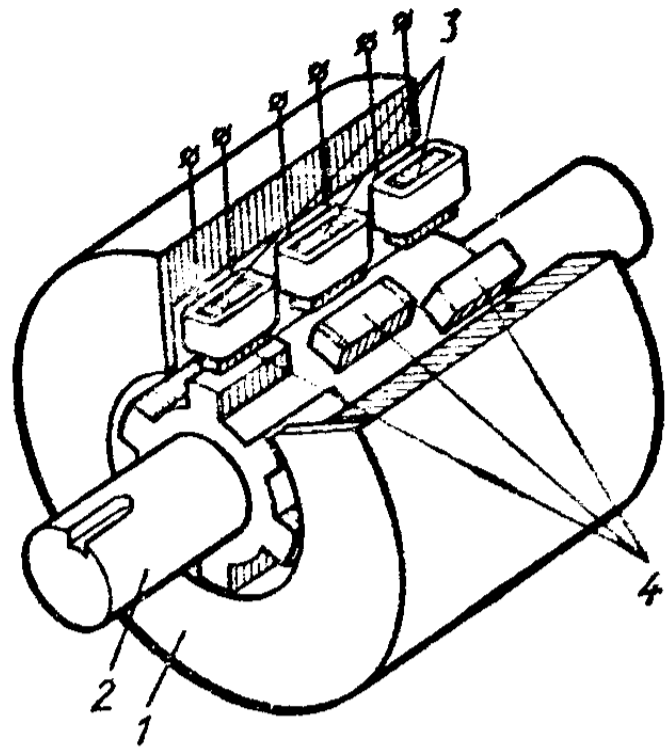


Рис. 5.4. Схема шагового двигателя:

1 — статор; 2 — ротор; 3 — полюсы статора с катушками; 4 — полюсы ротора

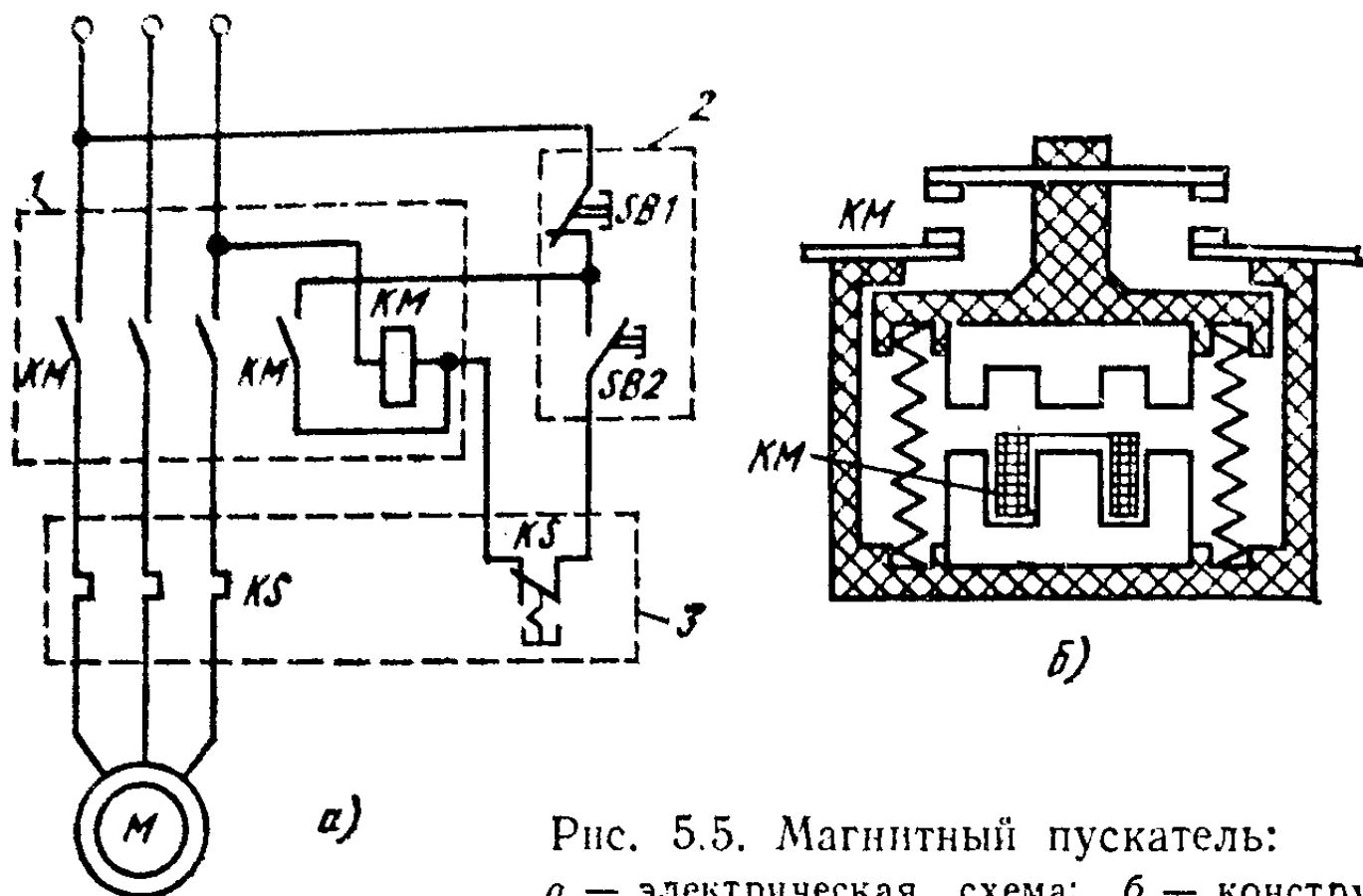


Рис. 5.5. Магнитный пускатель:  
а — электрическая схема; б — конструкция

электродвигателей, а также для управления электродвигателями в функции пути, времени и скорости. Аппаратуру управления делят на ручную и автоматическую, контактную и бесконтактную.

В качестве аппаратуры ручного управления в станках применяют рубильники, пакетные переключатели, барабанные контроллеры и тумблеры. Эту аппаратуру используют в качестве вводных выключателей, устройств для переключения цепей управления, сигнализации и освещения. Аппаратуру ручного управления снабжают устройствами быстрого переключения и фиксации контактов.

Автоматическая и дистанционная коммутация силовых цепей двигателей осуществляется контакторами и магнитными пускателями. Контактторы представляют собой электромагнитные коммутационные аппараты с кнопочным управлением. Нажимая на кнопку, подают ток в катушку электромагнита, сердечник которого притягивает к себе якорь, замыкающий при своем движении рабочие контакты. В зависимости от траектории движения якоря контакторы делятся на прямоходные (серии ПМЕ, ПМЛ) и поворотные (серии ПАЕ). Контактторы обладают свойством нулевой защиты (зануления) и автоматического отключения двигателя при прекращении подачи тока.

Для пуска и реверсирования асинхронных двигателей используют магнитные пускатели (рис. 5.5), представляющие собой комплект контактной аппаратуры, включающий контактор 1, кнопки 2, дополнительные контакты и встроенное тепловое реле 3.

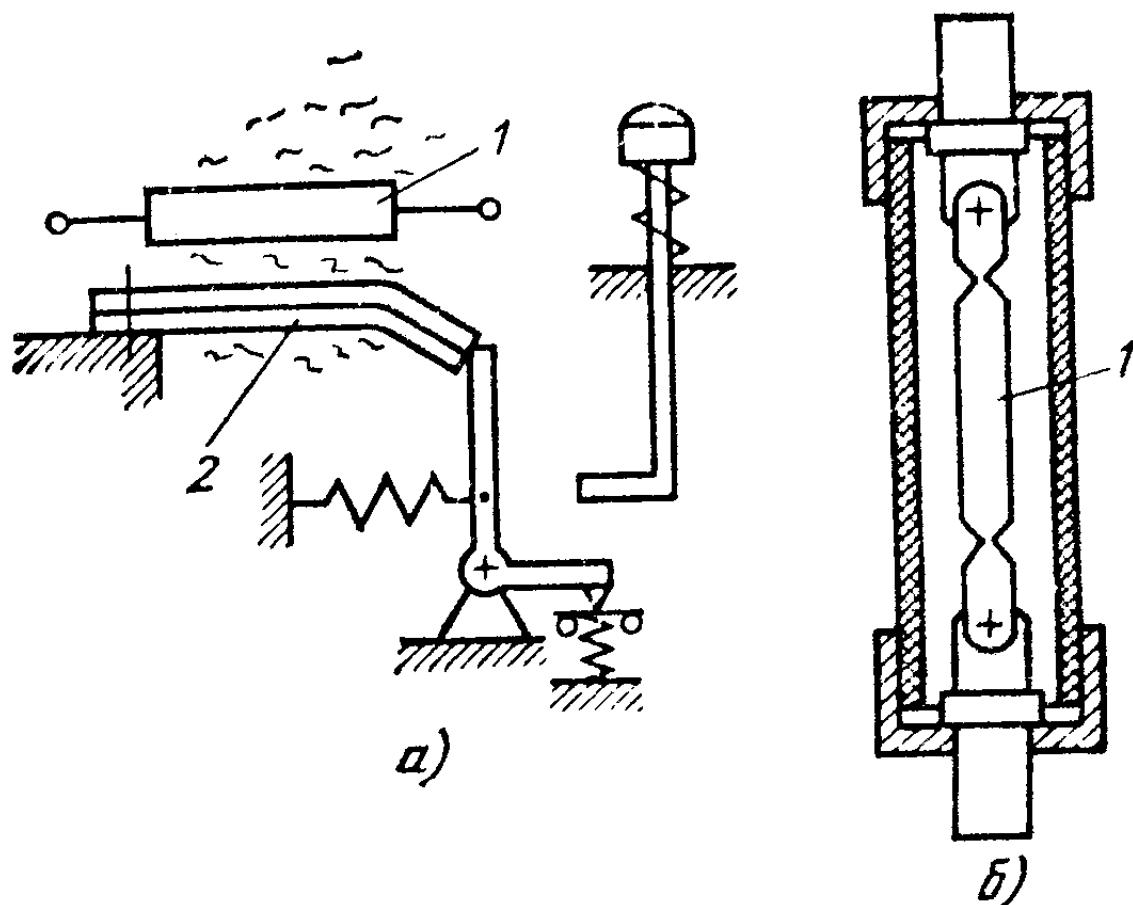


Рис. 5.6. Тепловое реле (а) и плавкие предохранители (б)

Наиболее часто для защиты электродвигателей от токовых перегрузок используют плавкие предохранители, тепловые и токовые реле и автоматические выключатели. Плавкие предохранители (рис. 5.6, б) являются простейшими защитными аппаратами, которые разрывают цепь путем расплавления (сгорания) специальных металлических вставок 1 при прохождении через них тока недопустимо большой силы, возникающей в режиме короткого замыкания. Тепловые реле защищают электродвигатели от перегрева при длительных нагрузках. Действие теплового реле основано на том, что в результате деформирования нагреваемой тепловым элементом 1 (рис. 5.6, а) биметаллической пластины 2, сваренной из двух металлов с различными коэффициентами теплового расширения, происходит размыкание контактов силовой цепи.

Более надежную и быстродействующую, чем плавкие предохранители, защиту обеспечивают электромагнитные реле тока, конструкция которых допускает изменение силы тока срабатывания (уставку реле). Широкое распространение в электроприводах получили автоматические выключатели (серий АЗ700 и АЕ-2000), способные одновременно заменить выключатель, предохранители и тепловые реле. В конструкции выключателей предусмотрены полупроводниковые или электромагнитные (регулируемые) расцепители максимального тока.

Одной из наиболее распространенных форм автоматизации станков является управление в функции пути, осно-

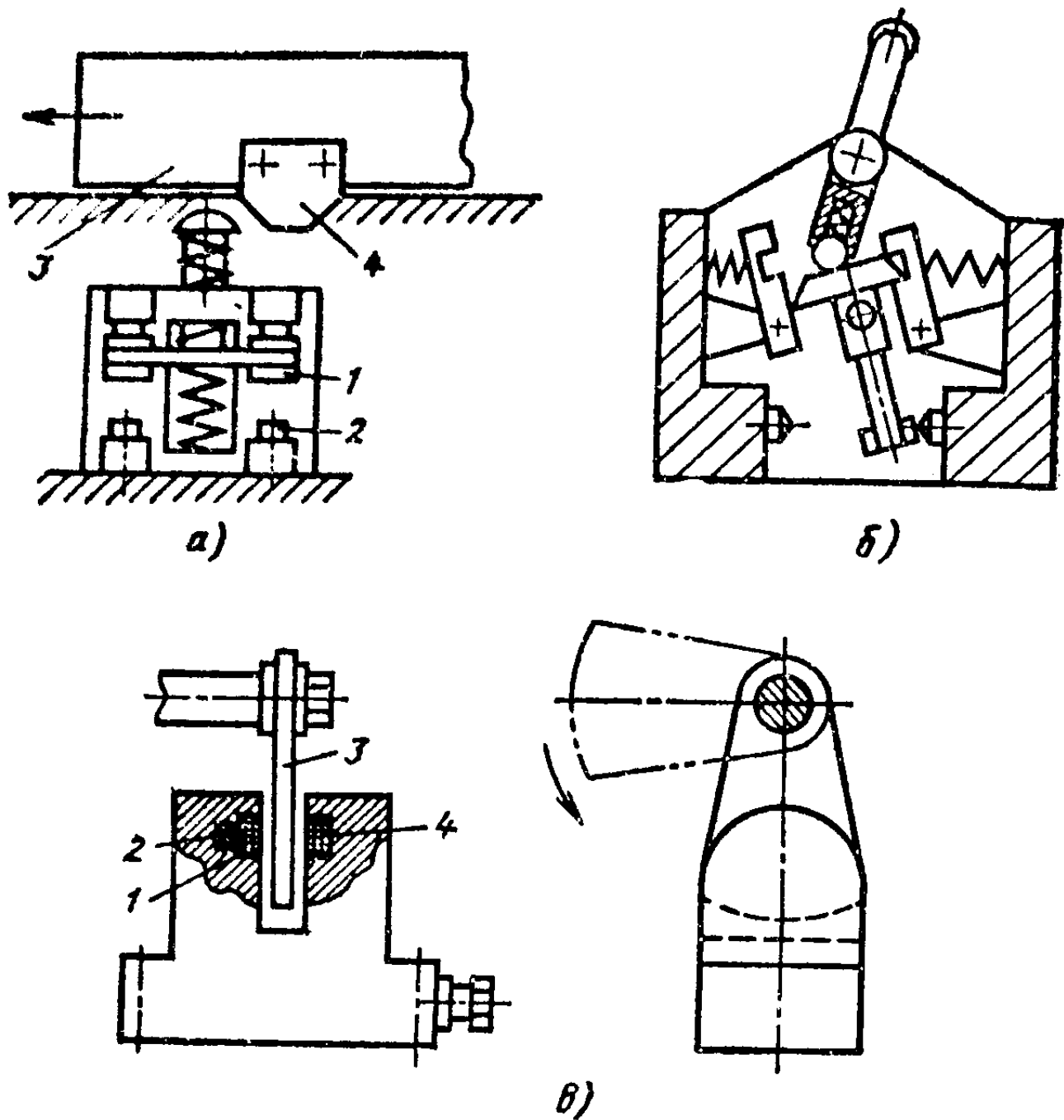


Рис. 5.7. Путьевые переключатели:  
*а* — прямого действия; *б* — мгновенного действия; *в* — бесконтактные

ванное на коммутации цепей управления с помощью путьевых переключателей, на которые воздействуют движущие узлы и детали станка. Путьевые переключатели применяют, если необходимо изменить скорость или направление движения исполнительных органов (столов, суппортов, шпинделей и т. п.). В станках используют переключатели прямого (немгновенного) и мгновенного действия.

В переключателях прямого действия (рис. 5.7, *а*) скорость размыкания и замыкания контактов *1*, *2* зависит от скорости движения узла *3* с кулачком *4*. При малых скоростях перемещения узла (менее 0,6 м/с) возникает опасность подгорания и быстрого изнашивания контактов. Это делает оправданным использование при скоростях менее 0,6 м/с переключателей мгновенного действия (рис. 5.7, *б*), которые обеспечивают быстрое переключение при любой скорости движения узла.



В случаях, когда коммутация должна происходить при малых рабочих перемещениях (0,5—0,7 мм), целесообразно использовать конечные микропереключатели мгновенного действия. Для их срабатывания требуются очень малые силы (0,3—0,9 Н).

Наличие в рассмотренных переключателях механических и электрических контактов снижает их надежность и долговечность. Это является причиной возрастающего использования в станкостроении бесконтактных путевых переключателей, в конструкции которых отсутствуют движущиеся элементы. Широко распространен в станках и автоматических линиях бесконтактный переключатель серии БВК (рис. 5.7, в), управляющий сигнал в контурной катушке 1 которого генерируется при введении в магнитную цепь катушек 2 и 4 алюминиевого экрана в виде пластины 3, закрепленной на подвижном узле станка.

Наряду с путевыми переключателями в станочной автоматике расширяется применение следующих устройств: тахогенераторов, выходной сигнал которых пропорционален частоте вращения вала электродвигателя; герконовых реле с магнитоуправляемыми контактами, бесконтактных логических элементов, выходной сигнал которых зависит от комбинации входных сигналов и типа реализуемой данным элементом функции.

Все элементы электропривода станков должны обеспечивать защиту рабочего от поражения электрическим током. Это требование выполняют путем проведения следующих мероприятий: защитного заземления и нулевой защиты (для четырехпроводной сети) всех металлических частей; использования в электрических цепях (цепи управления, местное освещение, питание электромuft, зажимные устройства и т. д.), к которым имеет доступ рабочий, безопасного напряжения (не более 36 В); установки блокировок на дверцах электрошкафов; осуществления надежной электроизоляции. Защитное заземление и нулевая защита предохраняют человека от поражения электрическим током в случае прикосновения к несущим ток деталям, оказавшимся при аварии под током (нарушение изоляции, перегорание обмоток двигателя и т. д.). При устройстве заземления станину станка (а через нее и все размещенные на ней детали и узлы) надежно соединяют со стальной полосой, входящей в систему заземления цеха. Блокировку электрошкафов выполняют таким образом, что при открывании дверцы шкафа автоматически

отключается электропитание всех размещенных в нем элементов.

Важным мероприятием, защищающим рабочего от несчастных случаев, является оснащение магнитных пускателей нулевой защитой. Нулевая защита исключает самопроизвольный пуск станка при внезапном падении напряжения ниже допустимого значения с последующим возрастанием его до номинального. Конструктивно нулевая защита обеспечивается установкой специального реле и кнопки «Подготовка пуска» либо использованием специальной схемы управления.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как регулируют частоту вращения трехфазного электродвигателя?
2. Как регулируют частоту вращения двигателя постоянного тока?
3. Какие типы двигателей используют в приводах подачи?
4. Как работает контактор?
5. Как защищают электродвигатели от перегрузок?

## ГЛАВА 6. ГИДРОПРИВОД СТАНКОВ

### § 6.1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Под гидроприводом станка понимают совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение его механизмов посредством рабочей жидкости, подаваемой под давлением. В металлорежущих станках гидроприводы используют в приводах главного движения, в приводах подачи и в приводах вспомогательных движений. Преимущества и недостатки гидроприводов связаны с использованием в них жидких рабочих сред. Преимущества гидроприводов следующие: простота бесступенчатого регулирования скорости движения; простота получения прямолинейного движения и его реверса; возможность получения больших сил и мощностей, компактность и широкое использование нормализованных узлов; высокая долговечность, обеспечиваемая применением в качестве рабочих сред минеральных масел.

К недостаткам гидропривода относятся: низкий КПД вследствие утечек и потерь на внутреннее трение; влияние температуры и давления на вязкость рабочей среды и стабильность работы гидропривода; склонность к возгоранию

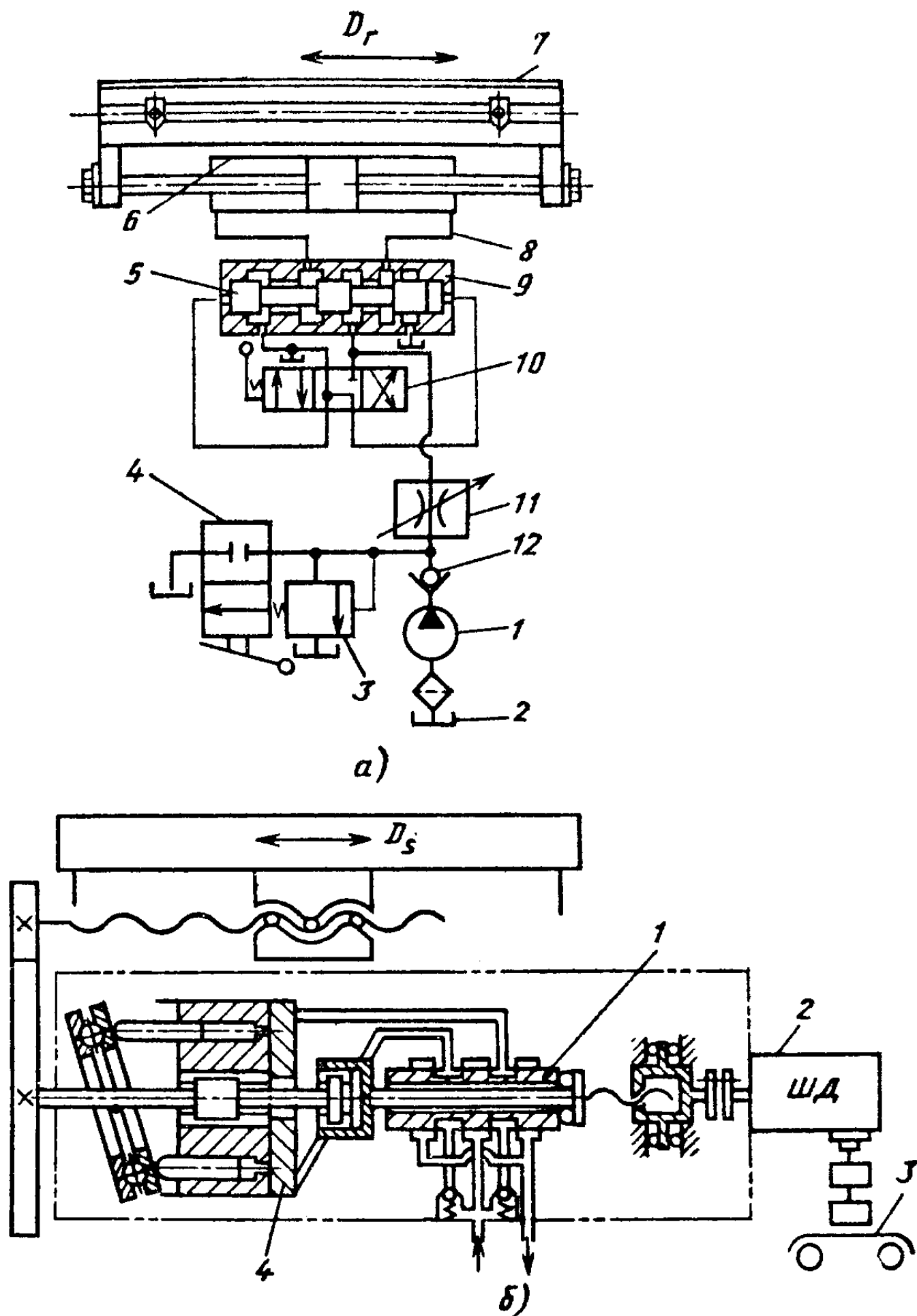





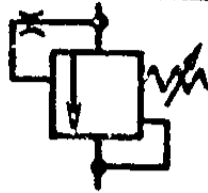

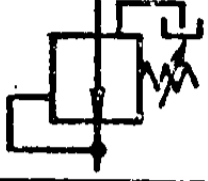
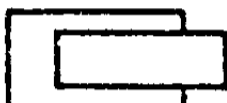



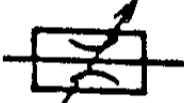



Рис. 6.1. Гидравлическая схема привода возвратно-поступательного движения стола:

а — с приводом от гидроцилиндра; б — с приводом от гидроусилителя

большинства рабочих сред; сложность изготовления деталей гидроприводов; необходимость специального обслуживания гидроприводов.

Гидропривод металлорежущих станков, изображаемый в виде гидросхем (рис. 6.1, а), включает следующие основные элементы: гидронасос 1, приводимый в действие асинхронным электродвигателем и подающий рабочую

### 6.1. Условные графические обозначения элементов гидросхем

Наименование элемента	Обозначение по ГОСТу	Наименование элементов	Обозначение по ГОСТу
Насос нерегулируемый		Обратный клапан	
Гидромотор нерегулируемый		Гидроклапан давления	
Гидроцилиндр основного исполнения		Редукционный клапан	
Гидроцилиндр пдунжерный		Гидрораспределитель с управлением от кулачка	
Гидроцилиндр двустороннего действия с двусторонним штоком		Гидрораспределитель с электроуправлением	
Дроссель регулируемый		Фильтр	
Насос регулируемый		Гидробак	

среду из бака 2 в гидросистему; аппаратуру управления 3, 4, 9, 10, 11, 12, регулирующую расход, давление и направление рабочей среды; гидроцилиндры 6 и гидромоторы, преобразующие энергию рабочей среды в движение исполнительных органов (стола 7); трубопроводы 8, соединяющие в единую гидросистему перечисленные элементы. Все элементы гидропривода по ГОСТ 2.780—68, 2.781—68, 2.782—68, 2.784—70 на гидросхемах представляются условными изображениями (табл. 6.1).

Гидропривод также широко используют в механизмах установка и зажима заготовок, в устройствах блокировки и гидростатических системах. В гидростатических системах (см. рис. 7.4, в) роль гидромотора выполняет зазор  $h$  между движущимися узлами (направляющие станины — салазки суппорта, корпус подшипника — шейка шпинделя).

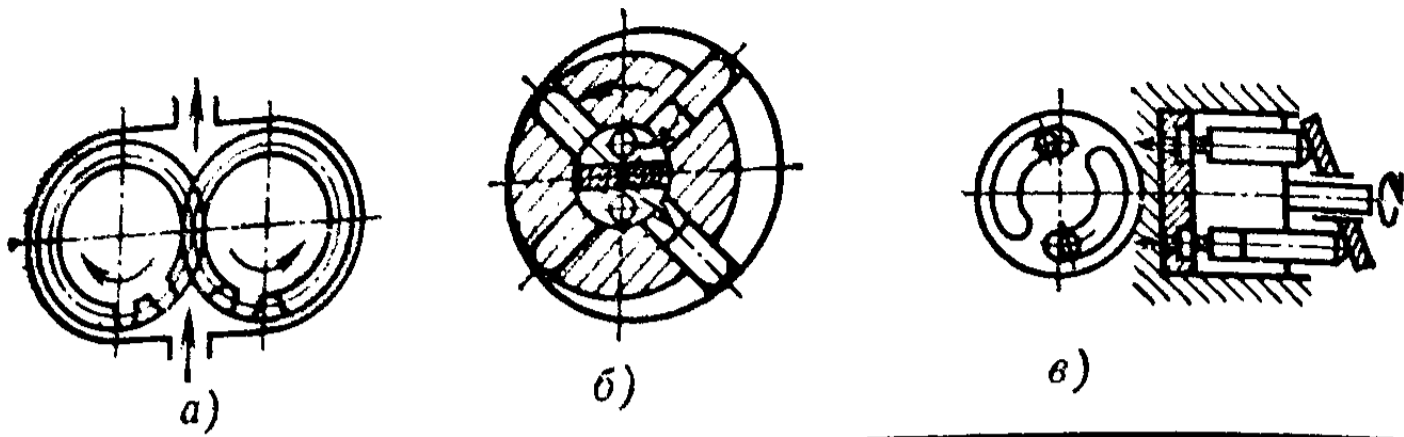
В станочных устройствах, требующих значительного быстрогодействия, находит применение пневмопривод, по схеме, подобный гидроприводу, но отличающийся от него тем, что в нем в качестве рабочей среды используется сжатый воздух.

В качестве источников энергии в гидросистемах станков используют объемные гидронасосы, преобразующие энергию движущихся деталей насоса в энергию потока жидкости. Основные конструктивные схемы и параметры насосов приведены в табл. 6.2.) Работа объемных насосов основана на периодическом изменении размеров их рабочей камеры и соединении ее при увеличении объема (понижении давления) со всасывающей линией, а при уменьшении объема (повышении давления) — с напорной линией. Основной характеристикой насоса является подача ( $Q = V_0 n \eta_v$ ) рабочей среды, определяемая как произведение рабочего объема камеры  $V_0$ , частоты вращения  $n$  и объемного КПД  $\eta_v$ . Объемный КПД  $\eta_v$  рассчитывают как отношение действительной подачи рабочей среды к теоретической:  $\eta_v = Q/Q_T$ . Он зависит от качества уплотнений, температуры и давления. Для большинства гидронасосов, используемых в станках, подача  $Q = 3 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{мин}$ . Конструкция насосов некоторых типов (Г12-5М, НАР, НАС, 2Г13, 2Г15, НР) позволяет регулировать подачу. Иногда в гидросистемах используют аккумуляторы (грузовые, пружинные и пневмогидравлические) в качестве дополнительных или аварийных источников энергии (например, предохраняющих систему от динамических перегрузок при резкой остановке или реверсировании исполнительных органов).

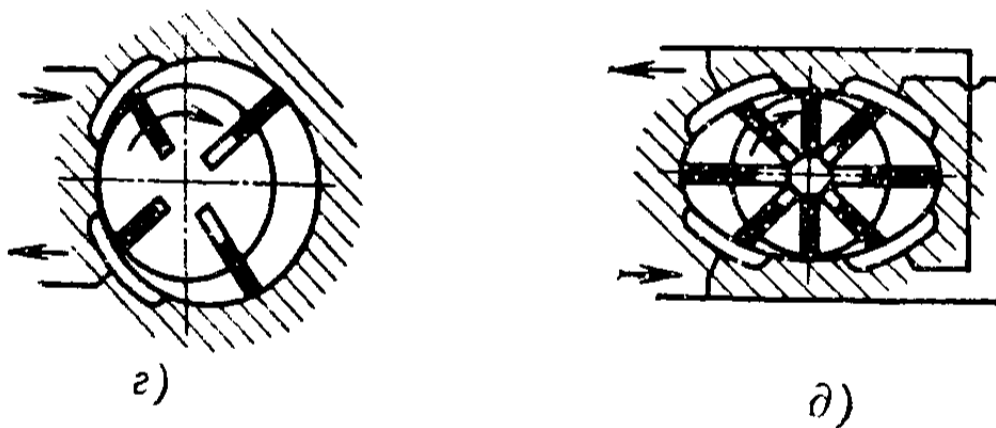
Гидрофицированные исполнительные органы станков получают движение от объемных гидродвигателей, преобразующих энергию потока жидкости в механическое движение. Работа объемных гидродвигателей основана на подаче и вытеснении жидкости в рабочую камеру изменяемого объема. При этом перемещаемый исполнительный орган связан с подвижным звеном рабочей камеры гидродвигателя. По виду траектории подвижного звена (штока, плунжера или корпуса) гидродвигатели разделяют на возвратно-поступательные (гидроцилиндры), поворотные и вращательные (гидромоторы).

Возвратно-поступательные гидродвигатели (гидроцилиндры) наиболее часто используют в протяжных, строгальных, шлифовальных и агрегатных станках. Гидро-

6.2. Схемы и параметры насосов, применяемых в металлорежущих станках



Характеристика	Насос		
	шестеренчатый (эск. а)	поршневой	
		радиальный (эск. б)	аксиальный (эск. в)
Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	950—4000	600—1500	950—4000
Рабочее давление $p$ , МПа	10—25	20—80	7—55
Общий КПД $\eta_{об}$	0,8—0,9	0,85—0,9	0,9—0,95
Объемный КПД $\eta_v$	0,9—0,95	0,95—0,98	0,95—0,98



Характеристика	Насос	
	пластинчатый	
	одинарного действия (эск. е)	двукратного действия (эск. д)
Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	950—4000	950—3000
Рабочее давление $p$ , МПа	7—14	7—21
Общий КПД $\eta_{об}$	0,8—0,85	0,8—0,85
Объемный КПД $\eta_v$	0,9—0,95	0,9—0,95

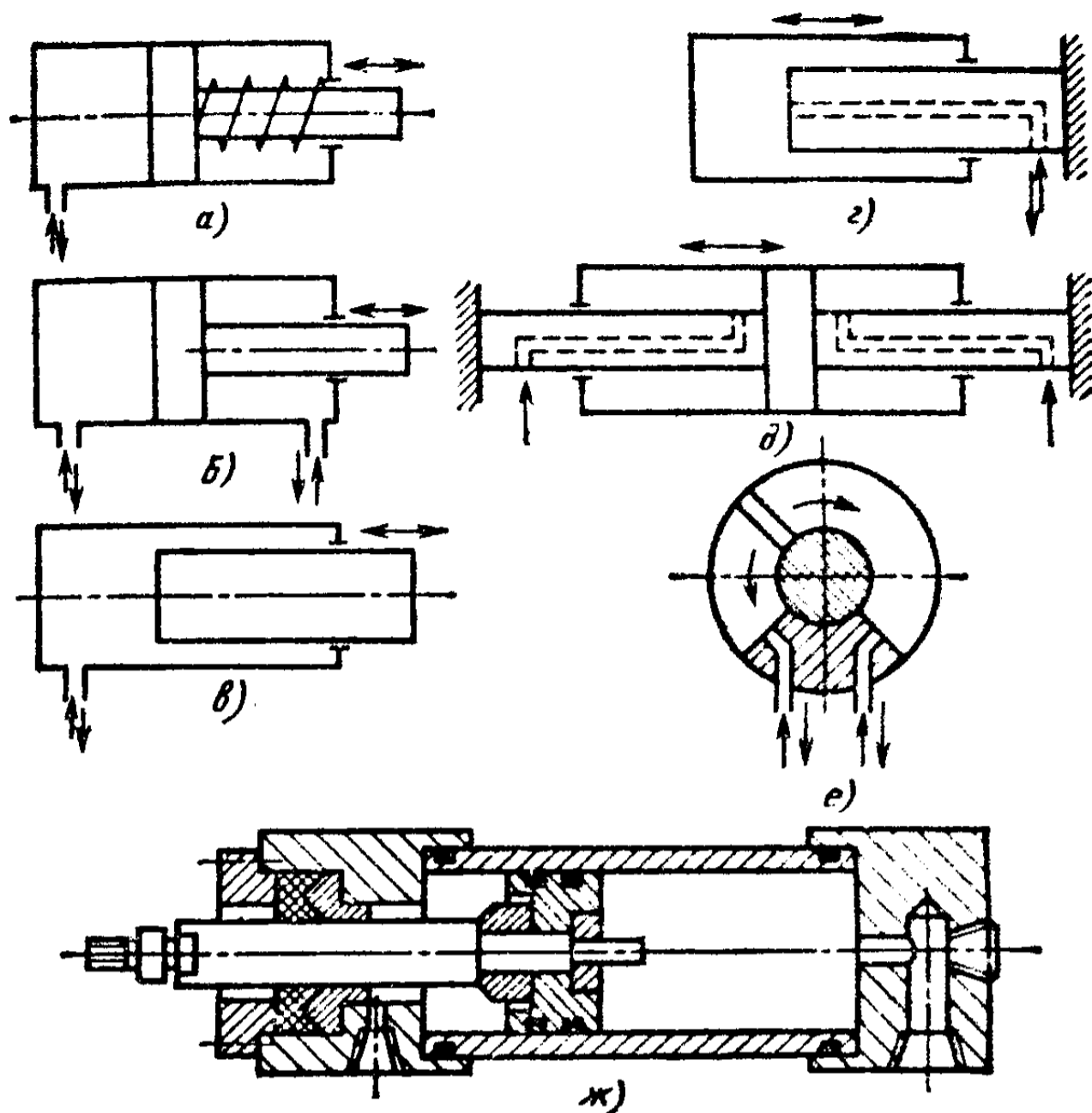


Рис. 6.2. Конструкции гидроцилиндров

цилиндры в зависимости от направления действия в них жидкости бывают одностороннего (рис. 6.2, а, в) и двустороннего (рис. 6.2, б, д) действия. По конструкции рабочей камеры их разделяют на поршневые (рис. 6.2, а, б, д) и более технологичные плунжерные (рис. 6.2, г, в), причем жидкость может подаваться в рабочую камеру как через корпус гидроцилиндра (рис. 6.2, а, б, в), так и через отверстия в штоке или плунжере (рис. 6.2, г, д). Скорость подвижного звена гидроцилиндра регулируют изменением количества жидкости, подаваемой в рабочую камеру, реверсирование проводят изменением направления потоков жидкости. Скорость  $v$  подвижного звена — частное от деления расхода жидкости  $Q$  в сливном канале на площадь  $s$  поршня:  $v = Q/s$ . Для снижения динамических перегрузок при реверсировании и останове гидроцилиндры оснащают установленными на штоке тормозными плунжерами, которые, попадая в конце хода в соответствующие углубления, создают гидробуфер (рис. 6.2, ж).

Для угловых перемещений исполнительных органов технологических машин используют поворотные (на угол не более  $270^\circ$ ) гидродвигатели типа ДПГ, состоящие из корпуса, вала с лопастью, неподвижной перегородки (рис. 6.2, с).

Вращательное движение исполнительные органы гидрофицированных станков получают от аксиально-поршневых (например, типа Г15-2) и пластинчатых (например, типа Г16-1) гидромоторов, по конструкции подобных гидронасосам аналогичных типов (см. табл. 6.2). Основной характеристикой гидромотора является рабочий объем  $V_0$ , определяемый как сумма изменений объемов его рабочих камер за один оборот вала. Применение гидромоторов вместо электродвигателей оправдано только при полном использовании их преимуществ: меньшие (примерно в 3 раза) размеры, меньшая (примерно в 4—5 раз) масса, значительный диапазон регулирования частоты вращения ( $R_n = 100 \dots 1000$ ) и простота изменения крутящего момента. Высокое быстродействие гидромоторов позволяет использовать их в качестве гидроусилителей момента в приводах подач станков с ЧПУ (рис. 6.1, б), где управляемый по программе 3 электрошаговый двигатель малой мощности 2 перемещает золотник 1, направляющий поток жидкости под высоким давлением в гидромотор 4. Рабочая среда из гидромотора поступает либо в бак (открытая система), либо во всасывающую полость гидронасоса (закрытая система).

В качестве рабочей среды в гидромоторах наиболее часто используют минеральные масла вязкостью  $\nu_{50} = 20 \dots 50$  сСт. В гидроприводах станков, эксплуатируемых в пожароопасных условиях, используют водные эмульсии. Для специальных станков, работающих в широком диапазоне изменения температур, в качестве рабочей среды гидромоторов используют искусственные жидкости. Эти жидкости весьма дороги и обладают худшими, чем у минеральных масел, смазывающими свойствами.

В гидросистемах станков между насосами и гидродвигателями устанавливают гидроаппаратуру управления, функционально разделяемую на регулируемую и направляющую. Регулирующая гидроаппаратура предназначена для изменения давления, расхода и направления потока жидкости изменением рабочего проходного сечения. Регулирующие функции в гидросистемах выполняют дроссели, дросселирующие гидрораспределители, изменяющие рас-



ход и направление потока жидкости, регуляторы потока и клапаны давления.

Направляющая гидроаппаратура изменяет направление потока жидкости путем полного открытия или полного закрытия проходного сечения канала. К этой аппаратуре относятся гидрораспределители золотникового или кранового типа, обратные клапаны и клапаны давления.

Гидрораспределители используют для пуска, остановки и изменения направления потока масла, что позволяет останавливать и реверсировать движение исполнительных органов. Запорно-регулирующий элемент гидрораспределителя выполняют в виде совершающего поступательное движение золотника или в виде поворотного крана. Золотники оснащают ручным, механическим (от упоров станка), электрическим и гидравлическим управлением. На рис. 6.1, а приведена гидросхема привода возвратно-поступательного движения стола 7. В нем использован золотниковый гидрораспределитель с гидроуправлением от вспомогательного золотника 10, направляющего масло поочередно под правый и левый торцы плунжера 5 основного золотника 9, требующего для своего переключения значительных сил.

Дроссели представляют собой гидравлическое сопротивление, ограничивающее расход масла изменением поперечного сечения проходного отверстия. Конструктивно дроссели выполняются диафрагменными, игольчатыми и щелевыми (рис. 6.3, а). Диафрагменные дроссели регулируют расход масла изменением диаметра проходного отверстия (диафрагмы), игольчатые — продольным перемещением конической иглы относительно кромки отверстия, щелевые — поворотом стержня с выполненной на нем канавкой переменного сечения. Наибольшее распространение получили регуляторы скорости типа Г55-24, представляющие собой сочетание щелевого дросселя с редукционным клапаном. Клапаны давления по характеру регулирования разделяют на напорные, используемые в качестве предохранительных или переливных, редукционные и клапаны разности давлений, поддерживающие постоянный перепад давлений на каком-либо гидросопротивлении.

Предохранительные клапаны действуют при аварийном повышении давления, пропуская масло из напорной линии в сливную. Переливные клапаны поддерживают заданное давление путем непрерывного слива масла (рис. 6.3, б).

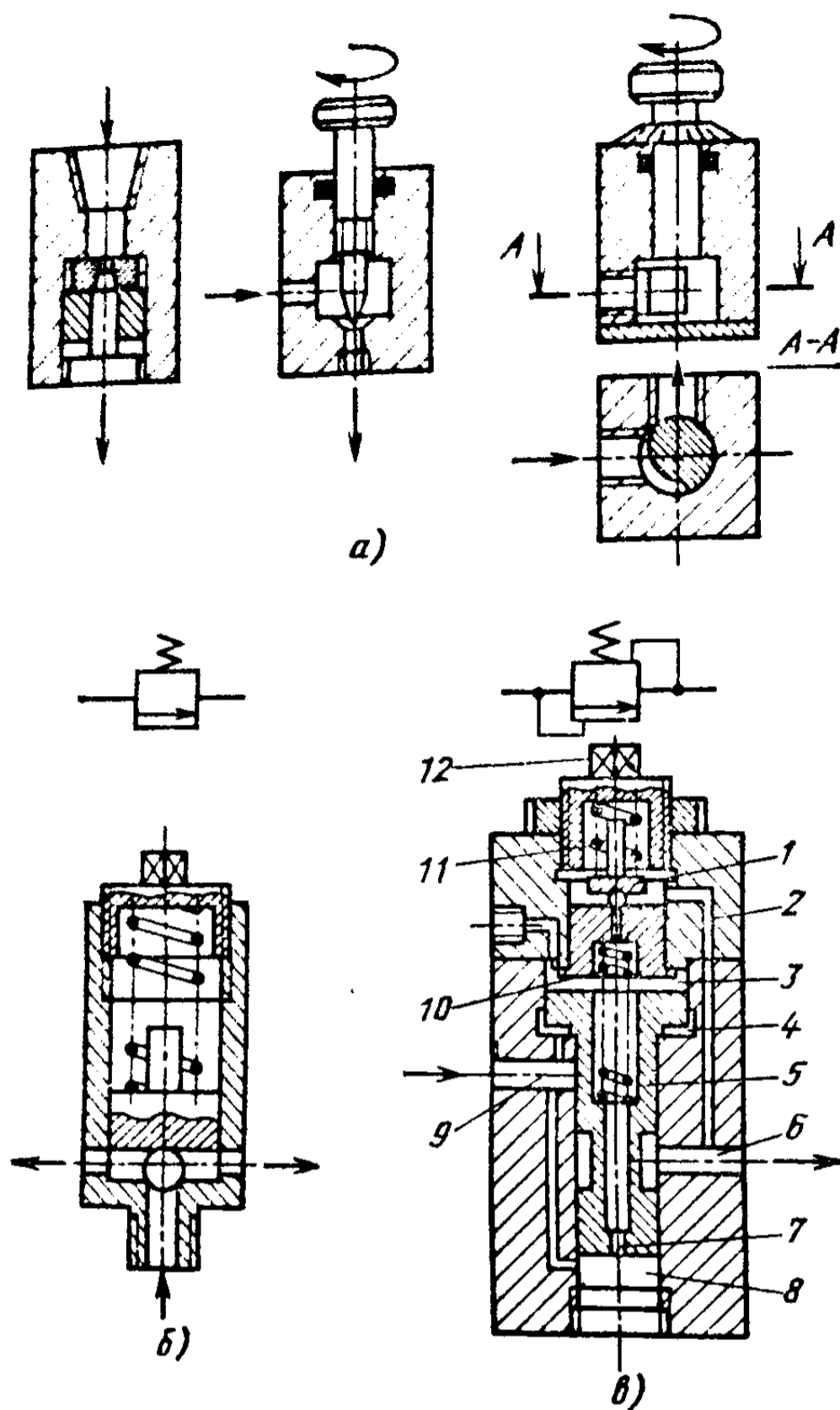


Рис. 6.3. Гидравлическая аппаратура

Редукционные клапаны используют для поддержания на отдельных участках гидросистемы постоянного давления, меньшего, чем в напорной линии. При работе редукционного клапана типа Г57 (рис. 6.3, б) масло в малых количествах через вспомогательный клапан 1 и отверстие 2 поступает на слив. При этом давление в полости 3 ниже, чем в полостях 4 и 8, вследствие потерь в канале 7. Разность давлений на торцах золотника 5 создает осевую силу, которая поднимает золотник 5 вверх и сжимает пружину 10. Золотник рабочей кромкой дросселирует поток из напорной полости 9 в полость 6 и давление в полости 6 понижается. Значение редуцируемого давления настраивают винтом 12, пружиной 11.

Промежуточное положение занимают гидроклапаны давления типа Г54 и Г66 (напорные золотники), которые могут выполнять как регулирующие, так и направляющие функции.

В настоящее время расширяется применение в станках гидроаппаратуры с электронным управлением, включающей формирователи управляющих сигналов, усилители и датчики обратной связи по положению.

## § 6.2. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ

Гидросхемы металлорежущих станков можно разделить на схемы с объемным регулированием скорости исполнительного органа и схемы с дроссельным регулированием (рис. 6.4).

Объемное регулирование предусматривает использование насоса с изменяемой подачей (обычно поршневые насосы с регулируемым ходом поршня). Это регулирование применяют там, где требуется наибольшая сила (крутящий момент) в начальный момент движения больших масс (столы продольно-строгальных, продольно-фрезерных станков) (рис. 6.4, а).

В схемах с дроссельным регулированием скорость меняется в зависимости от сопротивления дросселя. Для этого регулирования характерны высокое быстродействие, зависимость скорости от нагрузки и значительные энергетические потери при малых скоростях. Поэтому дроссельное регулирование применяют в приводах мощностью не более 3—5 кВт. Дроссель может быть установлен на подводящей магистрали гидромотора (на входе) (рис. 6.4, б) или

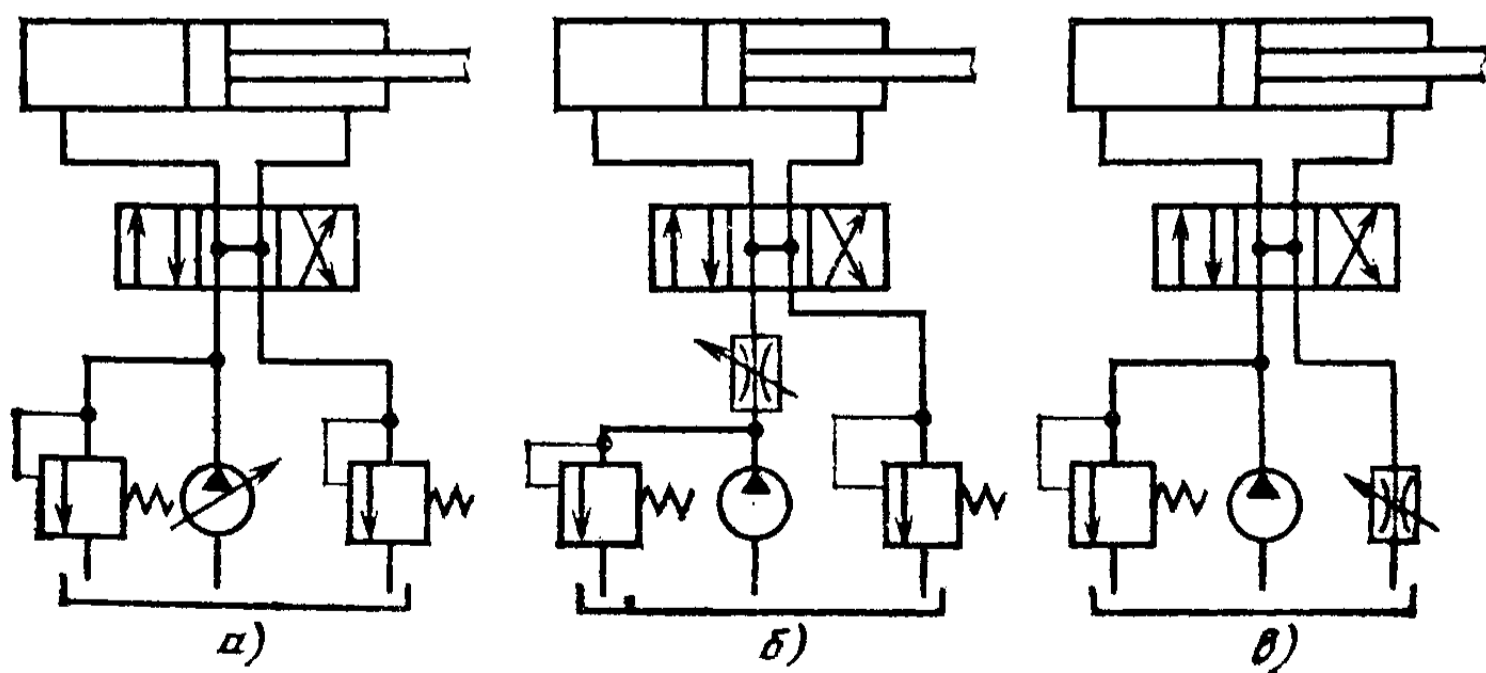


Рис. 6.4. Типовые схемы гидропривода

на сливной магистрали (на выходе). Дроссельное регулирование на выходе обеспечивает более плавное движение и может использоваться при меняющейся по направлению рабочей нагрузке (рис. 6.4, 6).

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие устройства используют в качестве гидромоторов?
2. Что определяет скорость подвижного звена гидроцилиндра?
3. Чем отличается регулирующая гидроаппаратура от направляющей?
4. Как регулируют скорость перемещения подвижных звеньев?

## ГЛАВА 7. УЗЛЫ И МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### § 7.1. КОМПОНОВКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ

Конструктивно металлорежущий станок представляет совокупность узлов и механизмов, обеспечивающих технологически необходимые движения исполнительных органов и обладающих достаточными прочностью и жесткостью в условиях длительного действия эксплуатационных нагрузок. Традиционно основные узлы и механизмы станка располагают на станине, являющейся базовым узлом станка. В зависимости от служебного назначения узлы и механизмы либо неподвижны, либо перемещаются относительно станины. Взаимное расположение основных узлов и механизмов представляет компоновку станка, которая отражает метод обработки, характер движений формообразования и кинематическую структуру.

С точки зрения компоновки станки представляют собой совокупность стационарного и подвижных блоков, состоящих, в свою очередь, из узлов и механизмов. Например, в стационарный блок токарного станка входят станина, передняя бабка, коробка подач и задняя бабка. Представление станка в виде блоков позволяет обозначить его как сочетание символов в структурной формуле компоновки. Символами обозначают блоки, перемещения и характер их сопряжения. В структурных формулах направление оси  $X$  всегда горизонтально, а направление от заготовки к инструменту принимают за положительное направление

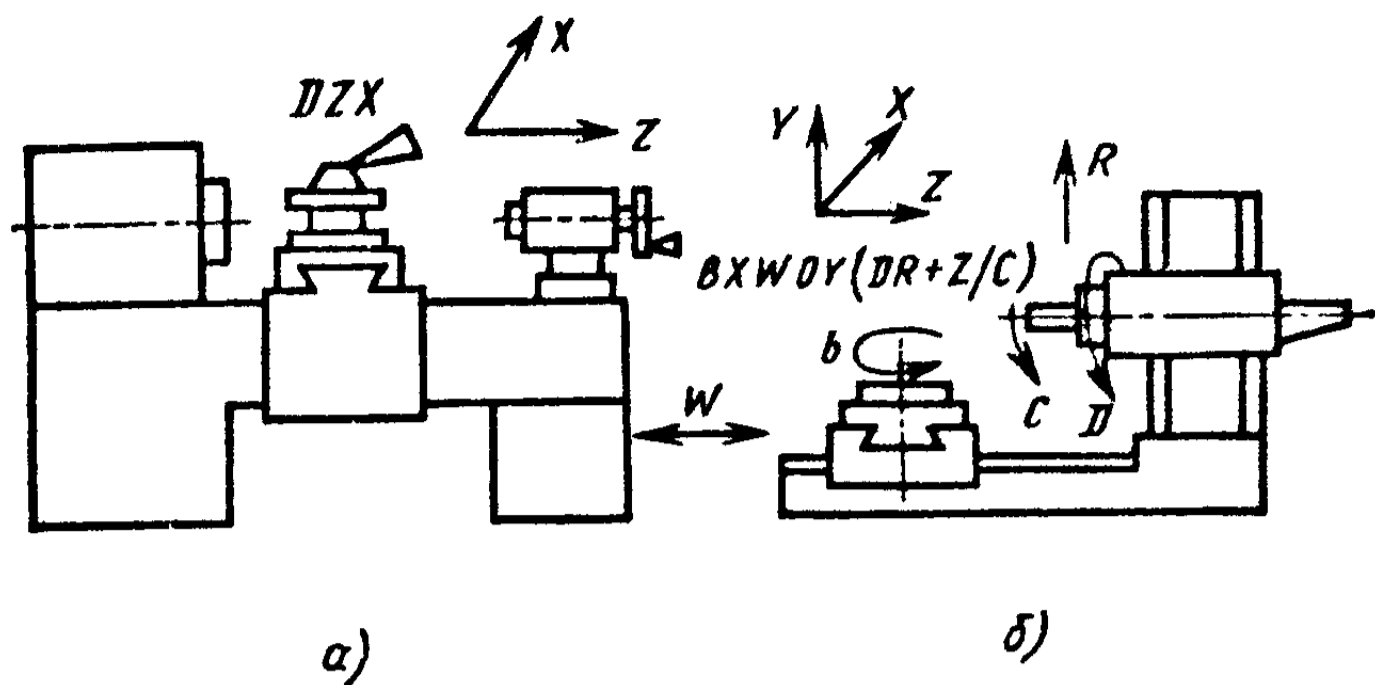


Рис. 7.1. Структура компоновки станков

оси  $Z$ , причем координатная ось  $Z$  всегда параллельна оси главного шпинделя станка. Подвижные блоки обозначают теми же знаками, что и выполняемые ими координатные движения. Блоки, совершающие формообразующие движения, обозначают прописными буквами, а совершающие установочные и вспомогательные движения — строчными. Стационарный блок обозначают символом  $O$ . Крайним справа в структурной формуле записывают блок, несущий инструмент, а блок, несущий заготовку — крайним слева.

Так, если для токарного станка (рис. 7.1) структурная формула  $OZX$ , то для горизонтально-расточного станка она много сложнее и имеет вид  $bXW OY (DR + Z/C)$ , где  $b$  — стол с установочным вращением вокруг оси  $Y$ ;  $W$  — каретка станка;  $D$  — планшайба, вращающаяся вокруг оси  $Y$ ,  $R$  — радиальный суппорт;  $Z/C$  — расточной шпиндель, выполняющий одновременно поступательное  $Z$  и вращательное  $C$  движения.

Особенно широко структурные формулы компоновки используют для станков с ЧПУ, так как они обеспечивают использование координат  $X$  и  $Y$  при плоской обработке вне зависимости от направления оси шпинделя. Структурные формулы позволяют выбрать компоновку и этим обеспечить высокие жесткость, точность, долговечность и малую материалоемкость при оптимальном уровне унификации.

На рис. 7.2 представлены унифицированные узлы токарного станка 16К20Ф3С5. К ним, в частности, относятся: автоматизированная коробка скоростей 7, редукторы продольной 6 и поперечной 5 подач, передачи винт—гайка качения продольной 3 и поперечной 4 подач, привод

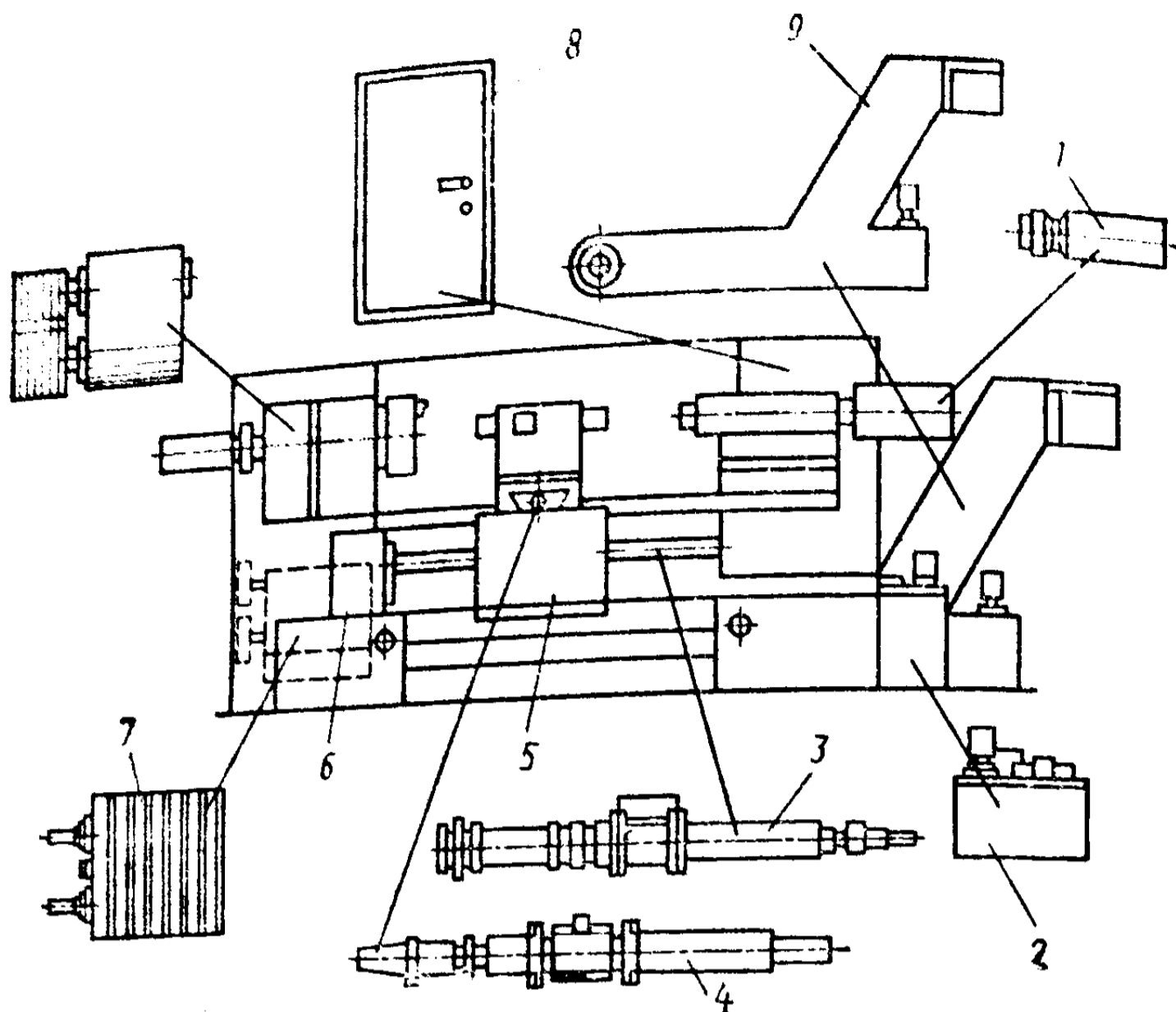


Рис. 7.2. Унифицированные узлы токарного станка

задней бабки 1, гидростанция 2 и электрошкаф 8, конвейер для уборки стружки 9. Унификация позволяет удешевить станок, повысить качество узлов и снизить расходы на ремонт.

### § 7.2. КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ

К корпусным деталям металлорежущих станков относят станины, суппорты, столы, планшайбы, консоли, салазки, ползуны, револьверные головки и т. п. Объединяет эти детали то, что они являются элементами несущей системы, через которые происходит замыкание сил, возникающих между инструментом и заготовкой при резании. На долю корпусных деталей приходится 80—85 % массы станка. Эти детали выполняются обычно в виде отливок из серых чугунов. Широкое применение чугунов объясняется их высокой технологичностью, значительной износостойкостью и хорошими демпфирующими свойствами, которые обеспечиваются его структурой, представляющей сочетание металлической основы и графитовых включений.

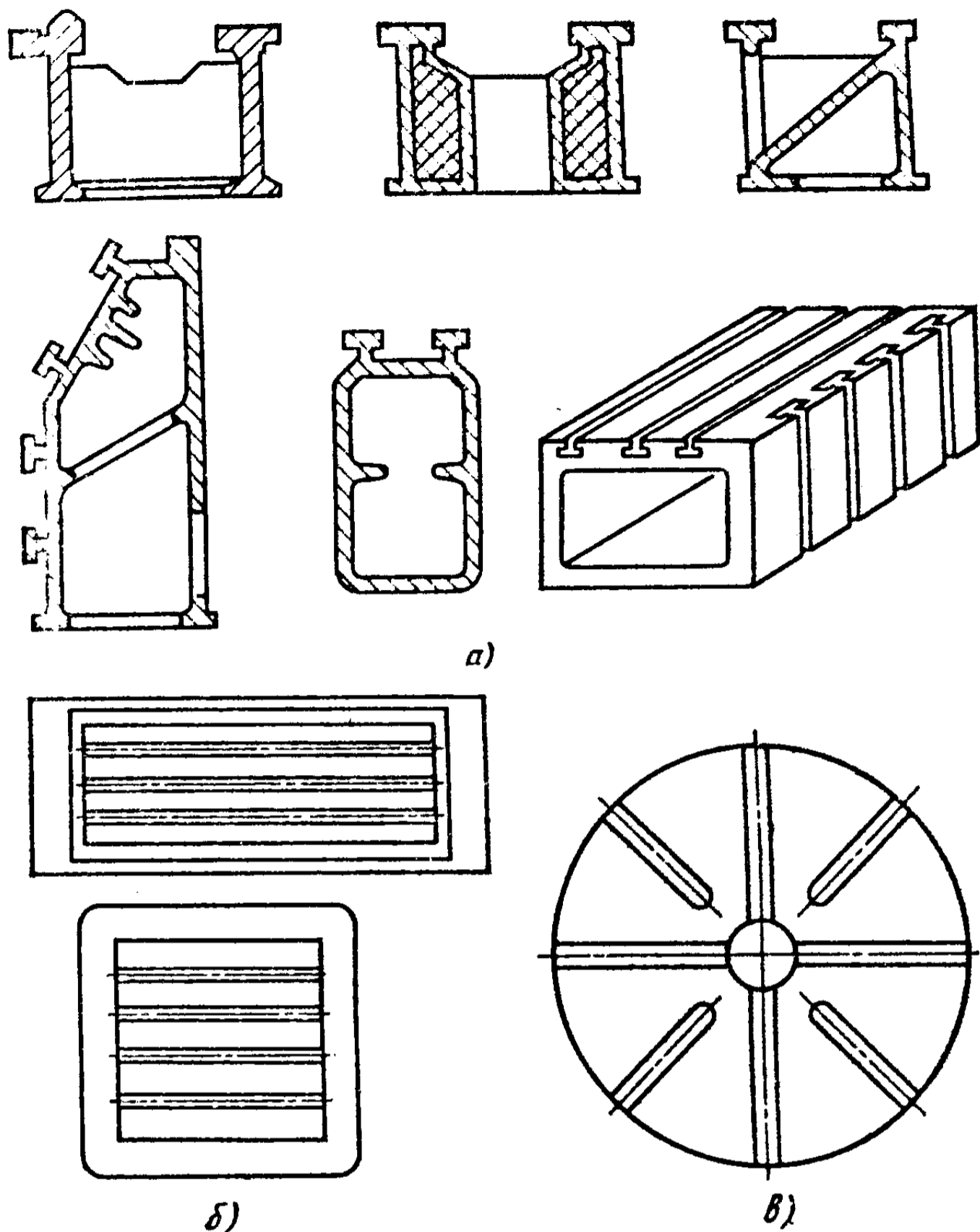


Рис. 7.3. Станины (а), столы (б) и планшайбы (в)

В оправданных случаях станины делают сварными из листовой стали Ст3 и Ст4, а иногда даже железобетонными.

Большинство станин представляют собой конструкцию коробчатой формы, которая обеспечивает оптимальные сочетания массы, жесткости и виброустойчивости. Повышению жесткости и виброустойчивости способствует также наличие ребер и перегородок в конструкции станин и прочих корпусных деталей. В отдельных случаях для повышения виброустойчивости внутренние замкнутые полости станин оставляют после литья заполненными стержневой смесью (рис. 7.3, а). В то же время

в боковых стенках станин приходится выполнять окна и проемы для отвода стружки, доступа к размещенным во внутренних полостях бакам СОТС, элементам гидропривода и аппаратуры управления.

Станины и закрепленные на них детали неподвижны, а столы, планшайбы и суппорты, несущие на себе заготовки либо инструменты, совершают исполнительные движения. Траектория этих движений в значительной степени определяет форму движущихся корпусных деталей. В сверлильных, расточных, шлифовальных, фрезерных и строгальных станках столы, совершающие прямолинейные перемещения, имеют прямоугольную форму. У карусельных, зубофрезерных, некоторых плоскошлифовальных станков планшайбы (столы) осуществляют вращательное движение и имеют форму диска (рис. 7.3, б, в).

На поверхностях столов и планшайб выполняют специальные Т-образные пазы, используемые для установки и закрепления заготовок и приспособлений специальными болтами. У столов с прямолинейной траекторией перемещения Т-образные пазы делают параллельными или перпендикулярными этой траектории. У вращающихся планшайб эти пазы обычно радиальные либо круглые. Токарные, карусельные, зубофрезерные и строгальные станки имеют суппорты для закрепления инструментов и сообщения им исполнительных движений. Суппорты оборудуют резцедержателями, специальными патронами и револьверными головками с комбинированными резцедержателями, в которых закрепляются инструменты и инструментальные блоки.

Важнейшими элементами станин являются основные базовые поверхности станка — направляющие и плоскости прилегания. По направляющим перемещаются подвижные узлы станка, а на плоскостях прилегания жестко крепят неподвижные узлы, механизмы и детали.

Направляющие выполняют прямолинейными либо кольцевыми с вертикальным, горизонтальным либо наклонным положением в пространстве. Важнейшими требованиями к направляющим и плоскостям прилегания являются: высокая точность изготовления рабочих поверхностей и малое отклонение их взаимного расположения. Эти параметры оказывают значительное влияние на точность станка в целом, так как они определяют взаимное положение его исполнительных органов. В отличие от плоскостей прилегания направляющие при работе



изнашиваются движущимися по ним узлами, что заставляет уделять особое внимание их конструированию и изготовлению.

Направляющие выполняют либо за одно целое со станиной, либо в целях повышения долговечности их делают из более износостойких материалов и закрепляют на станине винтами или приклеивают. В качестве материалов для изготовления направляющих используют стали 20, 20Х, 20ХНМ, 18ХГТ с цементацией и закалкой (60—65 HRC<sub>3</sub>) и азотируемые стали 38Х2МЮА и 40ХН. В тяжелых станках применяют накладные направляющие из цветных сплавов (бронзы оловянные БрОФ10-1 и безоловянные БрАМц9-2) и пластмассы на основе фторопласта и эпоксидных смол.

В металлорежущих станках применяют направляющие скольжения, качения и комбинированные направляющие. Направляющие скольжения могут быть с полужидкостной, жидкостной и газовой смазкой. При полужидкостной смазке смазочный слой разделяет движущиеся поверхности частично, при жидкостной — полностью (гидродинамические и гидростатические направляющие). При газовой смазке разделительный слой формируется из газа — воздуха, подаваемого в зазор под давлением (аэростатические направляющие).

В станкостроении находят применение несколько нормализованных форм поперечных сечений направляющих: прямоугольные, треугольные, трапецевидные, круглые (рис. 7.4). Большинство из них одинаково успешно используют как в направляющих скольжения, так и в направляющих качения. Различают следующие формы направляющих: 1) охватываемые, имеющие технологичный выпуклый профиль, который плохо удерживает смазочный материал, не скапливает стружку; 2) охватывающие, имеющие вогнутый профиль, который хорошо удерживает смазочный материал, но требует надежной защиты от загрязнений. Охватываемые формы применяют для суппортов, столов и бабок токарных, фрезерных и сверлильных станков, а охватывающие вследствие лучших условий смазывания — при высоких скоростях перемещения в карусельных продольно-строгальных и шлифовальных станках.

По характеру восприятия нагрузок направляющие делят на незамкнутые (открытые) и замкнутые (закрытые). Разомкнутые направляющие предназначены для восприя-

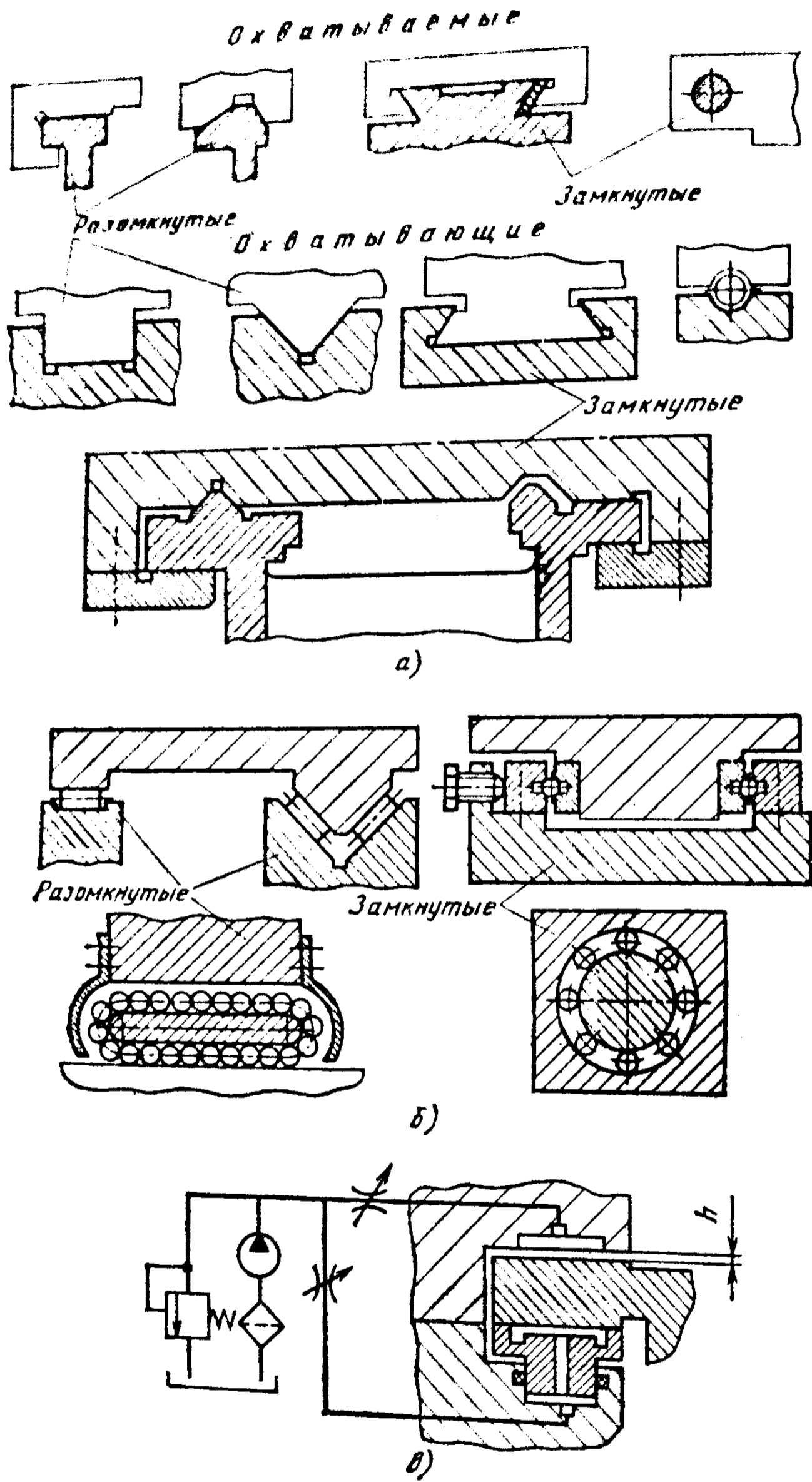


Рис. 7.4. Типы направляющих металлорежущих станков:  
 а — скользящая; б — качения; в — гидростатические

тия только прижимающих нагрузок, а замкнутые наряду с прижимающими нагрузками способны воспринимать и опрокидывающие моменты. Замкнутые направляющие допускают регулирование зазоров (подшлифовкой прижимных планок, перемещением клина, поджимом прижимных планок). Этим создается требуемый натяг в направляющих качения.

Все большее распространение в металлорежущих станках и особенно в станках с ЧПУ находят направляющие качения (рис. 7.4, б), которые обладают в 15—20 раз меньшим сопротивлением движению, чем направляющие скольжения, исключают «скачки» исполнительных узлов при малых скоростях перемещения, обеспечивают высокую точность и долговечность. К недостаткам направляющих качения относятся: низкая степень демпфирования, чувствительность к загрязнениям, конструктивная сложность и значительная трудоемкость при изготовлении высокоточных элементов этих направляющих. Так, например, разброс размеров тел качения не должен превышать 1—2 мкм. В качестве тел качения используются шарики и ролики. Последние обеспечивают жесткость в 2,5—3,5 раза и несущую способность в 20—30 раз больше, чем шарики.

Наиболее просты в изготовлении и обладают значительной контактной жесткостью и хорошей демпфирующей способностью направляющие полужидкостного трения. Их недостатком является скачкообразное движение узлов при малых скоростях, что устраняют применением антискачковых масел ИНСп и установкой на направляющих накладок из полимерных материалов (фторопласта).

Гидродинамические направляющие надежно работают только при высоких скоростях (главное движение в продольно-строгальных и карусельных станках), так как высокие скорости создают в смазочных клиновых каналах давление, достаточное для «всплывания» подвижного узла. Их недостатком является неудовлетворительная работа при разгоне и торможении. Этому недостатка лишены гидростатические направляющие, в которых режим жидкостного смазывания не зависит от скорости движения (рис. 7.4, в). Такой режим создают принудительным нагнетанием смазочного материала (масла) в зазор между движущимися относительно друг друга направляющими. Недостатком гидростатических направляющих является сложная система нагнетания смазочного

материала и необходимость использования специальных устройств для фиксации узла при остановке в заданном положении.

Аналогично работают и аэростатические направляющие. Преимуществом аэростатических направляющих является исключительно низкий коэффициент трения (так как вязкость воздуха на четыре порядка меньше вязкости масла) и возможность достаточно жесткой фиксации узла при остановке в заданной позиции (после отключения подачи воздуха). Недостатки этих направляющих связаны с применением в них воздуха и заключаются в малой нагрузочной способности и низкой степени демпфирования колебаний. Аэростатические направляющие находят применение в прецизионных станках, где необходимо точное позиционирование.

Наибольшее распространение в станках имеют направляющие со свободным прокатыванием тел качения, они обеспечивают необходимые жесткость и точность движения. Для малых ходов (до 1 м) используют конструкции направляющих без устройств возврата тел качения, а для больших ходов — направляющие с циркуляцией шариков или роликов по каналу возврата (см. рис. 7.4, б).

Для изготовления направляющих качения и направляющих скольжения применяют похожие материалы. Разница заключается в том, что для направляющих качения предпочитают стали, закаленные до высокой твердости (60—62 HRC<sub>9</sub>), а не чугуны, как в направляющих скольжения.

Комбинированные направляющие сочетают в одной конструкции положительные качества направляющих разных типов, например направляющих качения и скольжения, гидродинамических и гидростатических направляющих и т. д. Существенное применение получили комбинированные направляющие качения — скольжения (в тяжелых фрезерных, расточных и токарных станках).

Направляющие, с одной стороны, определяют точность обработки на станке, а с другой — подвержены эксплуатационному изнашиванию, снижающему эту точность. Поэтому предпринимают различные меры для повышения их долговечности. Наряду с применением для изготовления направляющих износостойких материалов и использованием совершенных систем смазывания в современных станках широко распространены различные

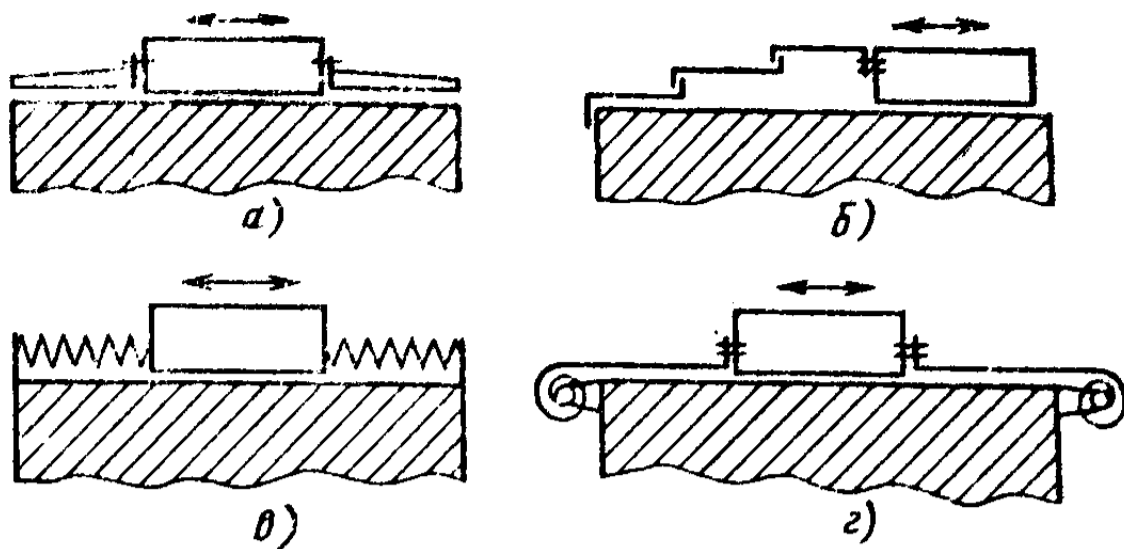


Рис. 7.5. Устройства для защиты направляющих:

*a* — защитные щитки; *б* — телескопические щитки; *в* — защитные меха; *г* — ленты

конструкции, защищающие направляющие от воздействия стружки и абразивных частиц. Такими конструкциями являются защитные щитки, ленты, телескопические щитки, отличающиеся большой герметичностью защитные меха и ленты (рис. 7.5).

### § 7.3. ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ

Шпиндельные узлы металлорежущих станков в значительной степени определяют точность и производительность обработки, которые, в свою очередь, зависят от точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости. Точность вращения характеризуется радиальным и осевым биениями ( $\Delta$ ) переднего конца шпинделя, в среднем биение не должно превышать одной трети допуска ( $\Delta_{\text{д}}$ ) на изготавливаемую деталь ( $\Delta \leq \Delta_{\text{д}}/3$ ).

Жесткость шпиндельного узла определяется по деформации под нагрузкой (радиальной и осевой) переднего конца шпинделя.

Виброустойчивость определяется амплитудой колебаний переднего конца шпинделя и может быть оценена разностью между собственной частотой шпиндельного узла (обычно не ниже 500—600 Гц) и частотой вынужденных колебаний, равных частоте вращения шпинделя. Для обеспечения безвибрационного режима эта разность должна составлять 25—30 %.

Шпиндельный узел состоит из шпинделя, шпиндельных опор и системы подачи смазочного материала к опорам.

Конструктивно шпиндель большинства станков представляет собой полый вал с наружными посадочными по-

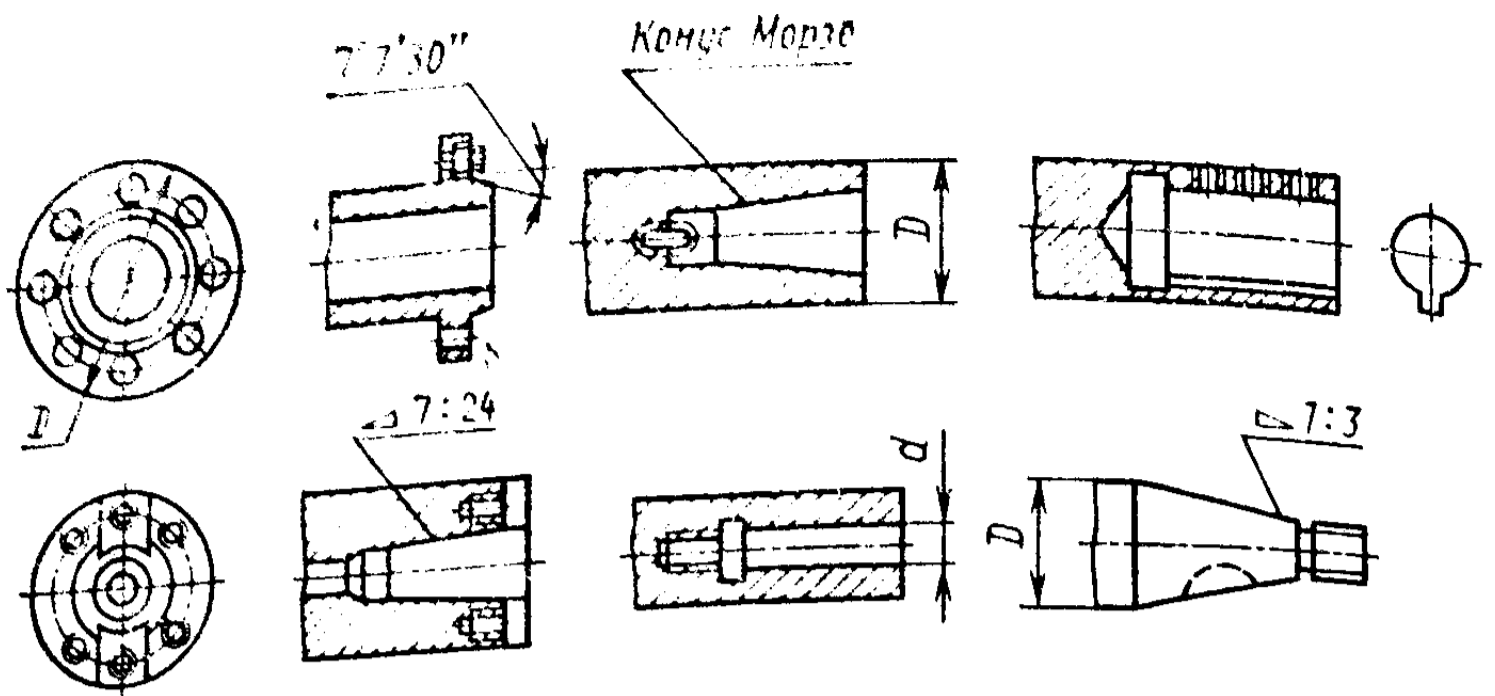


Рис. 7.6. Концы шпинделей

верхностями для установки в подшипники. На рабочем торце (передний конец) шпинделя выполнены присоединительные поверхности для установки и закрепления инструментов и шпиндельной оснастки (патроны, планшайбы и т. п.). Для каждой группы станков формы передних концов шпинделей стандартизованы и представляют собой совокупность центрирующих (обычно конических) и крепежных поверхностей и элементов для передачи крутящего момента (рис. 7.6).

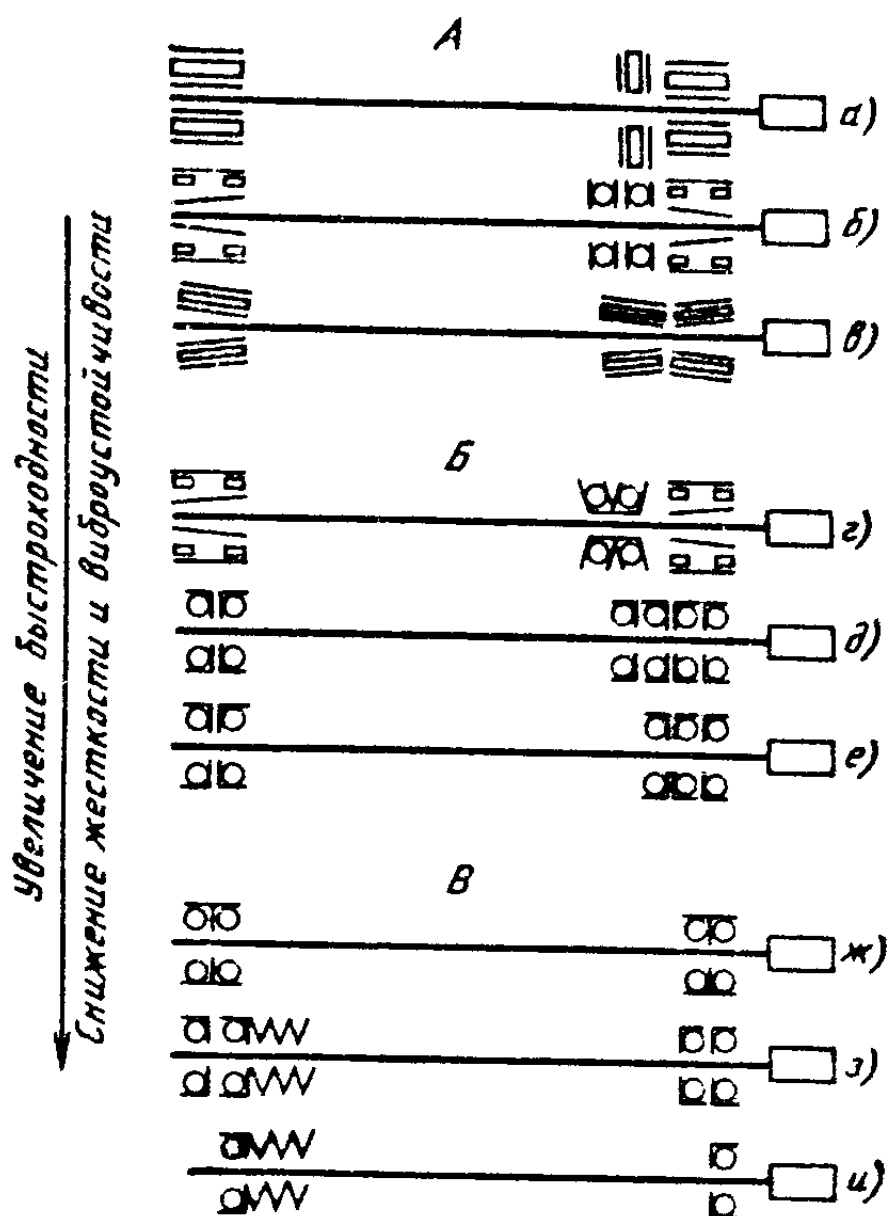
Шпиндели изготавливают из конструкционных сталей с поверхностной (стали 45, 50, 40X, твердость 48—56 HRC<sub>2</sub>) или объемной (стали 50X, 40XГР, твердость 56—60 HRC<sub>2</sub>) закалкой. Применяют цементуемые стали 20X, 18XГТ, 12ХНЗА с последующей закалкой 56—60 HRC и азотируемые стали 38X2МЮА, 38XВКЮА с закалкой до твердости 63—68 HRC<sub>2</sub>. В отдельных случаях полые шпиндели большого диаметра делают из чугуна СЧ 20.

Вращение на шпиндель передается либо зубчатой передачей при частоте вращения  $n < 2000 \text{ мин}^{-1}$ , либо ременной передачей при  $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$ . При высоких частотах вращения шпиндель получает движение от пневмотурбины ( $n < 90\,000 \text{ мин}^{-1}$ ) или высокочастотного асинхронного двигателя ( $n \approx 150\,000 \text{ мин}^{-1}$ ).

Важнейшими элементами шпиндельных узлов являются опоры, представляющие собой либо подшипники качения, либо подшипники скольжения. Экономичность, удобство обслуживания и простота регулирования зазора-натяга явились причинами более широкого распространения в станках подшипников качения. В тех

Рис. 7.7. Типовые схемы шпиндельных опор:

А — низкоскоростные: а —  $dn < (1 \dots 1,4) 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ; б —  $dn < (1,5 \dots 1,8) \times 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ; в —  $dn < (1,6 \dots 2) 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ; Б — среднескоростные: г —  $dn < (2,5 \dots 3,5) 10^5 \text{ мм} \times \text{мин}^{-1}$ ; д —  $dn < (3 \dots 4,5) 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ; е —  $dn < (4 \dots 5) 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ; В — высокоскоростные: ж —  $dn < (5 \dots 6) 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ; з —  $dn < (5 \dots 8) 10^5 \text{ мм} \times \text{мин}^{-1}$ ; и —  $dn < (7 \dots 10) 10^5 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$



случаях, когда подшипники качения не могут обеспечить требуемые точность и долговечность шпиндельного узла, используют подшипники скольжения.

В станкостроении получили распространение типовые конструктивные схемы шпиндельных узлов, примеры которых приведены на рис. 7.7. В шпиндельных узлах, выполненных по этим схемам, осевая нагрузка воспринимается передней опорой, а задняя делается плавающей. Это увеличивает радиальную жесткость узла и уменьшает влияние тепловых деформаций шпинделя на положение его переднего конца. Шпиндельный узел характеризуется быстроходностью  $dn$ , где  $d$  — диаметр отверстия под подшипник, мм;  $n$  — частота вращения шпинделя,  $\text{мин}^{-1}$ . С увеличением быстроходности снижается жесткость шпиндельного узла.

В шпиндельных опорах качения применяются как стандартные подшипники (шариковые радиально-упорные и роликовые конические одно- и двухрядные), так и специальные шпиндельные, например роликовые двухрядные с шахматным расположением цилиндрических роликов (тип 318200), имеющие повышенные грузоподъемность и жесткость.

Класс точности подшипников качения, установленных в шпиндельных опорах, связан с классом точности станка: с увеличением класса точности станка увеличивается точность подшипников, причем в задней опоре для станков классов точности II и В используют подшипники более низких классов точности, чем классы точности подшипников в передней опоре.

Жесткость шпиндельных узлов может быть существенно увеличена путем создания натяга в подшипниках качения.

Натяг можно создавать смещением в осевом направлении наружных колец относительно внутренних либо радиальным деформированием внутреннего кольца (тип 318200), возникающим при смещении внутреннего кольца на конической шейке шпинделя. В некоторых конических роликовых подшипниках (например, тип 17000) натяг создается осевым смещением наружного кольца, встроенными в него пружинами. Точность регулирования натяга в конечном счете определяет работоспособность шпиндельного узла. Регулирование натяга производят с помощью специальных приспособлений либо на станке, либо вне станка при сборке. Чрезмерный натяг снижает долговечность подшипника и увеличивает тепловыделение. Для станков класса точности Н допустимая температура нагревания наружного кольца подшипника равна  $70^{\circ}\text{C}$ . У более точных станков она намного ниже и для класса С составляет  $28\text{—}30^{\circ}\text{C}$ .

Уровень выделения теплоты и надежность работы шпиндельного узла зависят также от метода смазывания. При больших значениях быстроходности ( $dn \cdot 10^{-5} = 5,5 \dots 10 \text{ мм} \cdot \text{мин}^{-1}$ ) используют смазывание под давлением, погружением и масляным туманом. Для малых значений  $dn$  применяют смазывание капельное, циркуляционное и разбрызгиванием. При низких значениях  $dn$  в шпиндельных узлах, работающих в наклонном и вертикальном положении, используют твердые смазочные материалы.

Для защиты подшипников от пыли, грязи и охлаждающей жидкости используют специальные шпиндельные уплотнения, которые препятствуют также вытеканию смазочного материала. Преимущественное применение в шпиндельных узлах имеют бесконтактные лабиринтные уплотнения, которые снижают выделение теплоты и практически не изнашиваются.



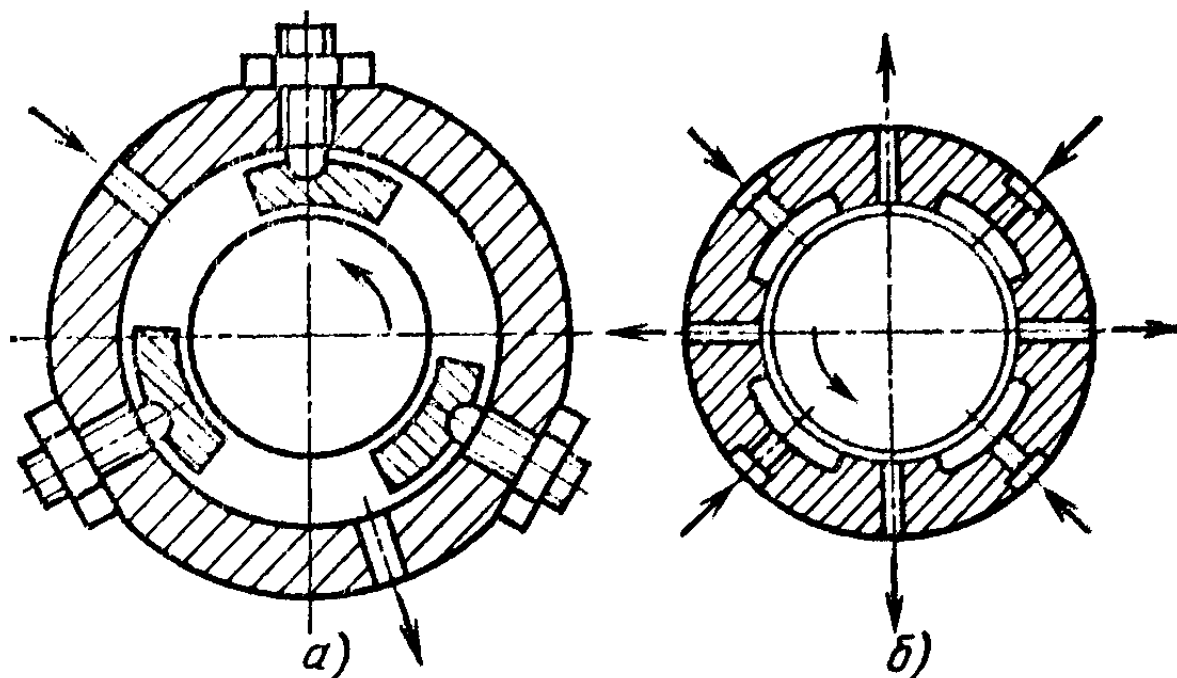


Рис. 7.8. Гидравлические и гидростатические шпиндельные подшипники

В качестве опор скольжения в шпиндельных узлах используют либо гидродинамические, либо гидростатические подшипники.

Гидродинамические подшипники применяют преимущественно в станках шлифовальной группы, где шпиндели вращаются с высокими, почти постоянными угловыми скоростями в условиях малых нагрузок. В станках используют многоклиновые гидродинамические подшипники, в которых масло увлекается вращающимся валом (шпинделем) в клиновидный зазор между шейкой шпинделя и самоустанавливающимся башмаком подшипника (рис. 7.8, а). Таким образом, в объемах масла, находящихся в клиновых зазорах, создается гидродинамическое давление, достаточное для обеспечения режима жидкостного трения между шейкой и башмаком подшипника. В отечественном станкостроении используют гидродинамические подшипники двух типов: ЛОН34 и ЛОН88. В качестве рабочей жидкости применяют масло «Индустриальное И-5А». Недостатком гидродинамических подшипников является радиальное смещение оси шпинделя при изменении частоты его вращения.

Нагрузочная способность гидростатических опор не зависит от угловой скорости шпинделя. Кроме того, эти опоры обладают высокой демпфирующей способностью и практически неограниченной долговечностью, что обеспечивает высокую точность вращения (в 10 раз большую, чем у гидродинамических опор). Работа гидростатических подшипников (рис. 7.8, б) основана на нагнетании насосом масла в зазор между шейкой шпинделя и подшипни-

ком. В результате в зазоре создается и поддерживается несущий масляный слой, который сохраняется как при вращающемся, так и при неподвижном шпинделе. В качестве рабочей среды в высокоскоростных гидростатических подшипниках используют минеральное масло минимальной вязкости. При желании увеличить демпфирующую способность используют масла большей вязкости.

Недостатком гидростатических опор является сложность систем питания их маслом. Эти системы приходится оснащать устройствами сбора масла, стабилизации его температуры и оборудовать фильтрами тонкой очистки.

В небольших прецизионных станках с большой частотой вращения шпинделя находят применение аэростатические подшипники. Принцип работы этих подшипников почти такой же, как у гидростатических опор. Различие состоит в том, что здесь вместо масла в зазор подается воздух под давлением 0,3—0,4 МПа, который создает воздушную подушку, удерживающую шпиндель во взвешенном состоянии. Нагрузочная способность этих подшипников невелика, но применение воздуха в качестве рабочей среды снижает до минимума потери на трение.

#### § 7.4. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Несмотря на тенденцию сокращения числа зубчатых передач в приводах станков, вызванную применением электродвигателей с регулируемой частотой вращения, эти передачи продолжают оставаться основными элементами кинематических цепей станков. Наиболее широко они используются в станках с ручным управлением и значительно меньше — в станках с ЧПУ. Находят применение цилиндрические (рис. 7.9, а), конические (рис. 7.9, б), червячные (рис. 7.9, в), реечные (рис. 7.9, г) и червячно-реечные передачи (рис. 7.9, д). Передача включает ведущие и ведомые звенья (зубчатые колеса), соотношение движений между которыми определяется передаточным числом  $u$ , представляющим собой отношение числа зубьев  $z_2$  ведомого колеса к числу зубьев  $z_1$  ведущего колеса:  $u = z_2/z_1$ . Учитывая, что окружные скорости зацепляющихся зубчатых колес одинаковы  $v = \pi m z_1 n_1 = \pi m z_2 n_2$ , передаточное число можно выразить:  $u = n_1/n_2 = d_2/d_1$ . При определении частот вращения

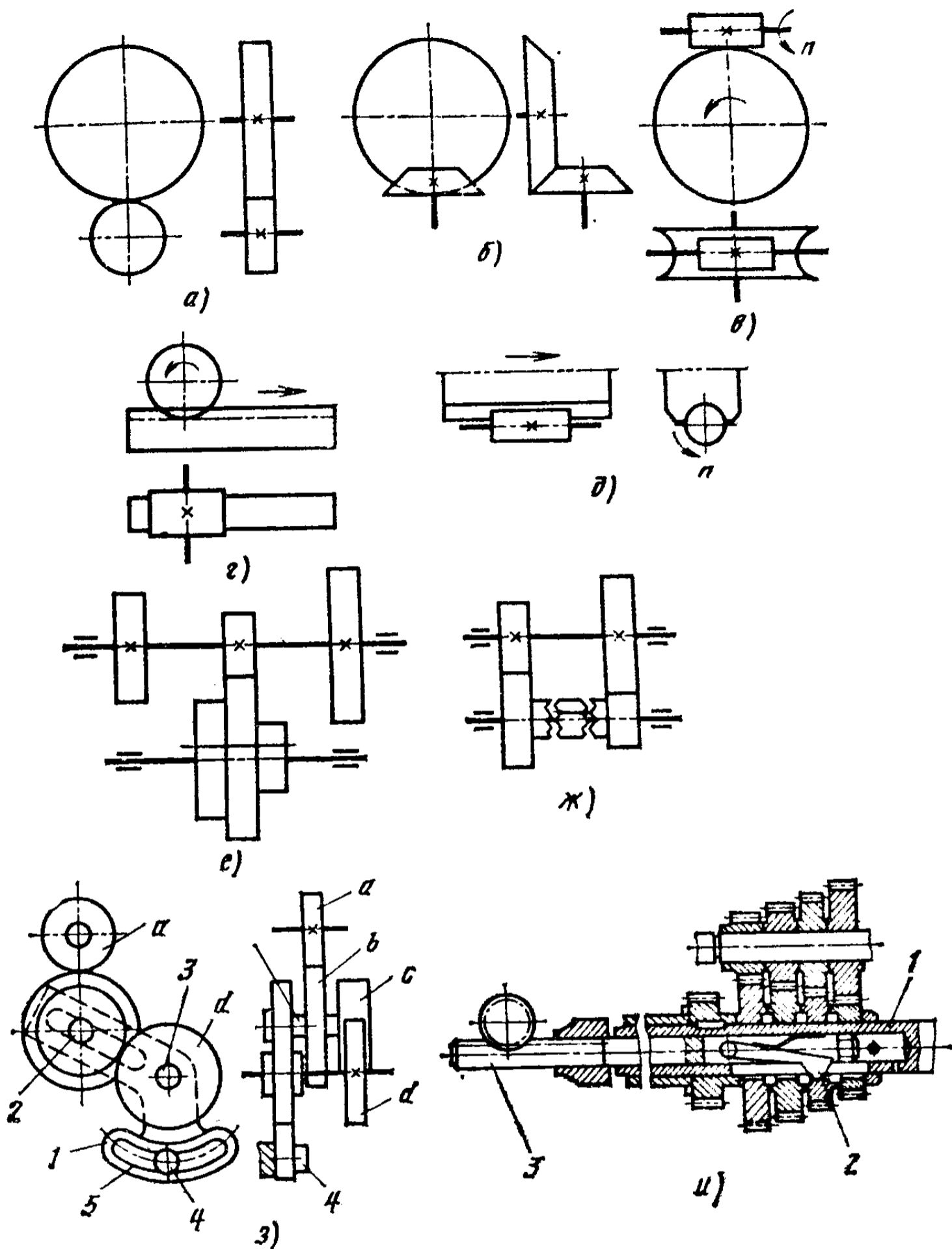


Рис. 7.9. Зубчатые механизмы металлорежущих станков

ведомого вала  $n_2$  удобнее пользоваться величиной, обратной передаточному числу — передаточным отношением  $i = 1/u$ , и тогда  $n_2 = n_1 i = n_1 (z_1/z_2) = n_1 (d_1/d_2)$ .

Зубчатые передачи используют в коробках скоростей и подач для получения рядов частот вращения их выходных элементов — шпинделей, ходовых валов и т. д. Изменение частот вращения этих элементов осуществляется передвижными блоками зубчатых колес

(рис. 7.9, с), муфтами (рис. 7.9, ж), гитарами сменных колес (рис. 7.9, з), наборами колес с вытяжной шпонкой (рис. 7.9, и). Передвижные блоки применяют в коробках скоростей и подач универсальных станков в виде двух или трехвенцовых блоков колес (рис. 7.9, с).

Передачи с передвижными блоками просты и надежны, но значительно увеличивают осевые размеры коробок, не допускают переключения на ходу и использования косозубых колес. Эти недостатки в значительной степени устранены в коробках, где для переключения служат фрикционные муфты. При использовании муфт зубчатые колеса находятся в постоянном зацеплении, а передача крутящего момента на вал происходит только при включении соответствующей муфты. Постоянное зацепление всех зубчатых колес ускоряет их изнашивание и увеличивает потери мощности на трение в таких коробках.

Гитары сменных колес применяют при необходимости точной настройки подач, обеспечивая передаточные отношения до  $i_{\min} = 1/8$ . В станках используют двухпарные гитары и при необходимости особо высокой точности подбора передаточных отношений — трехпарные гитары. В отличие от коробок с передвижными блоками, где расстояние между валами неизменно ( $z_1 + z_2 = z_3 + z_4 = \dots = \text{const}$ ), в гитарах имеется приклон  $l$  (рис. 7.9, з), поворачивающийся на оси 3; в радиальном пазу приклона  $l$  закрепляется ось 2 колес  $b, c$ . Приклон в положении, соответствующем нормальному зацеплению колес  $a, b, c, d$ , фиксируется своим дуговым пазом 5 и винтом 4. Для установки подобранных сменных колес без задевания ими соседних валов необходимо соблюдать условия зацепляемости:  $a + b \geq c + (15 \dots 20)$ ;  $c + d \geq b + (15 \dots 22)$ . Также необходимо, чтобы  $0,2 \leq i \leq 2,8$ .

В некоторых коробках подач легких и средних станков использованы наборы колес с вытяжной шпонкой (рис. 7.9, и). Наборы выполняют в виде двух встречных конусов, расположенных на параллельных валах. Ведущие колеса закреплены на валу, а колеса ведомого вала 1 поочередно соединяются с ним вытяжной шпонкой 2, перемещаемой со штангой 3 вдоль паза и центрального отверстия вала 1.

Особое место среди зубчатых передач занимают планетарные цилиндрические и конические передачи, в состав которых входят колеса 1, установленные на движущихся осях (рис. 7.10). Эти колеса называют сателлитами. Их

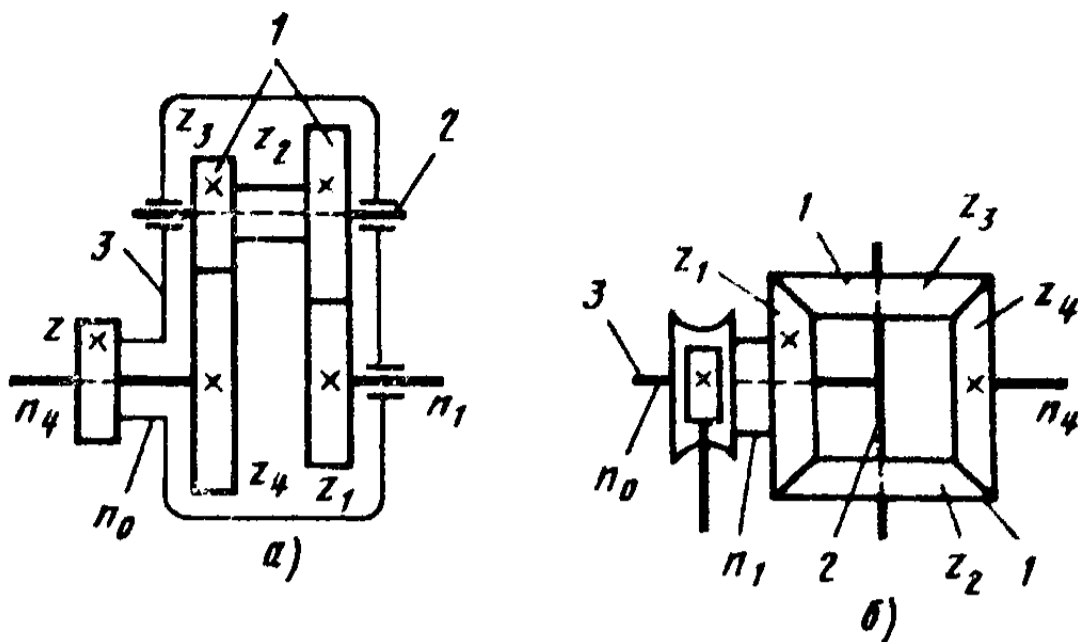


Рис. 7.10. Дифференциальные цилиндрические (а) и конические (б) передачи

оси 2 установлены на подвижном звене передачи — водиле 3 и обкатываются вокруг центральных колес  $z_1$  и  $z_4$ . Передаточное отношение планетарной передачи определяется как  $i_{пл} = 1 - (z_1 z_3)/(z_2 z_4)$ . При совпадении направлений вращения ведущего и ведомого валов передачи  $i_{пл} < 1$ , при различных направлениях  $i_{пл} > 1$ .

С целью увеличения диапазона настройки в кинематических цепях станков широко используют суммирующие (дифференциальные) механизмы, предназначенные для алгебраического сложения скоростей однородных движений. В качестве таких механизмов применяют реечные, винтовые, червячные, планетарные и другие передачи. Наиболее распространены планетарные передачи, которые позволяют по сравнению с передвижными блоками сократить габаритные размеры и массу в 1,5—5 раз и снизить потери на трение.

Планетарная передача в качестве дифференциала используется в станке 2620В в цепи привода радиального суппорта планшайбы (рис. 7.10, а). Ведущим элементом в этой передаче является водило с зубчатым колесом  $z_1$ , ведомым элементом — колесо  $z_4$ . Частота вращения валов дифференциала для всех возможных вариантов передачи движения может быть рассчитана по формуле Виллиса

$$\frac{n_1 - n_0}{n_4 - n_0} = \frac{z_2}{z_1} \frac{z_4}{z_3} (-1)^m,$$

где  $m$  — число наружных зацеплений (в нашем случае  $m = 2$ ). Передаточное отношение конического диффе-

ренциала можно также определить по формуле Вил-  
лиса:

$$\frac{n_4 - n_0}{n_1 - n_0} = - \frac{z_3}{z_4} \frac{z_1}{z_2} = - 1,$$

так как  $z_2 = z_3$ ,  $z_1 = z_4$  (индексы при  $z$  совпадают с индексами соответствующих зубчатых колес на рис. 7.10, б). Знак «минус» перед единицей означает, что вращение колес  $z_1$  и  $z_4$  происходит в разных направлениях (при неподвижном водиле). Так, например, при одновременном вращении водила и колеса  $z_1$  ведомым является колесо  $z_4$ , для которого  $n_4 = 2n_0 \pm n$ . В этой формуле и подобных ей формулах знак «минус» — при одинаковых направлениях вращения ведущих звеньев дифференциала, а «плюс» — при разноименных направлениях вращения.

Все механизмы прямолинейного движения могут быть разделены на механические, гидравлические и электрические. Механические устройства кинематически преобразуют вращательное движение в поступательное. В гидравлических и электрических устройствах прямолинейное движение является результатом изменения объема рабочей среды в гидроцилиндре или силы тока в соленоиде. В металлорежущих станках прямолинейное движение может осуществляться реечными, винтовыми, кулачковыми механизмами. Источником возвратно-поступательного прямолинейного движения являются кривошипно-кулисные механизмы (рис. 7.11).

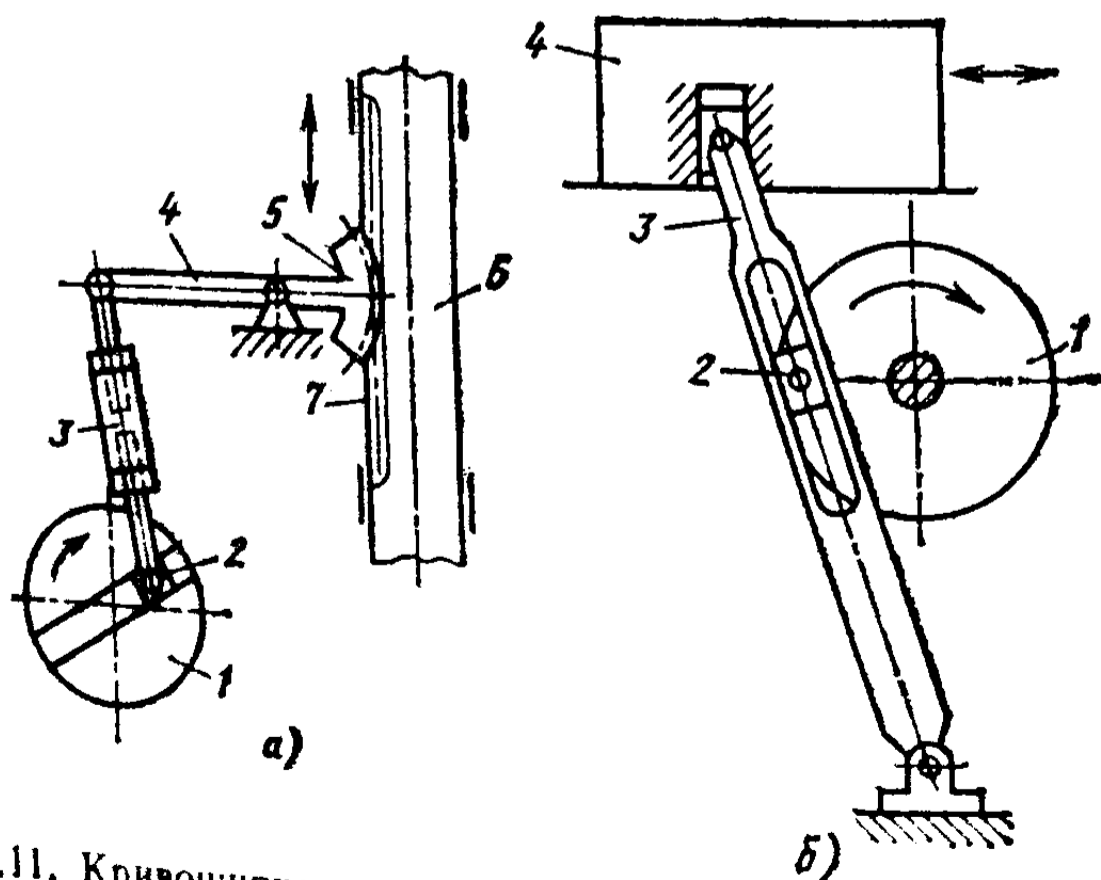


Рис. 7.11. Кривошипно-кулисные механизмы

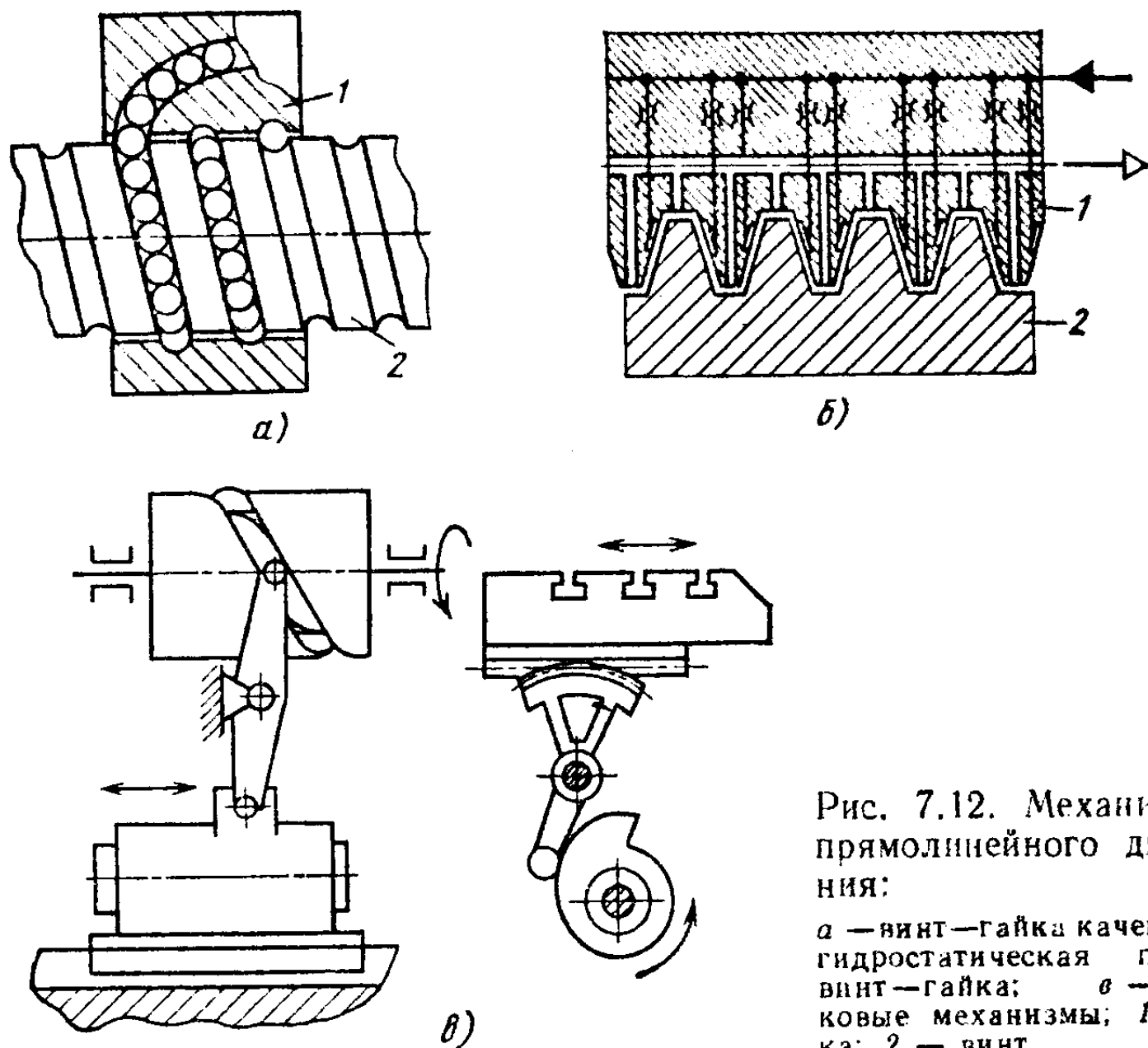


Рис. 7.12. Механизмы прямолинейного движения:

а — винт—гайка качения; б — гидростатическая передача винт—гайка; в — кулачковые механизмы; 1 — гайка; 2 — винт

Реечные передачи (см. рис. 7.9, з, д) используют в приводах формообразующих и вспомогательных движений. В этих передачах за один оборот реечной шестерни с числом зубьев  $z$  рейка перемещается на расстояние  $S = \pi m z$ . По сравнению с реечными червячно-реечные передачи обеспечивают большую плавность. Червяк в этих передачах может располагаться параллельно или под углом к рейке. В механизмах винт—гайка реализуется либо трение скольжения (велики потери на трение и износ), либо трение качения. При трении качения винт контактирует с гайкой через катящиеся шарики (ролики). Шарики прокатываются по винтовым канавкам винта и гайки, периодически проходя канал возврата (см. рис. 7.12, а). Эти передачи имеют устройства для устранения зазоров и создания предварительного натяга, что в станках с ЧПУ обеспечивает динамическую устойчивость и точность отработки перемещений. Стремление максимально снизить трение привело к созданию гидростатических передач винт—гайка (см. рис. 7.12, б), работающих в условиях жидкостного трения. Слой масла, нагнетаемый насосом в зазор между рабочими поверх-

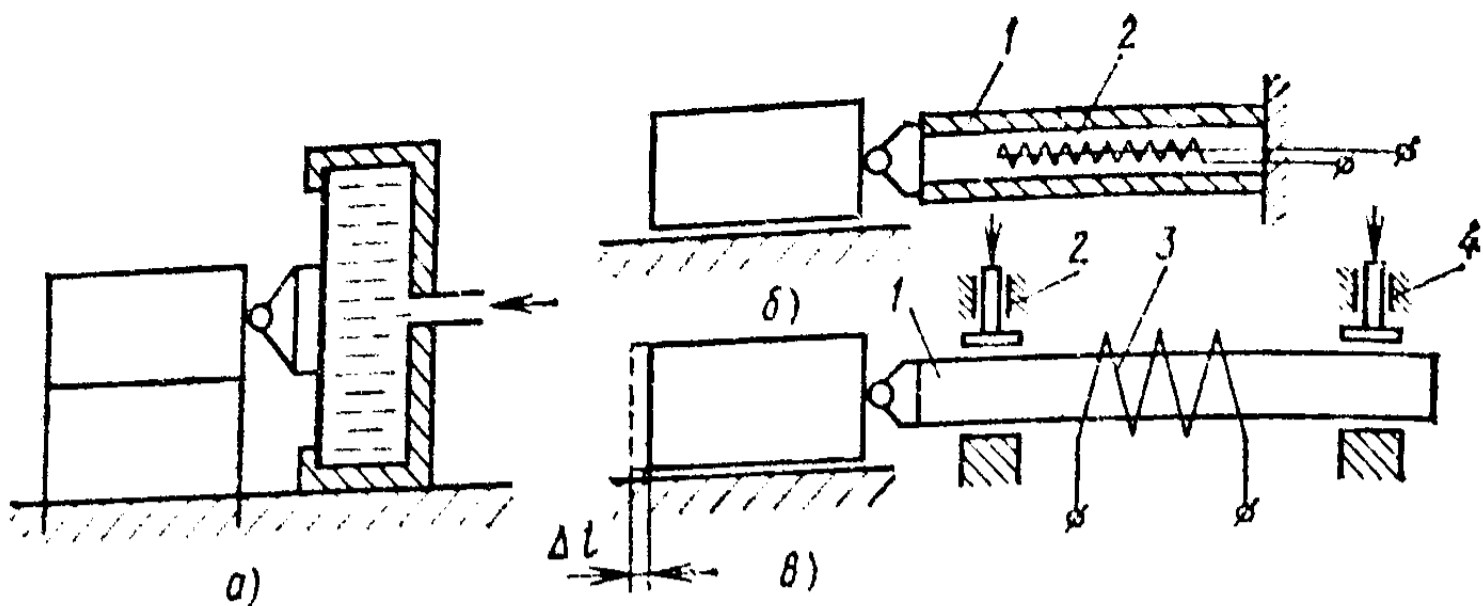


Рис. 7.13. Механизмы малых перемещений

ностями винта и гайки, предотвращает изнашивание, повышает точность и КПД.

Кулачковые механизмы (см. рис. 7.12, в), преобразующие вращательное движение в поступательное, находят применение главным образом в автоматах. Используют механизмы с вращающимися цилиндрическими и плоскими кулачками, изменение положения рабочего профиля которых преобразуется системой рычагов и зубчатых передач в поступательное перемещение исполнительных органов (суппортов, головок и т. д.).

Кривошипно-кулисные механизмы применяются в приводах возвратно-поступательного движения. В кривошипном механизме (рис. 7.11, а) вращение диска 1 с переставляющимся в радиальном направлении пальцем 2 через шатун 3 и рычаг 4 с зубчатым сектором 5 преобразуется, например, в зубодолбежном станке в возвратно-поступательное перемещение штосселя 6, зубчатая рейка 7 которого зацепляется с сектором 5. В кулисном механизме (рис. 7.11, б) кривошипное колесо 1 своим пальцем 2 сообщает качательное движение рычагу 3, связанному с ползуном 4, например, поперечно-строгального или долбежного станка. Недостатком кулисного механизма является неравномерность скорости ползуна и постоянство соотношения времени рабочего и вспомогательного хода.

Особое место среди механизмов прямолинейного движения занимают устройства малых перемещений, применяемые в прецизионных станках. Эти устройства обеспечивают очень малые подачи или импульсные перемещения. Работа этих устройств основана на деформировании передающих звеньев. Так, в упругосиловом приводе (рис. 7.13, а) перемещение происходит благодаря упру-



гому деформированию приводного звена (мембраны) при увеличении давления в гидросистеме.

В термодинамическом устройстве использовано тепловое расширение стержня, связанного одновременно с неподвижным и подвижным ведомым узлом станка (рис. 7.13, б). Нагрев стержня 1 производится нагревательным элементом 2, размещенным в его отверстии. Недостатком термодинамических устройств малых перемещений является их высокая инерционность.

Максимально снизить инерционность приводов малых перемещений позволяет использование магнитострикционных устройств (рис. 7.13, в). В этих устройствах используется эффект изменения длины ферромагнитного стержня 1 (никель, кобальт) под действием магнитного поля. Магнитострикционные устройства применяют обычно в сочетании с жестко закрепленными зажимами 2 и 4, позволяющими увеличить длину хода. Это достигается поочередным включением зажимов, согласованным с подачей тока в катушку 3. Ток в катушку 3 подается только после включения зажима 2. Наведенное в катушке 3 магнитное поле удлиняет стержень 1 в направлении движения подачи на величину  $\Delta l$ , после чего последовательно включается зажим 4, отключается зажим 2 и отключается ток. Затем опять включается зажим 2 и цикл повторяется.

Реверсивные механизмы являются составными элементами кинематической цепи, передающей движение от двигателя к исполнительному органу. Эти механизмы могут не только изменять направление движения, но и изменять передаточные отношения при реверсировании, что используется, например, для увеличения скорости вспомогательных ходов в зубострогальных станках 5А250, 5236П и токарно-винторезных станках при нарезании резьбы за несколько рабочих ходов.

По принципу работы реверсивные механизмы делятся на механизмы с постоянно зацепляющимися зубчатыми колесами и механизмы с периодически зацепляющимися колесами. Первые допускают использование косозубых колес и исключают повышенный износ торцов зубьев при переключениях, поэтому их применяют чаще. В реверсивных механизмах с постоянно зацепляющимися колесами переключение обычно производится двусторонними фрикционными муфтами (рис. 7.14, а, б). А в реверсивных механизмах с периодически зацепляю-

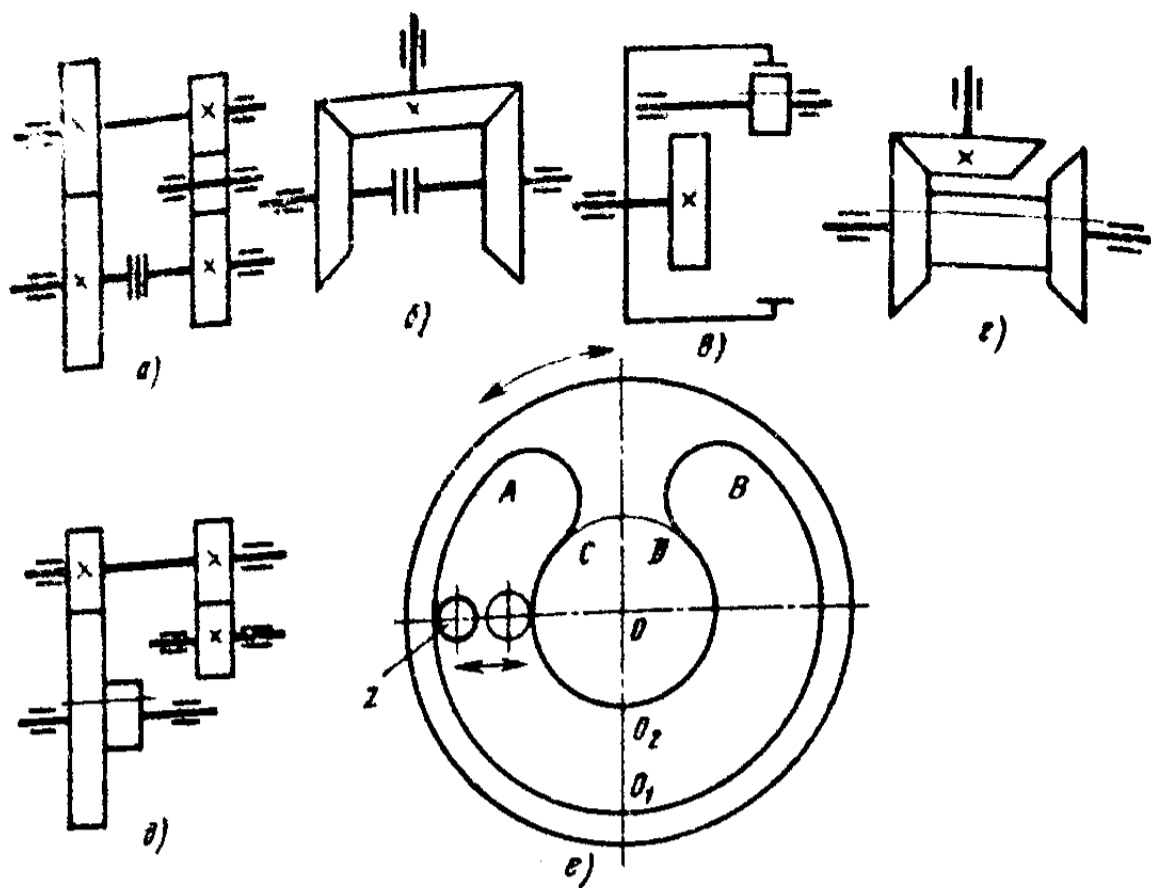


Рис. 7.14. Реверсивные механизмы

шимися колесами реверсирование осуществляется передвижными зубчатыми колесами (рис. 7.14, в, г, д).

Особое место среди реверсивных механизмов занимает механизм, использующий составное зубчатое колесо (рис. 7.14, е), в котором ведущая шестерня  $z$  за один полный цикл смещается вдоль радиуса составного колеса с С-образным зубчатым венцом. Направление вращения составного колеса (ведомый элемент) меняется на противоположное (с одновременным изменением угловой скорости) при переходе колеса  $z$  от внешнего зацепления (участок  $CO_2D$ ) к внутреннему зацеплению (участок  $AO_1B$ ) или наоборот. Подобные реверсивные механизмы используют в станках для нарезания конических колес с прямым и винтовым зубом.

Наряду с механическим реверсированием в металло-режущих станках широко применяют электрическое реверсирование — путем изменения направления вращения электродвигателя привода — и гидравлическое — путем изменения с помощью золотниковых гидрораспределителей направления рабочей жидкости в гидродвигателе.

## § 7.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВАРИАТОРЫ

Механические вариаторы находят применение в кинематических цепях некоторых станков (например, настольно-сверлильных) для бесступенчатого изменения

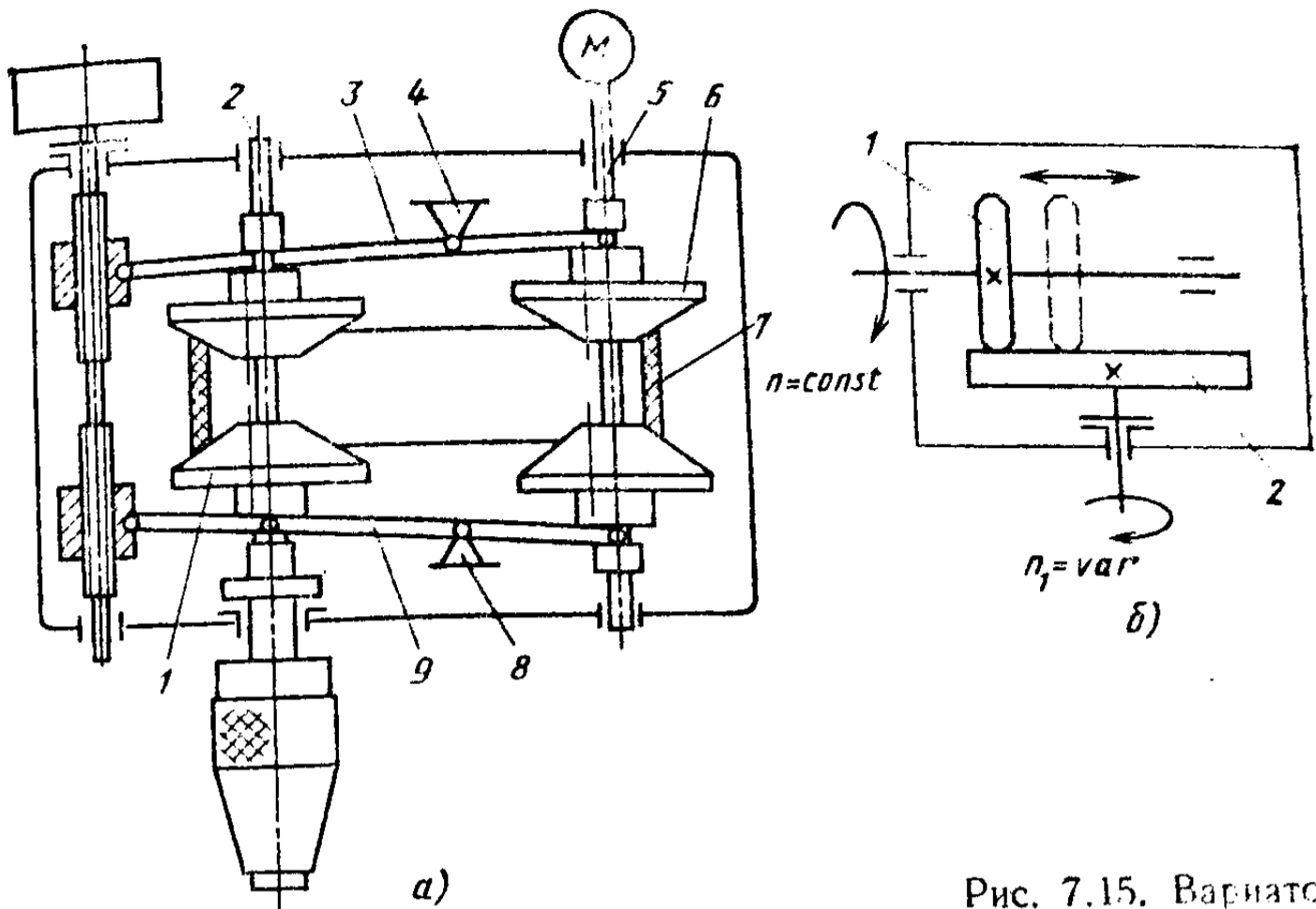


Рис. 7.15. Вариаторы

передаточных отношений. Вариаторы позволяют с большой точностью регулировать скорость перемещения исполнительных органов без их остановки, что используется в случаях точной настройки режима обработки или при необходимости сохранения постоянной скорости резания, например при изменении диаметра обрабатываемой поверхности. Наибольшее распространение получили вариаторы на основе ременных и фрикционных передач, в которых регулирование передаточных отношений обеспечивается изменением радиального положения точек контакта передающих элементов.

В станках малой мощности распространены вариаторы с раздвижными коническими шкивами, соединенными клиновидным ремнем (рис. 7.15, а). Изменение частоты вращения ведомого вала производится путем поворота вокруг осей 4 и 8 рычагов 3 и 9, которые, сдвигая и раздвигая шкивы 1 и 6 на валах 2 и 5, изменяют значение радиуса, на котором клиновидный ремень 7 контактирует со шкивами. Изменение этого радиуса приводит к снижению или увеличению частоты вращения ведомого вала 2.

Из фрикционных вариаторов наиболее часто используют лобовые вариаторы. В лобовом вариаторе (рис. 7.15, б) ведущий ролик 1, контактирующий с торцом ведомого диска 2, перемещается в радиальном на-

правления и тем самым изменяет частоту вращения диска 2.

Наиболее характерными недостатками вариаторов рассмотренных типов являются: значительные потери на трение, наличие проскальзывания и нежесткой кинематической характеристики.

## § 7.6. МЕХАНИЗМЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Механизмы периодических движений используются в кинематических цепях, которые обеспечивают приведение в движение исполнительных органов и вспомогательных механизмов, выполняющих периодические перемещения в рабочем цикле станка. Задачей таких механизмов является преобразование непрерывных движений в периодические вращательные или поступательные с заданными частотой и амплитудой. Наиболее часто в качестве механизмов периодических движений используют кулачковые, храповые и мальтийские механизмы.

Кулачковые механизмы широко применяют в станках-автоматах для преобразования вращательного движения кулачка в поступательное перемещение исполнительного органа (суппорта) или вспомогательного механизма. Применяются механизмы как с дисковыми (плоскими), так и с цилиндрическими (барабанными) кулачками (см. рис. 7.12, в).

Храповые механизмы используют для создания периодических движений, которые согласуются с другими периодическими движениями (скорости резания или подачи) и совершаются в период, когда резание не происходит (вспомогательный ход, перебег). Эти механизмы применяют на поперечно- и продольно-строгальных станках для выполнения движения подачи, на шлифовальных — для перемещения шлифовального круга и механизма правки.

Конструктивно храповой (рис. 7.16, а) механизм состоит из поворотного рычага 1 с собачкой 3, храпового колеса 2, закрепленного на валу 4, с ограничителем 5. При вращении от шатуна 6 поворотный рычаг 1 своей собачкой 3 захватывает  $K$  зубьев храпового колеса 2 и при обратном ходе шатуна 6, зацепляясь собачкой за один из зубьев колеса, поворачивает его вместе с валом 4 на угол  $\varphi = 360 K/z_{\text{хр}}$ , где  $z_{\text{хр}}$  — число зубьев храпового колеса. При постоянном угле поворота ры-

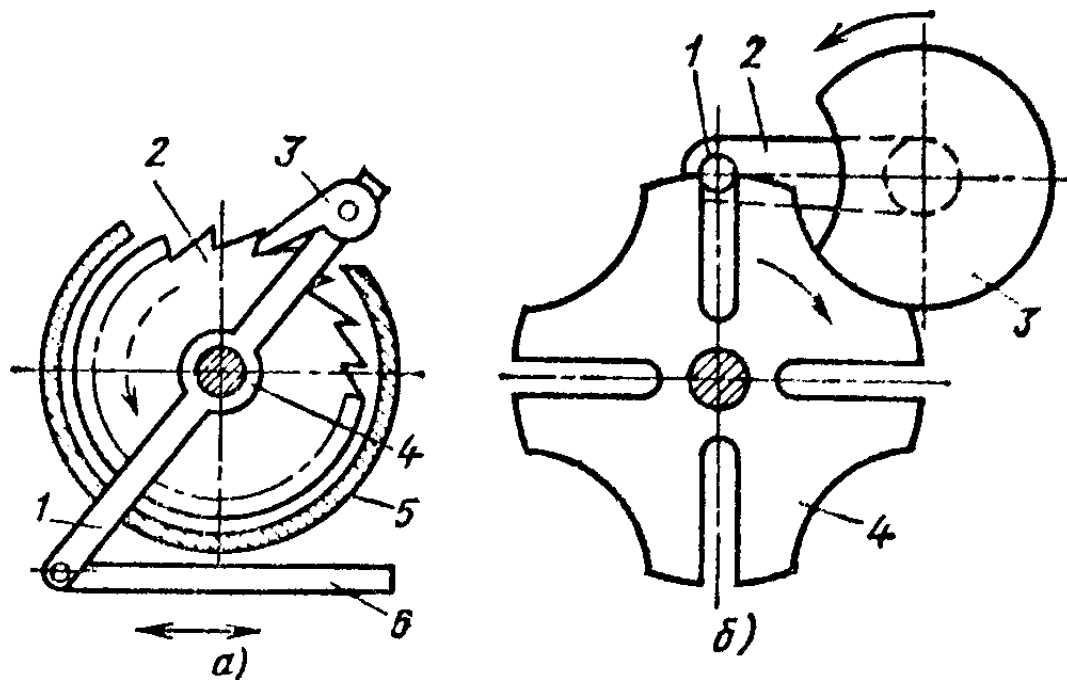


Рис. 7.16. Механизмы периодических движений

чага  $1$ , изменяя положение ограничителя и соответственно  $K$ , можно регулировать угол поворота вала  $4$ .

Мальтийские механизмы используют для периодического поворота на постоянный угол устройств станка, несущих инструменты и заготовки (револьверные головки, шпиндельные блоки токарных автоматов, многопозиционные столы агрегатных станков и т. д.). Конструктивно мальтийский механизм (рис. 7.16, б) состоит из водила  $2$  с пальцем  $1$  и фиксирующим сегментом  $3$  и мальтийского креста  $4$  в виде диска или чашки с  $z$  пазами и фиксирующими вырезами. За один оборот водила крест  $4$  поворачивается на  $1/z$  часть окружности. После выхода пальца  $1$  из паза мальтийского креста водила фиксирующий сегмент заходит в вырез диска и фиксирует его до тех пор, пока палец  $1$  не войдет в следующий паз. Для безударной работы механизма необходимо, чтобы палец  $1$  водила входил и выходил из паза креста  $4$  в радиальном направлении. При необходимости изменения угла поворота части станка, вращаемой мальтийским механизмом, в кинематическую цепь между мальтийским крестом и поворачиваемой частью вводят сменные колеса с соответствующим передаточным отношением.

### § 7.7. МУФТЫ

Муфты в станках используют для соединения вращающихся валов и в зависимости от конкретных условий могут применять: для постоянного соединения валов; для периодического соединения и разъединения валов (сцепные муфты); для предотвращения аварий при

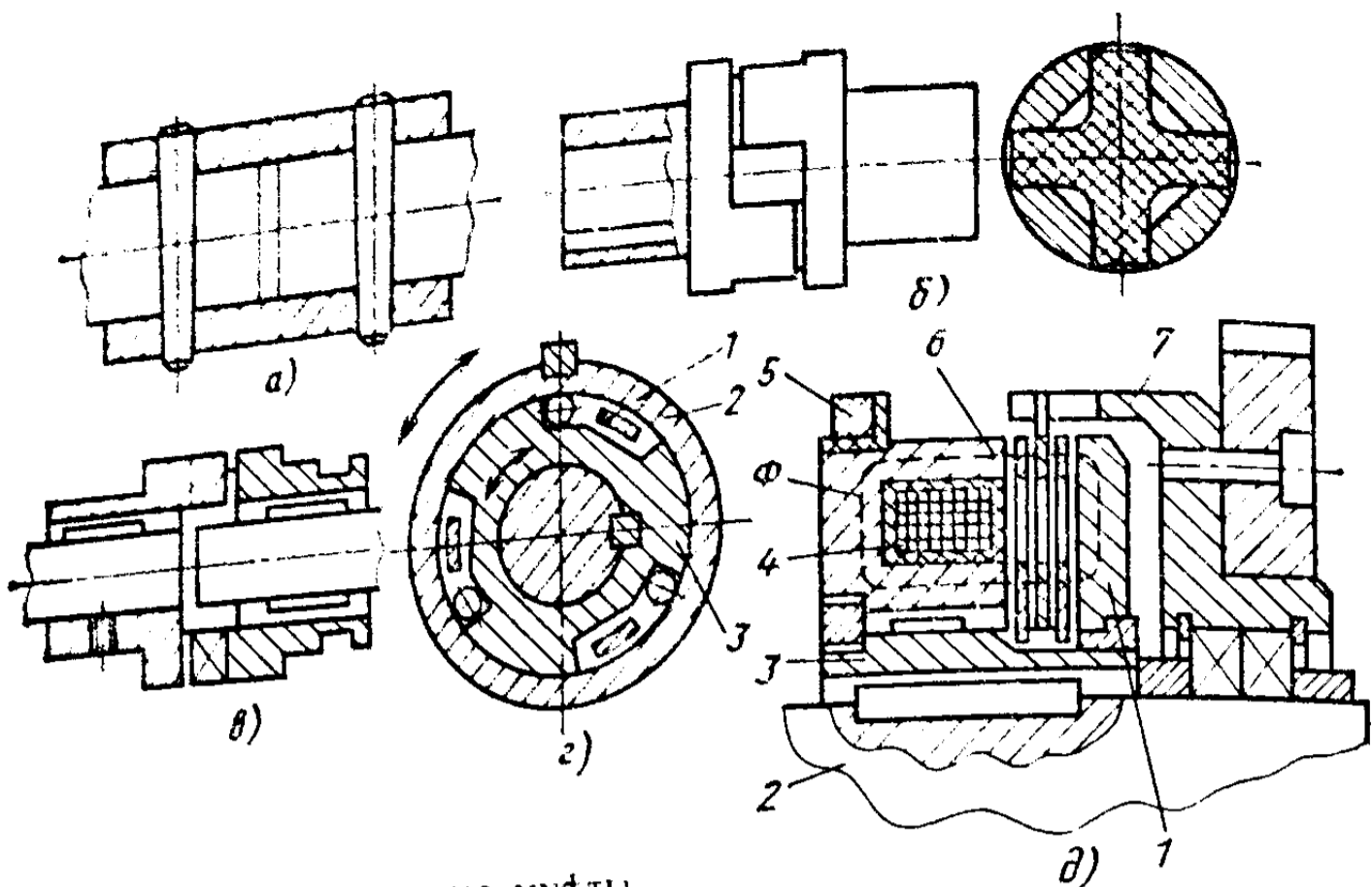


Рис. 7.17. Соединительные муфты

недопустимом возрастании нагрузки (предохранительные); для передачи вращения только в заданном направлении (обгонные).

При отсутствии отклонений от соосности для соединения валов используют постоянные муфты в виде жесткой втулки (рис. 7.17, а). Конструкции постоянных муфт с упругими элементами или промежуточными призматическими сухарями (рис. 7.17, б) допускают угловое (до  $30-40'$ ) и параллельное (до  $0,2$  мм) смещение соединяемых валов. Для соединения валов с пересекающимися осями применяют одинарные или сдвоенные шарнирные муфты.

В качестве сцепных муфт используют различные кулачковые муфты (рис. 7.17, в), состоящие из двух частей, одна из которых жестко закреплена на одном валу, а вторая — на шпонках или шлицах ведомому валу. Во многих случаях в качестве сцепных муфт используют муфты, передающие крутящий момент через диски трения.

Обгонные муфты (роликовые) передают крутящий момент благодаря силам трения, возникающим при заклинивании роликов (рис. 7.17, г). Условия для заклинивания роликов в клиновидных щелях между ступицей 3 и обоймой 2 возникают вследствие разности окружных скоростей ступицы и обоймы. При реверсировании вращения ступицы ролики принудительно выталкиваются из клиновидных щелей специальной поводковой вилкой 1.

Предохранительные муфты разделяют на муфты с разрушаемым элементом — срезным штифтом, сечение которого рассчитано на передачу заданного крутящего момента, и муфты со смещаемыми под действием предельной нагрузки элементами (кулачковые, шариковые и фрикционные).

Наиболее широкое распространение в приводах главного движения, подач и вспомогательных перемещений получили электромагнитные муфты (ГОСТ 21573—76 и ГОСТ 21574—76). Их использование позволяет автоматически проводить переключение передач, торможение и реверсирование под нагрузкой. Крутящий момент в этих муфтах (рис. 7.17, *д*) передается двумя группами магнитопроводящих дисков трения, одна из которых зацепляется с поводком 7, а вторая размещена на шлицах втулки 3, закрепленной на ведущем валу 2. Магнитный поток, создаваемый при подаче напряжения на катушку 4, замыкаясь по контуру  $\Phi$ , притягивает якорь 1 и пакет дисков к полюсам корпуса 6, чем обеспечивается фрикционное взаимодействие между дисками. После снятия напряжения происходит расцепление дисков благодаря упругим силам, создаваемым благодаря профилю дисков. В зависимости от исполнения выпускают муфты с контактным токоподводящим кольцом 5 (ЭТМ2) и муфты с бесконтактным токоподводом (ЭТМ4).

## § 7.8. МЕХАНИЗМЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Механизмы и устройства управления станками обеспечивают изменение режимов работы, включение и выключение движений, проведение подналадок. Конструкция этих механизмов и устройств в значительной степени определяет затраты вспомогательного времени и удобство обслуживания. Предпочтение отдается системам управления с минимальным числом элементов (рукояток, кнопок, тумблеров), обеспечивающих быстрое срабатывание, требуемую точность, безопасность, автоматизацию и согласованность (мнемоничность) действий рабочего с направлением движения управляемого исполнительного органа.

В механических системах управления переход от одного значения параметра (частота вращения, подача) к другому может осуществляться последовательным перебором всех промежуточных значений, избирательным

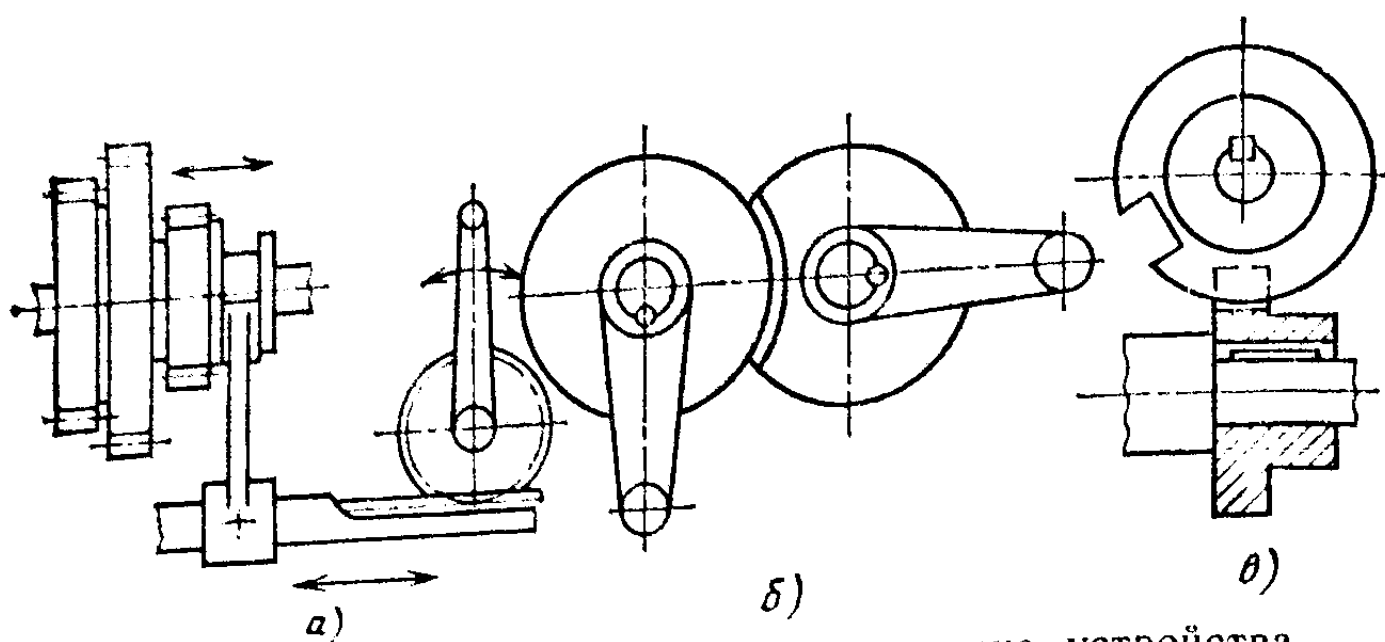


Рис. 7.18. Механизмы управления и блокирующие устройства

(селективным) переключением (минуя промежуточные значения) или путем предварительного (преселективного) набора заданного параметра во время выполнения предыдущего перехода. Преселективная система благодаря совмещению вспомогательного и основного времени наиболее существенно сокращает время на управление станком. В станках с ручным управлением наиболее удобны однорычажные системы (рис. 7.18, а), обеспечивающие как постоянные, так и переменные связи органов управления с объектами управления (блоки шестерен, муфты и т. д.).

Важным элементом механизмов и устройств управления являются различные блокирующие устройства, предотвращающие ошибочные включения (например, одновременное включение нескольких зубчатых передач), которые могут привести к поломкам и авариям. В качестве блокировок используются механические, электрические и гидравлические устройства. Примером механических устройств являются блокировочные устройства параллельных (рис. 7.18, б) и перпендикулярных (рис. 7.18, в) валов, устройства, ограничивающие ход, предотвращающие сход с направляющих, столкновения (жесткие упоры или механизмы с падающим червяком).

### § 7.9. СИСТЕМЫ СМАЗЫВАНИЯ, ОХЛАЖДЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ СТРУЖКИ

Задачей системы смазывания является обеспечение точности и долговечности станка путем создания смазочной пленки между трущимися поверхностями и устранение их чрезмерного нагрева. Неравномерный нагрев вызывает изменение формы базовых деталей и, как



следствие, потерю точности обработки. В зависимости от режима движения трущихся поверхностей системы смазывания обеспечивают непрерывную или периодическую подачу смазочного материала. В качестве смазочных материалов применяют жидкие масла И-20А, И-30А (ГОСТ 20799—75) и густые (пластичные) смазки: синтетический солидол С<sub>с</sub> (ГОСТ 4366—76), консталин жировой (ГОСТ 1957—73), смазку ЦИАТИМ 201 и др.

Автоматические линии и металлорежущие станки оборудуют централизованными системами смазывания, которые обеспечивают постоянную или периодическую подачу смазочного материала к наиболее нагруженным узлам. Централизованные системы включают насосы, реле и регуляторы давления, предохранительные клапаны, маслоуказатели, дозаторы, фильтры, трубопроводы и т. п.

Смазывание зубчатых передач и подшипников осуществляется разбрызгиванием. Быстроходные шпиндельные узлы смазывают путем создания масляного тумана. Этот вид смазывания улучшает отвод теплоты вследствие циркуляции воздуха, используемого для получения тумана, а также снижает расход масла и его утечки через зазоры. Наряду с централизованными системами в универсальных станках используется и ручное смазывание отдельных узлов. Хорошей иллюстрацией сочетания различных систем смазывания является токарно-винторезный станок (рис. 7.19). Он включает автоматические централизованные системы смазывания коробки скоростей (от насоса 4А) и механизма фартука (от насоса 4Б), полуавтоматическую систему смазывания каретки и поперечных салазок (от насоса 5Б) и ручное смазывание сменных шестерен, ходового винта, ходового вала и задней бабки. Все системы смазывания чувствительны к загрязнению, и поэтому их оборудуют фильтрами Ф (с магнитными вставками), установленными в напорных и сливных магистралях. Отработанное масло периодически заменяют.

Экономичность и точность при обработке резанием в значительной степени определяются эффективностью охлаждения режущего инструмента и заготовки. В связи с этим металлорежущие станки оборудуют системами подачи охлаждающей жидкости в зону обработки. Эти системы включают насосы, фильтры, клапаны, краны, трубопроводы и резервуары-отстойники. Параметры системы

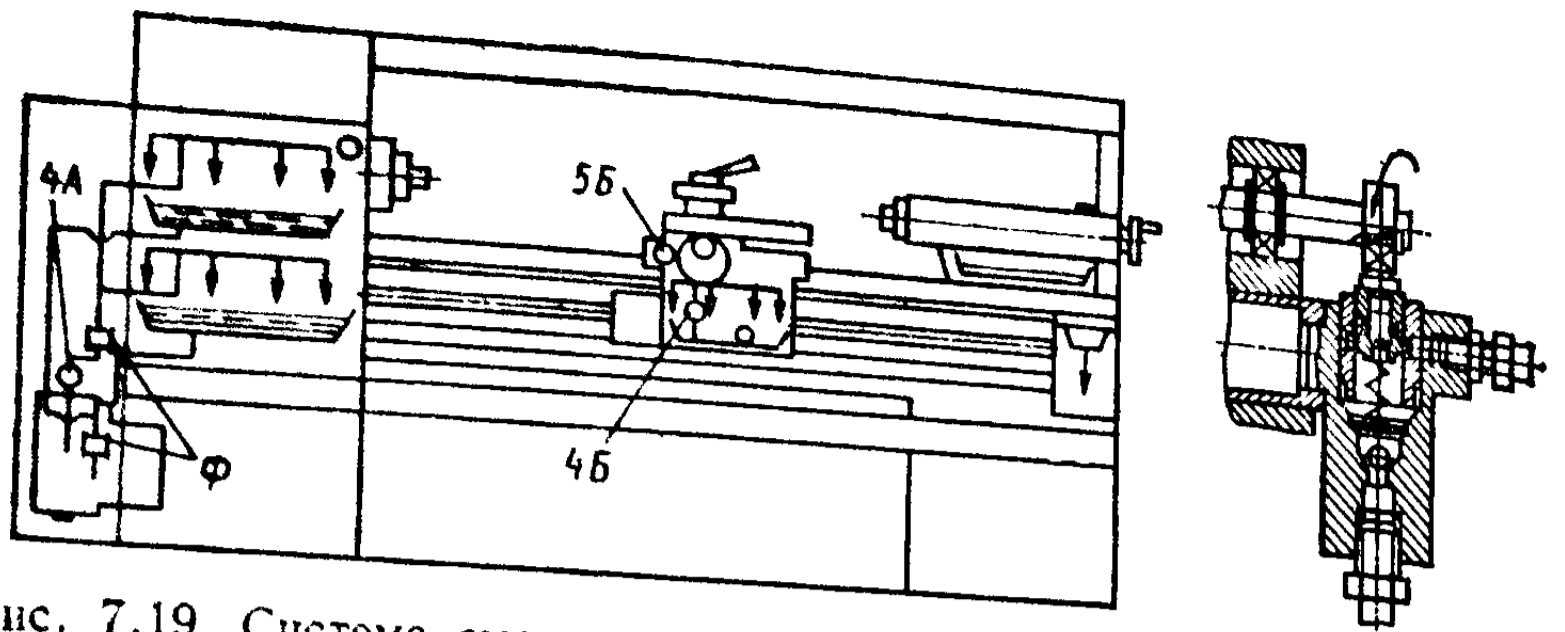


Рис. 7.19. Система смазывания токарно-винторезного станка

охлаждения определяются методом подвода жидкости и видом обработки (точение, сверление, шлифование и т. д.). Подача жидкости в зону резания может проводиться поливом, под высоким давлением, распыленной струей, через специальные оправки, каналы в теле инструмента и поры круга. Расход подводимой в зону обработки жидкости составляет: для осевого инструмента 3—6 л/мин; для резцов токарного автомата — до 15 л/мин; при шлифовании 5—7 л/мин на каждые 10 мм высоты шлифовального круга.

Металлообрабатывающие цехи с однотипными станками оснащают централизованными системами подачи СОТС, включающими установки для подготовки и регенерации СОТС, трубопроводы и средства подачи СОТС в зону резания. В последние годы значительное внимание уделяется установкам регенерации СОТС. Эти установки не только восстанавливают свойства использованных СОТС, но и проводят очистку сточных вод. Необходимость очистки вызвана тем, что в состав СОТС входят нефтепродукты, полимеры, синтетическое мыло, поверхностно-активные вещества, растворы электролитов, попадание которых в окружающую среду недопустимо. В зависимости от состава сточных вод проводится их механическая, физико-химическая, биохимическая или биологическая очистка.

Удаление стружки является одной из сложных проблем при обработке резанием. Уровень сложности значительно возрастает в случае, если обработка проводится на станках-автоматах и обрабатываются пластичные металлы с образованием сливной стружки. Стружка нарушает работу не только инструмента и приспособлений, но также механизмов и узлов станка, с которыми соприка-

сается. Кроме того, стружка представляет большую опасность для станочника.

Удаление стружки — задача не только техническая, но и организационная. В автоматизированном производстве для удаления стружки применяют специальные механизмы и системы, оснащенные устройствами для отсоса стружки, ленточные, шнековые и вибрационные конвейеры. На универсальном оборудовании рабочий периодически с помощью крючков, щеток и совков собирает стружку в поддоны и баки. Часть стружки смазывается СОТС и под действием собственного веса через окна в станине скатывается в поддоны и на конвейеры. От станков стружка транспортируется на участок по сбору и брикетированию стружки. В связи с тем, что технология последующей металлургической переработки стружки определяется свойствами металла, сбор стружки проводится отдельно по видам обрабатываемых металлов и сплавов.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Напишите структурную формулу компоновки вертикально-сверлильного станка.
2. Какие виды направляющих используют в станках?
3. Чем определяются жесткость и виброустойчивость шпиндельного узла?
4. Какие опоры применяют в шпиндельных узлах?
5. Какие суммирующие механизмы используют в станках?
6. Как снизить потери на трение в передачах винт—гайка?
7. Какие конструкции вариаторов применяют в станках?
8. Какие механизмы позволяют изменить угол периодического поворота?
9. Когда и какие муфты используют в станках?
10. Какие преимущества у преселективного управления?

# РАЗДЕЛ 3 ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

## ГЛАВА 8. ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ

### § 8.1. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЗЦОВ

Точение является наиболее распространенным методом обработки наружных, внутренних и торцовых поверхностей тел вращения (цилиндрических, конических, сферических и фасонных).

Точение осуществляется на токарных станках токарными резцами различных типов. Заготовку крепят в шпинделе станка, и она вращается, а резец, закрепленный в приспособлении или непосредственно в резцедержателе суппорта, совершает продольное или поперечное поступательное движение.

Токарные резцы классифицируют: по материалу режущей части, характеру операций, форме лезвия, направлению движения, конструкции.

По материалу рабочей части различают стальные резцы (с лезвиями из углеродистой, легированной или быстрорежущей стали), твердосплавные, керамические, алмазные, эльборовые. Резцы из углеродистой и легированной стали в настоящее время практически не применяют.

В зависимости от характера выполняемых операций резцы бывают черновые и чистовые. Геометрические параметры режущей части этих резцов таковы, что они приспособлены к работе с большой и малой площадью сечения срезаемого слоя.

По форме и расположению лезвия относительно стержня резцы подразделяют на прямые (рис. 8.1, а), отогнутые (рис. 8.1, б), изогнутые (рис. 8.1, в) и оттянутые (рис. 8.1, г). У оттянутых резцов ширина лезвия обычно меньше ширины крепежной части. Лезвие может располагаться симметрично по отношению к оси державки резца или быть смещено вправо или влево.

По направлению движения подачи резцы разделяют на правые и левые. У правых резцов главная режущая кромка находится со стороны большого пальца правой

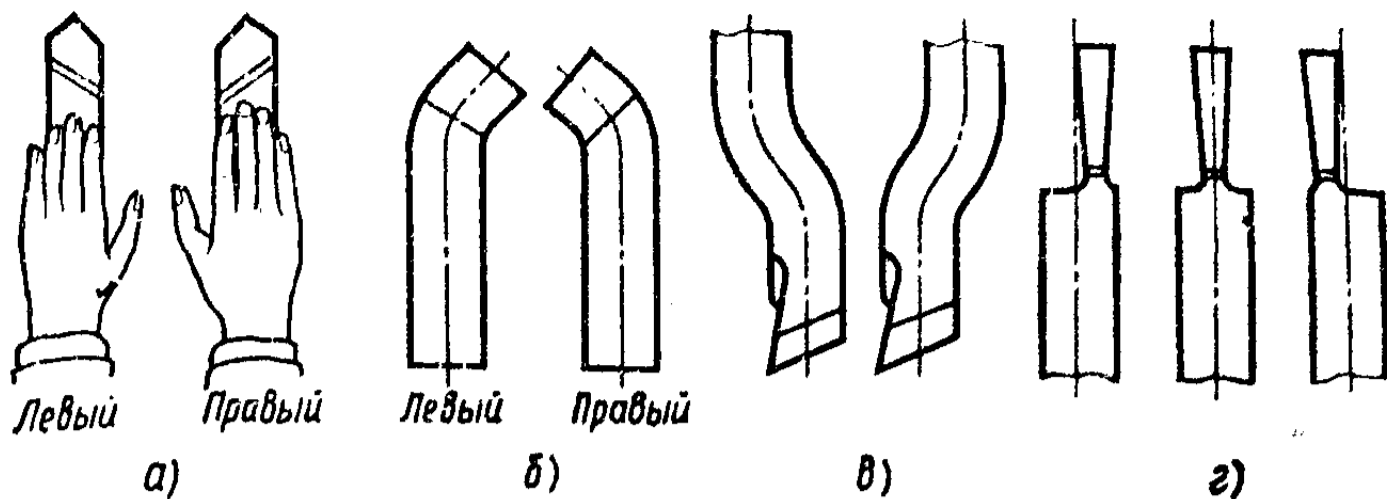


Рис. 8.1. Разновидности токарных резцов

руки, если наложить ее на резец сверху (рис. 8.1, а). В рабочем движении такие резцы перемещаются справа налево (от задней бабки к передней). У левых резцов при аналогичном наложении левой руки главная режущая кромка также находится со стороны большого пальца (рис. 8.1, б). Такие резцы в движении подачи перемещаются слева направо.

По назначению токарные резцы разделяются на проходные, расточные, подрезные, отрезные, фасонные, резьбовые и канавочные.

Проходные прямые (рис. 8.2) и отогнутые (рис. 8.3) резцы применяют для обработки наружных поверхностей. Значения геометрических и конструктивных элементов этих резцов выбирают по нормам и ГОСТ, исходя из условий обработки. Для прямых резцов (рис. 8.2, б) обычно главный угол в плане  $\varphi = 45 \dots 60^\circ$ , а вспомо-

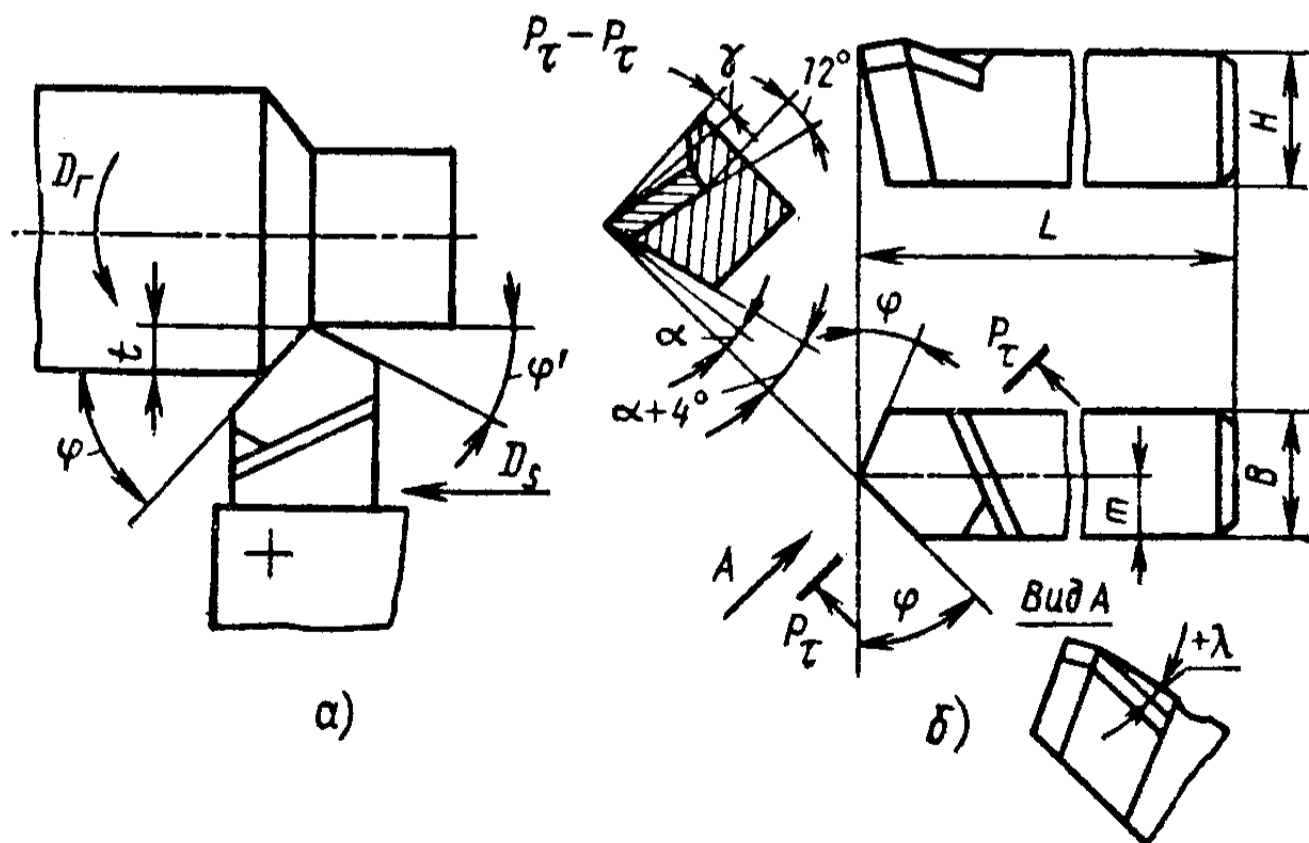


Рис. 8.2. Токарный проходной прямой резец:  
а — схема обработки; б — геометрические параметры резца

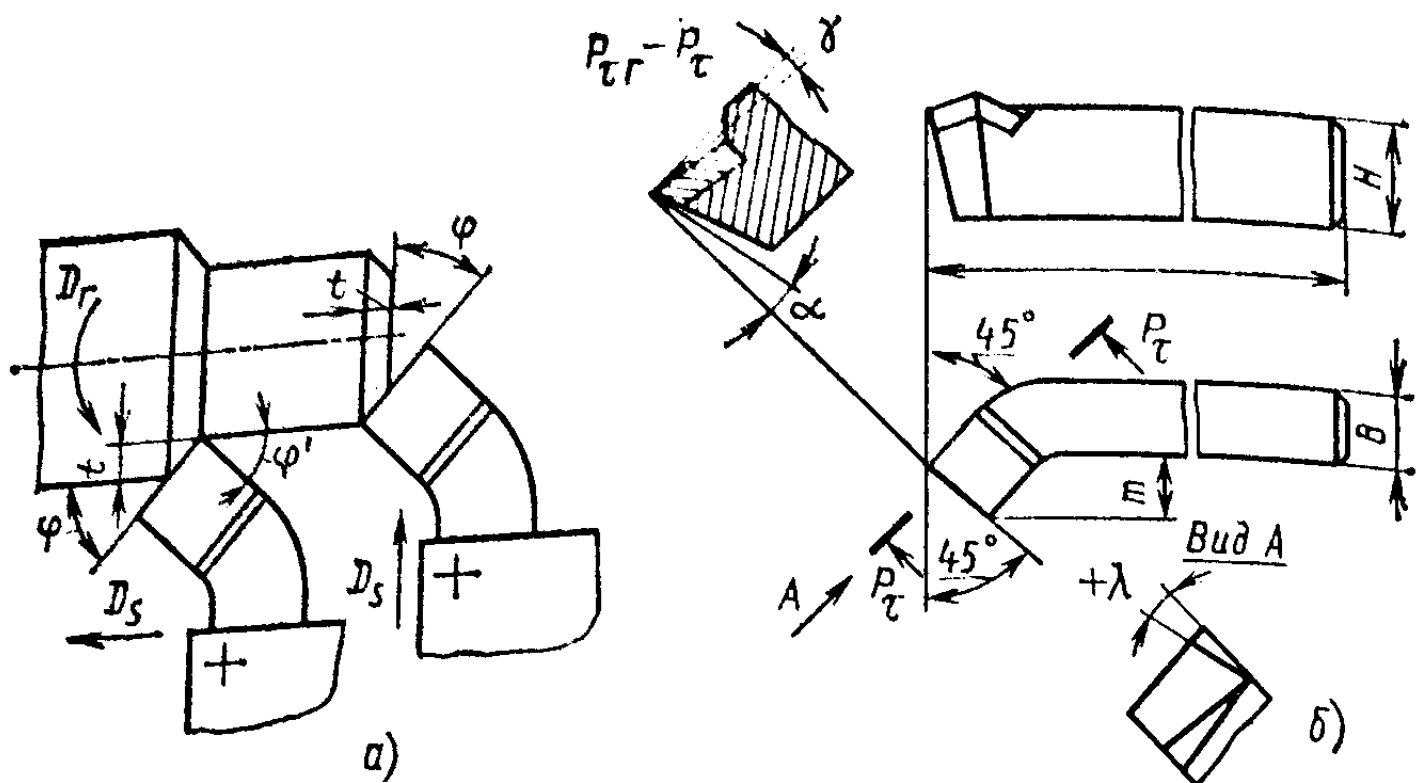


Рис. 8.3. Токарный проходной отогнутый резец:  
 а — схема обработки; б — геометрические параметры резца

гательный угол в плане  $\varphi' = 10 \dots 15^\circ$ . У проходных отогнутых резцов углы в плане  $\varphi = \varphi' = 45^\circ$  (рис. 8.3, б). Эти резцы работают как проходные с продольным движением подачи и как подрезные с поперечным движением подачи (рис. 8.3, а).

Для одновременной обработки цилиндрической поверхности и торцовой плоскости применяют проходные упорные резцы (рис. 8.4). Резец работает с продольным движением подачи. Главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ . Таким проходным резцом рекомендуется обрабатывать нежесткие валы. При обработке такими резцами радиальная составляющая силы резания  $P_y = 0$ , что снижает деформацию заготовки.

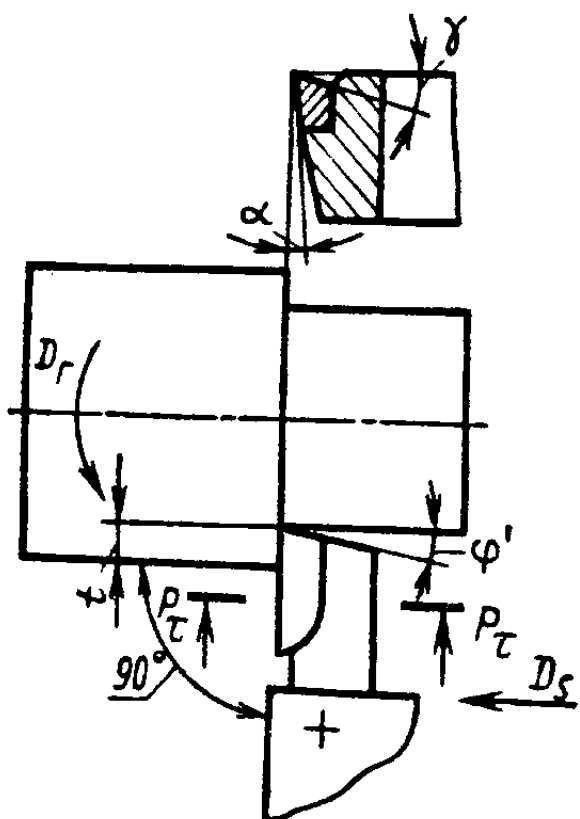


Рис. 8.4. Проходной упорный резец

При обработке такими резцами радиальная составляющая силы резания  $P_y = 0$ , что снижает деформацию заготовки.

*Подрезные резцы* применяют для подрезания торцов заготовок. Они работают с поперечным движением подачи инструмента по направлению к центру (рис. 8.5, а) или от центра (рис. 8.5, б) заготовки.

*Расточные резцы* используют для растачивания отверстий, предварительно просверленных или полученных штамповкой или литьем. Применяют два типа

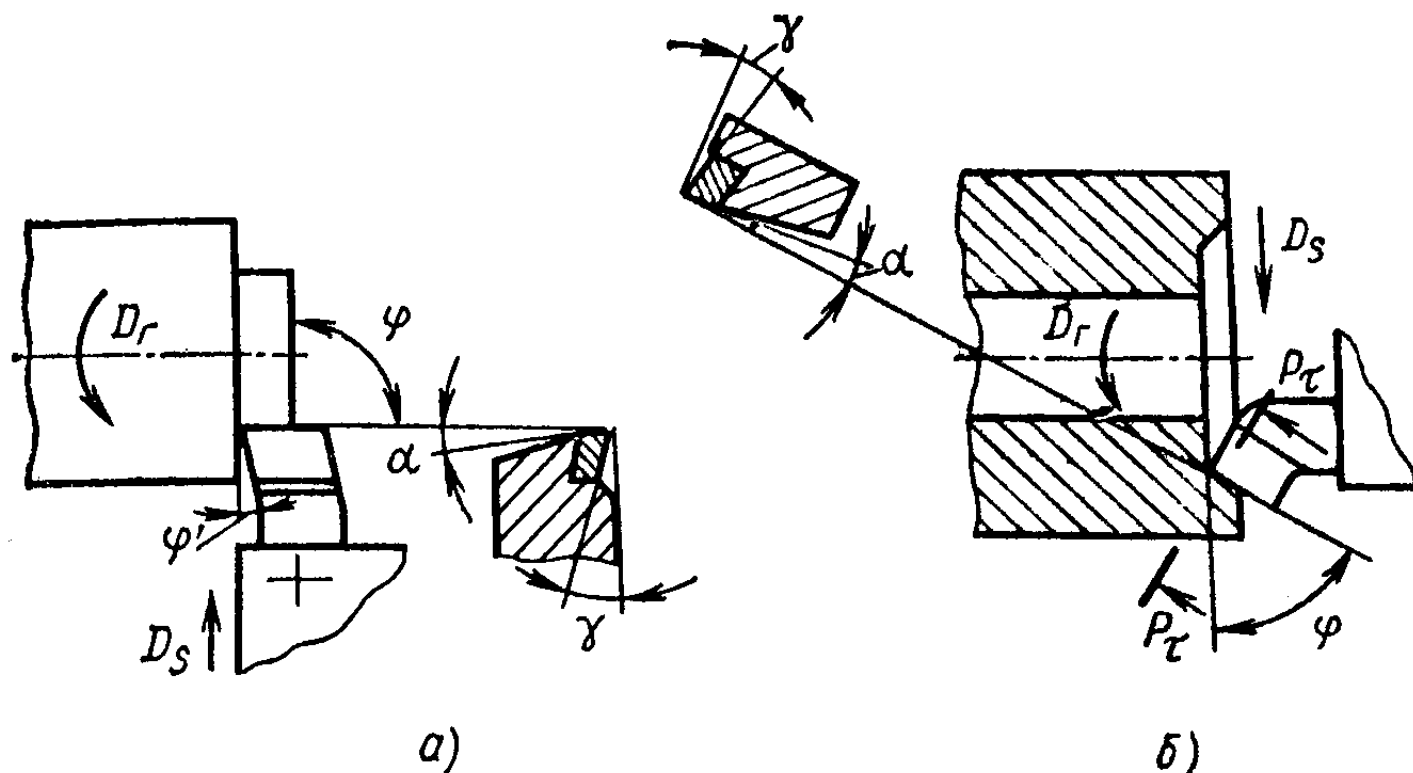


Рис. 8.5. Токарные подрезные резцы:

а — с движением подачи к центру заготовки; б — с движением подачи от центра заготовки

расточных резцов: проходные — для сквозного растачивания (рис. 8.6, а), упорные — для глухого растачивания (рис. 8.6, б). Резцы различаются формой лезвия. У проходных расточных резцов угол в плане  $\varphi = 45 \dots 60^\circ$ , а у упорных — угол  $\varphi$  несколько больше  $90^\circ$ . Крепежная часть расточных резцов имеет конусную форму с диаметром, увеличивающимся от лезвия к зажимной части,

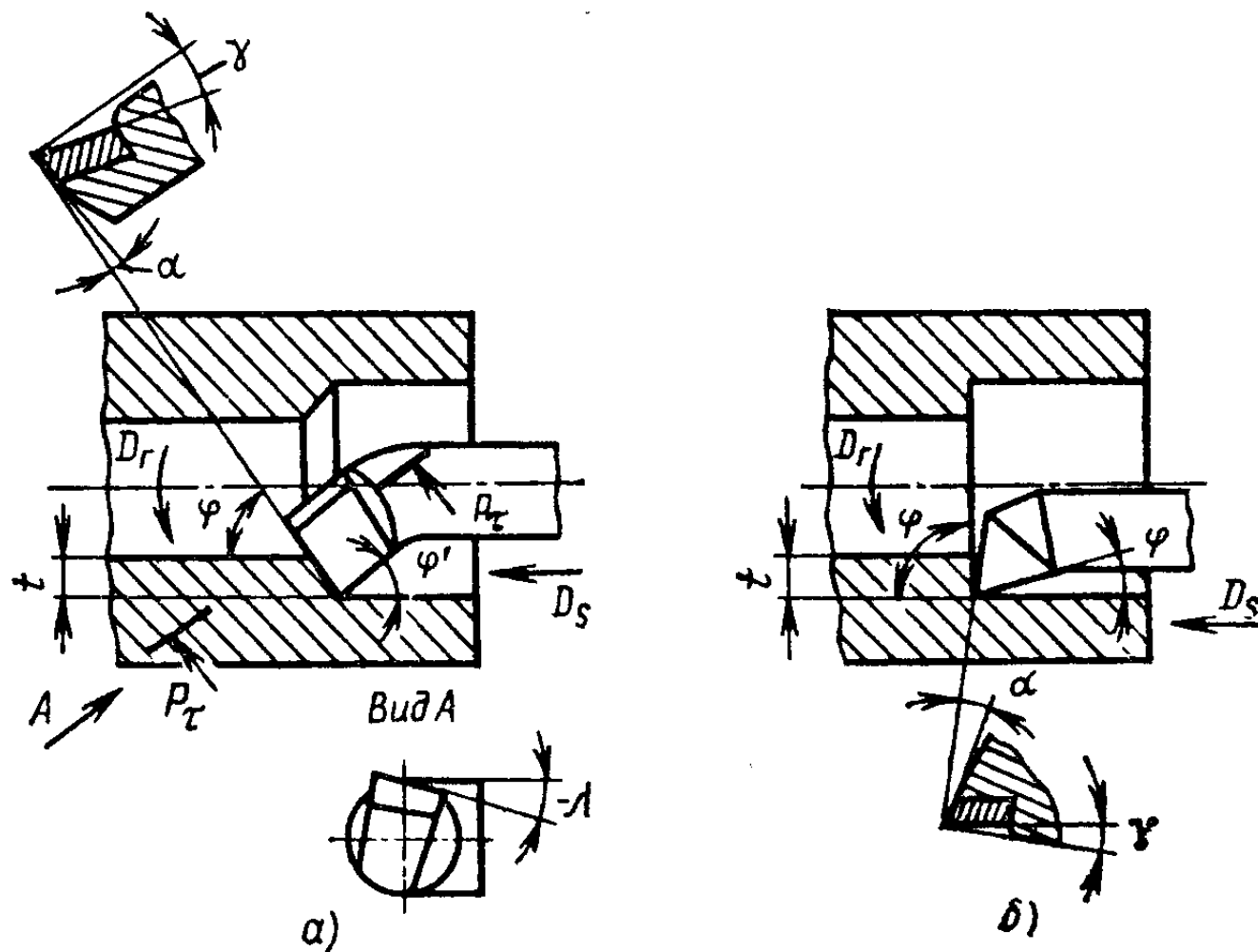


Рис. 8.6. Расточные резцы:

а — для сквозного растачивания; б — для глухого растачивания

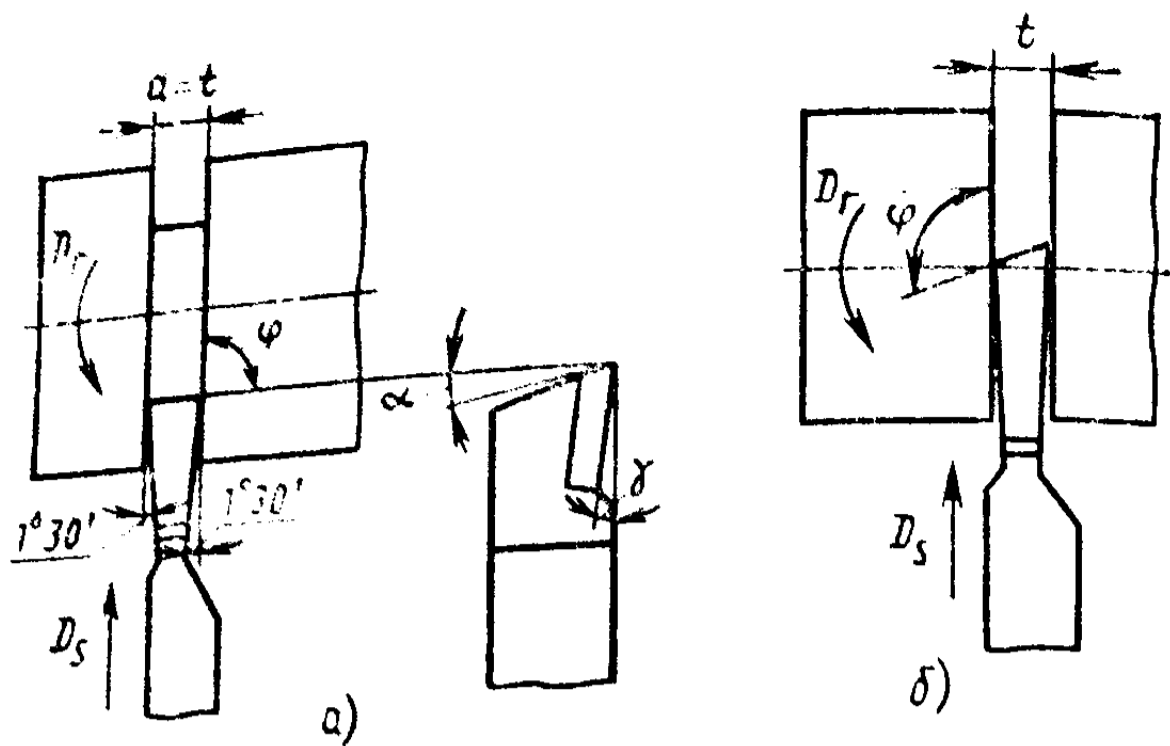


Рис. 8.7. Отрезные резцы:  
 а — с прямой режущей кромкой; б — с наклонной режущей кромкой

которую делают квадратной или прямоугольной. Расточные резцы работают при больших вылетах из резцедержателя, что не позволяет стержневому резцу снимать стружку с большой площадью поперечного сечения. При растачивании глубоких отверстий применяют расточные резцы, закрепленные в специальных оправках. Расточные резцы, используемые для работы на револьверных станках и автоматах, также крепятся в специальных оправках, обеспечивающих регулирование вылета резца.

Отрезные резцы применяют для разрезания заготовок на части, отрезания обработанной заготовки и для протачивания канавок. Отрезные резцы работают с поперечным движением подачи (рис. 8.7, а). Отрезной резец имеет главную режущую кромку, расположенную под углом  $\varphi = 90^\circ$  и две вспомогательные с углами  $\varphi' = 1 \dots 2^\circ$  (рис. 8.7, а). Для уменьшения трения в процессе резания вспомогательные задние поверхности затачивают под углом  $\varphi' = 1^\circ 30'$ . У стандартных отрезных резцов ширина режущей кромки  $a = 3 \dots 10$  мм и выбирается в зависимости от диаметра заготовки по формуле  $a = 0,6D^{0,5}$ . При отрезании детали резцом с прямой главной режущей кромкой ( $\varphi = 90^\circ$ ) на отрезанной заготовке остается шейка, поэтому приходится дополнительно подрезать торец заготовки. Для исключения этой операции применяют отрезные резцы с наклонной режущей кромкой (рис. 8.7, б).

Фасонные резцы применяют для обработки коротких фасонных поверхностей с длиной образующей линии до



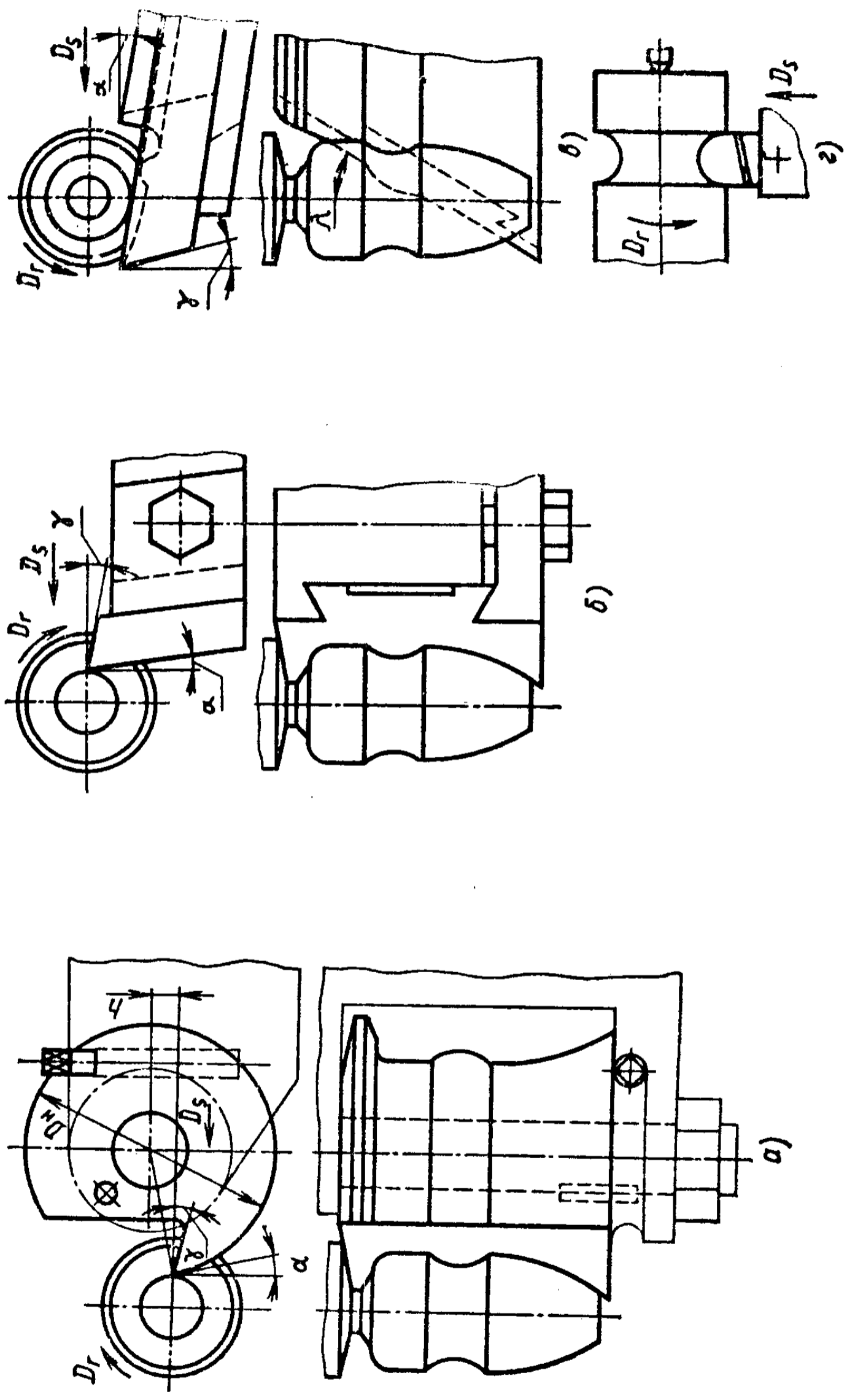


Рис. 8.8. Фасонные резцы:  
 а — круглый; б — призматический радиальный; в — призматический тангенциальный; г — стержневой

30—40 мм. Форма режущей кромки фасонного резца соответствует профилю детали. Фасонные резцы используют в крупносерийном и массовом производстве. Точно рассчитанные и изготовленные фасонные резцы обеспечивают высокую производительность, малые отклонения формы и размеров изготавливаемых деталей. По конструкции фасонные резцы подразделяют на стержневые, круглые, призматические, а по направлению движения подачи — на радиальные и тангенциальные. Круглые и призматические резцы имеют большую стойкость и выдерживают большее число повторных заточек, чем стержневые, при сохранении формы и размеров режущего лезвия. Наибольшее применение имеют круглые (рис. 8.8, а) и призматические (рис. 8.8, б) резцы, работающие с радиальным движением подачи. Менее распространены призматические резцы (рис. 8.8, в), работающие с тангенциальным движением подачи.

На токарно-винторезных станках фасонные поверхности обрабатывают, как правило, стержневыми резцами, которые закрепляют в резцедержателе станка (рис. 8.8, г).

*Круглые фасонные резцы* представляют собой тела вращения, имеющие отверстие или хвостовик для закрепления. Для образования заднего угла  $\alpha$  круглый резец устанавливают таким образом, чтобы его ось находилась выше оси заготовки на величину  $h$ , определяемую по формуле  $h = R_n \sin \alpha_n$ , где  $R_n$  — наружный радиус резца, мм;  $\alpha_n$  — задний угол на вершине зуба, °.

*Призматические фасонные резцы*, работающие с радиальным движением подачи, устанавливают по отношению к заготовке с наклоном под углом  $\alpha$ , который является задним углом резца. Вершину резца устанавливают строго по центру заготовки.

*Призматические тангенциальные резцы* устанавливают ниже центров станка таким образом, чтобы точение осуществлялось с движением подачи инструмента по траектории, касательной к обрабатываемой поверхности. Особенностью тангенциальных резцов является изменение значений заднего  $\alpha$  и переднего  $\gamma$  углов в процессе резания.

*Резьбовые резцы* (рис. 8.9) служат для нарезания наружной и внутренней резьбы любого профиля: прямоугольного, треугольного, трапецеидального. Форма режущих лезвий резьбовых резцов соответствует профилю

и размерам поперечного сечения нарезаемых резьб. Резьбовые резцы делят на стержневые, круглые, призматические (см. § 19.4). Они бывают односточные и многосточные. Последние называются гребенками. Нарезание резьбы односточным резцом по сравнению с другими методами (кроме резьбошлифования) обеспечивает высшую точность по шагу и профилю. По конструкции различают резцы цельные, изготовленные из одной заготовки; составные (с неразъемным соединением его частей); с припаянными пластинами; с механическим креплением пластин; сборные (с механическим креплением отдельных вставок, на которых механически закреплены режущие пластины).

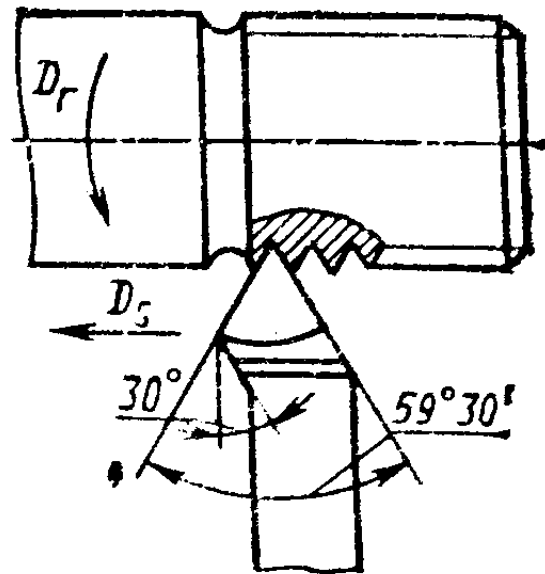


Рис. 8.9. Резьбовой резец

Цельными изготовляют быстрорежущие резцы небольших размеров, их применяют в точном машиностроении и приборостроении. Цельный инструмент является лучшим с точки зрения прочности, жесткости и теплоустойчивости. Однако в целях экономии дорогостоящего инструментального материала лезвия средних и крупных резцов изготовляют из инструментального материала, а крепежную часть — из конструкционных сталей.

## § 8.2. КРЕПЛЕНИЕ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗЦА

Державки резцов обычно изготовляют из конструкционных сталей 40, 45, 50 и 40Х с различным сечением: квадратным, прямоугольным, круглым, специальным. В большинстве случаев крепежная часть резца имеет прямоугольное сечение. Квадратное сечение делают для расточных и автоматнo-револьверных резцов, круглое — для резцов, при установке которых необходим поворот вокруг своей оси (расточные, резьбовые и т. д.).

Инструментальный материал используют для резцов в виде пластин, размер и форма которых стандартизованы. Отношение толщины пластины к ее длине подбирают равным 1 : 2,2. Это обеспечивает примерно одинаковое число повторных заточек передней и задней поверхностей. Пластину устанавливают в наклонном пазу рабочей

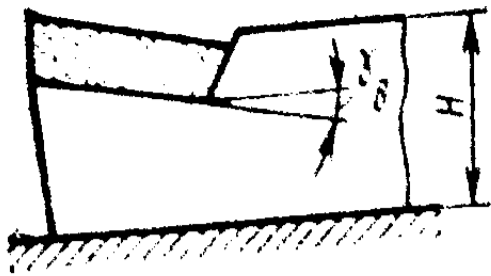


Рис. 8.10. Расположение пластины в державке резца

части резца под углом  $\gamma_n$  (рис. 8.10). Глубина паза под пластину составляет не более 0,2—0,3 высоты державки  $H$ .

Крепление пластин производят различными способами. Пластины из быстрорежущей стали приваривают к крепежной части резца; пластины из твердого сплава, керамики, а также кристаллы алмаза и эльбора припаивают или крепят механически. Пайку ведут медным припоем с нагревом током высокой частоты. Коэффициент линейного расширения у твердых сплавов примерно в два раза меньше, чем у стали, из которой изготовлена крепежная часть. Это приводит к трещинам пластин и способствует их интенсивному выкрашиванию и разрушению во время работы.

Для крепления керамических пластин используют также наклеивание высокопрочным и теплостойким клеем, состоящим из эпоксидной смолы, отвердителя и наполнителя — пылевидного кварцевого песка. Преимущества этого метода: простота и надежность крепления, отсутствие остаточных напряжений в пластине; возможность использования крепежной части в случае разрушения или износа пластин.

Резцы с механическим креплением пластин имеют значительные преимущества перед напайными резцами, так как при такой конструкции резца предотвращается возможность появления трещины в пластинах при напайке, удлиняется срок службы крепежной части резца.

В последнее время широкое применение находят многогранные режущие пластины (МРП) из твердого сплава, керамики и сверхтвердых материалов (СТМ). Основные преимущества применения сборного режущего инструмента с механическим креплением МРП: повышение стойкости инструмента вследствие исключения появления трещин; стабильность геометрических параметров режущего инструмента при замене пластины, а также обеспечение постоянной шероховатости режущей кромки; сокращение времени простоя станка при смене инструмента, так как пластину только поворачивают или заменяют без снятия державки; исключение дорогостоящих повторных заточек; уменьшение номенклатуры инструмента в производстве, так как можно пользо-

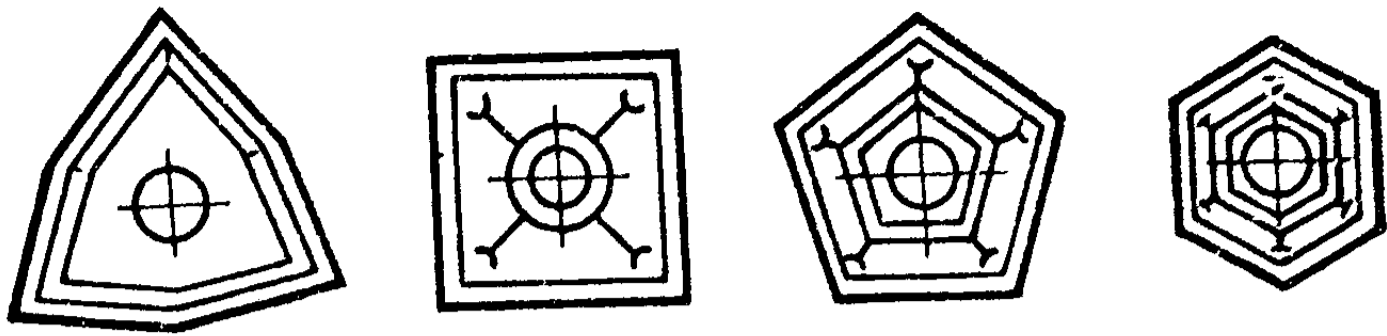


Рис. 8.11. Формы многогранных режущих пластин

ваться одной державкой, заменяя только пластины; экономия черных металлов, расходуемых на изготовление державок, и цветных металлов, используемых для пайки. Использование МРП взамен напаянных снижает инструментальные расходы на 50 %.

Однако у инструментов с МРП есть и недостатки: увеличенные габаритные размеры вследствие необходимости размещения элементов крепления; установленные и не всегда оптимальные геометрические параметры пластины; сложность изготовления державки и элементов крепления.

По нормам Всесоюзного научно-исследовательского инструментального института (ВНИИ) изготавливают МРП с тремя, четырьмя, пятью и шестью гранями (рис. 8.11). Для того чтобы создать положительный угол на передней поверхности пластины, вдоль режущих кромок делают лунки и фаски методом прессования с последующим спеканием.

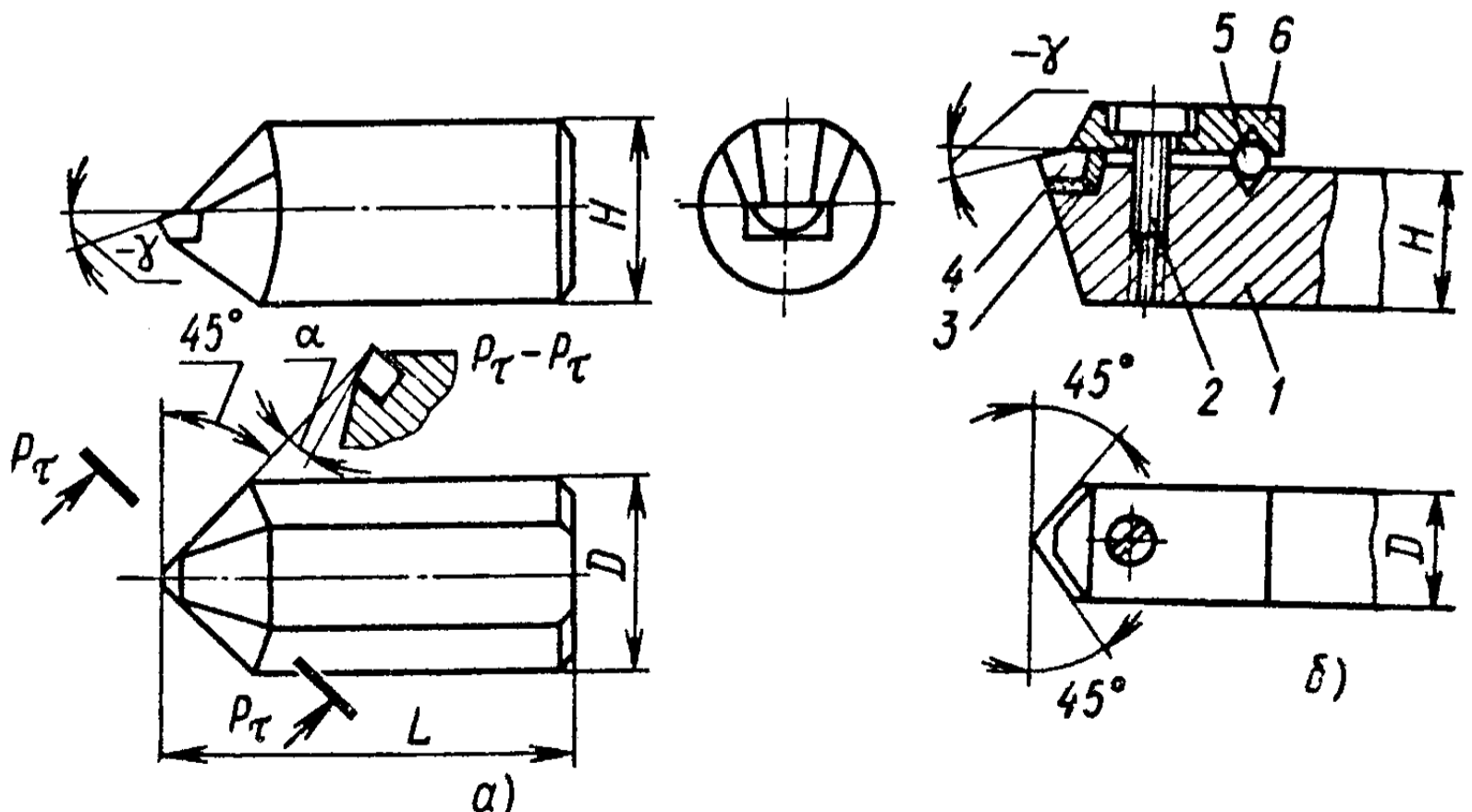
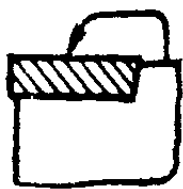
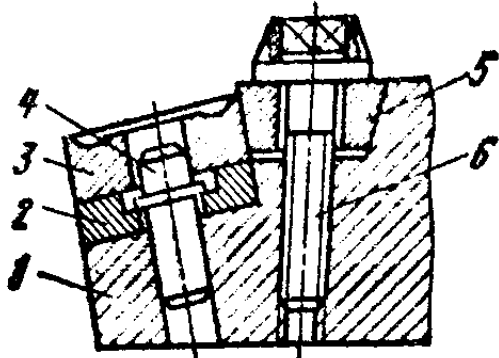


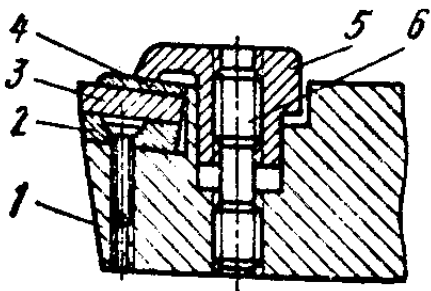

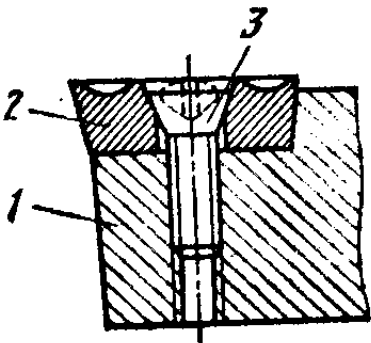


Рис. 8.12. Алмазные токарные резцы:

а — с напаянным алмазом; б — с механическим креплением алмаза

## 8.1. Основные типы механического крепления МРП

Обозначение по ИСО и тип крепления	Вариант конструктивного решения	Назначение
<p style="text-align: center;">С</p> 	 <p>1 — корпус; 2 — опорная пластина; 3 — режущая пластина; 4 — стружколом; 5 — прихват; 6 — винт</p>	<p>Для крепления гладких пластин; для большинства операций наружного точения</p>
<p style="text-align: center;">М</p> 	 <p>1 — корпус; 2 — опорная пластина; 3 — режущая пластина; 4 — штифт; 5 — прихват; 6 — винт</p>	<p>Для крепления МРП, имеющих центральное отверстие; для черновой и получистовой обработки</p>
<p style="text-align: center;">Р</p> 	 <p>1 — корпус; 2 — опорная пластина; 3 — режущая пластина; 4 — штифт; 5 — клин; 6 — винт</p>	<p>В резцах для черновой, получистовой и чистовой обработки</p>

Обозначение по ИСО и тип крепления	Вариант конструктивного решения	Назначение
<p style="text-align: center;">S</p> 	 <p>1 — корпус; 2 — режущая пластина; 3 — винт с конической головкой</p>	<p>Для операций внутренней и наружной обработки в труднодоступных местах</p>

В зависимости от формы пластины и условий обработки по ИСО предусмотрено четыре типа механического крепления пластин в державке. Конструктивных исполнений этих схем много. В табл. 8.1 приведены по одному варианту этих схем.

Крепление алмаза осуществляется пайкой и механическим способом. При изготовлении резцов с напаянным алмазом в стержне резца фрезеруют врезной паз, в него вставляют огранный алмаз и заливают припоем на серебряной или медной основе. Напаянные резцы (рис. 8.12, а) можно изготавливать из мелких кристаллов алмаза и использовать их более эффективно. Основным недостатком механического крепления (рис. 8.12, б) является необходимость применения более крупного алмаза. Обязательной деталью крепления алмаза к державке 1 является вставка 3, которая имеет гнездо, соответствующее по форме кристаллу 4. Кристалл алмаза укладывают в шихту, производят прессование и спекание. Пластины с алмазом придают необходимую для крепления в державке форму и производят заточку и доводку алмаза. Крепление вставки с алмазом производят накладкой 6 через штифт 5.

Режущие элементы из композиционных материалов закрепляют в державке из стали 40Х или 9ХС методом заправки расплавленным металлом (медью, латуной,

специальными припоями). Резцы из композиционных материалов делают сборными с механическим закреплением вставки, в которую вделан композиционный материал, и цельными.

### § 8.3. ЗАТОЧКА РЕЗЦОВ

Форму и геометрические параметры лезвия устанавливают в зависимости от типа резца, его назначения и вида обрабатываемого материала. Заточку резцов осуществляют по передней и задней поверхностям на специальных заточных станках, на которых резец можно поворачивать относительно осей X, Y, Z. Заточку начинают с передней поверхности лезвия, а затем переходят к главной и вспомогательной задним поверхностям и к вершине.

Оптимальные значения передних и задних углов определяют экспериментально, исходя из необходимости обеспечения наиболее благоприятных условий стружкообразования ( $\gamma_{\max}$ ) и трения по задней поверхности ( $\alpha_{\max}$ ) с учетом необходимой прочности лезвия и теплоотвода от него. В табл. 8.2 приведены рекомендуемые

8.2. Геометрические параметры режущей части проходных резцов

Обрабатываемые материалы	Материал режущей части	$\gamma,$	$\alpha,$	$r_{\text{в}},$ мм	$\lambda, ^\circ$	$f, \text{мм}$
		°				
Конструкционные стали	Быстрорежущая сталь	25—30	8—12	—	0	—
	Твердый сплав	15	8—12	—	0—5	—
Жаропрочные стали	Быстрорежущая сталь	10—20	8—10	0,5—	0	—
	Твердый сплав	10	10	1,0 1	0,5— 0,8	3—5
Чугун серый	Быстрорежущая сталь	25	8—12	—	0	—
	Твердый сплав	0..—5	6—10	—	0—5	—
Цветные сплавы	Быстрорежущая сталь	25—30	8—15	—	—	—



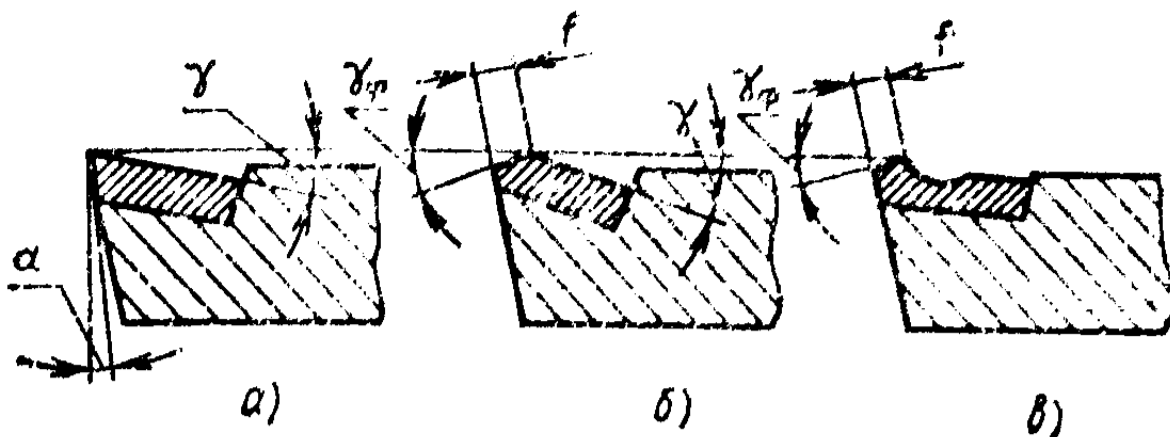


Рис. 8.13. Формы задней и передней поверхностей резца:  
*a* — плоская; *б* — ломаная; *в* — криволинейная

геометрические параметры проходных резцов для обработки различных материалов.

Переднюю и заднюю поверхности резца выполняют в трех основных вариантах: плоская (рис. 8.13, *a*), ломаная (рис. 8.13, *б*), криволинейная (рис. 8.13, *в*). Сочетание форм передней и задней поверхностей выбирают исходя из условий эксплуатации.

Фасонные резцы затачивают по передней поверхности чашечными кругами на универсально-заточных станках. Передний угол  $\gamma$  при заточке должен строго соответствовать заданному значению по чертежу резца, чтобы исключить искажение профиля режущей кромки.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. По каким принципам классифицируют резцы?
2. Какие виды креплений режущих элементов используют?
3. Каковы преимущества у резцов с механическим креплением пластин?
4. В каком порядке проводится заточка поверхности лезвий резца?

## Г Л А В А 9. ТОКАРНЫЕ СТАНКИ

### § 9.1. ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫЕ СТАНКИ

Токарные станки являются наиболее многочисленной группой металлорежущих станков, с их помощью получают разнообразные профили на наружных, внутренних и торцовых поверхностях вращающихся заготовок. На этих станках обрабатывают плоские, цилиндрические, конические, резьбовые и фасонные поверхности, причем в качестве режущих инструментов используют не только резцы, но и осевые инструменты:

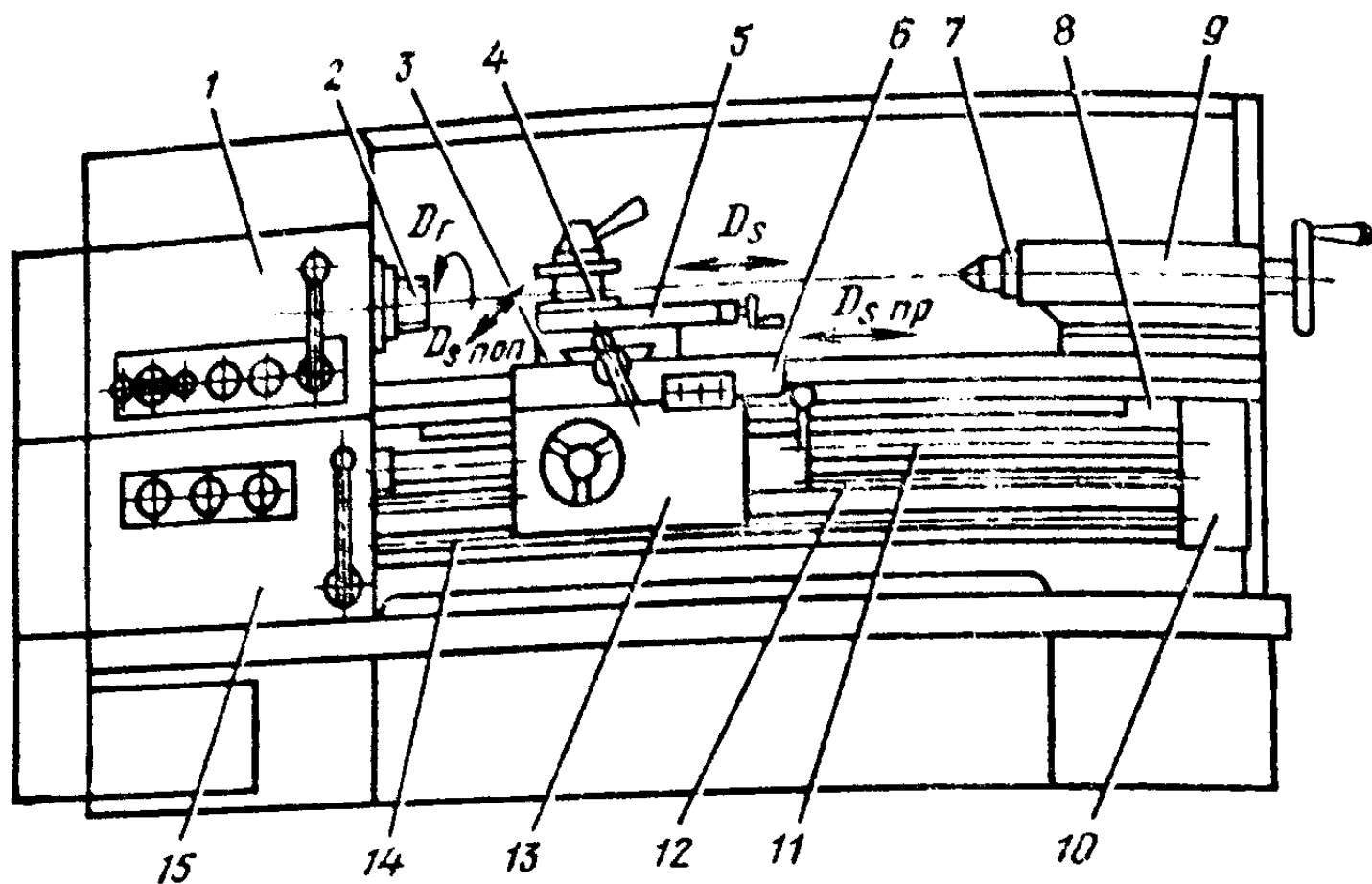


Рис. 9.1. Токарно-винторезный станок

сверла, зенкеры, развертки, цековки и т. п. Кинематические цепи токарных станков передают на исполнительные органы главное движение резания (вращение заготовки) и движение подачи, направленное вдоль или перпендикулярно оси вращения заготовки.

Наибольшее распространение ввиду своих исключительно широких технологических возможностей получили токарно-винторезные станки, отнесенные по классификации ЭНИМС к шестому типу и имеющие в своем обозначении цифру 6 (например, 1К62, 1М63, 16К20 и т. д.). В отличие от токарных станков токарно-винторезные позволяют обрабатывать винтовые поверхности, так как в них вращение заготовки кинематически связано с поступательным перемещением инструмента. В современных токарно-винторезных станках эта связь осуществляется либо посредством кинематических пар, либо электронной системой управления приводами.

Все узлы токарно-винторезного станка (рис. 9.1) смонтированы на станине 8 коробчатой формы, на которой выполнены основные базовые поверхности — продольные направляющие и плоскости прилегания. Слева на одной из плоскостей прилегания станка жестко закреплена шпиндельная бабка 1, в которой размещен механизм коробки скоростей, в большинстве случаев представляющий собой многоскоростную зубчатую передачу с выходным валом — шпинделем, на торце и в отверстии

которого размещена вспомогательная оснастка для установки и закрепления обрабатываемых заготовок. С правой стороны станины на специальных направляющих находится задняя бабка 9, в коническом отверстии пиноли 7 которой установлены концевые инструменты и вспомогательная оснастка (центра, патроны и т. п.). Шпиндель 2 и отверстие пиноли 7 расположены на общей оси, называемой линией центров. Расстояние линии центров до станины связано с основной технологической характеристикой токарного станка — наибольшим диаметром заготовки, устанавливаемой над станиной. Для станка 16К20 этот диаметр равен 400 мм и в его обозначении характеризуется числом 20.

С левой стороны на боковой поверхности станины закреплена коробка подач 15, представляющая собой многоскоростную зубчатую передачу, которая получает вращение от шпинделя и через гитару сменных колес передает его двум своим выходным элементам: ходовому валу 12 или ходовому винту 11. Ходовой винт имеется только у токарно-винторезных станков, где используется при нарезании резьбы. Между шпиндельной и задней бабками по основным направляющим станины перемещается суппорт, на каретке 6 которого выполнены направляющие для перемещения по ним поперечных салазок 3. На верхней плоскости салазок смонтирован верхний суппорт 5, который может совершать установочный поворот вокруг вертикальной оси. Салазки верхнего суппорта перемещаются вдоль своих направляющих и несут на себе поворотный резцедержатель 4. При нарезании резьбы движение поступает на суппорт по более короткой и точной кинематической цепи через ходовой винт 11 и гайку, закрепленную в фартуке 13 суппорта. При всех других видах обработки движение на суппорт передается по ходовому валу 12 через механизм фартука на реечную шестерню, которая, зацепляясь с закрепленной на станине рейкой, перемещается вместе с суппортом в продольном направлении.

Ходовой винт и ходовой вал своими правыми цапфами установлены в подшипниках кронштейна 10 станины. В этом же кронштейне установлен валик 14 включения фрикционной муфты МФ (рис. 9.2) главного привода. Движение от ходового вала может также поступать на поперечные салазки 3 (см. рис. 9.1) или салазки верхнего суппорта 5.

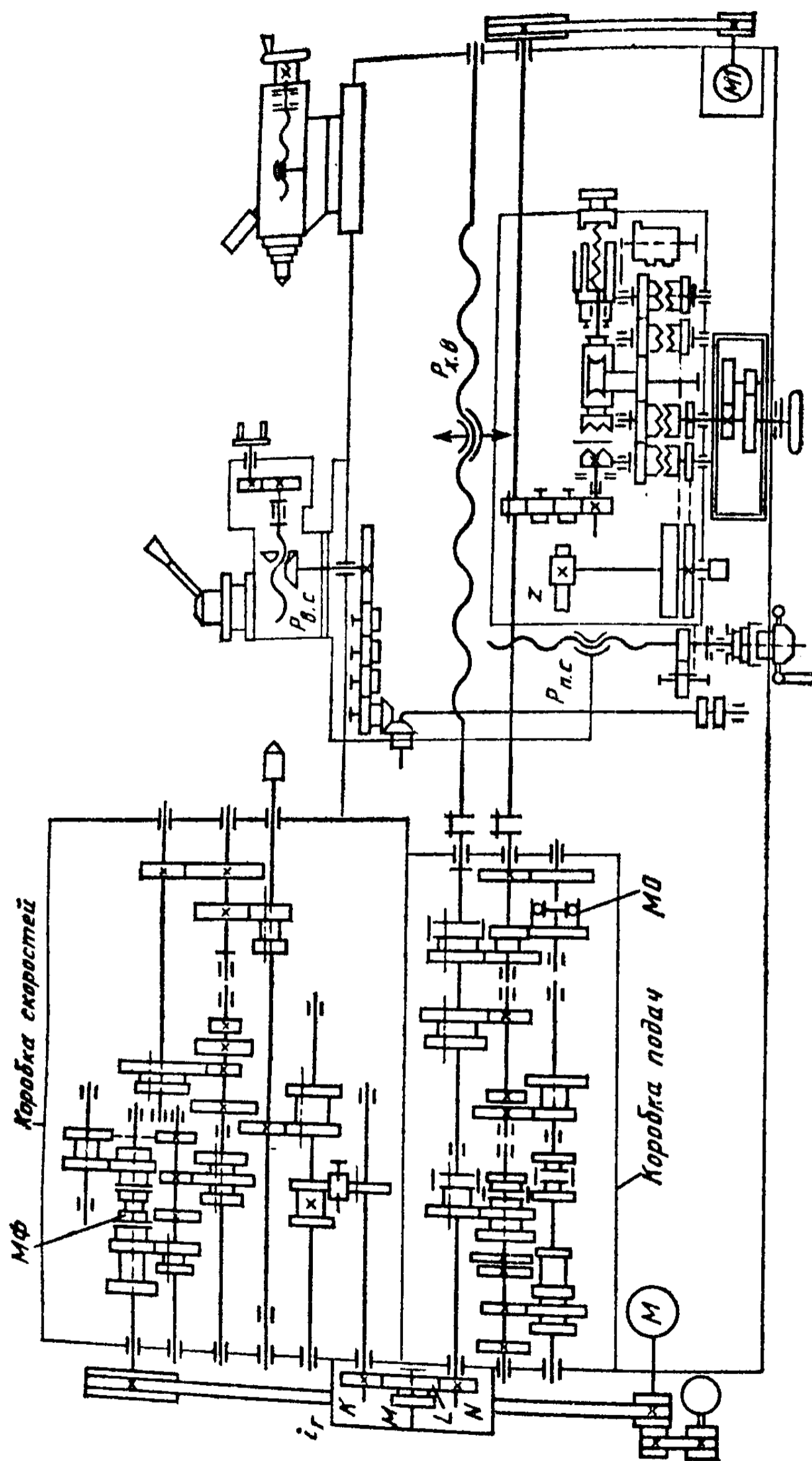


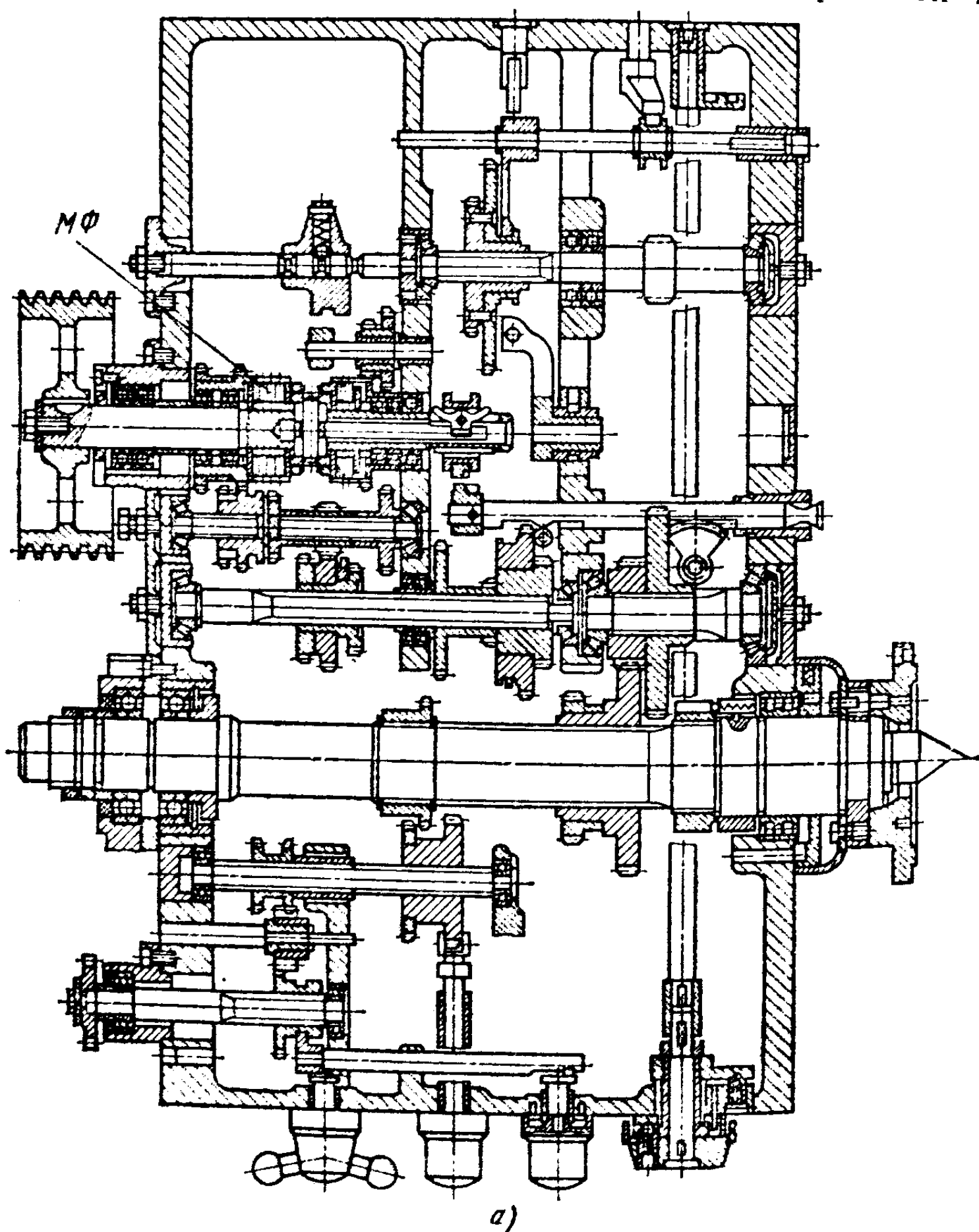
Рис. 9.2. Кинематическая схема станка 16К20

Более подробно особенности кинематики и конструкции узлов целесообразно рассмотреть на примере станка 16К20, являющегося базовым для большинства современных моделей. Согласно кинематической схеме (см. рис. 9.2) коробка скоростей получает движение через ременную передачу от асинхронного электродвигателя  $M$ . Изменение частоты вращения шпинделя производится смещением двойных и тройных блоков по шлицевым валам с помощью зубчато-рычажных механизмов переключения, рукоятки управления которыми выведены на лицевую панель коробки (рис. 9.3, а). Реверсирование вращения шпинделя осуществляется фрикционной муфтой  $MФ$  главного привода. Переключением колес и муфты обеспечивается 24 прямых и 12 обратных частот вращения шпинделя. Вращение электродвигателя  $M$  с частотой вращения шпинделя связано зависимостью  $n = n_э i_{р.п} i_{к.с}$ , где  $n_э$  — асинхронная частота вращения главного электродвигателя;  $i_{р.п}$  — передаточное отношение ременной передачи с учетом проскальзывания ремня;  $i_{к.с}$  — передаточное отношение зубчатых передач коробки скоростей. Для нарезания многозаходных резьб на шпинделе установлен делительный диск.

Конструкция задней бабки позволяет обрабатывать длинные конические поверхности на заготовках, установленных в центрах. Для этого корпус 1 (рис. 9.3, б) задней бабки смещается винтами 2 и 5 в поперечном направлении относительно основания 4. Жесткость задней бабки увеличивают зажимом пиноли 7 сухарями 6 и закреплением основания 4 планкой 3 на направляющих станка. С целью облегчения перемещения задней бабки по станине и снижения износа в зазор между салазками основания 4 и направляющими станка из заводской сети подается сжатый воздух для создания воздушной подушки.

Коробка подач, обеспечивая движение ходового винта и ходового вала, позволяет изменять частоту их вращения переключением блоков зубчатых колес с помощью рычагов и рукояток. Установкой роликовой обгонной муфты  $МО$  (см. рис. 9.2) в коробке подач обеспечивается разрыв кинематической цепи при холостом ускоренном вращении ходового вала от электродвигателя  $M1$ . При нарезании точных резьб движение от гитары сменных колес  $KMLN$  может, минуя большую часть механизмов коробки подач, передаваться непосредственно на ходовой винт.

Гитара сменных колес  $K/L$  используется для нарезания метрических и дюймовых резьб и для точения, а  $(K/L)(M/N)$  — для нарезания модульной и питчевой резьб с удвоенными шагами. Коробка подач и гитара  $K/L$  позволяют проводить точение с продольными подачами в диапазоне  $0,05—2,8$  мм/об и поперечными подачами  $0,025—1,4$  мм/об. Если при нарезании резьбы движение от ходового винта с шагом  $P_{х.в}$  передается на суппорт через разъемную гайку (в рабочем положении смыкается и охватывает ходовой винт), то при прочих видах обработки ходовой вал через скользящую по нему шестерню, червячную и зубчатые передачи фартука передает движение исполнительным звеньям суппорта: реечной ше-



стерне  $z$ , винту поперечных салазок  $P_{п.с}$  или винту салазок верхнего суппорта с шагом  $P_{в.с}$ .

Уравнения кинематических цепей будут иметь вид:  
для нарезания резьбы с шагом  $P$

$$1 \text{ об. шпинделя} \cdot i_{к.с} i_{к.п} P_{х.в} = P;$$

для продольных подач ( $S_{п.р}$ )

$$1 \text{ об. шпинделя} \cdot i_{к.с} i_{г} i_{к.п} i_{ф} \pi m z = S_{п.р};$$

для поперечных подач ( $S_{п.л}$ )

$$1 \text{ об. шпинделя} \cdot i_{к.с} i_{г} i_{к.п} i_{ф} P_{п.с} = S_{п.л};$$

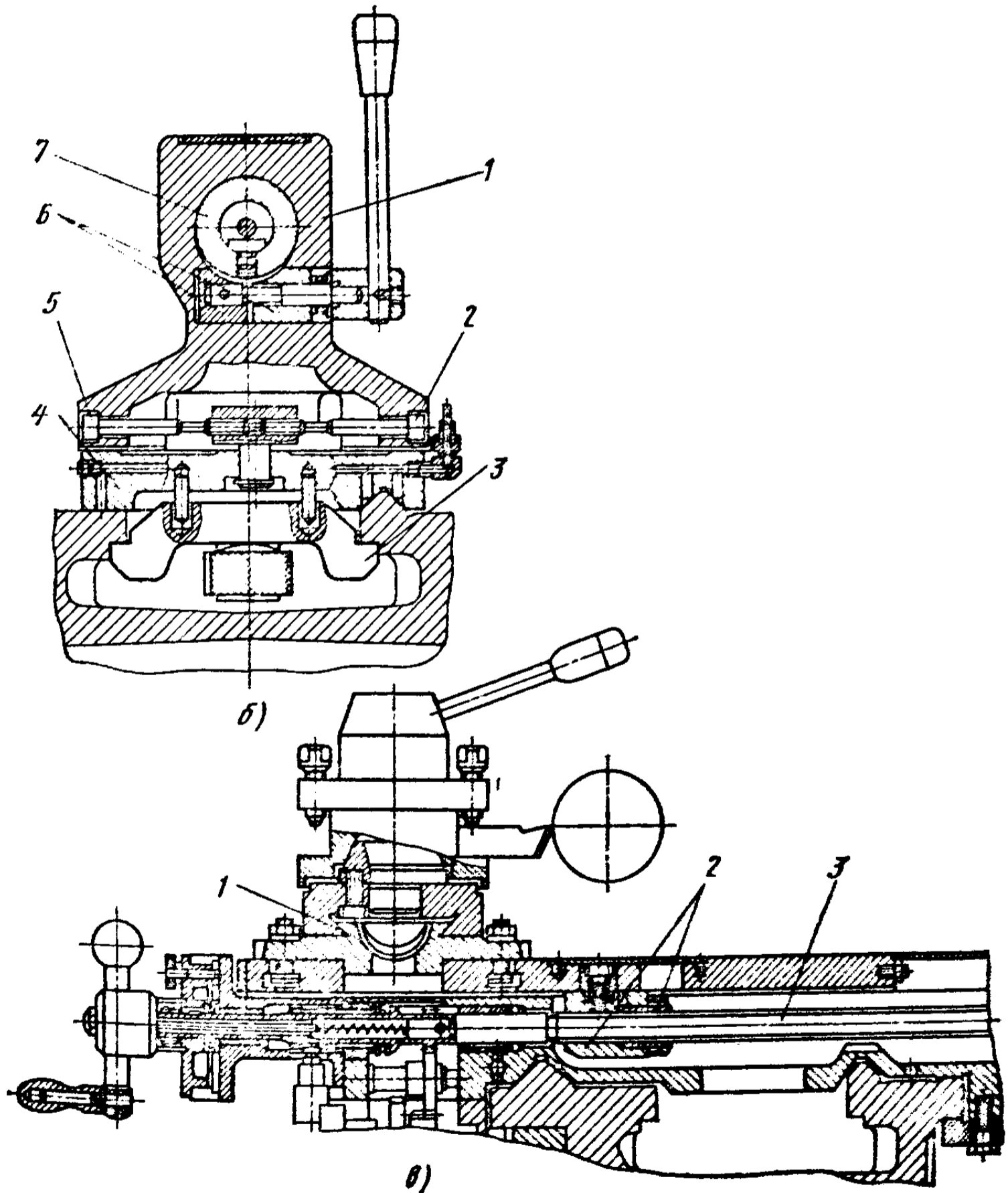


Рис. 9.3. Узлы токарного станка 16К20:

а — коробка скоростей (развертка); б — задняя бабка; в — суппорт

для подач салазок верхнего суппорта ( $S_{в.с}$ )

$$1 \text{ об. шпинделя} \cdot i_{к.с} i_{г} i_{к.п} i_{ф} i_{в.с} P_{в.с} = S_{в.с},$$

где  $i_{к.с}$ ,  $i_{г}$ ,  $i_{к.п}$ ,  $i_{ф}$  — передаточные отношения соответственно механизмов коробки скоростей, гитары сменных колес, коробки подач, фартука;  $i_{в.с}$  — передаточное отношение передач от фартука к салазкам верхнего суппорта.

В станке предусмотрена блокировка, исключающая одновременное включение ходового винта и ходового вала, а также поперечного и продольного движений подачи. Механизмы суппорта сообщают инструменту, закрепленному в резцедержателе, продольное и поперечное движения подачи (ручной — от маховичков, механической — от коробки подач и ускоренной — от электродвигателя  $M1$ ). Движение подачи (ручной или механической) также совершают салазки верхнего суппорта. На этих салазках (рис. 9.3, в) с возможностью поворота и точной фиксации (через  $90^\circ$ ) установлен и закреплен резцедержатель. Все салазки суппорта имеют направляющие типа «ласточкин хвост», зазоры устраняются клиньями 1. В приводе поперечных салазок устранение зазоров производится осевым смещением вдоль винта 3 одной из двух гаек 2.

Обработке на токарно-винторезном станке предшествуют: установка соответствующими рукоятками частоты вращения шпинделя и подачи; настройка гитары сменных колес при нарезании точных резьб; установка и закрепление режущих инструментов, приспособлений и заготовок; изменение положения узлов суппорта и задней бабки при обработке конических поверхностей и т. п.

Закрепление заготовок с отношением длины к диаметру  $L/D < 4$  производится в трехкулачковых самоцентрирующих патронах, установленных на шпинделе станка (рис. 9.4, а). Одновременное перемещение кулачков 4 этих патронов в радиальных пазах корпуса 2 обеспечивается зацеплением выступов 3 кулачков 4 со спиральным пазом колеса 1, вращаемого в корпусе торцовым ключом через коническую передачу. Несимметричные относительно оси вращения заготовки закрепляют в четырехкулачковых патронах с независимым радиальным перемещением кулачков или на планшайбах с угольными ками и прихватами (рис. 9.4, б).



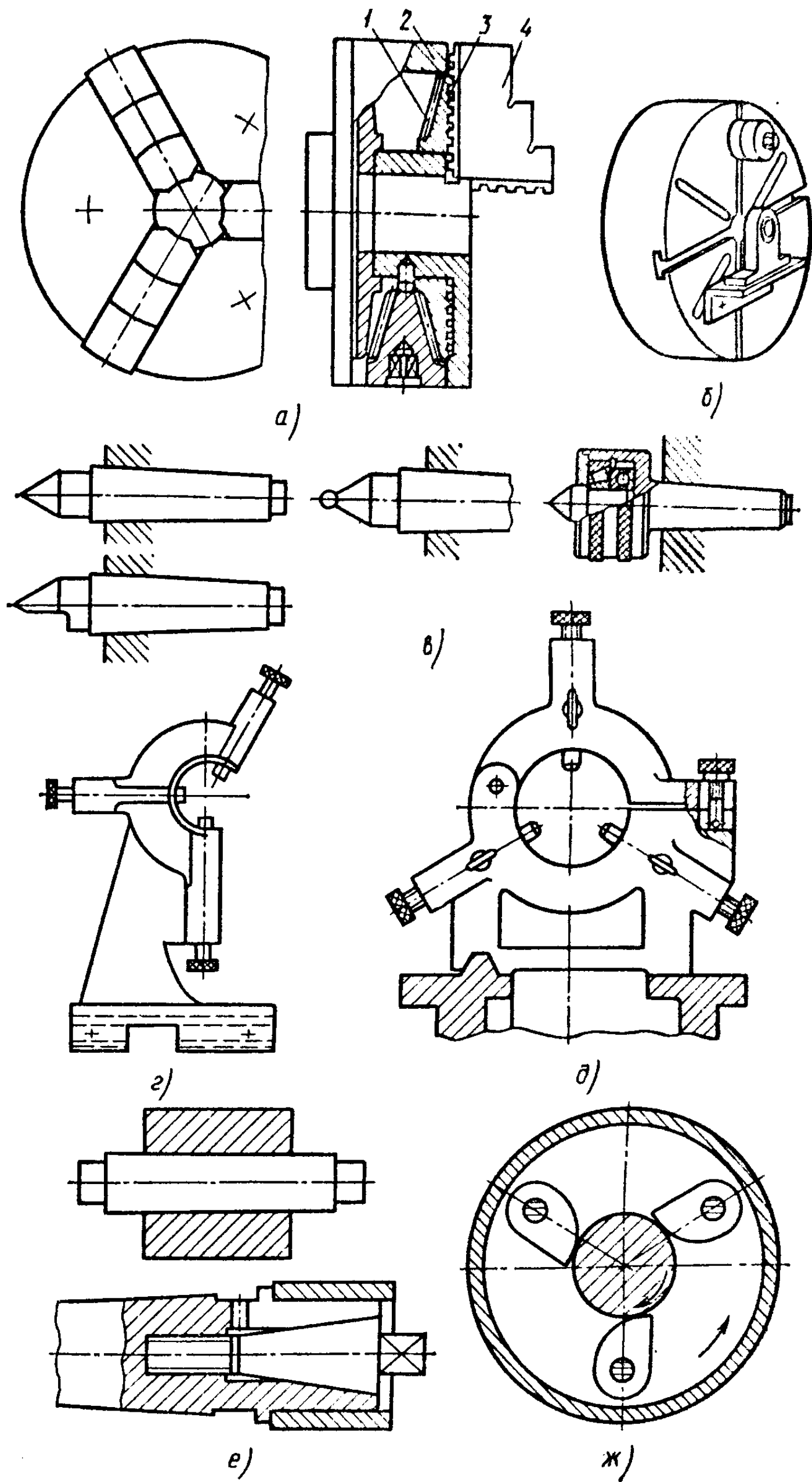


Рис. 9.4. Оснастка токарно-винторезных станков

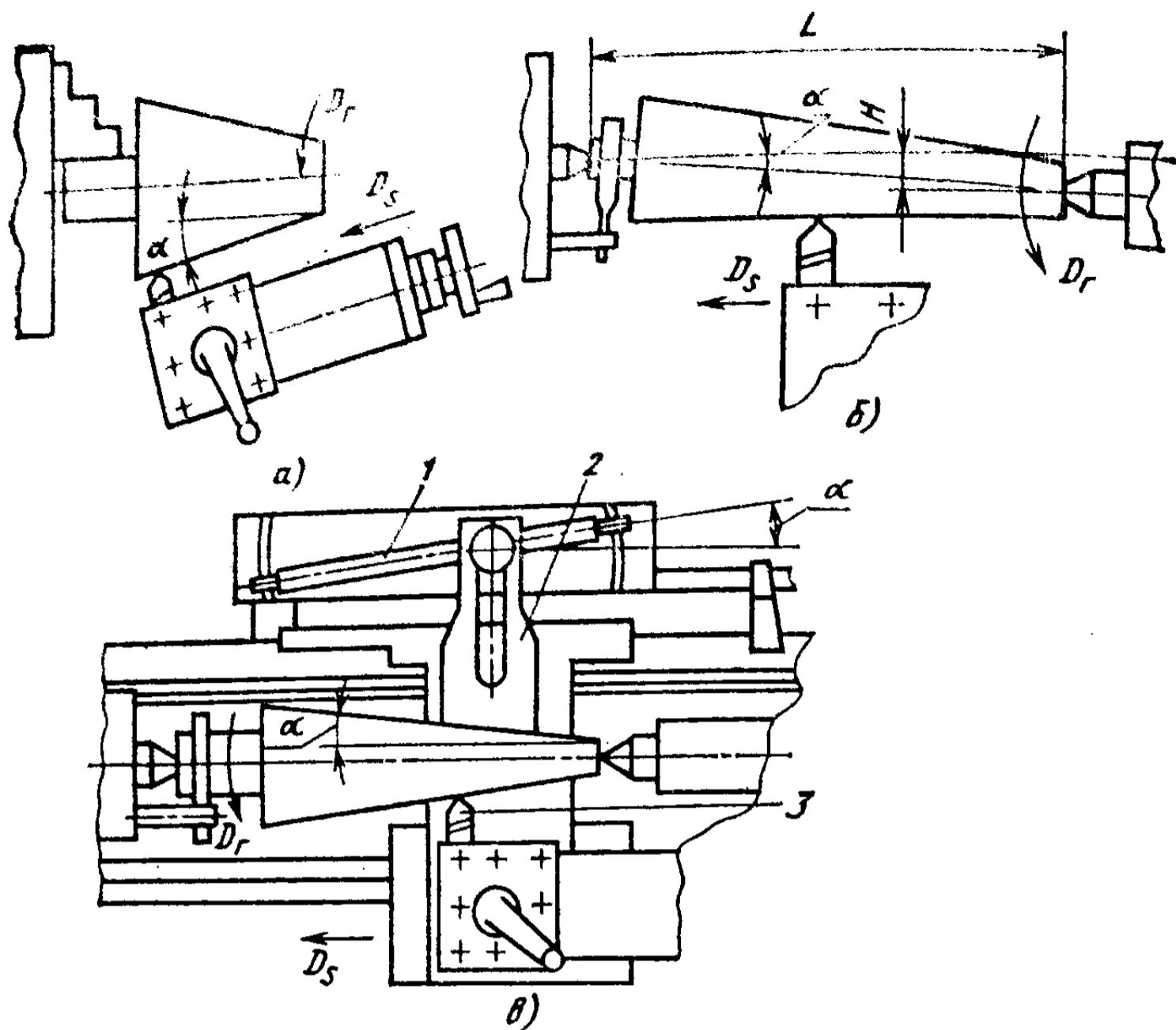


Рис. 9.5. Схемы наладки токарных станков при обработке конусов

Закрепление заготовок с  $L/D > 4$  в патронах производится с одновременной поддержкой центром задней бабки. В зависимости от условий обработки используют жесткие, жесткие срезанные и вращающиеся центры (рис. 9.4, в). Заготовки с  $L/D > 4$  могут устанавливаться на центрах с передачей крутящего момента от шпинделя через поводковый самозажимной патрон (рис. 9.4, ж) или поводковый центр.

Для снижения деформаций при обработке мало жестких заготовок ( $L/D \geq 8$ ) используют поддерживающие люнеты подвижной (устанавливаемые на суппорте) и неподвижной (закрепленные на станине) конструкции (рис. 9.4, г, д). Обработка заготовок колец, втулок и стаканов с базированием по внутреннему отверстию производится при их установке и закреплении на жестких или разжимных оправках, устанавливаемых на центрах или в шпинделе (рис. 9.4, е).

Обработка конических поверхностей на токарно-винторезных станках связана с изменением положения его

узлов или изменением кинематических связей между ними. Так, при обработке точных конических поверхностей верхний суппорт поворачивается вокруг вертикальной оси на угол  $\alpha$  уклона конуса. Движение подачи вдоль образующей конуса сообщается салазкам верхнего суппорта (рис. 9.5, а).

Обработку длинных конических поверхностей с малыми углами конуса  $\alpha$  для деталей, установленных на центрах (рис. 9.5, б), выполняют путем смещения корпуса задней бабки на расстояние  $H$  в поперечном направлении. Смещение  $H$  рассчитывают по формуле  $H = L \sin \alpha$ , где  $L$  — расстояние между центрами.

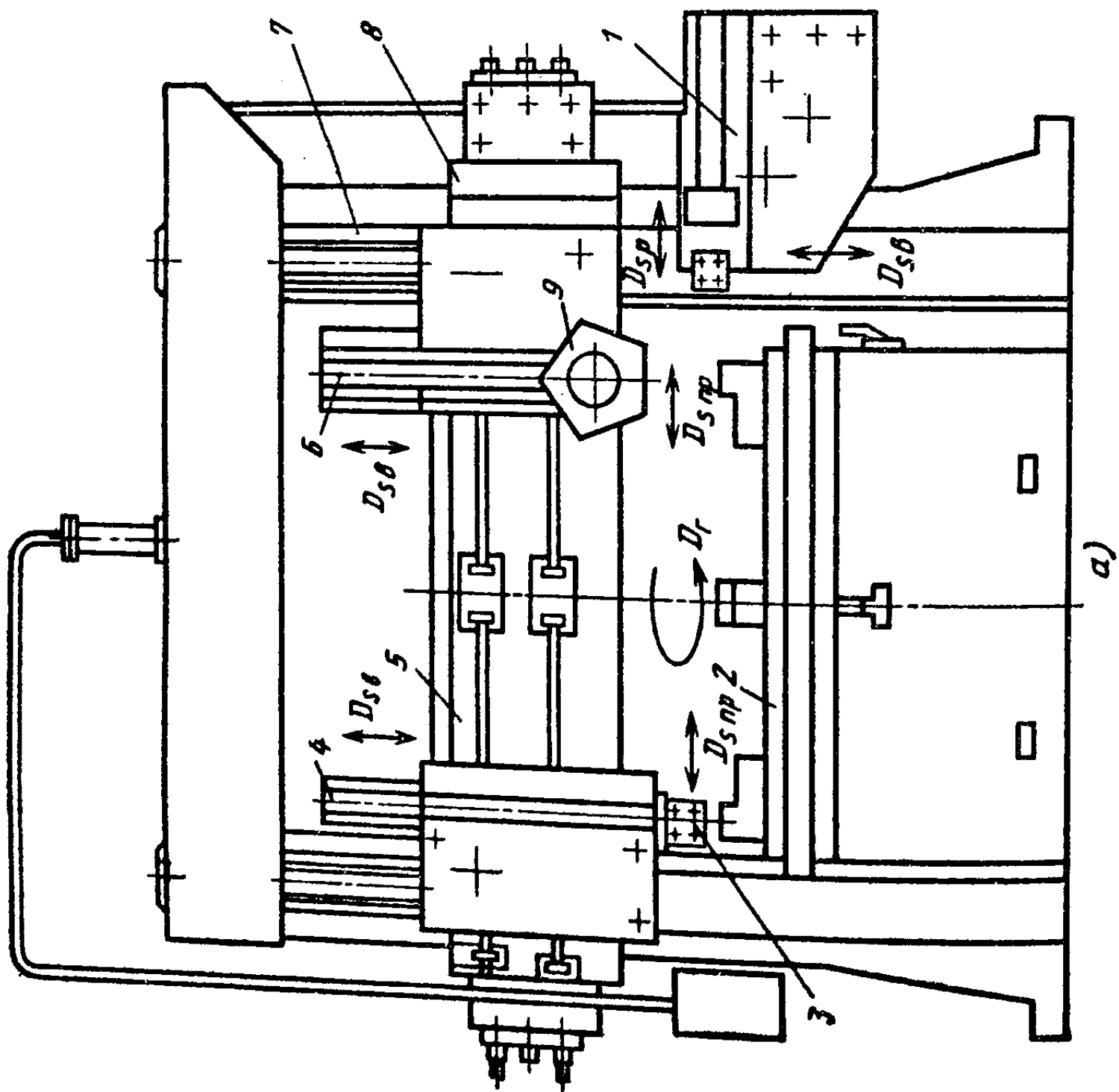
Обработка длинных конических поверхностей с точным углом конуса ( $\alpha \leq 18^\circ$ ) возможна только с использованием конусной линейки (рис. 9.5, в), закрепленной на станине станка. Перед обработкой ходовой винт поперечного движения подачи вывинчиванием отключается от салазок, которые жестко связываются с ползушкой 2, а копирная линейка 1 поворачивается на угол  $\alpha$  конуса. После включения продольного движения подачи суппорта салазки получают одновременное продольное и поперечное перемещение, в результате резец 3 будет двигаться под углом  $\alpha$ , равным углу поворота копирной линейки.

На токарных станках с ЧПУ обработка конических поверхностей производится сочетанием продольного и поперечного движений подачи, задаваемых программой.

## § 9.2. ЛОБОВЫЕ И КАРУСЕЛЬНЫЕ СТАНКИ

Лобовые станки предназначены для токарной обработки коротких заготовок большого диаметра (до 4 м) со сравнительно небольшой массой в условиях единичного и мелкосерийного производства. Эти станки состоят из шпиндельной бабки, основания и задней бабки. В шпиндельной бабке смонтирована коробка скоростей со шпинделем, на планшайбе которого закрепляется заготовка. На продольных направляющих основания размещена подвижная часть суппорта, несущая резцедержатель и получающая поперечное и продольное движения подачи от отдельного электродвигателя. Отсутствие в лобовых станках кинематической связи между вращением шпинделя и движениями подачи не позволяет использовать их для нарезания резьбы резцами или резьбовыми гребенками. Несоответствие между сравнительно малой

Рис. 9.6. Карусельный станок:  
 а — общий вид; б — конструкция шпиндельного узла с примером обработки



радиальной жесткостью шпиндельных опор и значительной нагрузкой на них является причиной невысокой точности лобовых станков. Значительно увеличить жесткость шпиндельных опор, а одновременно и точность обработки можно только принципиальным изменением конструкции всего шпиндельного узла, что и сделано в карусельных станках.

Шпиндель 1 (рис. 9.6, б) карусельного станка имеет вертикальную ось вращения, что позволяет, закрепив на нем планшайбу 2, разгрузить шпиндельные опоры от действия значительной части изгибающих нагрузок.

При обработке на карусельных станках вращение заготовки, установленной на планшайбе, является главным движением резания, а поступательное перемещение режущего инструмента, направленное перпендикулярно, параллельно или под углом к оси вращения заготовки, принимается за движение подачи. Перечисленные движения позволяют на заготовках с большим диаметром и малой высотой (диски, шайбы, крышки и т. д.) обрабатывать цилиндрические, конические и торцовые поверхности, протачивать кольцевые канавки, сверлить, зенкеровать, развертывать и растачивать отверстия. Технологические возможности карусельных станков характеризуются диаметром планшайбы, что находит отражение в обозначении их типоразмера (например, в обозначении станка 1512 диаметр планшайбы 1200 мм).

По компоновке различают одностоечные и двухстоечные (для крупных заготовок) карусельные станки. Несущая система этих станков образована станиной, жестко связанной со стойками. Во внутренней полости станины размещена коробка скоростей, на шпинделе которой закреплена планшайба 2 (рис. 9.6, а). На стойках выполнены вертикальные направляющие 7, по которым перемещается траверса 5 и боковой суппорт 1. Траверса 5 несет на себе вертикальный 4 и револьверный 6 суппорты, которые получают продольное движение подачи  $D_{спр}$  по направляющим траверсы 5 и вертикальное (или наклонное) движение подачи  $D_{св}$  по собственным направляющим. Инструменты закрепляют в резцедержателе 3 и пятипозиционной револьверной головке 9.

Движения подачи суппорты 4, 6 получают от коробки подачи 8, закрепленной на торце траверсы. Боковой суппорт 1 совершает радиальное движение подачи  $D_{сп}$  по своим собственным направляющим и вертикальное

движение подачи  $D_{sv}$  — по направляющим стойки. Управление станком осуществляется с подвесных пультов. Наличие на станке нескольких суппортов позволяет проводить параллельную обработку наиболее сложных заготовок, совмещая обработку резцами с обработкой концевыми инструментами (сверлами, зенкерами, развертками), установленными в револьверной головке. Обработке на карусельных станках во многих случаях предшествует выверка заготовок, закрепленных на планшайбе.

После выверки производится закрепление заготовок кулачками с ручным или механизированным приводом. Для закрепления заготовок небольших размеров используют самоцентрирующие устройства. Иногда с целью концентрации переходов на суппортах карусельных станков дополнительно устанавливают фрезерные, долбежные, шлифовальные головки.

### § 9.3. ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНЫЕ СТАНКИ

На токарно-револьверных станках обрабатывают большую группу заготовок (крышек, шестерен, фланцев и т. п.), для полной токарной обработки которых технологических возможностей токарно-винторезных станков недостаточно. Для обработки таких заготовок требуется больше инструментов, чем их может быть закреплено на токарно-винторезном станке. Использовать для обработки партии заготовок этой группы два токарно-винторезных станка нецелесообразно вследствие неполной загрузки одного из станков.

Для повышения эффективности обработки подобных заготовок были разработаны токарно-револьверные станки (рис. 9.7, а), у которых на направляющих станины вместо задней бабки установлен револьверный суппорт 4, перемещающийся в продольном направлении. На револьверном суппорте размещена периодически поворачивающаяся вокруг своей оси револьверная головка 3 в виде шайбы, в радиальных или осевых отверстиях которой закрепляют режущие инструменты (резцы, блоки резцов, концевые инструменты и т. д.).

Токарно-револьверные станки, у которых ось поворота револьверной головки перпендикулярна оси вращения шпинделя, имеют суппорт 2, несущий резцедержатель 1. Суппорт 2 совершает продольное  $D_{s\text{ пр}}$  и поперечное  $D_{s\text{ поп}}$  движения подачи. Станки, у которых ось поворота ре-

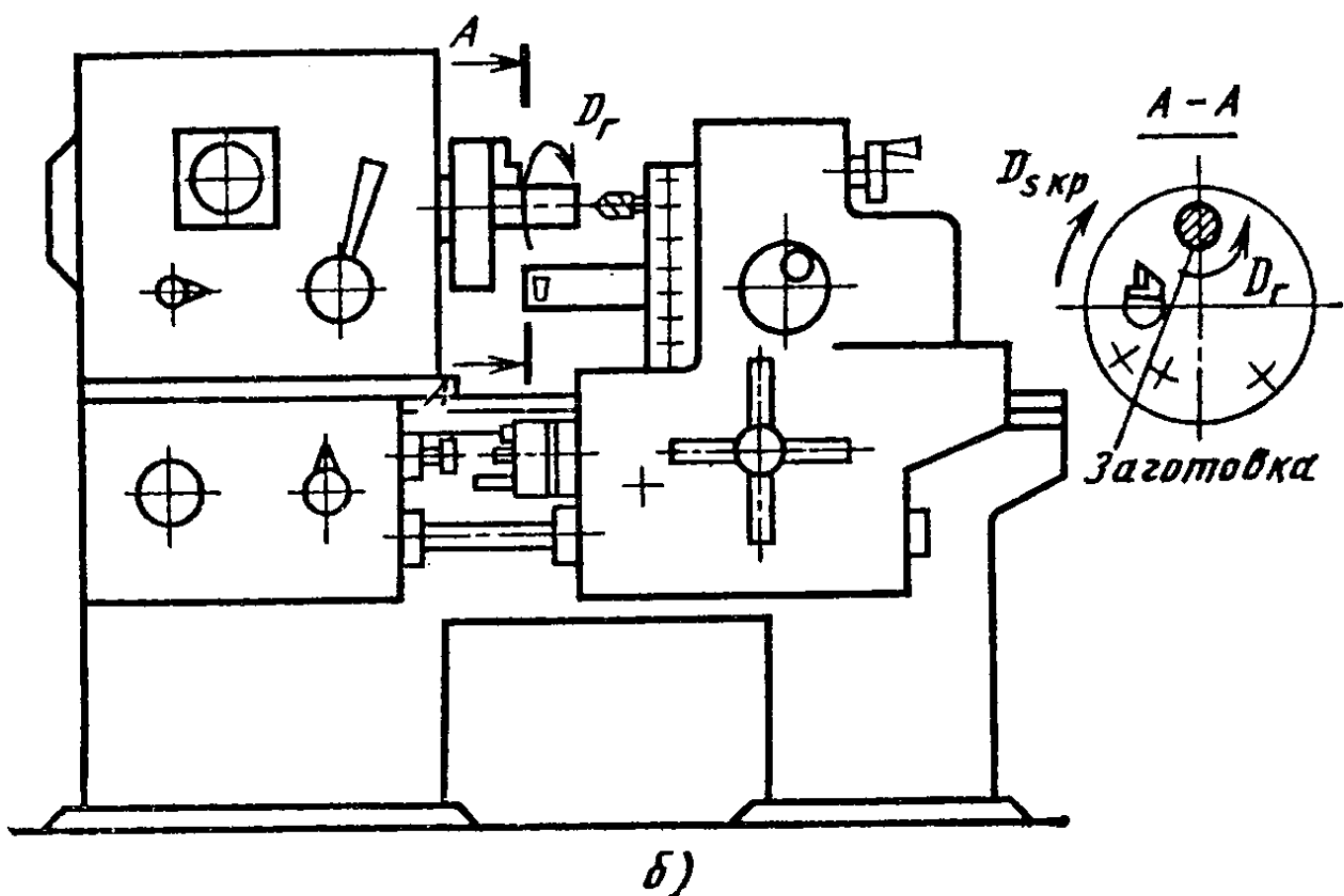
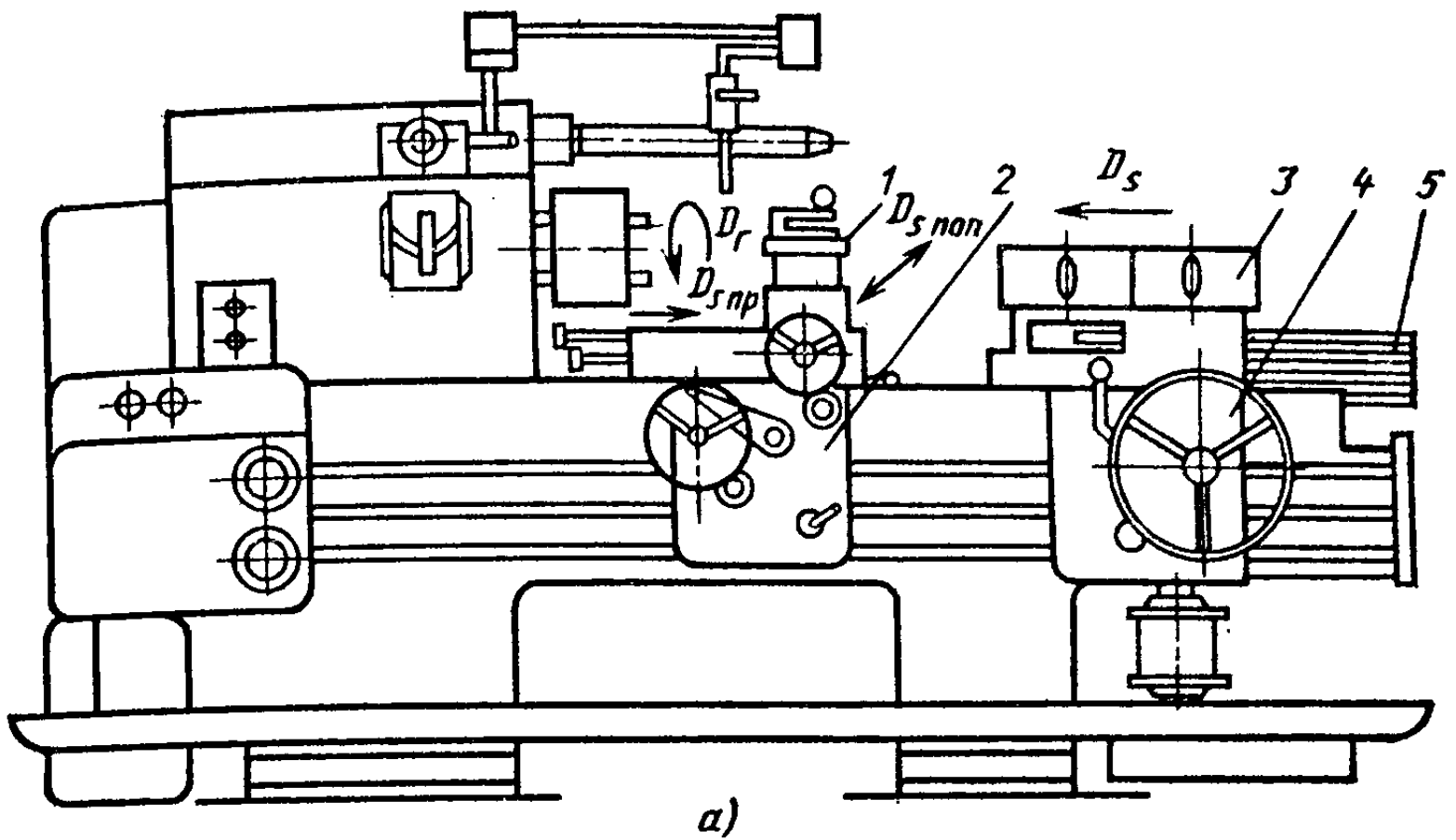


Рис. 9.7. Токарно-револьверный станок

Револьверной головки параллельна оси шпинделя (рис. 9.7, б), не имеют суппорта с резцедержателем, а инструменты, для работы которых требуется поперечное движение подачи (отрезные, дисковые фасонные резцы), получают его при медленном вращении револьверной головки вокруг своей оси. На станках этого типа возможно нарезание резьб по копиру резцами и гребенками, установленными на специальном суппорте — приклоне.

Особенностью токарно-револьверных станков является использование в их конструкции барабана упоров 5

(см. рис. 9.7, а), вращающегося синхронно с револьверной головкой. Длина упоров определяет длину обрабатываемой поверхности для каждого инструмента револьверной головки.

Наибольшее распространение токарно-револьверные станки получили в условиях серийного производства, что наложило отпечаток на конструкцию вспомогательной оснастки, используемой на этих станках. Так, для закрепления штучных заготовок широко применяют самоцентрирующие патроны с пневмоприводом, а при обработке заготовок из прутка — цанговые патроны.

Наибольший диаметр прутка, обрабатываемого на станке, определяет его типоразмер и входит в виде двух последних цифр в обозначение моделей станков, отнесенных по классификации ЭНИМС к третьему типу (например, 1Н318, 1Н325, 1А340, 1365).

Необходимость установки, наладки на размер и закрепления разнотипных режущих инструментов в револьверной головке заставляет использовать промежуточную вспомогательную оснастку (переходные втулки, державки, плавающие оправки и т. п.). Для инструментов с цилиндрическим хвостовиком используют цанговые патроны и переходные разжимные втулки гладкие и с буртом (рис. 9.8, а). Отверстие во втулке может быть соосным с ее наружной поверхностью и может быть расположено эксцентрично по отношению к этой поверхности или под углом к ней. Закрепление резцов производят в державках, допускающих радиальное и осевое регулирование режущих кромок относительно оси заготовки. Резцы в

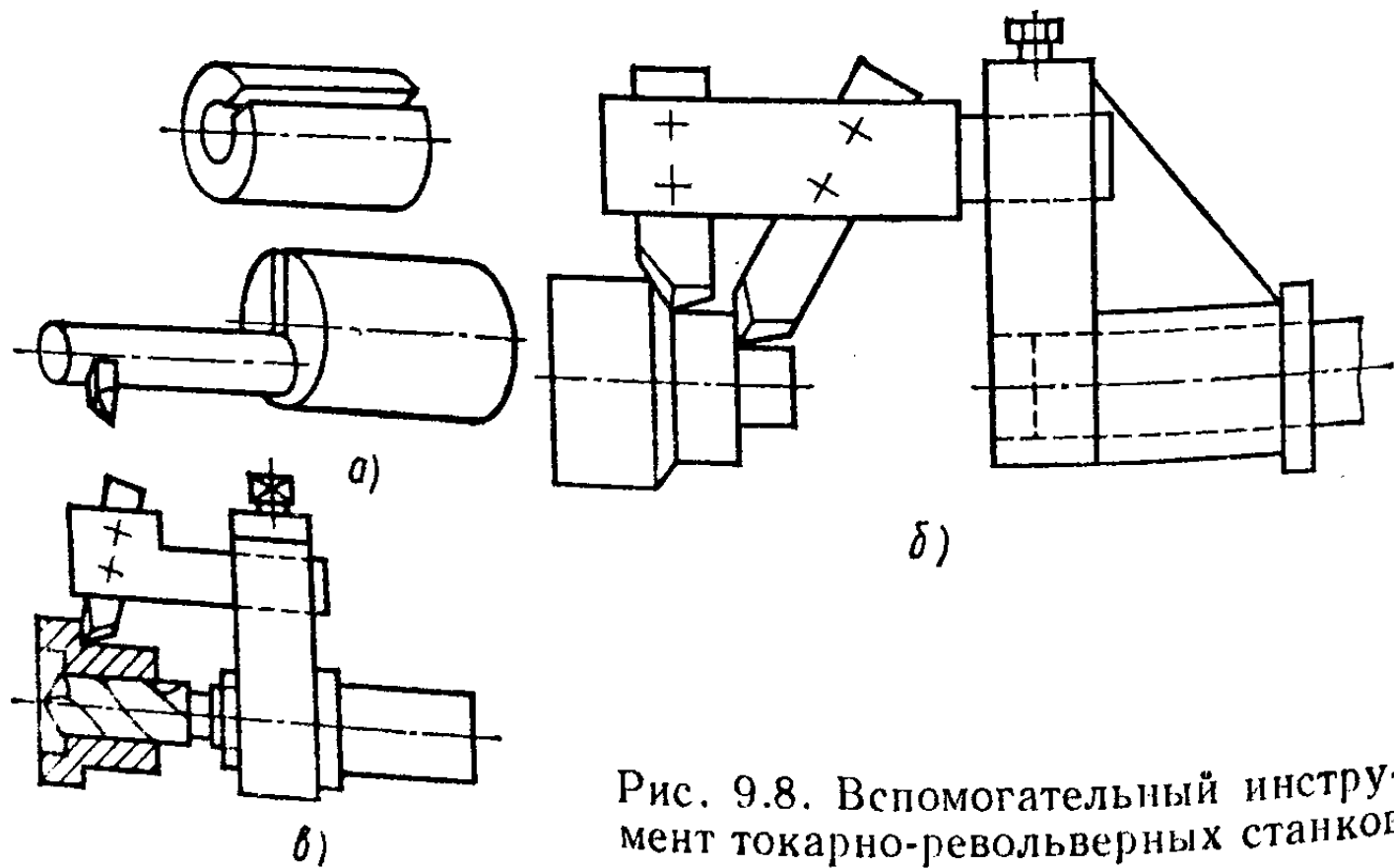


Рис. 9.8. Вспомогательный инструмент токарно-револьверных станков



державках могут устанавливаться как нормально, так и наклонно по отношению к оси шпинделя (рис. 9.8, б). Широко применяют державки, обеспечивающие одновременное закрепление нескольких однотипных или разнотипных (сверло и резец) инструментов (рис. 9.8, в). Развертки, метчики и плашки устанавливают в плавающих оправках, позволяющих благодаря шарнирному закреплению компенсировать несовпадение оси инструмента и отверстия.

#### § 9.4. ТОКАРНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

Автоматами называют станки, обработки каждой последующей заготовки на которых после их наладки не требует вмешательства оператора. Функции оператора сводятся к периодическому контролю размеров и загрузке партии заготовок. Полуавтоматами называют станки, на которых в процессе обработки каждой заготовки оператор осуществляет установку, контроль и снятие готовой детали. Токарные автоматы и полуавтоматы используют в массовом и крупносерийном производстве для многоинструментной обработки заготовок.

Высокая производительность достигается автоматизацией рабочих и вспомогательных ходов, а также их совмещением. Фактором, сдерживающим использование этих станков в серийном производстве, является значительная трудоемкость их переналадки, связанная с изготовлением копиров и кулачков, профиль которых определяет закон движения исполнительных органов. Компоновка и конструктивные особенности токарных автоматов и полуавтоматов определяются уровнем требуемой производительности, степенью сложности изготавливаемых деталей, видом и габаритами заготовок.

По классификации ЭНИМСа одношпиндельные станки (1Б125, 1Д118, 1П16П и т. д.) отнесены к первому типу, а многошпиндельные (1А225-6, 1265М-8, 1283 и т. д.) — ко второму типу токарной группы. В зависимости от расположения шпинделей автоматы и полуавтоматы разделяют на горизонтальные и вертикальные. По виду заготовок они бывают патронными — для штучных и прутковыми — для прутковых заготовок. При использовании в качестве заготовки бунта проволоки обработки проводится вращающимися вокруг оси проволоки инструментами. Также выпускают: фасонно-отрезные автоматы

с поперечным (к оси заготовки) движением подачи резцов; фасонно-продольные автоматы с продольным и поперечным движениями подачи соответственно заготовки и резцов; револьверные автоматы с инструментами, установленными в револьверной головке; многорезцовые и копировальные полуавтоматы, отнесенные классификацией ЭНИМСа к седьмому типу (1Н713, 1722 и т. п.). По назначению автоматы и полуавтоматы делят на универсальные и специальные.

Управление рабочими циклами автоматов и полуавтоматов производится от командоаппаратов и распределительных валов (РВ) с закрепленными на них кулачками и упорами. При управлении автоматами РВ свой полный оборот совершает за время рабочего цикла  $T_{\text{ц}} : T_{\text{в}} = t_{\text{р}} + t_{\text{в}}$ , где  $t_{\text{р}}$  — время рабочих ходов, затраченных на обработку;  $t_{\text{в}}$  — время вспомогательных ходов.

Различают автоматы и полуавтоматы: а) с РВ, вращающимся во время рабочих и вспомогательных ходов с неизменной скоростью; б) с РВ, медленно вращающимся при рабочих ходах и ускоренно при вспомогательных; в) с медленно вращающимся РВ, управляющим суппортами, и быстро вращающимся вспомогательным валом, управляющим остальными механизмами.

Наиболее простыми по конструкции являются токарные многорезцовые полуавтоматы, используемые в массовом и крупносерийном производстве для черновой и получистовой обработки наружных и торцовых поверхностей заготовок (шестерен, колец, валов, фланцев). Основные узлы многорезцового полуавтомата (шпиндельная и задняя бабки, поперечный и продольный суппорт) монтируют на станине 3 (рис. 9.9, а). Слева на станине 3 закреплена шпиндельная бабка 4 с приводом шпинделя, частота вращения которого регулируется сменными колесами. Справа по продольным направляющим станины 3 перемещается пневмоприводом задняя бабка 1. На поперечных направляющих нижней части станины 3 размещается поперечный суппорт 2 с приводом поперечных подач. Верхняя плоскость суппорта 2 используется для установки и закрепления нескольких резцов, предварительно настроенных на размер.

Коробка подач 5 продольного суппорта 8 размещена вместе с ним на верхней части станины. Там же на кронштейне 8 установлена копирная линейка, командоаппарат 9 и передвижной упор 7 линейки отскока продоль-

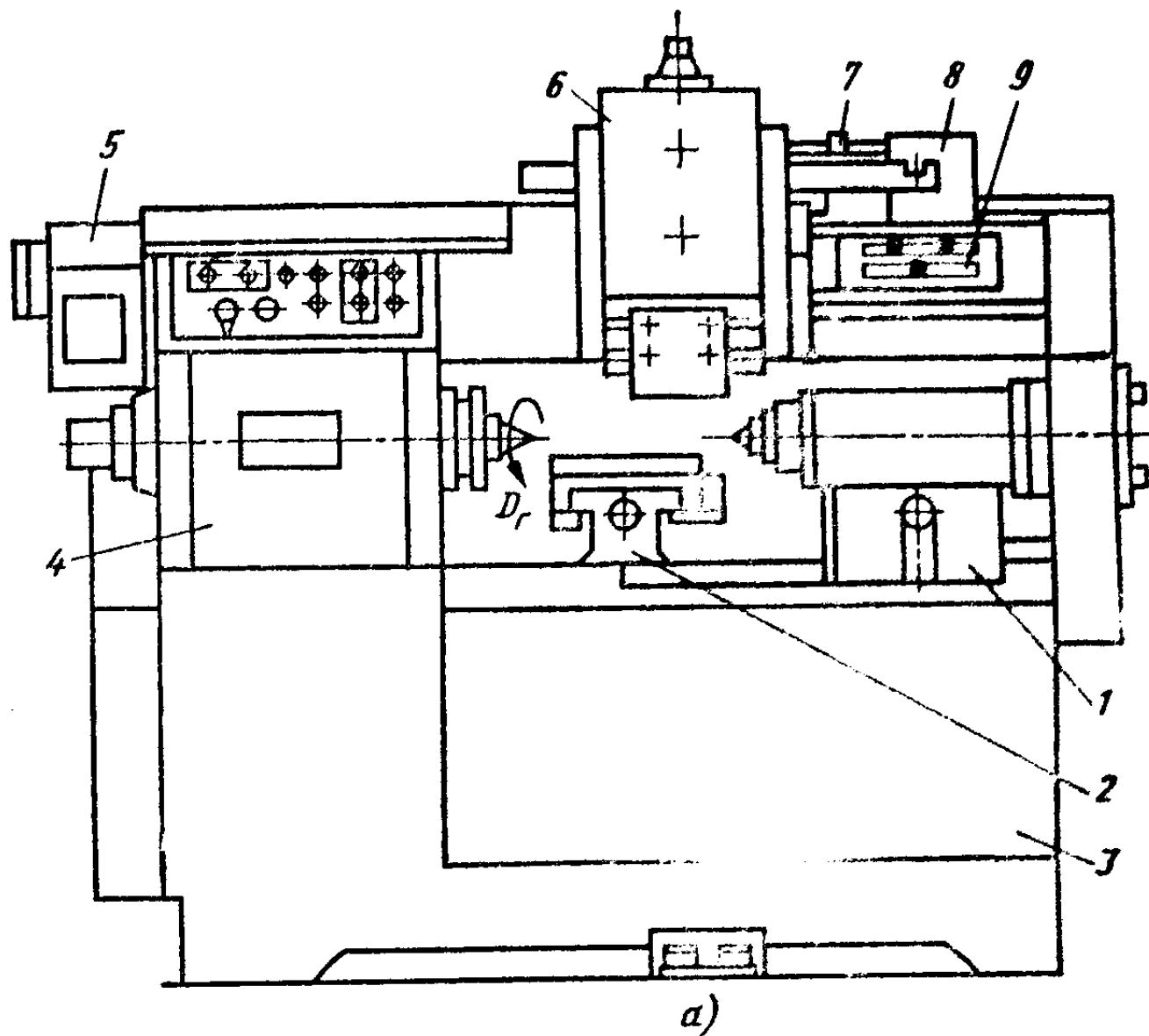


Рис. 9.9. Многорезцовый полуавтомат 1Н713:

а — общий вид; б — схема обработки

упоры суппортов. Линейка отскока своими впадинами и выступами обеспечивает быстрый отскок (примерно на 1 мм) продольного суппорта от заготовки в конце рабочего хода.

Применение электромагнитных муфт и специальных кинематических цепей в приводах подач обеспечивает быстрое переключение суппортов (по командам путевых переключателей) с рабочих подач на ускоренные ходы и наоборот.

Вследствие значительной трудоемкости наладки многорезцовых полуавтоматов, связанной с двухкоординат-

ной выверкой резцов, целесообразно использовать копировальные полуавтоматы при токарной обработке сложнопрофильных валов. Наличие в конструкции этих станков гидрокopировального суппорта позволяет обрабатывать основной профиль детали одним резцом по копиру и использовать для прорезания канавок и подрезания торцов резцы, установленные на поперечных суппортах. Токарные станки, оснащенные гидрокopировальными суппортами, выпускали недавно, но в настоящее время они заменены более производительными станками с ЧПУ.

### § 9.5. ОДНОШПИНДЕЛЬНЫЕ АВТОМАТЫ

Среди одношпиндельных токарных автоматов наибольшими технологическими возможностями в отношении обработки наружных и внутренних сложнопрофильных поверхностей обладают токарно-револьверные автоматы. Эти станки используют для обработки заготовок из прутка в крупносерийном и массовом производстве. Наибольший диаметр прутка, обрабатываемого на токарно-револьверном автомате, указан в обозначении его модели в виде двух последних цифр (например, 1Д118, 1Б125 и 1В140). Если снабдить эти автоматы загрузочными устройствами в виде лотка, на них можно выполнять обработку штучных заготовок.

Рассмотрим особенности этих автоматов на примере кинематической схемы (рис. 9.10) станка 1В140, предназначенного для обработки заготовок резцами, сверлами, зенкерами, метчиками, плашками и т. д. Заготовка, закрепленная в цанговом патроне шпинделя 1, получает левостороннее вращение от ступенчатой коробки скоростей  $i_6$  с электромагнитными муфтами и гитарой сменных колес. Электромагнитные муфты коробки получают сигналы на переключение скоростей и реверсирование шпинделя от командоаппарата КА. Для подачи прутка и его последующего закрепления в шпинделе 1 установлены подающий (цанговый) и зажимной механизмы, приводимые в действие через рычаги барабанными кулачками 2 и 3.

На правом торце шпиндельной бабки смонтированы два вертикальных 20 и 21, а на станине — два горизонтальных 15, 16 поперечных суппорта, работающих с поперечным движением подачи. Кроме того, на переднем горизонтальном суппорте установлен продольный суп-

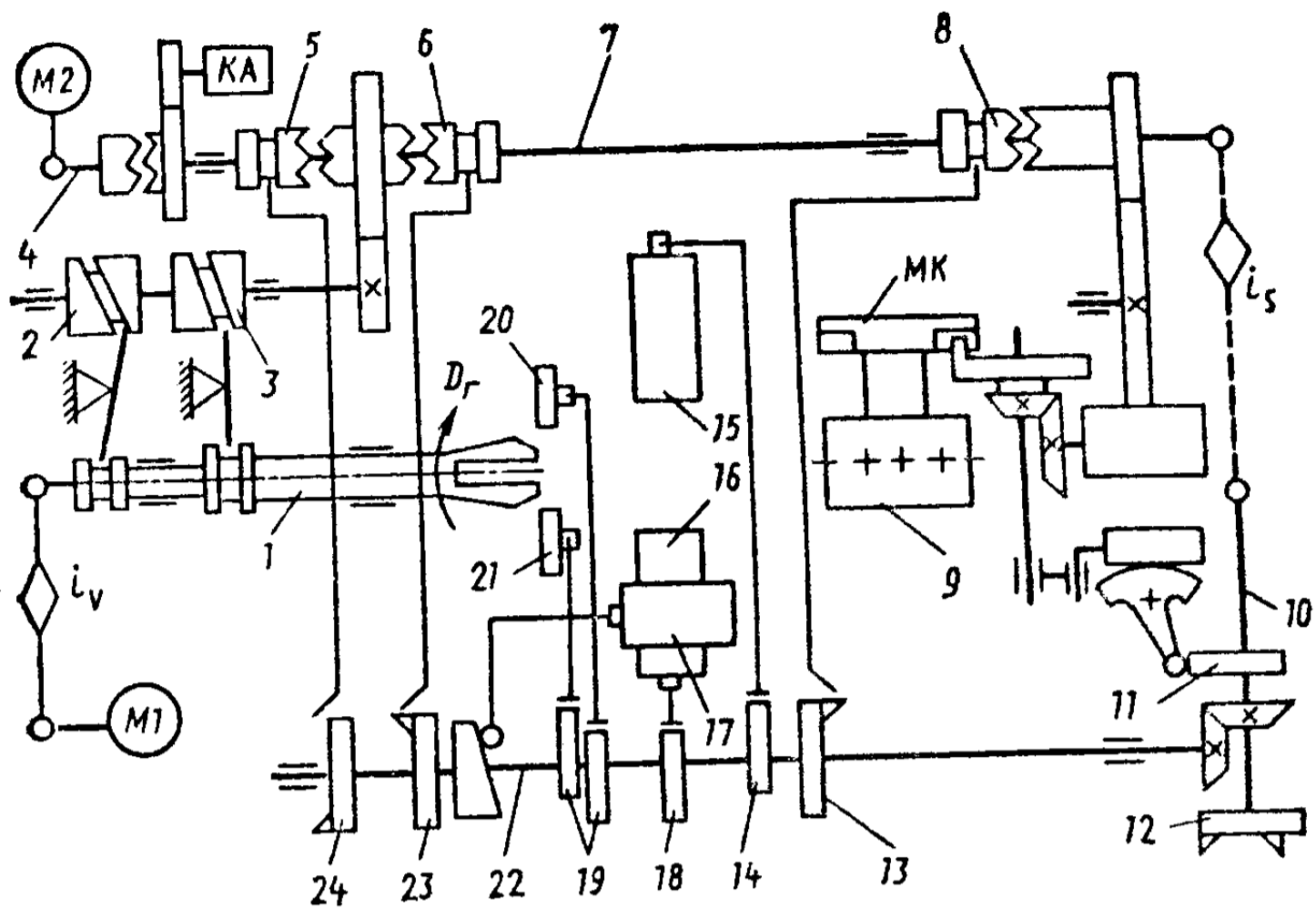


Рис. 9.10. Кинематическая схема токарно-револьверного автомата 1Б140

порт 17, выполняющий продольное движение подачи. Поперечные и продольные суппорты получают движение через зубчато-рычажные передачи от кулачков 14, 18, 19, установленных на распределительном валу 22. Закон движения этих суппортов определяется рабочими профилями соответствующих им кулачков. На продольных направляющих станины подвижно установлен револьверный суппорт с револьверной головкой 9, ось поворота которой перпендикулярна оси шпинделя 1. Рабочую подачу и вспомогательные движения инструменты, установленные в револьверной головке, получают от дискового кулачка 11, закрепленного на поперечном распределительном валу 10.

Автоматизация всех движений обеспечивается вспомогательными 4, 7 и распределительными 10, 22 валами. Они получают вращение от общего электродвигателя М2. Вспомогательный вал 7, установленный на задней стенке станины и вращающийся с угловой скоростью  $2 \text{ с}^{-1}$ , передает свое вращение распределительному валу 10, 22 через коробку подач  $i_s$  с гитарой сменных колес. На вспомогательном валу 4 установлены муфты 5 и 6, включающие в нужный момент цепь вращения барабанных кулачков 2 и 3 соответственно подачи и зажима прутка. Момент

включения муфт определяется местом установки упоров на соответствующих барабанах 23, 24 распределительного вала 22. Команда на включение муфт 5, 8 от барабанов упоров передается системой рычагов. На вспомогательном валу 7 установлена также муфта 8, включающая по команде с барабана упоров 13 кинематическую цепь поворота револьверной головки на  $1/6$  оборота. В качестве механизма периодического поворота в этой цепи использован мальтийский крест МК. Вспомогательный вал 4 через систему передач вращает также вал командоаппарата КА, управляющего направлением и частотой вращения шпинделя 1 и включающего электродвигатель привода специальных приспособлений револьверной головки (на схеме не показан).

Вращение от вспомогательного вала 7 на распределительный вал 10 передается через коробку подач, которая обеспечивает медленное рабочее или быстрое вспомогательное вращение распределительного вала. При медленном вращении передача движения происходит через гитару сменных колес, которую настраивают, исходя из того, что распределительный вал должен совершить один полный оборот за время цикла обработки одной заготовки. Переключение распределительного вала с медленного вращения на быстрое производится муфтой коробки подач  $i$ , управляемой упорами барабана 12 поперечного распределительного вала.

Жесткость горизонтальных поперечных суппортов значительно выше жесткости вертикальных суппортов. Это позволило установить на одном из них (переднем) продольный суппорт. Наличие продольного суппорта позволило не только протачивать резцом цилиндрические поверхности, но и обрабатывать при установке копирных планок конические и простейшие фасонные поверхности.

## § 9.6. МНОГОШПИНДЕЛЬНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

Повышение производительности токарной обработки успешно достигается применением многошпиндельных (4—12 шпинделей) токарных автоматов и полуавтоматов с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделей. На этих станках проводится обработка как штучных заготовок (отливок, поковок, штамповок), так и заготовок в виде прутков и труб. На них можно

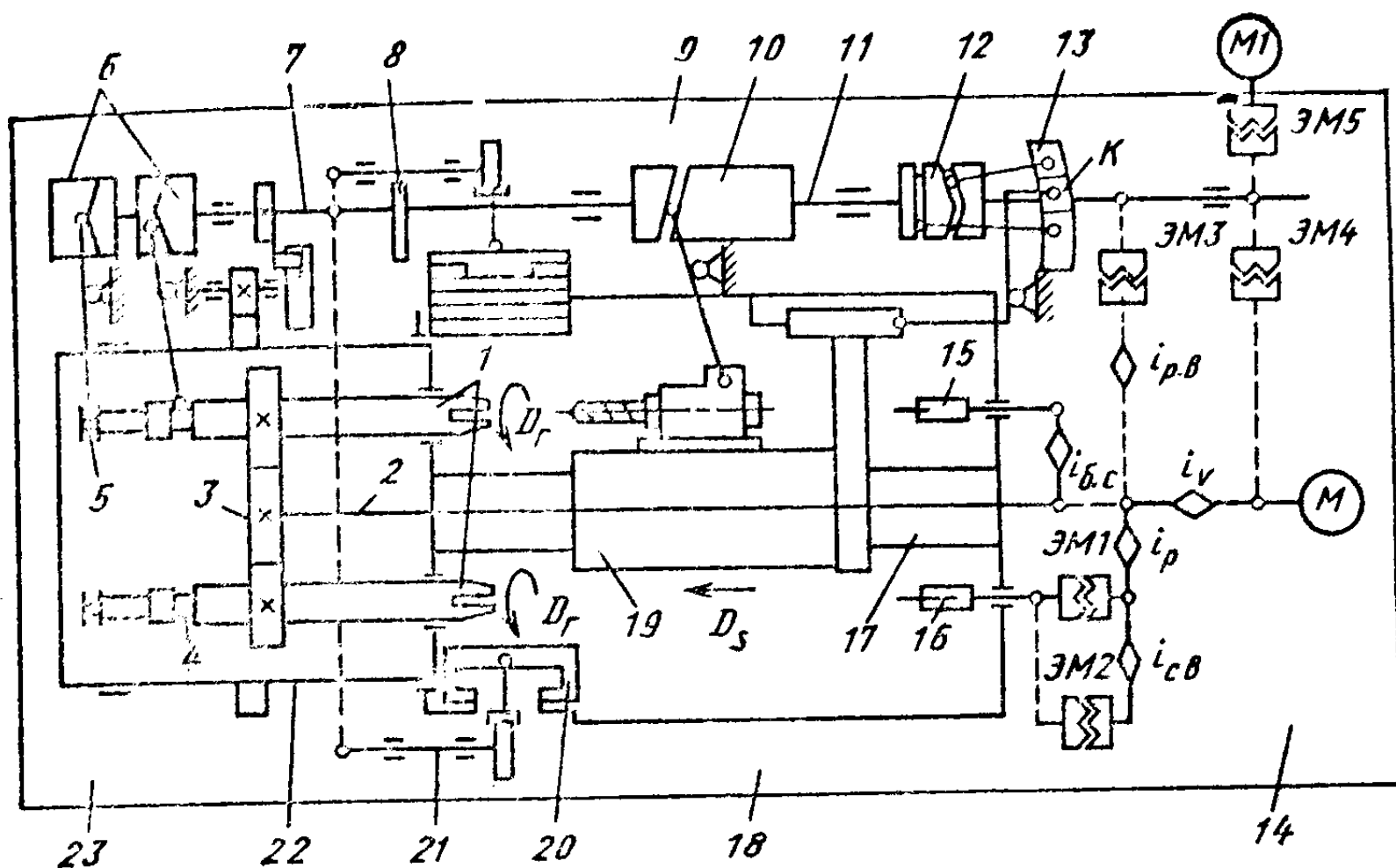


Рис. 9.11. Структурная схема токарного пруткового шестишпindelного автомата 1Б265-6К

точить цилиндрические, конические и фасонные поверхности, подрезать торцы, прорезать канавки, сверлить, растачивать, зенкеровать и развертывать, нарезать резьбу и т. д.

Обработка на многошпindelных станках может выполняться по параллельной, последовательной и параллельно-последовательной схемам. При обработке по параллельной схеме на всех позициях выполняются одни и те же переходы, а в конце цикла работы получают число готовых деталей, равное числу шпинделей. На станках, работающих по параллельной схеме, целесообразна обработка деталей простой формы. При обработке по последовательной схеме операция обработки сложнопрофильной детали разбивается на группы переходов, которые закрепляются за позициями обработки. Все шпиндели с заготовками последовательно проходят эти позиции. При обработке по последовательно-параллельной схеме на позициях последовательно обрабатывается сразу несколько заготовок.

В качестве многошпindelного станка с горизонтальным расположением шпинделей рассмотрим шестишпindelный токарный прутковый автомат 1Б265-6К (рис. 9.11) с наибольшим диаметром обрабатываемого прутка 65 мм (диаметр прутка входит в виде двух последних цифр в обозначение модели). Характер компоновки

пруткового автомата определяется горизонтальным расположением шпинделей 1, смонтированных в поворотном блоке 22 передней стойки 23, которая закреплена слева на станине 18. Справа на станине установлена задняя стойка 14 с приводами шпинделей 1, быстросверлильных 15 и резьбонарезных 16 шпинделей и приводом распределительного вала 11. Передняя и задняя стойки жестко связаны траверсой 9, в которой установлен распределительный вал 11. На центральной трубе 17, закрепленной в передней и задней стойках, подвижно установлен продольный суппорт 19 в виде шестигранной призмы, на гранях которой выполнены направляющие для установки различных инструментальных державок. Эти державки либо закрепляются неподвижно и перемещаются вместе с суппортом 19, либо перемещаются по его направляющим, имея независимый привод подачи.

В непосредственной близости от поворотного блока 22 на плоскостях прилегания станины, передней стойки и траверсы смонтировано шесть поперечных суппортов 20. Такая конструкция предполагает обработку по последовательной или параллельно-последовательной схемам. Главное движение — вращение шпинделей — сообщается двигателем  $M$  через гитару  $i_v$ , центральный вал 2 и шестерню 3. Шпиндель 15 получает свое вращение от центрального вала 2 через гитару  $i_{б.с.}$ . Значительные скорости резания при использовании этого шпинделя обеспечиваются тем, что направление его вращения противоположно вращению основного шпинделя 1.

Шпиндель 16 резьбонарезного устройства при нарезании резьбы получает вращение от центрального вала 2 через гитару  $i_p$  и муфту ЭМ1, а при свинчивании — через  $i_p$ , гитару свинчивания  $i_{св}$  и муфту ЭМ2 (с отключением муфты ЭМ1). Эти кинематические цепи при неизменном направлении вращения шпинделя 1 (заготовки) и метчика обеспечивают нарезание и свинчивание путем изменения частоты вращения инструмента. Приводы подачи всех суппортов, а также приводы большинства вспомогательных механизмов получают движение от распределительного вала, состоящего из двух частей 11 и 7, связанных шлицевой втулкой.

Все рабочие движения в станке происходят при медленном вращении распределительного вала 11, которое он получает от центрального вала 2 через гитару  $i_p$  и муфту ЭМ3. При вспомогательных движениях распре-



делительный вал 11 вращается ускоренно от двигателя М1 через муфту ЭМ4 при выключенной муфте ЭМ3. Наладочное вращение распределительного вала производится от двигателя М1 через муфту ЭМ5 при отключенных муфтах ЭМ3 и ЭМ4.

Поперечные суппорты 20 получают движение подачи от дисковых кулачков 8 основного распределительного вала 7 и дополнительных распределительных валов 21, конструктивно приближенных к соответствующим поперечным суппортам. Эти движения передаются через рычажную систему, допускающую настройку рабочего хода изменением длины тяг. Движение подачи продольного суппорта 19 обеспечивается кулисным механизмом 13, приводимым в действие кулачковым барабаном 12 распределительного вала. Регулирование длины хода продольного суппорта 19 выполняется изменением положения камня К кулисного механизма 13. Инструментальные державки (III—VI) независимое от продольного суппорта 19 движение получают от цилиндрических кулачков, установленных на барабане 10 распределительного вала 11. Цилиндрические кулачки 6 с кривыми постоянного профиля устанавливаются на распределительном валу для приведения в действие механизмов подачи 5 и зажима 4 прутка. Привод от кулачков распредвала используется также для последовательного расфиксирования, подъема над опорами и поворота блока 22 шпинделей на 1/6 оборота.

В качестве исполнительного механизма поворота блока 22 используется мальтийский крест, получающий вращение от распределительного вала 7. На распределительном валу 7 также установлен кулачок привода качающегося упора материала. Станок оснащен поворотными трубами, поддерживающими прутки, закрепленные в шпинделях, и оборудуется шнековым конвейером, удаляющим стружку.

Многошпиндельные станки для обработки штучных заготовок выпускают как с горизонтальным (для малых заготовок), так и с вертикальным (для крупных заготовок) расположением шпинделей. В станках с горизонтальным шпинделем, в отличие от подобных им по кинематике прутковых автоматов, устанавливают устройство остановки вращения шпинделя в загрузочной позиции. Эти станки работают в полуавтоматическом цикле, а при оснащении загрузочными устройствами используются как автоматы.

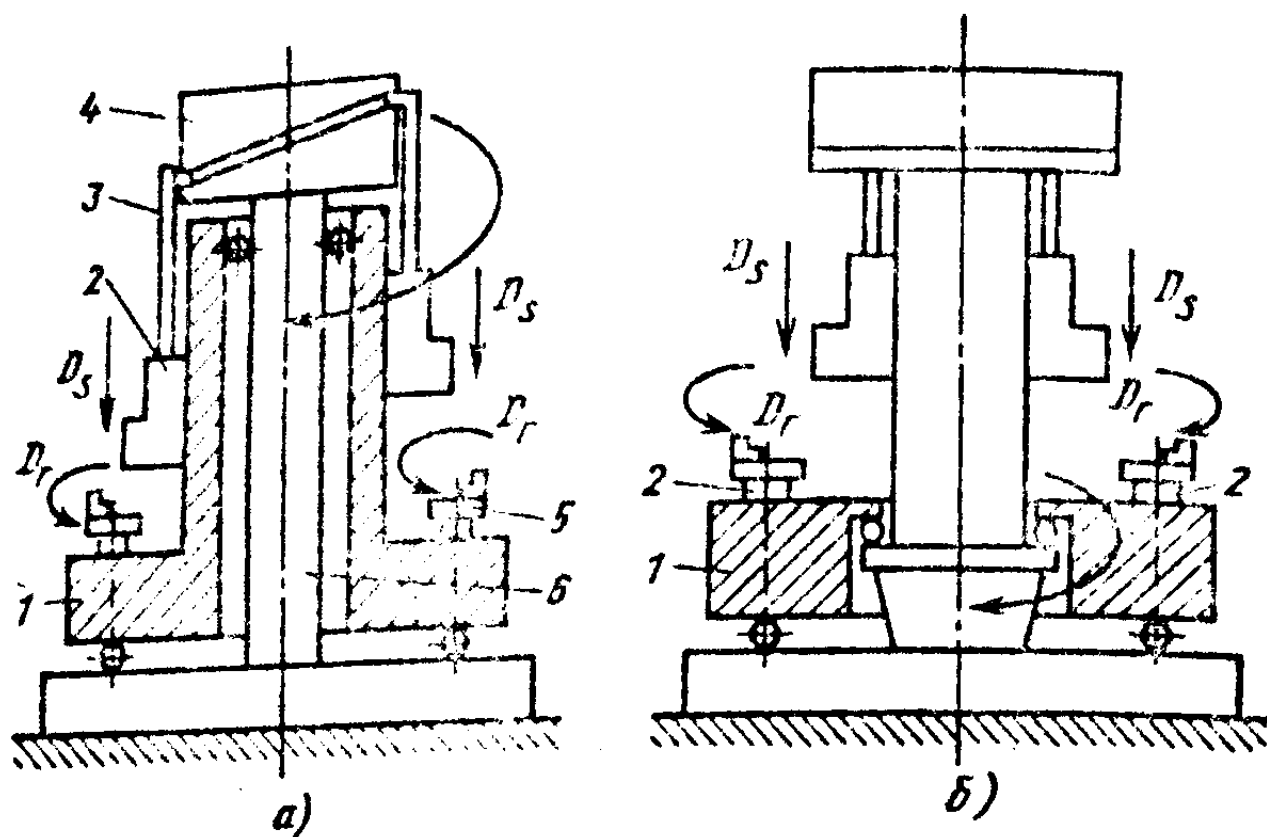


Рис. 9.12. Многошпиндельные полуавтоматы параллельного и последовательного действия

Вертикальная компоновка токарных многошпиндельных станков позволяет сократить занимаемую ими площадь и использовать более жесткие конструкции шпиндельных опор. В большинстве случаев многошпиндельные станки вертикальной компоновки работают в полуавтоматическом цикле по параллельной или последовательной схеме обработки.

Для таких полуавтоматов, работающих по параллельной схеме, характерна конструкция (рис. 9.12, а) с поворотным блоком 1, несущим на себе шпиндели 5 и соответствующие им суппорты 2. Блок 1 в процессе обработки вращается вокруг неподвижной колонны 6, на верхней части которой установлены кулачки 4, взаимодействующие через рычаги 3 с суппортами 2.

В полуавтоматах, работающих по последовательной схеме (рис. 9.12, б), суппорты подвижно устанавливаются на гранях неподвижной колонны, вокруг которой поворачивается стол 1 с установленными на нем шпинделями 2. Примером такого станка может служить токарный восьмишпиндельный полуавтомат последовательного действия, предназначенный для патронной черновой и получистовой обработки заготовок из черных и цветных металлов в условиях крупносерийного и массового производства.

Главным движением резания для таких станков является вращение шпинделя с заготовкой, а движением подачи — поступательное перемещение инструмента, закрепленного на суппорте. Для расширения технологиче-

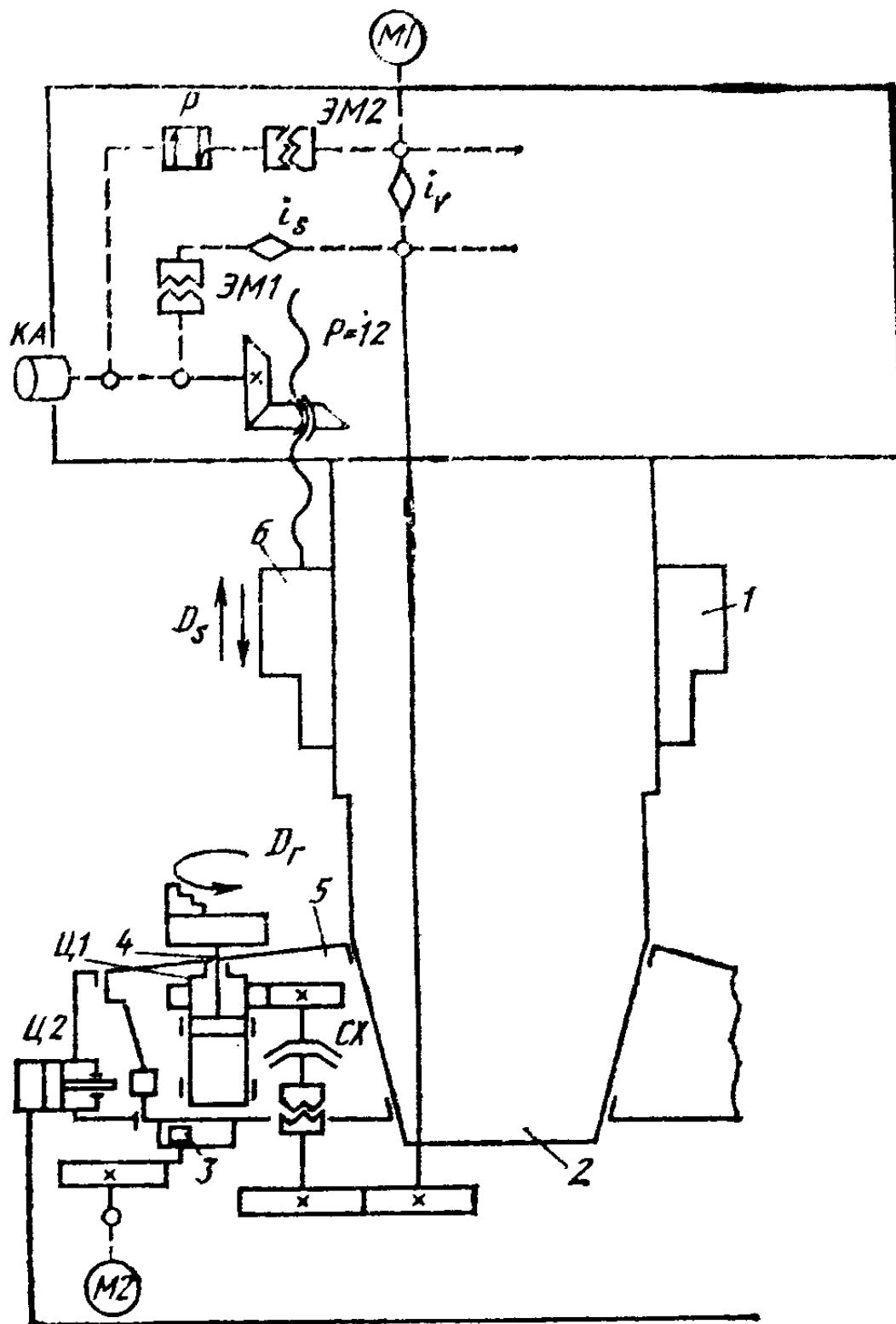


Рис. 9.13. Вертикальный токарный восьмишпиндельный полуавтомат 1К282

ских возможностей этих полуавтоматов используют универсальные (с поперечным движением подачи) суппорты, суппорты параллельного действия, сверлильные головки и обработку с двойной индексацией по параллельно-последовательной схеме (поворот стола со шпинделями не через  $1/8$  оборота, а через  $1/4$ ).

Каждый шпиндель и суппорт полуавтомата в рабочей позиции имеет привод, структурная схема которого приведена на рис. 9.13. Шпиндель 4 получает вращение от двигателя  $M1$  через коробку скоростей и гитару сменных шестерен  $i_b$ , расположенных в верхней части неподвижной колонны 2. Гитары  $i_b$  позволяют настроить частоту вращения шпинделя 4, необходимую для каждой рабочей позиции. Использование синхронизаторов  $CX$  в виде двух фрикционных чашек и муфты обеспечивает оптимальную динамику разгона шпинделей. Управление приводом включения и выключения синхронизатора централизовано.

Закрепление заготовки с помощью гидроцилиндра Ц1 происходит при остановленном с помощью тормоза шпинделя на загрузочной позиции без суппорта. Движение рабочей подачи суппорты 1, 6 получают от вертикального вала цепи главного движения через гитару сменных колес  $i_s$ , коробку подач с муфтой ЭМ1 и передачу винт—гайка с шагом  $P = 12$  мм. Ускоренный прямой и обратный ход суппорты 1, 6 получают от двигателя М1 через муфту ЭМ2, минуя гитару  $i_s$ , на передачу винт—гайка с  $P = 12$  мм. Управление рабочими и вспомогательными ходами суппорта 6 в полуавтоматическом и наладочном режимах осуществляется командоаппаратом КА, приводимым в движение от вала коробки подач.

Периодический поворот стола производится от электродвигателя М2 механизмом мальтийского креста, который при повороте роликом водила 3 входит в паз на нижнем торце стола, поворачивая его. Поворот стола 5 сопровождается срабатыванием гидроцилиндра Ц2 фиксации стола. Управление механизмами поворота и фиксации осуществляется путевыми переключателями.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Каково назначение ходового винта и ходового вала токарно-винторезного станка?
2. Где закрепляются инструменты на карусельных станках?
3. В чем различия токарно-револьверных станков основных типов?
4. Чем конструктивно различаются суппорты токарно-револьверного автомата?
5. Зачем и как изменяют частоту вращения распределительного вала за цикл обработки на автомате 1Б265-6к?
6. Какие типы устройств используют для управления работой в токарных автоматах и полуавтоматах?

## ГЛАВА 10. ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ

## § 10.1. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ

Для обработки отверстий резанием необходимо сочетание двух формообразующих движений: главного движения резания ( $D_r$ ) в виде быстрого вращения инструмента или заготовки вокруг оси обрабатываемого отверстия и движения подачи ( $D_s$ ) в виде перемещения инструмента или заготовки вдоль оси отверстия. Таким образом, при обработке отверстий вращательное движение суммируется с поступательным и каждая точка режущих кромок инструмента совершает результирующее движение по винтовой траектории, расположенной на поверхности кругового цилиндра. В качестве оборудования при обработке отверстий используются станки сверлильно-расточной группы либо токарные станки.

За скорость главного движения резания при обработке отверстий принимают окружную скорость точки на максимальном диаметре обрабатываемой поверхности. Скорость резания (м/с)  $v = \pi D n$ , где  $n$  — частота вращения инструмента или заготовки,  $s^{-1}$ ;  $D$  — наибольший диаметр обработки, м. На практике чаще используют зависимость, в которой время измеряют в минутах, а диаметр — в миллиметрах:  $v = \pi D n / 1000$ . Подачей на оборот  $S_0$  (мм/об) называют расстояние, пройденное рассматриваемой точкой в направлении движения подачи за один оборот инструмента или заготовки. При применении многолезвийных инструментов для обработки отверстий целесообразно использовать подачу на зуб  $S_z$  (мм/зуб), соответствующую перемещению инструмента (заготовки) в направлении движения подачи за время поворота на один угловой шаг зубьев режущего инструмента. Между подачей на оборот  $S_0$  и подачей на зуб  $S_z$  существует зависимость:  $S_0 = S_z z$ .

При обработке отверстия в сплошном материале глубина резания  $t$  определяется как половина диаметра этого

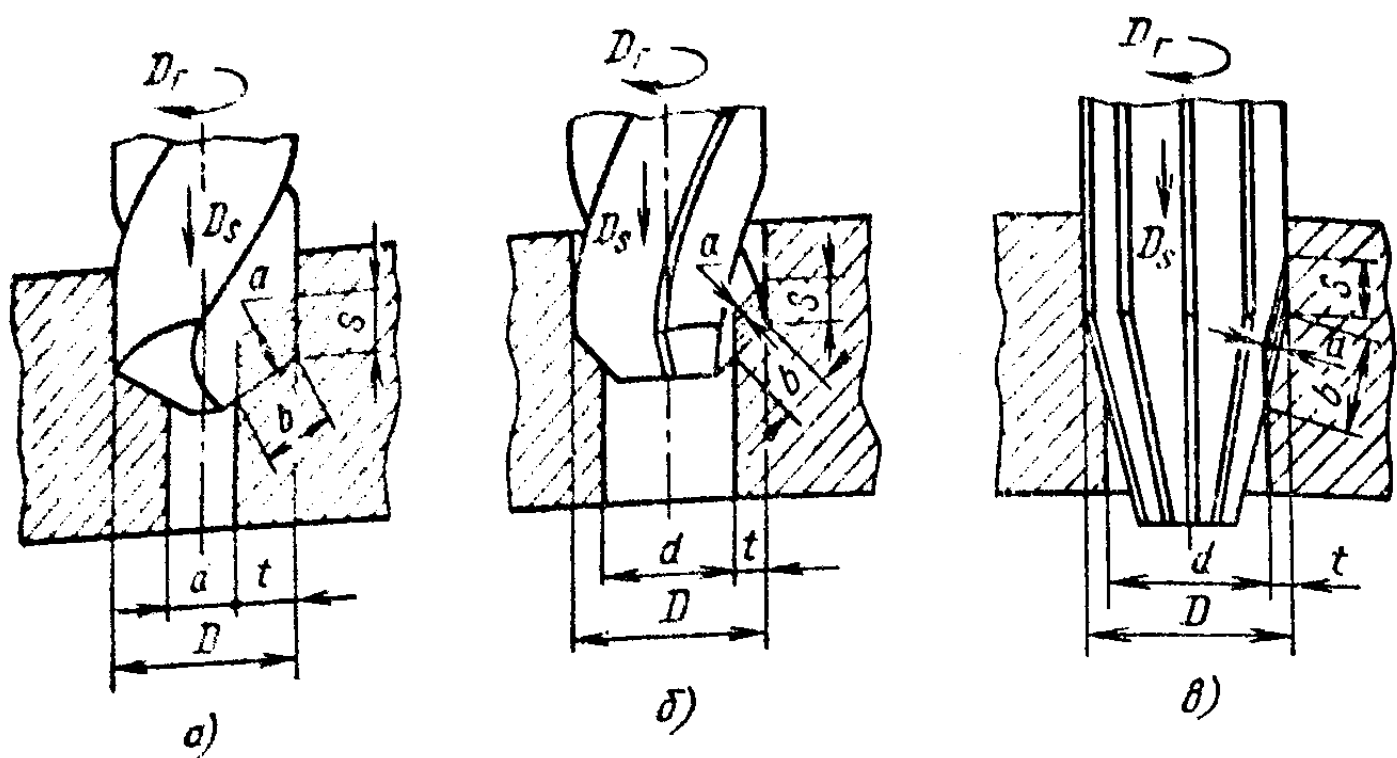


Рис. 10.1. Элементы режима резания и срезаемого слоя при рассверливании, зенкеровании и развертывании

отверстия:  $t = D/2$ . При рассверливании, зенкеровании, развертывании и растачивании глубина резания определяется как полуразность диаметров до и после обработки:  $t = 1/2 (D - d)$ , мм. Срезаемый в процессе обработки отверстий слой металла характеризуется толщиной  $a$  и шириной  $b$ . За толщину срезаемого слоя  $a$  принимают длину нормали к поверхности резания, проведенную через рассматриваемую точку режущей кромки и ограниченную сечением срезаемого слоя. Шириной срезаемого слоя  $b$  считается длина стороны сечения срезаемого слоя, измеренная по поверхности резания (рис. 10.1).

Наиболее широкое распространение при обработке отверстий получили операции сверления (рис. 10.1, а), зенкерования (рис. 10.1, б), развертывания (рис. 10.1, в), растачивания, нарезания внутренней резьбы и обработки центровых отверстий. В зависимости от требований чертежа некоторые из перечисленных операций дополняются обработкой бобышек и углублений вокруг отверстий. Для этих целей применяют (рис. 10.2): зенкерование цилиндрических углублений (рис. 10.2, а), зенкерование конических углублений (рис. 10.2, б) и цекование торцов бобышек (рис. 10.2, в, г), прилегающих к отверстиям.

Сверление используют при получении глухих и сквозных отверстий в сплошном материале. Обработанные сверлением отверстия имеют параметр шероховатости  $Ra = 12,5$  мкм и точность, соответствующую 12—14-му качеству. Причиной сравнительно невысокой точности просверленных отверстий является отклонение от соосности

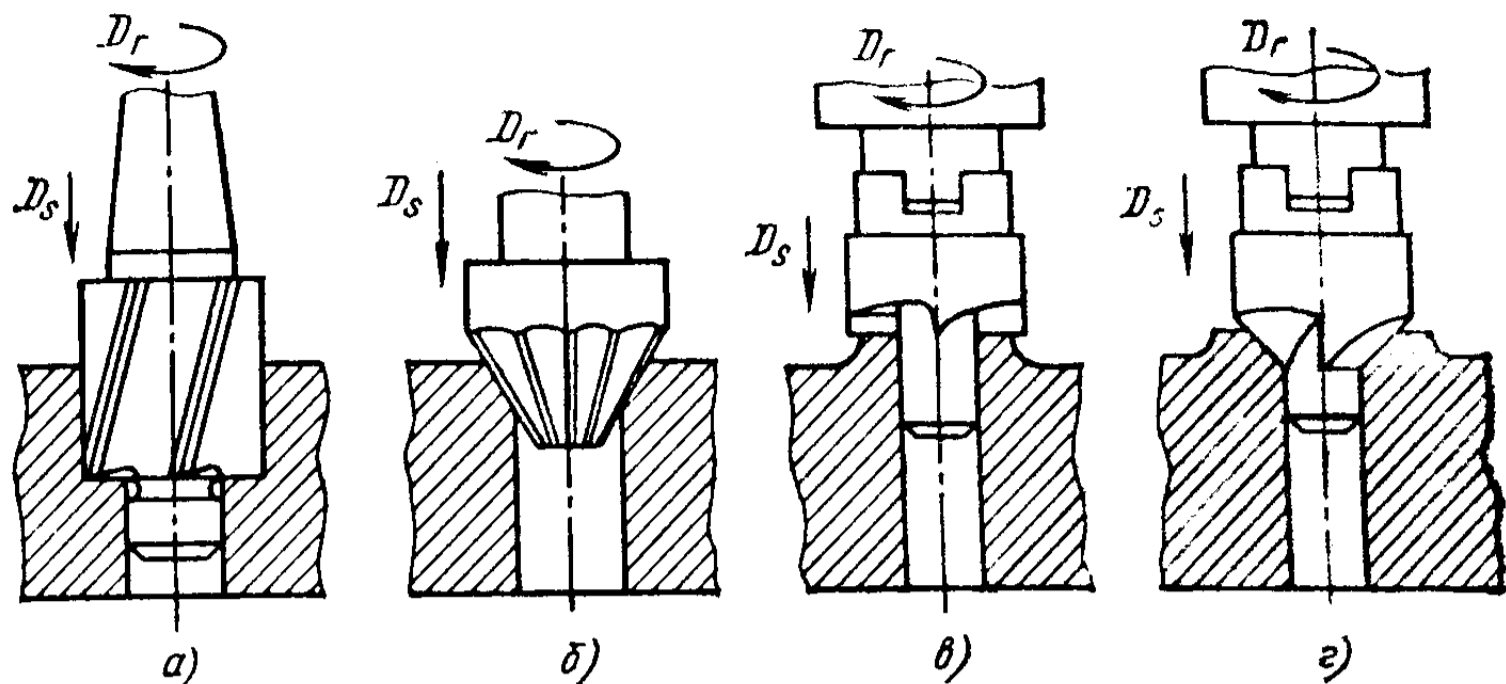


Рис. 10.2. Схема обработки углублений и бобышек зенкерами и цековками

сверла со шпинделем станка и отклонение от симметричности заточенной режущей части. Отрицательное влияние этих факторов приводит к «разбивке» отверстия, т. е. увеличению его диаметра по сравнению с диаметром сверла. Для стандартных спиральных сверл (с двумя режущими зубьями) «разбивка» составляет 1 % диаметра сверла. Отверстия, обработанные сверлом, используют обычно для болтовых соединений либо для последующего нарезания резьбы.

Зенкерование применяют при обработке глухих и сквозных отверстий, предварительно обработанных сверлением либо полученных литьем или ковкой (штамповкой). Обработка при зенкерование проводится многозубым инструментом — зенкером ( $z = 3 \dots 8$ ). Увеличенное по сравнению со сверлом число режущих зубьев зенкера позволяет получить при зенкерование более точное по форме и размеру отверстие. При этом обеспечивается параметр шероховатости обработанных поверхностей  $Ra = 6,3$  мкм.

Увеличению точности и снижению шероховатости при обработке отверстий, полученных литьем или штамповкой, способствует расчленение операций зенкерования на черновой и чистовой переходы. Глубина резания при зенкерование увеличивается с возрастанием диаметра отверстия, ее назначают исходя из необходимости получения минимальности припуска под обработку. Она обычно составляет  $(0,05—0,1) d_3$ , где  $d_3$  — диаметр отверстия, обработанного зенкерованием.

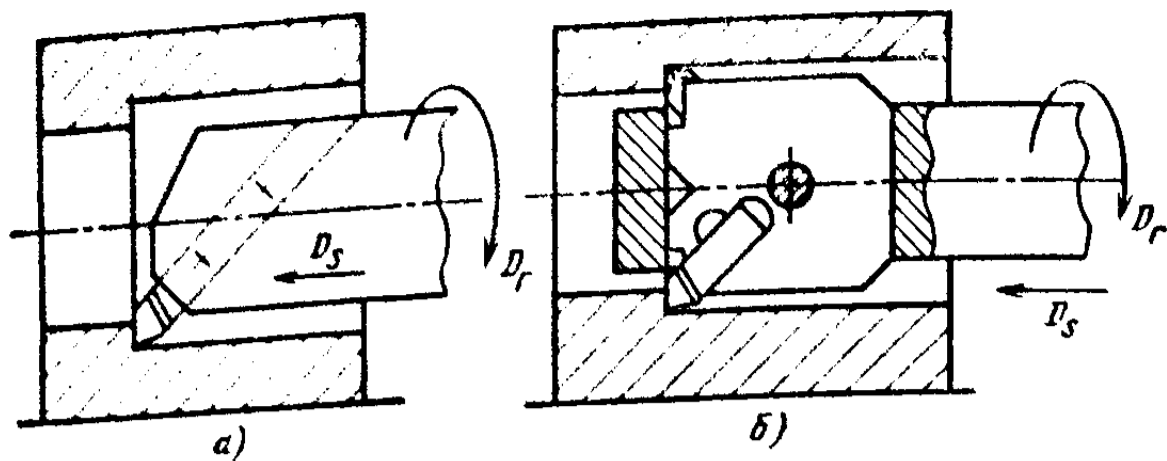


Рис. 10.3. Схема растачивания отверстий резцом и плавающим блоком

Развертывание выполняется обычно после зенкерования или растачивания и является финишной обработкой точных отверстий. Наибольшая точность и минимальная шероховатость при развертывании обеспечиваются в случае обработки за два перехода — черновое и чистовое развертывание. В среднем при развертывании достигается точность, соответствующая 6—9-му качеству, и  $Ra = 0,32 \dots 1,25$  мкм. Развертывание осуществляется развертками, представляющими собой многолезвийный инструмент с четным числом зубьев (обычно  $z \geq 4$ ). Большое число режущих лезвий, малые толщины среза  $a_z < 0,04$  мм и наличие калибрующей части обеспечивают высокую точность формы отверстия, но не могут исправить направление его оси. Получению малой шероховатости при развертывании способствует применение СОТС в основном в виде смазочных материалов. Для развертывания характерна очень малая глубина резания, которая в зависимости от диаметра отверстия составляет 0,1—0,4 мм.

Наряду с зенкерованием и развертыванием для обработки отверстий повышенной точности широко используют растачивание. Основными схемами являются: растачивание резцом, закрепленным в консольной оправке или борштанге (рис. 10.3, а), и растачивание плавающим двухлезвийным блоком (рис. 10.3, б).

Растачивание резцом обеспечивает малое отклонение межосевого расстояния осей обрабатываемых отверстий, позволяет путем изменения положения резца обрабатывать отверстия разных диаметров и глубин. К недостаткам этой схемы растачивания относятся: значительная трудоемкость наладки; пониженная размерная стойкость расточного резца; необходимость специальных мер для безрисочного вывода резца из обработанного отверстия. В среднем растачиванием обеспечивают шероховатость



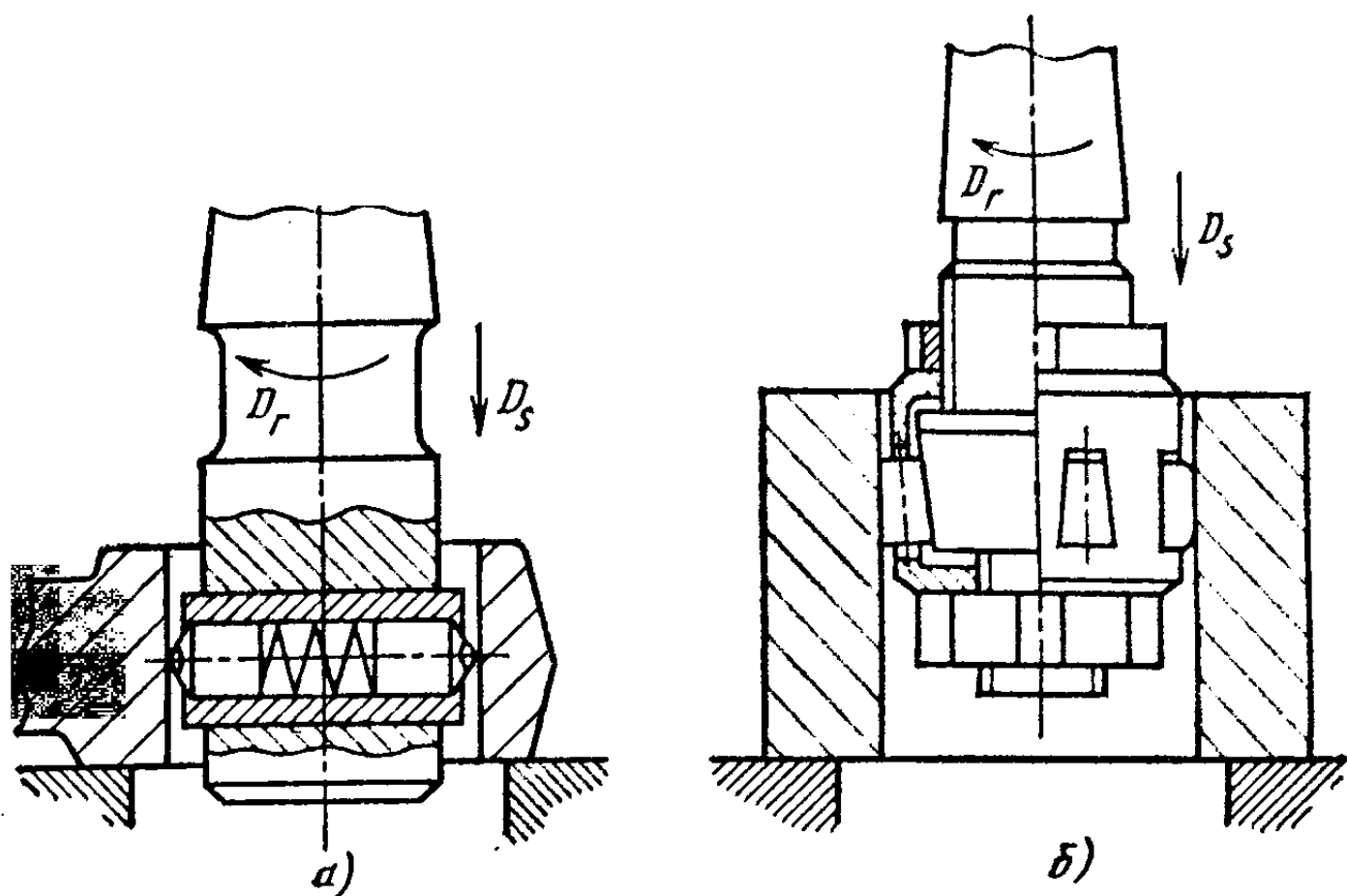


Рис. 10.4. Схемы обработки отверстий выглаживанием (а) и накатыванием (б)

$Ra = 0,32$  мкм и точность, соответствующую 6—7-му квалитету.

В настоящее время в качестве финишных методов обработки отверстий получили распространение методы поверхностного пластического деформирования (ППД), сходные по схеме обработки с резанием. В отличие от резания, где происходит срезание микронеровностей с обрабатываемой поверхности, при ППД микронеровности пластически деформируются гладкой рабочей частью инструмента. При такой обработке не только существенно снижается шероховатость, но и происходит упрочнение поверхностного слоя обрабатываемого отверстия.

Все схемы обработки отверстий методами ППД делятся на схемы выглаживания (рис. 10.4), в которых деформирующий элемент скользит по обрабатываемой поверхности, и схемы накатывания, где деформирующий элемент катится по обрабатываемой поверхности. Использование при выглаживании в качестве деформирующего элемента твердосплавного или алмазного наконечника с малым радиусом скругления рабочей поверхности ( $R = 0,75 \dots 4,0$  мм) позволяет даже при малых силах (50—300 Н) проводить обработку ППД как маложестких деталей, так и деталей из материалов высокой твердости 60—65 HRC<sub>a</sub>. При выглаживании существенно снижается шероховатость обрабатываемой поверхности (до  $Ra =$

= 0,4 мкм) и на 20—40 % упрочняется поверхностный слой.

По сравнению с выглаживанием накатывание более производительно и обеспечивает большую глубину упрочненного слоя. В то же время параметр шероховатости при накатывании больше, чем при выглаживании, и составляет для стальных деталей  $Ra = 0,08 \dots 0,063$  мкм по сравнению с исходным  $Ra = 12,5 \dots 6,3$  мкм.

Влияние выглаживания и накатывания на точность обрабатываемых отверстий зависит от радиальной жесткости закрепления деформирующих элементов. При пониженной жесткости (упругая схема) точность обработки определяется точностью операции, предшествующей ППД. При повышенной жесткости крепления (жесткая схема) точность возрастает в среднем на 15—50 % и зависит от точности предварительной обработки, точности инструмента и режимов ППД. Припуск под обработку ППД в среднем составляет 0,008—0,03 мм.

#### § 10.2. СИЛЫ РЕЗАНИЯ И МОЩНОСТЬ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Особенности стружкообразования при обработке отверстий наиболее ярко проявляются при сверлении. Так, при сверлении наблюдается значительная усадка стружки, неравномерная вдоль главных режущих кромок и возрастающая на участках, близких к оси. Это возрастание объясняется малыми скоростями и большими углами резания в зонах, близких к оси. Усадка при сверлении также нарастает с увеличением глубины отверстия, что связано с увеличением трения стружки о стенки отверстия. Значительные деформации стружки и интенсивное трение между сверлом, стружкой и стенками отверстия являются причиной увеличения сил резания, которое определяется особенностями физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Равнодействующие сил резания, приложенных к режущим кромкам сверла, для удобства оценки их влияния на работу станка и инструмента раскладывают на три взаимно перпендикулярные составляющие (рис. 10.5): главные составляющие сил резания  $P_z$ ; осевые составляющие  $P_x$ ; радиальные составляющие  $P_y$ .

Главные составляющие  $P_z$  создают на сверле крутящий момент, скручивающий сверло и действующий на меха-

низм привода главного движения. Осевые составляющие ( $P_x$ ) сжимают сверло вдоль продольной оси и действуют на механизм движения подачи. Радиальные составляющие ( $P_y$ ) равны (при симметричной заточке) и направлены навстречу друг другу. При неодинаковой заточке режущих лезвий радиальные составляющие не уравновешиваются, и это снижает точность обработки отверстия (увод оси отверстия, увеличение «разбивки»).

Так как в направлении перемещений  $D_r$  и  $D_s$  действуют соответственно составляющие  $P_z$  и  $P_x$ , то для них могут быть определены работа и мощность, затрачиваемые на резание:  $N_{рез} = N_z + N_x$ , где  $N_z$ ,  $N_x$  — мощность, затрачиваемая соответственно на вращение и на движение подачи при сверлении. В большинстве случаев при сверлении  $N_x \leq (0,5 \dots 2,0 \%) N_z$ , и потому величиной  $N_x$  пренебрегают, считая  $N_{рез} = N_z = Mn/9750$ , где  $M$  — суммарный момент от сил сопротивления резанию, Н·м;  $n$  — частота вращения, мин<sup>-1</sup>.

Важные для практических расчетов величины  $M$  и  $P_x$  определяют по эмпирическим формулам, приводимым в справочниках:

$$M = C_M d^{x_M} S_0^{y_M} K_M;$$

$$P_x = C_P d^{x_P} S_0^{y_P} K_P,$$

где  $C_M$  и  $C_P$  — постоянные, зависящие в основном от обрабатываемого материала;  $d$  — диаметр сверла;  $S_0$  — подача на оборот;  $x_M$ ,  $x_P$ ,  $y_P$ ,  $y_M$  — показатели степени, полученные опытным путем;  $K_M$ ,  $K_P$  — поправочные коэффициенты, учитывающие отличие фактических условий от условий опыта.

Величину  $N_{рез}$  используют при выборе станка по мощности ( $N_{ст} \geq N_{рез}$ ), а величину  $P_x$  — при проверке прочности механизма движения подачи по допустимой нагрузке.

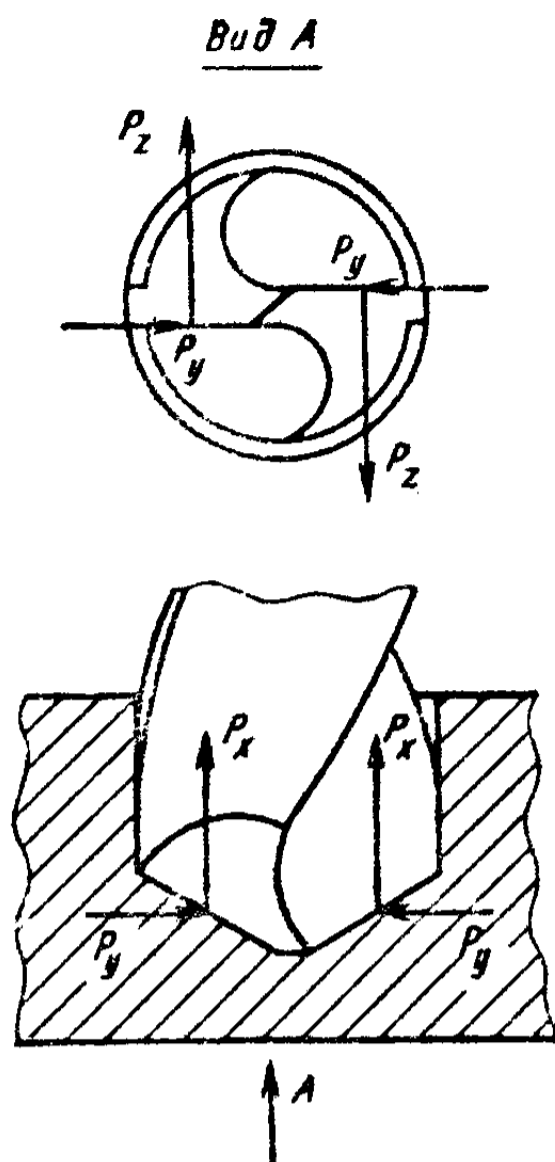


Рис. 10.5. Схема действия составляющих силы резания при сверлении

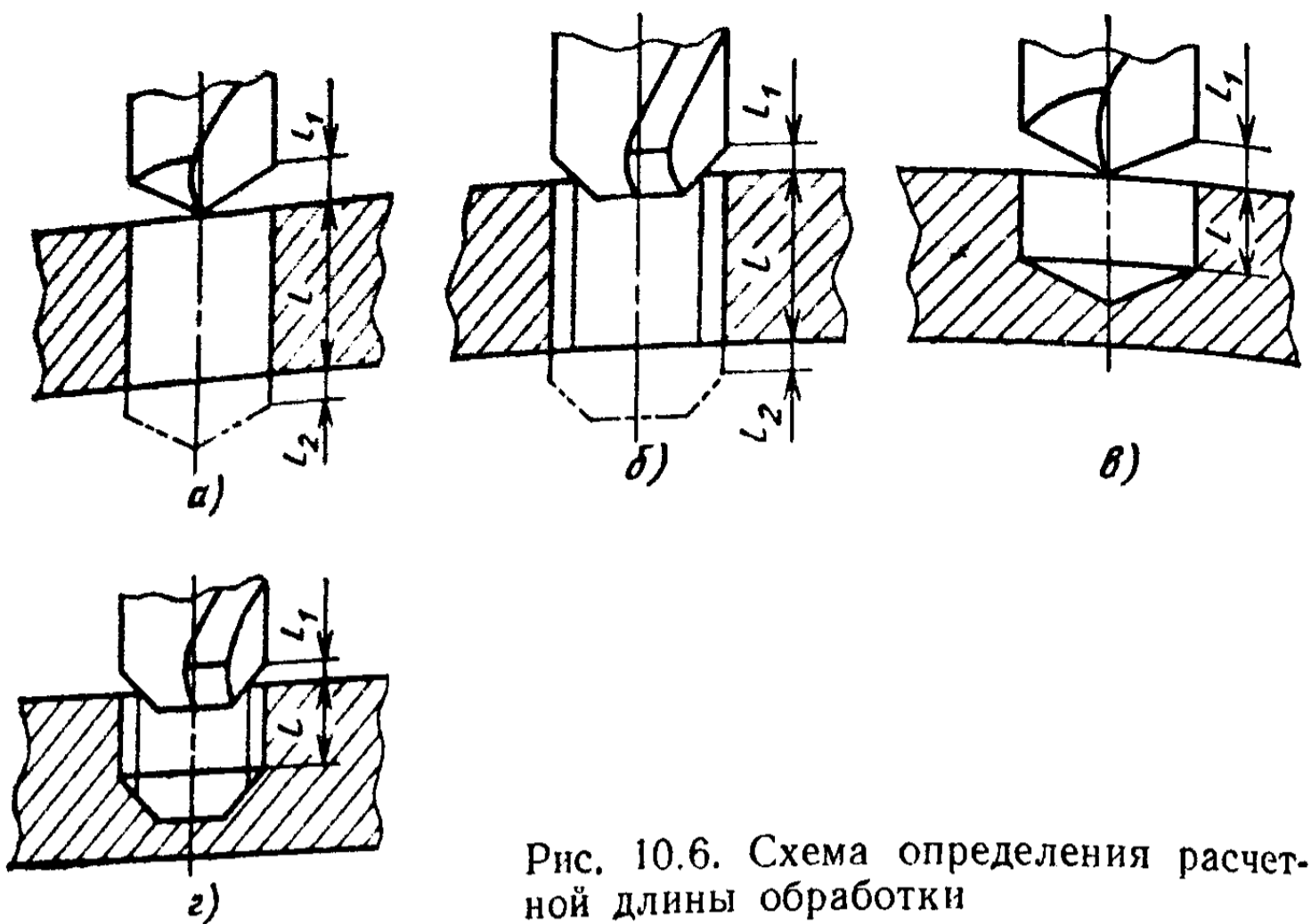


Рис. 10.6. Схема определения расчетной длины обработки

### § 10.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОГО ВРЕМЕНИ

Основное время  $t_0$  (мин) при обработке отверстий различными методами рассчитывают по общей формуле, составляющие которой определяются видом и условиями обработки:  $t_0 = L_p / (nS_0)$ . Расчетная длина (рис. 10.6)  $L_p = l_1 + l + l_2$ , где  $l_1$  — длина врезания, зависящая от глубины резания  $t$  и угла  $\varphi$  на инструменте:  $l_1 = t \operatorname{ctg} \varphi$ ;  $l$  — длина обработки;  $l_2$  — перебег инструмента; (3 ... 5)  $S_0 \leq l_2 \leq 2 \dots 3$  мм (рис. 10.6, а, б), при обработке глухих отверстий  $l_2 = 0$  (рис. 10.6, в, г);  $n$  — частота вращения инструмента или заготовки,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $S_0$  — подача, мм/об.

При растачивании отверстий за несколько рабочих проходов ( $i$ ) формула для расчета  $t_0$  (мин) принимает вид  $t_0 = L_p i / (nS_0)$ .

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите основные операции и их точность при обработке отверстий.
2. Укажите вклад составляющих силы резания при сверлении в величину  $N_{\text{рез}}$ .
3. Для каких схем обработки отверстий длина врезания  $l_1$  не зависит от  $f$ ?

## ГЛАВА 11. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

### § 11.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ ОСНОВНЫХ ТИПОВ

Наиболее распространенными инструментами для обработки отверстий являются сверла. Они используются для сверления отверстий диаметром от десятых долей до десятков миллиметров различной глубины. Выпуск сверл в объеме всей продукции инструментальных заводов составляет около 20 %. По конструктивным признакам сверла можно разделить на спиральные, перовые, для глубоких отверстий, комбинированные центровочные (рис. 11.1).

Наиболее многочисленной является группа спиральных сверл. По точности изготовления они делятся на сверла общего назначения и сверла точного исполнения. Размерный ряд спиральных сверл начинается с малоразмерных сверл диаметром 0,1—1,5 мм по ГОСТ 8034—76 с утолщенным цилиндрическим хвостовиком. У всех малоразмерных сверл хвостовики для удобства закрепления имеют одинаковые диаметры (рис. 11.1, а). Вследствие малых размеров этих сверл оправданно их изготовление целиком из быстрорежущих сталей Р6М3 и Р6М5К5 с твердостью рабочей части 60—62 НРС<sub>3</sub>.

Для обработки труднообрабатываемых материалов изготавливают цельные твердосплавные сверла диаметром 0,6—1,0 мм из сплавов ВК10М, ВК15М. Стойкость спиральных сверл с твердосплавной рабочей частью в 20—30 раз выше стойкости обычных быстрорежущих. Начиная с диаметра 1,5 мм твердосплавные сверла выполняют сборными по ГОСТ 17273—71. Рабочую твердосплавную часть этих сверл припаивают к хвостовику из стали 45. Цельные твердосплавные сверла диаметром 3,5—6,0 мм по ГОСТ 17275—71 изготавливают шлифованием гладких цилиндрических стержней из сплава ВК6М (ВК60М). По ГОСТ 10902—77, ГОСТ 4010—77 спиральные сверла изготавливают из быстрорежущих сталей типа Р12, Р6М3 для обработки конструкционных сталей или из сталей типа Р9К10, Р9М4К8Ф для сверления труднообрабатываемых материалов. Такие сверла имеют твердость рабочей части 63—65 НРС<sub>3</sub>. Быстрорежущие сверла выполняются как с правым, так и с левым направлением винтовых канавок.

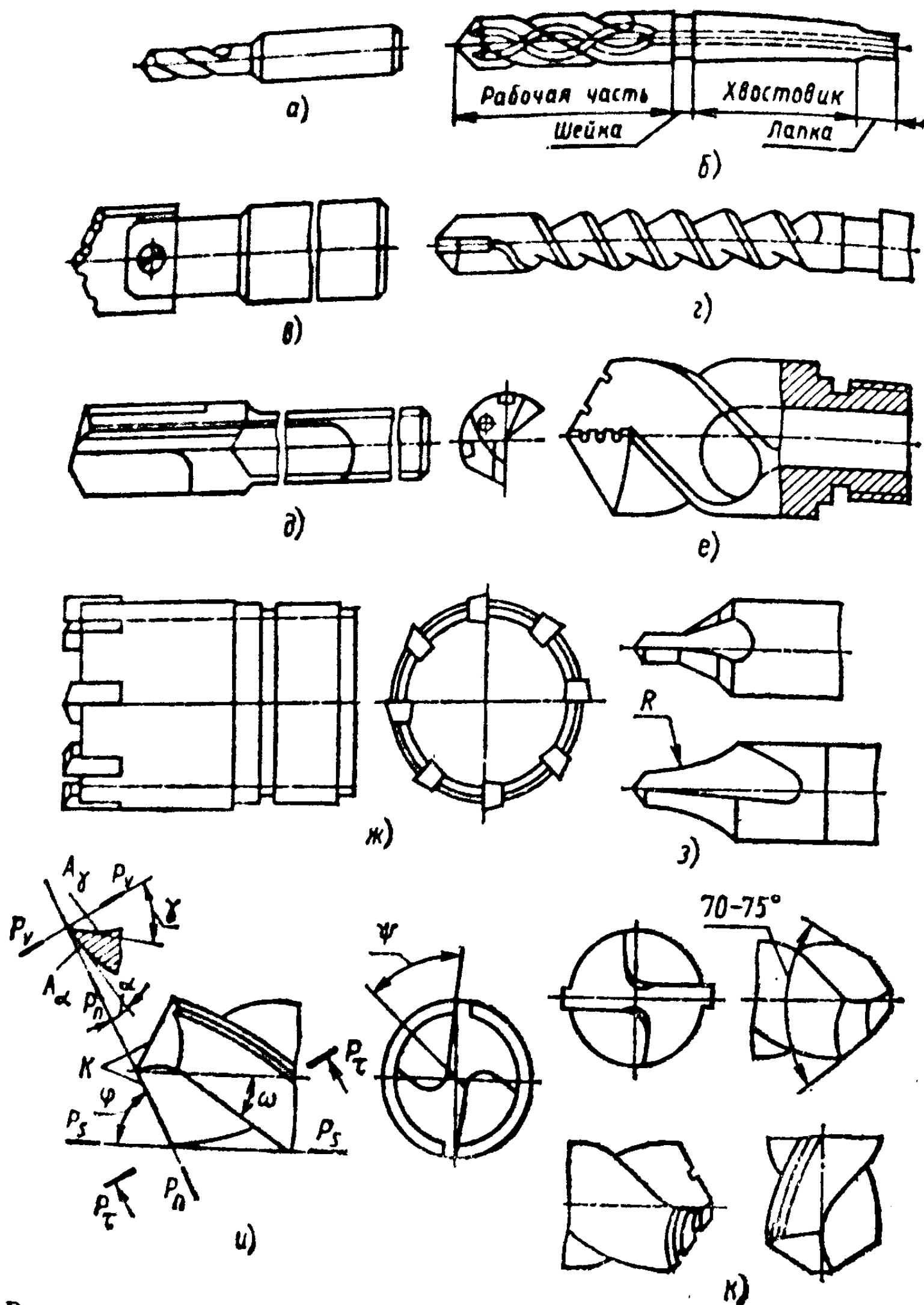


Рис. 11,1. Конструкции сверл (а—з), геометрические параметры режущей части (и) и формы заточки (к)

Спиральные сверла диаметром более 8 мм в целях экономии изготавливают сварными с рабочей частью из быстрорежущей стали и хвостовиком из конструкционной стали. Сверла (ГОСТ 5756—81) с пластинами из твердого сплава закрепляют в корпусе (сталь 40Х, 9ХС, Р9) пай-

кой. Быстрорежущие сверла диаметром 6—80 мм по ГОСТ 2034—80Е и ГОСТ 10903—77 выполняются с коническим хвостовиком. Сверла с пластинами из твердого сплава ВК и сверла с внутренним подводом охлаждающей жидкости (ГОСТ 6647—64) предназначены для сверления труднообрабатываемых материалов. Такие сверла (рис. 11.1, б) имеют в зубьях (перьях) прокатанные отверстия, соединяющиеся в хвостовике. Закрепляют сверла в специальных патронах, обеспечивающих подвод охлаждающей жидкости под давлением 12 МПа (не менее 12 л/мин) непосредственно к режущим кромкам сверла.

Наиболее простыми в изготовлении являются перовые сверла, представляющие собой заостренную пластину с весьма несовершенной формой рабочей части. Эти сверла применяют для обработки отверстий малого (0,2—1 мм) и большого (более 80 мм) диаметра, а также при ремонте. Нашли применение составные перовые сверла в виде пластины, закрепленной в державке (рис. 11.1, в). Обработку отверстий в сталях, чугунах, легких сплавах и дереве при глубине более 10 диаметров без периодического вывода сверла проводят шнековыми сверлами с  $\omega = 50 \dots 65^\circ$  (рис. 11.1, г).

Глубокие отверстия с осью, имеющей малое отклонение от прямолинейности, получают сверлами однокромочного резания с вершиной, смещенной относительно оси (рис. 11.1, д). Такое смещение при сверлении образует встречный конус. Это, а также то, что сверло опирается направляющими пластинами на боковую поверхность отверстия, обеспечивает малое отклонение от прямолинейности его оси. Сверление начинают после установки сверла в частично просверленное отверстие либо в кондукторную втулку. По отверстию в рабочей части подается СОТС, которое, устремляясь на обратном пути по канавке на сверле, удаляет стружку.

Применяют также однокромочные и двухкромочные сверла, в которых стружка удаляется по центральному отверстию (рис. 11.1, е). Сквозные отверстия диаметром 80—200 мм и более получают сверлами кольцевого сверления (рис. 11.1, ж). Такими сверлами вырезается только кольцевая полость, а в центре отверстия остается стержень, пригодный для использования в качестве заготовки.

Обработку центровых отверстий проводят центровочными комбинированными сверлами (ГОСТ 14952—75) двух типов: без предохранительной фаски и с предохранитель-

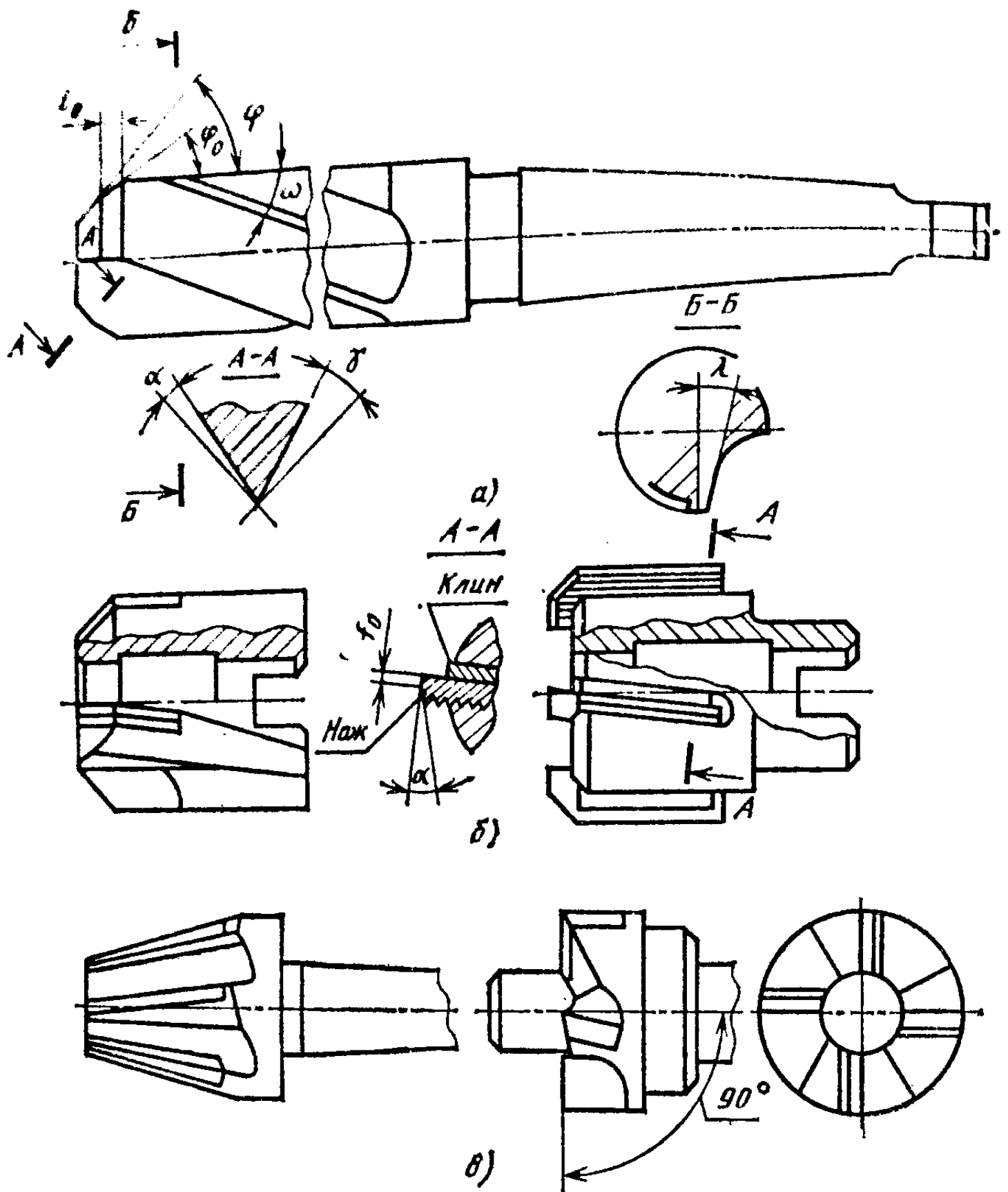


Рис. 11.2, Конструкции зенкеров

ной фаской  $120^\circ$ . Сверла этих типов изготавливают из быстрорежущей стали. Центровочные сверла с рабочей частью из твердого сплава имеют более технологичный дугообразный профиль режущей кромки (рис. 11.1, з).

Зенкеры, применяемые в машиностроении для обработки отверстий диаметром до 20—40 мм, изготавливают цельными (рис. 11.2, а). Их рабочую часть выполняют либо из быстрорежущих сталей, либо оснащают пластинами из твердого сплава групп ВК и ТК.

Обработку отверстий больших диаметров ( $D \geq 30$  мм) проводят насадными зенкерами (рис. 11.2, б), установленными на оправку. Их изготавливают из быстрорежущей



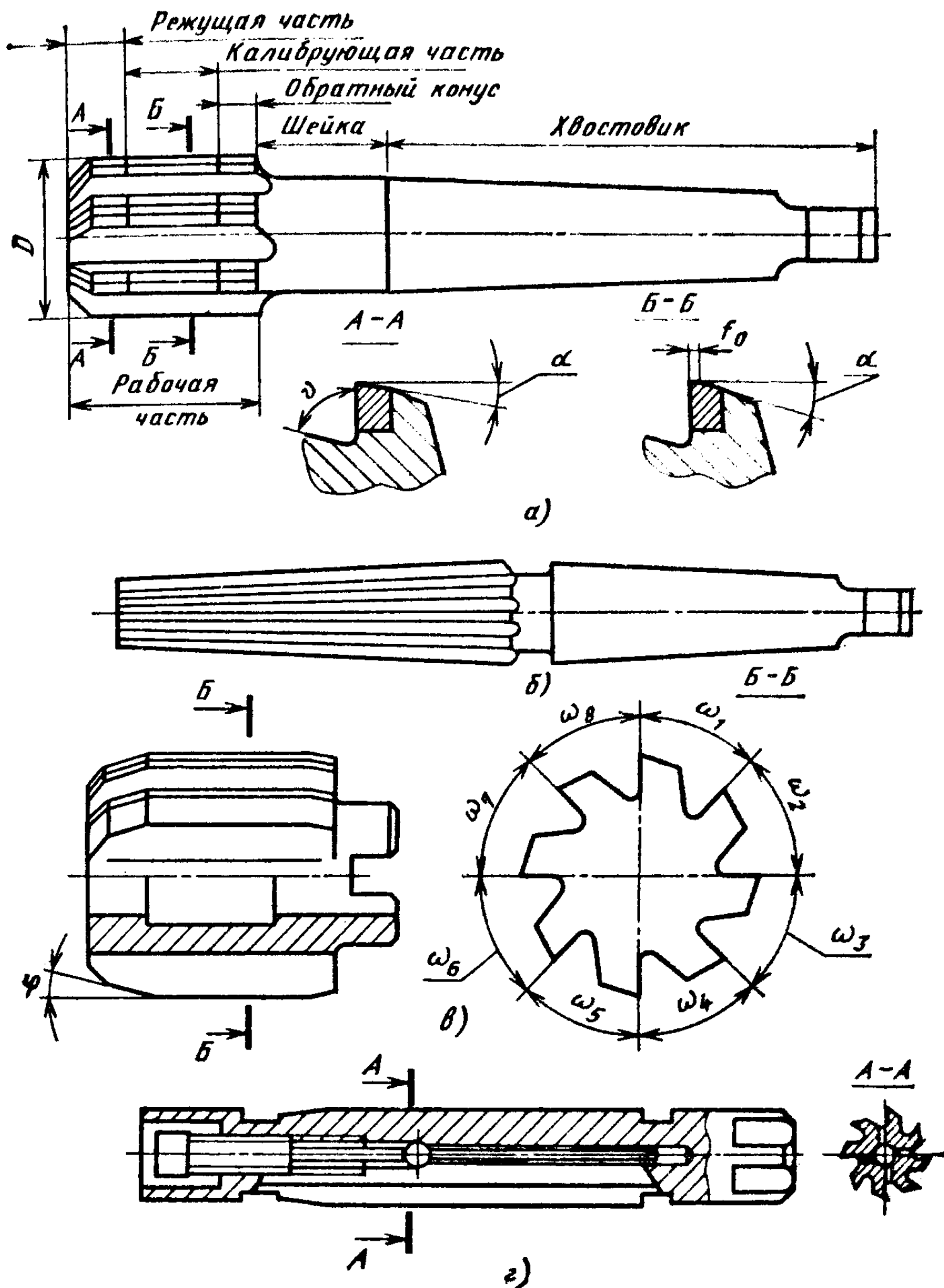


Рис. 11.3. Конструкции разверток

стали либо оснащают твердым сплавом (ГОСТ 12509—75). Для экономии инструментального материала начиная с диаметра 50 мм и выше насадные зенкеры ГОСТ 2255—71 оснащаются вставными ножами из быстрорежущей стали. Вставные ножи устанавливаются с натягом в корпусе из стали 40Х и удерживаются там силами трения и резания.

Обработку прилегающих к отверстиям поверхностей проводят зенковками коническими, цилиндрическими и

цековками (рис. 11.2, в) из инструментальных сталей либо этими инструментами, оснащенными твердым сплавом.

В зависимости от формы обрабатываемых отверстий развертки разделяют на цилиндрические (ГОСТ 1523—81 Е) и конические (ГОСТ 11177—84) (рис. 11.3, а, б). Они могут быть машинными или ручными. Для ремонтных работ выпускают ручные разжимные развертки (ГОСТ 3509—71) с пределами регулирования диаметра 0,5—3 мм (рис. 11.3, г). Развертки целиком изготовляют из быстрорежущей стали с цилиндрическими (для  $D \leq 10$  мм) либо коническими хвостовиками (для  $D > 10$  мм). Как и зенкеры, развертки для диаметров отверстий более 30 мм делают насадными с ножами из быстрорежущих сталей либо твердых сплавов (рис. 11.3, в). Вставные ножи имеют рифления, идентичные рифлениям в пазах корпуса. Это позволяет перестановкой ножей и закреплением их клиньями настраивать развертку на нужный диаметр.

## § 11.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ СВЕРЛ, ЗЕНКЕРОВ И РАЗВЕРТОК

Сверла, зенкеры и развертки обрабатывают отверстия, имеют одинаковые движения формообразования и называются осевыми инструментами. В большинстве случаев они состоят из функционально подобных конструктивных элементов. Так, например, цельные осевые инструменты состоят из рабочей части, шейки и хвостовика. Рабочая часть включает в себя режущую и направляющую (калибрующую) части. Шейка предназначена для соединения рабочей части с хвостовиком и часто является местом клеймения, где указывают диаметр, материал режущей части и клеймо завода-изготовителя. Хвостовик служит для передачи крутящего момента и центрирования инструмента. У осевых инструментов диаметром от долей миллиметра до 20 мм его выполняют цилиндрическим, а диаметром 6—80 мм — коническим (конус Морзе от № 1 до № 6). На конце хвостовика имеется лапка, используемая для ориентации инструмента и его выбивания при снятии со станка.

Режущая часть спиральных сверл включает в себя главные режущие кромки, а направляющая оснащена винтовыми ленточками, которые являются вспомогатель-

ными кромками. При резании ленточки снижают шероховатость стенок отверстия. Винтовые канавки сверла обеспечивают удаление стружки из зоны резания. В целях снижения трения ленточек о стенки отверстия диаметр направляющей части уменьшается по направлению к хвостовику (0,03—0,12 мм на 100 мм длины).

Режущая часть сверла оснащена режущими зубьями в виде клиновидных элементов, ограниченных передними и задними поверхностями (рис. 11.1, *и*). По передним винтовым поверхностям  $A_\gamma$  сходит стружка, а задние поверхности  $A_\alpha$  обращены к поверхности резания. Пересечение передних и задних поверхностей образует главные режущие кромки  $K$ . Задние поверхности зубьев сверла при своем пересечении образуют поперечную режущую кромку. Ее положение определяется углом  $\varphi$  наклона поперечной кромки, измеряемым между ее проекцией и проекцией главной режущей кромки на плоскость, нормальную к оси сверла. Передний угол  $\gamma$  в точке главной режущей кромки измеряется в главной секущей плоскости  $P_\tau$  между касательной к передней поверхности  $A_\gamma$  и основной плоскостью  $P_\sigma$ . Задний угол  $\alpha$  измеряется также в плоскости  $P_\tau$  между касательной к задней поверхности  $A_\alpha$  и плоскостью резания  $P_n$ . Угол при вершине сверла  $2\varphi$  определяется взаимным положением главных режущих кромок и играет роль главного угла в плане. Угол  $2\varphi$  выбирают, исходя из опыта; он максимален ( $2\varphi = 125 \dots 150^\circ$ ) при обработке коррозионно-стойких сталей, жаропрочных сплавов, латуни, сплавов алюминия, меди и твердых чугунов. Наименьшее значение угла ( $2\varphi = 80 \dots 110^\circ$ ) соответствует обработке пластмасс, твердых бронз и чугунов средней твердости. На практике получила распространение подточка поперечной кромки (рис. 11.1, *к*) для улучшения геометрических параметров сверл. Так, для сверл диаметром более 12 мм подточка поперечной кромки уменьшает ее длину и увеличивает значение углов  $\gamma$  вблизи оси сверла. Большое распространение получила также двойная заточка, при которой на периферийном участке главной режущей кромки затачивается дополнительная режущая кромка длиной  $0,2D$  с углом при вершине  $2\varphi_0 = 70 \dots 75^\circ$ . Этот прием позволяет увеличить стойкость, улучшив условия теплоотвода и разделив стружку на два потока. Такое же действие оказывают стружкоразделительные канавки на главных режущих кромках сверла на длине 1,5—4,0 мм, образу-

щие задние углы  $\alpha_1 = 6 \dots 8^\circ$  и фаски шириной 0,1—0,3 мм. Подточка ленточек в местах наибольшего износа увеличивает стойкость сверл в 2—3 раза.

Рабочая часть зенкера (рис. 11.2, а) состоит из режущей части и калибрующего участка. С целью улучшения условий вхождения зенкера в отверстие главный угол в плане  $\varphi$  принимают равным  $45\text{—}60^\circ$ . Для более плавного врезания на режущей части зенкера выполняют двойную заточку с  $\varphi_0 = 30^\circ$  и длиной переходной кромки  $l_0 = 0,3 \dots 1,0$  мм.

Важное значение для эксплуатации имеет угол наклона режущей кромки  $\lambda$ , измеряемый в плоскости резания  $P_n$  между режущей кромкой  $K$  и основной плоскостью  $P_v$ . Отрицательные значения  $\lambda = -5 \dots -10^\circ$  выбирают при обработке сквозных отверстий,  $\lambda = 0$  — при обработке глухих отверстий и  $\lambda = 10 \dots 15^\circ$  — для зенкеров, оснащенных твердым сплавом. В связи с тем, что значения переднего угла  $\gamma$  зависят от угла наклона винтовых канавок  $\omega$ , его принимают равным  $15\text{—}25^\circ$  для цельных и  $\omega = 12^\circ$  для сборных зенкеров. Для улучшения направления каждый зуб зенкера снабжают ленточкой шириной  $f = (0,10 \dots 0,05) D$ , а на калибрующем участке выполняют обратную конусность 0,04—0,10 мм на каждые 100 мм длины.

На рабочей части развертки можно выделить четыре участка: направляющий конус, облегчающий введение развертки в отверстие; заборный конус, выполняющий основную работу резания; калибрующий участок, обеспечивающий заданные точность и параметр шероховатости; обратный конус, предохраняющий обработанную поверхность от повреждений при извлечении развертки и уменьшающий разбивку отверстия (рис. 11.3, а).

Эффективность процесса резания при развертывании зависит не от величины переднего угла  $\gamma$ , а от радиуса округления режущей кромки  $r$ . В связи с этим зубья на заборном конусе затачивают «до остра» с углом  $\alpha = 4 \dots 8^\circ$ . При этом для черновых разверток  $\gamma = 5 \dots 10^\circ$ , для чистовых  $\gamma = 0^\circ$ . Большое влияние на работу развертки оказывает главный угол в плане  $\varphi$  заборного конуса, который для ручных разверток и сквозных отверстий равен  $\varphi = 1 \dots 2^\circ$ . Машинные развертки имеют более точное осевое направление, чем ручные развертки, и поэтому  $\varphi$  принимает большие значения: при обработке чугуна  $\varphi = 4 \dots 5^\circ$ , а для стали  $\varphi = 12 \dots 15^\circ$ . Для об-

работки глухих отверстий применяют ручные, машинные развертки, в которых отсутствует направляющий конус, а  $\varphi = 45 \dots 60^\circ$ .

На зубьях калибрующей части развертки выполняют ленточку шириной 0,05 — 0,30 мм. Диаметр калибрующей части развертки принимают равным разности наибольшего диаметра отверстия и наибольшего значения разбивки.

Обратная конусность составляет около 0,01 мм для ручных и около 0,07 мм для машинных разверток. Повышению качества обрабатываемых отверстий способствует неравномерное расположение зубьев, которое уменьшает вибрации и снижает шероховатость обработанной поверхности. Угловой шаг зубьев  $\omega$  выбирают так, чтобы каждая пара режущих кромок лежала на одном диаметре. Например, у развертки с числом зубьев  $z = 8$  и при среднем значении  $\omega = 45^\circ$  угловой шаг принимается равным:  $\omega_1 = 42^\circ$ ,  $\omega_2 = 44^\circ$ ,  $\omega_3 = 46^\circ$ ,  $\omega_4 = 48^\circ$ ,  $\omega_5 = 42^\circ$ ,  $\omega_6 = 44^\circ$ ,  $\omega_7 = 56^\circ$ ,  $\omega_8 = 48^\circ$  (рис. 11.3, е).

### § 11.3. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАСТОЧНЫХ РАБОТ

Расточные инструменты преимущественно применяют для обработки заготовок корпусных деталей на расточных станках.

Наиболее простыми расточными инструментами являются расточные резцы. Размеры этих резцов, их виброустойчивость и жесткость крепления определяются диаметром обрабатываемого отверстия. Повышению жесткости способствует использование расточных резцов с державками квадратного сечения, закрепляемыми в отверстиях борштанги (рис. 11.4, а). Это отверстие делают наклонным либо перпендикулярным к продольной оси борштанги. В единичном и мелкосерийном производстве применяются расточные резцы с  $\varphi$ , равным 90, 60 и 45°, оснащенные твердым сплавом с державками из стали У7. Находят применение также расточные резцы с державками круглого поперечного сечения.

Растачивание отверстий малого размера с точностью по 6—7-му качеству проводят резцами с твердосплавными коронками типа «улитка». В соответствии с ГОСТ 2209—82 коронки выпускают для обработки сквозных и глухих отверстий, а их заднюю поверхность выполняют по архимедовой спирали (рис. 11.4, б). Эти резцы

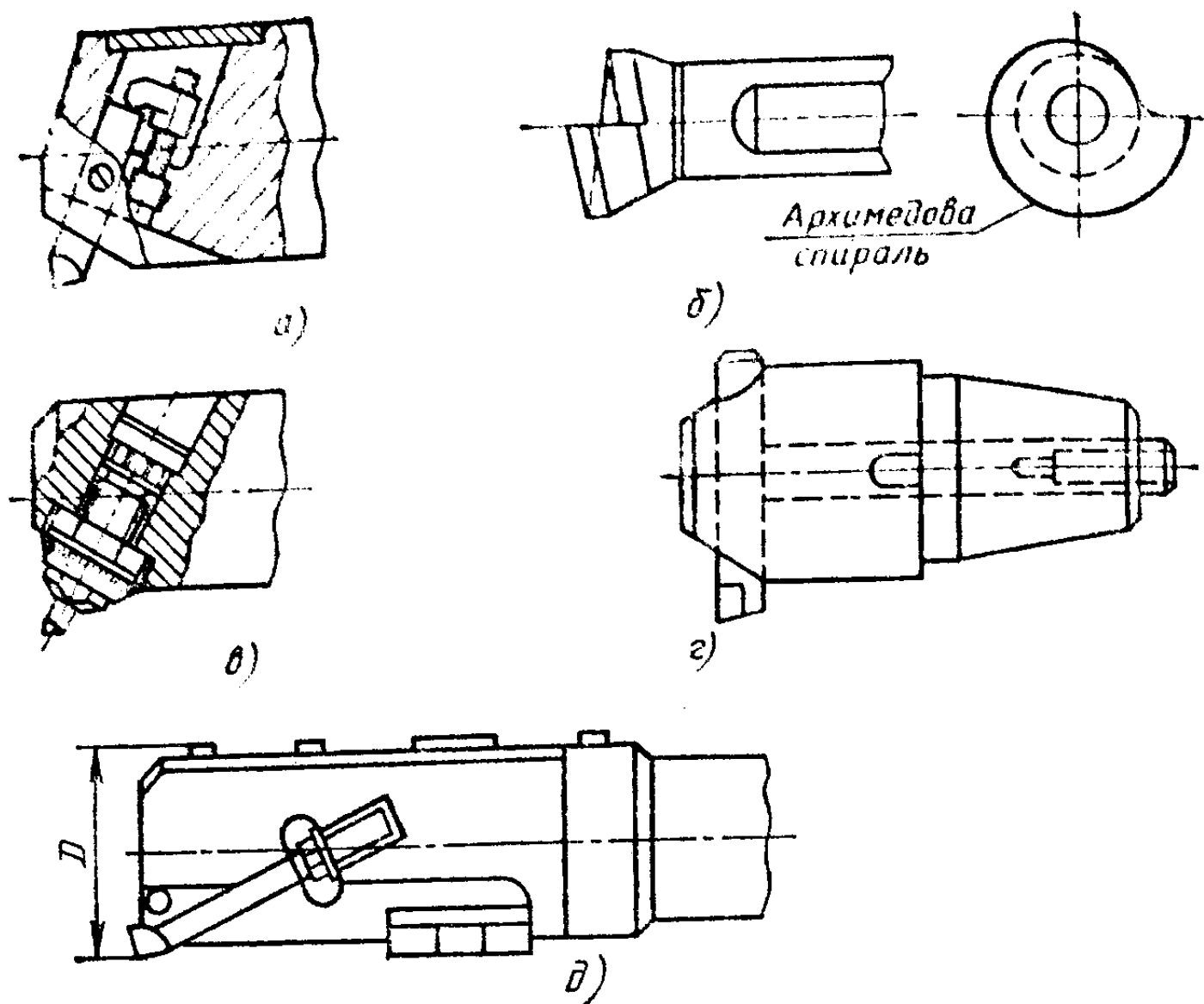


Рис. 11.4. Инструменты для растачивания отверстий

допускают значительное количество повторных заточек по передней поверхности.

Чистовое растачивание высокоточных отверстий выполняют микроборами (рис. 11.4, *в*). Настройку микробора на размер производят с помощью нарезанной на державке резца-вставки резьбы с шагом 0,5 (1,0) мм, гайки лимба и нониуса на борштанге. Настройку на размер осуществляют как на станке, так и вне его в специальном приспособлении.

Растачивание сквозных и глухих отверстий с  $D = 48 \dots 70$  мм выполняют с помощью блоков (рис. 11.4, *г*), закрепленных в центральном коническом отверстии борштанги.

Растачивание глубоких отверстий с  $D = 45 \dots 200$  мм проводят расточными головками одностороннего резания. Надежное ориентирование такой головки в обрабатываемом отверстии достигается установкой твердосплавных направляющих на ее корпусе (рис. 11.4, *д*).

Особое место среди расточных инструментов занимают плавающие расточные блоки, предназначенные для обработки отверстий с  $D = 35 \dots 200$  мм и увеличенными допусками на расположение осей. Плавающий блок уста-

навливают на коническом штифте, и под действием сил резания он самоустанавливается в обрабатываемом отверстии.

Для черновой и получистовой обработки отверстий диаметром 50—150 мм предназначены двухлезвийные блоки, оснащенные твердым сплавом. Такие блоки жестко закрепляют в борштангах и головках. Особенностью этих блоков является использование в качестве режущих элементов неперетачиваемых пластин по ГОСТ 3128—70 с допустимыми отклонениями размеров не более 0,05 мм.

Подрезание торцов отверстий проводят двусторонними резцами, режущие лезвия которых расположены перпендикулярно к оси вращения ( $\varphi = 90^\circ$ ), а сам резец установлен (подобно плавающему блоку) в пазу борштанги, но закреплен жестко.

На расточных станках в качестве вспомогательных инструментов применяют борштанги и расточные оправки. Борштанги закрепляют в шпинделе и поддерживают люнетом задней стойки. Борштанги имеют квадратные и круглые окна для установки резцов и микрометрических блоков, а также плоские окна для плавающих блоков и двусторонних подрезных резцов. Расточные оправки применяют при консольной обработке и закрепляют в шпинделе или радиальном суппорте планшайбы.

#### § 11.4. КОМБИНИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Комбинированные инструменты используют для совмещения нескольких операций (переходов). Такие инструменты предназначены либо для однородной обработки однотипными инструментами, различающимися только размерами (ступенчатые зенкеры, фасонные борштанги для ступенчатых отверстий, наборы фрез и т. п.), либо для обработки инструментами разных типов (сверло-зенкер, зенкер-развертка, сверло-метчик и т. п.).

В зависимости от условий обработки и конструкции комбинированными инструментами ведут обработку по параллельной или последовательной схеме. В инструментах, работающих по параллельной схеме (рис. 11.5, б, г), все режущие лезвия одновременно участвуют в резании, а при обработке по последовательной схеме режущие лезвия участвуют в работе последовательно группами (рис. 11.5, а, в). Например, при обработке сверлом-метчиком (рис. 11.5, в) сначала работают режущие лезвия

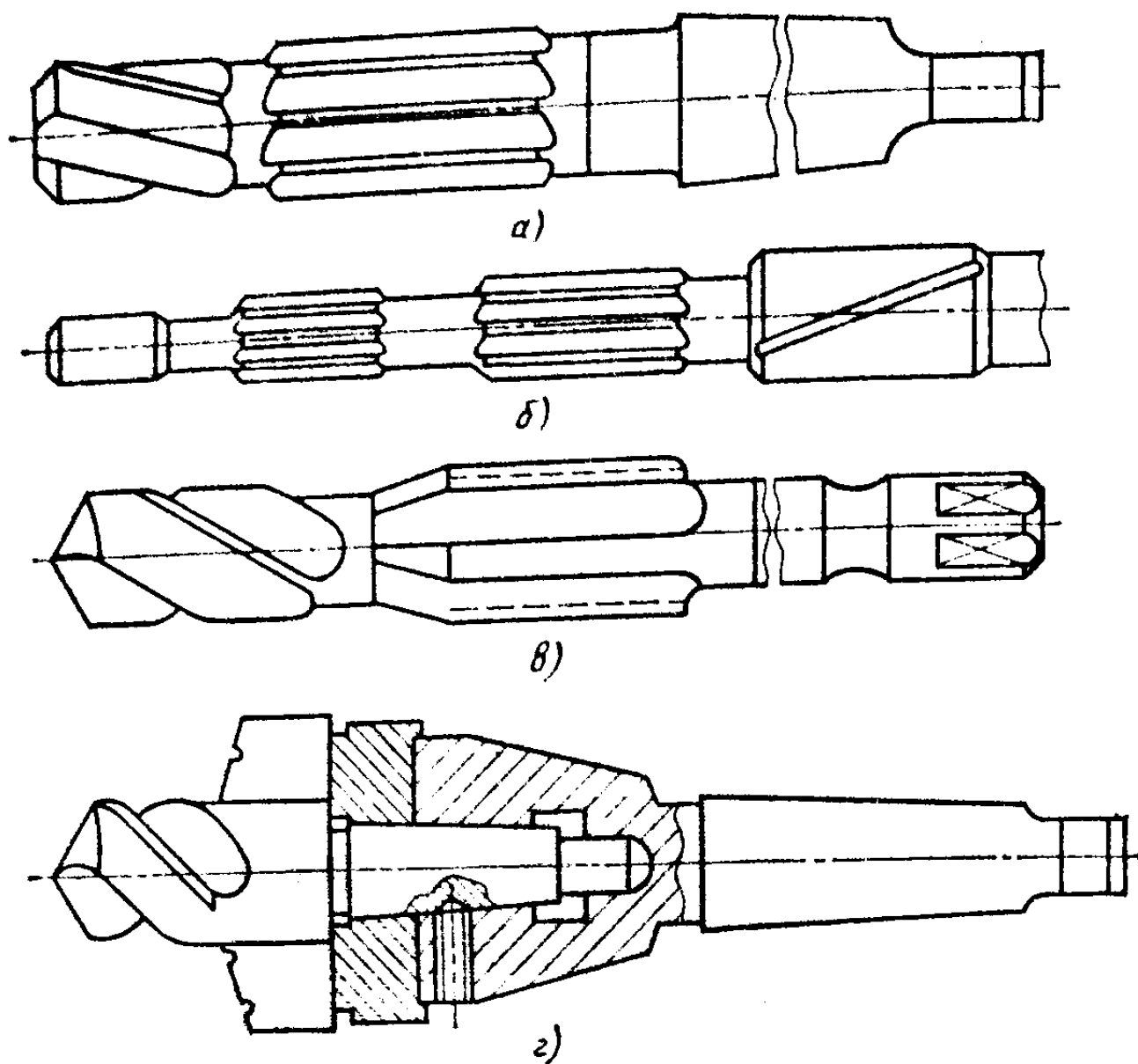


Рис. 11.5. Комбинированные инструменты

сверла, а затем — метчик. Инструменты, работающие по параллельной схеме, обеспечивают меньшее отклонение взаимного положения обрабатываемых поверхностей и более высокую производительность обработки.

В зависимости от конкретных условий (тип инструмента, особенности заточки, расположение режущих лезвий в пространстве) комбинированные инструменты выполняются цельными либо сборными (рис. 11.5, г). Как цельные, так и сборные инструменты всегда стараются изготовлять на базе стандартных инструментов либо оснащать сменными неперетачиваемыми пластинами. Это значительно удешевляет комбинированные инструменты и расширяет область их использования.

Основное внимание при эксплуатации комбинированных инструментов уделяют их правильной заточке, сборке, эффективному отводу стружки и рациональному охлаждению. При заточке и сборке инструментов необходимо следить за тем, чтобы режущие кромки перекрывали друг друга в местах стыка, в противном случае возможно защемление стружки или некачественная обработка поверхности. Эффективному отводу стружки способствуют стру-



жкоразделительные и стружкозавивающие канавки на режущих лезвиях. Во всех случаях при организации отвода стружки необходимо избегать появления встречных и сталкивающихся потоков. Струи охлаждающей жидкости направляют таким образом, чтобы они помогали отводу стружки и предотвращали ее застревание в обрабатываемом отверстии.

Конструктивная сложность и высокая стоимость делают оправданным применение комбинированных инструментов только в крупносерийном и массовом производстве.

### § 11.5. ИЗНАШИВАНИЕ И ЗАТОЧКА ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

Спиральные сверла изнашиваются по передней и задней поверхностям, а также по поверхности ленточки. Наибольший износ наблюдается на участке пересечения главной режущей кромки со вспомогательной (см. рис. 11.1, *и*). Объясняется это наибольшей скоростью резания в данной зоне и повышенным тепловыделением. С увеличением глубины отверстия интенсивность изнашивания возрастает вследствие ухудшения теплоотвода и увеличения сил трения. За критерий затупления инструмента принимают ширину фаски изнашивания в зоне наиболее интенсивного трения.

При сверлении быстрорежущим сверлом среднеуглеродистых конструкционных сталей за критерий затупления принимают ширину наибольшей фаски изнашивания по задней поверхности  $h_3 = 0,8 \dots 1,0$  мм, а для обработки жаропрочных сталей  $h_3 = 0,4 \dots 0,6$  мм. В случае обработки сверлом, оснащенным твердым сплавом, за критерий затупления принимают износ по уголкам  $\delta = 0,5 \dots 1,2$  мм. Для сверл приблизительно за период стойкости  $T$  (мин) при обработке сталей принимают величину, численно равную диаметру сверла  $D$  (мм), а при обработке чугуна —  $2D$ .

Изнашивание зенкеров и разверток происходит в основном по ленточкам и задним поверхностям лезвий заборной части. Для быстрорежущих зенкеров  $h_3 \approx 1,0 \dots 2,0$  мм, а для твердосплавных  $h_3 = 0,5 \dots 0,6$  мм. Износ быстрорежущих разверток в среднем не должен превышать  $h_3 = 0,4 \dots 0,8$  мм.

Заточку сверл выполняют по главным задним поверхностям, и при необходимости с целью улучшения условий

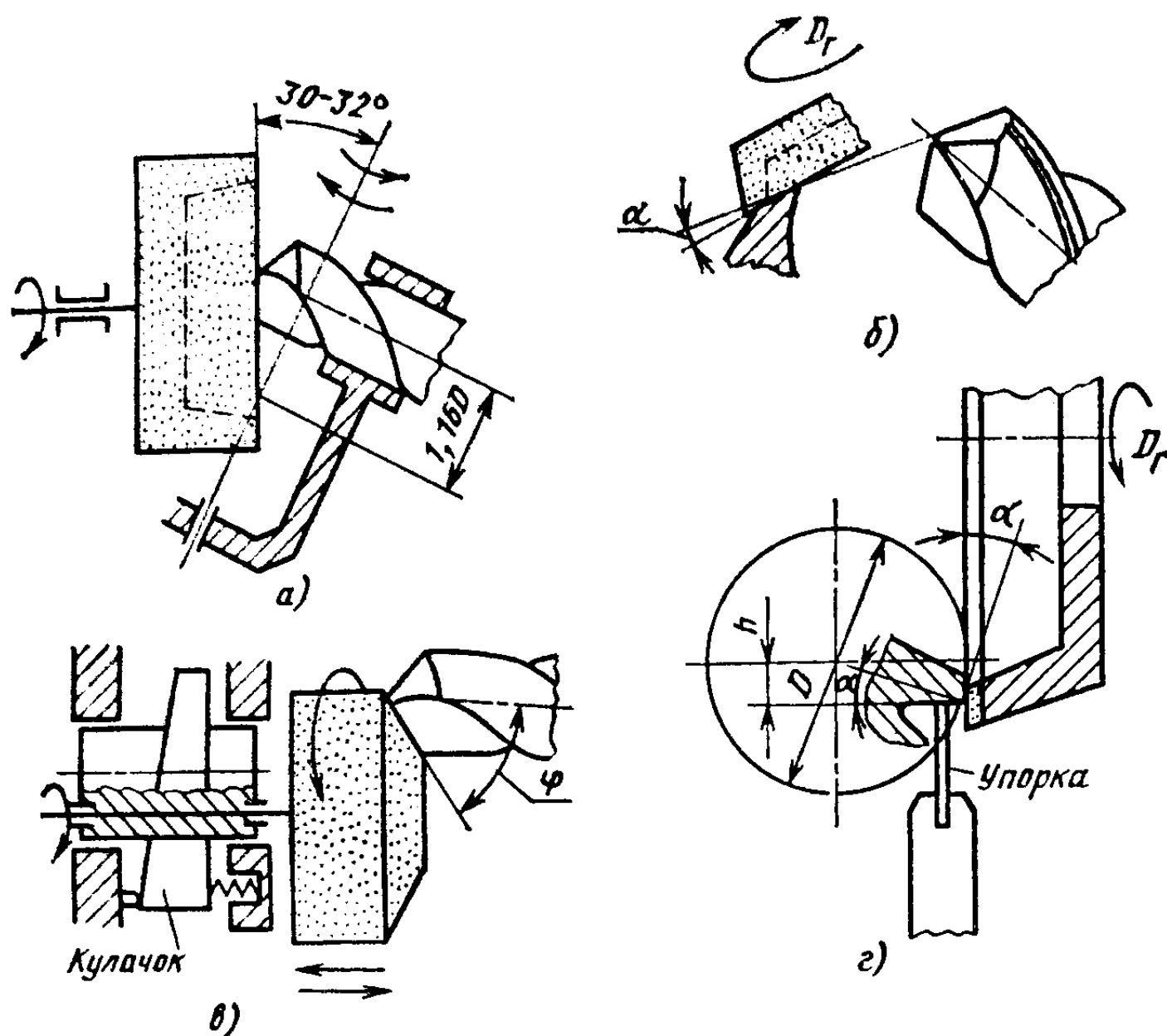


Рис. 11.6. Схемы заточки сверл и разверток

работы заточка сопровождается подточкой поперечной кромки и ленточек. При заточке спиральных сверл должны быть строго выдержаны задние углы  $\alpha$ , угол при вершине  $2\phi$ , угол наклона поперечной кромки  $\psi$  и симметричность главных режущих кромок. Все перечисленные параметры могут быть обеспечены заточкой по конической поверхности, по двум плоскостям и по винтовой поверхности.

Для конической заточки задняя поверхность сверла является частью кругового конуса с углом  $\delta$ . Коническая поверхность образуется качанием сверла вокруг оси конуса заточки (рис. 11.6, а). Базами сверла являются цилиндрическая поверхность и кромки ленточек, реже хвостовик сверла. Коническую заточку проводят торцом, цилиндрической или конической поверхностями круга на станках МФ73, МФ201, ЗБ652, ЗБ657 и т. п. Используют такую заточку в единичном и мелкосерийном производстве для сверл диаметром 3—80 мм.

При плоскостной заточке задняя поверхность каждого зуба ограничивается одной или двумя плоскостями. Такая заточка проводится периферией круга на универ-

сально-заточном станке либо полуавтоматах ЗБ650 и ЗД653 (рис. 11, б). Этот вид заточки применяют для сверл малых диаметром (до 3 мм) и сверл, оснащенных твердосплавной пластиной. Черновые рабочие ходы при заточке твердосплавных сверл выполняют кругами из карбида кремния зеленого, а чистовые — алмазными кругами 100 %-ной концентрации. Затачивают сначала плоскости, прилегающие к режущим кромкам, а затем — плоскости, формирующие затылок зубьев.

Винтовой заточкой оформляют задние поверхности каждого зуба по эвольвентной винтовой поверхности, ось которой совпадает с осью сверла. Для получения такой поверхности используют три движения: вращение сверла вокруг своей оси, движение затылования круга вдоль оси сверла и вращение втулки, в которой смонтирован шпиндель круга. Ось круга эксцентрична по отношению к оси втулки, обеспечивающей движение осцилляции. Движение затылования также осуществляется с помощью кулачка (рис. 11.6, в). Для улучшения геометрических параметров поперечной кромки и увеличения спада затылка зуба применяют сложновинтовую заточку. Винтовая и сложновинтовая заточка применяются при обработке на полуавтоматах ЗГ653 и автоматах 365Б1, 365Б2, используемых для заточки сверл диаметром 2,5—80 мм.

Задние поверхности заборной части большинства зенкеров ограничиваются плоскостью либо винтовой поверхностью. Зенкеры с винтовыми зубьями и винтовой задней поверхностью затачиваются на универсально-заточном станке либо на станках 3658 и 3659. Заточку по задней поверхности проводят, осуществляя деление по упорке, реже по делительному диску. Задний угол при заточке выдерживают установкой упорки относительно оси зенкера. Первоначальная заточка по передней поверхности всегда предшествует заточке по задней поверхности. Заточку затылованных зенкеров всегда выполняют только по передней поверхности.

Развертку затачивают сначала по передней поверхности, а затем устанавливают на круглошлифовальный станок повышенной точности и шлифуют по наружной поверхности до получения  $Ra = 0,32$  мкм. И только после этого затачивают задние поверхности развертки (рис. 11.6, г), устанавливая высоту упорки  $h$  таким образом, чтобы получить задний угол  $\alpha$ :  $h = D \sin \alpha/2$ , где  $D$  — диаметр развертки, мм. После заточки развертку подвергают до-

водке специальными мелкозернистыми кругами или доводочными чугунными дисками с нанесенной на них абразивной пастой.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Как условия работы влияют на конструкцию инструментов для обработки отверстий?
2. Назовите основные геометрические параметры режущей части сверл.
3. Чем различаются комбинированные инструменты основных типов?
4. По каким поверхностям затачивают сверла и развертки?

## ГЛАВА 12. СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

### § 12.1. СВЕРЛИЛЬНЫЕ СТАНКИ

Сверлильные станки предназначены для обработки отверстий сверлами, зенкерами, развертками, раскатниками и осевыми комбинированными инструментами. Эти станки также используют при нарезании внутренних резьб, при получении конических и цилиндрических углублений, для обработки плоских торцов бобышек и приливов, вырезания дисков и колец из листовых заготовок. С помощью приводов сверлильных станков получают необходимые формообразующие движения: главное движение резания — вращение заготовки или инструмента и движение подачи — поступательное перемещение инструмента вдоль оси вращения.

Сверлильные станки согласно классификации ЭНИМСа входят в сверлильно-расточную группу и представлены в ней тремя типами станков.

1. Вертикально-сверлильные станки имеют вертикальное расположение оси шпинделя и выпускаются в двух исполнениях: настольном и напольном. Основной характеристикой вертикально-сверлильных станков является наибольший диаметр просверливаемого отверстия в стали с  $\sigma_b = 500 \dots 600$  МПа. Для настольных станков этот диаметр не превышает 16 мм, а для напольных — 75 мм. Значение наибольшего диаметра сверления входит в обозначение серийно выпускаемых станков как характеристика их технологических возможностей. Например, в обозначении вертикально-сверлильного станка 2Н135 по-

следние две цифры указывают, что наибольший диаметр просверливаемого отверстия этого станка равен 35 мм.

Особенность работы на универсальных вертикально-сверлильных станках состоит в том, что совмещение оси обрабатываемого отверстия с осью шпинделя проводится путем перемещения (обычно вручную) заготовки по столу станка до момента совпадения этих осей. Такая особенность накладывает ограничения на массу заготовок, обрабатываемых на вертикально-сверлильных станках, и объясняет применение кондукторов и обработки по разметке (в единичном производстве). Вертикально-сверлильные станки по числу шпинделей делят на одношпиндельные и многошпиндельные, по степени автоматизации — на полуавтоматические, автоматические и автоматизированные с программным управлением.

2. Радиально-сверлильные станки созданы на базе вертикально-сверлильных станков, но их технологические возможности по обработке тяжелых и крупногабаритных заготовок шире. При обработке на радиально-сверлильных станках совмещение оси шпинделя с осью обрабатываемого отверстия проводят перемещением шпиндельной головки по радиусу (вдоль траверсы) и по дуге окружности (вокруг колонны). В отечественном станкостроении для радиально-сверлильных станков принят размерный ряд со следующими наибольшими диаметрами: 25, 35, 50, и 100 мм (например, станки 2К52, 2М53, 2М55 и 2М58).

Применительно к конкретным условиям эксплуатации создано несколько модификаций радиально-сверлильных станков. Наибольшее распространение получили станки общего назначения, у которых шпиндель занимает вертикальное положение и совершает перемещение в трех направлениях: вдоль своей оси, по радиусу и вокруг оси колонны. Реже используют станки, смонтированные на самоходной тележке, переносные либо с колонной, перемещающейся по направляющим станины.

3. Специальные и специализированные сверлильные станки предназначены для выполнения работ в условиях массового и крупносерийного производства. К ним, в частности, относятся станки: для сверления в коленчатых валах, фильерах, распылителях; для обработки центровых отверстий; для глубокого сверления и т. д.

Станки для глубокого сверления спиральными сверлами могут иметь как вертикальную (ОС-401А и ОС-402А), так и горизонтальную (ОС-901) компоновку. Движения

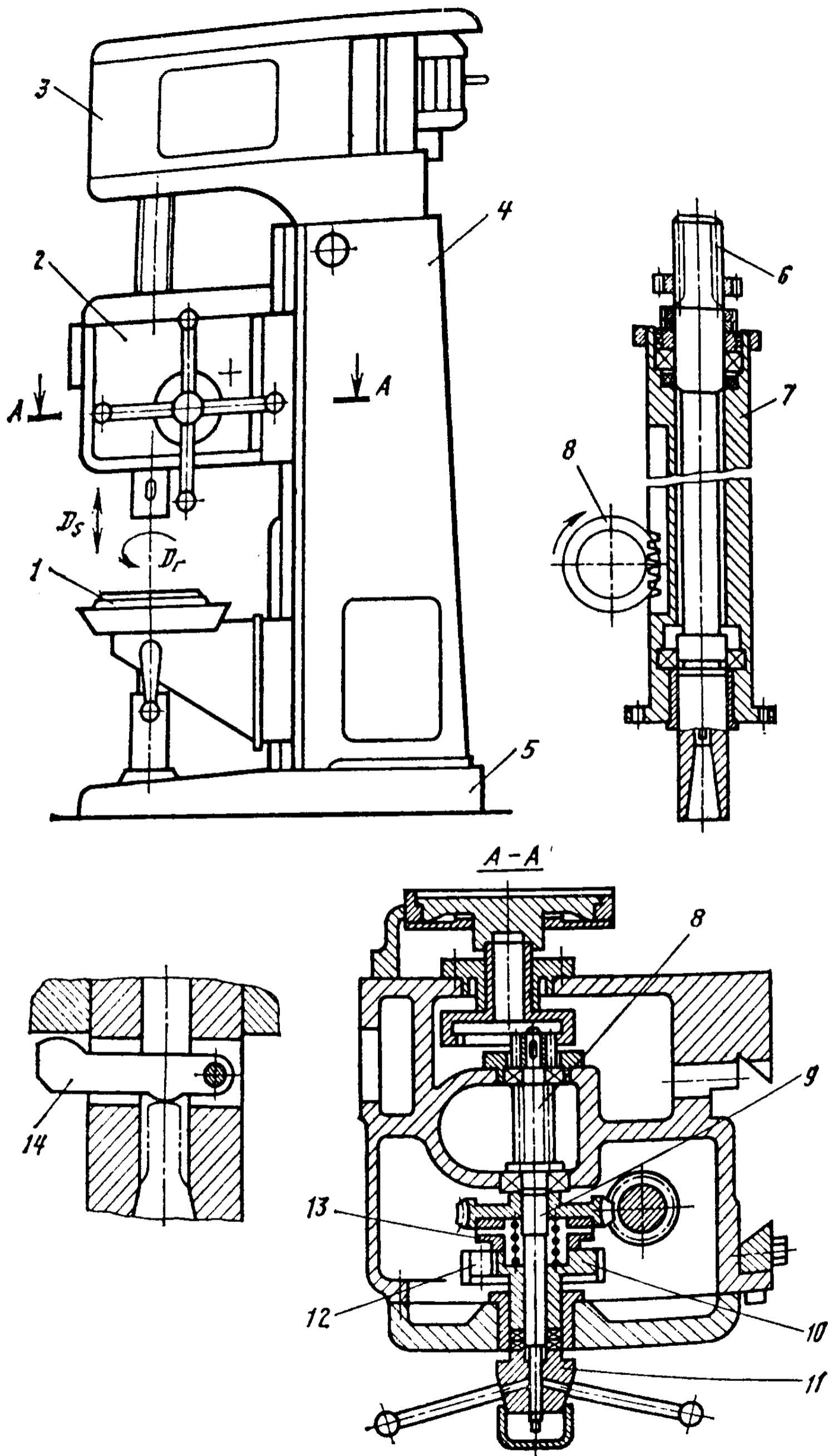


Рис. 12.1. Вертикально-сверлильный станок

скорости резания и подачи в этих станках сообщаются спиральному сверлу, которое периодически выводится из отверстия для охлаждения и удаления стружки. Станки для глубокого сверления ружейными сверлами (например, СГС902 и 150ГСД) — горизонтальной компоновки. Движение скорости резания совершает заготовка, а движение подачи — инструмент. Сверление невращающимся инструментом позволяет уменьшить увод оси отверстия, особенно при обработке сверлом малого диаметра. Кинематика этих станков характеризуется большими частотами вращения шпинделя ( $n_{\max} = 4500 \text{ мин}^{-1}$ ) и малыми подачами, регулирование подач — бесступенчатое. Станки для глубокого сверления ружейными сверлами оснащают высокопроизводительными ( $Q = 200 \dots 400 \text{ л/мин}$ ) системами подачи (под давлением 2—4 МПа), очистки и хранения СОТС.

Наиболее простыми по конструкции узлов являются настольно-сверлильные станки. Механизированным в них является только привод вращения шпинделя. Изменение частоты вращения шпинделя осуществляется либо ступенчато шкивами ременной передачи, либо с помощью фрикционного вариатора с раздвижными конусными дисками (см. рис. 7.15, а). Движение подачи и поступательное перемещение шпинделя осуществляются вручную штурвалом.

В вертикально-сверлильных станках напольного исполнения приводы главного движения и движения подач выполнены в виде шестеренных коробок скоростей 3 и подач 2 и размещены на коробчатой станине 4, закрепленной на фундаментной плите 5 (рис. 12.1). Внутренняя полость фундаментной плиты часто используется как резервуар для хранения СОТС. На вертикальных направляющих станины подвижно установлены стол 1 для заготовок и шпиндельная бабка, уравновешенная противовесом. Стол для установки заготовок снабжен ручным приводом вертикальных перемещений.

Кинематика вертикально-сверлильных станков такова, что приводной двигатель вращает входной вал коробки скоростей, а ведомый вал коробки подачи получает вращение от одного из промежуточных валов коробки скоростей. Выходными элементами коробки скоростей и коробки подачи являются соответственно шпиндель 6 и шпиндельная гильза 7. Шпиндель установлен на подшипниках во внутреннем отверстии шпиндельной гильзы 7, а на верх-

нем конце шпинделя имеется участок со шлицами для непрерывной передачи инструменту вращения при его поступательном перемещении. Движение подачи на рейку, выполненную на шпиндельной гильзе, поступает от шестерни 8, соосно с которой на поперечном валу 9 установлен механизм подачи. Он состоит из кулачковой муфты 11, закрепленной на штурвале, и обгонной муфты, ступица 10 которой связана собачками 12 с двусторонним храповым диском 13.

Механизм подачи обеспечивает работу станка в следующих режимах; ручной подвод инструмента к заготовке, включение механической подачи, ручное опережение движения подачи, выключение механической подачи, ручной отвод инструмента от заготовки, ручная подача, обычно используемая при нарезании резьбы метчиком. Для извлечения инструментов в станке предусмотрено устройство в виде кулачка 14, шарнирно установленного в пазу шпинделя. Кулачок при подходе шпиндельного узла к крайнему верхнему положению останавливается, упираясь в стенку бабки, и выталкивает инструмент из отверстия шпинделя.

Радиально-сверлильные станки конструктивно более сложны, и их исполнительные органы совершают большее число движений (рис. 12.2), чем у вертикально-сверлильных станков. Эти станки преимущественно монтируют на фундаментной плите 3, на верхней плоскости которой устанавливают заготовку или приставной стол 2 для обработки малогабаритных заготовок. На фундаментной плите жестко закреплен цоколь 5 с неподвижной внутренней колонной 6, где на подшипниках установлена поворотная наружная колонна 7. На поворотной колонне установлена траверса 4, которая может перемещаться вертикально. По направляющим траверсы в радиальном направлении перемещается шпиндельная бабка 1. Вертикальное перемещение траверсы механизировано и осуществляется передачей винт—гайка от электромеханического привода 8, установленного на верхнем торце поворотной колонны.

В передаче винт—гайка использована специальная гайка, состоящая из гайки подъема 9 траверсы и гайки зажима 10, связанной через систему рычагов с механизмом зажима траверсы на поворотной колонне. Особенность работы специальной гайки состоит в том, что гайка подъема не начинает перемещаться траверсы до тех пор, пока гайка зажима не осуществит ее разжим. После достижения



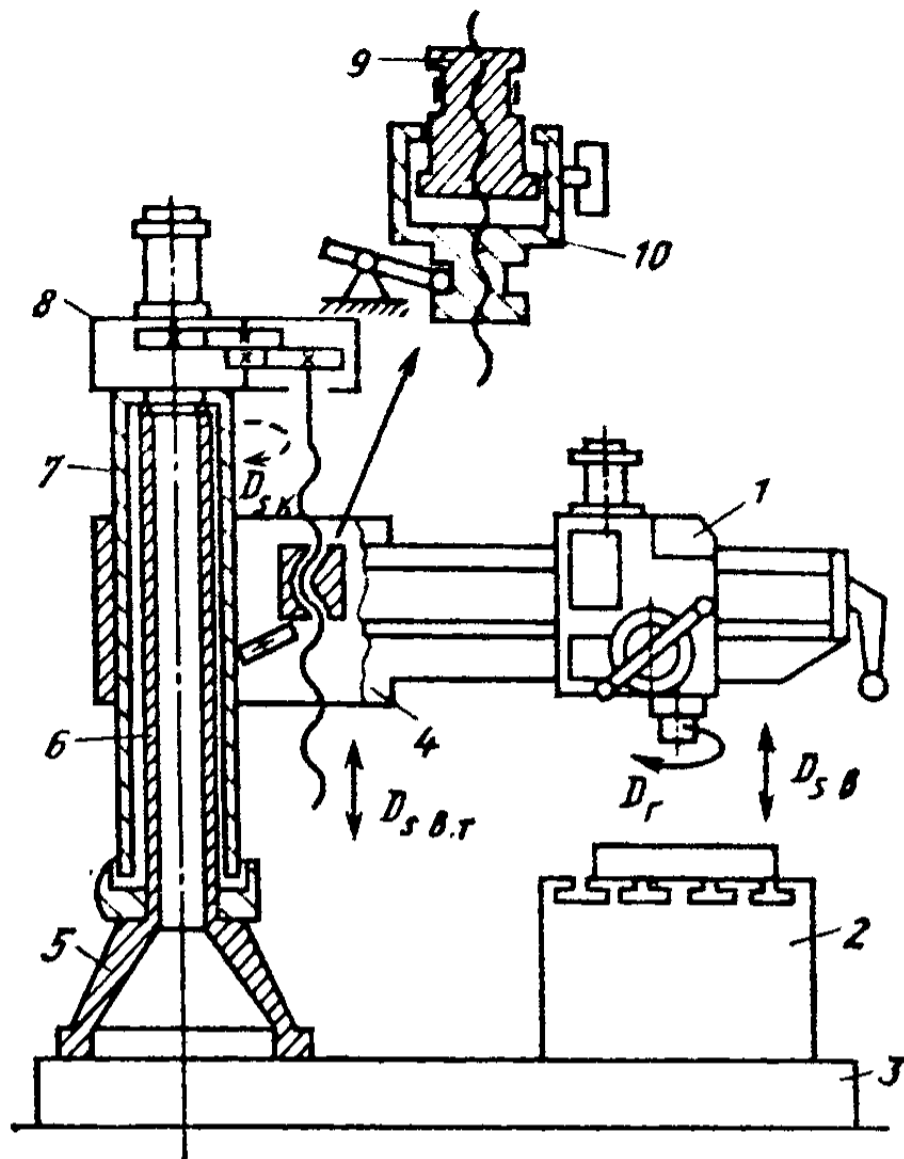


Рис. 12.2. Радиально-сверлильный станок

траверсой заданного положения включается реверсирование двигателя, гайки расходятся и происходят остановка и зажим траверсы.

Высокая жесткость и виброустойчивость радиально-сверлильных станков в значительной степени достигаются с помощью устройств зажима траверсы, поворотной колонны и шпиндельной бабки. Поворот траверсы вместе с поворотной колонной и радиальное перемещение шпиндельной бабки производятся вручную. На корпусе шпиндельной бабки установлены электродвигатель привода коробок скоростей и подачи, кинематически связанных между собой и размещенных в корпусе этой бабки. В целях сокращения вспомогательного времени коробки скоростей и подачи имеют преселективное управление. Для удобства обслуживания все органы управления станка сосредоточены на лицевой панели шпиндельной бабки.

Эффективная эксплуатация сверлильных станков возможна только при наличии достаточного количества вспомогательных инструментов и оснастки. Вспомогательные инструменты устанавливаются в шпинделях. Они предназначены для крепления режущего инструмента, обеспе-

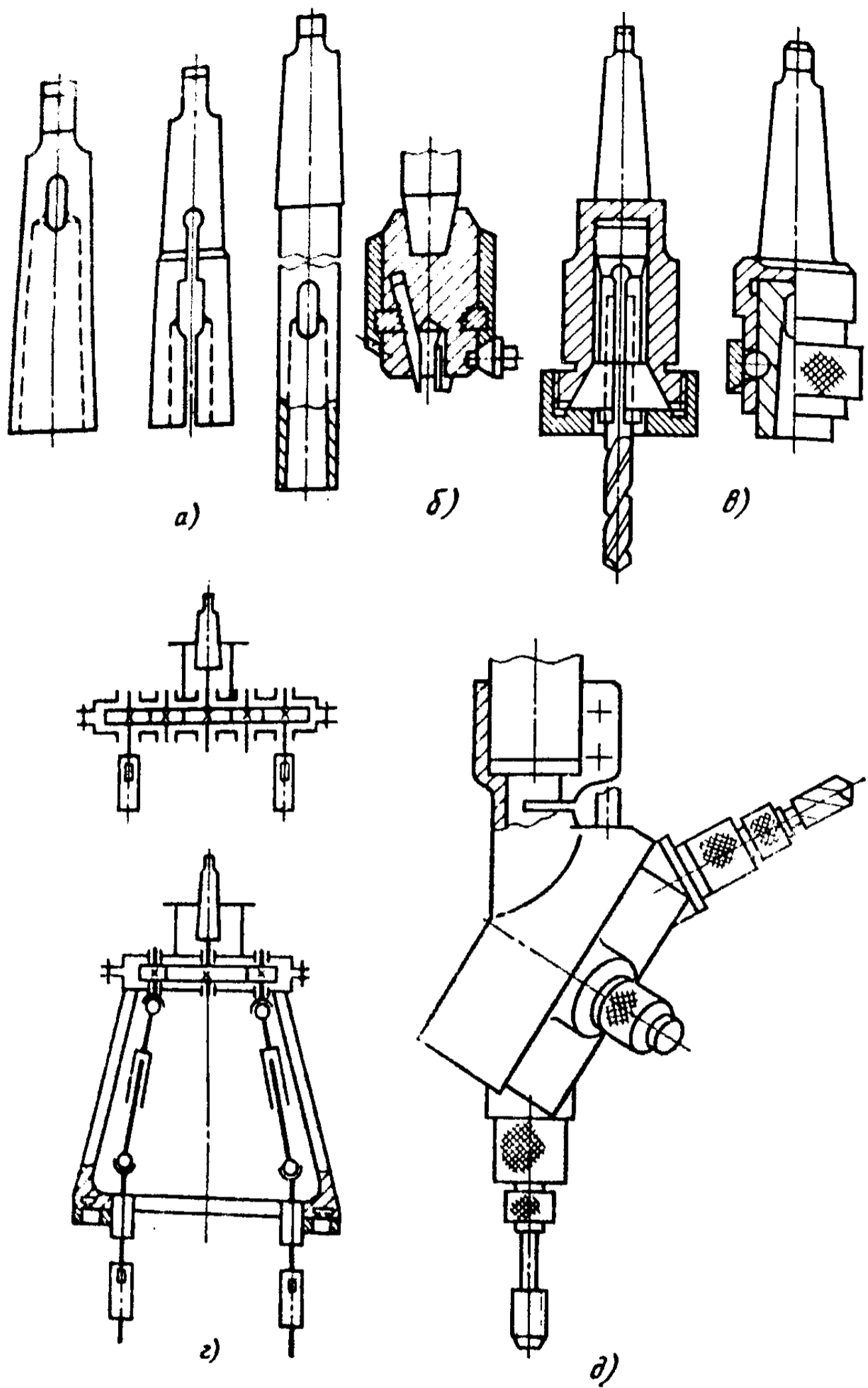


Рис. 12.3. Вспомогательный инструмент

чению ему дополнительных движений, заданной точности, быстроты и т. д. Наиболее простыми вспомогательными инструментами являются инструментальные втулки с конусом Морзе № 1—5, разрезные втулки, удлинительные оправки (рис. 12.3, а), кулачковые и цанговые пат-

роны (рис. 12.3, б). Для компенсации отклонения от соосности инструмента со шпинделем применяют плавающие патроны, допускающие смещение инструмента параллельно своей оси. С целью сокращения вспомогательного времени используют быстросменные патроны (рис. 12.3, в), позволяющие менять инструменты без остановки шпинделя.

Для улучшения качества нарезаемой резьбы и предохранения инструмента от поломок применяют предохранительные патроны, прекращающие передачу крутящего момента при перегрузках. Для одновременной обработки нескольких отверстий используют многошпиндельные насадки с постоянным расположением шпинделей (специальные) и с раздвижными шпинделями (рис. 12.3, г). Передача вращения от шпинделя станка к раздвижным шпинделям осуществляется зубчатыми или карданными передачами. Насадки с карданными передачами имеют более широкий диапазон регулирования. Установка раздвижных шпинделей по координатам отверстий производится по шаблону. Для последовательной обработки отверстий используют револьверные насадки (рис. 12.3, д), работающие в автоматическом и полуавтоматическом цикле (отвод, поворот револьверной головки, подвод, движение рабочей подачи). Все насадки крепят на шпинделе или шпиндельной гильзе станка с помощью разжимной втулки или тангенциальных сухарей.

Установку и закрепление различных по конфигурации заготовок при обработке на сверлильных станках осуществляют с помощью универсальных приспособлений: машинных тисков, угольников, плавающих столов, прихватов и т. п. (рис. 12.4, а, б, в). Эти приспособления используются в единичном производстве при обработке отверстий по разметке с отклонением межцентрового расстояния  $\pm (0,25 \dots 0,5)$  мм.

С повышением серийности производства и возрастанием требований к точности обработки стали применять специальные приспособления, в которых для направления инструмента при обработке используют постоянные или быстросменные кондукторные втулки из закаленной стали У12А (рис. 12.4, г). Сверление по кондуктору позволяет снизить отклонение межцентрового расстояния до  $(\pm 0,05 \dots 0,30)$  мм.

Промежуточное положение между универсальными и специальными приспособлениями занимают универсально-

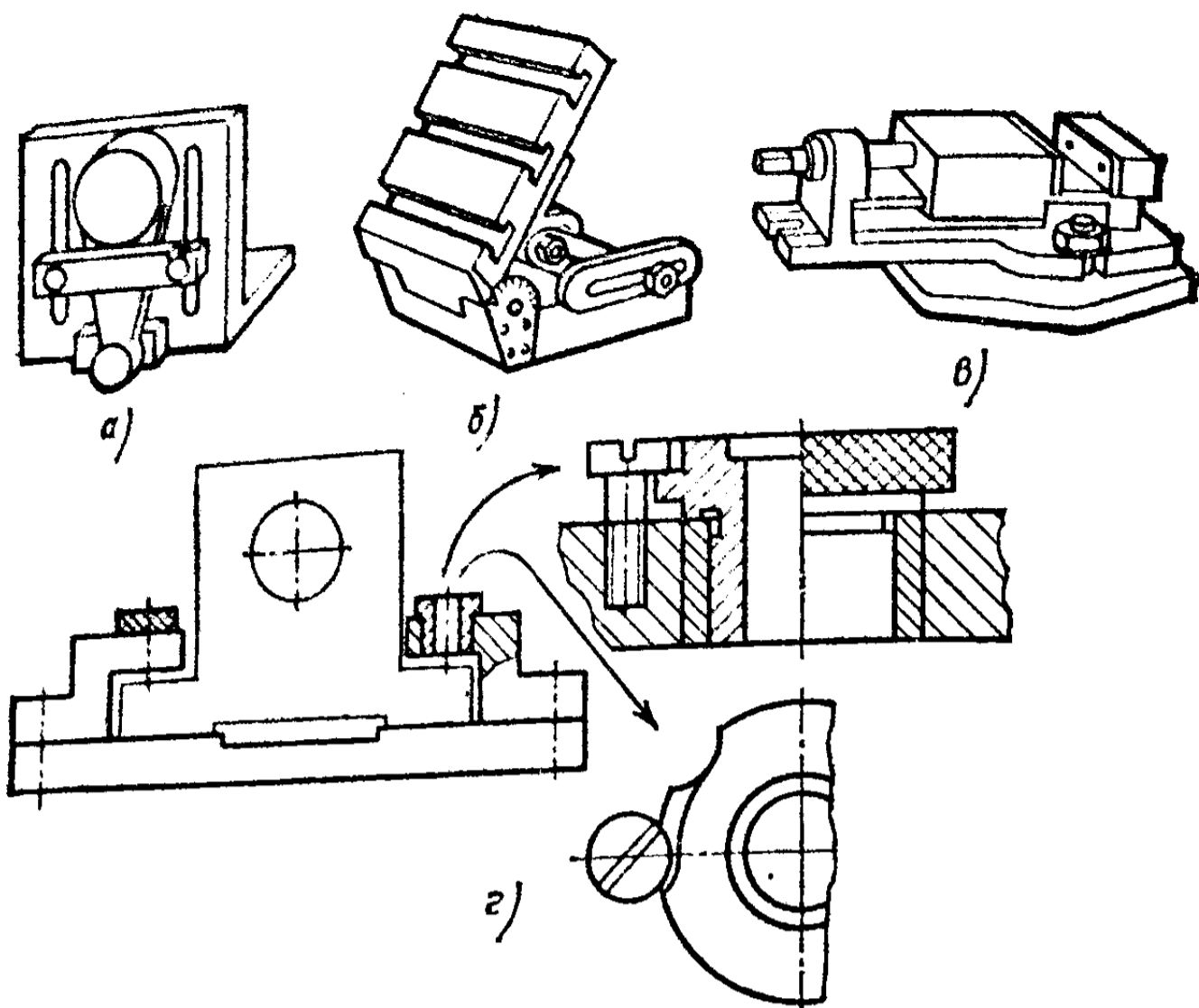


Рис. 12.4. Приспособления сверлильных станков:

*a* — угольник; *b* — поворотная плита; *в* — тиски машинные; *г* — кондуктор с быстросменными втулками

сборные приспособления (УСП). Идея разработки УСП состоит в том, что из нормализованного набора универсальных элементов и узлов собирают приспособления для обработки конкретных деталей. После обработки партии заготовок приспособления разбирают и его элементы используют для сборки новых приспособлений.

## § 12.2. РАСТОЧНЫЕ СТАНКИ

На расточных станках обрабатывают в основном базовые, корпусные детали, от точности обработки которых зависит качество механизмов и машин. В основном на расточных станках обрабатывают отверстия, точно координированные относительно друг друга и расположенные в одной или нескольких плоскостях. На расточных станках производят сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, нарезание резьбы, торцовое обтачивание плоскостей и фрезерование. Выполнение этих операций возможно благодаря значительному числу формообразующих и вспомогательных движений в универсальных расточных станках.

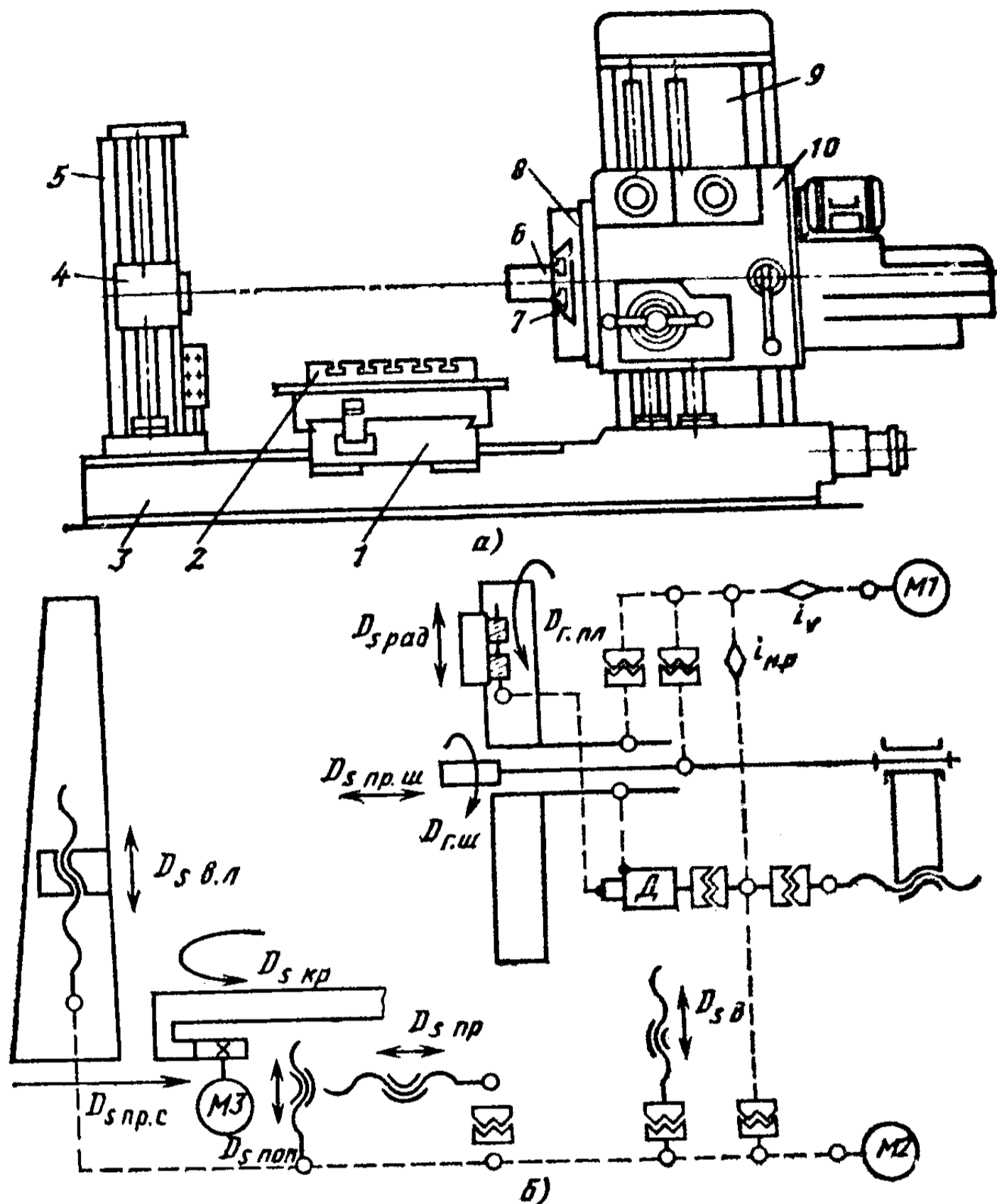


Рис. 12.5. Горизонтально-расточной станок:  
 а — общий вид; б — структурная схема

Расточные станки по классификации ЭНИМСа отнесены к сверлильно-расточной группе и, следовательно, их обозначение начинается с цифры 2 (например, 2Б20В, 2Е656, 2А21). Различают горизонтально-расточные, координатно-расточные, отделочно-расточные станки.

Горизонтально-расточные станки обладают широкой универсальностью и используются в единичном и мелкосерийном производстве. Эти станки имеют горизонтальное расположение шпинделя, диаметр которого является основной характеристикой станка. При наличии в конструкции станка прямоугольного стола для установки

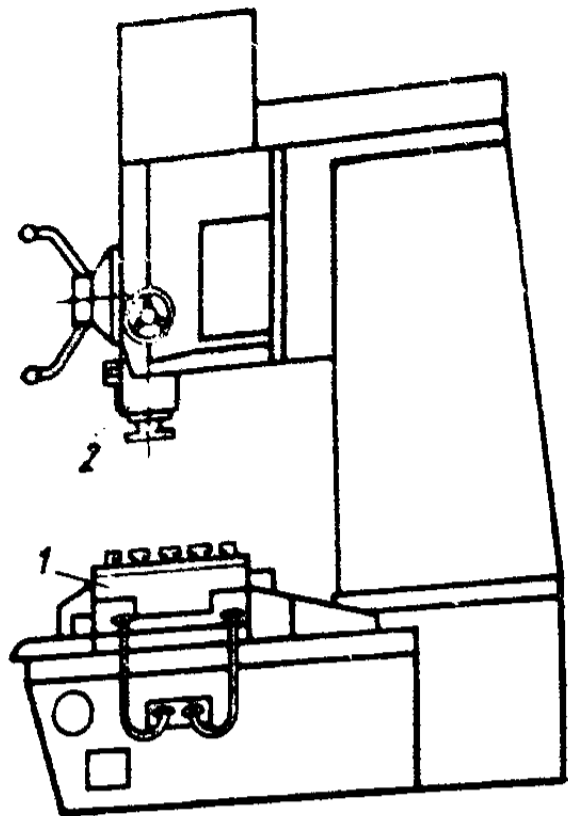


Рис. 12.6. Координатно-расточной станок

заготовок ширина его наименьшей стороны, как правило, равна десяти диаметрам шпинделя. Для станков с диаметром шпинделя 50—125 мм (рис. 12.5) характерна компоновка со столом 2, имеющим два взаимно перпендикулярных движения  $D_{s \text{ поп}}$ ,  $D_{s \text{ пр}}$  и общей станиной 3, на которой монтируется неподвижная передняя стойка 9, каретка 1 поворотного стола и задняя стойка 5 с вертикально перемещающимся ( $D_{s \text{ в. л}}$ ) люнетом 4, например, в станках 2620В, 2М614. Каретка и задняя стойка имеют продольное перемещение  $D_{s \text{ пр. с}}$  вдоль оси шпинделя.

Шпиндель 6 и соосная с ним планшайба 8 смонтированы в шпиндельной бабке 10, перемещающейся ( $D_{s \text{ в}}$ ) по вертикальным направляющим передней стойки 9. Некоторые станки данной компоновки оснащены радиальным суппортом 7,двигающимся по направляющим планшайбы ( $D_{s \text{ рад}}$ ). Поворотный стол имеет поперечное перемещение ( $D_{s \text{ поп}}$ ) по направляющим каретки.

Горизонтально-расточные станки обеспечивают среднеэкономическую точность обработки отверстий не более 7-го качества с допуском на межцентровое расстояние  $\pm(0,03 \dots 0,08)$  мм при шероховатости поверхности  $Ra = 1,25 \dots 0,32$  мкм.

Координатно-расточные станки (КРС) используют для обработки отверстий и плоскостей с точными линейными и угловыми координатами (шаблоны, кондукторы, штампы, пресс-формы и т. д.), для разметки и контроля высокоточных заготовок и деталей. Отличительной чертой КРС является вертикальное (кроме станка 2459) расположение шпинделя при одностоечной (рис. 12.6) (для обработки малых и средних заготовок) и двустоечной (для обработки крупных заготовок) компоновке. В одностоечных станках (рис. 12.6) совмещение оси шпинделя 2 с осью обрабатываемого отверстия осуществляется перемещением стола 1 с заготовкой в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В двустоечных станках портального типа установка координат производится продольным перемещением стола

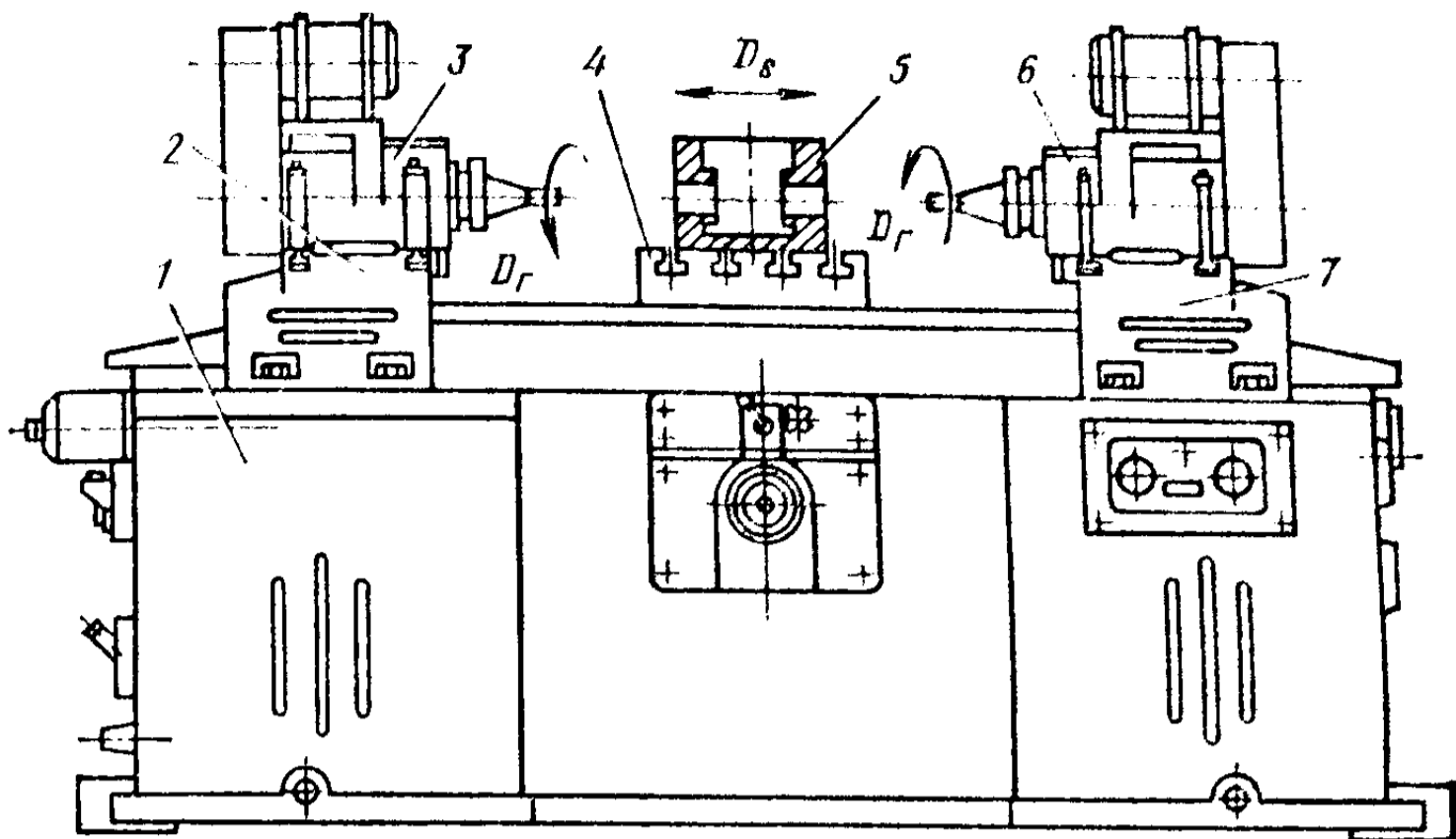


Рис. 12.7. Горизонтальный отделочно-расточной станок

и поперечным перемещением шпиндельной головки по траверсе. На современных КРС достигается при тонком растачивании отклонение диаметра  $0,004—0,005$  мм и отклонение межцентровых расстояний  $0,006$  мм при допустимой погрешности установки линейных координат  $0,004$  мм и угловых координат  $1''$ . Шароховатость поверхностей, обработанных на этих станках, достигает  $Ra = 0,008$  мкм для цветных сплавов и  $Ra = 0,8$  мкм для сталей и чугунов.

Отделочно-расточные станки используют в крупносерийном и массовом производстве для растачивания отверстий резцами, оснащенными сверхтвердыми материалами. На этих станках также можно выполнять наружное обтачивание цилиндрических и конических выступов, расточку канавок и подрезку торцов, высокоточных деталей автотракторной и авиационной техники (головки блока, блоки цилиндров, гильзы, вкладыши и т. д.). При этом обеспечивается отклонение диаметров до  $0,003—0,005$  мм, межцентровых расстояний  $\pm (0,01 \dots 0,02)$  мм, соосности отверстий  $0,005—0,01$  мм при  $Ra = 0,16 \dots 0,08$  мкм. По направлению оси шпинделя различают вертикальные и горизонтальные отделочно-расточные станки.

Наибольшее распространение получили двусторонние станки (2706, 2712А и т. д.), у которых (рис. 12.7) стол 4 с заготовкой 5 при обработке перемещается по продоль-

ным направляющим между расточными головками 3, 6, установленными на мостиках 2, 7 станины 1.

Рассмотрим принципы построения кинематической схемы горизонтально-расточных станков на структурной схеме станка 2620В (см. рис. 12.5, б). Главное движение передается на шпиндель ( $D_{г. ш}$ ) и планшайбу ( $D_{г. пл}$ ) вместе или раздельно от асинхронного электродвигателя М1 через коробку скоростей  $i_v$ . Вертикальное перемещение ( $D_{св}$ ) шпиндельной бабки и синхронное с ним движение ( $D_{с в. л}$ ) люнета 4 задней стойки, продольное ( $D_{с пр}$ ) и поперечное ( $D_{с поп}$ ) перемещение стола, осевое перемещение шпинделя ( $D_{с пр. ш}$ ) и радиального суппорта ( $D_{с рад}$ ) по планшайбе — все эти движения исполнительные органы получают от электродвигателя постоянного тока М2. В цепи привода радиального суппорта установлен планетарный механизм Д, обеспечивающий движение радиальной подачи при вращающейся и неподвижной планшайбе. Радиальный суппорт, установленный в направляющих корпуса планшайбы, получает движение от червячно-реечной передачи. При нарезании резьбы резцом или гребенкой, установленными в шпинделе, вращение шпинделя кинематически связывают с его осевым перемещением гитарой сменных колес  $i_{н. р}$ .

Станок оснащен также электроприводом (двигатель М3) установочного поворота стола и устройством, позволяющим изменять скорость подачи  $v_s$  таким образом, что подача на оборот  $S_0$  остается постоянной. Для уменьшения погрешности позиционирования стола и шпиндельной бабки до 0,03—0,04 мм на станке использован механизм точного электроостанова, обеспечивающий перед остановкой узла снижение скорости его перемещения до 30 мм/мин.

На основе станка 2620В разработана гамма унифицированных горизонтально-расточных станков 2А620-1 и 2А622-1 для консольной обработки (без задней стойки). Эти станки могут оснащаться как цифровой индикацией координатных перемещений (станок 2А620Ф1-1), так и системами ЧПУ (станок 2А620Ф2-1). Особенностью этой гаммы станков является наличие прецизионных опор качения, шариковых пар, механизированного крепления инструмента в шпинделе, двигателей постоянного тока с тиристорным управлением, электрического штурвала установки подвижных узлов с допустимой погрешностью 0,005 мм, а в станке 2А622ПФ1-1 — холодильной системы стабилизации тепловых деформаций.



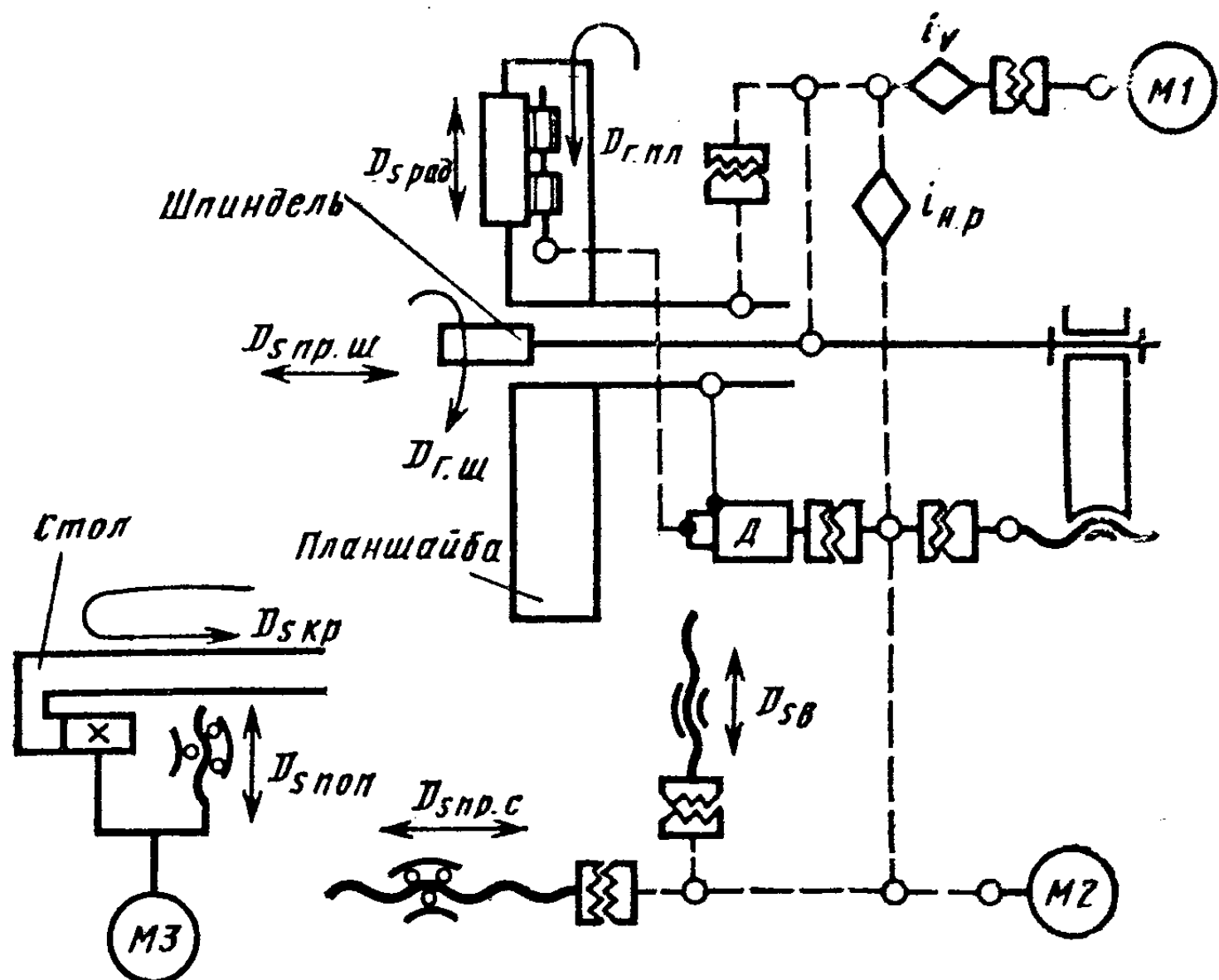


Рис. 12.8. Структурная схема горизонтально-расточного станка 2А620-1

Кинематическая схема привода главного движения станка 2А620-1 (рис. 12.8) та же, что привода 2Е450А. Осевое движение подачи ( $D_{s \text{ пр. ш}}$ ) шпинделя, вертикальное перемещение шпиндельной бабки ( $D_{s \text{ пр. в}}$ ), продольное перемещение стола ( $D_{s \text{ пр. с}}$ ) и движение подачи ( $D_{s \text{ пр. р}}$ ) радиального суппорта осуществляется от двигателя  $M2$ . Поперечное движение ( $D_{s \text{ пр. п}}$ ) стола и его вращение ( $D_{s \text{ пр. кр}}$ ) производятся двигателем  $M3$ . Частоту вращения двигателей  $M2$  и  $M3$  регулируют в широких пределах изменением напряжения тиристорных преобразователей.

В приводах КРС используют короткие кинематические цепи (двух-, трехступенчатые коробки скоростей) — станок 2Е450А. Передача движения шпиндельным гильзам и столу производится реечными и червячно-реечными передачами. В конструкции столов широко применяют роликовые направляющие. Направляющие скольжения оснащают разгружающими устройствами (станок 2Е640А) и автоматическими зажимами подвижных узлов. Отклонение узла при зажиме не превышает 0,002 мм. В станках особо высокой точности (2Е460А) используют устройства стабилизации температуры шпиндельных головок.

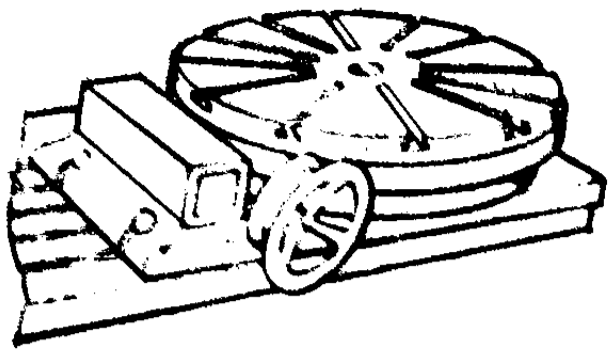
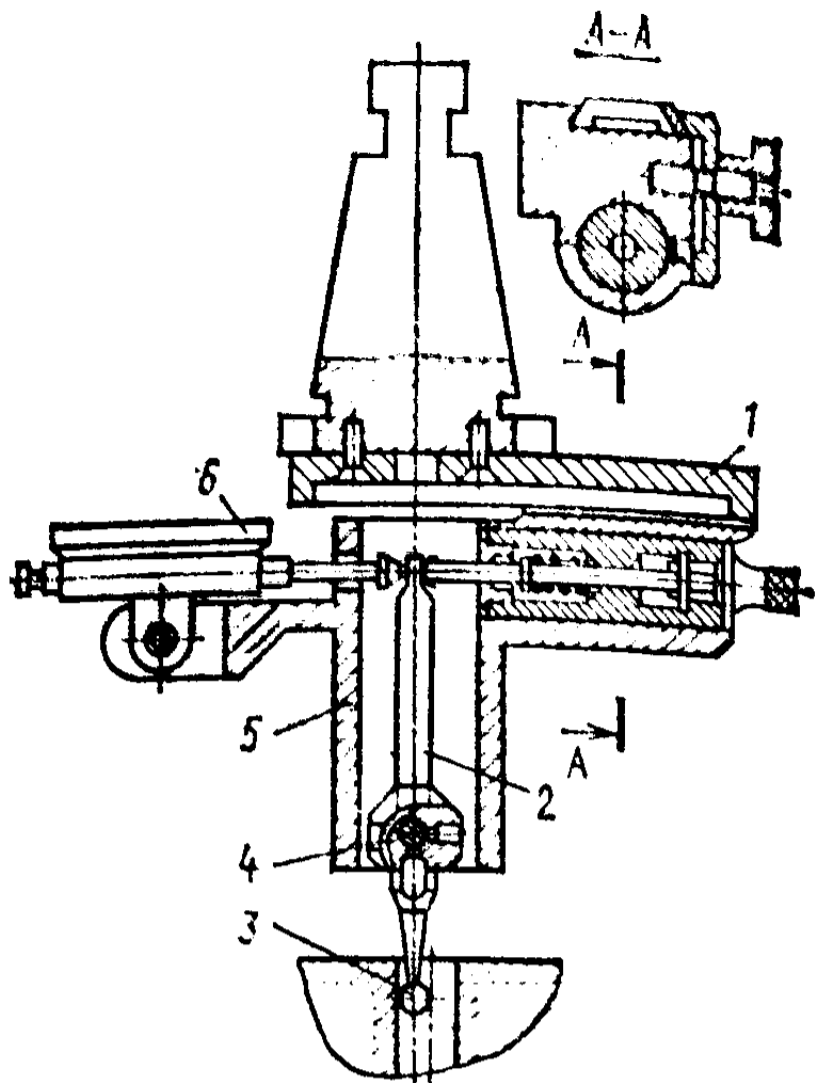


Рис. 12.9. Приспособления расточных станков

Рис. 12.10. Центроискатель



Особое внимание уделяют измерительным системам КРС. В станках 2421 и 2431 установлена индуктивная измерительная система из винта-якоря и закрепленного на столе датчика в виде двух проходных гаек с катушками, смещенными относительно друг друга на половину шага. При перемещении витков гайки относительно винта-якоря изменяется магнитное сопротивление, а в цепи катушек — ток, по силе которого судят о перемещении стола. Эта система включает устройства задания координат, автоматической остановки стола и механизм коррекции погрешностей винта-якоря.

Оптические и оптико-электрические измерительные системы, установленные в станках 2E440A, 2E460A и 2E470A, оснащены стеклянными штриховыми мерами, одна из которых закреплена на столе, а вторая — на неподвижных салазках. Пучок света проецирует штрихи мер на матовые экраны оптических устройств, где производится отсчет. В станке 2E450A предусмотрена автоматическая остановка стола в положении, заданном фотоэлектрическим нуль-индикатором.

В отделочно-расточных станках (см. рис. 12.7) движение от электродвигателя через ременную передачу поступает на шпиндель расточной головки. Для бесступенчатого регулирования подач в приводе стола использован гидроцилиндр. Эти станки при работе в полуавтоматическом режиме управляются конечными переключателями и кулачками, установленными на столе.

Основной объем вспомогательной оснастки, применяемой на расточных станках, приходится на долю координатно-расточных станков, на которых используются поворотные-делительные столы, центронскатели, визирные микроскопы, расточные головки различного назначения, фрезерные угловые и копировальные головки, быстро-сверлильные и шлифовальные головки.

Поворотные-делительные столы разделяют на плоские с вертикальной осью вращения (рис. 12.9), плоские с угольником и универсальные, в которых предусмотрен поворот на  $360^\circ$  в горизонтальной и на  $90^\circ$  в вертикальной плоскостях. Поворотные столы оборудуют механической, индуктивной или оптической измерительной системой с отсчетом через окуляр либо по экрану. Для совмещения центра отверстия или цилиндрического буртика с осью шпинделя в КРС использованы устанавливаемые в шпиндель индикаторные центронскатели (рис. 12.10) с линейкой 1, в направляющих которой перемещается корпус 5 с индикатором 6. В корпусе на оси 4 установлен щуп 3, который одним концом касается центрируемой поверхности, а вторым — через рычаг 2 воздействует на индикатор 6. Визирный микроскоп, устанавливаемый в шпиндель расточной головки, предназначен для совмещения оси шпинделя с центром керна, нанесенного на деталь при разметке. Для совмещения оси шпинделя с вертикальной гранью детали служит визирный угольник.

### *ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ*

1. Как влияет масса обрабатываемой заготовки на конструкцию сверлильного станка?
2. Какая оснастка позволяет повысить точность и производительность обработки на сверлильных станках?
3. Назовите достигаемую точность и параметры шероховатости при обработке на горизонтально-расточных станках.
4. Чем принципиально отличаются координатно-расточные станки от горизонтально-расточных станков?

## ГЛАВА 13. ФРЕЗЕРОВАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ФРЕЗ

## § 13.1. ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Для формообразования различных плоскостей, а также поверхностей типа уступов, пазов, фасонных и т. п. используют один из самых распространенных методов обработки — фрезерование.

Фрезерование является одним из самых высокопроизводительных методов обработки поверхностей резанием. Фрезерование осуществляется многолезвийным режущим инструментом — фрезой. Фреза представляет собой тело вращения, по периферии которого или на торце расположены режущие элементы — зубья фрезы. Каждый зуб фрезы можно рассматривать как резец с присущими ему конструктивными и геометрическими параметрами: передние и задние поверхности, главные и вспомогательные режущие кромки, геометрические параметры: углы  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  и т. п. (рис. 13.1).

Метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется вращательным движением инструмента (главное движение  $D_r$ ) и, как правило, поступательным движением заготовки, что является движением подачи  $D_s$  (рис. 13.1; 13.2; 13.3).

Особенностью фрезерования является его прерывистость в отличие от формообразования поверхности на токарном, сверлильном и некоторых других станках, где режущие кромки находятся в контакте с обрабатываемой заготовкой до окончания резания. Каждый режущий элемент (зуб фрезы) в процессе фрезерования находится в контакте с заготовкой, выполняя работу резания, только в течение некоторой части оборота до следующего врезания. Вследствие этого

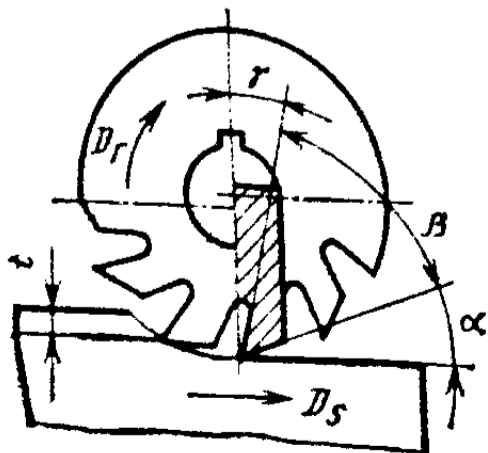


Рис. 13.1. Зуб фрезы — резец

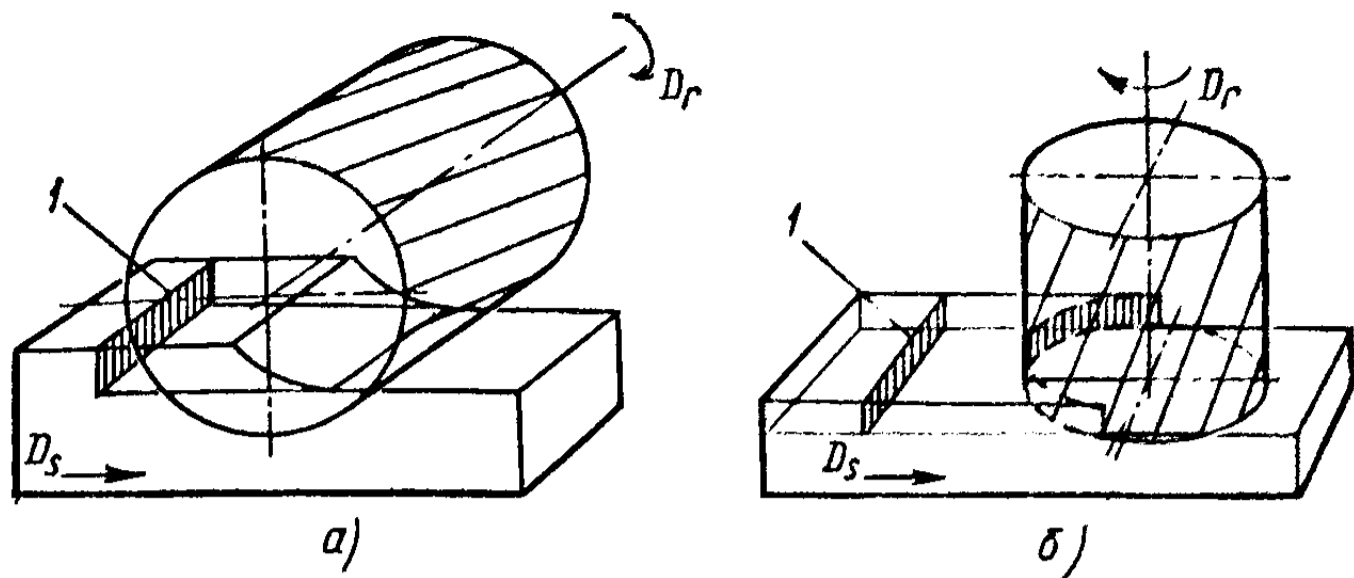


Рис. 13.2. Расположение осей вращения инструментов при фрезеровании на станках:

*a* — горизонтально-фрезерном; *б* — вертикально-фрезерном

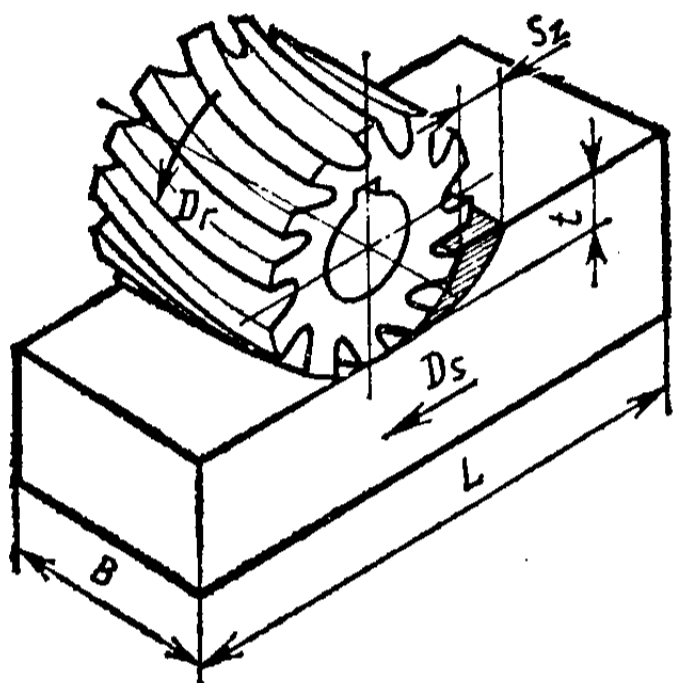


Рис. 13.3. Элементы режима резания при фрезеровании

резания. Такой режим обработки сопровождается вибрациями, повышенным изнашиванием зубьев вследствие микро- и макровыкрашивания, термоупругих разрушений, отрицательно сказывается на точности обрабатываемой заготовки и шероховатости ее поверхности.

### § 13.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

При фрезеровании инструмент — фреза, вращаясь вокруг своей оси, образует тело вращения, режущие элементы которого формируют, снимая припуск, ту или иную поверхность. Наиболее распространенное пространственное расположение оси фрезы вертикальное на вертикально-фрезерном станке и горизонтальное на горизонтально-фрезерном станке (рис. 13.2, *a*, *б*). Ось вращения инструмента может быть расположена и под определенным углом относительно обрабатываемой заготовки на широкоуниверсальных фрезерных станках.

Наиболее распространенными являются цилиндрическое и торцовое фрезерование. При цилиндрическом фрезеровании срезание припуска производится режущими

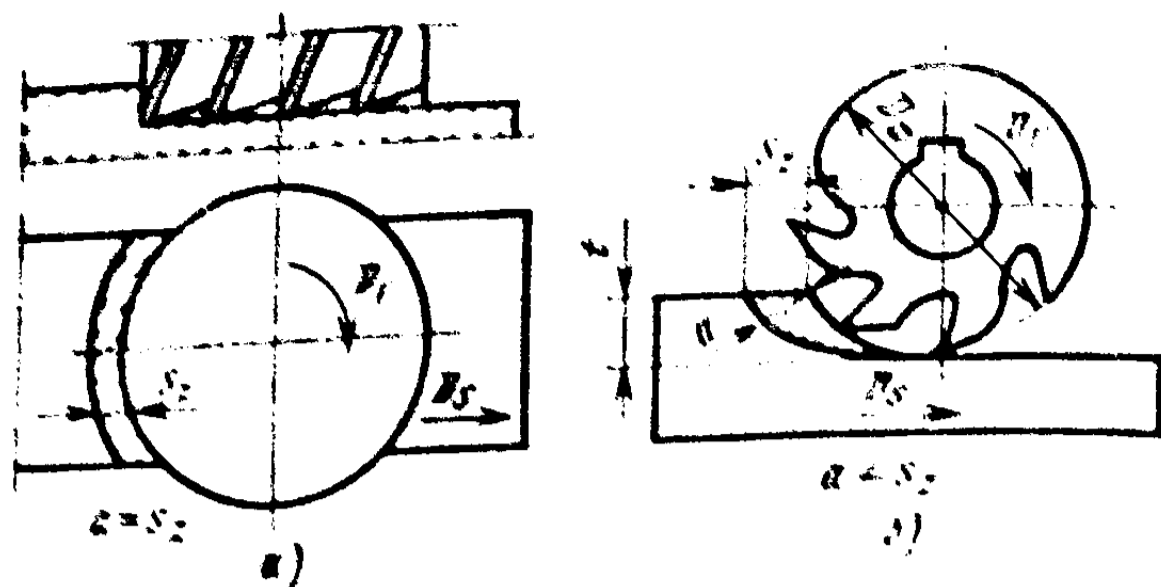


Рис. 13.4. Толщина стружки при торцовом (а) и цилиндрическом (б) фрезеровании

элементами фрезы, расположенными по образующей тела вращения, и зуб фрезы снимает слой металла переменной толщины (рис. 13.4, б).

При торцовом фрезеровании лезвийным инструментом с торцовыми зубьями зуб фрезы снимает слой металла практически постоянной толщины (рис. 13.4, а).

Скорость (м/мин) главного движения фрезерования определяют по формуле

$$v = \frac{\pi D_{\Phi} n_{\Phi}}{1000}$$

или в м/с

$$v = \pi D_{\Phi} n_{\Phi}$$

где  $D_{\Phi}$  — наибольший диаметр фрезы, мм (или в м по системе СИ);  $n_{\Phi}$  — частота вращения фрезы соответственно,  $\text{мин}^{-1}$  или  $\text{с}^{-1}$ .

Подачу подсчитывают на зуб фрезы —  $S_z$  (мм/зуб) или на оборот фрезы —  $S_0$  (мм/об). Органы управления на фрезерных станках имеют скорость подачи  $v_s$  (мм/мин), а неподачи  $S_z$ ,  $S_0$ . Поэтому расчет режимов резания производится по  $S_z$ . Тогда

$$S_0 = S_z z, \text{ мм/об};$$

$$v_s = S_0 n_{\Phi} = S_z z n_{\Phi}.$$

Глубина резания  $t$  — кратчайшее расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями (см. рис. 13.3).

К параметрам фрезерования относят также и ширину фрезеруемой поверхности  $B$  (см. рис. 13.3), измеренную

в направлении, параллельном оси фрезы при цилиндрическом фрезеровании и перпендикулярном направлению движения подачи при торцовом фрезеровании. Для инженерных и производственных расчетов иногда необходимо знать толщину стружки при фрезеровании. При торцовом симметричном фрезеровании (см. рис. 13.4) толщина стружки равна подаче на зуб  $a = S_z$ .

Площади срезаемого слоя  $l$  (см. рис. 13.2, а, б) при одинаковой глубине резания и ширине срезаемого слоя будут равны при цилиндрическом и торцовом фрезеровании. При цилиндрическом фрезеровании  $a < S_z$  (рис. 13.4, б):

$$a = 2S_z \sqrt{\frac{l}{D} - \left(\frac{l}{D}\right)^2}.$$

Зная ширину срезаемого слоя  $B$  (мм), глубину резания  $t$  (мм), скорость подачи  $v_s$  (мм/мин), длину заготовки  $L$ , а также параметры режима фрезерования, можно подсчитать и производительность фрезерования (см<sup>3</sup>/ч) — количество металла (объем или масса), преобразованного в стружку:

$$Q = \frac{B t v_s}{1000} 60.$$

Пример. Найти производительность процесса фрезерования, если материал Ст3, число зубьев фрезы  $z = 10$ , частота вращения фрезы  $n_{\Phi} = 100 \text{ мин}^{-1}$ , ширина фрезерования  $B = 30 \text{ мм}$ , глубина  $t = 6 \text{ мм}$ , подача на зуб  $S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$ :

$$S_0 = S_z z = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм/об};$$

$$v_s = S_0 n_{\Phi} = 1 \cdot 100 = 100 \text{ мм/мин};$$

$$Q = \frac{B t S_0}{1000} 60 = 1080 \text{ см}^3/\text{ч}.$$

Масса снятого за 1 ч металла  $m = 1080 \cdot 7,8 = 9,424 \text{ кг}$ .

К элементам режима резания при фрезеровании относят и основное время.

В общем случае

$$T_0 = \frac{L}{v_s} i,$$

где  $L$  — путь, пройденный инструментом, мм,  $i$  — число рабочих ходов, необходимое для снятия всего припуска.

Расчетный путь, пройденный инструментом, помимо длины (ширины) обрабатываемой заготовки включает

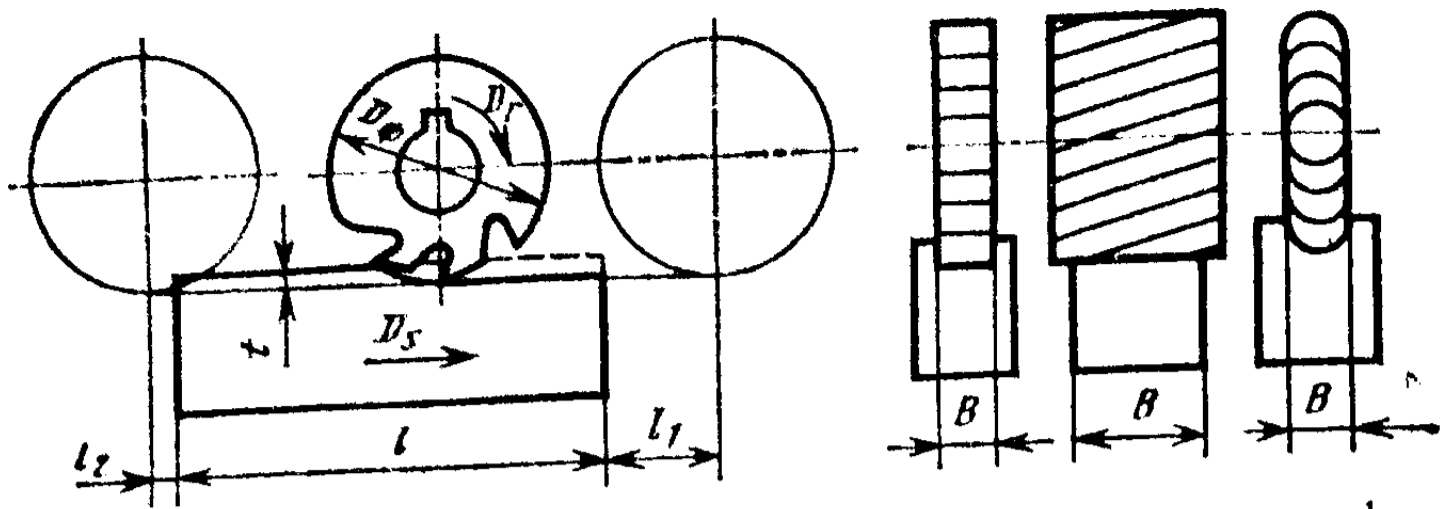


Рис. 13.5. Путь, пройденный инструментом при фрезеровании фасонными, дисковыми и цилиндрическими фрезами

также дополнительный путь для врезания фрезы на заданную глубину резания  $l_1$  и перебега фрезы  $l_2$  (мм) после завершения обработки:

$$L = l + l_1 + l_2,$$

где  $l$  — длина (ширина) заготовки (мм).

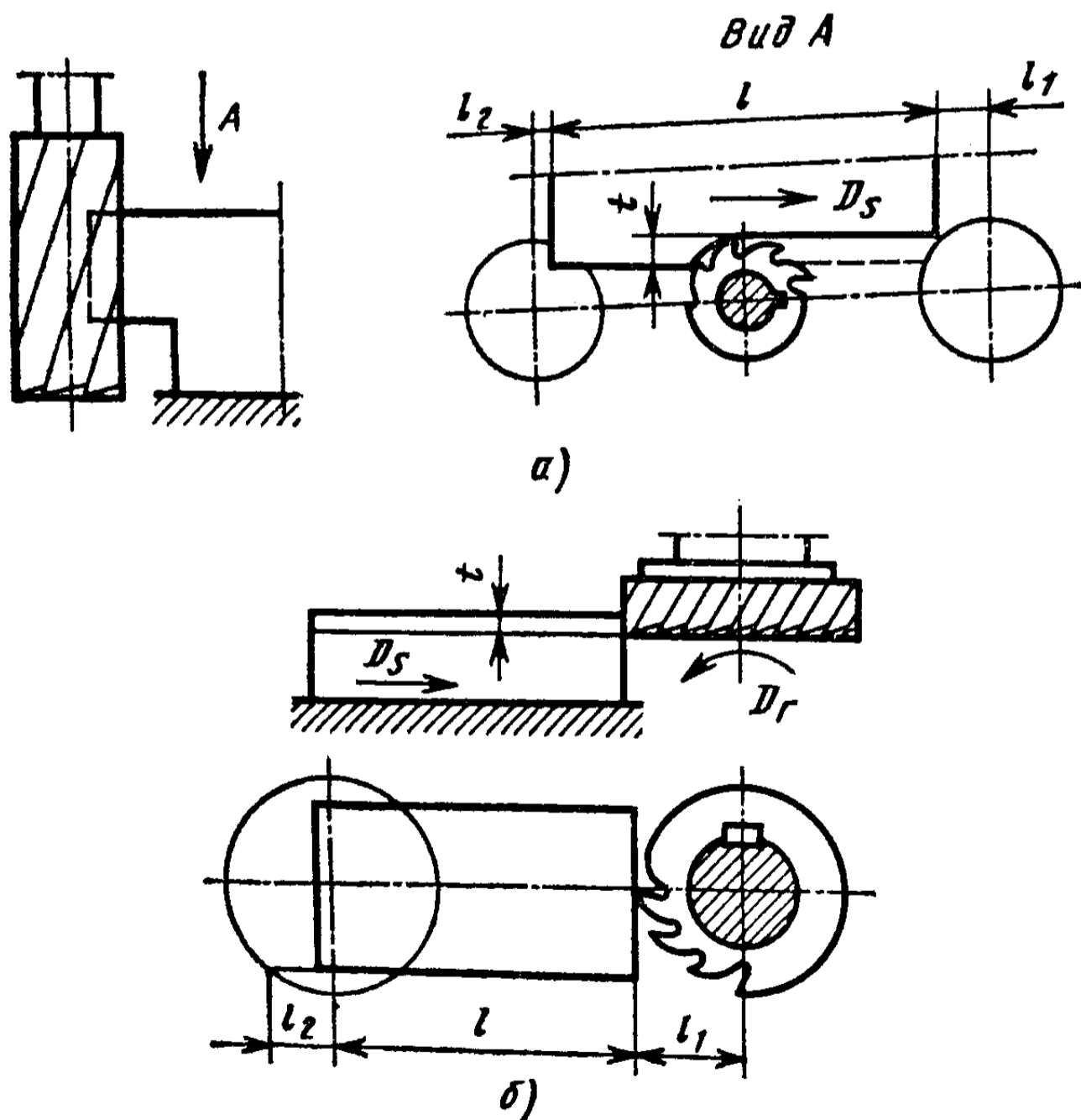


Рис. 13.6. Путь, пройденный инструментом при фрезеровании вертикальной плоскости (а) пальцевой фрезой, симметричном фрезеровании торцевой фрезой горизонтальной плоскости (б)



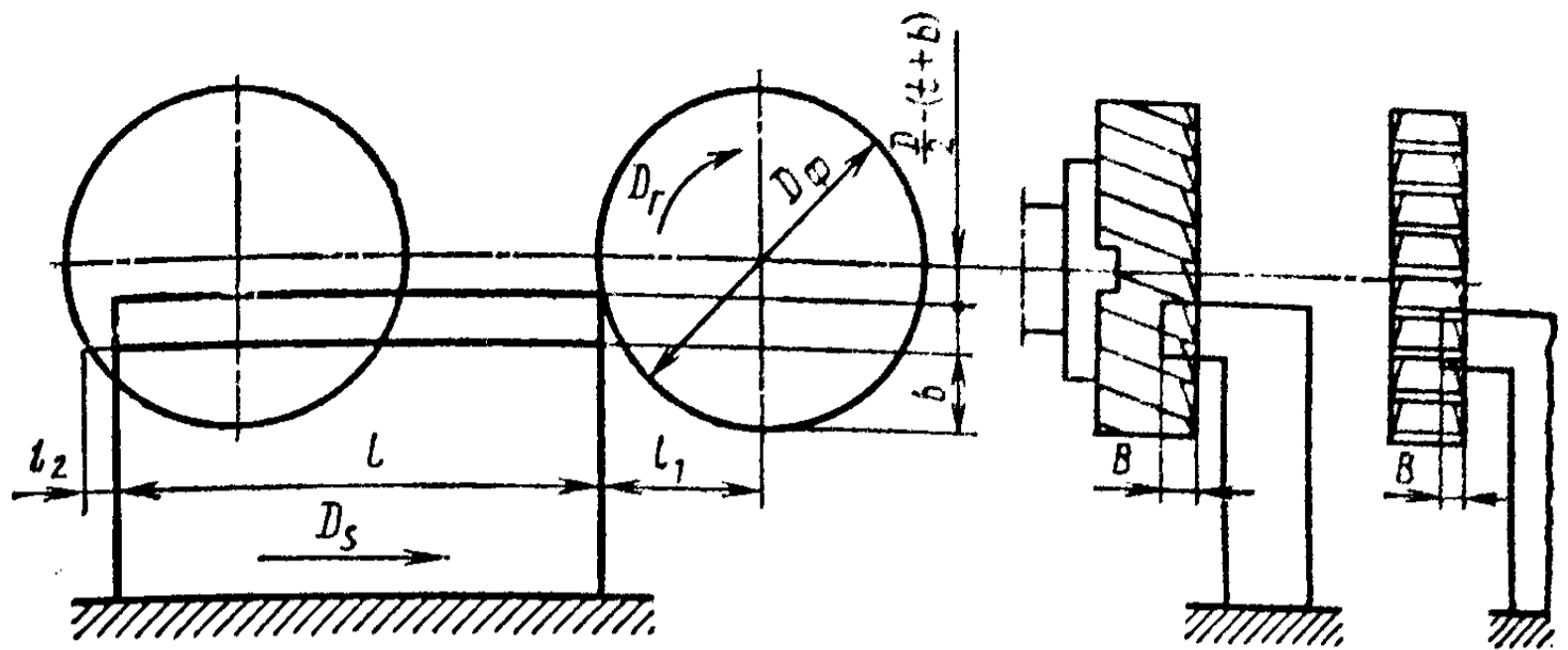


Рис. 13.7. Путь, пройденный инструментом при несимметричном фрезеровании торцовыми и дисковыми фрезами

При фрезеровании цилиндрическими, фасонными, а также концевыми и дисковыми фрезами (рис. 13.5)  $l_1 = \sqrt{t(D-t)} + (0,5 \dots 3)$  мм,  $l_2 = (1 \dots 5)$  мм. При симметричном фрезеровании торцовыми и концевыми фрезами (рис. 13.6)  $l_1 = 0,5 (D_\Phi - \sqrt{D_\Phi^2 - B^2}) + (0,5 \dots 3,5)$  мм,  $l_2 = (1 \dots 6)$  мм. При несимметричном фрезеровании торцовыми и дисковыми фрезами (рис. 13.7)  $l_1 = \sqrt{t(D-t-2b)} + (0,5 \dots 3)$  мм,  $l_2 = (1 \dots 4)$  мм. Все остальные виды фрезерования могут быть рассмотрены как частные случаи перечисленных выше, и  $l_1$ ,  $l_2$  могут определяться аналогично в каждом конкретном случае.

### § 13.3. СИЛЫ РЕЗАНИЯ И МОЩНОСТЬ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Мощность  $N$ , необходимая для снятия припуска при фрезеровании, включает две составляющих: мощность  $N_v$ , затрачиваемую на вращение фрезы, и мощность  $N_s$ , затрачиваемую на перемещение заготовки в процессе резания:  $N = N_v + N_s$ .

Фрезерные станки имеют отдельные привод главного движения и движение подачи. Для вращения фрезы необходимая мощность (кВт)

$$N_v = \frac{Mn}{975},$$

где  $M$  — крутящий момент, необходимый для преодоления сил сопротивления резанию;  $n$  — частота вращения фрезы.

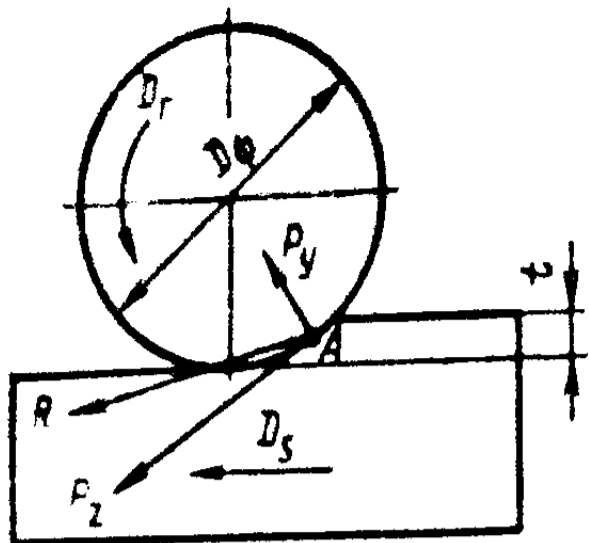


Рис. 13.8. Силы резания при фрезеровании прямозубой цилиндрической фрезой

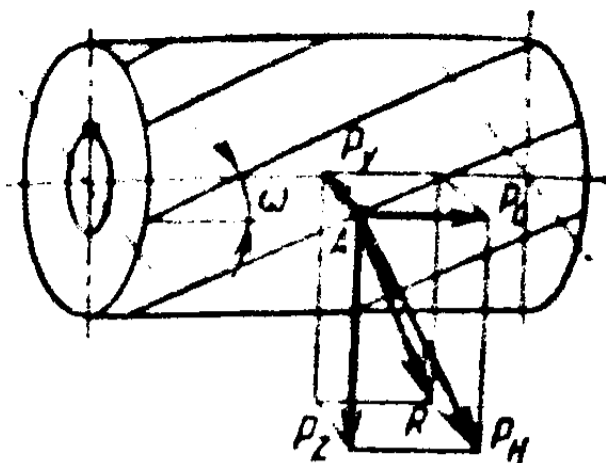


Рис. 13.9. Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой с винтовым зубом

Для расчета крутящего момента рассмотрим схему действия сил сопротивления при фрезеровании цилиндрической фрезой с прямым зубом (рис. 13.8). Предположим, что суммарная сила сопротивления резанию  $R$  всех зубьев, участвующих в данный момент в резании, приложена в точке  $A$  (рис. 13.8). Разложим эту силу относительно оси фрезы на две составляющих: тангенциальную  $P_2$  и радиальную  $P_y$ . Крутящий момент (Н·м) относительно оси фрезы

$$M = \frac{P_2 D_\phi}{2}.$$

Прямозубыми фрезами практически невозможно достичь спокойного (равномерного) резания. Чем большее число зубьев одновременно участвует в резании, тем более равномерно происходит резание. Но даже при большом числе зубьев, одновременно участвующих в резании, для прямозубой фрезы невозможно получить равномерное фрезерование, т. е. фрезерование с постоянной площадью поперечного сечения срезаемого слоя на всем пути контакта зубьев. Поверхность, обработанная такими фрезами, часто получается волнистой.

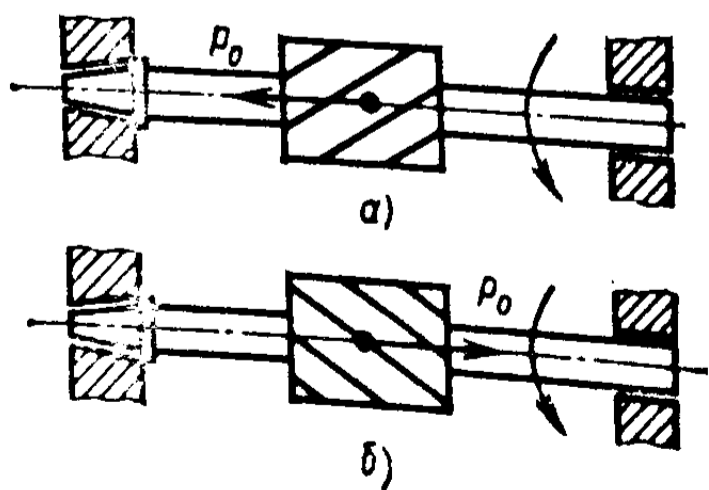


Рис. 13.10. Направление осевой составляющей силы резания при разноименном наклоне зубьев фрезы

Для более равномерного фрезерования и улучшения условий резания используют фрезы с винтовым зубом (рис. 13.9).

В этом случае кроме сил  $P_z$ ,  $P_y$  действует и осевая сила  $P_0$ , направление которой зависит от направления наклона винтовой канавки фрезы и угла наклона  $\omega$ .

Осевая составляющая силы резания стремится сдвинуть в осевом направлении фрезу, нагружая тем самым шпиндельный узел или разгружая его, в зависимости от наклона винтовой канавки (рис. 13.10). Это учитывают, если необходимо разгрузить шпиндельный узел, устанавливая комплект фрез с правой и левой винтовой линией. Неправильное сочетание левой и правой винтовых линий может привести к нежелательному явлению — действию силы  $P_0$  в одном направлении.

Для определения окружной силы  $P_z$  пользуются эмпирической формулой

$$P_z = \frac{9,81 C_v t^{x_P} S_z^{y_P} B^{u_P} P_z^{v_P}}{D_\phi^{q_P} n^{\omega_P}} K_P,$$

где  $t$  — глубина резания, мм;  $S_z$  — подача на зуб, мм/зуб;  $B$  — ширина фрезерования, мм;  $z$  — число зубьев фрезы;  $D_\phi$  — диаметр фрезы;  $n$  — частота вращения фрезы, мин<sup>-1</sup>;  $u_P$ ,  $x_P$ ,  $y_P$ ,  $v_P$ ,  $q_P$ ,  $\omega_P$  — показатели степени, учитывающие конкретные факторы процесса резания;  $K_P$  — коэффициент, учитывающий отличие производственных условий фрезерования от экспериментальных. Коэффициент и показатели степени имеются в справочной литературе.

Зная окружную силу, крутящий момент, определяем мощность, необходимую для вращения фрезы. Мощность  $N_s$ , затрачиваемая на движение подачи, не превышает 15 % мощности, затрачиваемой на главное движение резания при фрезеровании.

Полную мощность (кВт) электродвигателя фрезерного станка определим с учетом КПД:

$$N_{эд} = \frac{1,15N}{\eta},$$

где  $\eta \approx 0,85$ .

#### § 13.4. ПОПУТНОЕ И ВСТРЕЧНОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Фрезерование, при котором фреза и заготовка движутся навстречу друг другу, называют встречным. Фрезерование называют попутным, если направления

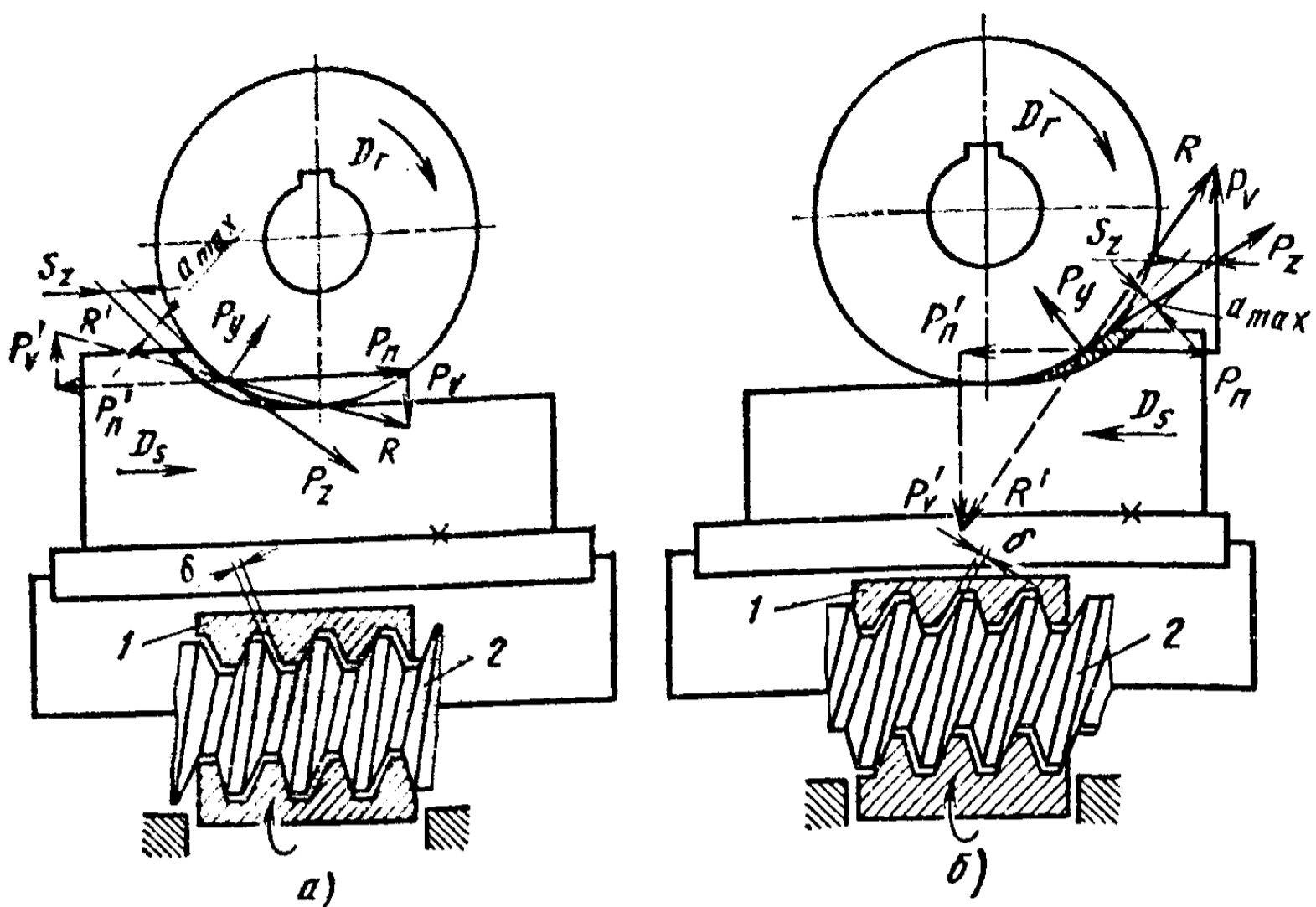


Рис. 13.11. Схемы фрезерования и составляющие силы резания:  
 а — при встречном фрезеровании; б — при попутном фрезеровании

движения фрезы и заготовки совпадают (рис. 13.11). *Встречное фрезерование* — наиболее распространенный способ фрезерования, характеризующийся тем, что нагрузка на каждый зуб фрезы увеличивается постепенно, так как толщина срезаемого слоя изменяется от нуля при входе зуба до максимума перед выходом зуба.

Так же, как и любой лезвийный инструмент, зуб фрезы, даже при самой тщательной заточке, обладает начальным радиусом скругления  $\rho$  (рис. 13.12), поэтому срезание стружки начинается лишь в точке  $B$ , где вступает в резание зуб с положительным передним углом  $\gamma$ . Зона  $AB$  —

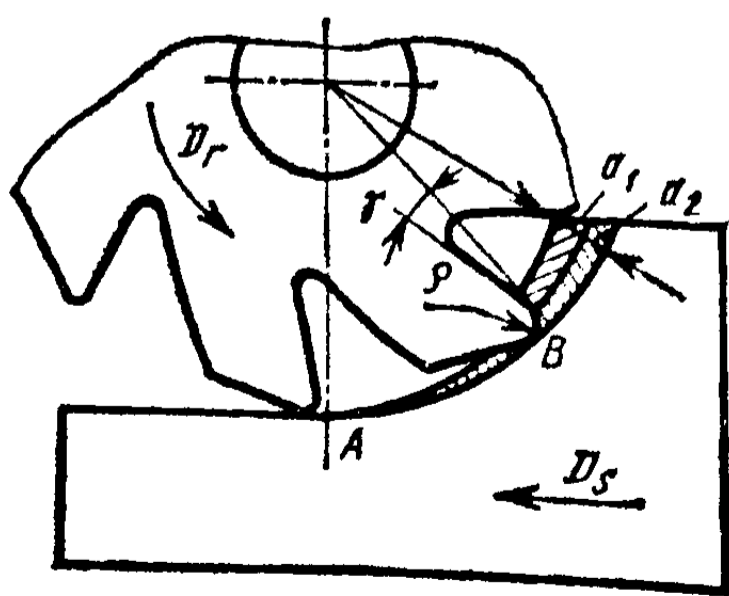


Рис. 13.12. Схема срезания припуска при фрезеровании

зона начального скольжения, которая существенно увеличивает износ по задней грани зуба. Расчетная толщина срезаемой стружки  $a$  включает в себя две зоны  $a_1$  и  $a_2$ . Зона  $a_1$  срезается зубом, а зона  $a_2$ , обладая упругопластическими свойствами, участвует в изнашивании зуба и нагартовывается на заготовку. Толщина зоны  $a_2$  равна радиусу скругления зуба

фрезы. Вертикальная составляющая силы резания  $P_v$  стремится прижать фрезу к заготовке. Сила реакции  $P'_v$  при значительной толщине срезаемого слоя стремится компенсировать зазоры между столом и направляющими салазок и станины, вызывая вибрации и ухудшая качество обработанной поверхности (увеличивается шероховатость, волнистость и др.).

Несмотря на недостатки, встречное фрезерование наиболее распространено, так как припуск снимается из-под корки и вероятность «подрыва» заготовки отсутствует: функциональный зазор  $\delta$  в паре ходовой винт 2 — гайка 1 (см. рис. 13.11, а) не влияет на резание, так как гайка, вращаясь и перемещая винт (а следовательно, и стол фрезерного станка) в направлении подачи, постоянно прижимает одну и ту же сторону профиля резьбы винта 2. Такому прижиму содействует и горизонтальная составляющая реакции силы резания  $P'_n$ , так как направление этой реакции составляющей силы резания противоположно направлению движения подачи. Это способствует равномерному перемещению стола фрезерного станка с заготовкой.

При *попутном фрезеровании* реакция вертикальной составляющей силы резания  $P'_v$  (см. рис. 13.11, б) прижимает заготовку к столу, стол прижимается к направляющим салазок и станине. Это способствует отсутствию вибрации, более равномерному снятию припуска. Зуб фрезы начинает снимать стружку почти сразу же с наибольшей толщиной и подвергается наибольшей нагрузке. Начальное скольжение отсутствует, увеличивая тем самым стойкость (до 3 раз при малых толщинах среза). При наличии у заготовки корки (если заготовка литая или получена методом обработки давлением) стойкость фрезы, работающей по этой схеме, мала и более приемлемо встречное фрезерование. При попутном фрезеровании, несмотря на лучшие условия срезания припуска, чем при встречном, существует опасность захвата (или «подрыва») заготовки. Чем больше функциональный зазор  $\delta$  в паре (винт—гайка), тем больше опасность «подрыва» и поломки инструмента. При схеме попутного фрезерования (рис. 13.11, б) гайка вращает винт также при отсутствии зазора между витками гайки и одной (правой на рис. 13.11, б) из сторон профиля винта. Но так как окружная скорость фрезы больше скорости движения подачи, реакция горизонтальной составляющей силы резания  $P'_n$ , действующая на

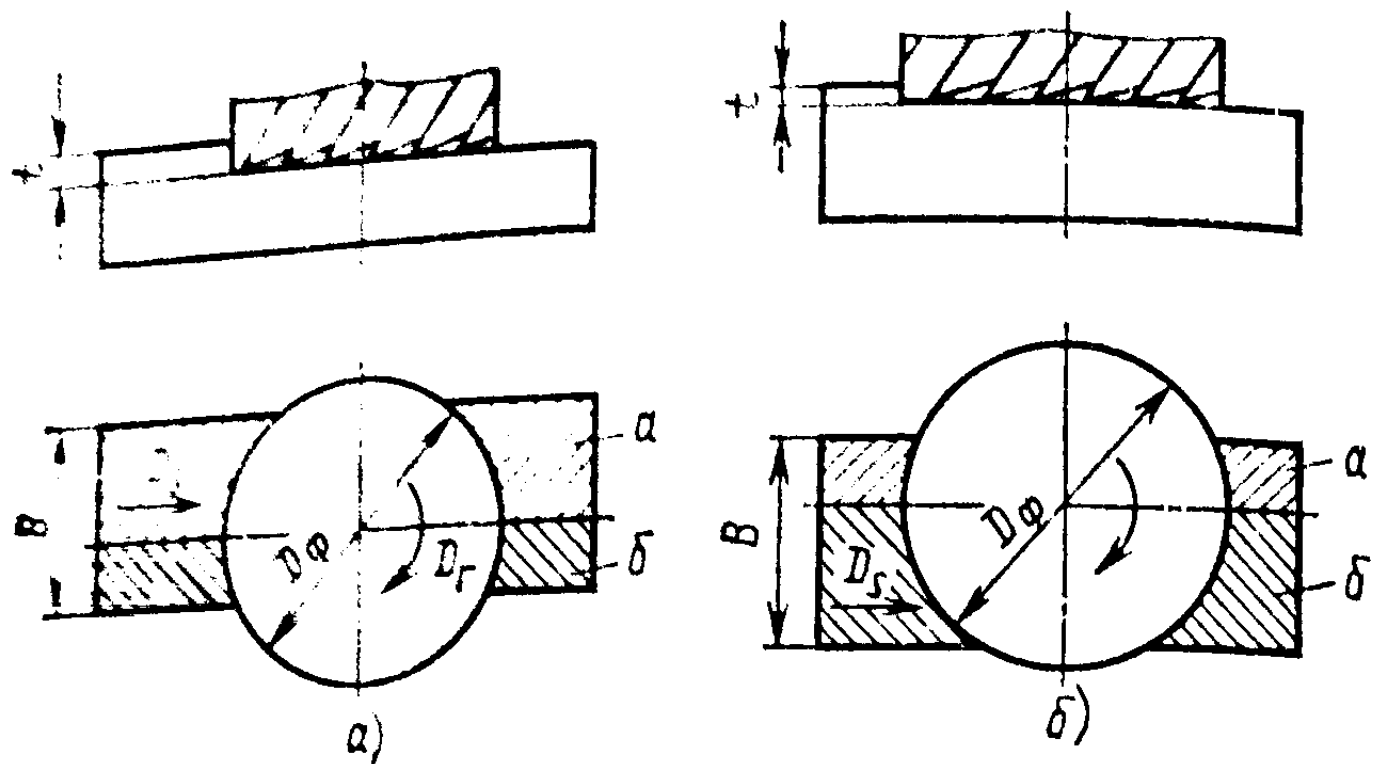


Рис. 13.13. Попутное и встречное фрезерование торцовыми фрезами

заготовку в направлении подачи, сместит при определенных условиях профиль винта по отношению к профилю резьбы гайки в крайнее левое положение, компенсируя функциональный зазор  $\delta$ . В этом положении путь, пройденный заготовкой, увеличится на величину  $\delta$ . В реальных условиях увеличенная подача на зуб составляет 0,2—0,4 мм/зуб и происходит захват заготовки, что приводит либо к поломке фрезы, либо к «подрыву» заготовки.

При торцовом фрезеровании присутствует встречное и попутное фрезерование (рис. 13.13). На рис. 13.13 при торцовом фрезеровании заготовки шириной  $B$  в том случае, когда  $B > \frac{1}{2} D_{\phi}$  одновременно в срезании припуска участвуют две схемы фрезерования. В той части заготовки, где вектор главного движения (вращение фрезы) совпадает с направлением движения заготовки (подачи) (рис. 13.13, а), фрезерование происходит как попутное (зона а). И соответственно там, где векторы главного движения и движения подачи направлены навстречу, — как встречное (зона б). Если фрезерование выполняют не на специальном станке (где функциональный зазор  $\delta$  отсутствует или настолько мал, что им можно пренебречь), а на обычных универсальных фрезерных станках, следует работать таким образом, чтобы избежать «подрыва» заготовки, т. е. чтобы зона б заготовки была больше зоны а (рис. 13.13, б). В крайнем случае зоны а и б равны, т. е. фреза расположена симметрично относительно обрабатываемой заготовки.

## § 13.5. ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Существует большая гамма фрез для обработки разнообразных поверхностей. В зависимости от назначения фрезы имеют и различные конструктивные особенности.

Наиболее распространенные фрезы различают по форме и назначению: цилиндрические, торцовые, концевые, шпоночные, дисковые, угловые, фасонные, резьбовые и т. д.

*Фрезы цилиндрические* (рис. 13.14) предназначены для обработки плоских поверхностей, ширина которых меньше длины фрезы. Они могут быть изготовлены как цельные из быстрорежущих сталей, так и со вставными ножами из быстрорежущих сталей или пластинами из твердого сплава. Чаще всего их выпускают с винтовыми зубьями, т. е. с углом наклона относительно оси фрезы  $\omega = 30 \dots 40^\circ$ .

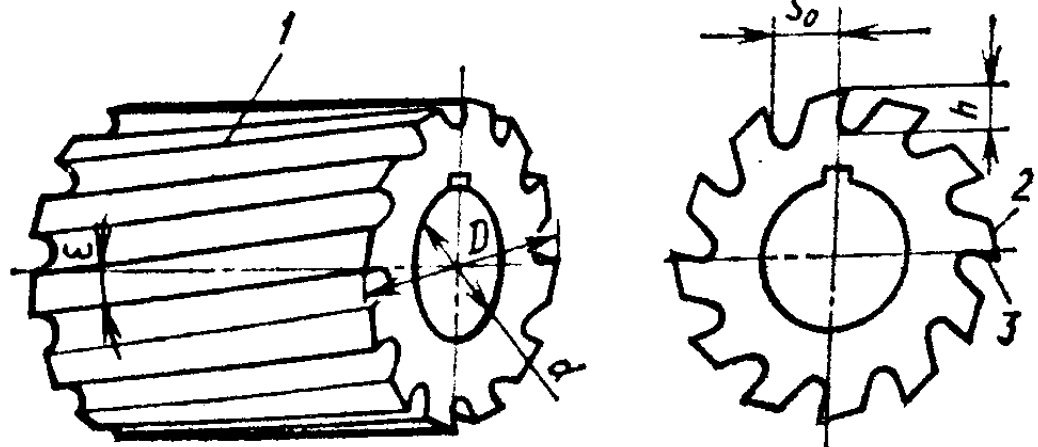
*Фрезы торцовые и торцовые головки* предназначены для обработки поверхностей сравнительно большой площади, а также поверхностей, имеющих большую поверхностную твердость и прочность (поверхности отливок, заготовок, полученных одним из методов обработки давлением). Торцовые насадные фрезы предназначены для обработки уступов, небольших поверхностей (рис. 13.15).

Торцовые головки и насадные фрезы оснащают пластинами (резцами) из быстрорежущих сталей, твердых сплавов, керамики, а также (для чистового фрезерования) из эльбора.

Фрезы концевые предназначены для фрезерования плоскостей, уступов, пазов, различных контуров. Концевые фрезы могут быть цельными и со вставными зубьями из твердых сплавов. Хвостовик может быть как цилиндрический, так и конический. Цилиндрический хвостовик имеют фрезы диаметром до 20 мм.

Рис. 13.14. Фреза цилиндрическая с винтовым зубом:

1 — главное режущее лезвие; 2 — спинка зуба; 3 — передняя поверхность лезвия



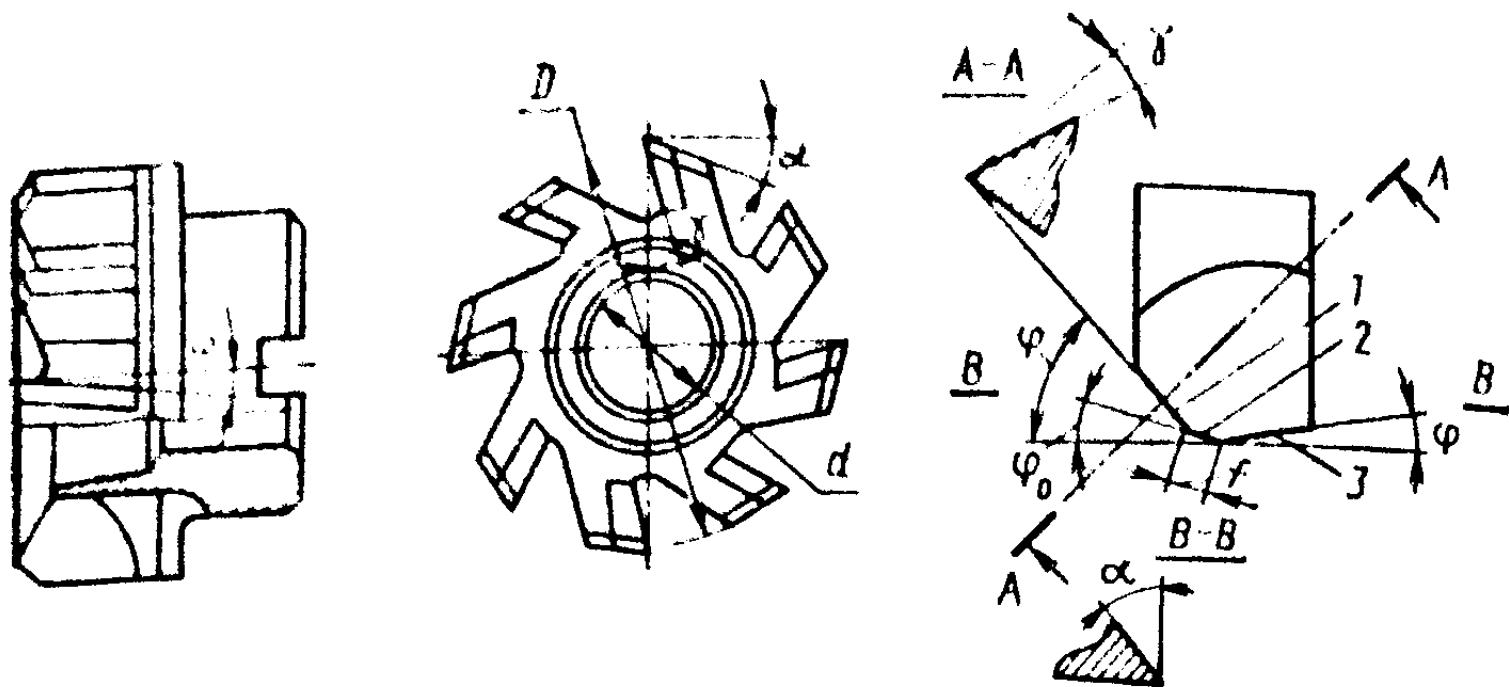


Рис. 13.15. Фреза торцовая насадная:

1 — главная режущая кромка; 2 — переходная режущая кромка; 3 — вспомогательная режущая кромка

*Шпоночные фрезы* предназначены для фрезерования шпоночных канавок (пазов) на валах. Шпоночные фрезы имеют два режущих зуба с торцовыми режущими лезвиями. Режущая часть шпоночных фрез может быть изготовлена из быстрорежущих сталей (P12, P6M3, P6M5K5, P9K10 и др.), может быть оснащена пластинами из твердых сплавов (T15K6, T5K10, BK5, BK8 и др.). Хвостовик изготавливают из конструкционных сталей.

*Дисковые фрезы* предназначены для фрезерования пазов с небольшими допусками на размер паза. Они могут также применяться для фрезерования уступов, канавок и др. Этот тип фрез изготавливается чаще всего с тремя режущими кромками (по периферии и по торцам) — трехсторонние фрезы. Иногда по заводским нормальям изготавливаются и двусторонние (по периферии и одному

из торцов). Дисковые фрезы также могут быть цельные и со вставными ножами из инструментальных сталей, твердых сплавов, ГОСТ 16229—78 и ГОСТ 6469—69.

*Угловые фрезы* предназначены для обработки угловых канавок, пазов, скосов, винтовых канавок и т. п. Угловые фрезы подразделяют на одноугловые (рис. 13.16, а) и двухугловые (рис. 13.16, б). Угловые насадные фрезы выполняют по

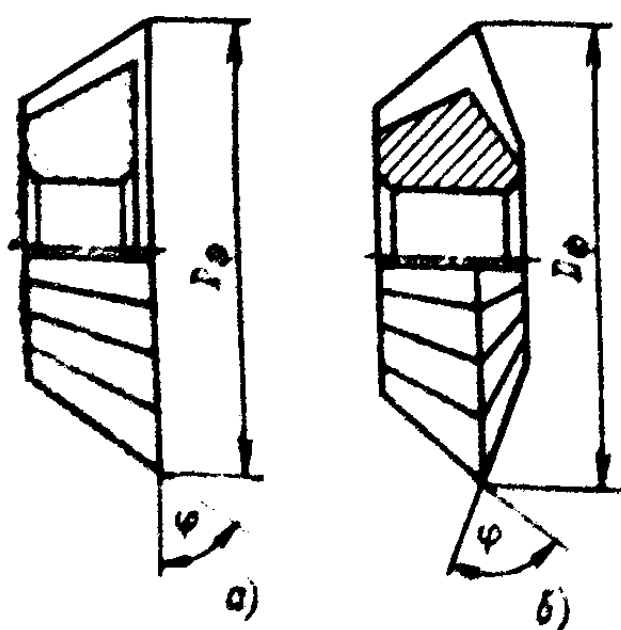


Рис. 13.16. Угловые фрезы:  
а — одноугловые; б — двухуг-



ГОСТ 1695—80Е. Одноугловые фрезы имеют угол  $\varphi$ , равный 45, 60, 70, 80, 85, 90, 100, 105, 110 и 120°, диаметр 40—80 мм, ширину 8—20 мм. Двухугловые имеют  $\varphi$ , равный 55, 60, 65, 75, 85, 90 и 100°. Угловые фрезы изготавливают из быстрорежущих сталей Р12, Р6М5, Р9К10, Р14Ф4 и др.

Существуют фасонные фрезы для фрезерования канавок и профилей различной конфигурации (ГОСТ 9305—69), фрезы для обработки Т-образных пазов (ГОСТ 7963—73, ГОСТ 10673—75), прорезные, отрезные, резьбовые и др.

### § 13.6. ТИПЫ ФРЕЗ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Фрезы различают по следующим параметрам:

по расположению зубьев на исходном цилиндре — торцовые, цилиндрические, трехсторонние;

по способу закрепления на станке — насадные концевые;

по виду обрабатываемой поверхности — угловые, шпоночные, фасонные, для Т-образных пазов, пазовые, отрезные, резьбовые, зуборезные и т. п.;

по расположению зуба на фрезе — прямозубые, с винтовым зубом и разнонаправленным зубом;

по виду задней поверхности — плоскозаточенные и затылованные;

по материалу, из которого изготовлена режущая часть фрезы, — из быстрорежущей стали, из твердого сплава из керамики, из эльбора;

по способу закрепления режущих элементов — цельные с напаянными пластинами, с рифлеными вставными ножами (см. рис. 13.15), с механическим креплением и т. д.;

по виду хвостовика для крепления фрезы в шпинделе — с цилиндрическим и коническим хвостовиком;

по размеру зубьев — с мелкими и крупными зубьями.

### § 13.7. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ И ТОРЦОВОЙ ФРЕЗ

Цилиндрические и торцовые фрезы являются самыми распространенными из большой группы фрезерного инструмента. Конструктивные элементы цилиндрической фрезы показаны на рис. 13.14. Цилиндрические

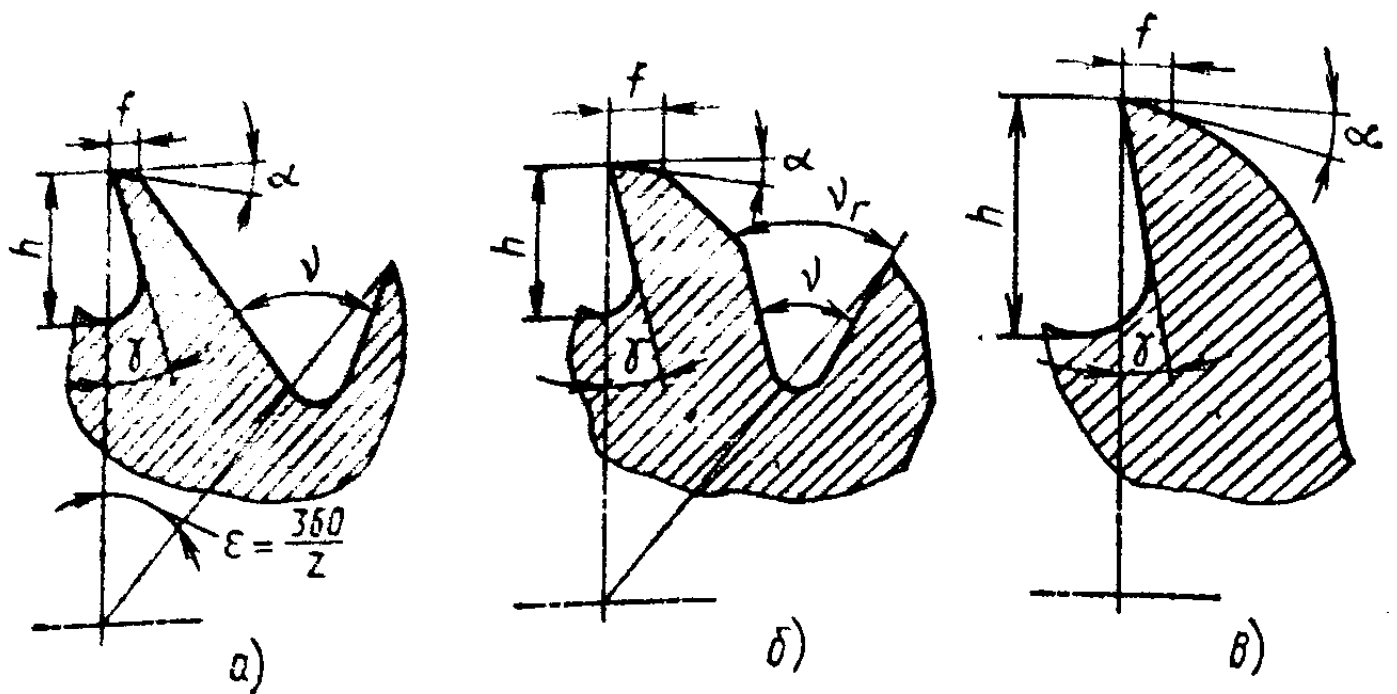


Рис. 13.17. Конструктивные и геометрические параметры зубьев фрезы

и торцовые фрезы могут быть цельными и сборными со вставными ножами. Фреза состоит из корпуса и режущих элементов — зубьев. Зубья фрезы могут быть мелкими (для чистовых или получистовых поверхностей) и крупными (для черновых операций).

Передней поверхностью зуба 3 (рис. 13.14) называют поверхность лезвия, контактирующую в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой. Задняя поверхность  $f$ , контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки (рис. 13.17), образует в совокупности с передней режущий клин. Ширина задней поверхности  $f$  у остроконечных фрез составляет 1—2 мм. Спинка зуба 2 (см. рис. 13.14) может иметь трапецеидальную форму (см. рис. 13.17, а), образующую равнопрочный зуб высотой  $h$  (рис. 13.17, б), и параболическую форму (рис. 13.17, в).

Главное режущее лезвие 1 (см. рис. 13.14) цилиндрической фрезы может быть прямым или с наклоном под углом  $\omega$ . Главное режущее лезвие имеет ленточку со стороны задней поверхности шириной 0,05—0,1 мм, служащую для уменьшения шероховатости при фрезеровании и для более точного выдерживания диаметров фрез при изготовлении.

Режущее лезвие у торцовой фрезы имеет более сложную форму (см. рис. 13.15). Оно состоит из главного режущего лезвия 1, переходного лезвия 2 и торцового лезвия 3.

Геометрические параметры цилиндрической фрезы с винтовым зубом (см. рис. 13.17) следующие: а) передний угол  $\gamma$ , находящийся в секущей плоскости, перпендикулярной режущей кромке, между передней поверх-

ностью лезвия и линией, проходящей через ось фрезы; б) главный задний угол  $\alpha$ , расположенный в торцовой плоскости, находящийся между касательной к окружности фрезы и задней поверхностью лезвия в той же точке; в) угол наклона винтовой линии фрезы относительно оси  $\omega$  (см. рис. 13.14).

Торцовая фреза (см. рис. 13.15) со вставными ножами имеет следующие геометрические параметры:

главный угол в плане  $\varphi$ , измеряемый между проекцией главного режущего лезвия на осевую плоскость и направлением движения подачи;

вспомогательный угол в плане  $\varphi' = 5 \dots 10^\circ$ . С уменьшением этого угла уменьшается шероховатость обработанной поверхности;

переходный угол в плане  $\varphi_0$ , повышающий прочность вершины лезвия;  $\varphi_0 = \varphi/2$ . Передний угол  $\gamma$  находится в плоскости  $A-A$  перпендикулярно проекции главной режущей кромки на основную плоскость. Этот угол измеряется между передней поверхностью и диаметральной (основной) плоскостью, проходящей через рассматриваемую точку. Главный задний угол  $\alpha$  находится в торцовой плоскости между касательной к окружности в данной точке и задней поверхностью зуба. Аналогично можно определить передний и задний углы на переходной и задней кромках.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Расскажите об особенностях фрезерования.
2. Что относится к элементам режима резания при фрезеровании?
3. Для чего необходимо знание составляющих силы резания при фрезеровании?
4. Расскажите о встречном и попутном фрезеровании, о достоинствах и недостатках этих методов.
5. Назовите наиболее распространенные типы фрез (не менее пяти) и область их применения.
6. Расскажите о конструктивных особенностях режущих элементов фрез.

# ГЛАВА 14. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ, ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

## § 14.1. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

В зависимости от условий производства и для обработки заготовок различного вида могут использоваться различные фрезерные станки. Они могут быть подразделены на станки общего назначения и специальные.

К станкам общего назначения относятся (рис. 14.1): консольно-фрезерные (вертикально-фрезерные, горизонтально-фрезерные, универсальные и широкоуниверсальные станки); бесконсольно-фрезерные (с неподвижной или поворотной шпиндельной головкой, с круглым столом, с копировальным устройством); продольно-фрезерные (одностоечные горизонтальные или вертикальные); двухстоечные с двумя или более шпинделями; карусельно-фрезерные (с одним или более шпинделями).

К специальным станкам относятся копировально-фрезерные, шлице- и шпоночнофрезерные, барабанно-фрезерные, фрезерные станки с ЧПУ и др.

В основу классификации станков фрезерной группы положены следующие признаки: положение оси шпинделя, выполняемые операции, конструктивные особенности, наличие программного управления и др.

Среди станков общего назначения различают несколько типов станков.

*Вертикально-фрезерные станки* предназначены для выполнения различных фрезерных операций.

Отличительная особенность этих станков — вертикальное положение оси шпинделя и наличие подвижной консоли, на которой расположены салазки и стол. Стол, на котором закрепляют обрабатываемую заготовку, имеет продольное перемещение по направляющим салазок. Салазки перемещаются вместе со столом в поперечном направлении по направляющим консоли, которая, в свою очередь, перемещается по направляющим станины. Заготовка может таким образом перемещаться в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Коробка подач смонтирована в консоли.

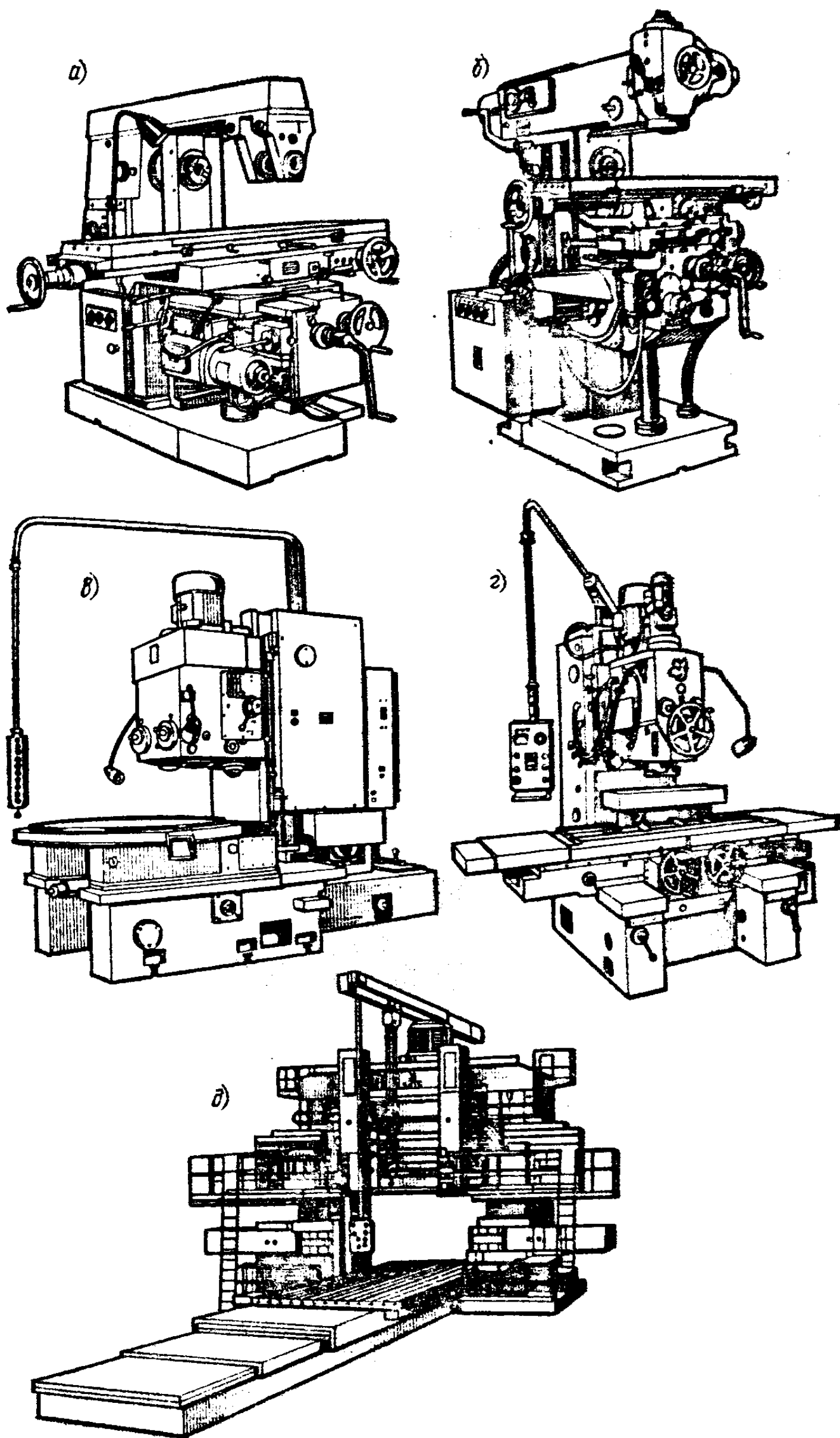


Рис. 14.1. Фрезерные станки:

*a* — горизонтально-фрезерный 6P83; *б* — широкоуниверсальный фрезерный 6P81Ш; *в* — карусельно-фрезерный 6A23; *г* — бесковольно-фрезерный 6560; *д* — продольно-фрезерный двухстоечный 6650

На вертикально-фрезерных станках используют в зависимости от выполняемых операций фрезы почти всех видов (фрезерные головки, концевые, модульные и др.).

Инструмент устанавливают либо на оправках с коническим хвостовиком, закрепляемом в шпинделе, либо в цанговых патронах. На вертикально-фрезерных станках выполняется встречное фрезерование, при наличии устройства, компенсирующего зазор между винтом и гайкой механизма продольной подачи, возможно и попутное фрезерование.

*Горизонтально-фрезерные консольные станки* также предназначены для фрезерования различных поверхностей: горизонтальных, наклонных и фасонных, уступов, пазов, фасонных поверхностей и др. Ось шпинделя у станков этого типа горизонтальна. Движения подачи те же, что движения подачи заготовки на вертикально-фрезерном станке.

Универсальные станки этого вида имеют следующую отличительную особенность — стол их может поворачиваться относительно вертикальной оси на  $\pm 45^\circ$ . Это позволяет обрабатывать винтовые канавки на цилиндрических поверхностях с использованием делительной головки.

*Широкоуниверсальные фрезерные станки* имеют различные варианты установки шпинделя: в горизонтальном, вертикальном и наклонном положениях в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. На широкоуниверсальных фрезерных станках могут быть использованы фрезы различных типов — цилиндрические, дисковые, торцовые головки и др. — для обработки средних по размерам заготовок в условиях единичного и мелкосерийного производства. Эти станки оснащают большим набором приспособлений: круглыми столами, делительными головками, специальными приспособлениями.

*Продольно-фрезерные станки*, одностоечные и двухстоечные с одним или несколькими шпинделями, предназначены для обработки вертикальных, горизонтальных, наклонных плоскостей на заготовках большой длины (массой до 30 т) или группы заготовок одновременно в условиях серийного производства. На этих станках используют твердосплавные, оснащенные эльбором, быстрорежущие фрезы различного типа: торцовые, дисковые, цилиндрические, фасонные и др. Оптимальные режимы обработки устанавливаются бесступенчатым регулирова-

нием подачи и частоты вращения шпинделей. Станки некоторых видов работают в полуавтоматическом режиме обработки. Особенностью станков этого типа является большая длина стола — до 8 м (станок 6625).

Станки непрерывного фрезерования подразделяют на карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные. У карусельно-фрезерных станков стол с заготовками (карусель) поворачивается относительно вертикальной оси с движением подачи. У барабанно-фрезерных станков заготовки закрепляют на барабане (столе), имеющем горизонтальную ось вращения. Движение вокруг оси вращения барабана является движением подачи. Эти станки при-

меняют в условиях серийного и массового производства. Снятие обработанных заготовок и загрузка новых производят часто, не останавливая карусель или барабан.

К специальным фрезерным станкам относят *копировальные станки*. Эти станки предназначены для обработки сложных контуров концевыми фрезами по копиру. Различают контурное и объемное копировальное фрезерование. Контурное фрезерование применяют для обработки замкнутых профилей с прямолинейной образующей (кулачки, шаблоны и т. п.), объемное — для получения сложных объемных поверхностей (пресс-формы, лопатки турбин и др.).

При контурном копировальном фрезеровании фрезу или заготовке сообщается одновременно движение подачи в двух взаимно перпендикулярных направлениях (продольное и поперечное) по заданной программе — профилю копира (рис. 14.2). Одно из движений подачи  $D_{\text{вз}}$  является задающим (продольное, на рис. 14.2) и постоянным, а другое  $D_{\text{сч}}$  — следящим (поперечное, на рис. 14.2); оно зависит от профиля копира. Результирующий профиль зависит от соотношений задающей и следящей подач, а движение подачи  $D_s$  фрезы совпадает с движением копира и направлено по касательной к профилю копира в каждой его точке.

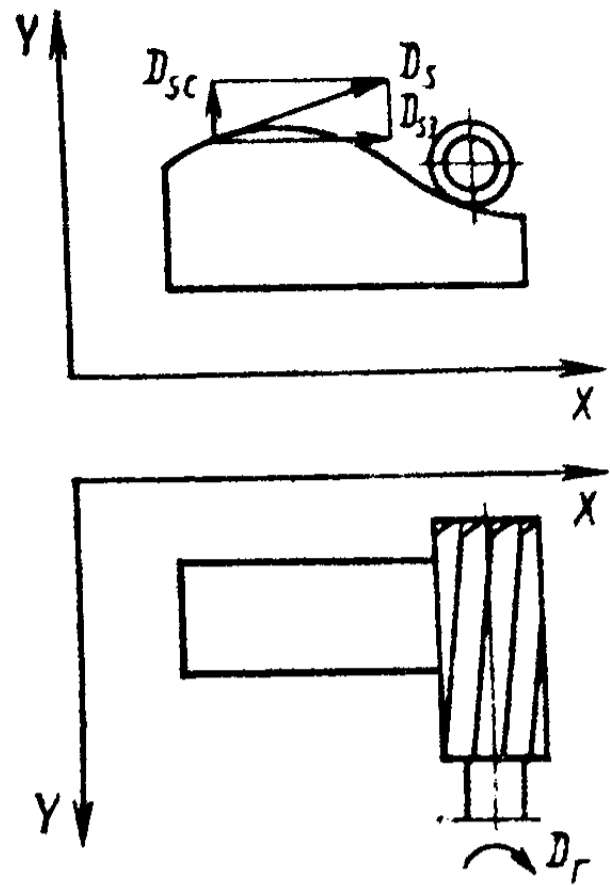


Рис. 14.2. Схема контурного фрезерования копированием

[Объемные фасонные поверхности обрабатывают отдельными фасонными строчками] (полосками). Ширина полоски равна диаметру концевой фрезы. Обработка фасонной поверхности производится последовательно в вертикальной или горизонтальной плоскостях, при этом задающее движение подачи меняет направление в конце каждой строчки.

В копировально-фрезерных станках используют различные следящие системы: механические, электромеханические, гидравлические.

#### § 14.2. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Применяют различный вспомогательный инструмент для закрепления режущего инструмента на фрезерных станках. Он позволяет закреплять на станках как консольно работающий инструмент (хвостовые, концевые фрезы, фрезерные головки и др.), так и инструмент, закрепленный на оправках, один конец которых устанавливают в шпинделе, второй — во втулке серьги (дисковые, отрезные, модульные фрезы и др.).

Конструкция вспомогательного инструмента зависит от крепежно-присоединительной части фрезы и конструктивных особенностей шпинделя. Например, фрезы, имеющие цилиндрический хвостовик, закрепляют в цанговых патронах, а фрезы, имеющие конический хвостовик, — непосредственно в шпинделе или через переходную конусную втулку. Конец отверстий шпинделей фрезерных станков имеет конус Морзе № 3, 4, 5, некоторые станки имеют передний конец шпинделя с конусностью 7 : 24. Конусность 7 : 24, при которой угол конусности превышает угол трения, не способствует удерживанию инструмента. В этом случае необходимо дополнительное крепление оправки или инструмента длинной шпилькой, резьбовая часть которой входит в резьбовое отверстие хвостовика оправки или инструмента. Крутящий момент инструменту от шпинделя передается через сухари, закрепленные на шпинделе, которые входят в пазы на торцовой части втулки или оправки.

Насадные фрезы (дисковые, отрезные и т. п.) базируются по отверстию на оправке, имеющей шпонку для передачи крутящего момента. Фрезы устанавливают на оправке, фиксируют опорными кольцами и зажимают гайкой.



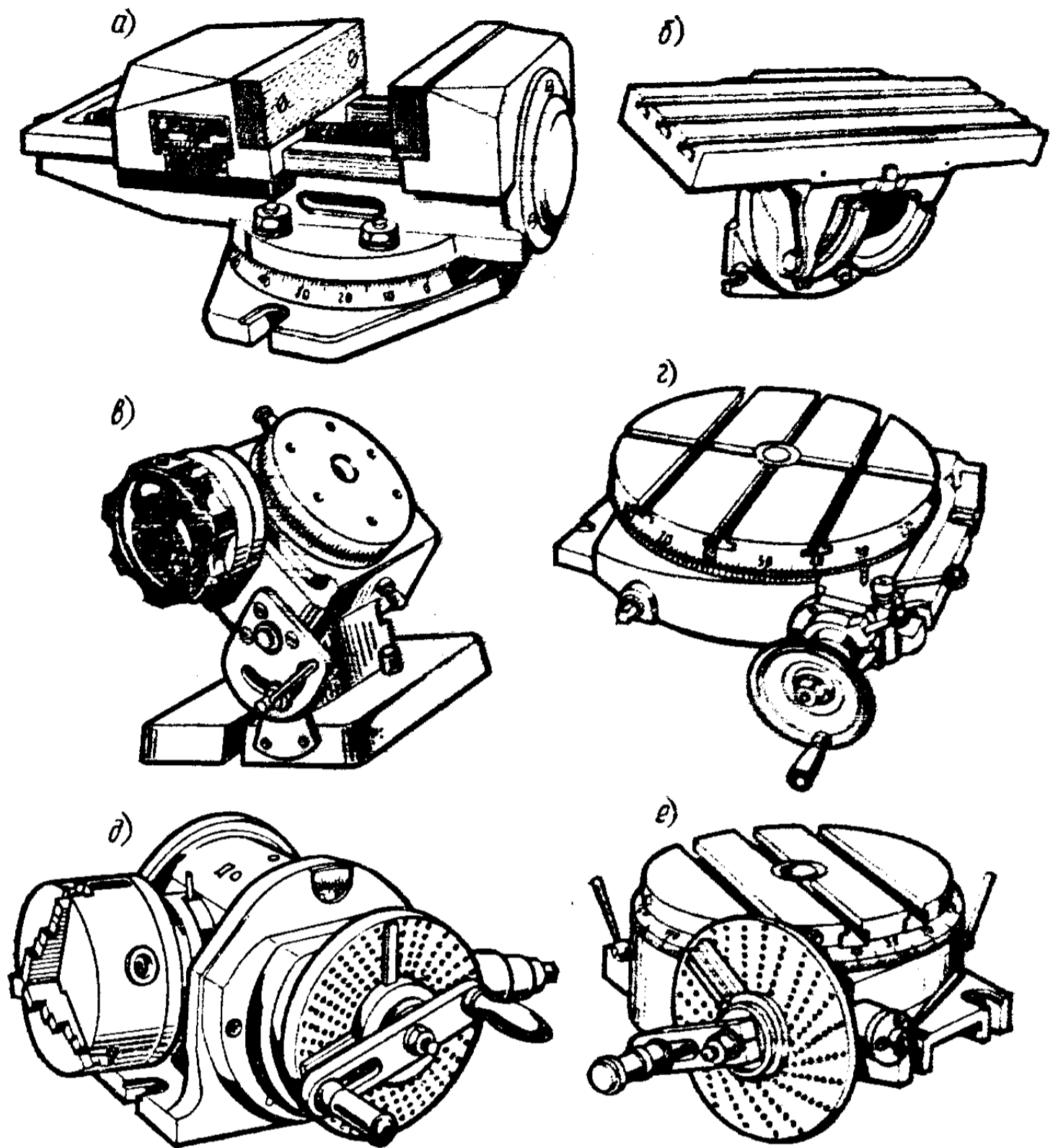


Рис. 14.3. Универсальные приспособления, применяющиеся для обработки заготовок на фрезерных станках:

*a* — тиски; *б, в* — плоские и круглые наклонные столы; *г* — универсальный круглый стол; *д* — делительная головка; *е* — круглый стол с делительным приспособлением

Оправку с фрезой или набором фрез крепят одним концом в шпинделе, а другим — в серьге или подвеске. В случае консольного закрепления оправку устанавливают только в посадочном отверстии шпинделя. Торцовые фрезы крепят четырьмя болтами на шпинделе или на оправке, центрируя пояском на шпинделе или на оправке. Крутящий момент передается также двумя торцовыми шпонками.

Для закрепления и установки заготовок на столе фрезерных станков используют различные универсальные приспособления: тиски различных конструкций, круглые столы, делительные головки, различные зажимные устройства (рис. 14.3, *a*). В условиях серийного производства

применяют специальные гидро- или пневмозажимные устройства, позволяющие одновременно зажимать группу заготовок.)

### § 14.3. ДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

К приспособлениям, позволяющим разделить окружность на равные или неравные части, относятся делительные головки и круглые столы (рис. 14.3, г, д, е). Заготовки закрепляют на них в патронах, цангах, между центрами — на делительной головке.

Делительные головки обычно имеют один, два, три и более шпинделей для одновременной обработки нескольких заготовок. Делительные головки иногда имеют упрощенную конструкцию для простого непосредственного деления. Наибольшее распространение имеют универсальные делительные головки (см. рис. 14.3, д, 14.4). Делительная головка (см. рис. 14.4) состоит из червяка 9 (всегда однозаходный, т. е.  $k = 1$ ), а также червячного колеса 5, имеющего 40, 60 или 80 зубьев и закрепленного на валу 6. Червяк можно вращать рукояткой 7, длину (т. е. радиус) которой можно менять и фиксировать с помощью фиксатора 3 на определенной окружности делительного диска 1, соединенного с корпусом головки. Вторым фиксатором 4 удерживает или освобождает делительный диск относительно корпуса делительной головки. Ножки раздвижного сектора 8 позволяют избежать погрешности при отсчете числа отверстий, когда вращают рукоятку, чтобы обеспечить деление. Установка ножек на необходимый угол не позволяет им занять неправильное положение на окружности делительного диска.

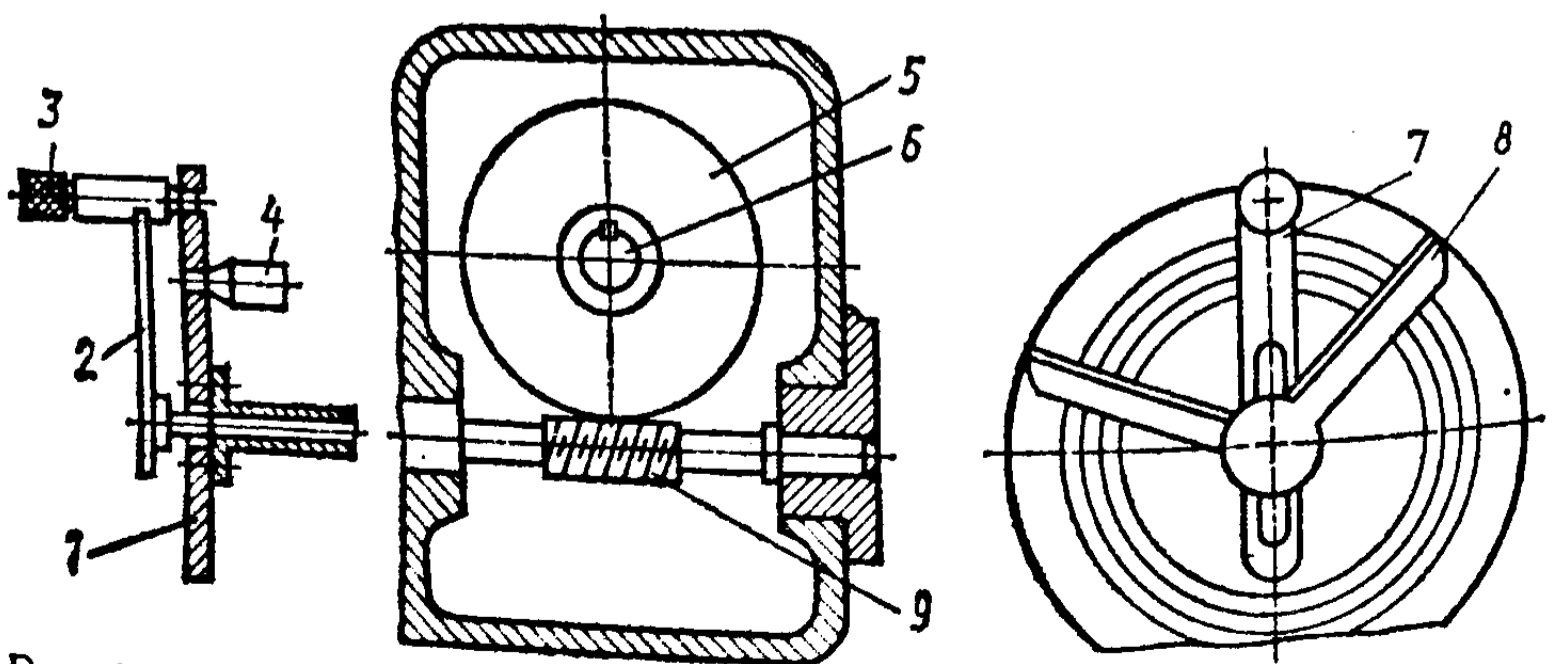


Рис. 14.4. Принципиальная схема универсальной делительной головки

#### 14.1. Число отверстий на дисках

№ диска	Число отверстий на диске	№ диска	Число отверстий на диске
1	17, 21, 25, 29, 33, 41	3	19, 23, 27, 31, 37, 47
2	18, 22, 26, 30, 35, 43	4	20, 24, 28, 32, 39, 49

Принцип деления заключается в том, что однозаходный червяк вращает червячное колесо с числом зубьев 40, 60 или 80. Отношение  $N = z_z/k$  называют характеристикой делительной головки. Одному обороту рукоятки 2, т. е. одному обороту червяка, соответствует поворот червячного колеса на один зуб. Таким образом, если червячное колесо имеет 40 зубьев, оно повернется на  $1/40$  оборота. Для того чтобы заготовка, установленная на делительной головке, повернулась на один оборот, необходимо повернуть рукоятку на 40 оборотов.

Делительные диски имеют ряды окружностей, на которых расположено определенное число отверстий. Предположим, что мы имеем универсальную делительную головку с характеристикой  $N = 40$  и соответствующим набором делительных дисков. Число дисков равно четырем и каждый диск содержит шесть окружностей с отверстиями (табл. 14.1).

Различают следующие методы деления на универсальных делительных головках: простого деления, комбинированного деления и дифференциального деления.

**Метод простого деления.** Предположим, что  $z$  — число, на которое необходимо разделить заготовку;  $n$  — число оборотов рукоятки делительной головки;  $N = \text{const}$  — характеристика делительной головки.

*Замечание.* Делительный диск должен быть зафиксирован относительно корпуса делительной головки.

**Пример 1.** Задано  $z < N$ . Характеристика головки — 40, непосредственно делим на  $z$ . Рукоятка с фиксатором может находиться на любой окружности делительного диска с любым числом отверстий на окружности.

Для 8 делений

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{8} = 5 \text{ оборотов.}$$

Для 20 делений

$$n = \frac{40}{20} = 2 \text{ оборота.}$$

**Пример 2.** Задано  $z < N$ , но  $N$  не делится на  $z$  непосредственным делением. В этом случае  $n$  является дробным числом: деление дает остаток. Получаем определенное число оборотов рукоятки и часть, которую необходимо разделить.

Для 12 делений

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{12} = 3\frac{4}{12}.$$

Упростим остаточную дробь так, чтобы знаменатель содержал число, соответствующее числу отверстий на окружности одного из дисков:

$$\frac{4}{12} = \frac{1}{3}; \quad \frac{1}{3} : \frac{9}{9} = \frac{9}{27},$$

где 9 — число отверстий для поворота; 27 — число отверстий на окружности. Итак, для деления заготовки на 12 частей необходимы три оборота и девять отверстий по окружности делительного диска с 27 отверстиями. Устанавливаем раздвижной сектор так, чтобы общее число отверстий, заключенных между внутренними сторонами (с фаской) линеек, было  $9 + 1 = 10$  (т. е. 9 интервалов между отверстиями) и к трем оборотам рукоятки добавляем поворот сектора.

**Пример 3.** Задано:  $z > N$ .

Для 46 делений

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{46} = \frac{20}{23},$$

где 20 — число отверстий для поворота; 23 — число отверстий на окружности делительной головки.

Следует заметить, что частей, на которые необходимо разделить ту или иную заготовку, намного больше, чем отверстий на окружностях делительного диска. В нашем случае острие фиксатора (рис. 14.5, а) находится в отверстии окружности с 23 отверстиями и ножка 2 сектора повернута до упора с фиксатором (точка а). Устанавливаем ножку 1 раздвижного сектора на число, равное числу недостающих отверстий ( $23 - 20 = 3$ ), не считая отверстия, зафиксированного в позиции а. Затем фиксируем ножку 1 фиксатора, перемещаем ручку фиксатора против основного движения на три интервала (точка б) и устанавливаем раздвижной сектор до упора ножки 2 в новое положение фиксатора. Деление осуществляем следующим образом; отжимая пружину фиксатора, поворачиваем рукоятку по часовой стрелке до отверстия, зафиксированного новым положением ножки 1, и перемещаем сектор против часовой стрелки до контакта с фиксатором ножки 2 и т. д.

**Метод комбинированного деления.** В некоторых случаях деление неосуществимо простым методом, т. е. только одним вращением рукоятки. В этом случае применяют комбинированное деление. Оно осуществляется двойным перемещением рукоятки. Используют в данном случае две окружности отверстий на одном делительном диске или два делительных диска одновременно, каждый из которых имеет свою окружность с отверстиями

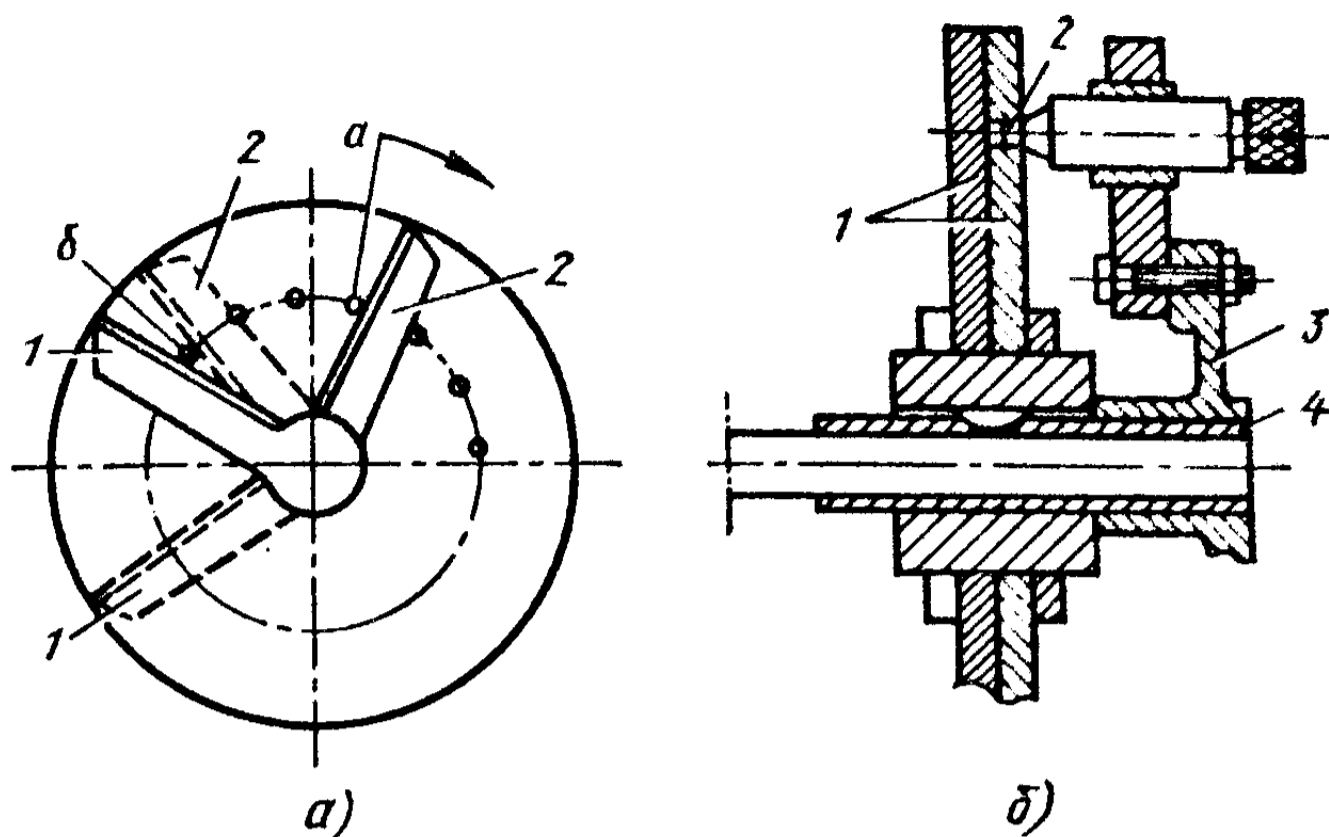


Рис. 14.5. Делительный диск головки с фиксатором и секторами

(рис. 14.5, б). В этом случае фиксатор 2, расположенный на корпусе делительной головки 3, используют для операции деления. При делении этим методом необходимо двойное перемещение рукоятки, если на делительном диске нет соответствующего числа отверстий. Оба диска закреплены на полем валу 4, кинематически имеющим связь со шпинделем (рис. 14.6).

Пример 1. Для 63 делений

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{63},$$

отношение не упрощается. Делительные диски не имеют 63 отверстия. Поэтому разложим это отношение на две дроби:

$$\begin{aligned} \frac{40}{63} &= \frac{33}{63} + \frac{7}{63} = \frac{11}{21} + \frac{1}{9} = \\ &= \frac{11}{21} + \frac{3}{27}. \end{aligned}$$

Таким образом, если на обеих сторонах делительного диска имеются окружности с 21 и 27 отверстиями (или кратными им), то производим сначала деление на 11 интервалов, а затем с обратной стороны диска на три интервала, не трогая фиксатор с наружной стороны диска.

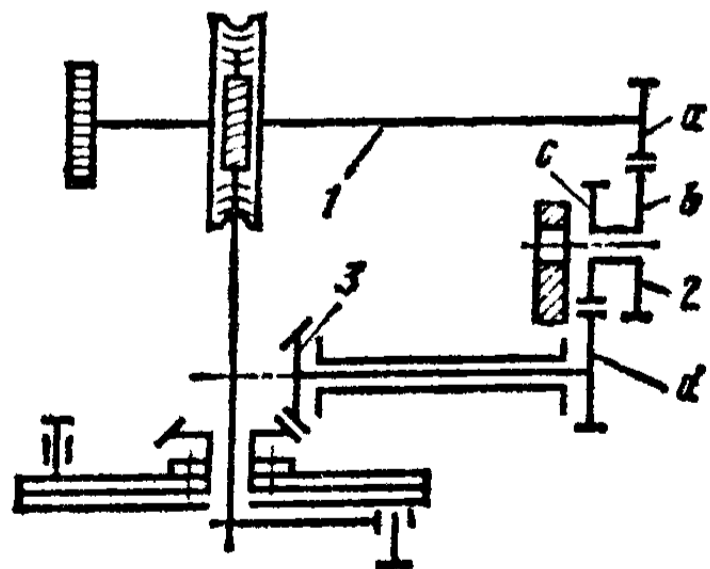


Рис. 14.6. Кинематическая схема универсальной делительной головки:

1 — шпиндель; 2 — гитара сменных колес; 3 — коническая пара

Аналогичным образом поступают и с двойным диском. Иногда возникает необходимость представить дробь в виде разности.

Пример 2. Для 69 делений

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{69} = \frac{63}{69} - \frac{23}{69} = \frac{21}{23} - \frac{1}{3} = \frac{21}{23} - \frac{9}{27}.$$

Деление производим аналогичным образом, но поворот делительного диска на угол, соответствующий знаку «—», должен быть сделан в обратную сторону. В случае необходимости деления на несколько градусов, минут и т. д., например на  $3^{\circ} 10'$ , один оборот составит  $21\ 600'$ , а одно деление  $190'$ . Число делений, которое необходимо произвести  $21\ 600 : 190$ ,

где

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{\frac{21\ 600}{190}} = \frac{40 \cdot 190}{21\ 600} = \frac{76}{216} = \frac{19}{54}.$$

**Метод дифференциального деления.** Необходимый поворот шпинделя в случае дифференциального деления осуществляется поворотом рукоятки и делительного диска. Для этого фиксатор 4 (см. рис. 14.4) должен быть освобожден. Вращение делительного диска будет осуществляться от шпинделя 1 (см. рис. 14.6) через гитару сменных колес 2 и коническую пару 3 с передаточным отношением  $i = 1$ . Настройка головки заключается в определении числа оборотов рукоятки (как и в простом делении) и чисел зубьев гитары сменных колес.

Число оборотов рукоятки подсчитывают обычным методом деления, заменяя число делений, на которое нельзя разделить методом простого деления, числом  $z_1$ , близким к нему, но на которое возможно деление. В этом случае при каждом приеме деления будет возникать погрешность  $\alpha_1$ , которая должна компенсироваться дополнительным поворотом делительного диска в ту или иную сторону. Этот поворот обеспечивается гитарой сменных колес  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$  или  $\frac{a}{d}$  с паразитным промежуточным колесом.

Если выбранное число  $z_1$  больше, чем  $z$ , то сменные зубчатые колеса подсчитывают по формуле

$$\frac{a}{d} = \frac{N(z_1 - z)}{z_1},$$

если же выбранное число  $z_1$  меньше, чем  $z$ , то — по формуле

$$\frac{a}{d} = \frac{N(z - z_1)}{z_1}.$$

Направление вращения делительного диска должно быть тем же, что и направление вращения рукоятки, если  $z_1 > z$ , и противоположным, если  $z_1 < z$ . Направление вращения делительного диска задается одним (противоположное вращение) или двумя промежуточными колесами гитары сменных колес (в случае совпадения движения с направлением движения вращения рукоятки).

Пример 1. Для 302 делений

$$n = \frac{40}{302} = \frac{20}{151},$$

дробь не упрощается. В наших дисках нет окружности со 151 отверстием. Число 151 — простое, и метод комбинированного деления в этом случае неприемлем. Деление возможно только методом дифференцированного деления.

Выбираем ближайшее число  $z_1 = 300$ . Тогда

$$n = \frac{40}{300} = \frac{2}{15} = \frac{4}{30}.$$

Рассчитываем число зубьев гитары сменных колес

$$\frac{a}{d} = \frac{N(z - z_1)}{z_1} = \frac{40(302 - 300)}{300} = \frac{80}{300} = \frac{4}{15} = \frac{24}{90}.$$

Если отсутствует одно из колес, например, с числом зубьев, равным 24, то

$$\frac{24}{90} = \frac{4}{15} = \frac{2}{5} \frac{2}{3} = \frac{30}{75} \frac{60}{90}.$$

Получим  $a = 30$ ,  $b = 75$ ,  $c = 60$ ,  $d = 90$ .

**Деление на круглом столе.** Основными элементами круглого стола являются червяк (см. рис. 14.3, *г*) и червячное колесо. Червяк, чаще всего однозаходный, жестко соединен с валиком, несущим делительное приспособление — делительный диск с фиксатором, аналогичный делительной головке, или лимб, число делений которого 180 или 360. Червячное колесо имеет число зубьев, кратное 360, например 120. Тогда передаточное отношение головки  $\frac{1}{120}$  и для одного оборота стола необходимо валику сделать 120 оборотов. Принцип деления заключается в следующем: один оборот червяка поворачивает червячное колесо и соответственно стол на  $\frac{1}{120}$  оборота, т. е. на  $3^\circ$ . Чтобы повернуть стол на  $1^\circ$ , необходимо сде-

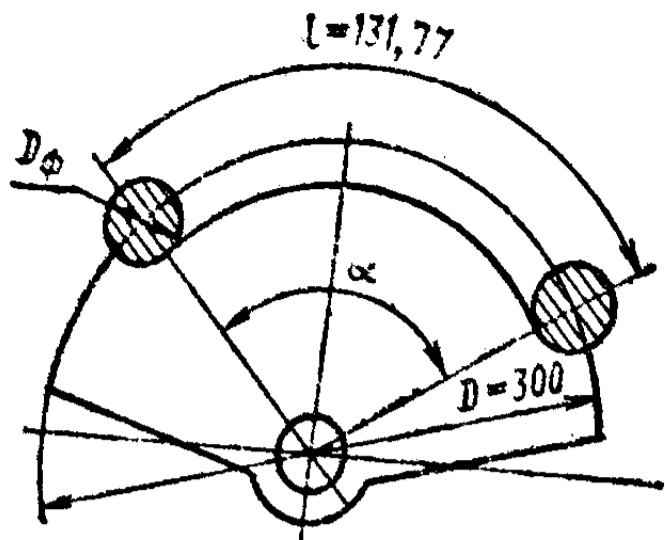


Рис. 14.7. Фрезерование профиля диска на круглом столе

задан длиной дуги  $l = 131,77$  мм, измеренной между осями фрезы на наружной поверхности диска. Определим угол по длине дуги:

$$\alpha = \frac{360l}{\pi D} = \frac{21\,600^\circ \cdot 131,77}{3,14 \cdot 300} = 50^\circ 20'.$$

Для поворота стола на  $360^\circ$  необходимо 120 оборотов лимба, тогда поворот лимба на  $50^\circ 20'$  составит

$$\frac{120 \cdot 3020'}{21\,600} = \frac{151}{9} = 16 \frac{7}{9} \text{ оборота,}$$

т. е.  $16 + \frac{7}{9} \cdot 180 = 16$  оборотов + 140 делений.

**Линейное деление на фрезерном станке.** Продольное или поперечное линейное деление заготовки на равные интервалы (фрезерование зубчатых реек и т. п.) возможно двумя способами: с помощью делительного диска; с помощью зубчатой передачи.

**Деление с помощью делительного диска.** Регулировать перемещения стола с помощью лимба не всегда просто, например, когда перемещение стола задается числами, некратными градуировке лимба. В этом случае на винте продольного или поперечного движения подачи стола устанавливают механизм деления (делительный диск, рукоятки, фиксаторы и т. д.), позволяющий производить перемещение стола с высокой точностью, например при метрическом делении и делении зубчатой рейки.

**Метрическое деление.** Например, для винта с шагом 4 мм монтируют диск с 40 отверстиями на окружности, а для винта с шагом 5 мм — диск с 50 отверстиями. Заготовка переместится за 1 оборот рукоятки на 4 или 5 мм соответственно и на 0,1 мм в течение перестановки рукоятки на одно отверстие.

лать  $\frac{1}{3}$  оборота червяку.

В нашем случае  $180 : 3 = 60$  делений.

Следовательно, чтобы повернуть стол на  $1'$ , необходимо повернуть лимб на одно деление.

**Пример.** При фрезеровании профиля на диске диаметром  $D = 300$  мм необходимо диск повернуть на угол  $\alpha$  (рис. 14.7), который



Предположим, что необходимо переместить стол на 12,7 мм, шаг винта 5 мм. Число оборотов рукоятки

$$n = \frac{12,7}{5} = \frac{127}{50} = 2 \frac{27}{50},$$

где 27 — нужное число отверстий на диске; 50 — заданное число отверстий на окружности.

*Деление зубчатой рейки.* Рейка с модулем  $m = 1,5$  мм, шаг винта  $P = 6$  мм, тогда шаг зубчатой рейки  $P_p = \pi m = 3,14 \cdot 1,5 = 4,71$  мм.

$$P_p = \pi m \text{ — у прямозубой рейки;}$$

$$P_p = \frac{\pi m}{\cos \alpha} \text{ — у косозубой рейки.}$$

Представим  $\pi$  через отношение  $\frac{22}{7}$  и, заменив  $\pi$ , получим

$$P_p = \frac{22}{7} 1,5 = \frac{33}{7}.$$

Тогда

$$n = \frac{\frac{33}{7}}{6} = \frac{33}{7 \cdot 6} = \frac{11}{14} = \frac{22}{28},$$

где 22 — нужное число отверстий; 28 — число отверстий на диске.

Каждая операция деления даст столу станка перемещение

$$\frac{22}{28} 6 = \frac{132}{28} = 4,71 \text{ мм.}$$

Если необходимо более точное деление, то число  $\pi$  можно представить более точным отношением:  $\frac{245}{78}$ ;  $\frac{333}{106}$  и т. д. — и произвести дифференциальное деление (аналогично делительной головке).

*Деление с помощью зубчатой передачи.* Механизм зубчатой передачи крепят на общем кронштейне, закрепленном на торце стола, несущем винт продольного движения подачи (рис. 14.8). Механизм состоит из ведущего зубчатого колеса  $D$ , промежуточных  $C$ ,  $B$  и ведомого зубчатого колеса  $A$ . Ведомое колесо жестко соединено с винтом движения подачи, ведущее — с делительным диском  $I$ . Делительный диск

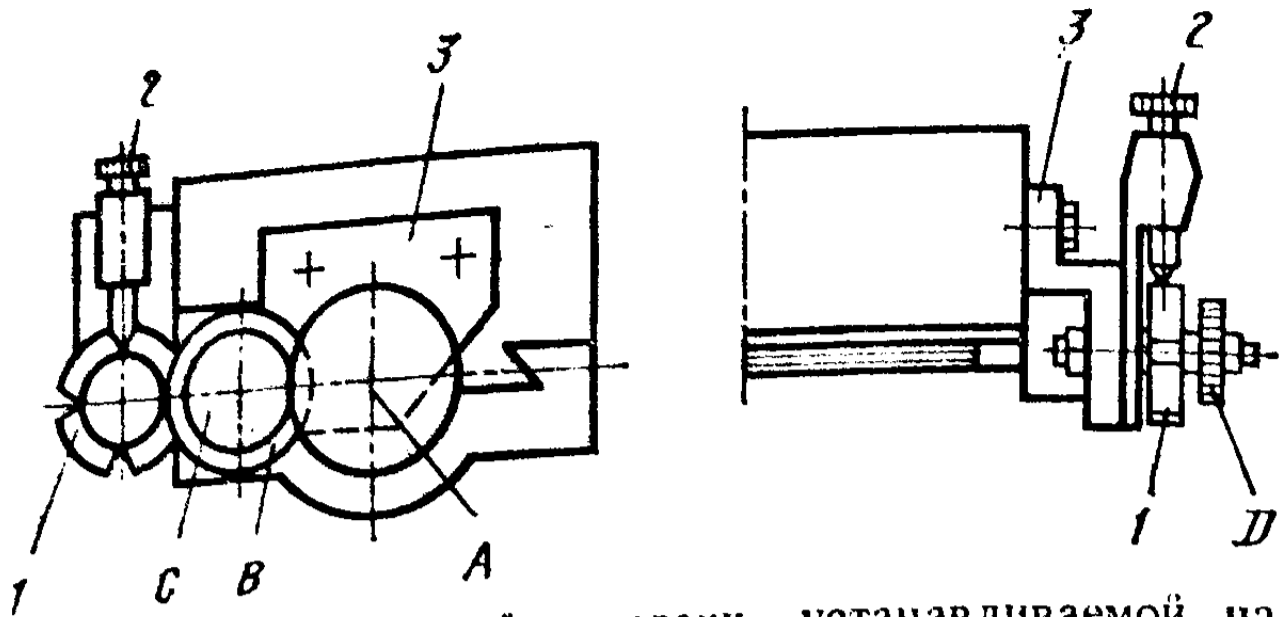


Рис. 14.8. Механизм зубчатой передачи, устанавливаемой на столе фрезерного станка

имеет по периферии 2, 4, 8 и т. д. впадин. Фиксатор 2 неподвижен на кронштейне 3.

*Метрическое деление.* Необходимо переместить стол на  $l = 12,5$  мм, шаг винта  $P_B = 5$  мм.

Зубчатые колеса  $A$  и  $D$  постоянные и жестко закреплены, необходимо найти числа зубьев промежуточных колес  $B$  и  $C$ . Имеем  $\frac{l}{P_B n} = \frac{D}{A}$ , где  $n$  — начальное заданное число оборотов делительного диска на одно перемещение  $l$ .

Примем  $n = 2$ . Тогда

$$\frac{l}{P_B n} = \frac{12,5}{5 \cdot 2} = \frac{125}{100} = \frac{5}{4} = \frac{50}{40} \frac{D}{A}.$$

При этом передаточном отношении промежуточных зубчатых колес

$$l = \frac{D n P_B}{A} = \frac{50 \cdot 2 \cdot 5}{40} = 12,5 \text{ мм.}$$

*Деление зубчатой рейки.* Нарезать зубчатую рейку с модулем  $m = 1$ , шаг винта станка  $P_B = 5$  мм, шаг рейки  $P_R = \pi m = 3,14 \cdot 1 = 3,14$  мм. Заменяя  $\pi$  отношением  $\frac{377}{120}$ , получим

$$\frac{l}{P_B n} = \frac{\frac{377}{120} \cdot 1}{5 \cdot 1} = \frac{377}{120 \cdot 5} = \frac{13 \cdot 29}{15 \cdot 40} = \frac{26}{30} \frac{29}{40}.$$

Зубчатые колеса имеют следующие числа зубьев:  $D = 26$ ,  $B = 30$ ,  $C = 29$ ,  $A = 40$ ;  $n$  — заданное число оборотов делительного диска на одно перемещение стола  $n = 1$ .

Для одного оборота делительного диска (зубчатого колеса  $D$ ) стол переместится на расстояние

$$l = \frac{5 \cdot 1 \cdot 26 \cdot 29}{30 \cdot 40} = 3,14 \text{ мм.}$$

В некоторых случаях (при фрезеровании винтовых поверхностей и т. п.) зубчатый механизм используют для передачи движения от винта станка на заготовку, которая установлена в делительной головке. Для зубчатых колес

$$1 \text{ об. з} = \frac{N}{k} i = \frac{P_3}{P_B};$$

$$i = \frac{P_3}{P_B N} = \frac{A}{C} \frac{B}{D},$$

где  $k = 1$ ;  $P_3$  — шаг винтовой поверхности заготовки;  $N$  — характеристика делительной головки.

Фреза должна быть повернута на угол винтовой линии заготовки, что достигается поворотом стола на данный угол. Дифференциальное деление в этом случае невозможно.

#### § 14.4. ЗАТОЧКА ФРЕЗ

Как и всякий лезвийный инструмент, фрезы нуждаются в периодической заточке по мере потери их режущих свойств или с целью повышения параметров точности и качества обрабатываемой заготовки.

Зубья фрезы изнашиваются как по передней, так и по задней поверхностям лезвия. Для каждого конкретного инструмента и каждого обрабатываемого материала, а также для заданных требований к обработанной поверхности существуют определенные критерии затупления зубьев фрезы: износ по задней поверхности лезвия, износ по радиусу при вершине или их совокупность. У затылованных фрез, задняя поверхность лезвия которых спиральная, износ наблюдается преимущественно по задней поверхности и заточка производится только по передней поверхности лезвия, чтобы сохранить профиль фрезы (рис. 14.9). Остроконечные фрезы затачивают только по задней поверхности лезвия (рис. 14.10).

**Заточка фрез по передней поверхности.** Заточка фрез по передней поверхности лезвия (поверхности, по которой сходит стружка) может производиться тарельчатым кру-

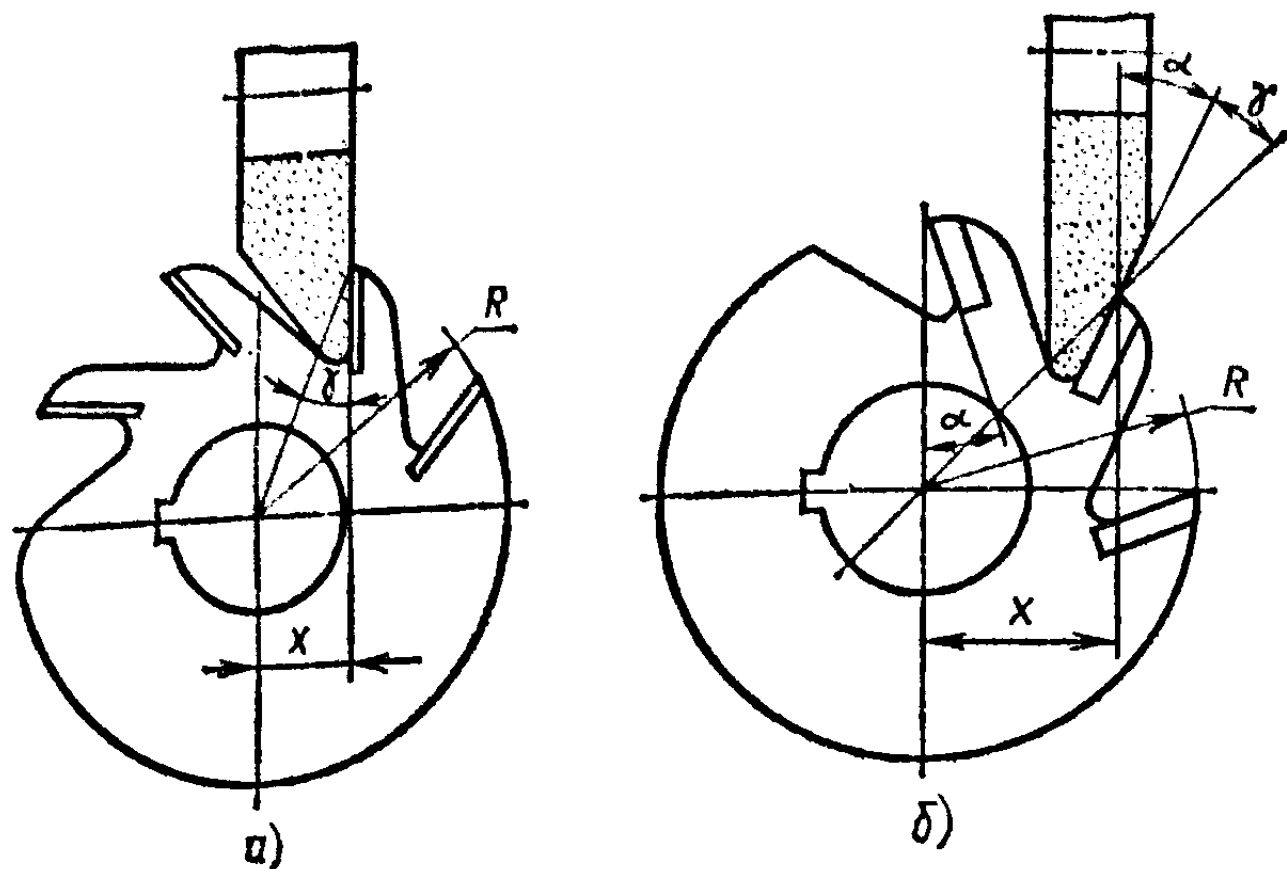


Рис. 14.9. Схема заточки фрез по передней поверхности лезвия:  
 а — с прямым зубом; б — с винтовым зубом

гом с плоской передней поверхностью. Если эти фрезы имеют передний угол  $\gamma$ , не равный нулю, их затачивают на заточном станке, смещая на расстояние  $x$  относительно вертикальной оси фрезы. В этом случае  $x = R \sin \gamma$ . Если  $\gamma = 0$ , то  $x = 0$  (см. рис. 14.9, а).

Заточка фрез с винтовым зубом по передней поверхности осуществляется конической поверхностью круга (см. рис. 14.9, б). При выборе расстояния, на которое смещают круг при заточке фрез с положительным углом  $\gamma$ ,

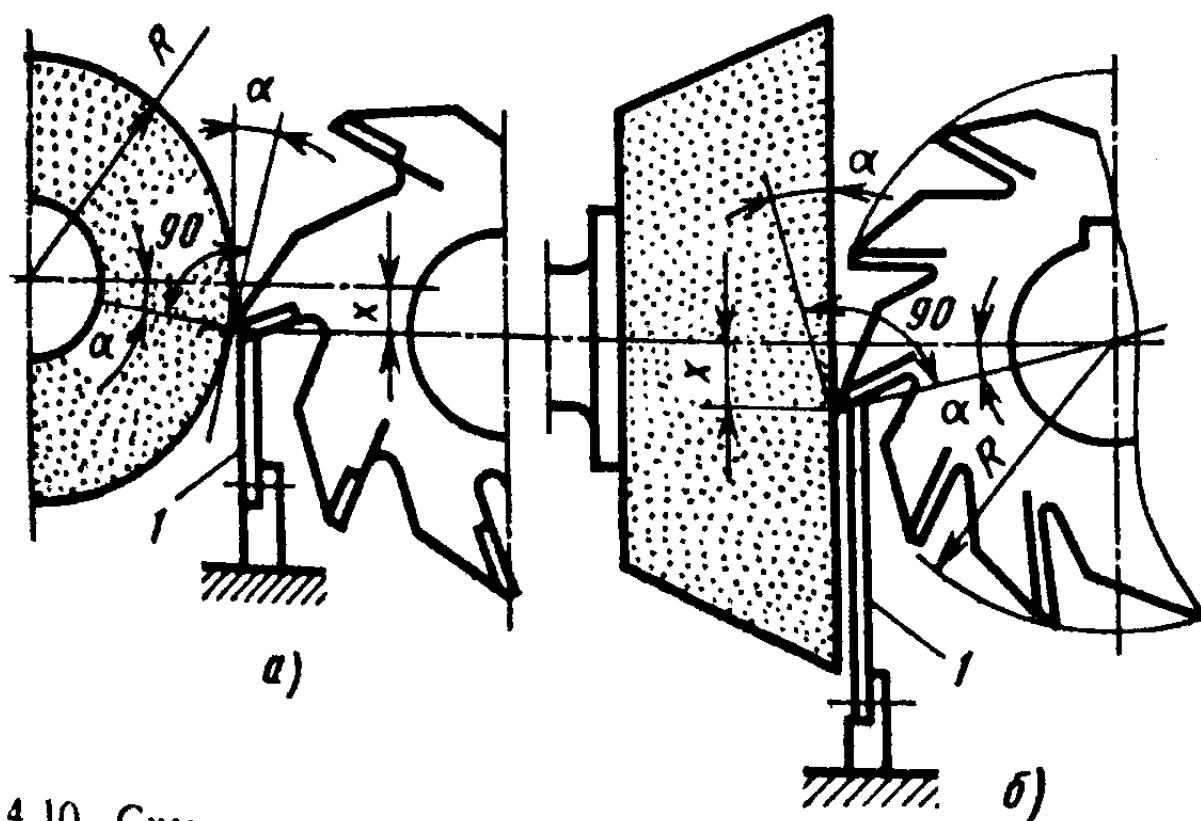


Рис. 14.10. Схема заточки фрез по задней поверхности лезвия периферией круга (а) и торцом чашечного круга (б)

следует учитывать радиус фрезы и угол  $\alpha$  наклона конической поверхности круга:  $x = R \sin (\alpha + \gamma)$ .

**Заточка фрез по задней поверхности.** По задней поверхности лезвия фрезы могут затачиваться периферией круга (см. рис. 14.10, а), а также торцом чашечного круга (см. рис. 14.10, б). При заточке заднего угла  $\alpha$  периферией круга устанавливают гибким упором  $l$  (см. рис. 14.10, а) зуб фрезы в горизонтальной плоскости, проходящей через ось фрезы. Поднимают вертикально центр шлифовального круга на определенное расстояние  $x$  по отношению к центру фрезы и при заточке получают нужный угол  $\alpha$ . Тогда  $x = R \sin \alpha$ , где  $R$  — радиус круга. Например, для  $\alpha = 5^\circ 45'$  расстояние  $x = \frac{1}{10} R$ .

При шлифовании заднего угла зуба фрезы торцом чашечного круга (см. рис. 14.10, б) также необходимо сместить зуб фрезы по отношению к осевой горизонтальной линии фрезы на расстояние  $x$ . Это расстояние устанавливают упором  $l$ . Положение оси круга относительно центра фрезы в этом случае не оказывает никакого влияния.

В этом случае смещение зуба в вертикальной плоскости  $x = R \sin \alpha$ , где  $R$  — радиус фрезы. Для угла  $\alpha = 5^\circ 45'$   $x = \frac{1}{10} R$ .

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите типы фрезерных станков общего назначения.
2. Расскажите, в чем различие методов простого деления, комбинированного и дифференциального деления на различных делительных операциях при фрезеровании.
3. Какие приспособления используют для закрепления заготовки и инструмента на фрезерных станках?
4. Расскажите, по каким поверхностям затачивают фрезы.

## РАЗДЕЛ 6

# ОБРАБОТКА НА СТРОГАЛЬНЫХ И ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ

---

## ГЛАВА 15. ОСОБЕННОСТИ СТРОГАНИЯ И ДОЛБЛЕНИЯ

### § 15.1. СХЕМЫ СТРОГАНИЯ И ДОЛБЛЕНИЯ

На строгальных станках обрабатывают вертикальные, горизонтальные и наклонные плоскости, канавки различного профиля, фасонные поверхности и т. п. При строгании инструмент и заготовка возвратно-поступательно перемещаются относительно друг друга. Это движение по образующей называют главным движением резания. Перемещение заготовки или инструмента, перпендикулярное движению резания, обеспечивается движением подачи.

Строгальные станки подразделяют на поперечно-строгальные и продольно-строгальные. У *поперечно-строгальных станков* движение резания сообщается инструменту (резцу) (рис. 15.1, а), а движение подачи передается на заготовку. У *продольно-строгальных станков* движение резания сообщается заготовке, а движение подачи — инструменту (резцу). Движение подачи заготовки или инструмента в зависимости от схемы резания осуществляется на двойной ход главного движения. При строгании срезание припуска происходит во время рабочего хода, во время вспомогательного хода (обратного) заготовка или резец возвращаются в исходное положение. Перемещение заготовки или инструмента на величину подачи в поперечном направлении осуществляется в конце вспомогательного хода. Для сокращения времени цикла при строгании скорость вспомогательного хода  $v_{в. х}$  больше скорости рабочего хода  $v_{р. х}$ .

Резание при строгании имеет свои особенности. При точении на резец действуют силы резания в течение всего времени снятия припуска. При строгании силы резания воздействуют на резец только в период рабочего хода. В период вспомогательного хода происходит охлаждение резца, что увеличивает его стойкость. Каждое врезание при строгании сопровождается ударной нагрузкой, зна-

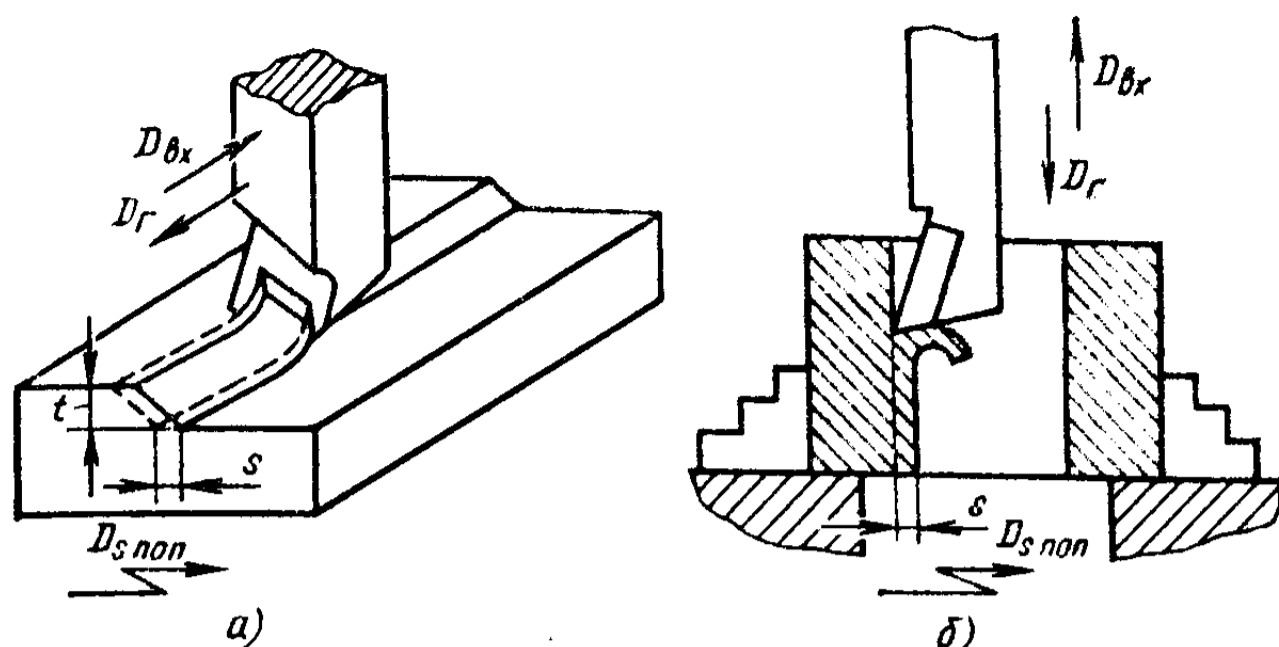


Рис. 15.1. Схема снятия припуска на поперечно-строгальном (а) и долбежном (б) станке

чение которой зависит от скорости резания, поперечного сечения срезаемого слоя, геометрических параметров резца и характеристик прочности обрабатываемого материала. Наличие ударной нагрузки следует учитывать при выборе конструктивных параметров резцов. Поперечное сечение резца должно быть более массивным и жестким, а материал режущей части должен выдерживать ударную нагрузку. Скорость резания должна быть также небольшой, так как возвратно-поступательное перемещение больших масс при строгании (ползуна или заготовки) вызывает воздействие больших инерционных сил, что создает тяжелые условия реверсирования.

К станкам строгальной группы относятся и *долбежные станки*. У долбежных станков резец совершает возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости (рис. 15.1, б). Движение резца вниз является рабочим, а вверх — вспомогательным ходом.

Скорость вспомогательного хода кинематически связана со скоростью резания и не может значительно превышать скорость рабочего хода (у станков с механическим приводом).

Движение подачи осуществляется заготовкой и может быть продольным, поперечным и круговым. Подача при долблении, как и при строгании, является подачей на двойной ход инструмента (мм/дв. ход). Глубина резания  $t$  измеряется в направлении, перпендикулярном обработанной и обрабатываемой поверхностям.

## § 15.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ СТРОГАНИИ (ДОЛБЛЕНИИ)

Глубина резания определяется припуском на обработку. Припуск всегда экономичней удалять за 1 рабочий ход. Глубина резания существенно влияет на силы резания и при обработке заготовок малой жесткости, корпусных деталей и т. п. Необходимо стремиться к небольшим силам резания. Силы резания влияют также на точность и параметры качества обработанной поверхности. При удалении повышенных припусков и обработке на станках небольшой мощности припуск разбивают на две части, а иногда и больше. В зависимости от требований, предъявляемых к обработанной поверхности, выбирают глубину резания.

Если при строгании нет лимитирующих факторов, то глубину резания выбирают обычно: при получистовой обработке  $t = 1 \dots 2$  мм, а при чистовой  $t = 0,2 \dots 1$  мм. В зависимости от требований к шероховатости обработанной поверхности при строгании обычными резцами подача (мм/дв. ход) для чистовой обработки может быть выбрана, как и при наружном продольном точении, т. е.

$S = \left( \frac{t}{5} \dots \frac{t}{10} \right)$ . При черновой обработке чугуновых заготовок резцами, оснащенными твердосплавными пластинами, подача может быть назначена до 5 мм/дв. ход, если отсутствуют ограничения по силам резания и по жесткости заготовки. При обработке плоскостей специальными получистовыми резцами с шириной режущей кромки до 150 мм подача может быть до 100 мм/дв. ход. Скорость резания ограничивается условиями обработки: обрабатываемым материалом, инструментальным материалом, жесткостью системы станок—приспособление—инструмент—заготовка и т. д. На современных строгальных и долбежных станках скорость резания 0,1—0,6 м/с.

## § 15.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СТРОГАЛЬНЫХ И ДОЛБЕЖНЫХ РЕЗЦОВ

Для предотвращения заклинивания при резании строгальные резцы рекомендуется делать изогнутыми (рис. 15.2, б). При прямом стержне (рис. 15.2, а) сила резания изгибает резец вокруг точки  $O$ , что вызывает внедрение резца в обрабатываемую заготовку. При изо-



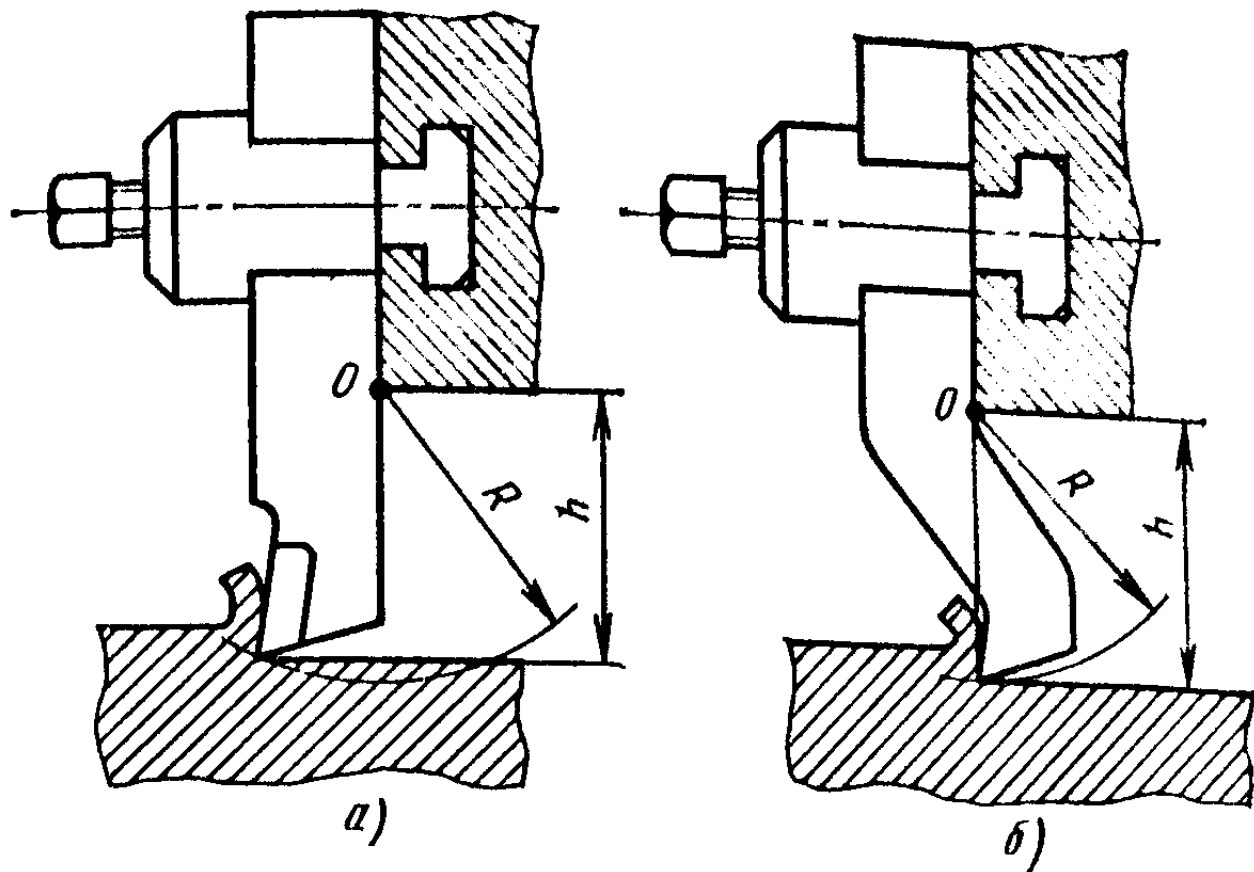


Рис. 15.2. Конструктивные особенности строгальных резцов: а — стержень резца прямой; б — стержень резца изогнутый

гнутом стержне это внедрение уменьшается, а при нахождении вершины резца в опорной плоскости его не будет, так как радиус изгиба  $R$  равен вылету резца  $h$ .

Резцы для строгальных станков изготовляют из быстрорежущих сталей Р12, Р6М3, а для труднообрабатываемых материалов — из сталей Р9М4К8Ф, Р9К10 и твердых сплавов ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6 и т. п.

Номенклатура строгальных резцов велика, ими обрабатывают самые разные поверхности — от простых до сложных (рис. 15.3). Геометрические параметры строгальных резцов те же, что токарных, но основная плоскость у строгальных резцов вертикальна, а плоскость резания — горизонтальна. Размеры и угловые параметры строгальных резцов выбираются по ГОСТ 18887—73,

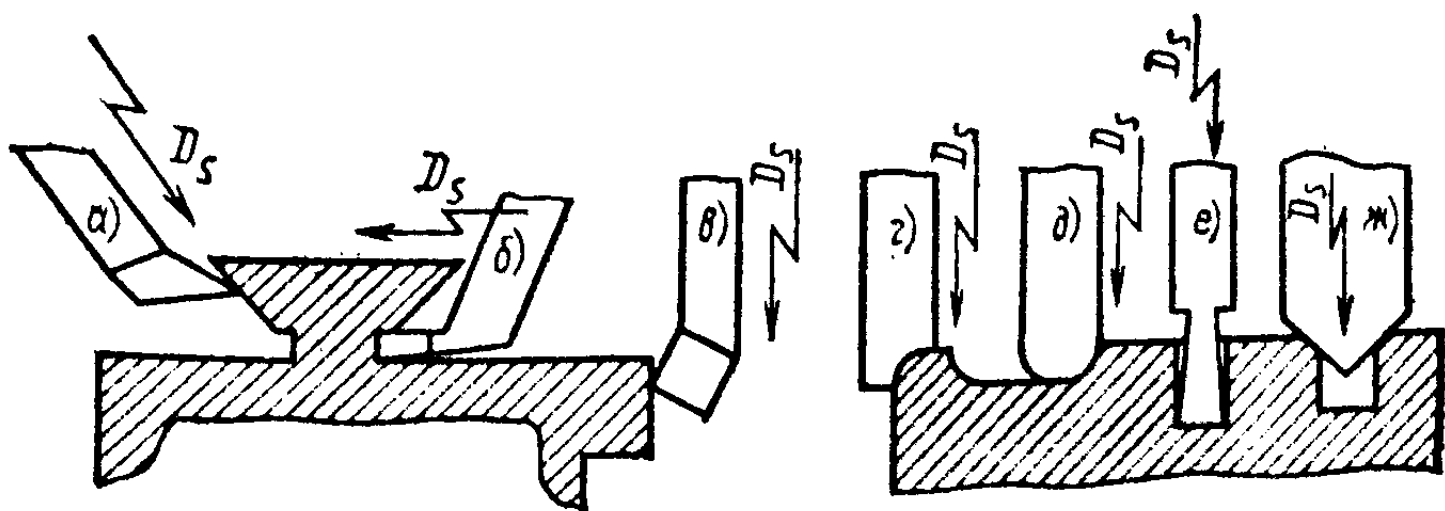


Рис. 15.3. Виды поверхностей, обрабатываемых на строгальных станках:

а — ласточкин хвост; б, е — канавки; в — вертикальные плоскости; г, д — фасонные поверхности; ж — фаски

ГОСТ 18888—73, ГОСТ 18889—73, ГОСТ 18890—73 для проходных резцов из быстрорежущих сталей и по ГОСТ 18891—73, ГОСТ 18892—73, ГОСТ 18893—73, ГОСТ 18894—73 для резцов из твердого сплава.

Геометрические параметры строгальных и долбежных резцов те же, что и токарных: передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ , главный угол в плане  $\varphi$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi'$  и угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$ . Угол  $\lambda$  наиболее важен для строгальных резцов для сохранения их вершины, уменьшения воздействия удара и для плавности входа резца в заготовку. В связи с тем, что строгальные резцы работают с ударом, передний угол у них на  $5-10^\circ$  меньше, чем у токарных. У резцов, оснащенных пластинами из твердого сплава, передний угол берут от 0 до  $-15^\circ$  в зависимости от прочности обрабатываемого материала. Задний угол  $\alpha$  у строгальных резцов принимают от 8 до  $15^\circ$ . Главный угол в плане  $\varphi$  у проходных строгальных резцов  $30-75^\circ$ . Для предохранения от разрушения и быстрого изнашивания лезвия у строгальных резцов по передней поверхности предусматривают ленточку шириной, численно равной  $(0,8-1) S$ . Передний угол на ленточке  $\gamma_1 = +5^\circ$  для резцов из быстрорежущей стали и  $\gamma_1 = -5 \dots -15^\circ$  для твердосплавных резцов.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключаются особенности процесса строгания и долбления?
2. Назовите, в чем отличие строгальных и долбежных резцов от токарных.

## ГЛАВА 16. СТРОГАЛЬНЫЕ И ДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ

### § 16.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Направление главного движения резания у строгальных станков горизонтальное, у долбежных — вертикальное.

Строгальные и долбежные станки применяют как в единичном, так и в серийном производстве для обработки поверхностей с прямолинейной образующей. Для обработки заготовок небольших габаритных размеров ( $600 \times$

× 600 × 100 мм) применяют поперечно-строгальные станки. Для крупногабаритных корпусных заготовок, а также большой длины (2—12 м) применяют продольно-строгальные станки. На долбежных станках обрабатывают заготовки таких же размеров, как на поперечно-строгальных.

## § 16.2. ПОПЕРЕЧНО-СТРОГАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Исполнительный механизм поперечно-строгального станка состоит из ползуна, суппорта и стола. Несущая система станка, расположенная на основании, состоит из станины и поперечины. Станина имеет вертикальные направляющие для поперечины и горизонтальные направляющие для ползуна. Движение резания осуществляет ползун с установленным на нем суппортом, в котором закрепляется резец. Движение ползуна возвратно-поступательное. Оно подразделяется на рабочее

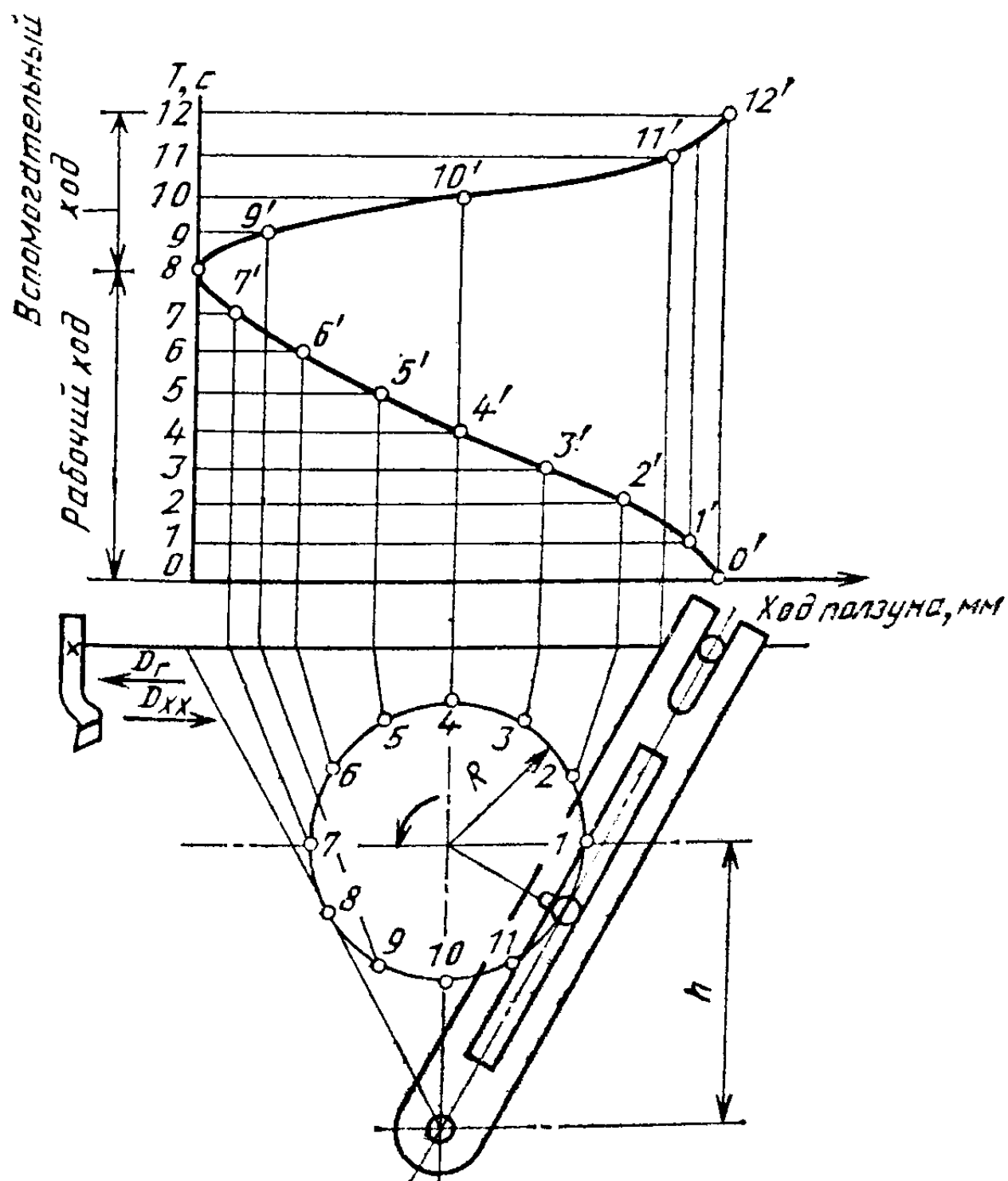


Рис. 16.1. Кулисный привод строгальных и долбежных станков и циклограмма обработки

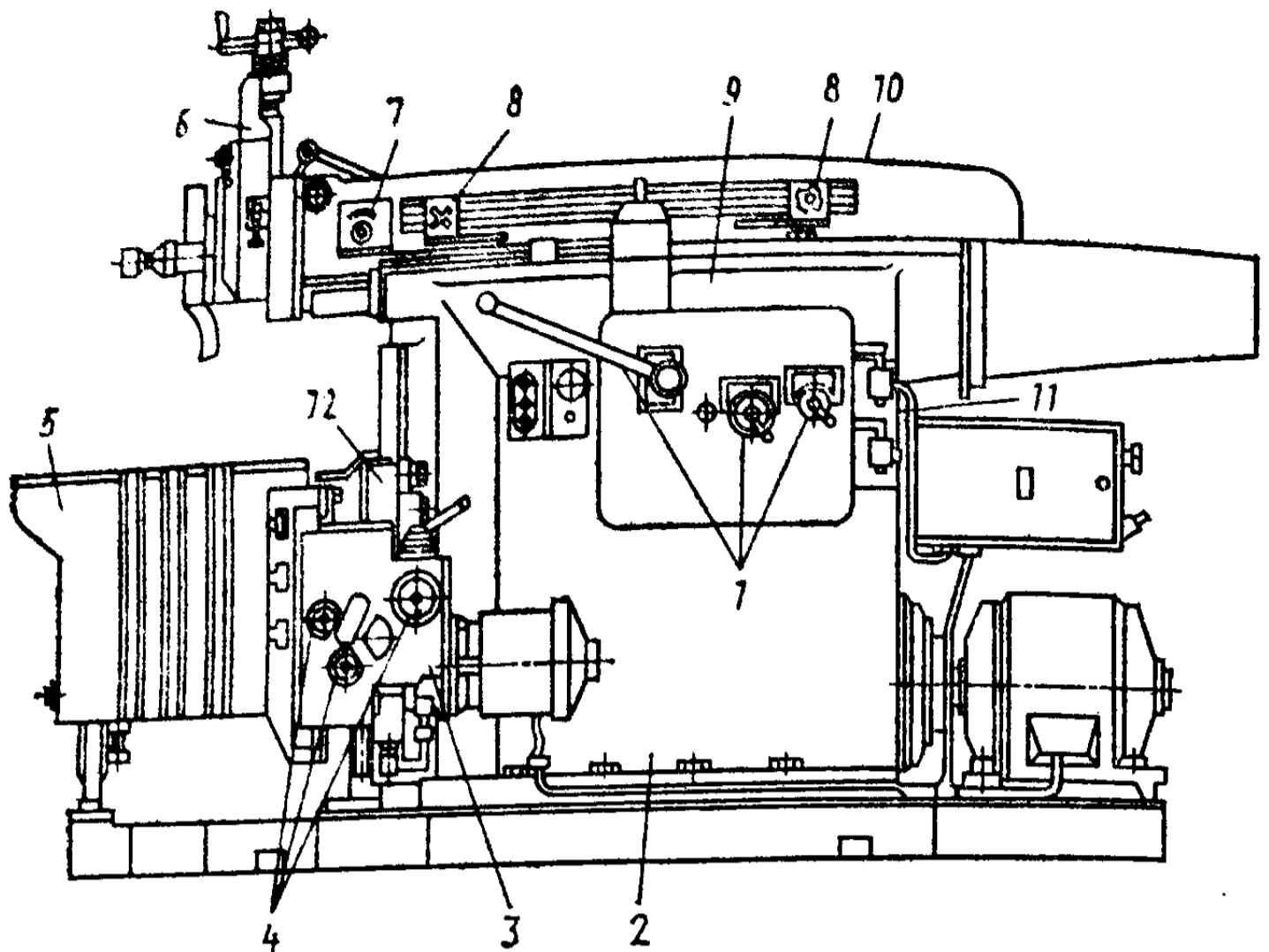


Рис. 16.2. Поперечно-строгальный станок 6М36:

1 — гидрпанель с механизмами управления; 2 — станина; 3 — механизм быстрого установочного движения стола; 4 — механизм управления перемещения стола; 5 — стол; 6 — суппорт; 7 — механизм вертикальной подачи суппорта; 8 — передвигаемые упоры; 9 — гидропривод станка; 10 — ползун; 11 — централизованная система смазывания; 12 — каретка

(снятие припуска) и вспомогательное (возврат ползуна в исходное положение). Эти движения осуществляются механизмом качающейся кулисы (рис. 16.1), которая приводится в движение с помощью зубчатых передач от электродвигателя. Скорость движений регулируется ступенчато коробкой скоростей, а ход ползуна — изменением радиуса кривошипа кулисы. В некоторых моделях станков движение ползуна осуществляется гидроприводом.

Резец устанавливается в резцедержателе, закрепленном на откидной планке. Во избежание трения резца о заготовку во время вспомогательного хода резец откидывается вместе с планкой относительно горизонтальной оси на небольшой угол. Резец может перемещаться с вертикальной подачей и наклонно с помощью храпового механизма, установленного на ползуне станка и упора, закрепленного на станине. Заготовка, закрепленная на столе станка, при поперечном строгании перемещается с поперечным или вертикальным движением подачи.

Движение подач осуществляется во время вспомогательного хода от кулисного колеса через механизм подачи,

включающий винтовые пары, зубчатые колеса, храповые механизмы. Жесткость системы станка повышается регулируемой по высоте подпоркой, которая жестко закреплена на столе станка. При перемещении стола с заготовкой в поперечном направлении ( $D_{\text{в поп}}$ ) подпорка скользит по поперечине станка. Для ускоренных установочных перемещений стола применяют электроприводы с соответствующими передаточными механизмами.

На рис. 16.2 изображена схема поперечно-строгального станка 6М36. Привод станка гидравлический.

### § 16.3. ПРОДОЛЬНО-СТРОГАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Исполнительным механизмом продольно-строгального станка является стол, несущий обрабатываемую заготовку и два, а иногда и четыре суппорта в зависимости от конструкции станка. Одностоечный продольно-строгальный станок имеет два-три суппорта (два горизонтальных и один вертикальный), у двухстоечного станка три-четыре суппорта.

На рис. 16.3 показан общий вид двухстоечного продольно-строгального станка 7212. Заготовку устанавливают на стол 2 и зажимают с помощью различных приспособлений. Резцы крепят на вертикальных суппортах 4 и боковом суппорте 9. Движение резания передается столу от электродвигателя постоянного тока 10 через коробку скоростей. Продольно-строгальные станки обычно снабжены электроприводом, обеспечивающим бесступен-

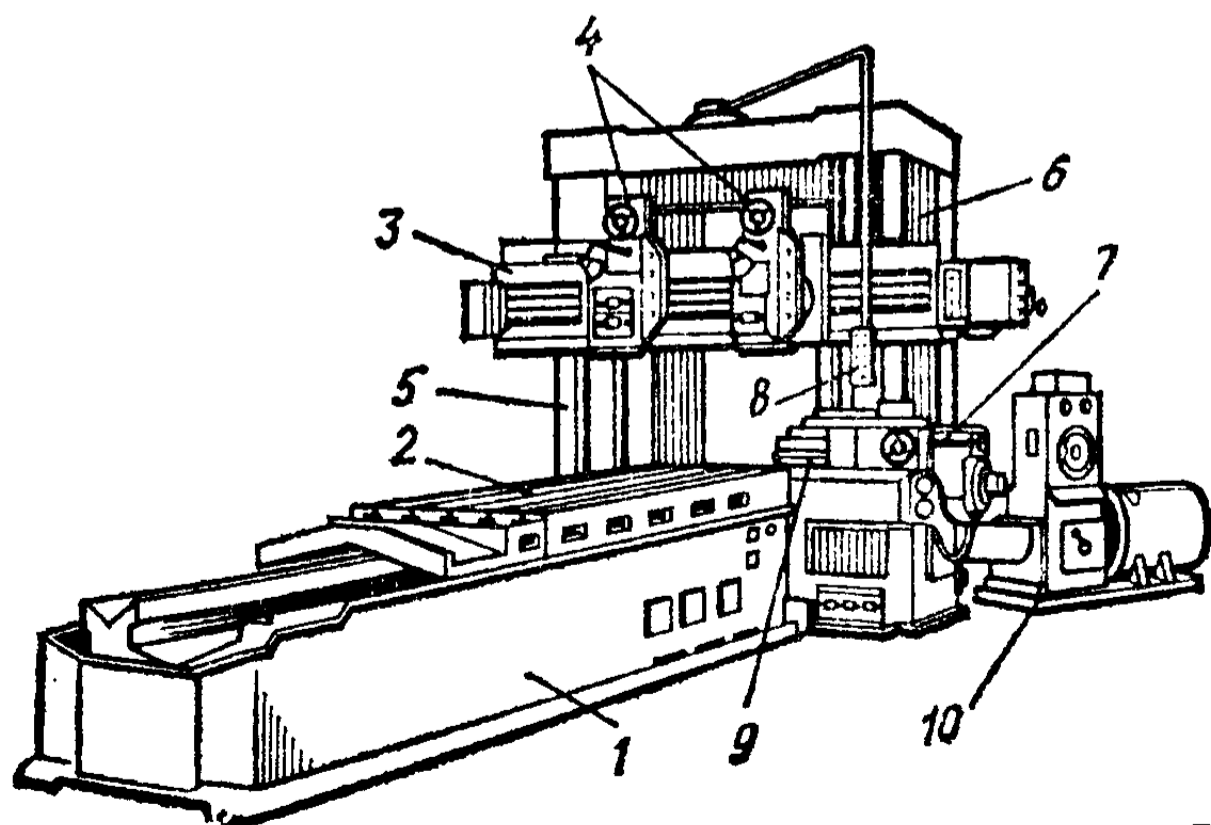


Рис. 16.3. Двухстоечный продольно-строгальный станок 7212

чатое и независимое регулирование скоростей рабочего и вспомогательного хода стола. Скорость вспомогательного хода стола больше скорости рабочего хода.

Прерывистое движение подачи на каждый двойной ход стола совершают суппорты с резцами. Таким образом может выполняться обработка одновременно нескольких горизонтальных и вертикальной поверхностей заготовки. Вертикальные суппорты перемещаются по траверсе 3, а боковой суппорт — по вертикальной стойке 6. Перемещение суппортов осуществляется от отдельных двигателей подач через червячную пару и зубчатые передачи 7. Включение двигателей происходит в момент реверса стола.

Несущая система станка состоит из станины коробчатой формы 1, вертикальных стоек 5 и 6 с направляющими для траверсы и бокового суппорта. Стойки соединены в верхней части перекладиной.

Управление станком осуществляется от подвесной кнопочной станции 8 или стационарного пульта управления.

Возвратно-поступательное движение стола с заготовкой осуществляется по следующему автоматическому циклу: медленное врезание резца в обрабатываемую заготовку; разгон заготовки до установленной скорости резания; резание с установленной скоростью рабочего хода; уменьшение скорости движения стола перед выходом резца из заготовки; быстрый возврат стола с установленной скоростью вспомогательного хода; подача суппортов на следующий цикл резания.

#### § 16.4. ДОЛБЕЖНЫЕ СТАНКИ

Исполнительным механизмом долбежного станка являются ползун 7 (рис. 16.4) с резцедержателем 6 и стол 4 с закрепленной заготовкой. Несущая система состоит из станины 1 с направляющими для стола и стойки 8 с вертикальными направляющими для ползуна. Возвратно-поступательное движение резания совершает ползун с резцом. Резец срезает припуск при движении ползуна сверху вниз и возвращается снизу вверх при вспомогательном ходе ползуна. Главное возвратно-поступательное движение ползуна в станках с механическим приводом осуществляется механизмом вращающейся кулисы, а в станках с гидроприводом — гидроцилиндром. Это движение — вертикальное, но в некоторых моделях



## ГЛАВА 17. ПРОТЯГИВАНИЕ И ПРОТЯЖНОЙ ИНСТРУМЕНТ

## § 17.1. ПРОТЯГИВАНИЕ И СХЕМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ВНУТРЕННИХ И НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Протягивание — механическая обработка внутренних и наружных поверхностей с прямолинейной образующей с помощью многолезвийного режущего инструмента — протяжки. Протягивание производится на универсальных и специальных протяжных станках (вертикальной и горизонтальной компоновки). Главное движение при протягивании — поступательное движение протяжки. Заготовка при прямолинейном протягивании неподвижна.

Протягивание — высокопроизводительный метод обработки поверхностей различной степени сложности. Особенно эффективно протягивание сложных и фасонных профилей заготовок. Протягивание заготовок находит широкое применение при массовом и серийном производстве. В мелкосерийном и единичном производстве протягиванием обрабатывают поверхности, к точности и параметрам качества которых предъявляют высокие требования.

Принципиальное отличие протягивания от других видов механической обработки заключается в том, что при протягивании отсутствует движение подачи  $D_s$ . Значение подачи при протягивании заложено в конструкции инструмента. Размер каждого последующего режущего элемента протяжки больше предыдущего на величину, численно равную  $S_z$  — подаче на зуб. Каждый зуб протяжки в отличие от зуба фрезы только один раз участвует в обработке данной заготовки; так как суммарное число зубьев, участвующих в резании, велико, то в работе одновременно находится несколько зубьев (три—шесть). Протягиванием обрабатывают различные внутренние и наружные, а также полуоткрытые поверхности (рис. 17.1).



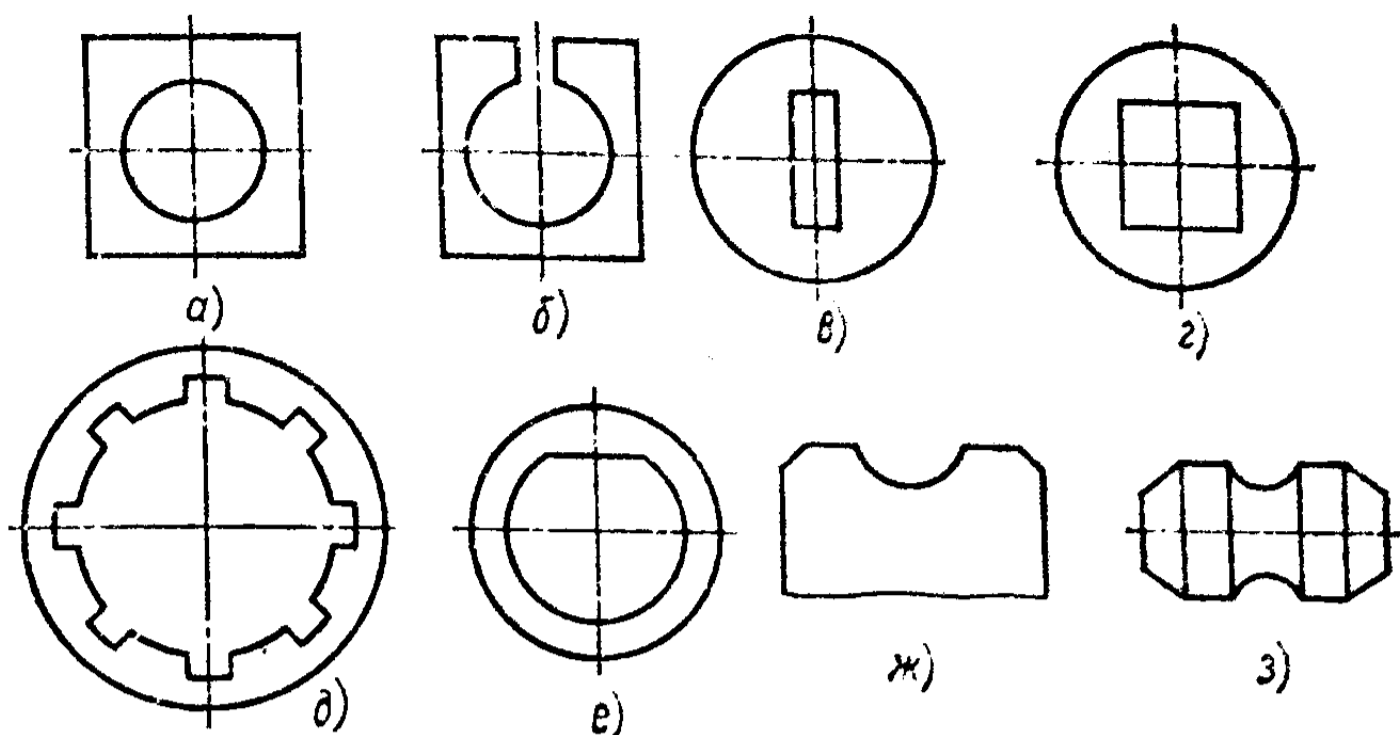


Рис. 17.1. Основные виды обрабатываемых поверхностей при протягивании:

а, б, в, г, д, е — внутренние поверхности; ж, з — наружные поверхности

Существуют два варианта протягивания: свободное и координатное. При свободном протягивании обеспечиваются размер профиля и малая шероховатость отверстия, при координатном — выдерживается еще и размер профиля относительно базовых поверхностей заготовки.

При внутреннем свободном протягивании заготовки 2 (рис. 17.2, а), имеющие предварительно обработанное отверстие, базируются торцевой поверхностью на опорной плите 1 протяжного станка. Внутренняя протяжка имеет следующие составные части: хвостовик с замковой частью 8, переходной конус 3; переднюю направляющую 7 (для направления протяжки в начале ее работы по предварительно обработанному отверстию); режущую часть 6, которая срезает основной припуск; калибрующую часть 5, элементы которой калибруют отверстие, снимая очень малый припуск и обеспечивая малую шероховатость, а также большую точность профиля; заднюю направляющую часть 4, которая необходима для предотвращения провисания протяжки, поддерживаемой в начале резания специальным приспособлением — люнетом, а также для предотвращения перекоса заготовки в конце обработки (в момент выхода из зоны обработки последних зубьев).

Все протяжки работают на растяжение, так как сила  $P$  прикладывается к замковой части.

Если сила прикладывается к задней части протяжки, то такой метод обработки называют прошиванием, а

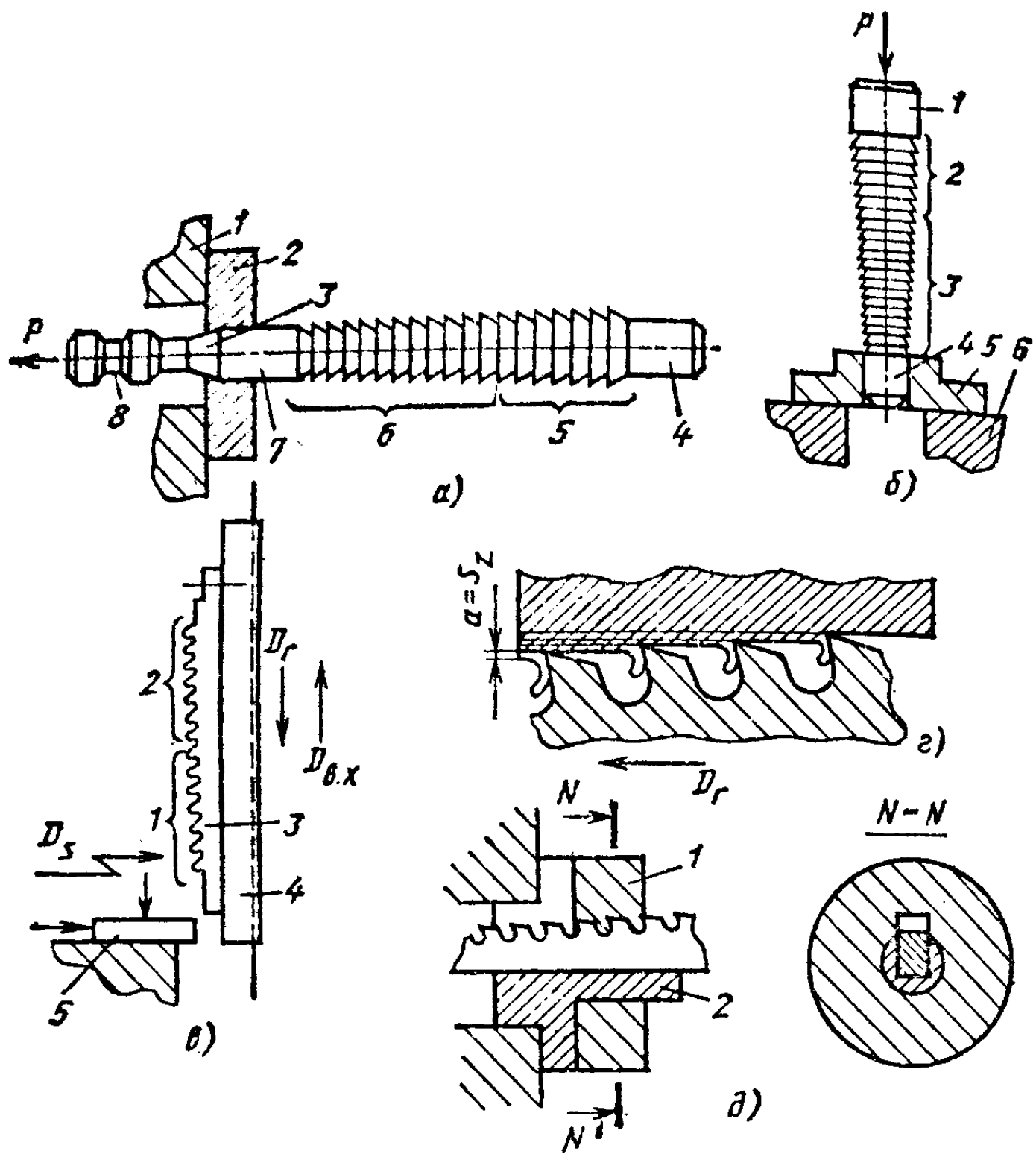


Рис. 17.2. Схемы обработки:

а — на горизонтально-протяжном станке; б — на прошивном станке; в — на вертикально-протяжном станке; г — срезание припуска при протягивании; д — шпоночного паза

инструмент — прошивкой. Прошивка работает на сжатие и продольный изгиб. Во избежание изгиба прошивку делают короче (обычно 200—300 мм) протяжки, и ее длина не должна превышать 15-кратного диаметра. Прошивку (рис. 17.2, б) устанавливают передней направляющей 4 в отверстие заготовки 5, установленной на опорной плите 6 прошивочного станка. Прошивка имеет режущую 3 и калибрующую 2 части, а также заднюю направляющую 1. Прошивки чаще всего применяют для калибрования внутренних отверстий высокой точности. Иногда последние секции прошивки или протяжки выполняют полукруглыми для развальцовки — сглаживания шероховатости и придания поверхности высоких эксплуатационных свойств.

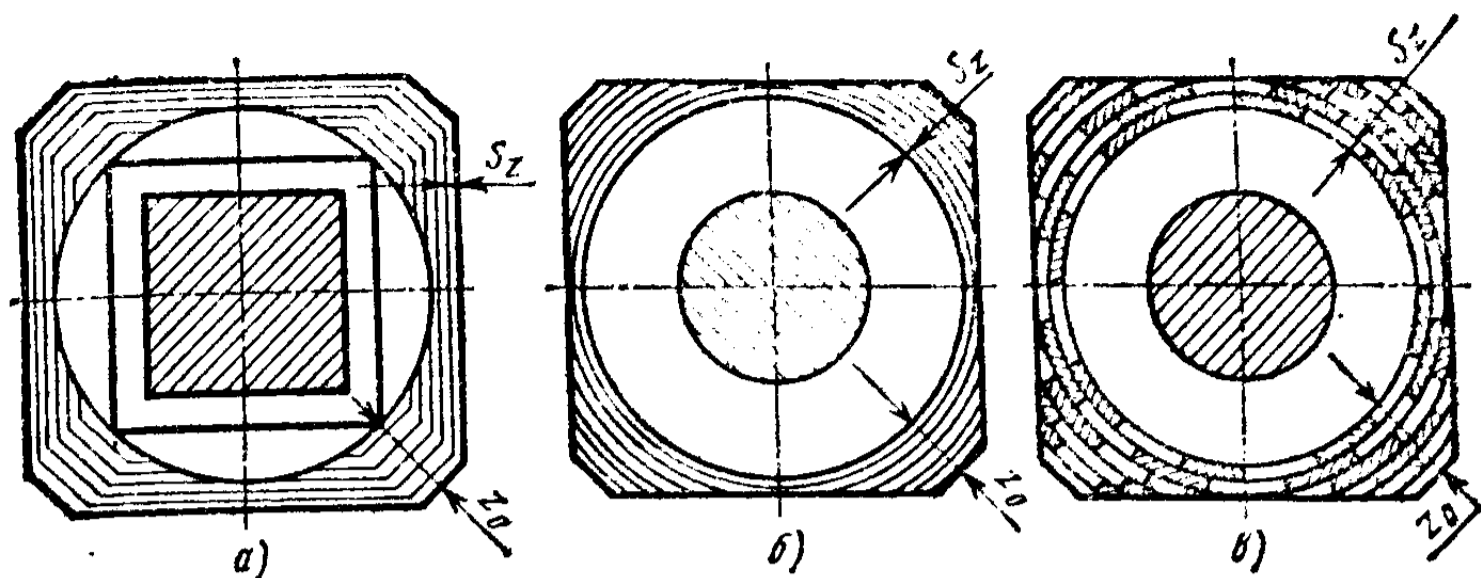


Рис. 17.3. Схемы резания при протягивании:  
*a* — профильная; *б* — генераторная схема; *в* — прогрессивная

Особенности протяжек, осуществляющих протягивание наружных поверхностей, заключаются в том, что они не имеют ни передних, ни задних направляющих. Наружная протяжка 3 (рис. 17.2, в), жестко закрепленная на каретке 4 протяжного станка, имеет также режущую 1 и калибрующую 2 части. Заготовка 5, жестко закрепленная на столе станка, отводится по окончании цикла обработки и снимается со станка. Схема срезания припуска при протягивании приведена на рис. 17.2, г. На рис. 17.2, д показана схема протягивания шпоночного паза заготовки 1, установленной на оправке 2.

При протягивании применяют профильную, генераторную и прогрессивную схемы срезания припуска (рис. 17.3).

При *профильной* (рис. 17.3, а) *схеме срезания припуска* геометрическая форма всех зубьев подобна профилю окончательно обработанной поверхности заготовки. Вписанный контур соответствует форме первого зуба, а описанный — форме последнего зуба протяжки. Такая схема резания имеет ограниченное применение вследствие трудности изготовления профильных протяжек. По *профильной* схеме работают протяжки круглого профиля, а также наружные протяжки, обеспечивающие высокое качество обработанной поверхности.

При *генераторной* *схеме срезания припуска* первый зуб протяжки имеет круглую форму, все последующие зубья имеют также круглую форму в виде частей окружности — дуг (рис. 17.3, б). Протяжки, работающие по генераторной схеме, более просты в изготовлении, их проще затачивать повторно и себестоимость их изгото-

вления ниже, чем протяжек, работающих по профильной схеме. Квадратные, многогранные, координатные протяжки для срезания припуска изготовляют по генераторной схеме.

Если невозможно резание по генераторной схеме (сила резания первыми тремя зубьями превышает предельно допустимую силу разрыва опасного сечения или припуск на зуб менее 0,02 мм — когда резание становится неэффективным), применяют *прогрессивную схему резания* (рис. 17.3, в). Эта схема предусматривает разделение срезаемого слоя на несколько слоев с большим припуском на зуб. У протяжки, работающей по этой схеме, режущие зубья разделены на группы (два, три и т. д.), имеющие одинаковый наружный размер. При этом срезаются узкие стружки. Стойкость такой протяжки в среднем в 2 раза выше, чем протяжки, работающей по генераторной схеме резания.

Протяжки, работающие по прогрессивной схеме, более сложны в изготовлении, чем протяжки, работающие по профильной или генераторной схеме.

В качестве СОТС при протягивании используют эмульсии, сульфозфрезол, а также смесь керосина и масла. Обработка чугунных заготовок производится без охлаждения.

## § 17.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

Определение режимов резания при протягивании сводится к назначению скорости резания, так как толщина  $a$  и ширина  $b$  срезанного слоя обусловлены конструктивными особенностями протяжки. Скорость резания при протягивании — скорость относительного перемещения протяжки и заготовки в главном рабочем движении. Скорость резания выбирают, исходя из требования к качественным параметрам обрабатываемой поверхности. Обычно  $v = 3 \dots 20$  м/мин или  $v = 0,05 \dots 0,4$  м/с. При конструировании протяжки задается  $S_2 = 0,015 \dots 0,08$  мм/зуб при профильной схеме срезания припуска и  $S_2 = 0,15 \dots 0,35$  мм/зуб при прогрессивной схеме резания, в зависимости от обрабатываемого материала. Ширина срезанного слоя  $b$  измеряется вдоль режущей кромки. У шпоночной протяжки — это ширина паза, у протяжек других видов ширина равна длине активной

части режущей кромки. У круглых протяжек ширина резания равна длине окружности.

Площадь поперечного сечения стружки  $f$  (мм<sup>2</sup>) для одного зуба: для шипоочной протяжки  $f = ab$ ; для много-шлицевой  $f = abn$ ; для круглой  $f = a\pi D$ , где  $a = S_z$ , мм/зуб;  $b$  — ширина шлица, мм;  $n$  — число шлицев;  $D$  — диаметр протяжки, мм.

Суммарная площадь (мм<sup>2</sup>) срезаемого сечения припуска  $F = fz_t$ , где  $z_t$  — число зубьев, одновременно участвующих в резании.

Основное время (м/мин) при протягивании выбирают за один цикл протягивания:

$$T_o = \frac{L}{1000vq} k,$$

где  $L$  — длина рабочего хода протяжки, мм;  $k = 1,4 \dots 1,5$  — коэффициент, учитывающий соотношение скоростей рабочего и вспомогательного хода протяжки;  $v$  — скорость резания, м/мин;  $q$  — число одновременно обрабатываемых заготовок.

Длина рабочего хода  $L = l_p + l_{з.п} + l_з + l_{доп}$ , где  $l_p$  — длина рабочей части протяжки;  $l_{з.п}$  — длина задней направляющей;  $l_з$  — длина протягиваемой поверхности;  $l_{доп} = 30 \dots 50$  мм — суммарная длина на вход и перебег протяжки.

### § 17.3. СИЛА РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

Сила резания при протягивании равна сумме сил резания, участвующих в процессе снятия припуска зубьев. Сила, действующая на каждый зуб протяжки, может быть разложена на  $P_z$  — осевую составляющую силы резания, направленную вдоль оси, и  $P_y$  — нормальную составляющую силы резания, направленную перпендикулярно к оси протяжки.

Для подсчета силы резания необходимо знание суммарной составляющей  $P_z$  (Н), которая направлена в сторону, противоположную движению протяжки (Н):  $P_z = F_y \sum B_i$ , где  $F_y$  — сила резания, приходящаяся на единицу длины режущей кромки зуба (удельная сила резания);  $\sum B_i$  — суммарная длина режущих кромок, одновременно участвующих в резании.

Удельная сила резания изменяется в широком диапазоне в зависимости от обрабатываемого материала:

от 60 Н/мм для мягких материалов до 900 Н/мм для твердых материалов. Протяжки рассчитывают на разрыв по наименьшему сечению (IIa):

$$\sigma = \frac{P_z}{F},$$

где  $F$  — площадь наименьшего сечения протяжки, м<sup>2</sup>.  
Эффективная мощность (Вт) резания при протягивании

$$N_3 = P_z v.$$

Здесь  $v$  — скорость резания при протягивании;

$$v = \frac{C_v}{T^m S_z^y},$$

где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий условия резания;  $T$  — стойкость инструмента, мин;  $S_z$  — подача на зуб, мм. Значения  $C_v$  и показателей степеней  $m$  и  $y$  приведены в справочной литературе.

#### § 17.4. ТИПЫ ПРОТЯЖЕК, ИХ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Существуют протяжки нескольких типов.

Круглые протяжки предназначены для обработки внутренних цилиндрических поверхностей (см. рис. 17.2, а). На секциях круглых протяжек в шахматном порядке делают стружкоразделительные канавки.

Шлицевые протяжки применяют для обработки прямых и винтовых шлицевых канавок. Канавки изготовляют прямыми и эвольвентного профиля. При протягивании винтовых канавок заготовка или протяжка вращается в процессе обработки.

Шпоночные протяжки применяют для обработки шпоночных пазов. Обработка заготовки 1 шпоночной протяжкой производится с помощью специального приспособления — оправки 2 (см. рис. 17.2, д).

Многогранные протяжки применяют для обработки граненых отверстий с любым числом сторон. Многогранные протяжки работают по генераторной схеме резания.

Плоские протяжки предназначены для обработки плоских поверхностей (см. рис. 17.2, в). Они работают по профильной и прогрессивной схемам резания.

Уплотняющие протяжки используют для уплотнения предварительно обработанных поверхностей с целью улучшения структуры поверхностного слоя и уменьшения шероховатости обработанной поверхности. Уплотнение поверхности существенно повышает ее износостойкость.

Сборные протяжки находят широкое применение для наружного протягивания, а также для окончательной обработки и калибровки внутренних поверхностей. При внутреннем протягивании добавочные калибрующие секции при изнашивании калибрующих зубьев протяжки намного увеличивают ее размерную стойкость. Секции сборных протяжек часто изготавливают из твердосплавных режущих элементов.

Протяжки являются сложным по конструкции и дорогим инструментом, в связи с чем они должны иметь максимально возможную стойкость. У шпоночных протяжек из быстрорежущих сталей стойкость  $T \geq 120$  мин, у шлицевых  $T \geq 420$  мин при обработке стальных заготовок. Для изготовления цельных протяжек применяют следующие быстрорежущие стали: Р6М5, Р9, Р9Ф5, Р9К5 и др. В некоторых случаях применяют для изготовления протяжек углеродистые и легированные стали (9ХС, ХВГ и др.). Стойкость протяжек из легированных сталей в 2—2,5 раза выше стойкости протяжек из быстрорежущих сталей.

С целью экономии быстрорежущей стали иногда внутренние и наружные протяжки изготавливают сборными. Режущую часть сборных протяжек выполняют из быстрорежущей стали или из твердосплавных элементов, а крепежную и присоединительную — из конструкционной стали. Стойкость твердосплавных элементов в протяжках в 12—18 раз выше, чем режущих элементов протяжки из быстрорежущей стали.

Внутренние протяжки различают по форме (плоские и круглые) и конструктивным особенностям замковой части. Размеры замковой части и их форму выбирают в зависимости от конструкции протяжки по ГОСТ 4044—70 для круглых и ГОСТ 4043—70 для плоских протяжек.

Конструкция наружных протяжек 3 позволяет компенсировать износ режущих кромок зубьев с помощью клиньев (рис. 17.4), регулируемых винтами 1. Сила резания должна восприниматься врезными шпонками или упором 2.

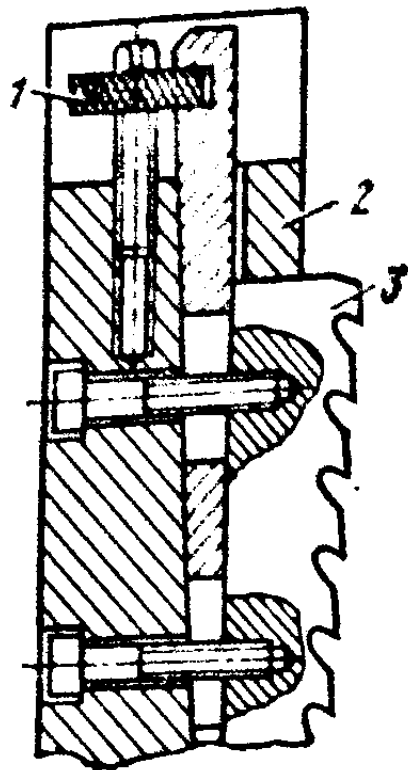


Рис. 17.4. Конструкция наружной протяжки:

1 — регулировочный винт; 2 — упор; 3 — протяжка

Переходной конус внутренней протяжки 3 (см. рис. 17.2, а) служит для плавного входа протяжки в обрабатываемое отверстие. Его длина обычно равна 20 мм. Угол конуса 15—30°. Передняя направляющая 7 протяжки обеспечивает ее центрирование по предварительно обработанному отверстию и обеспечивает правильный вход режущих зубьев протяжки в начальный период обработки. Диаметр или размер направляющей равен наименьшему диаметру или размеру предварительно обработанного отверстия. Длину передней направляющей  $l_n$  рассчитывают по формуле

$$l_n = l_0 + 0,5S,$$

где  $l_0$  — длина обрабатываемого отверстия;  $S$  — средний шаг режущих зубьев.

Задняя направляющая 4 необходима для правильного выхода последних зубьев протяжки из обрабатываемого отверстия (во избежание перекоса заготовки). Длина задней направляющей равна половине длины обрабатываемого отверстия.

Рабочая часть протяжки состоит из режущих и калибрующих зубьев. Иногда вместо калибрующих зубьев применяют выглаживающие. Число режущих зубьев

$$z_p = \frac{z_0}{S_z} + (2 \dots 4),$$

где  $z_0$  — припуск на обработку поверхности;  $S_z$  — подача на зуб.

Число калибрующих зубьев берут равным 3—8 в зависимости от точности обрабатываемой поверхности. Чем выше точность, тем больше число калибрующих зубьев. Форму и размеры калибрующих зубьев принимают такими же, как режущих, поэтому число калибрующих зубьев влияет на допустимое число повторных заточек режущих зубьев. Точность поверхностей, обрабатываемых протягиванием, соответствует 6—7-му качеству.

Размеры и геометрические параметры зубьев протяжки рассматривают в главной секущей плоскости, т. е. пер-



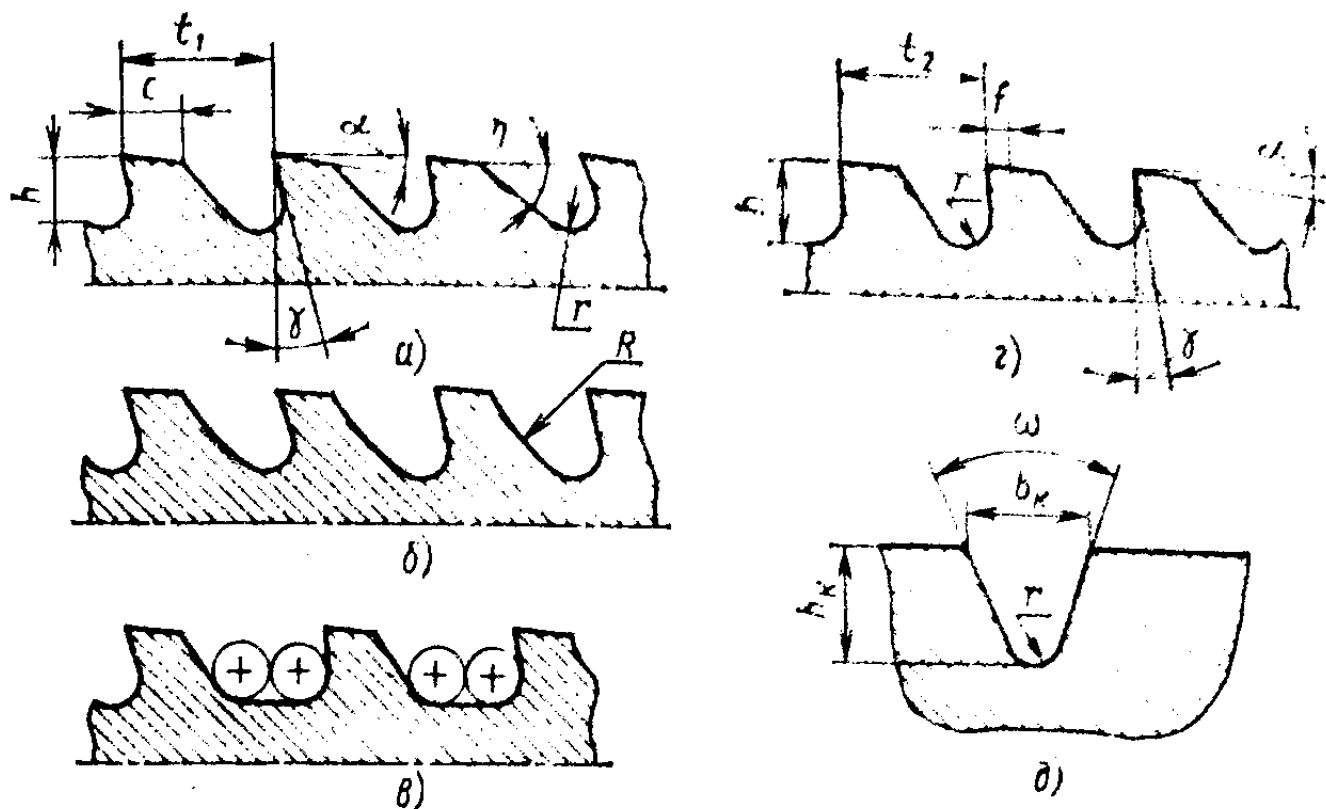


Рис. 17.5. Конструктивные особенности зубьев протяжек:

*a* — зубья с прямой спинкой; *б* — с криволинейной вогнутой спинкой; *в* — с прямолинейной спинкой и прямолинейным участком дна канавки; *г* — с фаской; *д* — со стружкоразделительной канавкой

пендикулярно к главной режущей кромке. На практике применяют три формы зуба протяжки: с прямолинейной спинкой (рис. 17.5, *a*); с криволинейной вогнутой спинкой (рис. 17.5, *б*); с прямолинейной спинкой и прямолинейным участком на дне канавки (рис. 17.5, *в*).

Протяжки с прямолинейной спинкой просты в изготовлении. С криволинейной спинкой изготавливают протяжки для обработки вязких металлов, образующих непрерывную стружку. Протяжки с прямолинейным дном впадины применяют для обработки глубоких отверстий с целью гарантированного размещения стружки. Форму режущих зубьев определяют следующие параметры:  $t_1$  — шаг режущих зубьев;  $h$  — высота зуба;  $c$  — длина задней поверхности;  $R$  — радиус спинки зуба;  $r$  — радиус канавки;  $\eta$  — угол спинки зуба;  $\gamma$  — передний угол;  $\alpha$  — задний угол;

$$h = (0,35 \dots 0,45) t_1; \quad c = (0,3 \dots 0,35) t_1;$$

$$R = (0,65 \dots 0,8) t_1; \quad r = 0,5h.$$

Шаг режущих зубьев в зависимости от схемы резания определяют по формулам:

для профильной и генераторной схем  $t_1 = (1,25 \dots 1,5) \sqrt{l_3}$ ;

для прогрессивной (групповой) схемы  $t_1 = (1,45 \dots 1,9) \sqrt{l_3}$ ,

где  $l_3$  — длина обрабатываемой поверхности.

У калибровочных зубьев (рис. 17.5, *в*)  $t_2 = (0,5 \dots 1) t_1$ . Калибровочные зубья имеют ленточки по задней поверхности с  $\alpha = 0$ , и  $f = 0,2 \dots 0,3$  мм. Геометрические параметры зубьев режущей части протяжки назначают, исходя из обрабатываемого материала, стойкости протяжки и требований, предъявляемых к шероховатости обработанной поверхности.

Передний угол  $\gamma$  выбирают для режущих и калибрующих зубьев  $5-10^\circ$ .

Задний угол у протяжек выбирают, исходя из условия сохранения размеров при повторных заточках. Для внутренних протяжек для режущих зубьев  $\alpha = 2 \dots 4^\circ$ , а для калибрующих  $\alpha = 1 \dots 1^\circ 30'$ . Для наружных протяжек  $\alpha = 7 \dots 10^\circ$  для режущих зубьев, а для калибрующих  $\alpha = 3 \dots 4^\circ$ .

При ширине срезаемого слоя более 6 мм для протяжек, работающих по профильной схеме резания, на режущих лезвиях делают стружкоразделительные канавки. Канавки обеспечивают разделение стружки на отдельные полоски, легко удаляемые из стружечных канавок. Стружкоразделительные канавки выполняют в шахматном порядке по всему ряду режущих зубьев протяжки. Стружкоразделительные канавки изготавливают параллельно спинке зуба, т. е. с соответствующим углом  $\alpha$ . Ширина канавок в зависимости от ширины зуба  $b_k = 0,8 \dots 1,5$  мм (рис. 17.5, *д*), высота канавки  $h = 0,4 \dots 1$  мм, радиус впадины канавки  $r = 0,2 \dots 0,5$  мм и угол развала  $\omega = 60 \dots 90^\circ$ .

Подачу на зуб  $S_z$  при конструировании протяжек выбирают, исходя из конкретных условий; она зависит от обрабатываемого материала. Для уменьшения износа и улучшения условий срезания припуска  $S_z \geq 0,02$  мм. Для сталей  $S_z = 0,07 \dots 0,15$  мм; для чугуна  $S_z = 0,1 \dots 0,2$  мм; для бронз, латуни  $S_z = 0,2$  мм; для алюминия  $S_z = 0,1$  мм.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Расскажите о схемах срезания припуска при протягивании. В чем их различие?
2. Что относят к элементам режима резания при протягивании?
3. Назовите область применения протягивания и наиболее распространенные поверхности, обрабатываемые протяжным инструментом.

## ГЛАВА 18. ПРОТЯЖНЫЕ СТАНКИ

### § 18.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Протяжные станки подразделяют на несколько основных типов:

по степени универсальности — станки общего назначения и специальные;

по назначению — станки для внутреннего и наружного протягивания;

по направлению главного движения и степени автоматизации — станки с вертикальным и горизонтальным главным движением и станки непрерывного действия.

Основными характеристиками протяжного станка являются наибольшая тяговая сила, длина хода штока и диапазон скоростей протягивания. Современные протяжные станки создают усилие  $3 \cdot 10^4$ — $10^6$  Н. Гидропривод станков в зависимости от их мощности имеет расход 20—1000 л/мин и развивает давление 20—2000 МПа. Диапазон скоростей протягивания на протяжных станках от 0,3 до 20 м/мин.

На протяжных станках главное движение чаще совершает протяжка, а заготовка установлена неподвижно (см. рис. 17.2), подача обеспечивается конструкцией протяжного инструмента.

В случае обработки спиральных поверхностей заготовке или протяжке сообщается вращательное движение. В случае наружного протягивания иногда движение подачи совершает заготовка или группа заготовок (рис. 18.1, в). При наружном протягивании заготовок, имеющих форму тела вращения, поступательное движение совершает протяжка, а вращательное — заготовка (см. рис. 17.1, з).

### § 18.2. ГОРИЗОНТАЛЬНО-ПРОТЯЖНЫЕ СТАНКИ

Горизонтально-протяжные станки применяют в основном для обработки внутренних поверхностей, их тяговая сила составляет 30—100 000 Н, скорость рабочего хода 0,3—20 м/мин. Длина хода каретки 1000—2000 мм.

Горизонтально-протяжной станок (см. рис. 18.1, а) состоит из станины 1 коробчатой формы, гидронасоса 2, гидроцилиндра 3, каретки 4, несущей шток, и замкового приспособления. Каретка перемещается по горизонтальному направляющему 7. Для установки заготовки служит

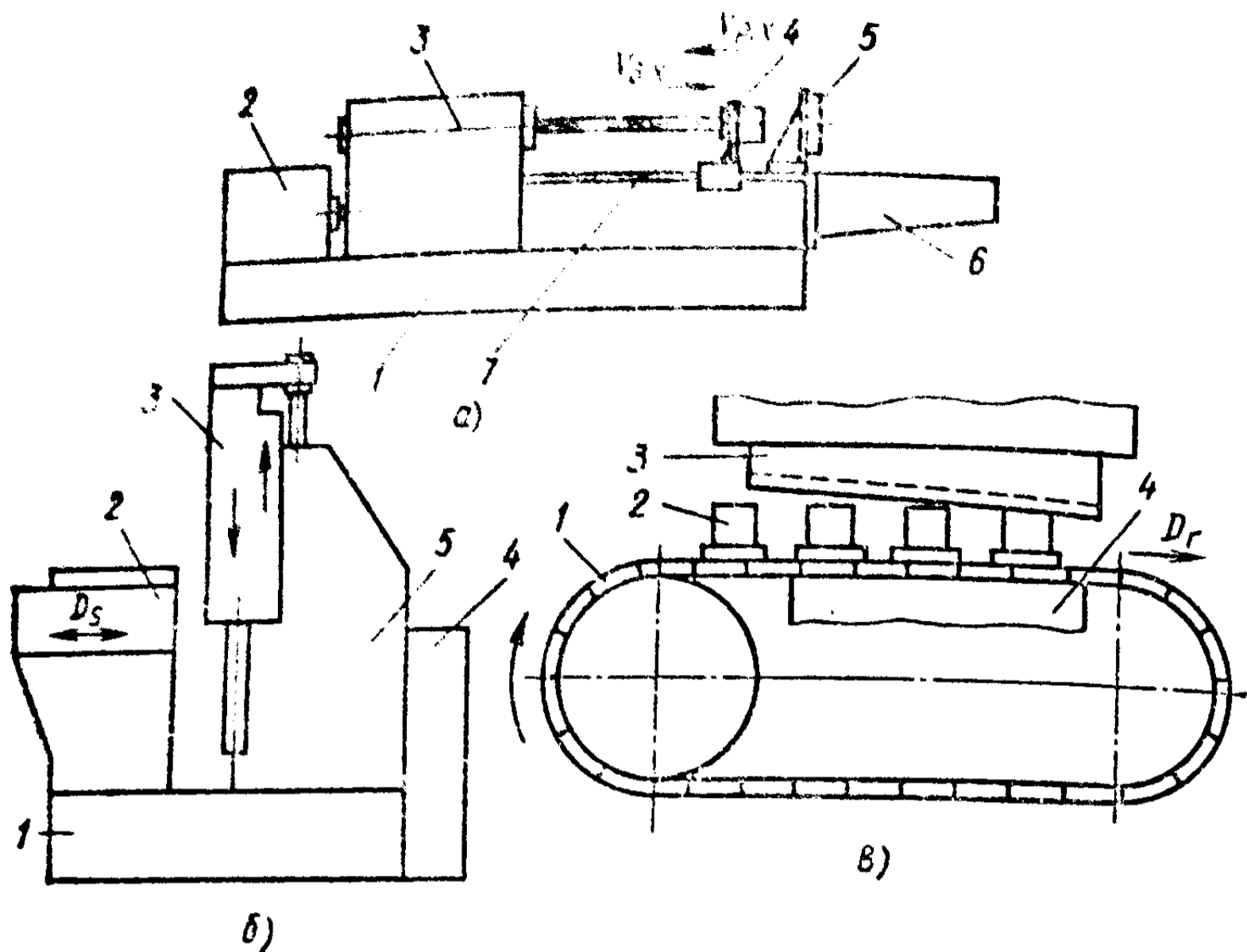


Рис. 18.1. Протяжные станки:

а — горизонтально-протяжной; б — вертикально-протяжной; в — схема обработки на протяжном станке непрерывной обработки

опорная плита 5. Для фиксирования тяжелых протяжек устанавливают иногда дополнительный люнет на направляющие корыта 6. Люнет удерживает задний хвостовик протяжки во время протягивания, предохраняя ее от провисания. Корыто служит также для приема стружки, отработанной СОЖ и мелких заготовок.

Протягивание осуществляется следующим образом. Обрабатываемую заготовку устанавливают на опорную плиту 5 станка и протяжку, вставленную в предварительно обработанное отверстие заготовки, закрепляют в тяговом патроне каретки 4. В процессе протягивания шток гидроцилиндра перемещается вместе с кареткой и протяжкой в левое положение, осуществляя рабочий ход протяжки. После снятия заготовки каретка возвращается в исходное положение, и на этом рабочий цикл станка заканчивается.

### § 18.3. ВЕРТИКАЛЬНО-ПРОТЯЖНЫЕ СТАНКИ

Вертикально-протяжные станки более удобны в обслуживании, обработка на них легче поддается механизации и автоматизации. Эти станки используют для

внутреннего и наружного протягивания легких и средних заготовок. Тяговая сила, развиваемая вертикально-протяжными станками, 50 000—200 000 Н. Скорость рабочего хода 0,5—15 м/мин, длина хода каретки 600—1600 мм.

Вертикально-протяжной станок для наружного протягивания (рис. 18.1, б) состоит из основания 1, станины 5, по вертикальным направляющим которой перемещается ползун 3, на котором устанавливается протяжка. Ползун приводится в движение от гидроцилиндра, находящегося в корпусе станины. В задней части станка расположена гидронасосная станция 4, обеспечивающая необходимое давление масла в полостях гидроцилиндра.

На горизонтальном столе 2 устанавливают обрабатываемую заготовку. Стол посредством гидравлического привода или механически перемещается в поперечном направлении. После рабочего хода протяжки (вниз) стол отходит от нее и после возврата протяжки (вспомогательного хода вверх) стол с новой заготовкой возвращается в исходное положение.

Вертикально-протяжные станки широко применяют в настоящее время и для внутреннего протягивания. Рабочий цикл станка для обработки внутренних поверхностей тот же, что и для наружного протягивания. При внутреннем протягивании протяжка захватывается патроном после подачи ее через отверстие заготовки. Подача протяжки осуществляется дополнительной вспомогательной кареткой, которая после зажима протяжки патроном рабочей каретки останавливается. Вспомогательная и рабочая каретка перемещаются от отдельных гидроцилиндров.

Кроме рассмотренных протяжных станков, в крупносерийном и массовом производстве находят применение многопозиционные станки (два и более суппорта), а также станки непрерывной обработки.

#### § 18.4. ПРОТЯЖНЫЕ СТАНКИ НЕПРЕРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ

Протяжные станки непрерывной обработки обладают очень высокой производительностью. Заготовки 2 (рис. 18.1, в) устанавливают в специальных приспособлениях на бесконечной тяговой ленте 1, которая сообщает им главное поступательное движение со скоростью резания. Протяжка 3 неподвижно закреплена в процессе

обработки. Заготовки в процессе обработки силами резания прижимаются к неподвижной подкладке 4.

На протяжных станках непрерывной обработки карусельного типа заготовки устанавливают на круглом вращающемся столе.

### *ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ*

1. Назовите основные типы протяжных станков и область их применения.

2. В чем отличие протяжных станков непрерывной обработки от горизонтально- и вертикально-протяжных станков?

## РАЗДЕЛ 8

# РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ

---

## ГЛАВА 19. ОСОБЕННОСТИ РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ

### § 19.1. РЕЗЬБЫ И ИХ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Резьбовые соединения широко применяют в машиностроении. Формообразование резьбовой поверхности осуществляется разнообразными инструментами на станках многих типов. На этих станках обрабатывают цилиндрические и конические, внутренние и наружные резьбовые поверхности. Основной метод образования резьбы — обработка резанием, но применяют также метод пластического деформирования.

Для обработки резьб резанием применяют режущие инструменты из инструментальных, быстрорежущих сталей и твердых сплавов. К этим инструментам относятся резьбовые резцы, гребенки, метчики, резьбонарезные плашки, резьбонарезные головки, резьбовые фрезы и т. п. Широко используется метод формообразования резьбовой поверхности шлифованием резьбошлифовальными кругами (однониточными и многониточными).

Для образования различных резьбовых поверхностей методом пластического деформирования широко используют накатные ролики и плоские накатные плашки, а также головки с накатными роликами.

Резьбовые соединения широко применяют не только в разъемных соединениях, но и для преобразования вращательного движения в поступательное (узлы различных металлорежущих станков, домкраты, микрометрические винты для приборостроения и т. д.). Винтовая поверхность резьбы образуется вращательным и поступательным движениями формообразующего элемента относительно оси заготовки или заготовки относительно формообразующего элемента.

В зависимости от назначения резьбы она имеет различные формы профиля: треугольную, трапецеидальную, прямоугольную, круглую и несимметричную — упорную.

Резьбы могут быть однозаходные и многозаходные с несколькими параллельными витками, а также левые

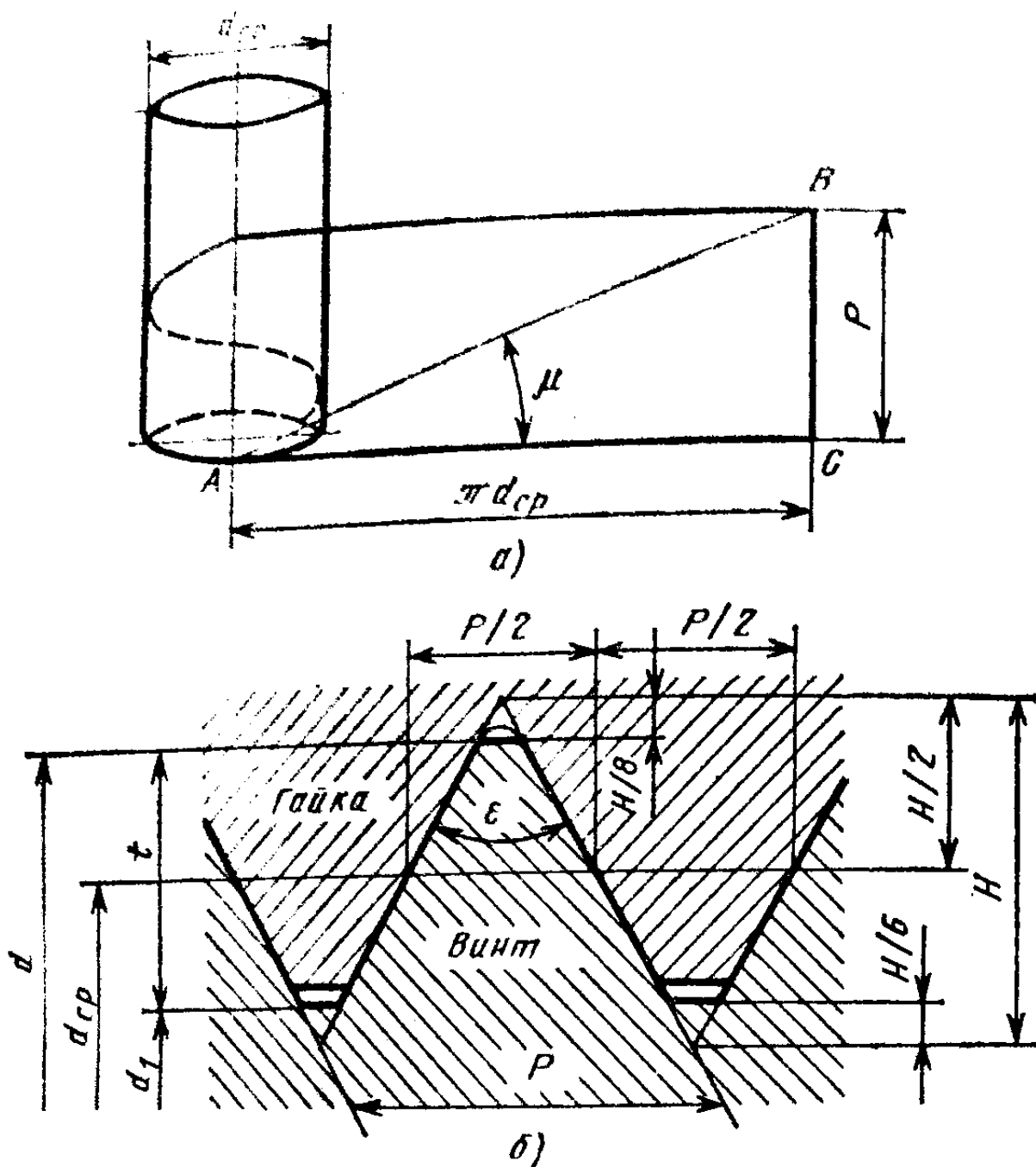


Рис. 19.1. Конструктивные элементы резьбы:

*a* — развертка винтовой линии; *b* — профиль метрической резьбы и его элементы

и правые. Если винтовую поверхность (рис. 19.1, *a*) развернуть на плоскость, то она превратится в гипотенузу прямоугольного треугольника *ABC*. Катет *AC* будет равен длине окружности, а катет *BC* — шагу нарезаемой винтовой линии *P*.

Шагом резьбы называют расстояние между одноименными точками двух соседних витков. Угол подъема винтовой линии  $\mu$  — угол между плоскостью, перпендикулярной оси винтовой поверхности, и касательной к направлению витка. Чем меньше угол, тем меньше опасность самоотвинчивания резьбового соединения. Резьба винта (рис. 19.1, *b*) характеризуется наружным диаметром *d*, внутренним диаметром *d*<sub>1</sub>, средним диаметром *d*<sub>ср</sub>, шагом резьбы *P*, углом профиля резьбы  $\epsilon$  и высотой профиля *t*. Крепежные резьбы основных видов подразделяют на метрические и дюймовые.



*Метрические резьбы* имеют угол профиля  $\epsilon = 60^\circ$ , вершины выступов срезаны, а дно впадин закруглено. Метрические резьбы делят на резьбы с крупным и мелким шагом. Наибольший шаг (6 мм) у метрических резьб. В обозначение резьбы с крупным шагом входит индекс М и диаметр резьбы (М6, М8 и т. д.). Резьбы с мелким шагом также обозначаются индексом М с указанием диаметра и шага резьбы (М12×1 и т. д.).

*Дюймовые резьбы* имеют треугольный профиль с углом  $\epsilon = 55^\circ$ , а диаметр их измеряется в долях дюйма ( $1'' = 25,4$  мм). Шаг резьбы характеризуется числом ниток на один дюйм. Дюймовая резьба обозначается только наружным диаметром  $1''$ ,  $\frac{1''}{2}$ ,  $\frac{1''}{4}$  и т. д. Каждой резьбе соответствует число ниток на 1 дюйм (по справочнику).

## § 19.2. НАРЕЗАНИЕ НАРУЖНЫХ РЕЗЬБ

Для нарезания наружных резьб с шагом до 2 мм используют плашки.

Плашка по своим конструктивным особенностям похожа на гайку, изготовленную из инструментальной стали и имеющую такую же резьбу, как и нарезаемая. В плашке просверлено три-восемь стружечных отверстий, пересекающих резьбовое отверстие (рис. 19.2). При пересечении стружечных отверстий с поверхностью резьбы образуются режущие гребенки. Плашки по обеим сторонам имеют фаски, создающие на гребенках режущие части — заборные конуса. Внутренняя цилиндрическая часть плашки (пять-шесть витков) образует калибрующую часть. Стержень, на котором нарезают резьбу плашкой, должен быть несколько меньшего диаметра, чем диаметр нарезаемой резьбы с учетом условий резания и пластического выдавливания.

Ширина плашки  $h = 2l_1 + l_2$ . Здесь  $l_1$  — длина заборного конуса;  $l_1 = (t + a) \operatorname{ctg} \varphi$ , где  $t$  — высота резьбы;  $a = 0,15 \dots 0,4$  мм;  $\varphi$  — угол заборного конуса;  $2\varphi = 40 \dots 60^\circ$ ;  $l_2$  — длина калибрующей части.

На длине заборного конуса плашка затылуется, при этом образуется задний угол  $\alpha$ . На калибрующей части  $\alpha = 0$ . Передний угол плашки  $\gamma$  образуется стружечными отверстиями и зависит от их диаметра. Передний угол  $\gamma$  на заборном конусе на высоте резьбы не должен превышать  $10\text{—}15^\circ$ . На калибрующей части у круглых плашек

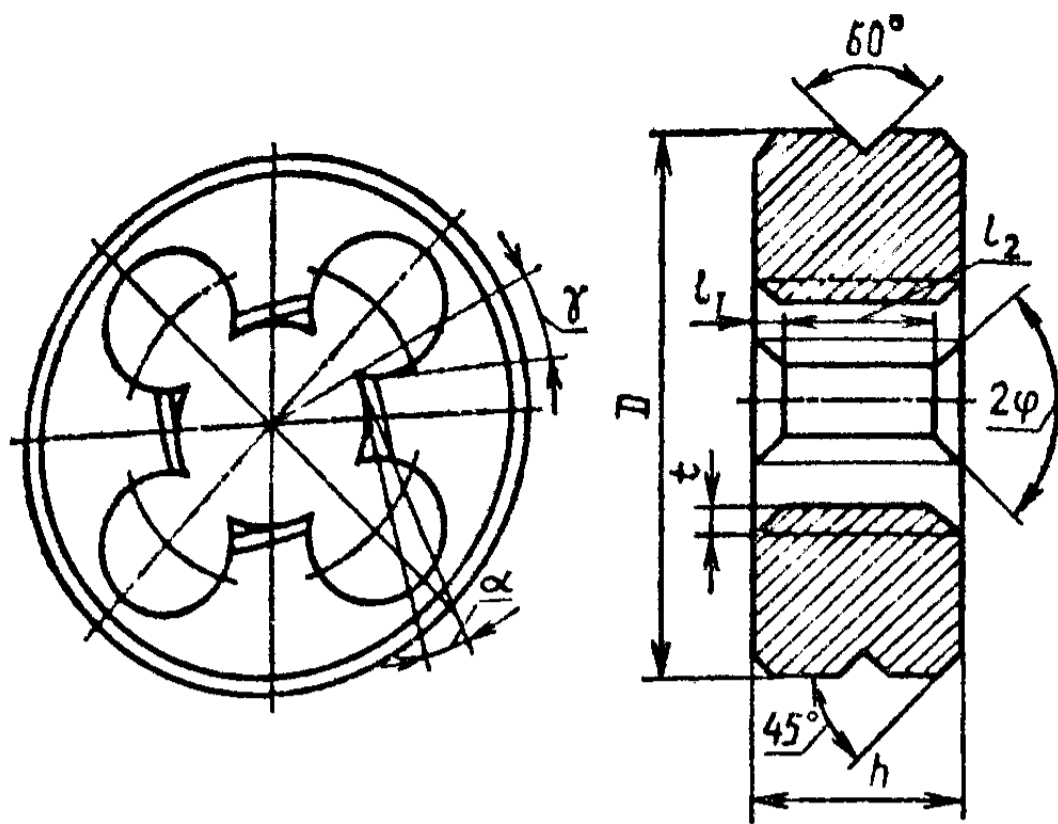


Рис. 19.2. Конструктивные элементы круглой плашки

передний угол  $\gamma$  находится между диаметральной плоскостью, проходящей через рассматриваемую точку лезвия, и касательной к передней поверхности. У круглых плашек  $\gamma = 10 \dots 35^\circ$  и  $\alpha = 6 \dots 8^\circ$  на заборном конусе.

Нарезание резьбы плашками производится с помощью специального держателя. Для закрепления плашки в держателе по наружной поверхности плашки делают конические углубления и продольный паз. Иногда плашки изготавливают регулируемыми. Для этого плашку разрезают по пазу, что дает возможность регулировать диаметр нарезаемой резьбы. Регулирование производится с некоторыми погрешностями профиля и применяется для нарезания резьб с невысокими требованиями к точности.

Заточка плашек производится по передней поверхности стружечных канавок и затылованной части на длине заборной части.

### § 19.3. НАРЕЗАНИЕ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ

Внутренние резьбы диаметром до 20 мм нарезают метчиками (рис. 19.3). Метчик представляет собой винт того же диаметра, шага и угла профиля резьбы, что и нарезаемая резьба. Режущие элементы у метчиков формируются нарезанием продольных канавок с образованием резьбовых гребешков на пересечении канавок с витками резьбы. Резание осуществляется заборной частью метчика, по которой происходит затылование.

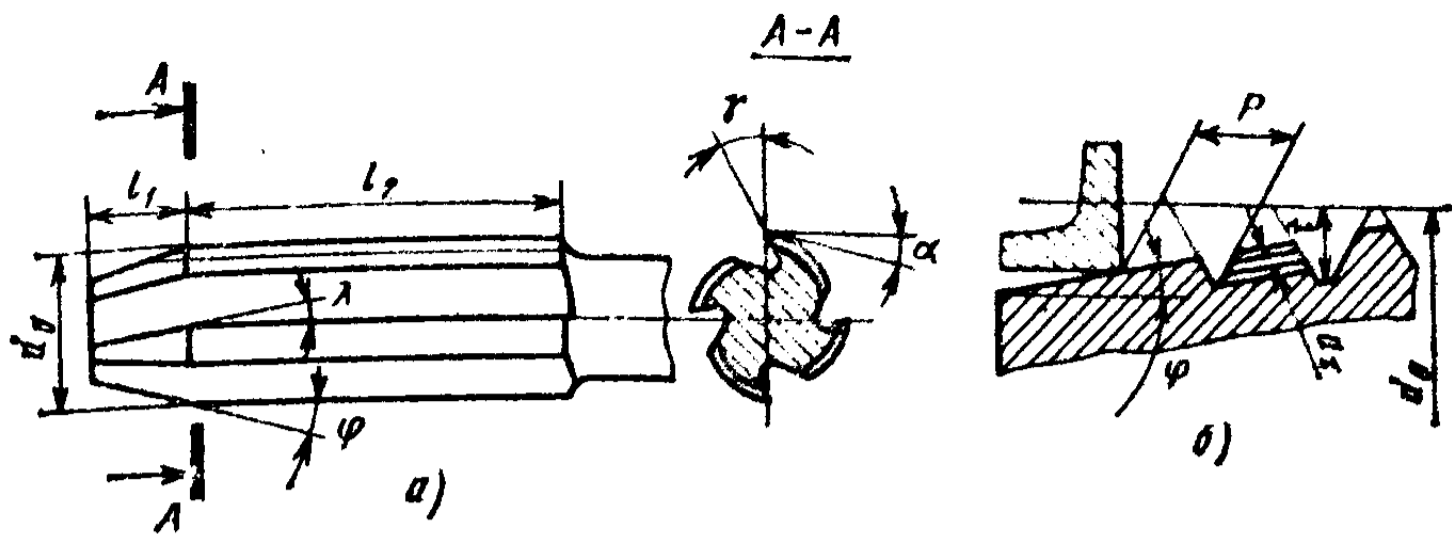


Рис. 19.3. Конструктивные элементы гаечного метчика (а) и схема резания метчиком (б)

Благодаря затылованию образуется задний угол  $\alpha$ . Калибрующая, цилиндрическая часть метчика, не имеющая затылования, имеет  $\alpha = 0$ . Заточка метчиков производится по передней поверхности (по канавкам).

Метчики имеют широкую номенклатуру: ручные, гаечные, машинные, станочные, плашечные и т. д.

Ручные метчики применяют для нарезания резьбы вручную с помощью воротка при ремонтных и слесарных работах. Они бывают одно-, двух- и трехкомплектные. Номер метчика в комплекте обозначается числом рисок на хвостовике. Метчики в комплекте различаются диаметром, длиной заборной части и поэтому выполняют неодинаковые части работы резания. В трехкомплектном наборе черновой метчик срезает 50 %, средний 35 %, чистовой 15 % припуска. Ручные метчики изготовляют из легированной или инструментальной стали.

Машинные метчики применяют для нарезания внутренней резьбы на сверлильных, агрегатных, револьверных и других станках. Машинные метчики нарезают резьбу с шагом до 3 мм за один рабочий ход, а за два-три рабочих хода — резьбу более крупного шага. За два-три рабочих хода обрабатывают также резьбы в труднообрабатываемых материалах, независимо от шага резьбы. Гаечные метчики служат для нарезания резьбы в гайках за один рабочий ход без реверсирования метчика путем нанизывания обработанных гаек на хвостовик метчика.

Плашечные метчики служат для предварительного нарезания резьбы в круглых плашках (до сверления стружечных отверстий). Заборная часть метчика имеет длину  $l_1 = (46 \dots 48) P$  и выполняется конусной по всему профилю.

Маточные метчики служат для калибрования резьбы в круглых плашках после просверливания стружечных отверстий. Заборную часть маточного метчика делают конической по всему профилю с уклоном  $12'$ , калибрующую часть — цилиндрической. Число перьев метчика должно быть не равно числу стружечных отверстий.

Для нарезания резьб в листовых заготовках, а также отверстиях с неравномерным выходом используют бесканавочные метчики. Конструктивной особенностью этих метчиков является наличие коротких канавок на длине  $l = l_1 + (3 \dots 5) P$ , где  $l_1$  — длина заборной части. Канавки расположены под углом  $\omega = 10 \dots 15^\circ$ . Число канавок — две-три.

Для нарезания резьб в глухих отверстиях длина заборного конуса мала:  $l_1 \approx 2P$ , для стандартных гаечных метчиков  $l_1 \approx 12P$ . Для лучшего отвода стружки при нарезании глухих отверстий применяют метчики с винтовыми канавками, направление которых то же, что направление резьбы. Угол подъема канавки  $\omega = 10 \dots 45^\circ$ .

Затылование метчиков производится по заборной части, а при больших диаметрах нарезаемой резьбы ( $d > 10$  мм) и по профилю резьбы.

#### § 19.4. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБ РЕЗЦАМИ И РЕЗЬБОВЫМИ ГРЕБЕНКАМИ

Резьбы с малыми допускаемыми отклонениями от соосности с другими поверхностями и высокой точностью шага нарезают резьбовыми резцами на токарном станке. При этом методе подача всегда численно равна шагу нарезаемой резьбы:  $S = P$ . Режущую часть резьбовых резцов изготавливают из быстрорежущих сталей и твердых сплавов.

Резцы подразделяют на внутренние и наружные. Профиль режущей части резца соответствует профилю нарезаемой резьбы. В процессе нарезания резьбы возможна некоторая «разбивка» профиля, поэтому угол профиля резцов занижают: для быстрорежущих сталей на  $10-20'$ , для твердосплавных на  $20-30'$ . При черновой обработке передний угол у резьбовых резцов  $\gamma = 5 \dots 10^\circ$ , а при чистовой обработке  $\gamma = 0$ . Задние углы на боковых лезвиях равны  $\alpha_1 = \alpha_2 = 6^\circ$ . При такой заточке образуется задний угол под вершиной резца  $\alpha = 12 \dots 15^\circ$ . Во избежание трения обрабатываемого профиля о заднюю поверхность резьбового резца (левую или правую)

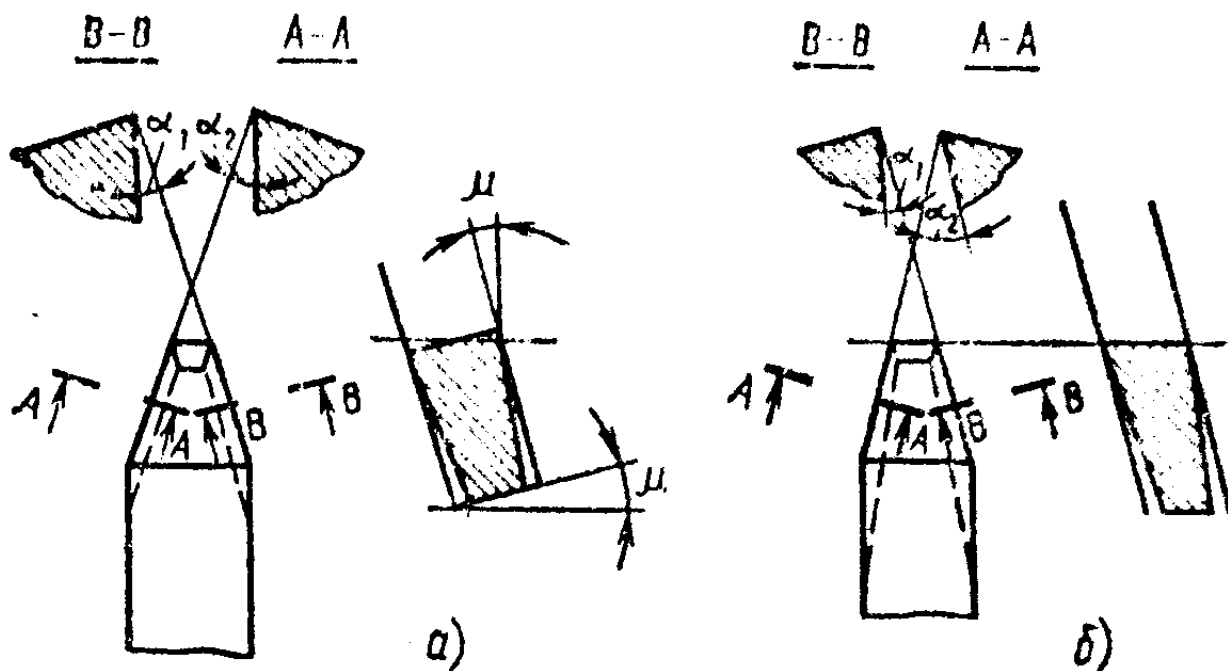


Рис. 19.4. Установка резьбового резца при нарезании трапецеидальной резьбы:

*a* — с поворотом резца на угол наклона винтовой линии; *б* — заточка резца с различными углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$

в зависимости от направления резьбы при большом шаге нарезаемой резьбы (трапецеидальные резьбы) применяют два способа заточки резьбового резца. При первом способе резец, заточенный с одинаковыми задними углами ( $\alpha_1 = \alpha_2$ ), при установке поворачивают на угол подъема витков резьбы  $\mu$  (рис. 19.4, *a*), обеспечивая тем самым равенство задних углов при точении. При втором способе резец затачивают с различными задними углами — левым и правым. Задний угол резца со стороны направления движения подачи делается больше, чем угол подъема винтовой линии резьбы. Для правой резьбы  $\alpha_{2 \text{ зат}} = \alpha_2 + \mu$ , где  $\mu$  — угол подъема витков резьбы. Тогда для левой резьбы  $\alpha_{1 \text{ зат}} = \alpha_1 + \mu$  (рис. 19.4, *б*).

Нарезание резьбы на токарном станке характеризуется скоростью резания  $v$ , продольной подачей, численно равной шагу  $P$ , поперечной подачей  $S_{\text{поп}}$ , схемой срезания припуска из впадины резьбовой канавки (рис. 19.5).

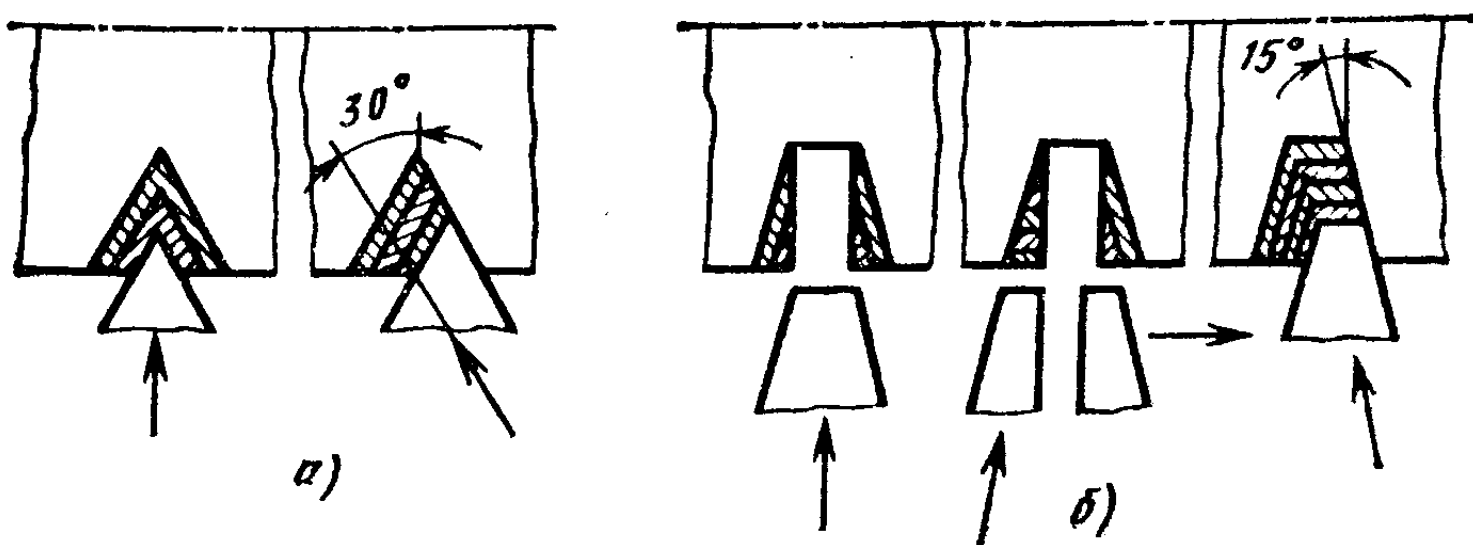


Рис. 19.5. Схема удаления материала при обработке резьбы: *a* — треугольных; *б* — трапецеидальных

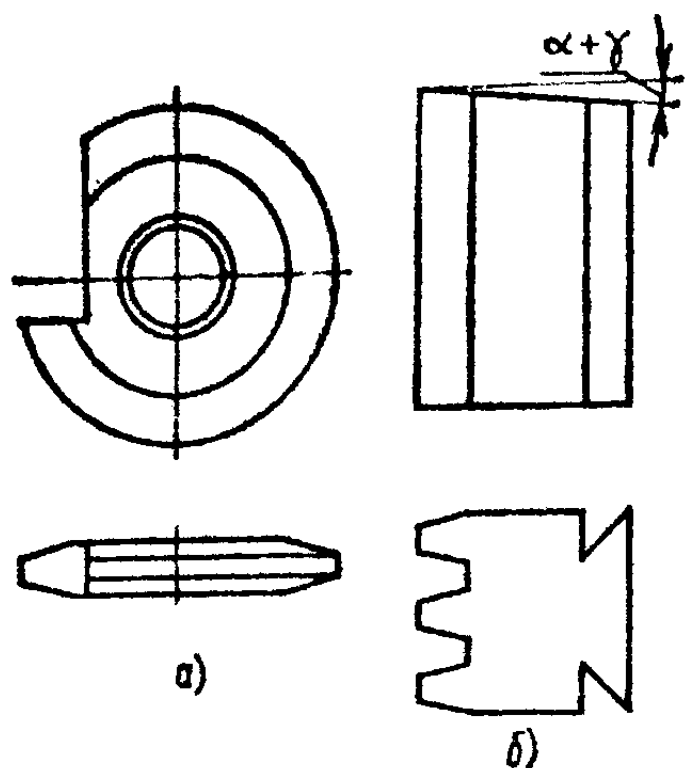


Рис. 19.6. Резьбовые инструменты:

а — круглый резец; б — резьбовая призматическая гребенка

Для удобства наладки и упрощения повторных заточек широко применяют призматические с механическим креплением и круглые резьбовые резцы (рис. 19.6). На токарных станках нарезают одно- и многозаходные резьбы различных шагов, крепежные резьбы (метрические, дюймовые), крепежно-уплотняющие резьбы (трубные, конические), резьбы, передающие движение (прямоугольные, трапецеидальные, упорные, круглые). Для нарезания сквозных внутренних и

наружных резьб часто применяют гребенки — режущий инструмент по профилю и схеме резания, напоминающий перо метчика, т. е. инструмента, имеющего заборную часть — режущую и калибрующую. Гребенками нарезают резьбу на полную высоту профиля за один рабочий ход (рис. 19.6, б).

В случае нарезания многозаходных резьб обработку производят последовательно — каждый заход нарезается после поворота заготовки на  $1/k$  окружности относительно неподвижного резца, где  $k$  — число заходов. Многозаходные резьбы могут обрабатываться одновременно несколькими резцами с подачей, численно равной  $kP$ .

### § 19.5. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ, ШЛИФОВАНИЕМ

Фрезерование резьб осуществляется на специальных резьбофрезерных станках дисковыми резьбовыми фрезами и многоночными фрезами. Движение резания  $D_r$  совершает фреза, режущие зубья которой в нормальном сечении имеют профиль сечения канавки резьбы. Заготовка или фреза совершают движение круговой подачи  $D_{с\text{кр}}$  и поступательной подачи  $D_{с\text{пр}}$  (на один шаг за один оборот заготовки). Фрезерование резьб применяют обычно как предварительный метод обработки (черновой); окончательная обработка производится резцом или шлифовальным кругом. Резьбофрезерованием

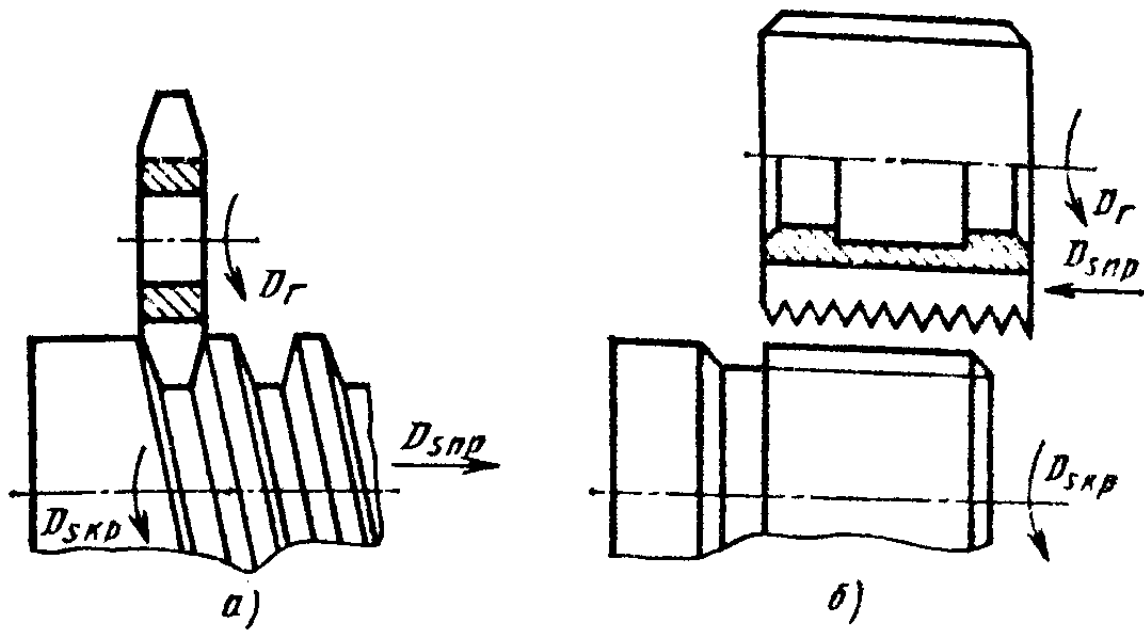


Рис. 19.7. Схемы фрезерования наружной резьбы фрезой:  
 а — дисковой; б — многониточной

нарезают наружные и внутренние резьбы. Схема обработки наружной резьбы дисковой фрезой показана на рис. 19.7, а, а многониточной (гребенчатой) фрезой — на рис. 19.7, б.

Конструктивные элементы зубьев фрез для нарезания резьб выбирают, исходя из тех же соображений, что и при выборе конструктивных элементов обычных дисковых и червячных фрез. При фрезеровании многозаходных резьб фреза (так же как и резец) должна переместиться в направлении образующей на расстояние, равное  $kP$ .

Много общего с резьбофрезерованием имеет вихревое нарезание резьбы. Сущность метода заключается в том, что заготовка вращается с небольшой частотой вращения ( $3-40 \text{ мин}^{-1}$ ). Резьбовой резец или резцы (от одного до четырех), установленный в резьбовой головке, вращаются с частотой вращения  $1000-3000 \text{ мин}^{-1}$ . Резьбовая головка получает также движение подачи и за один оборот заго-

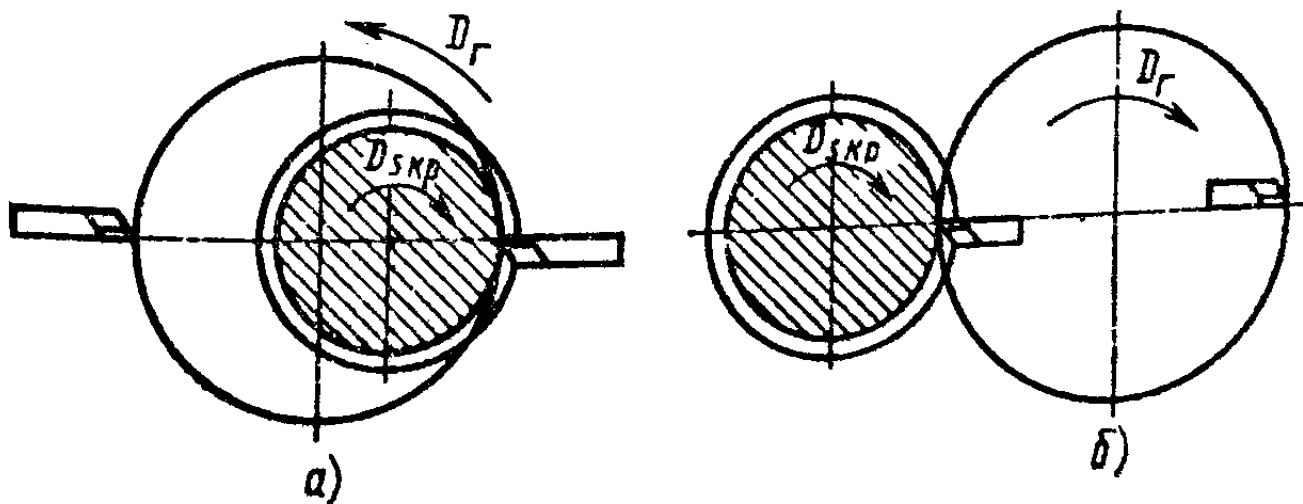


Рис. 19.8. Схемы нарезания резьбы вихревым методом:  
 а — резцовой головкой с внутренними резцами; б — резцовой головкой с наружными резцами

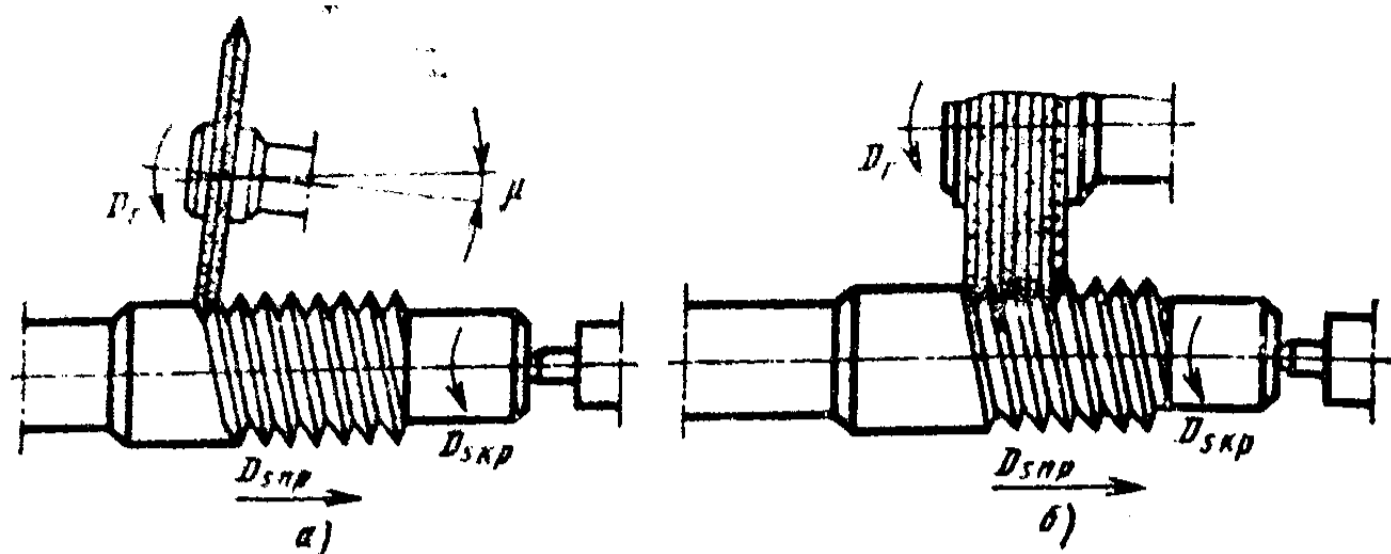


Рис. 19.9. Схемы нарезания резьб на резьбошлифовальном станке кругом:

а — однониточным; б — многониточным

товки перемещается на расстояние, численно равное шагу резьбы  $P$ . Конструктивно резьбовые головки могут быть с внутренним и наружным расположением резцов. Схема нарезания резьбы вихревым методом показана на рис. 19.8. Этот метод обеспечивает малую шероховатость.

Нарезание особо точных резьб малого шага или отделка ранее нарезанных резьб осуществляется на резьбошлифовальных станках. Обработка резьб на этих станках производится однониточными или многониточными шлифовальными кругами (рис. 19.9). Резьбошлифованием обрабатывают как внутренние, так и наружные однозаходные и многозаходные резьбы. Шлифование длинных и многозаходных резьб многониточным кругом характеризуется большой производительностью, так как резьба обрабатывается не одним, а несколькими выступами круга. Профиль резьбы на многониточном круге заправляется на конус и поэтому происходит резание черновое, получистовое и окончательное последними витками круга. В массовом производстве применяют бесцентровое шлифование резьб. Схема резания та же, что и для бесцентрового круглого шлифования, шлифовальный круг — многониточный.

## § 19.6. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫМИ ГОЛОВКАМИ

Резьбонарезные головки применяют для нарезания наружных и внутренних резьб на токарных, сверлильных, агрегатных, револьверных станках и автоматах. В корпусе резьбонарезной головки монтируют гребенки



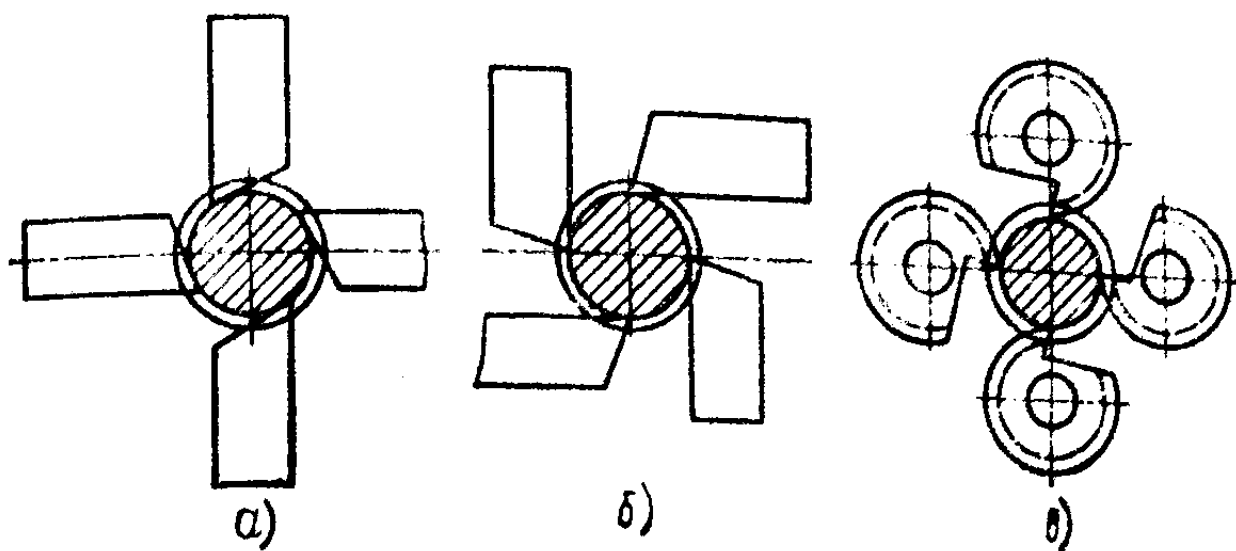


Рис. 19.10. Схемы обработки резьб головкой:

*a* — с радиальными плашками; *б* — с тангенциальными плашками; *в* — с круглыми гребенками

(призматические или круглые), которые после нарезания резьбы автоматически выходят из зоны резания. Таким образом, не требуется обратного хода, реверсирования и цикл резьбонарезания сокращается. Гребенки можно регулировать по среднему диаметру резьбы, их легко также заменить, что делает резьбонарезные головки универсальным инструментом. Гребенки резьбонарезных головок имеют заборный конус под углом  $\varphi$ , равным 15, 20, 30 или 45°.

В зависимости от расположения и конструкции плашек существуют самооткрывающиеся головки трех типов: с плоскими радиальными, с плоскими тангенциальными плашками и круглыми гребенками (рис. 19.10).

### § 19.7. НАКАТЫВАНИЕ РЕЗЬБ

Накатывание резьбы — один из наиболее производительных и экономичных способов в условиях массового и серийного производства. Накатыванием, т. е. пластическим деформированием, получают как внутренние, так и наружные резьбы. Преимуществом накатывания являются экономичность, большая производительность, высокие эксплуатационные свойства накатанных резьб.

Накатывание резьб производится плоскими накатными плашками и резьбовыми роликами (рис. 19.11, *a*, *б*). *Плоскими плашками* резьбы накатывают с тангенциальным движением подачи инструмента на накатываемую заготовку, роликами — с радиальным движением подачи на заготовку. Накатывание резьб плашками производят на специальных станках или на поперечно-строгальных стан-

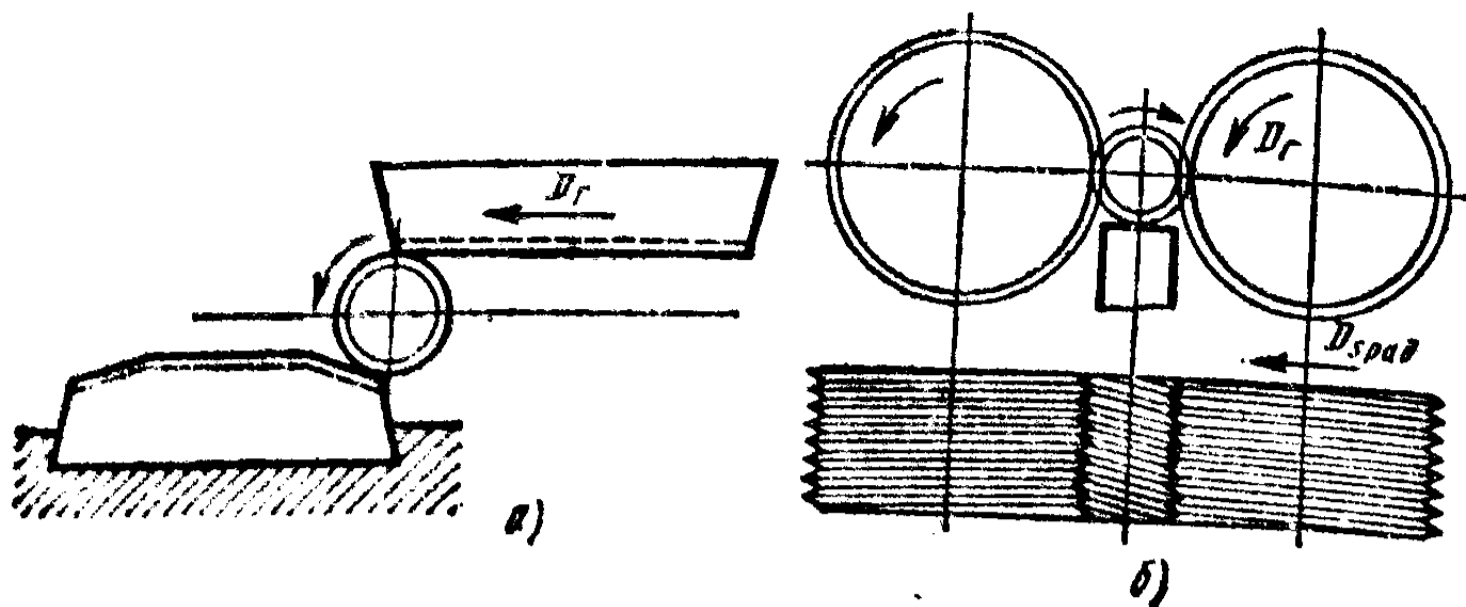


Рис. 19.11. Схема накатывания резьб:  
 а — плоскими плашками; б — роликами

ках. Заготовка прокатывается между подвижной и неподвижной плашками и за рабочий ход на нее наносится профиль требуемой резьбы в соответствии с профилем плашек. Неподвижная плашка (рис. 19.11, а) имеет заборную часть (выполняющую работу формообразования резьбы), калибрующую часть и участок, облегчающий освобождение накатанной детали (сбрасывающий). Неподвижная плашка обычно короче подвижной. Наибольший диаметр накатываемых резьб 25 мм, а наименьший 1 мм. Длина накатываемых резьб — до 80 мм.

*Накатывание резьбы роликами.* При накатывании резьб роликами используют различные варианты движений заготовки или роликов. Накатывание может производиться одним роликом (для резьб диаметром до 15 мм) резьб из цветных металлов и незакаленной стали. Накатывание производится на токарных, револьверных станках и автоматах свободно вращающимся роликом под действием радиальной силы. Накатывание резьб может производиться также двумя или тремя роликами, оси которых параллельны оси вращающейся заготовки. Диаметр накатываемой резьбы в этом случае не превышает 120 мм.

При накатывании резьб двумя или тремя роликами (рис. 19.11, б) одинакового или разных диаметров они принудительно вращаются в одном направлении, а заготовка, поданная вручную или автоматически, захватывается ими и вращается вокруг своей оси, одновременно перемещаясь между роликами. Относительно продольной оси ролики смещены на  $1/2$  шага при накатке двумя роликами и на  $1/3$  шага при накатке резьбы тремя роликами. Радиальное движение подачи  $D_{\text{рад}}$  осуществляется одним из роликов. Радиальная подача на оборот заготовки

равна 0,04—0,3 мм/об в зависимости от обрабатываемого материала и шага накатываемой резьбы. Скорость накатывания 0,2—2 м/с и также зависит от обрабатываемого материала (цветные металлы, стали, жаропрочные материалы).

Производится также накатывание внутренних резьб одним, двумя или тремя накатными роликами со свободным и принудительным осевым движением подачи. Обработку крупных резьб и резьб больших диаметров накатными роликами ведут по предварительно обработанным (механически) виткам резьбы.

Внутренние резьбы в заготовках из легких сплавов можно также получить внутренним накатыванием. Инструмент — накатник, напоминающий по форме метчик, но без стружечных канавок. Этим методом формообразования резьбы получают высокую степень точности и малую шероховатость поверхности ( $Rz = 0,32...0,4$  мкм).

Накатывание резьб выполняют с подачей СОТС с высокими смазывающими свойствами (сульфофрезол и т. п.). Накатанная резьба обладает высокими эксплуатационными свойствами и применяется на силовых шпильках двигателя и других ответственных соединениях механизмов и машин.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какими геометрическими параметрами характеризуется резьба?
2. Назовите методы нарезания наружных резьб.
3. Назовите методы нарезания внутренних резьб.
4. Какие инструменты применяют для формообразования наружных и внутренних резьбовых поверхностей?

ГЛАВА 20. ЗУБОРЕЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ  
И ЗУБОНАРЕЗАНИЕ§ 20.1. ИНСТРУМЕНТЫ, РАБОТАЮЩИЕ  
ПО МЕТОДУ КОПИРОВАНИЯ

Наибольшее распространение в машиностроении получили зубчатые передачи с малочувствительным к изменению межцентрового расстояния эвольвентным зацеплением. И следовательно, основная масса зубообрабатывающих инструментов, станков и оснастки предназначена для воспроизведения соответствующих этому зацеплению эвольвентных профилей и дна впадины на заготовках. Для получения этих профилей используют два принципиально различных метода формообразования: копирования и обката.

При методе копирования применяют инструменты, профиль режущей кромки которых совпадает с профилем впадины и при обработке копируется на заготовке. Сложный (эвольвентный) профиль режущей кромки такого инструмента позволяет выполнять обработку по этому методу при минимальном числе формообразующих движений на станках с простой кинематикой. При методе обката профиль режущей кромки отличается от профиля впадины, которая получается как огибающая нескольких последовательных положений инструмента. Режущая кромка этого инструмента при обработке эвольвентного профиля получает дополнительные движения формообразования, что усложняет кинематическую схему станка.

Таким образом, все зубообрабатывающие инструменты могут быть разделены на инструменты, работающие по методу копирования, и инструменты, работающие по методу обката.

К инструментам, работающим по методу копирования, относятся дисковые и пальцевые модульные фрезы, используемые в единичном производстве, зуборезные головки и протяжки, применяемые в массовом производстве.

Дисковые модульные фрезы (рис. 20.1, а) — это фасонные фрезы с затылованными зубьями. Их основное преиму-

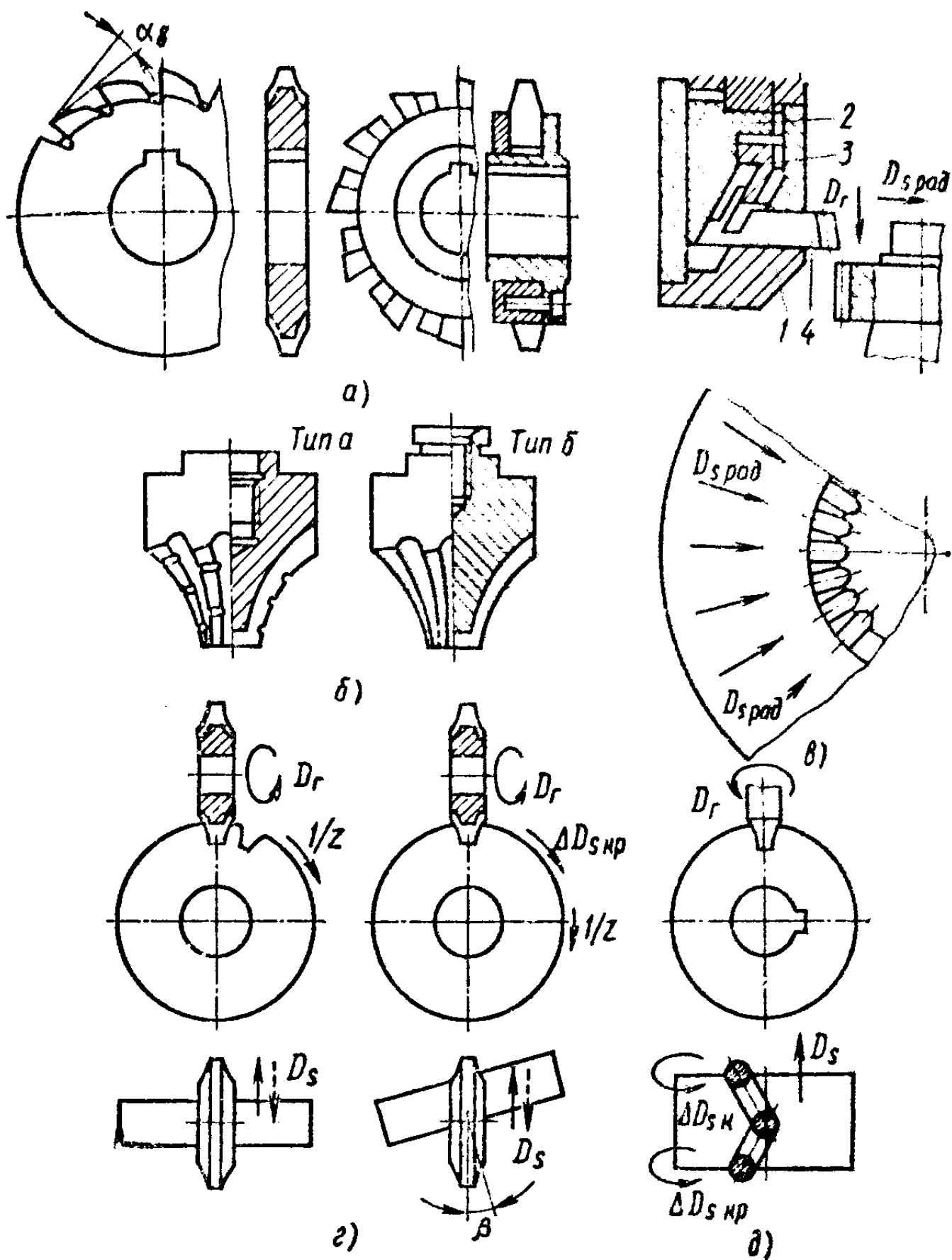


Рис. 20.1. Схемы обработки и инструменты, работающие по методу копирования:

*a* — дисковые модульные фрезы; *б* — пальцевые модульные фрезы; *в* — много-резцовая головка; *г* — схемы нарезания цилиндрических колес дисковыми и модульными фрезами; *д* — схема нарезания шевронного колеса пальцевой модульной фрезой

щество в том, что они позволяют обрабатывать прямозубые и косозубые зубчатые колеса на универсальных фрезерных станках, а также нарезать крупномодульные колеса. Обработка колес на универсальных фрезерных станках сопровождается погрешностями периодического деления, выполняемого делительной головкой, что вместе с погрешностями установки фрезы и отклонениями ее профиля не позволяет получить колеса выше 10-й и 9-й степеней точности. Отклонение профиля связано не только с погрешностями, возни-

кающими при изготовлении фрезы, но также и с тем, что каждому числу зубьев соответствует свой профиль. Но иметь в условиях единичного производства для каждого числа зубьев свою фрезу экономически нецелесообразно, и поэтому приходится применять один и тот же инструмент для нарезания группы колес с близкими числами зубьев.

В основном наборе дисковых модульных фрез (до модуля  $m = 8$ ) весь диапазон чисел зубьев с  $z = 12$  и до  $\infty$  (рейка) разбит на восемь групп, каждой из которых соответствует фреза своего номера:

Номер фрезы . . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Число зубьев колеса . . . . .	12— 13	14— 16	17— 20	21— 25	26— 34	35— 54	55— 134	135 и более

С увеличением модуля усиливается влияние числа зубьев на профиль зуба, из-за чего для модулей колеса  $m > 8$  диапазон зубьев разбивают не на 8, а на 15, а для более точных колес — на 26 номеров фрез.

Обработку крупномодульных колес выполняют за два рабочих хода: черновой (подготовительный) и чистовой. Предварительная обработка выполняется фрезой сборной конструкции с зубьями упрощенного прямолинейного профиля и передним углом  $\gamma = 8 \dots 10^\circ$ .

Сборные дисковые фрезы (рис. 20.1, а) оснащают ножами, затачиваемыми отдельно и при сборке вставляемыми в гнезда корпуса, где их перед закреплением выставляют на размер специальными клиньями. Вставные ножи сборных фрез так же, как и мелкомодульные ( $m = 1$  мм) дисковые фрезы, изготавливают из твердых сплавов ВК6 и ВК8.

Чистовую обработку выполняют, имея небольшой припуск чистовыми цельными фрезами, изготовленными из быстрорежущих сталей повышенной производительности Р9К5, Р9К10, Р10К5Ф5 по ГОСТ 19265—73.

Пальцевые модульные фрезы (рис. 20.1, б) используют для нарезания крупномодульных прямозубых, косозубых и шевронных колес. Чистовые пальцевые фрезы выполняют с затылованными зубьями ( $z = 2 \dots 8$ ), затачиваемыми по передней поверхности ( $\gamma = 0$ ). Черновые пальцевые фрезы для улучшения условий резания имеют  $\gamma \leq 8^\circ$  и канавки на режущих зубьях для дробления стружки. Режущую часть пальцевых модульных фрез изготавливают из легированных и быстрорежущих сталей типа Р6М5.

Черновые и чистовые пальцевые фрезы выполняют цельной и сборной конструкции, крепят на станке с помощью резьбы и центрируют внутренней цилиндрической выточкой либо наружной проточкой.

При нарезании зубчатых колес дисковыми и пальцевыми модульными фрезами главное движение резания сообщается (рис. 20.1, а, б) инструменту, а движения подачи — заготовке, установленной в делительном приспособлении на столе станка. Направление движения подачи при обработке прямозубых колес совпадает с направлением зуба. Таким же образом направлено движение подачи при нарезании косозубых колес дисковой модульной фрезой, но при этом стол фрезерного станка разворачивают на угол  $\beta$  наклона зубьев и его ходовой винт зубчатыми передачами связывают со шпинделем делительной головки, где установлена заготовка. При нарезании косозубых и шевронных колес пальцевой модульной фрезой стол не разворачивают, но вращение его ходового винта передается зубчатыми колесами заготовке, установленной в шпинделе делительного устройства на столе.

В результате сложения движения стола и поворота заготовки нарезается наклонный или шевронный зуб (рис. 20.1, в).

Зуборезные (зубодолбежные) головки (рис. 20.1, г) представляют собой сложное устройство, в корпусе 1 которого установлены специальные резцы 4, перемещаемые в радиальном направлении сводящим 2 (при рабочем ходе) и разводящим 3 (при вспомогательном ходе) кольцами. Особенность работы зуборезных головок заключается в том, что резцы головки, по своему числу и профилю режущей кромки, совпадающие с числом и профилем впадин колеса, в процессе обработки постепенно подаются к центру колеса, обеспечивая одновременное нарезание всех зубьев. Зуборезные головки, так же как и протяжки, предназначены для нарезания зубьев лишь на одном определенном колесе. Использование головок требует применения специального оборудования и потому целесообразно лишь в массовом и крупносерийном производстве.

Наряду с нарезанием в массовом производстве все большее распространение получает накатывание зубчатых деталей (зубчатых колес, шлицевых валов, цепных звездочек и т. д.) инструментом, работающим по методу копирования.

## § 20.2. ИНСТРУМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ОБКАТА

Инструменты, работающие по методу обката, более универсальны, так как позволяют нарезать одним инструментом данного модуля колеса того же модуля с любым числом зубьев. Замена периодических делительных и связанных с ними вспомогательных движений (метод копирования) непрерывными делительными движениями, характерными для метода обката, не только повышает производительность, но и увеличивает точность обработки путем устранения случайных отклонений профиля. При нарезании по методу обката цилиндрических колес с прямым и винтовым зубом в процессе обработки имитируется зацепление воображаемого зубчатого колеса или рейки с нарезаемым колесом-заготовкой. Роль воображаемого зубчатого колеса выполняет инструмент — зуборезный долбяк, а роль рейки — зуборезные гребенки или червячные модульные фрезы.

Зуборезные долбяки представляют собой эвольвентные колеса, прямые или винтовые, зубья которых изготовлены в виде режущих элементов. Эти элементы у прямозубых долбяков (рис. 20.2, б) ограничены передней конической поверхностью с  $\gamma = 5^\circ$  и задними поверхностями, две из которых эвольвентные, а третья, коническая, расположена при вершине зуба и образует задний угол  $\alpha_{\text{в}} = 6...7^\circ$ . Для увеличения срока службы долбяка, повторно затачиваемого по передней поверхности, последняя смещена на величину  $a$  относительно исходного контура, в котором профиль зуба соответствует профилю и размерам некоррегированного колеса.

Габаритные размеры долбяка определяются диаметром делительной окружности в исходном сечении  $d_{\text{д}}$ , числом зубьев  $z_{\text{д}}$  и высотой долбяка  $H$ . Согласно ГОСТ 9323—79 принят ряд номинальных диаметров долбяка ( $d_{\text{д}} \approx mz_{\text{д}}$ ): 25, 38, 50, 80, 100, 125, 160 и 200 мм. Размеры долбяка оказывают влияние на конструкцию (рис. 20.2, г) его крепежной части, которую у мелкомодульных долбяков выполняют в виде хвостовика, а у крупномодульных — в виде посадочного отверстия в диске, чашке или втулке, на периферии которых выполнены режущие зубья. Эти зубья изготавливают за одно целое с корпусом долбяка либо образуют с ним сборную конструкцию (для  $m = 10...40$  мм), в которой их закрепляют. Материалом для изго-



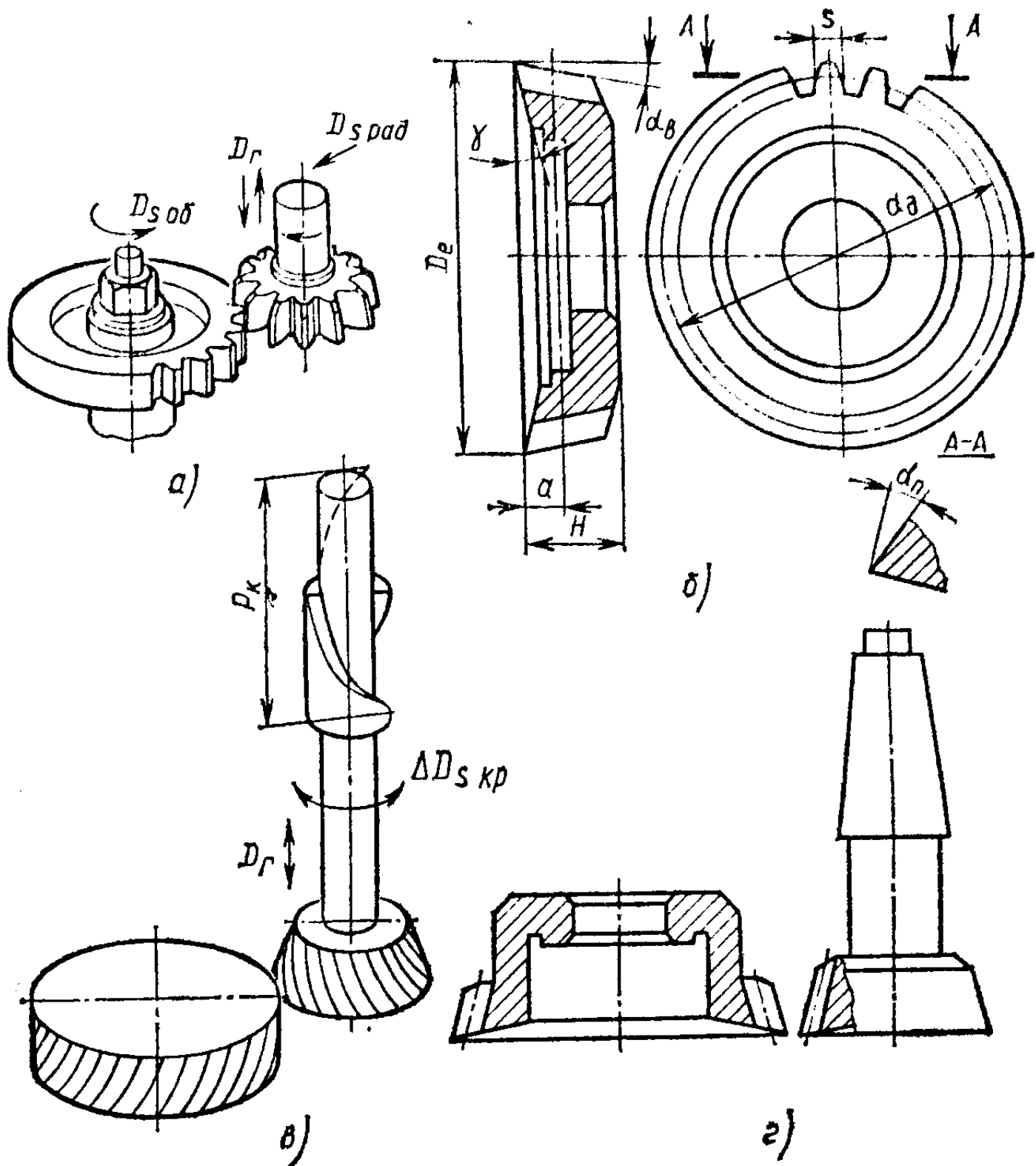


Рис. 20.2. Схемы работы и конструкции зуборезных долбяков

товления долбяков служат быстрорежущие стали. Долбяк и обрабатываемое колесо при зубонарезании обкатываются по начальным окружностям без проскальзывания.

Из схемы формообразования впадины колеса (рис. 20.3, а), на которой показан ряд последовательных положений (обозначены цифрами 0, 1, 2, 3 и т. д.) режущих кромок долбяка, следует, что толщина срезаемого слоя при зубодолблении является величиной переменной не только при каждом последующем ходе долбяка, но и в течение срезания одного слоя. Наибольшую толщину срезаемого слоя снимают режущие кромки, расположенные по вершинам зубьев, а наименьшую — боковые выходные режущие кромки. С увеличением модуля нарезаемого колеса воз-

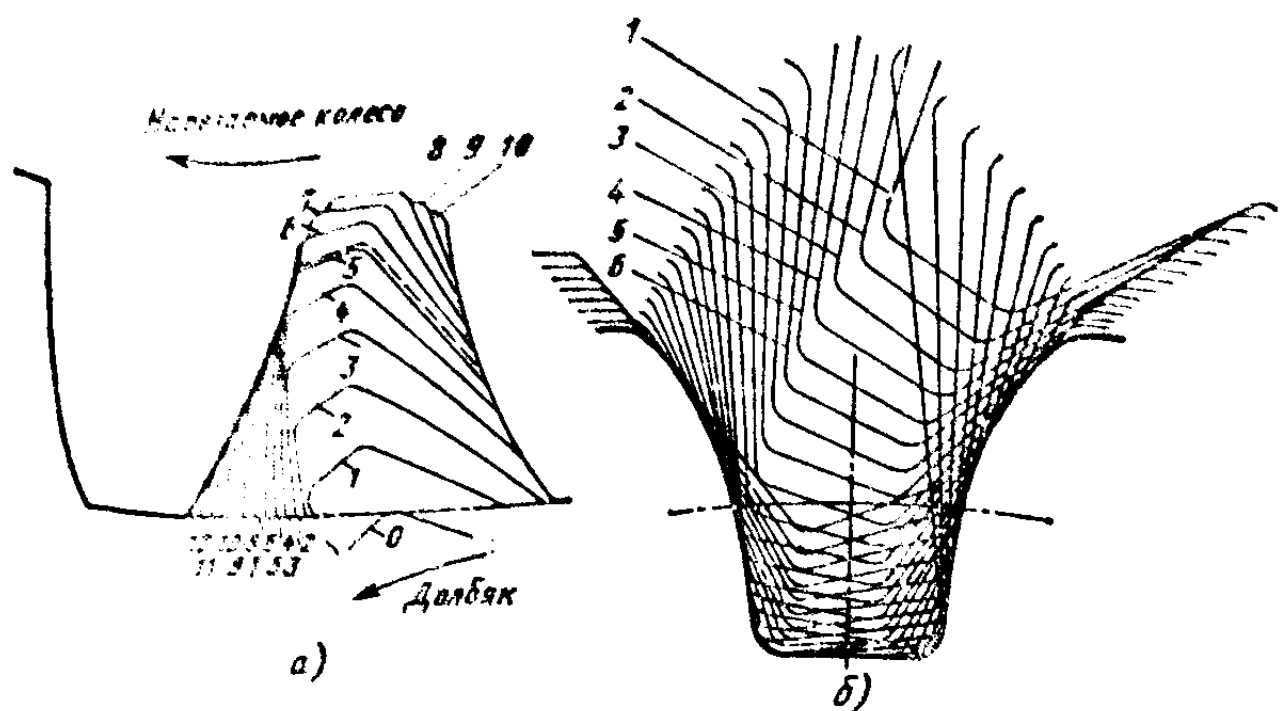


Рис. 20.3. Схемы образования эвольвентного профиля при обработке зуборезным долбяком (а) и червячной модульной фрезой (б)

растает число рабочих ходов долбяка, необходимых для образования одной впадины, но средняя толщина срезаемого слоя при этом остается практически постоянной, так как изменяется только пропорционально скорости движения обката.

Главным движением резания при зубодолблении является поступательное перемещение долбяка, состоящее из рабочего (см. рис. 20.2, а) хода, при котором срезается стружка, и вспомогательного хода, при котором заготовка для устранения трения отводится от долбяка. Движениями подачи являются: радиальное врезание  $D_{\text{рад}}$  долбяка на высоту зуба и обкат долбяка и заготовки. При нарезании колес с винтовым зубом (см. рис. 20.2, в) используемый косозубый долбяк, винтовые линии зубьев которого противоположны направлению зубьев нарезаемого колеса, совершает главное движение резания по винтовой линии. Для создания нормальных условий резания передние поверхности зубьев косозубых долбяков затачивают отдельно у каждого зуба.

Долбяками нарезают прямозубые и косозубые колеса внешнего и внутреннего зацепления, а также шевронные колеса. Точность обработки при зубодолблении соответствует 6—7-й степени при  $Rz = 15...30$  мкм. При этом для чистовой обработки применяют долбяки классов точности АА, А, В, а для предварительной — долбяки класса С.

Зуборезная гребенка представляет собой прямозубую или косозубую рейку, зубья которой превращены путем заточки в резцы (рис. 20.4). Прямозубые гребенки исполь-

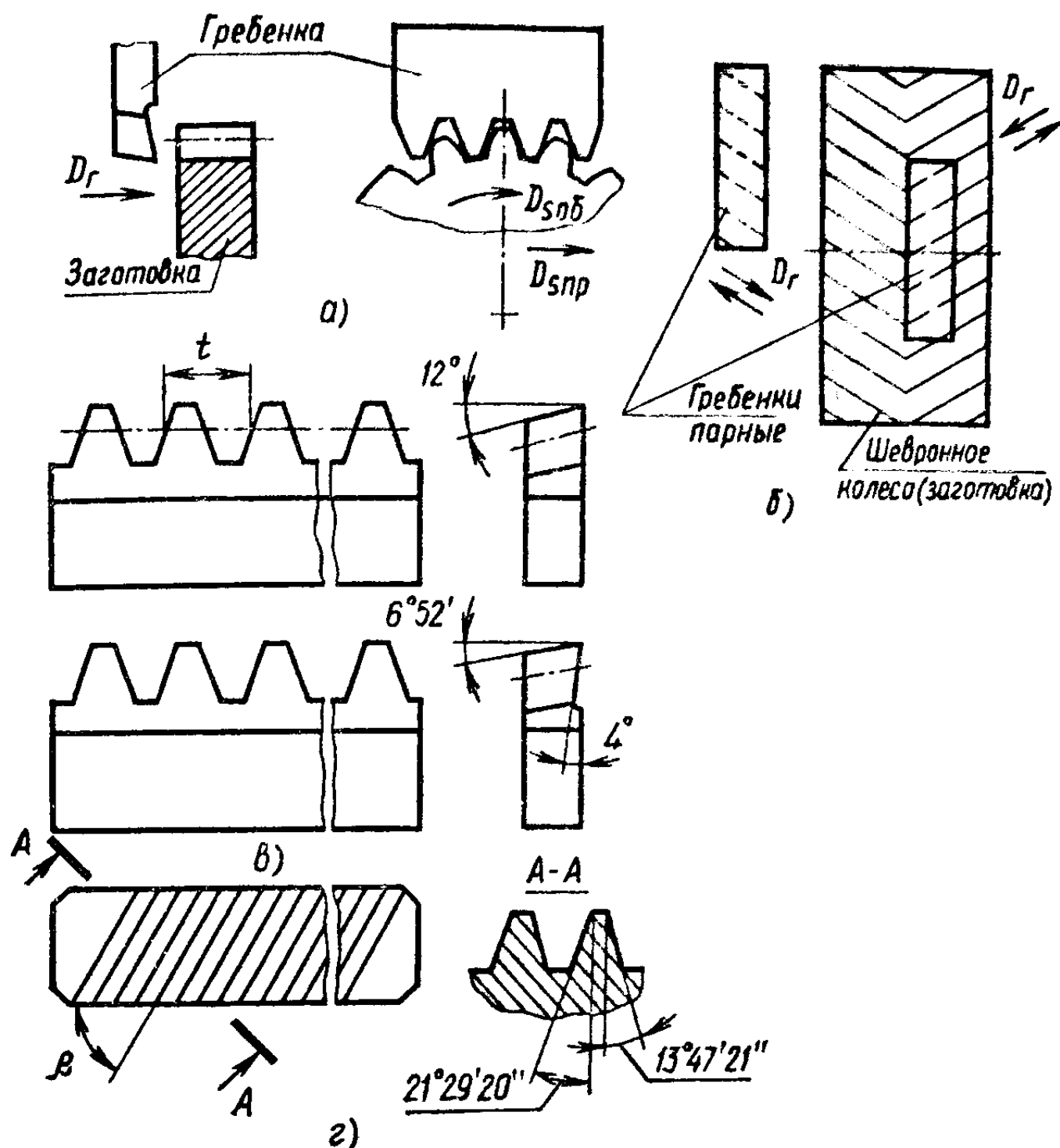


Рис. 20.4. Схемы работы и конструкции зуборезных гребенок

зуют для нарезания цилиндрических колес, а косозубые — для нарезания шевронных колес, причем такими гребенками можно нарезать шевронные колеса без канавки (см. рис. 20.4, б). Прямозубые гребенки изготавливают двух типов: гребенки (см. рис. 20.4, в), у которых положительное значение переднего угла обеспечивается ее наклоном при установке (под углом  $6^{\circ}30''$ ) на станке, и гребенки с передним углом  $\gamma = 4^{\circ}$ , устанавливаемые перпендикулярно направлению скорости резания. Различают гребенки для предварительного (чернового) и для чистового нарезания. Гребенки для чистового нарезания имеют несколько большую ширину зуба. Рабочую часть гребенок выполняют из быстрорежущей стали, а крепежную, привариваемую к рабочей части, — из стали 45 или 40Х.

В процессе обработки нарезаемое колесо своей начальной окружностью обкатывается по начальной прямой гре-

бенки (см. рис. 20.4, а). Главное движение резания — возвратно-поступательное перемещение — получает гребенка, которая при рабочем ходе снимает стружку, а при вспомогательном ходе для уменьшения трения она отводится от заготовки. Движение обката (движение подачи) складывается из медленного вращения заготовки и связанного с ним поступательного перемещения гребенки вдоль начальной прямой. Число рабочих ходов гребенки, а следовательно, и толщина срезаемого слоя при нарезании одной впадины зависят только от скорости движения обката. В связи с тем, что длина гребенки короче длины начальной окружности колеса, в станке предусмотрен механизм, позволяющий после нарезания каждого одного-трех зубьев отводить гребенку в исходное положение для продолжения обработки.

Особенностью нарезания шевронных колес является использование работающих в паре косозубых гребенок с углом наклона зубьев  $\beta = 30^\circ$ . Каждая из гребенок обрабатывает свою сторону шеврона, при этом происходит возвратно-поступательное движение резания. Гребенки, работающие в паре, изготовляют комплектами, а для улучшения условий резания заточку переднего угла на гребенках делают с двух сторон (рис. 20.4, з).

По точности изготовления все гребенки делят на два класса: класс А — для нарезания колес 8-й степени точности и класс В — для нарезания колес 9-й степени точности.

Червячная зуборезная фреза может быть представлена в виде совокупности закрепленных на цилиндрической поверхности гребенок либо в виде червяка, витки которого превращены в режущие зубья прорезанием поперечных канавок так, что на них образуются передние углы  $\gamma$ , и затылованием зубьев для получения задних углов  $\alpha$ .

Основой профиля стандартных червячных фрез является конволютный червяк, витки которого в сечении, нормальном к направлению витка, имеют прямолинейный профиль исходной зубчатой рейки (рис. 20.5, б). Профиль исходной рейки характеризуется углом профиля  $\alpha_n = 20^\circ$ , шагом зубьев  $P_n = \pi m$ , расчетной высотой зуба  $h_n$  и его головки  $h'$ , а также толщиной зуба фрезы по нормали  $s_n = P_n - s_n$ , где  $s_n$  — толщина зуба нарезаемого колеса по нормали.

По назначению различают червячные фрезы для нарезания цилиндрических прямозубых и косозубых колес, для

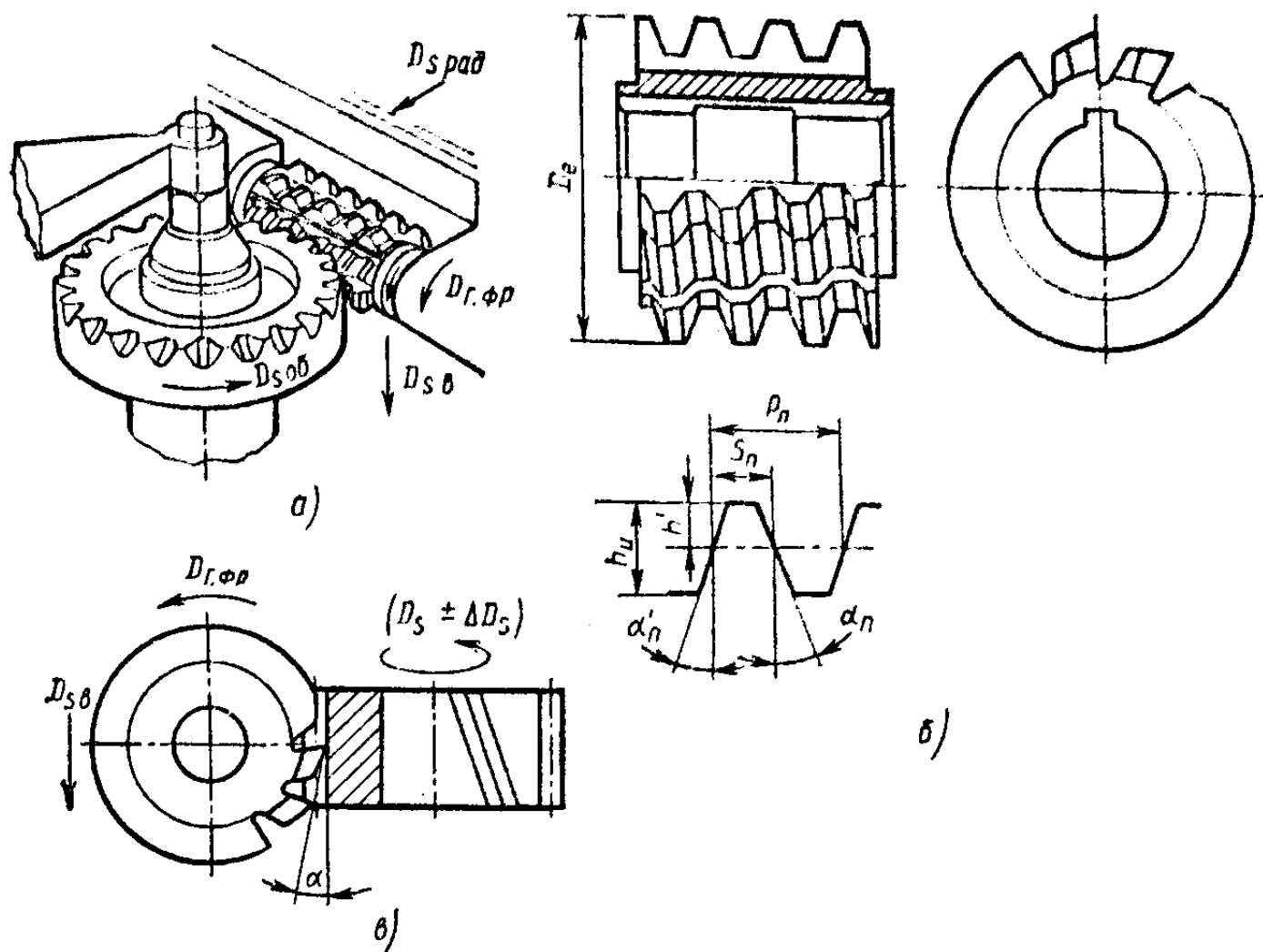


Рис. 20.5. Схемы работы и конструкции червячных фрез

обработки червячных колес, шлицевых валов, звездочек и т. д. По конструкции червячные фрезы бывают цельными и сборными, могут закрепляться на оправках (насадках) или с помощью хвостовиков.

Предварительную обработку выполняют черновыми червячными фрезами, у которых передний угол  $\gamma = 5 \dots 7^\circ$ , а толщина зуба меньше, чем у чистовых фрез на величину, равную припуску. Окончательную обработку осуществляют чистовыми фрезами с  $\gamma = 0$  и размерами по ГОСТ 9324—80Е. Для прецизионной обработки (например, изготовление турбинных передач) выпускают особоточные фрезы класса точности ААА, выполняемые обычно с увеличенным диаметром. Между классом точности фрез и классом точности нарезаемых колес существует соотношение: классы точности фрезы ААА, АА, А, В, С соответствуют классам точности колеса 5—6, 7, 8, 9, 10.

В связи с тем, что червячные фрезы классов точности ААА, АА, А, В обрабатывают шлифованием, их режущую часть приходится изготавливать из быстрорежущих сталей Р6М5 и Р12. У фрез со шлифованным профилем необходимо делать двойное затылование. Для обеспечения благоприятных условий резания при зубонарезании затылование на вершинах зубьев необходимо выполнять с  $\alpha_B =$

$= 10...12^\circ$ , что позволит обеспечить задние углы на боковых сторонах зубьев  $\alpha_b = 2...3^\circ$ . Наряду с затылованными при черновой обработке находят применение сборные червячные фрезы с острозаточенным зубом ( $\alpha = 10...12^\circ$ ,  $\gamma = 10...15^\circ$ ). Для увеличения стойкости и повышения в 2...3 раза производительности сборных фрез в их конструкции используют повторно незатачиваемые пластины или режущие гребенки, изготовленные из твердого сплава ВК6М, ВК8, Т5К10, Т15К6 и т. д.

При зубофрезеровании в формообразовании впадины колеса (см. рис. 20.3, б) участвуют режущие кромки, расположенные по вершинам и боковым поверхностям зубьев фрезы. При этом режущие кромки, расположенные по вершинам, снимают средние толщины срезаемого слоя, в 3 раза большие, чем толщины слоя, срезаемого боковыми режущими кромками. Число срезаемых слоев, приходящихся при зубофрезеровании на одну впадину колеса, возрастает с увеличением числа канавок на фрезе, снижая толщину срезаемого слоя и уменьшая нагрузку на зуб фрезы.

При нарезании прямозубых и косозубых колес червячными модульными фрезами имитируется зацепление обрабатываемого колеса с червяком, роль которого выполняет червячная фреза. За главное движение резания принимают вращение (рис. 20.5, а) фрезы, частоту  $n_f$  которого для создания движения обката согласуют с вращением заготовки так, чтобы за время одного оборота фрезы заготовка повернулась на  $k/z_3$  — часть оборота, где  $k$  — число заходов червячной фрезы. Для радиального врезания фрезы в заготовку и нарезания зубьев по всей ее высоте фрезе соответственно сообщают радиальное движение подачи  $D_{\text{рад}}$  и вертикальное движение подачи  $D_{\text{св}}$ , направленное вдоль оси нарезаемого колеса. Перед обработкой червячную фрезу разворачивают так, чтобы направление ее винтовой линии совпадало с направлением нарезаемых зубьев. Заготовке косозубого колеса дифференциал, установленный в цепи обката станка, сообщает дополнительное вращение  $\pm \Delta D_s$ , обеспечивающее при сложении с  $D_{\text{св}}$  формообразование винтовых зубьев колеса. Знак дополнительного поворота  $\Delta D_s$  зависит от совпадения или несовпадения направления винтовой линии зуба колеса с направлением вращения заготовки (рис. 20.5, в).

При черновом зубофрезеровании расстояние, на которое перемещается фреза в радиальном направлении, выби-

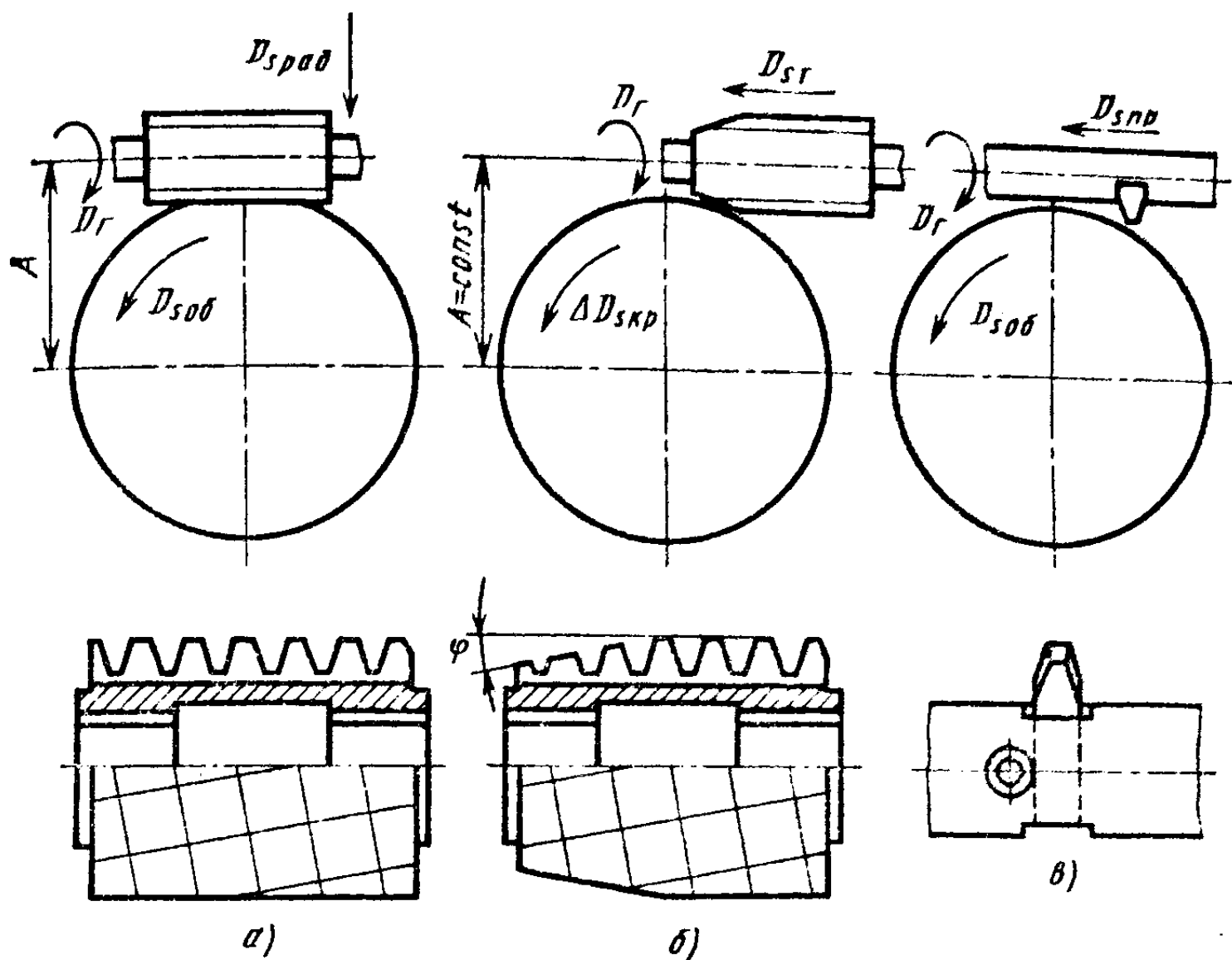


Рис. 20.6. Схемы обработки и инструменты для нарезания червячных колес

рают обычно таким, чтобы всю обработку выполнить за один рабочий ход. Чистовое зубонарезание выполняют за несколько рабочих ходов, последний из которых проводится с радиальным припуском 0,10—0,15 мм, обеспечивая при этом шероховатость  $Ra = 6,3 \dots 0,8$  мкм. В зависимости от направления подачи  $D_{св}$  относительно скорости резания различают попутное и встречное зубофрезерование. Попутное зубофрезерование обеспечивает меньший износ инструмента и соответствует меньшей шероховатости, но требует отсутствия свободного хода в механизме подачи ( $D_{св}$ ) станка (рис. 20.5, в).

Особенностью червячных фрез, используемых для нарезания червячных колес, является точное соответствие их основных размеров (диаметр фрезы, шаг, угол наклона винтовой линии) размерам червяка, с которым будет работать в паре обрабатываемое колесо. Выбор типа червячной фрезы зависит от вида профиля (архимедов, эвольвентный, конволютный) червяка, червячной передачи и от используемого метода фрезерования: с радиальным или тангенциальным движением подачи. Фрезы для фрезерования с тангенциальной подачей (рис. 20.6, б) на длине 2—2,5

витков имеют заборный конус с  $\varphi = 20...25^\circ$ . В зависимости от размеров фрезы выполняют насадными или хвостовыми.

При фрезеровании с радиальным движением подачи  $D_{с\text{рад}}$  (рис. 20.6, а) фрезе и заготовке сообщаются согласованные вращения, имитирующие червячную передачу, и радиальное движение подачи  $D_{с\text{рад}}$  фрезы, продолжающееся до момента достижения межосевого эксплуатационного расстояния  $A$ . Расстояние, на которое фреза перемещается в радиальном направлении, устанавливают при наладке станка и ограничивают упором.

При фрезеровании с тангенциальным движением подачи межосевое расстояние  $A$  устанавливают перед обработкой и в последующем не изменяют. Заготовке и фрезе при обработке сообщаются согласованные вращение и тангенциальное движение подачи  $D_{с\text{т}}$ . Так как червячная фреза совершает согласованное с заготовкой вращение и тангенциальное движение, заготовка выполняет дополнительный поворот  $\Delta D_{с\text{кр}}$ , обеспечиваемый с помощью дифференциала станка. При нарезании по методу тангенциального движения подачи основная часть припуска снимается заборным конусом фрезы, а цилиндрическая (рис. 20.6, б) часть фрезы выполняет чистовую (калибрующую) обработку, обеспечивая требуемые размеры колеса. Неизменность межосевого расстояния в процессе обработки, а также наличие на фрезе калибрующей части делает метод нарезания с тангенциальным движением подачи более точным, чем нарезание с радиальным движением подачи.

В ремонтных цехах и единичном производстве для нарезания червячных колес в отдельных случаях используют однозубые фрезы — летучки, имеющие один режущий зуб, выполненный по профилю рейки и вставленный в оправку, которую закрепляют в шпинделе зубофрезерного станка (рис. 20.6, в).

При нарезании червячных колес общим требованием является необходимость размещения при настройке оси фрезы в главной плоскости нарезаемого колеса, т. е. в плоскости, проходящей через его середину.

В связи с тем, что используемые при зубообработке червячные фрезы в основном изготавливают с затылованными зубьями, их заточку осуществляют по передней поверхности. Режущим инструментом при заточке служат тарельчатые шлифовальные круги, причем фрезы с винтовыми канавками затачивают только конической частью круга,



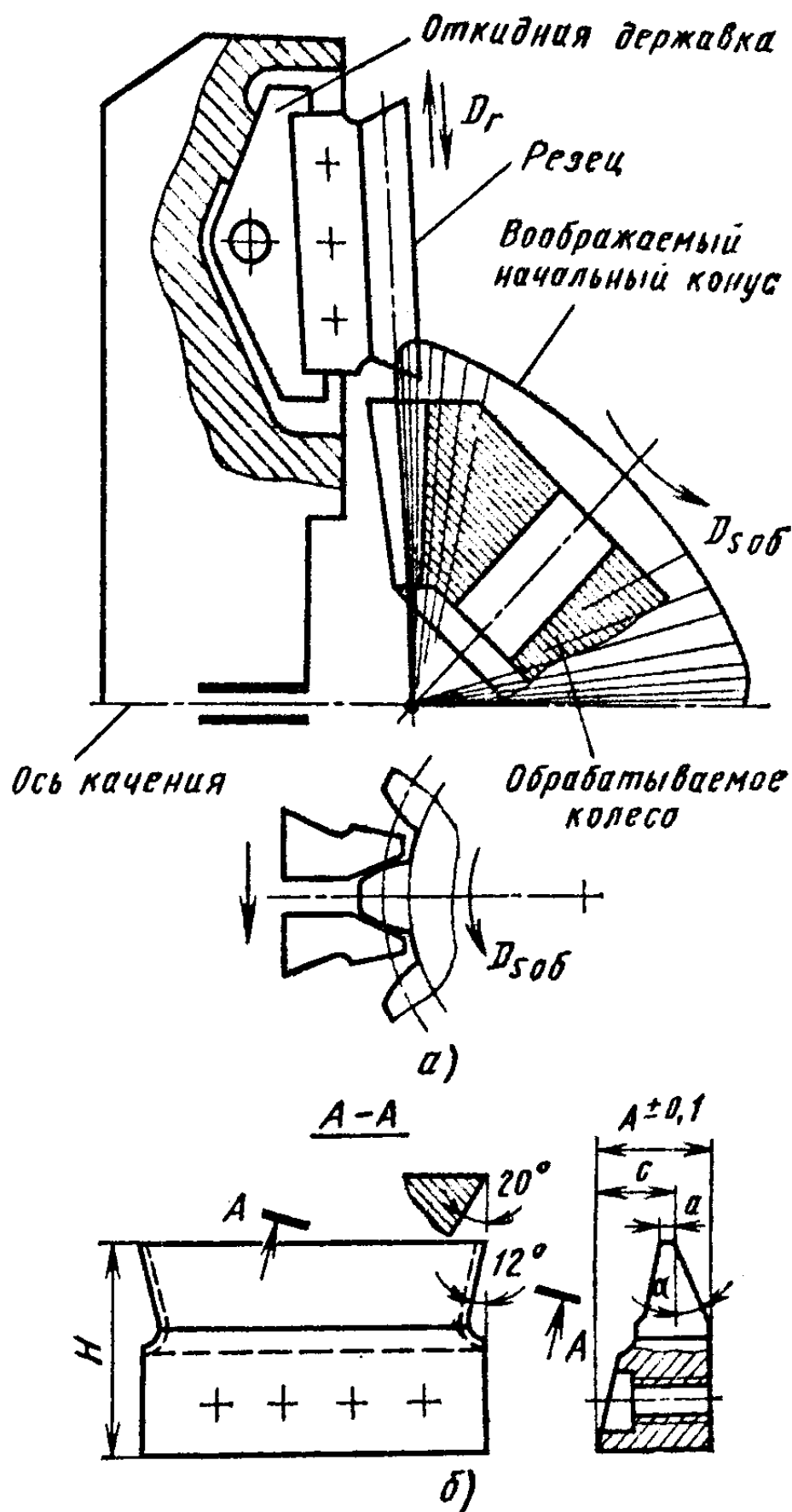


Рис. 20.7. Схемы зубо-строгания конических колес (а) и конструкция строгального резца (б)

т. е. только в этом случае исключается «развал» канавки. В качестве оборудования при заточке используют специальные станки, которые обеспечивают при обработке перемещение по винтовой линии либо фрезы, либо шлифовального круга, а также применяют универсально-заточные станки, в которых на устанавливаемой в центрах оправке вместе с фрезой закрепляют копир, обеспечивающий винтовое перемещение фрезы при заточке.

Конические зубчатые колеса нарезают строганием по копиру, обработкой профильными инструментами или методами обката. Находят применение также комбинированные методы, в которых, например, сочетается врезание

в заготовку двух спаренных дисковых фрез с последующим обкатом. Но наиболее широкое распространение получили методы обката, при реализации которых на станках имитируется зацепление нарезаемого колеса с воображаемым производящим (плоским или плосковершинным) колесом. При этом производящее колесо представляет собой два резца, совершающих возвратно-поступательное  $D_1$  движение вдоль нарезаемого зуба и участвующих вместе с нарезаемым колесом в движении обката, имитирующем их зацепление (рис. 20.7, а). Для воспроизведения этого зацепления в станке предусмотрена кинематическая цепь между люлькой, в которой установлены резцы, и нарезаемым колесом. После нарезания одного зуба инструмент и заготовка благодаря повороту возвращаются в исходное положение, затем следует делительный поворот заготовки на один зуб, после чего начинается обработка следующего зуба. Таким образом последовательно нарезается каждый зуб колеса.

В большинстве случаев нарезание конических колес проводится за два рабочих хода — черновой и чистовой. Сначала нарезают впадины черновыми резцами, причем в некоторых случаях даже без движения обката, а затем, заменив резцы на чистовые, проводят чистовое нарезание с обкатом.

В качестве режущего инструмента при нарезании конических прямозубых колес используют строгальные резцы, которые, будучи установленными на станке, своими режущими кромками образуют как бы стороны зуба производящего колеса. Строгальный резец представляет собой изготовленное из быстрорежущей стали призматическое тело, объединяющее режущее лезвие и клиновидную с углом  $73^\circ$  крепежную часть. Режущая (рис. 20.7, б) кромка резца образована плоскостью, наклоненной под углом  $\alpha = 20^\circ$  и передней поверхностью, заточенной под углом  $12^\circ$  или  $20^\circ$ . Задний угол на строгальных резцах обеспечивается установкой их на специальной откидной державке, которая для уменьшения трения отклоняется при вспомогательном ходе.

В крупносерийном производстве прямозубые конические колеса с модулем  $m \leq 8,0$  мм и шириной зуба до 30 мм иногда нарезают протягиванием. В качестве инструмента используют сборную круговую протяжку (рис. 20.8), диаметр которой намного превышает диаметр обрабатываемой заготовки. На наружной круговой поверхности

протяжки жестко закреплен набор резцов, режущие кромки которых ограничены дугами окружностей, проведенных из разных центров кривизны. За один цикл обработки, состоящий из черновых, получистовых и чистовых рабочих ходов, протяжка совершает один полный оборот и одно возвратно-поступательное перемещение вдоль нарезаемой впадины обрабатываемого зубчатого колеса. Черновые и получистовые рабочие ходы совершаются последовательно при поступательном движении вращающейся протяжки из точки  $A$  в точку  $B$ , а чистовые рабочие ходы — при обратном движении из точки  $B$  в точку  $C$ . При прохождении через рабочую зону участка протяжки, свободного от режущих зубьев, заготовка совершает делительный поворот на один зуб, после чего цикл обработки повторяется для следующей впадины.

Конические колеса с криволинейными зубьями обрабатывают резцовыми головками по методу обката на специальных станках. В процессе обработки таких колес имитируется их зацепление с воображаемым производящим (плоским) колесом (рис. 20.9, а), один зуб которого реально представлен режущими зубьями резцовой головки, используемой для прорезания впадины обрабатываемого колеса. Резцовая головка, вращающаяся с частотой  $n$ , установлена на поворачивающейся люльке, кинематически связанной с нарезаемым колесом. Согласованный поворот люльки и обрабатываемой заготовки позволяет резцовой головке нарезать одну впадину на обрабатываемом колесе. Завершив обработку впадины, резцовая головка с люлькой и заготовка отводятся в исходное положение, в котором заготовке сообщается делительный поворот на один угловой шаг зубьев, после чего включается движение обката и начинается нарезание следующей впадины. Для нарезания всех зубьев на обрабатываемом колесе такой цикл повторяется  $z$  раз.

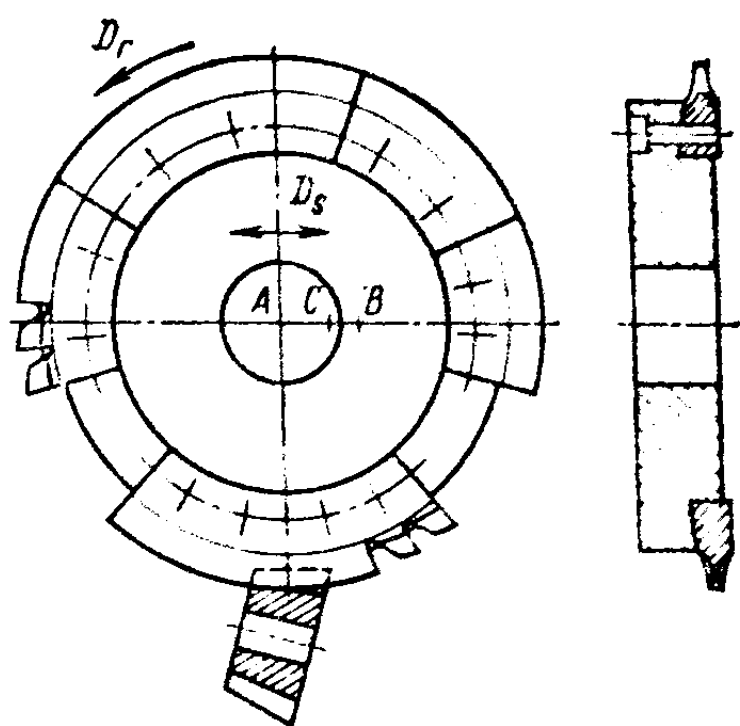


Рис. 20.8. Схема обработки конического прямозубого колеса фрезой-протяжкой

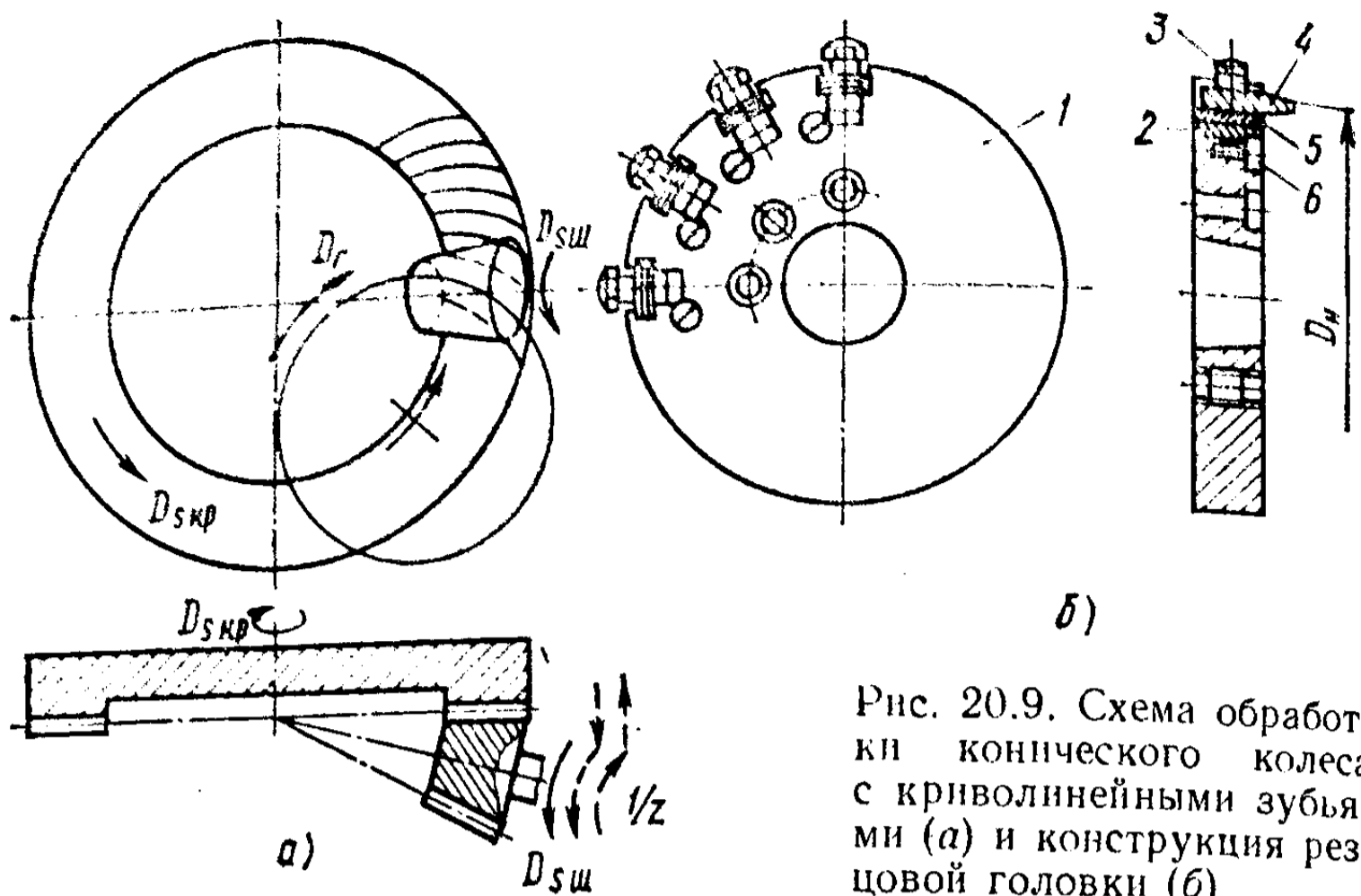


Рис. 20.9. Схема обработки конического колеса с криволинейными зубьями (а) и конструкция резцовой головки (б)

Резцовые головки, используемые для нарезания конических колес с криволинейным зубом, по конструкции бывают цельными и сборными. Цельные составляют одно целое с резцами, имеют номинальный диаметр  $D_n = 20...80$  мм (по ГОСТ 11903—77) и предназначены для нарезания колес с нормальным модулем до  $m_n = 2,5$  мм. Сборные головки оснащают регулируемыми резцами (рис. 20.9, б) с механическим креплением, имеют номинальный диаметр  $D_n = 100...1000$  мм и предназначены для обработки колес с  $m_n = 3...25$  мм.

В зависимости от принятых при обработке колес схем резания используют односторонние и двусторонние головки, различающиеся расположением резцов. Односторонние головки могут обрабатывать только выпуклую или только вогнутую сторону впадин и используются лишь для чистовой обработки. Двусторонние головки имеют расположение резцов, позволяющее обрабатывать одновременно обе стороны впадины. Двусторонние головки изготавливают как для черновой (черновые головки), так и для чистовой обработки.

Резцы, используемые в резцовых головках, разделяют на наружные и внутренние, а также на правые и левые. У односторонних головок все резцы одинаковые, а у двусторонних — установлены попеременно наружные и внутренние резцы. Резцы устанавливают в пазы корпуса 1 головки (рис. 20.9, б) и закрепляют винтами 3. Для регули-

рования положения резцов 4 в пазах под каждым резцом предусмотрена подкладка 5 и клин 2, регулируемый винтом 6. Резцы изготовляют из быстрорежущих сталей типа Р6М5 либо в случае использования на высокоскоростных станках оснащают твердосплавными пластинами, допускающими обработку со скоростями резания до 110—170 м/мин. Задний угол на резцах обеспечивается при затыловании их задней поверхности по архимедовой спирали, а передний — при заточке кругами из эльбора или монокорунда их передней поверхности. Заточку резцовых головок проводят на специальных заточных станках 3665 и 3666.

Точность зубчатых колес, обработанных резцовыми головками, не превышает 7—8-й степени по СТ СЭВ 180—75 при  $Rz = 7...20$  мкм.

Для устранения погрешностей, возникающих при зубонарезании и последующей термообработке, зубчатые колеса дополнительно обрабатывают отделочными методами: шевингованием, обкаткой, притиркой и шлифованием.

Шевингование представляет собой срезание тонких стружек (толщиной 5—15 мкм) специальным инструментом — шевером с боковых поверхностей зубьев колес невысокой твердости ( $HRC_s < 40$ ), предварительно нарезанных зубофрезерованием или зубодолблением. Срезание стружек происходит в результате взаимодействия зубьев обрабатываемого колеса с режущими кромками, выполненными на боковых поверхностях зубьев шевера. Это взаимодействие зубьев колеса с зубьями шевера проявляется в их относительном проскальзывании, скорость которого принимается за скорость резания при шевинговании. Проскальзывание является результатом зацепления шевера и колеса, имеющих различные наклоны зубьев. Так, для шевингования прямозубых колес используют косозубый шевер (с  $\beta$ , равным 5, 15°) и, наоборот, для косозубых колес — прямозубый шевер. При таком зацеплении оси колеса и шевера скрещиваются под углом  $\varphi_{скр}$ , который влияет на скорость проскальзывания и составляет 10—15°. Скорость резания при шевинговании может обеспечиваться также механизмом шевинговального станка. При обработке шеверу сообщается вращение, а обрабатываемому колесу — поступательное движение, направленное в зависимости от схемы шевингования вдоль или под углом к оси колеса либо в плоскости, параллельной оси шевера в направлении, перпендикулярном оси колеса или шевера.

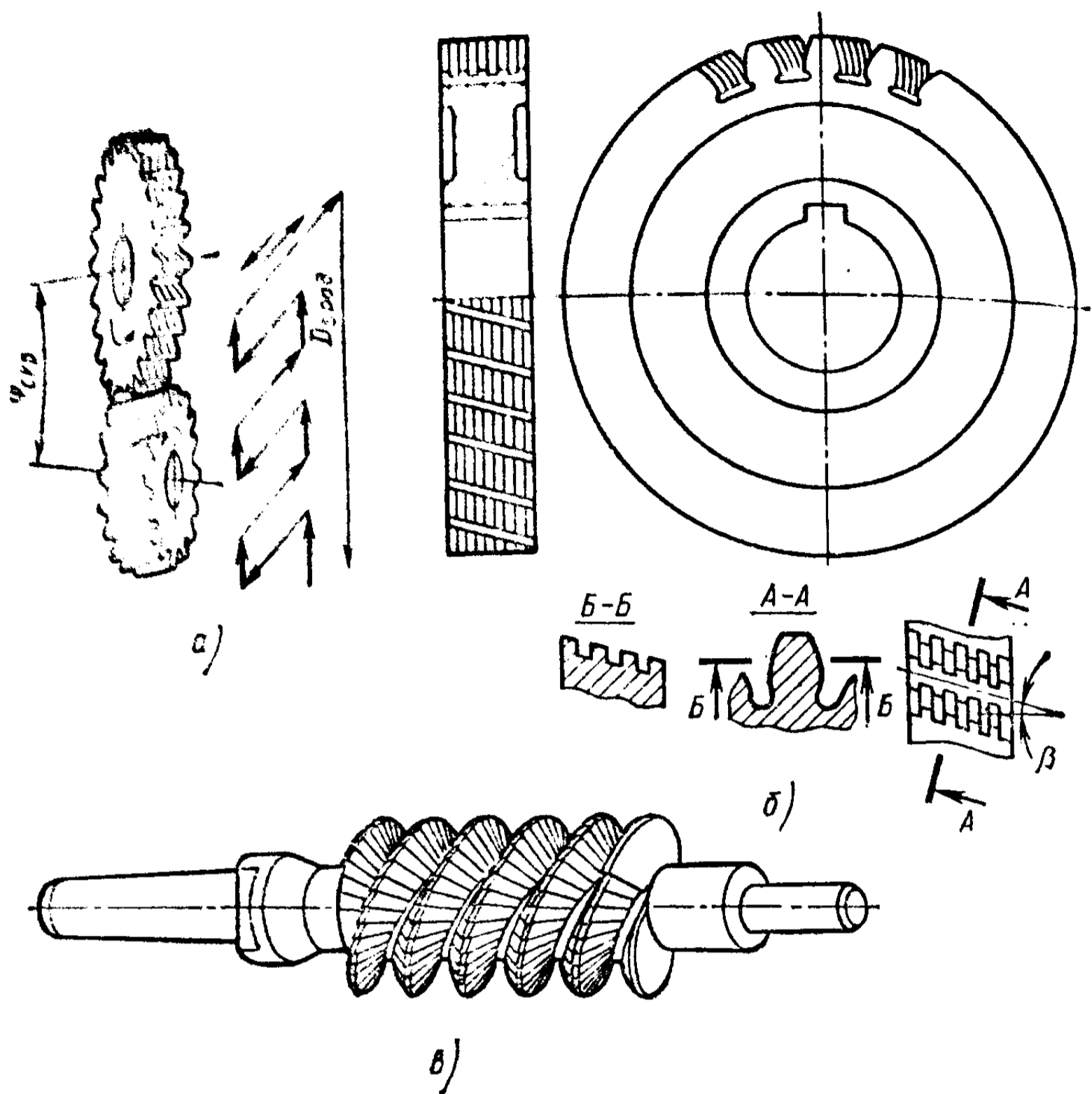


Рис. 20.10. Схема зубошеввингования (а) и конструкция дискового (б) и червячного шевера (в)

После каждого продольного хода производится периодическое включение радиального дрижения подачи  $D_{срад}$  осей шевера и колеса до получения нужной толщины зуба, затем выполняются рабочие ходы без радиального движения подачи (выхаживание). При шевинговании в зону обработки подается СОТС в количестве 10—15 л в 1 мин, достаточном для вымывания стружки из канавок шевера (рис. 20.10, а).

Конструктивно шевер выполняют в виде корригированного зубчатого колеса (шевер дисковый по ГОСТ 8570—80Е классов точности А и В) или рейки, на боковых поверхностях зубьев которых прорезаны канавки, образующие своими гранями режущие кромки. Преимущественное распространение в крупносерийном и массовом производстве получили дисковые шеверы (рис. 20.10, б). Шевер-

рейка состоит из отдельных зубьев, собранных и закрепленных на общей стальной планке.

Для шевингования мелкомодульных колес (с модулем 0,4—1,75 мм) разработаны конструкции и технология изготовления мелкомодульных дисковых шеверов. Малые размеры зубьев этих шеверов заставили вместо канавок на их поверхности выполнять кольцевые конические выточки, прорезающие зуб до основания. При выборе дискового шевера необходимо следить за тем, чтобы числа зубьев шевера и обрабатываемого колеса не имели общих множителей, а у шевера-рейки длина была больше длины начальной окружности обрабатываемого колеса.

Шевингованию подвергают не только колеса внешнего зацепления, но и колеса с внутренними зубьями. В последнем случае желательно, чтобы шевер имел бочкообразные зубья, а разность числа зубьев шевера и обрабатываемого колеса была более 12.

При шевинговании удается снизить погрешность профиля, шага, волнистость, уменьшить колебание межцентрового расстояния, улучшить пятно контакта, снизить параметр шероховатости и шум. Шевингованием можно достичь 6—7-й степени точности (в отдельных случаях 5-й степени) и шероховатость поверхности  $Ra = 1,0... 2,5$  мкм. Шевингование может быть также использовано для модификации зубьев (получения бочкообразного и фланкированного зуба).

Для обработки червячных колес находит применение червячный шевер (рис. 20.10, в), представляющий собой червячную фрезу с мелкими зубьями на винтовой поверхности и являющийся точной копией червяка.

Материалом для изготовления шеверов является быстрорежущая сталь с твердостью 62—65 HRC<sub>2</sub>. Повторная заточка шеверов производится шлифованием боковых поверхностей зубьев на зубошлифовальных станках и шлифованием по наружной поверхности вершин.

Шлифованием обрабатывают зубчатые колеса с целью повышения их точности и устранения искажений, возникающих после термообработки. Зубчатые колеса, обработанные шлифованием, соответствуют 5—7-й степени точности и имеют  $Ra = 0,4...1,25$  мкм. Столь высокие точность и параметр шероховатости зубчатых колес, достигаемые зубошлифованием, заставляют мириться с явными недостатками этого метода: низкой производительностью, сложностью и дороговизной зубошлифовальных станков.

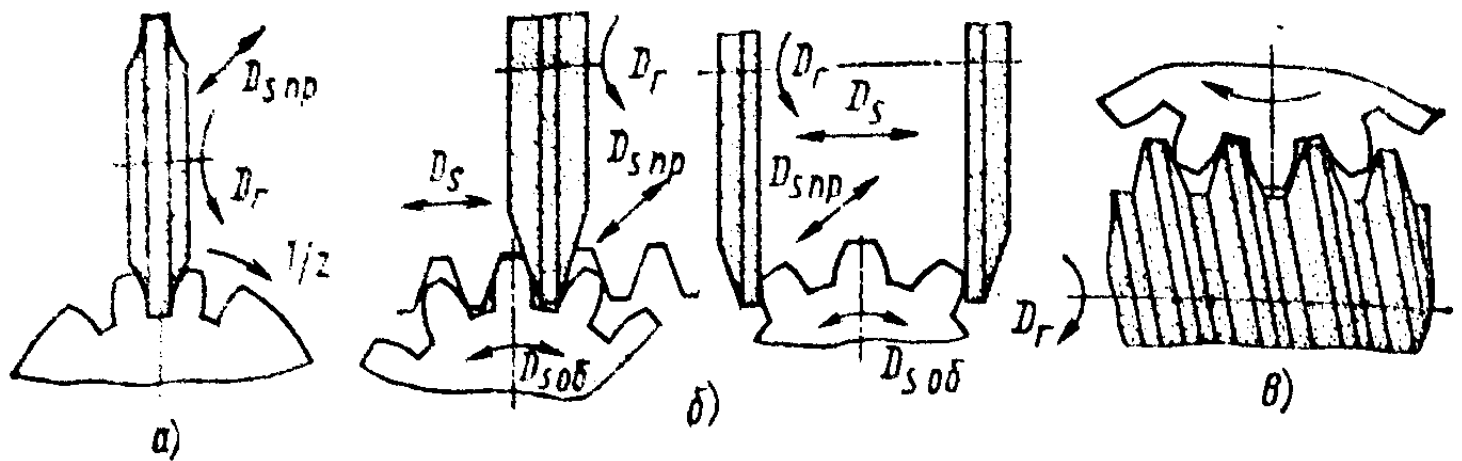


Рис. 20.11. Схемы зубошлифования

Для устранения прижогов зубошлифование приходится вести с применением СОТС (минерального масла или водных эмульсий).

При шлифовании зубчатых колес используются уже известные нам методы копирования и методы обката. Шлифование по методу копирования проводится шлифовальным кругом, рабочие поверхности которого периодически подвергают правке для получения эвольвентного профиля алмазными карандашами по шаблону (рис. 20.11, а). Одновременно с быстрым вращением (скорость резания) круг совершает движение подачи, направленное вдоль зуба. После обработки очередной впадины следует делительный поворот заготовки. Зубошлифование по методу копирования находит применение в крупносерийном и массовом производстве.

При зубошлифовании по методу обката в большинстве случаев имитируется зацепление обрабатываемого колеса с рейкой, реально представленной боковыми поверхностями шлифовальных кругов. При этом главным (рис. 20.11, б) движением является быстрое ( $v = 25 \dots 30$  м/с) вращение круга, а движениями подачи являются возвратно-поступательное перемещение круга, кинематически связанное с реверсивным вращением колеса, перемещение круга вдоль зуба и его радиальное перемещение на заготовку.

Методы обката обеспечивают высокую точность обработки и являются универсальными, позволяя одновременно с зубошлифованием проводить модификацию профиля зубьев, но значительно уступают методам копирования по производительности (в 3—5 раз). Особое место среди методов обката занимает зубошлифование кругом в виде абразивного червяка (рис. 20.11, в), вращение которого согласовано с вращением обрабатываемого колеса и который



одновременно совершает движение подачи вдоль зуба. Зубошлифование абразивным червяком применяют для обработки колес диаметром до 700 мм (модулем до 10 мм) и обеспечивает 5—6-ю степень точности при производительности в 2—2,5 раза большей, чем у метода копирования. Припуск, удаляемый при шлифовании, обычно не превышает 0,15—0,80 мм на толщину зуба.

В отличие от цилиндрических колес зубошлифование конических колес сопровождается значительными сложностями, а потому и используется только для быстроходных передач ( $v > 25$  м/с), во всех остальных случаях в качестве отделочных операций применяют притирку и обкатку.

Притирка закаленных и незакаленных зубчатых колес является отделочной операцией, при которой обрабатываемое колесо зацепляется с чугунной шестерней-притиром в среде суспензии (веретенное масло и абразивный порошок зернистостью 180—220). Для интенсификации притирки шестерню-притир, получающую вращение от обрабатываемого колеса, либо притормаживают, либо устанавливают так, что оси притира и колеса скрещиваются, образуя плотное зацепление. Равномерная притирка по всей длине зуба обеспечивается дополнительным возвратно-поступательным движением колеса или притира вдоль зуба. В результате притирки снижается шероховатость боковых поверхностей зубьев, улучшаются условия контакта, снимается припуск 0,01—0,02 мм на сторону, длительность процесса 1—1,5 мин.

В отличие от притирки при хонинговании зубьев в качестве инструмента используют зубчатое колесо из пластмассы с мелким абразивом, которое при обработке, зацепляясь с обрабатываемым колесом, совершает реверсивное вращение и возвратно-поступательное движение вдоль оси, срезая при этом припуск 0,02—0,05 мм на сторону.

Обкатка представляет собой отделочный процесс, при котором изготовленное с высокой точностью инструментальное колесо высокой твердости зацепляется с обрабатываемым колесом и при вращении получает дополнительное радиальное перемещение на заготовку. Для устранения возможных при обработке заеданий в зону контакта колес подается противозадирная смесь (минеральное масло со свинцовым суриком). В процессе обкатки происходит смятие микронеровностей до  $Ra = 0,2...0,6$  мкм, упрочнение поверхностного слоя и улучшение показателей плавности

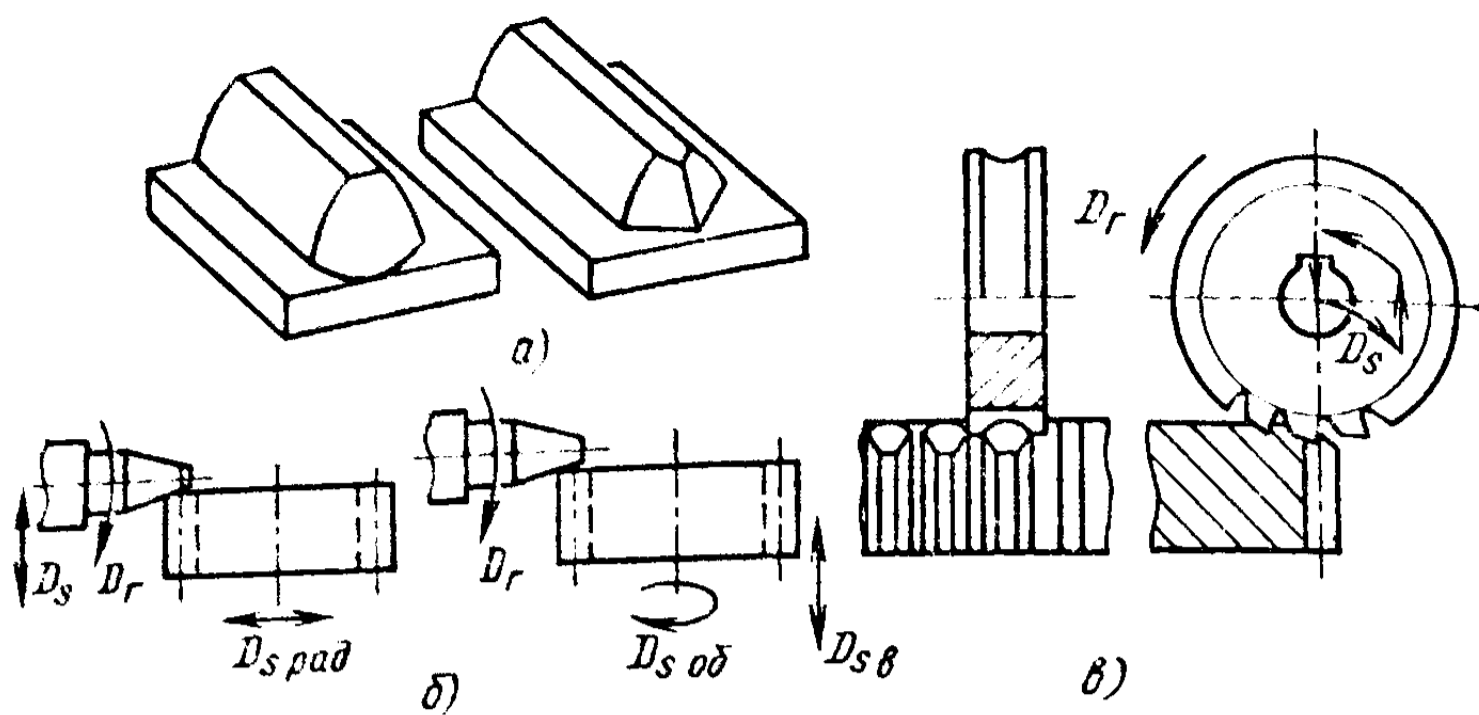


Рис. 20.12. Схемы зубозакругления пальцевой и дисковой фасонной фрезой

зацепления. Обкатка наиболее эффективна для колес, изготовленных из весьма пластичных металлов.

Для улучшения условий переключения блоков цилиндрических зубчатых колес торцы их зубьев скругляют (рис. 20.12, а), используя для этого пальцевые (рис. 20.12, б) или дисковые (рис. 20.12, в) фасонные фрезы, установленные на специальных станках.

В последние годы в отечественном и зарубежном машиностроении получило распространение холодное и горячее накатывание, в результате которого достигается 7—8-я степень точности зубчатых колес. Горячее накатывание применяют для грубого профилирования зубьев, а холодное — для получения мелко модульных колес ( $m < 1,5$  мм) либо для чистовой накатки колес 7-й степени точности (более крупных модулей), предварительно обработанных зубофрезерованием по 8—9-й степени точности. В качестве инструмента при накатывании используют накатники, располагаемые при обработке вокруг заготовки и изготовленные из легированных (X12M, X6BF) или быстрорежущих (P6M5) сталей с твердостью 60—62 HRC<sub>a</sub>.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие факторы определяют профиль режущей кромки зуборезных инструментов?
2. Почему при фрезеровании с тангенциальным движением подачи заготовке червячного колеса сообщается дополнительное вращение?
3. Какие инструменты применяют при зубошеввинговании?
4. Какие методы зубошлифования Вы знаете?
5. Что отличает притирку зубчатых колес от их обкатки?

## ГЛАВА 21. ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ

### § 21.1. СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

Зубообрабатывающие и резьбообрабатывающие станки относятся к пятой группе классификации ЭНИМСа. Станки этой группы разделены на типы по методу обработки, назначению и виду обрабатываемого колеса. Таким образом, пятая группа включает следующие типы: 1 — зубодолбежные станки для обработки по методу обката; 2 — зуборезные станки для обработки конических колес с прямыми и круговыми зубьями, работающие по методу обката и копирования; 3 — зубофрезерные для обработки цилиндрических и червячных колес, шлицевых валов червячными фрезами и шевронных колес пальцевыми фрезами; 4 — зубофрезерные для обработки червячных колес и станки для обработки реек; 5 — станки 5525, 5Н580 и др. для обработки торцов зубьев; 6 — резьбообрабатывающие (резьбофрезерные 5К63 и др.); 7 — зубоотделочные (зубошевинговальные 5702, 5717, зубопритирочные 5П725); 8 — зубо- и резьбошлифовальные; 9 — разные зубо- и резьбохонинговальные.

Наиболее простыми по конструкции из зубообрабатывающих станков, работающих по методу обката, являются зубодолбежные. Эти станки используют при обработке цилиндрических прямозубых и косозубых колес, но наиболее эффективны они при обработке колес внутреннего зацепления, зубчатых секторов, некруглых колес, блоков колес. В то же время зубодолбежные станки не пригодны для нарезания червячных колес и при  $m > 4$  по производительности уступают зубофрезерным станкам.

В качестве примера рассмотрим конструкцию зубодолбежного полуавтомата 5122 (рис. 21.1, а). Этот станок имеет коробчатую станину 8 с закрепленной на ней приставкой 4, на верхней плоскости которой закреплена стойка 3, которая может перемещаться в поперечном направлении. По вертикальным направляющим стойки 3 возвратно-поступательно перемещается штоссель 2 с установленным на нем долбяком 1. На горизонтальных направляющих станины 8 установлена каретка 7 с размещенным на ней вращающимся столом 6 для заготовки. Каретка 7 может радиально перемещаться относительно долбяка 1. Вращение стола 6 кинематически связано с вращением

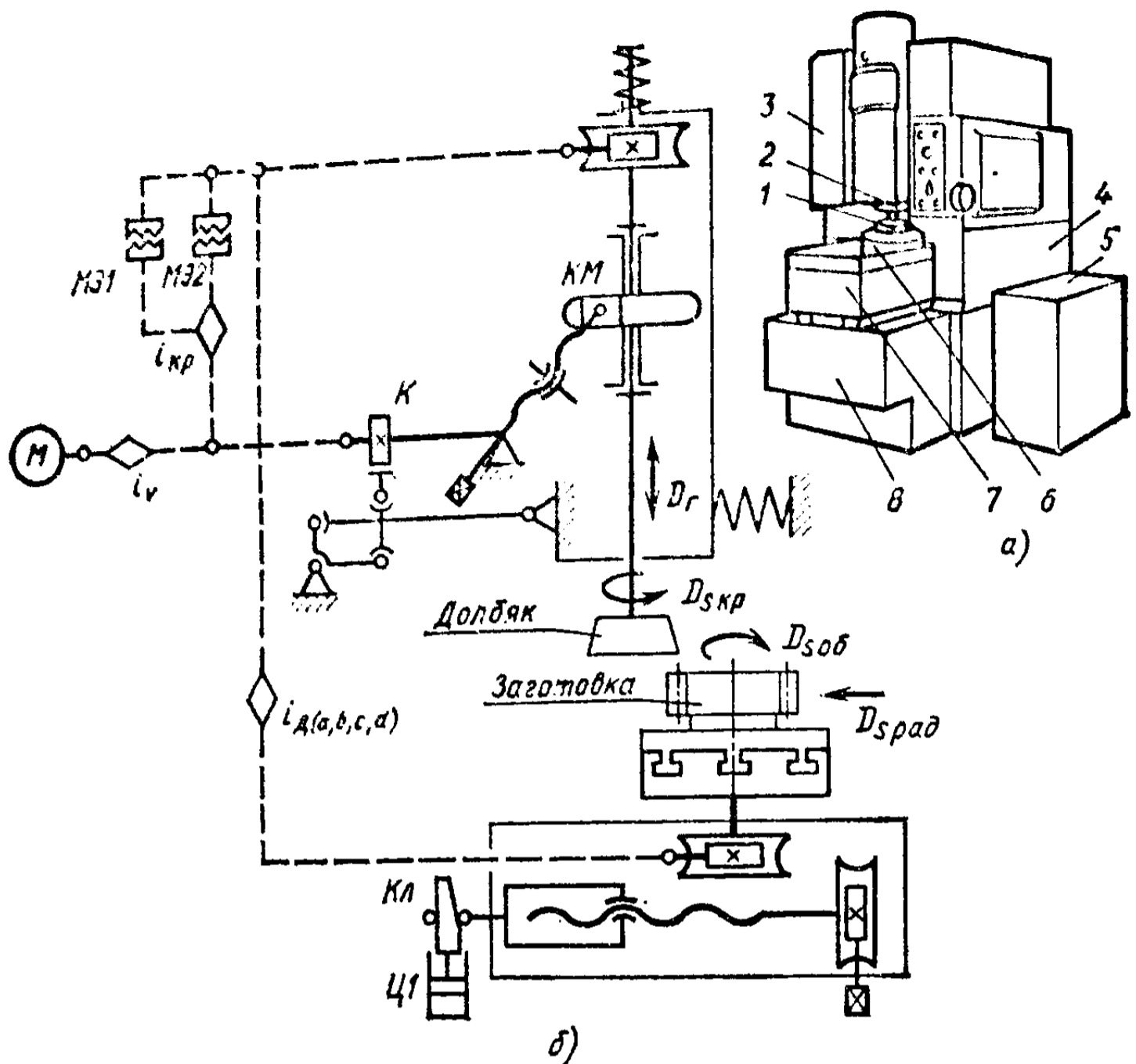


Рис. 21.1. Зубодолбежный станок

долбняка 1. Работа гидро- и электроприводов станка обеспечивается гидростанцией 5 и аппаратурой управления, смонтированной в электрошкафу.

Возвратно-поступательное движение долбняка 1 осуществляется кулисным механизмом  $KM$  (рис. 21.1, б), получающим вращение от электродвигателя  $M$  через клиноременную передачу. В течение двойного хода скорость долбняка изменяется по синусоидальному закону, поэтому при расчетах используют среднее значение скорости резания  $v_c$  (для долбняков из быстрорежущей стали  $v_c = 15...60$  м/мин). Скорость резания изменяется двухскоростным электродвигателем  $M$  и сменными шкивами; частота двойных ходов  $n = 500v_c/L$ , где  $L$  — длина хода долбняка, мм. Длину хода регулируют изменением радиуса кривошипа кулисного механизма  $KM$ , а место хода долбняка — перестановкой штосселя относительно кулисы.

Цепь обката связывает вращение стола 6 с вращением штосселя. Ее настраивают, исходя из того, что за время одного оборота долбняка (штосселя) стол поворачивается

на  $z_d/z_3$  часть оборота, где  $z_d$  и  $z_3$  — соответственно числа зубьев долбяка и заготовки. Органом настройки в цепи обката является гитара деления  $i_d$ . Для обработки колес внутреннего зацепления между колесами  $c$  и  $d$  гитары устанавливают дополнительное колесо, обеспечивающее одинаковое направление вращения долбяка и заготовки.

При нарезании колес с винтовым зубом дополнительное вращение долбяка обеспечивается установкой на штосселе копирных втулок (см. рис. 20.2, в) с винтовыми направляющими. Одну из втулок крепят на штосселе, а другую — на червячном колесе.

Винтовые поверхности втулок, зубьев долбяка и нарезаемого колеса имеют одинаковый шаг. Но направление винтовых поверхностей втулок и зубьев долбяка противоположно направлению винтовых поверхностей нарезаемых зубьев. Для устранения возможного затирания зубьев долбяка при нарезании косозубых колес стойку 3 со штосселем смещают в поперечном направлении. Между числом двойных ходов долбяка и частотой его вращения гитарой  $i_{кр}$  круговых подач ( $S_{кр}$ ) устанавливают соотношение, при котором за один двойной ход долбяк должен повернуться на  $[S_{кр}/(\pi m z_d)]$  часть оборота. Исходя из этого соотношения, гитарой  $i_{кр}$  настраивается кинематическая цепь между кулисным механизмом  $КМ$  и червячной шестерней на штосселе. Установка на валах гитары  $i_{кр}$  муфт  $МЭ1$  и  $МЭ2$  позволяет изменять  $S_{кр}$  при переходе от черногого зубонарезания к чистовому.

Радиальное движение подачи  $D_{срад}$  заготовки производится клиновым механизмом  $Кл$ , перемещаемым гидроцилиндром  $Ц1$ . После радиального перемещения заготовки на высоту нарезаемого зуба включается счетный механизм и стол с заготовкой совершает один полный оборот.

Радиальный отвод долбяка от заготовки при его обратном ходе, необходимый для снижения трения долбяка о заготовку, производится системой рычагов и кулачком  $К$ .

Наибольшее распространение среди зубообрабатывающих станков (около 50 %) получили зубофрезерные станки, работающие по методу обката и предназначенные для обработки цилиндрических колес внешнего зацепления и червячных колес. В качестве примера рассмотрим зубофрезерный полуавтомат 53А50, при обработке на котором имитируется червячная передача, в которой роль червяка выполняет червячная модульная фреза, а роль червячного колеса — заготовка.

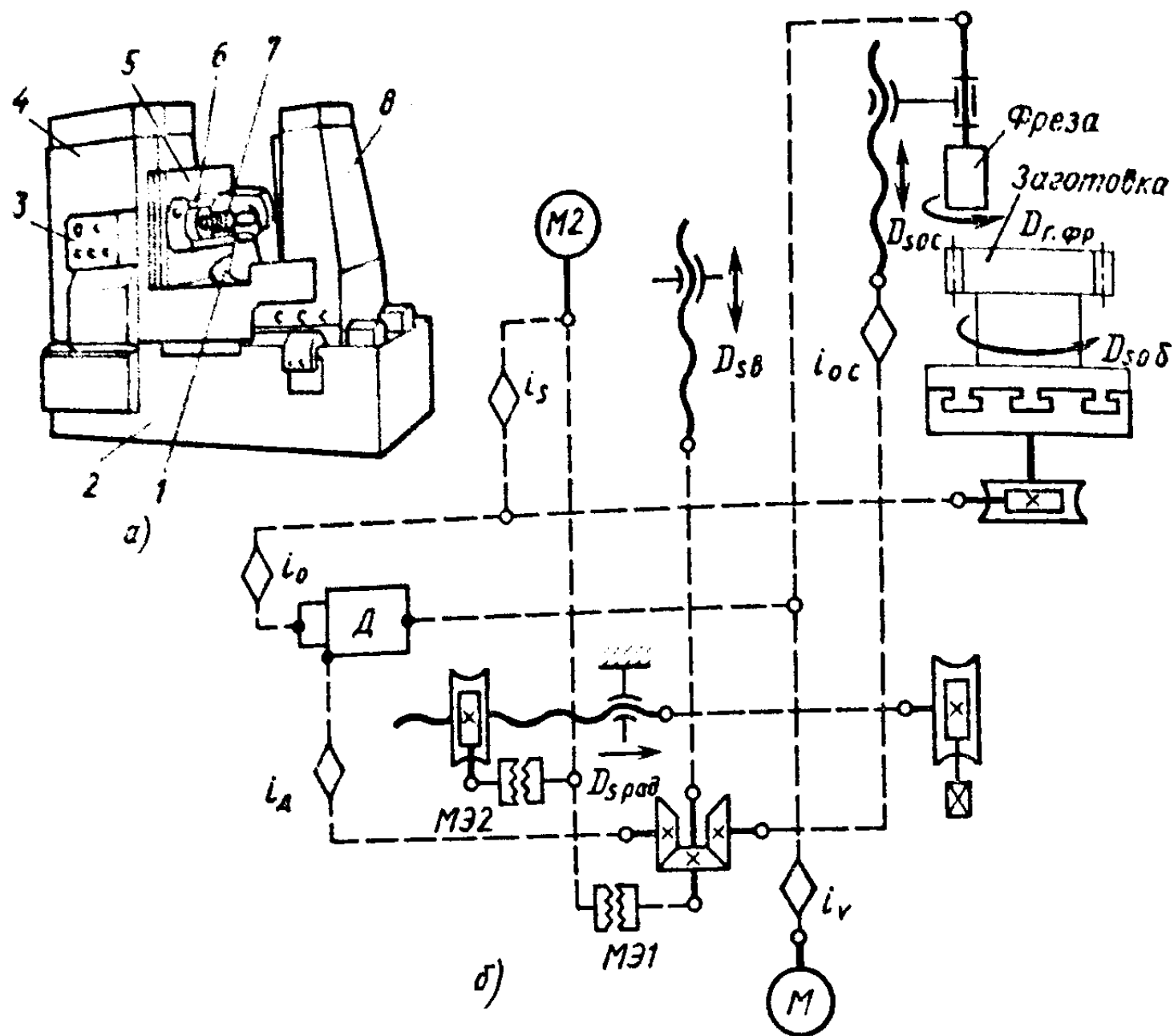


Рис. 21.2. Зубофрезерный полуавтомат 53А50:  
 а — общий вид; б — структурная схема

Конструктивно (рис. 21.2, а) станок состоит из станины 2 коробчатой формы, на которой слева жестко закреплена стойка 4, а справа по горизонтальным направляющим перемещается стол 1 с задней стойкой 8. По вертикальным направляющим неподвижной стойки 4 перемещаются каретка 5 с фрезерным суппортом 6, в шпинделе которого на оправке устанавливают фрезу 7. Вертикальные направляющие подвижной стойки служат для установочного перемещения контрподдержки, используемой для увеличения надежности закрепления заготовки на вращающемся столе 1. Настройку работы станка производят переставными упорами и переключателями цикла на пульте управления 3.

Главное движение резания — вращение — червячная модульная фреза получает от трехскоростного электродвигателя  $M$  по кинетической цепи с органом настройки в виде гитары  $i_v$  (рис. 21.2, б). Цепь обката связывает вращение фрезы с вращением стола и обеспечивает кинематическую имитацию червячного зацепления. Эту цепь настраивают гитарой обката  $i_o$ , исходя из условия, что за

один оборот фрезы стол с заготовкой должен повернуться на  $k/z_3$  часть оборота, где  $k$  — число заходов червячной фрезы.

Для переноса эвольвентного профиля впадин, полученного движением обката, на всю ширину нарезаемого колеса предусмотрена цепь подач с гитарой  $i_g$ .

Цепь подач связывает вращение заготовки с поступательным перемещением фрезы (заготовки). При нарезании прямозубых колес каретка с суппортом за один оборот заготовки перемещается вдоль ее оси на расстояние, численно равное вертикальной подаче  $S_v$ . Для обработки с радиальным движением подачи  $D_{с\text{рад}}$  за один оборот заготовки задняя стойка посредством гитары  $i_g$  и муфты МЭ2 перемещается на расстояние, численно равное радиальной подаче  $S_{\text{рад}}$ .

Нарезание косозубых колес требует по сравнению с нарезанием прямозубых колес дополнительного поворота заготовки, обеспечивающего получение винтовой поверхности зуба с углом наклона  $\beta$  и шагом  $P_k = \pi d \operatorname{ctg} \beta$ , где  $d$  — диаметр делительной окружности колеса. Дополнительный поворот обеспечивается использованием в станке дифференциала  $D$  ( $i_d = 2$ ), кинематическую цепь которого настраивают так, чтобы за один оборот заготовки фреза переместилась вдоль ее оси на расстояние  $P_k$ , при этом винт вертикального движения подачи с шагом  $P$  повернется на  $(P_k/P)$  часть оборота. С целью увеличения стойкости инструмента и качества обработки нарезание косозубых колес с  $\beta \leq 10^\circ$  выполняют путем диагонального движения подачи. При этом фрезе одновременно сообщаются вертикальное  $D_{sv}$  и осевое  $D_{soc}$  движения подачи. Соответствующие им подачи связаны соотношением  $S_{oc} = S_v (l/b)$ , где  $l$  — расчетное осевое перемещение фрезы;  $b$  — ширина венца нарезаемого колеса.

При нарезании червячных колес с осевым движением подачи  $D_{soc}$  шпиндель с фрезой получают движение через гитары  $i_s, i_{oc}$ , муфту МЭ1 и за один оборот заготовки перемещается в осевом направлении на расстояние, численно равное осевой подаче  $S_{oc}$ . Для сохранения движения обката, имитирующего червячное зацепление фрезы (перемещающейся в осевом направлении) с заготовкой, последней через дифференциал  $D$  и гитару  $i_d$  сообщают дополнительный поворот. Для этого гитару настраивают так, чтобы за время, пока ходовой винт осевого движения подачи с шагом  $P_0$  сделает  $(S_{oc}/P_0)$  часть оборота, заготовка должна

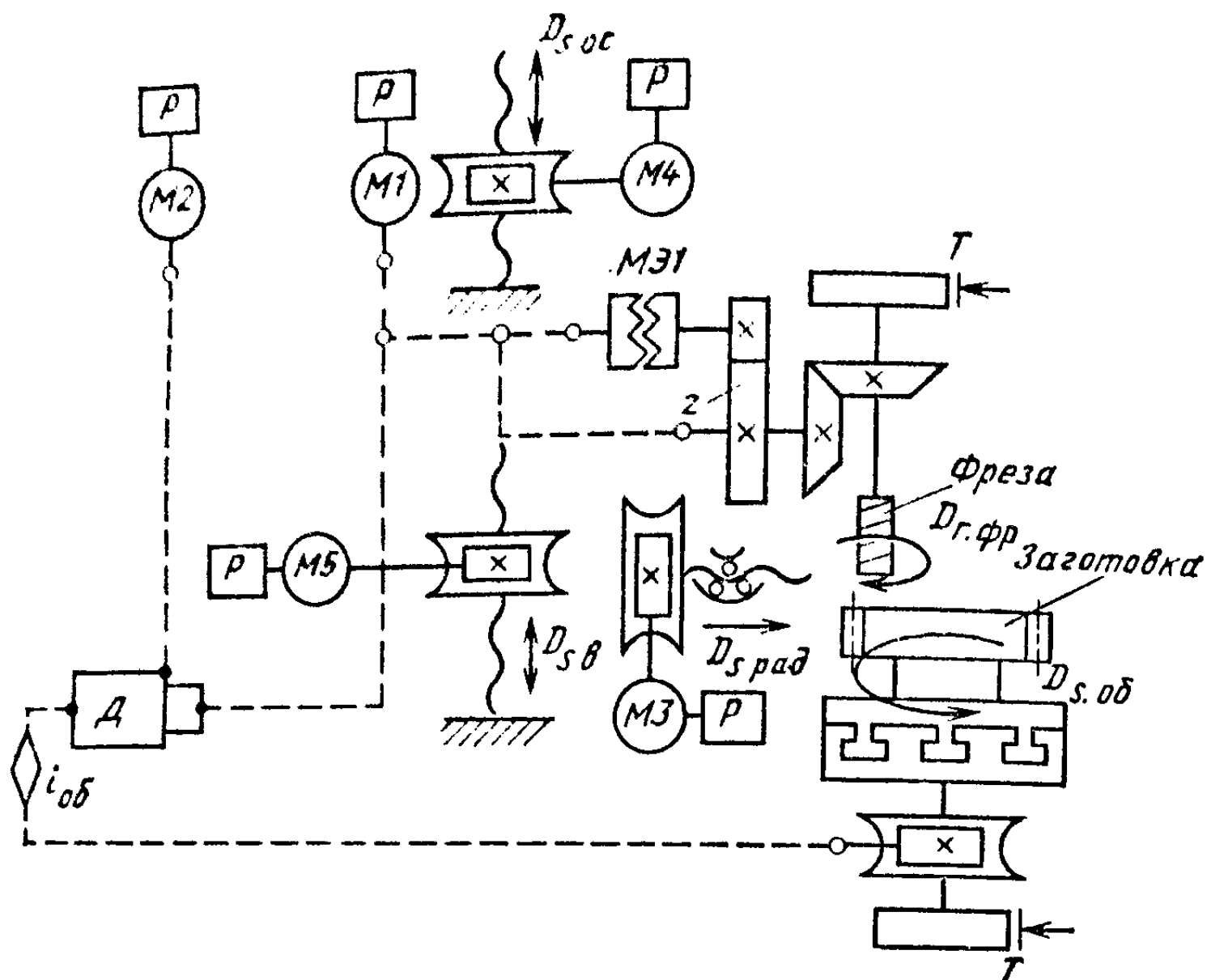


Рис. 21.3. Структурная схема зубофрезерного полуавтомата 53А20Ф4 с ЧПУ

повернуться на часть оборота, равную  $[S_{oc}/(\pi m_n z_3)]$ , где  $m_n$  и  $z_3$  — соответственно модуль нормальный и число зубьев нарезаемого червячного колеса. Таким же образом проводят наладку станка на нарезание червячных колес летучим резцом. Для нарезания червячных колес (с углом наклона зубьев менее  $6-7^\circ$ ) путем радиального движения подачи настраивают цепь главного движения, цепь обката и цепь радиального движения подачи.

Зубодолбежные и зубофрезерные станки, предназначенные для мелко-и среднесерийного производства, в экономически оправданных случаях оснащают системами ЧПУ.

Примером зубофрезерного полуавтомата с ЧПУ является станок 53А20Ф4, оснащенный системой управления на базе микроЭВМ. Циклы обработки станка строят на основе пяти постоянных программ, заложенных в память системы ЧПУ (рис. 21.3).

Особенностью кинематики этого станка является использование в его цепи обката безгитарной наладки. В этой кинематической цепи для получения различных диапазонов вращения фрезы использована коробка деления  $i_{об}$ .



Безгитарная настройка цепи обката реализуется с помощью дифференциала, электродвигателя  $M2$  доворота заготовки, датчиков обратной связи  $P$  (резольверов), установленных на электродвигателях  $M1$ ,  $M2$  и интерполяторе системы ЧПУ. Для увеличения точности цепи обката в ней предусмотрены подтормаживающие устройства  $T$ , обеспечивающие устранение зазоров в передачах. В цепях движения подач (вертикальное, радиальное и осевое) использованы передачи винт—гайка качения с приводом от высокомоментных электродвигателей ( $M3$ ,  $M4$ ,  $M5$ ), оснащенных датчиками обратной связи  $P$  (резольверы), сигналы которых используются системой ЧПУ для безгитарной настройки и согласования соответствующих перемещений. В станке также предусмотрен программируемый системой ЧПУ поворот фрезерного суппорта, осуществляемый электродвигателем  $M1$  через муфту  $MЭ1$  и приводную шестерню ( $z$ ).

## § 21.2. СТАНКИ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Станки для нарезания конических зубчатых колес делят на две группы: работающие по методу копирования и работающие по методу обката. Станки, работающие по методу копирования, обеспечивают невысокий уровень точности и используются на заготовительных операциях либо для изготовления малоответственных колес. Наибольшую точность обработки конических колес обеспечивают станки, работающие по методу обката; при обработке на них имитируется зацепление нарезаемого колеса с воображаемым плоским производящим колесом. Особенностью плоского производящего колеса является то, что профиль его зубьев очерчен, как у круговой рейки. Это колесо представляет собой реверсируемую люльку со строгальными резцами (для прямозубых колес) или с резцовой головкой (для колес с круговым зубом). Режущие кромки строгальных резцов или резцовых головок движутся со скоростью резания вдоль линий, ограничивающих профиль зуба по длине.

Станки, используемые для нарезания по методу обкатки конических колес с прямыми и круговыми зубьями, структурно однотипны и различаются только траекторией движения режущих элементов. В связи с этим целесообразно рассмотреть подробно структуру и принципы на-

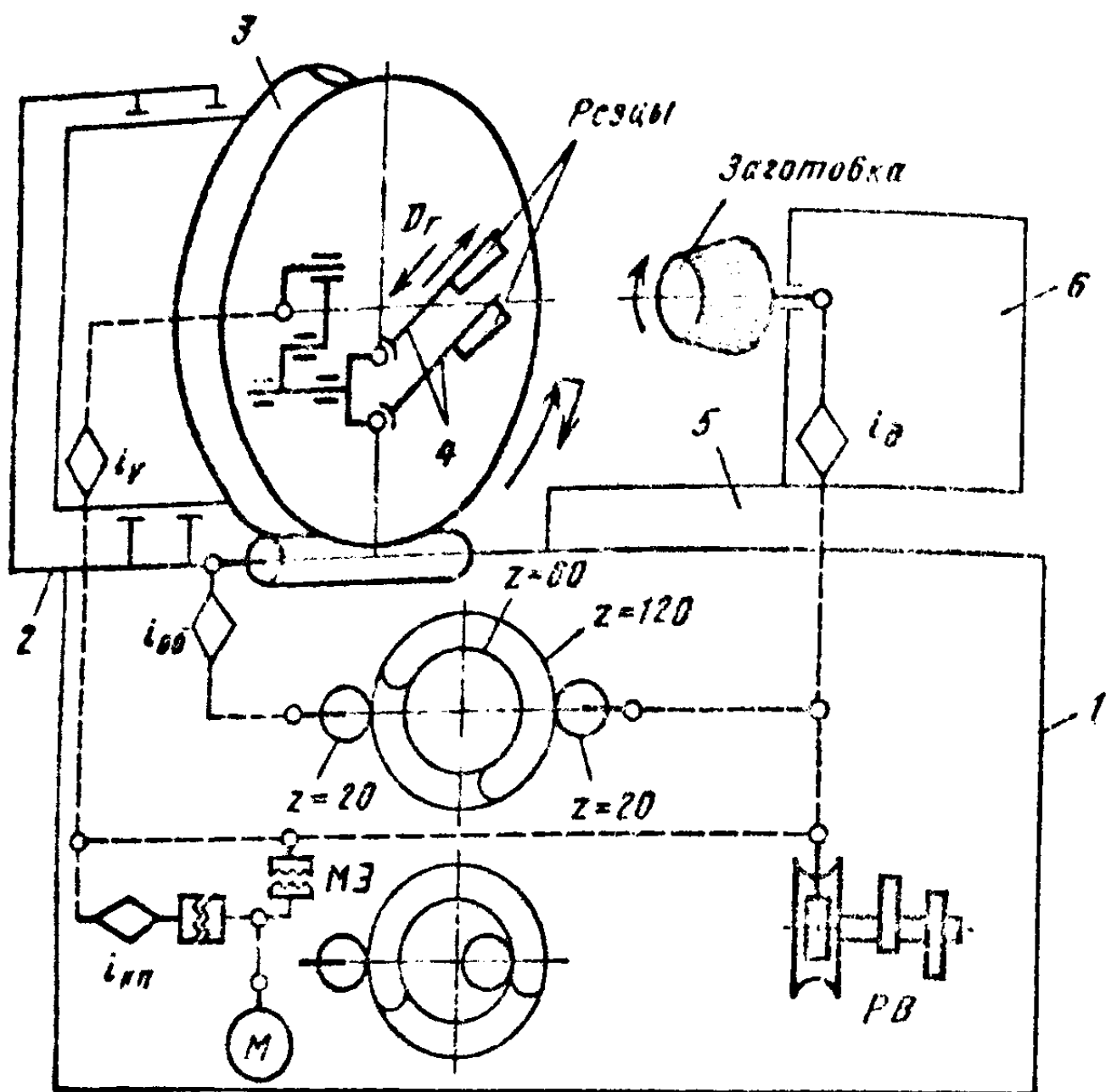


Рис. 21.4. Зубострогальный станок 5236П

стройки одного из них, например, зубострогального станка 5236П. Основными узлами этого станка (рис. 21.4) являются: станина 1, передняя бабка 2, люлька 3, ползуны 4 с резцами, бабка заготовки 6 и стол 5. В станке также имеется пульт управления и счетчик циклов.

Возвратно-поступательное главное движение резания строгальные резцы получают от кривошипно-шатунного механизма, приводимого в действие электродвигателем  $M$  через гитару скоростей  $i_{ш}$ , настраиваемую при изменении скорости резания. Делительное движение (вращение заготовки) обеспечивается кинематической связью между шпинделем с заготовкой и распределительным валом  $PВ$ , один полный оборот которого соответствует нарезанию одного зуба. Для нарезания одного зуба необходимо повернуть заготовку на угол, соответствующий  $z_1$  зубьев, или  $(z_1/z_2)$  часть оборота, где  $z_1$  — число зубьев, пропускаемых при делении и не имеющих общих множителей с  $z_2$ . Только в этом случае после каждого цикла резцы будут нарезать новую впадину. Таким образом, гитару деления  $i_d$  настраивают исходя из условия, что за один оборот распределитель-

тельного вала заготовка должна повернуться на  $z_1/z_3$  часть оборота.

Для обеспечения движения обката устанавливают кинематическую связь между заготовкой и люлькой (плоское колесо). В кинематической цепи обката для осуществления за цикл обработки одного зуба прямого рабочего и вспомогательного ходов люльки использовано составное реверсивное колесо. Это колесо имеет наружный ( $z = 120$ ) и внутренний ( $z = 80$ ) венцы, при последовательном зацеплении с которыми ведущая шестерня ( $z = 20$ ) меняет не только направление вращения составного колеса, но и скорость (большая, чем при рабочем ходе). Переключение ведущей шестерни из зацепления с внешним венцом на зацепление с внутренним венцом производится ее смещением от кулачка распределительного вала. Гитару  $i_{об}$  в цепи обката настраивают исходя из условия, что за один оборот заготовки люлька должна повернуться на  $(z_a/z_c)$  часть оборота, где  $z_c = z_3 \cos \theta_f / \sin \delta$  — число зубьев плоского производящего колеса ( $\theta_f$  — угол ножки зуба;  $\delta$  — угол делительного конуса).

Движение круговой подачи представляет собой поворот заготовки за один двойной ход резца и условно задается временем обработки одного зуба  $t_p$ . Это время соответствует углу поворота распределительного вала за рабочий ход ( $\theta_{р.в} = 170^\circ$ ). Настройку цепи круговой подачи производят с помощью гитары  $i_{к.п}$  исходя из условия, что за время  $t_p$  обработки одного зуба распределительный вал  $PВ$  должен повернуться на  $\theta_{р.в}/360^\circ$  часть своего оборота.

Подвод заготовки к резцам (радиальное движение подачи) на глубину зуба осуществляется от кулачка распределительного вала на ускоренном ходу до начала обработки. Ускоренный ход стола с заготовкой начинается при переключении муфты  $МЭ$  и сопровождается быстрым вращением распределительного вала от двигателя  $М$  по правой короткой ветви кинематической цепи, минуя гитару сменных колес  $i_{к.п}$ .

При обработке конических колес с углом начального конуса  $\delta > 70^\circ$  радиальное движение подачи стола с заготовкой происходит медленно, одновременно с движением обкатки. За цикл обработки одного зуба распределительный вал совершает один полный оборот, а люлька, получая движение через составное реверсивное колесо и гитару деления, выполняет одно полное качание на угол  $\theta$ , соответствующий повороту заготовки на  $z_1$  (настроечное число

зубьев). Записав уравнение кинематической цепи от распределительного вала, поворачивающегося при рабочем ходе на  $170^\circ$ , до люльки, качающейся на угол  $\theta$ , и решив его относительно  $z_i$ , находим  $z_i = \theta z_c / 170$ , где  $\theta = \arccos(\cos \delta_a / \cos \delta_f) + 0,5\theta'$ ,  $\delta_a$  — угол конуса выступов нарезаемого колеса;  $\delta_f$  — угол конуса впадин нарезаемого колеса;  $\theta' = 1200/z_c$ . Полученное из расчета значение  $z_i$  округляют до ближайшего большего, не имеющего общих множителей с  $z_3$ .

Универсальные станки (528С, 525 и т. д.) для нарезания конических колес с круговым зубом, в которых в качестве инструмента использовалась резцовая головка (см. рис. 20.9, б), могут работать как методом обката, так и методом врезания (черновое нарезание).

### § 21.3. СТАНКИ ДЛЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Важное место в группе зубообрабатывающих станков занимают шевинговальные станки двух основных типов: с вертикальным и горизонтальным расположением осей инструмента и заготовки. Станки (например, 5717) с вертикальным расположением осей колес более удобны, так как такое расположение осей колес предотвращает их провисание под действием собственного веса, а также упрощает их загрузку. Ведущим элементом в станках этого типа является обрабатываемое колесо.

Более многочисленны станки (например, 5702В) с горизонтальным расположением осей, ведущим элементом в которых является шевер, расположенный над обрабатываемым колесом. Такая компоновка позволяет исключить забивание стружкой канавок шевера и его возможные повреждения при падении зубчатого колеса. Эти станки используют в серийном и массовом производстве зубчатых колес средних модулей, обрабатываемых шевингованием с продольным, диагональным и тангенциальным движениями подачи. Досборудование станка специальными устройствами позволяет обрабатывать колеса внутреннего зацепления.

Конструктивно станок (рис. 21.5, а) состоит из станины 7, на верхней плоскости которой жестко закреплен корпус 2, где установлена шеверная головка 1 с шевером, закрепленным в ее шпинделе; головка может поворачиваться вокруг вертикальной оси (на угол скрещивания).

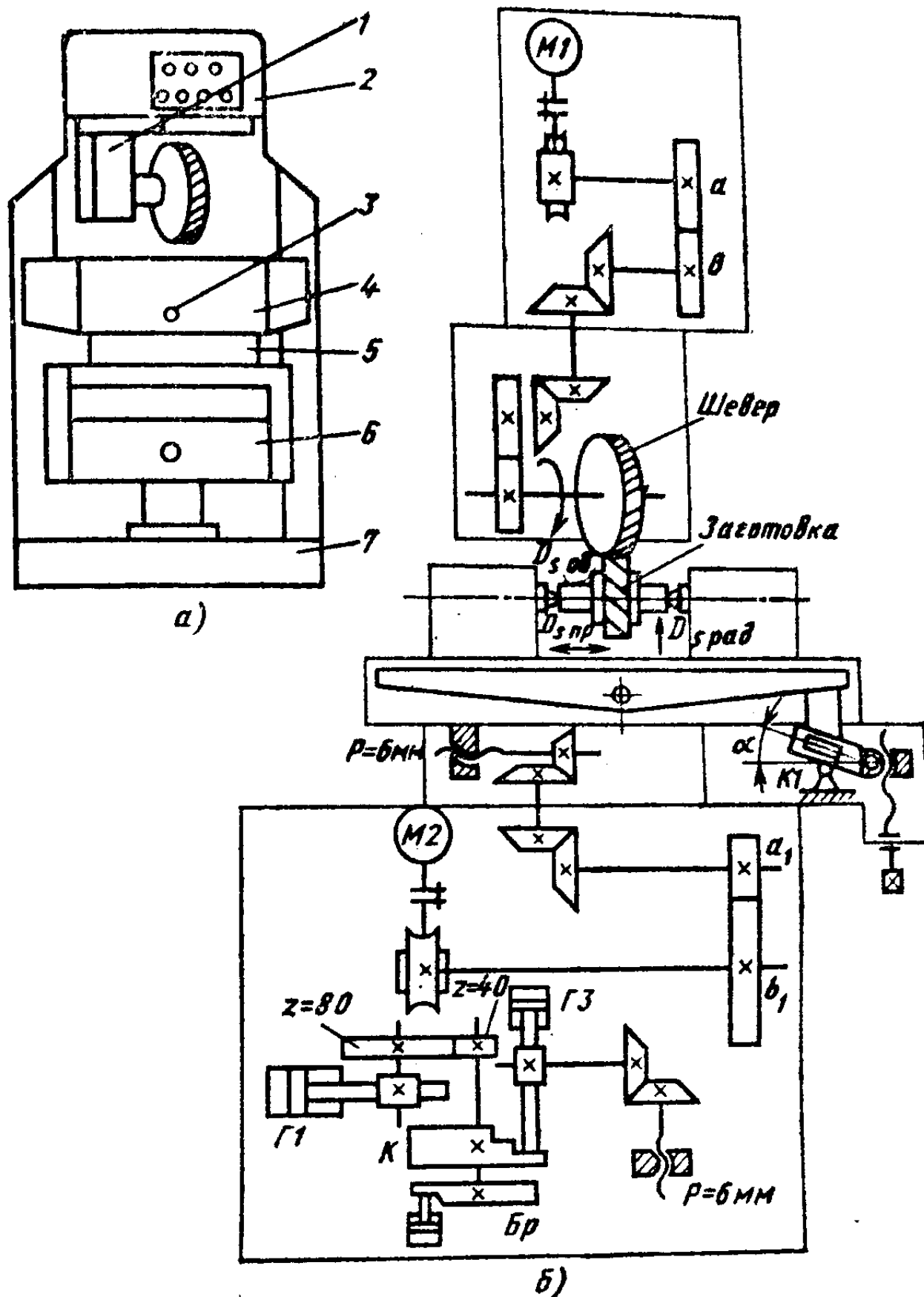


Рис. 21.5. Шеринговальный станок:  
 а — общий вид; б — кинематическая схема

По вертикальным направляющим станины перемещается консоль механизма подачи 6 с установленной на ней поворачивающейся вокруг вертикальной оси плитой 5. На плите 5 размещено основание стола 4, которое может перемещаться в горизонтальном направлении. Внутри основания стола 4 смонтированы качающийся вал горизонтальной оси 3, стол с правой и левой бабками, предназначенными для закрепления обрабатываемой заготовки. Покачивание стола используют при обработке бочкообразных зубьев.

Кинематическая цепь (рис. 21.5, б) привода вращения шевера получает движение от электродвигателя M1;

органом настройки в ней служит пара сменных колес ( $a, b$ ). Для обеспечения равномерного съема стружки по обеим сторонам зуба направление вращения шевра периодически изменяется на противоположное.

Продольное движение подачи стол с обрабатываемым колесом получает от электродвигателя  $M2$  через гитару настройки ( $a_1, b_1$ ), конические шестерни и ходовой винт ( $P = 6$  мм) продольного перемещения стола.

Кинематическая цепь радиального движения подачи связывает вращение кулака  $K$  и соосного с ним барабана управления  $Br$  с вертикальным перемещением стола. Получив вращение через шестерни  $80/40$  и реечную передачу гидроцилиндра  $Г1$  кулак  $K$ , по торцу которого выполнены ступеньки с перепадом  $1,45$  мм, поворачивается на  $n$  ступенек, что смещает рейку, нарезанную на штоке гидроцилиндра  $Г3$ . Далее движение через реечную шестерню и коническую передачу поступает на винт с  $P = 6$  мм, который, вращаясь, смещает стол в вертикальном направлении на расстояние, численно равное радиальной подаче  $S_{рад}$ . Радиальная подача, а следовательно, и угол поворота кулака  $K$  ограничиваются упорами барабана управления  $Br$ .

Реверсирование продольного движения подачи стола и вращения шевра осуществляется путевыми переключателями, взаимодействующими с упорами стола при его движении.

Наладка станка на шевингование бочкообразных зубьев выполняется поворотом на угол  $\alpha$  копира  $K1$ , неподвижно закрепленного относительно стола.

Примером модернизации зубошевинговальных станков является станок  $5Б702ВФ2$  с системой ЧПУ, которая обеспечивает программирование различных циклов обработки на оптимальных режимах.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие движения выполняли исполнительные органы зубодолбежного станка при обработке конического колеса?
2. Из какого условия исходят при настройке цепи обката зубофрезерного станка?
3. Почему движение обката при обработке конических колес с прямыми и круговыми зубьями является прерывистым?
4. Почему при шевинговании производится реверсирование продольного движения подачи и вращения шевра?

# ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

---

## ГЛАВА 22 ШЛИФОВАНИЕ И АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

### § 22.1. ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ

Шлифование является одним из производительных методов обработки различных поверхностей. Обработка осуществляется абразивным инструментом (шлифовальные круги, бруски, сегменты, шкурки и т. п.), абразивные зерна которых являются режущими элементами. Абразивные зерна в инструменте закреплены связующим компонентом — связкой с обязательным наличием пор (рис. 22.1). Особенностью шлифования является одновременное микрорезание несколькими зернами, каждое из которых имеет два-три режущих лезвия и более, у каждого режущего лезвия свои угловые параметры  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\lambda$ . Передний угол  $\gamma$  у режущих лезвий зерен часто бывает отрицательный. Радиус округления режущих кромок абразивных зерен близок к нулю, поэтому в совокупности абразивные зерна на поверхности круга способны срезать тончайшие слои с обрабатываемой заготовки (несколько микрометров), в отличие от лезвийного инструмента, радиус при вершине «клина» которых составляет от нескольких десятков до нескольких сотен микрометров.

Зерна, закрепленные связкой в инструменте, находятся на различном уровне, и чем меньше толщина срезаемого слоя, тем меньше зерен участвует в резании. Чем больше зерен участвует в резании, тем меньше шероховатость обработанной поверхности. Абразивный инструмент, как и любой лезвийный инструмент, нуждается в периодической заточке (правке) по мере затупления, разрушения режущих элементов, потери геометрической формы, так как скорость резания при шлифовании во много раз превышает скорость резания при лезвийной обработке и, ввиду геометрических особенностей режущих элементов абразивного инструмента, снятие припуска происходит с большим выделением теплоты (1000—1500 °С). Это оказывает влияние на физико-химические и эксплуатационные

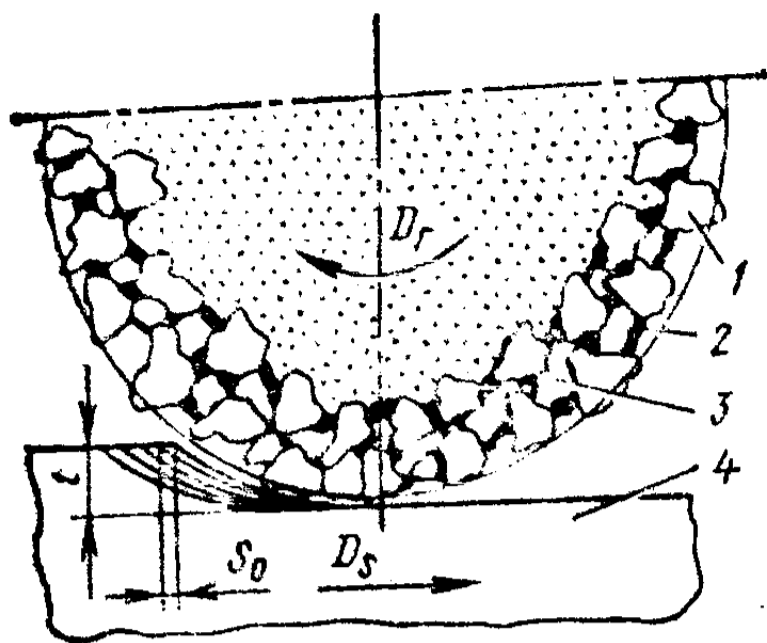


Рис. 22.1. Схема срезания припуска при шлифовании и конструктивные особенности абразивного инструмента:

1 — зерна; 2 — связка; 3 — поры; 4 — заготовка

свойства обрабатываемой поверхности. Во избежание или для уменьшения влияния высокой температуры и силовых факто-

ров необходимы обильное охлаждение (СОТС), оптимальные характеристики круга, шлифования, правящий инструмент и режимы правки.

## § 22.2. СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В современном машиностроении шлифованию подвергают различные поверхности деталей машин: плоские, цилиндрические, фасонные, внутренние, наружные и т. п. Наиболее часто обрабатывают поверхности деталей, имеющих ось вращения (валы, втулки, резьбы и др.), а также плоские поверхности (плоскости, уступы, пазы и др.). Существуют различные схемы шлифования этих поверхностей. Для всех способов шлифования главным движением резания является вращательное движение шлифовального круга  $D_r$ , а движение подачи  $D_s$  совершает заготовка.

**Обработка заготовок на круглошлифовальных станках.** На круглошлифовальных станках обрабатывают наружные поверхности заготовок тел вращения с прямолинейными образующими. Для установки и зажима заготовок в станке используют центровые отверстия (у заготовок типа вала) и цилиндрические поверхности (для заготовок типа полого вала, втулки и т. п.). При наружном круглом шлифовании возвратно-поступательное продольное движение (рис. 22.2) подачи осуществляется столом с закрепленной на нем заготовкой. Круговое движение подачи заготовки производится передней бабкой шлифовального станка, а поперечное движение подачи шлифовальным кругом осуществляется на каждый ход стола или двойной ход стола вне зоны обработки. Такой способ круглого шлифования называют осциллирующим шлифованием.



В зависимости от направления поступательного движения подачи различают еще несколько видов круглого шлифования: глубинное; врезное шлифование и шлифование уступами (рис. 22.3). Глубинное шлифование может производиться по схеме с продольным движением подачи и врезным. При глубинном шлифовании с продольным движением подачи применяют круг с конусной 1 (режущая часть круга) и калибрующей 2 частями (рис. 22.3, а). Режущую часть шлифовального круга иногда выполняют ступенчатой, калибрующая часть может работать по схеме осциллирующего шлифования. При глубинном шлифовании снимается чаще всего припуск большой вели-

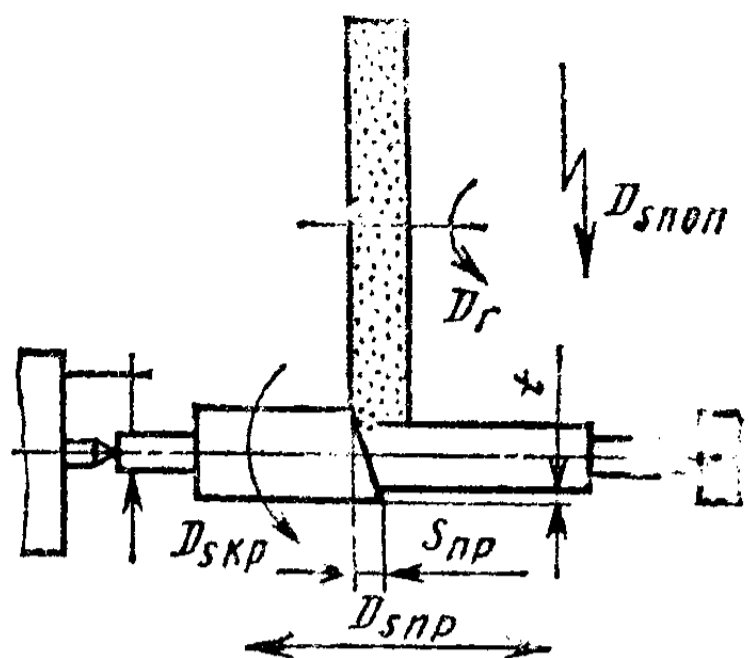


Рис. 22.2. Схема наружного круглого шлифования в центрах

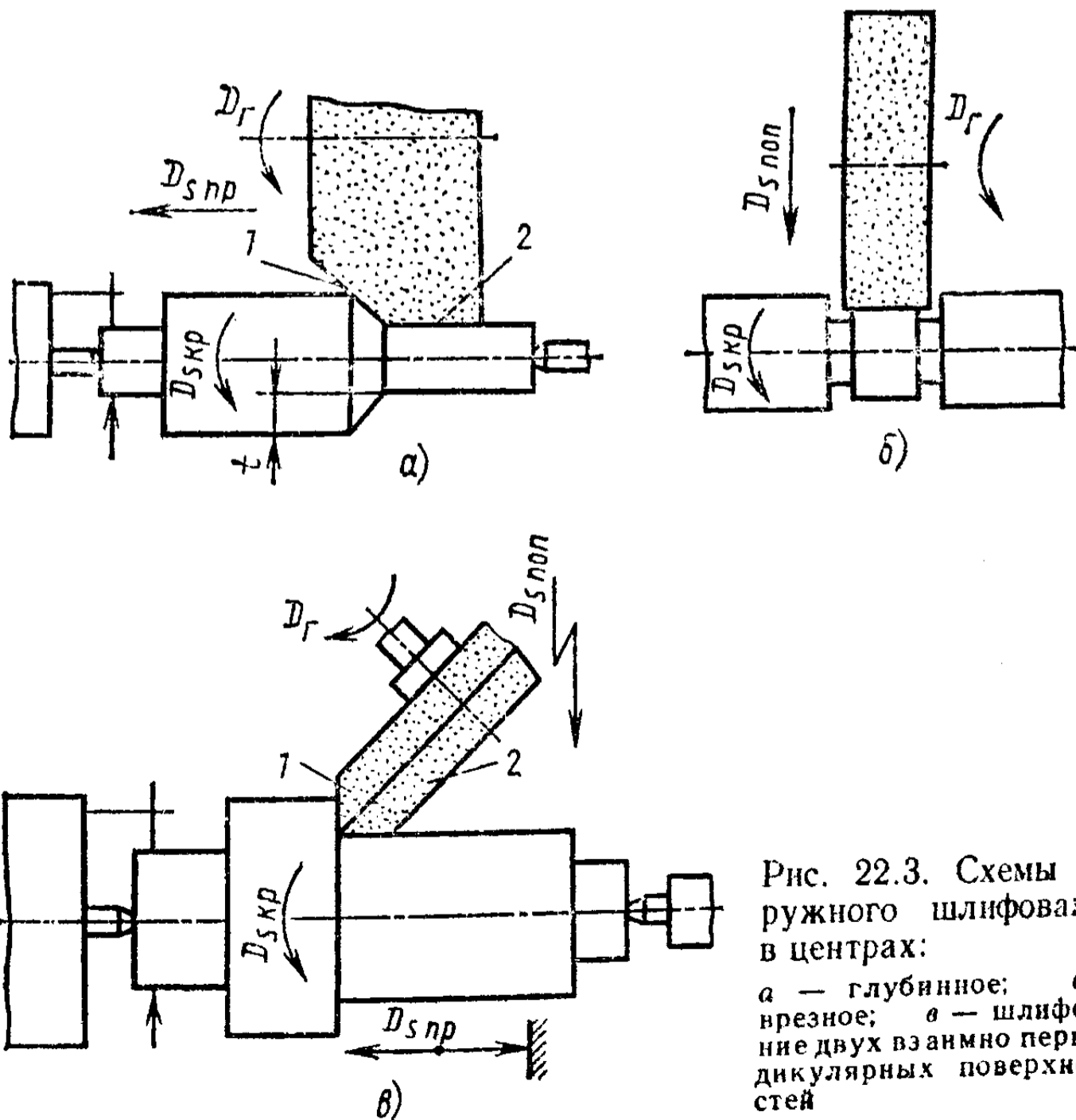


Рис. 22.3. Схемы наружного шлифования в центрах:

а — глубинное; б — врезное; в — шлифование двух взаимно перпендикулярных поверхностей

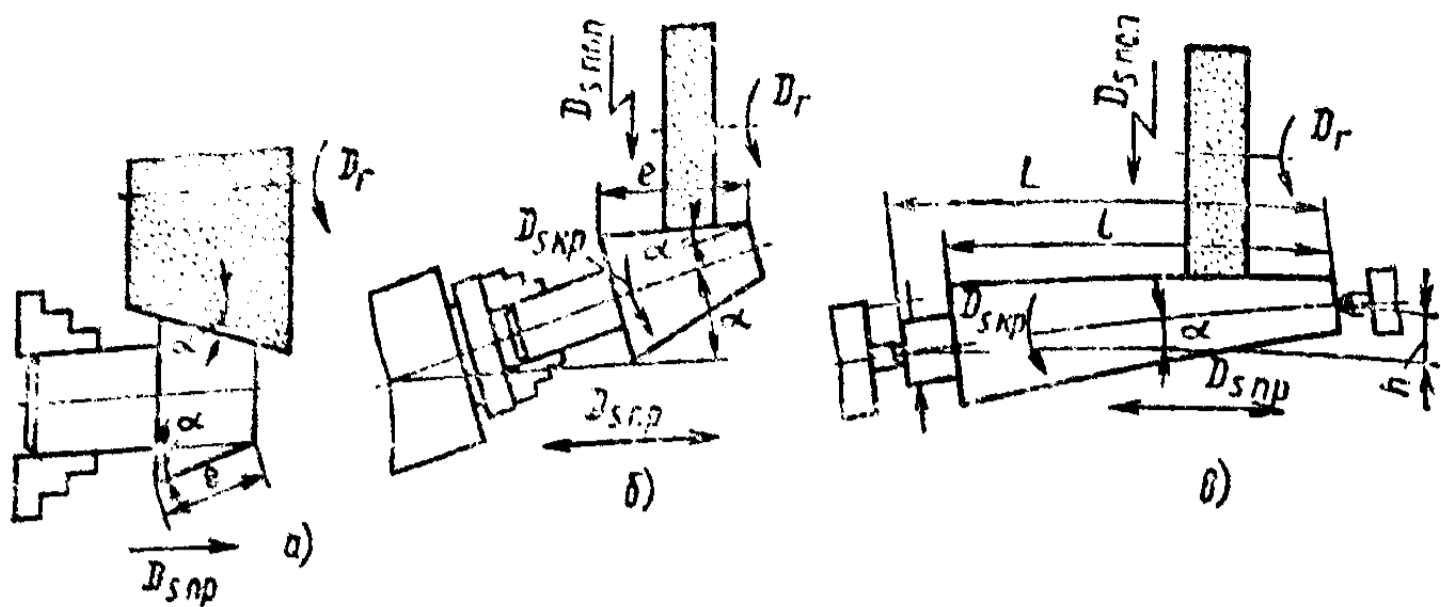


Рис. 22.4. Схемы обработки конических поверхностей на круглошлифовальном станке

чины (0,1—0,8 мм), а иногда и более за один-два продольных хода.

В массовом и серийном производстве (автомобили, тракторы, гидропанели и т. д.) много деталей обрабатывают врезным шлифованием (рис. 22.3, б). При врезном шлифовании обрабатывают шейки коленчатых валов, плунжеры, фасонные поверхности, кольцевые канавки и т. п. Движение подачи при врезном шлифовании обеспечивается только в одном направлении — перпендикулярно оси вращения обрабатываемой заготовки до определенного размера. Ширина (длина) обрабатываемой поверхности, как правило, должна быть меньше высоты абразивного инструмента.

В некоторых случаях необходимы очень жесткие требования к расположению цилиндрической и торцевой поверхностей, т. е. перпендикулярность торцевой поверхности по отношению к оси заготовки (шпинделя токарных и фрезерных станков и т. п.). В этом случае цилиндрическую часть заготовки обрабатывают обычным осциллирующим шлифованием конической поверхностью 2 круга, повернутого на угол  $45^\circ$  и специально заправленного под прямым углом (рис. 22.3, в), а торцевую часть заготовки шлифуют конической поверхностью 1 круга.

На круглошлифовальных станках возможна также обработка конических поверхностей с различной длиной прямых и обратных конусных поверхностей (рис. 22.4). У меньших по длине конусных поверхностей (рис. 22.4, а) конусная поверхность может быть обработана с достаточной точностью непосредственно шлифовальным кругом, заправленным под углом  $\alpha$ , равным 0,5 угла конуса заготовки.

При длине образующей конусной поверхности большей, чем ширина (высота) круга, обработка производится по схеме, показанной на рис. 22.4, б. Этот метод предусматривает обработку консольно закрепленных заготовок в шпинделе передней бабки станка. Передняя бабка поворачивается относительно продольной оси стола на угол  $\alpha$ , равный половине угла конуса, и обработка производится путем осциллирующего шлифования. Заготовка совершает круговое движение подачи  $D_{s\text{кр}}$  вокруг своей оси, а стол — продольное возвратно-поступательное движение подачи  $D_{s\text{пр}}$ . Поперечное движение подачи  $D_{s\text{поп}}$  передается шпинделем во время выхода шлифовального круга из зоны резания на каждый ход стола или двойной ход. Современными круглошлифовальными станками имеют верхнюю часть стола, поворачивающуюся на угол до  $7^\circ$  относительно вертикальной оси. Шлифование конусных поверхностей большой длины и малой конусности (до  $14^\circ$ ) производится поворотом верхней части стола на половину угла конусности. Обработка производится обычным осциллирующим методом (рис. 22.4, в).

**Обработка заготовок на плоскошлифовальных станках.** При плоском шлифовании периферией круга (рис. 22.5) обеспечивается наиболее высокая точность обработки, лучшие показатели качества обработанной поверхности, возможна обработка заготовок малой жесткости. Заготовки, обрабатываемые этим методом, устанавливаются на плоском столе и закрепляются либо механически, либо, что чаще всего, — на магнитной плите. При плоском шлифовании возвратно-поступательное продольное движение подачи ( $D_{s\text{пр}}$ ) и прерывистое движение поперечной подачи ( $D_{s\text{поп}}$ ) совершает заготовка или шлифовальный круг. Движение подачи круга на глубину резания осуществляется в крайнем положении стола по мере обработки всей плоскости. Если заготовка уже ширины круга, то вертикальное движение подачи осуществляется на каждый двойной ход заготовки.

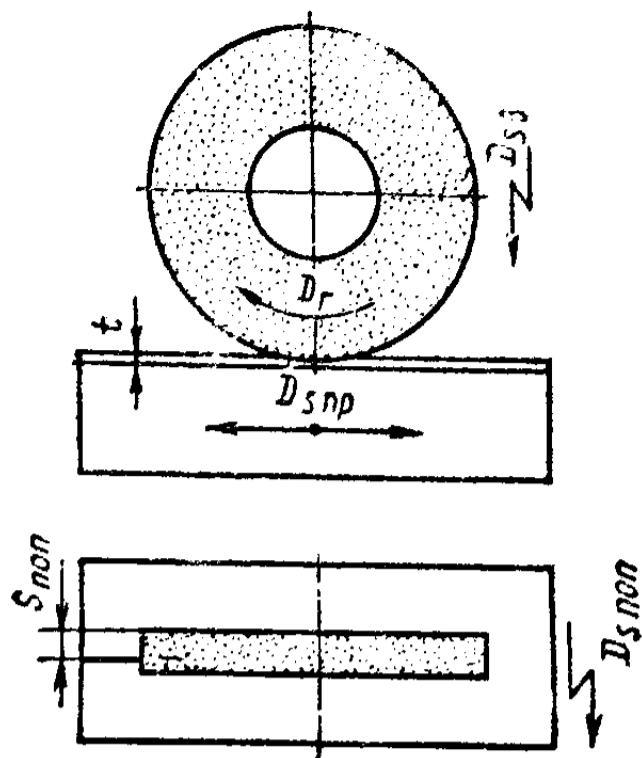


Рис. 22.5. Схема обработки заготовки на плоскошлифовальном станке периферией круга

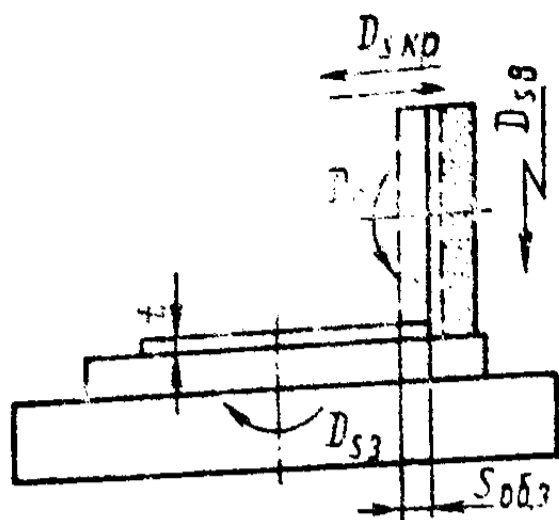


Рис. 22.6. Схема обработки заготовок периферией круга на плоскошлифовальном станке с круглым столом

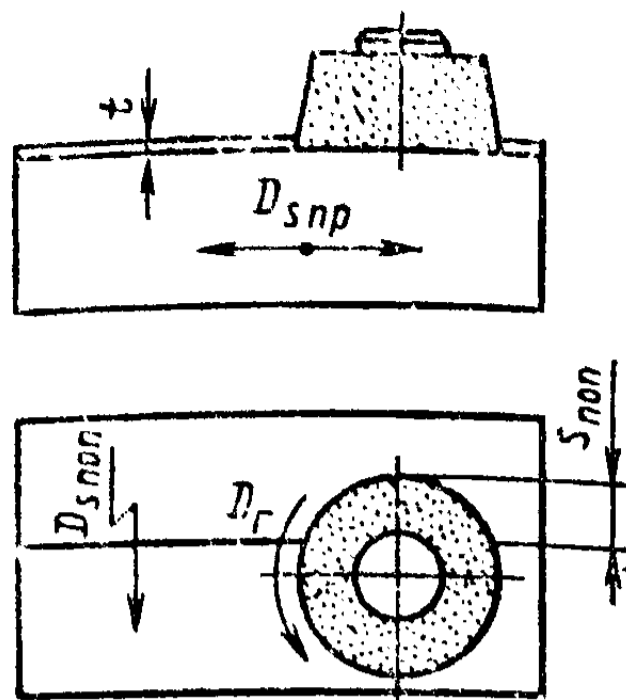


Рис. 22.7. Схема обработки на плоскошлифовальном станке торцом чашечного круга

Плоское шлифование периферией круга большой партии однотипных заготовок производится на плоскошлифовальных станках с круглым столом (рис. 22.6). Заготовки закрепляют на столе, чаще всего магнитном. Это дает возможность осуществлять зажим большой партии заготовок с небольшой толщиной. Круговое движение подачи  $D_{с\text{кр}}$  обеспечивается вращением стола, а радиальное — перемещением шпинделя с кругом или перемещением стола в направлении оси вращения шпинделя. По мере снятия определенной части припуска круг перемещается в вертикальном направлении на расстояние, численно равное  $S_{в}$ , находясь вне зоны обработки.

Плоское шлифование торцом круга (рис. 22.7) также может осуществляться на станках, подобных плоскошлифовальному с прямоугольным и круглым столом. Но в отличие от резания периферией круга при торцовом шлифовании одновременно участвует в резании намного больше режущих элементов-зерен (большая площадь контакта). В этой связи при торцовом шлифовании выделяется существенно больше теплоты и возможны прижог и коротение тонких заготовок. Чтобы уменьшить выделение теплоты, часто используют сегментные торцовые круги с меньшей площадью контакта. На специальных продольно-шлифовальных станках, работающих по принципу работы продольно-строгальных станков, торцовыми чашечными кругами обрабатывают поверхности больших корпусных деталей, направляющие станины токарных станков различ-

ного типа, различные базовые поверхности крупногабаритных заготовок и т. п.

Способы установки и закрепление заготовок на плоскошлифовальных станках всех видов зависят от размеров, формы обрабатываемых заготовок, типа производства.

Закрепление заготовок на магнитной плите обеспечивает быстрый и надежный прижим заготовок, имеющих поверхность базирования. Отжим заготовок так же прост, как и закрепление, но у этого метода есть и ряд недостатков: невозможность закрепления немагнитных материалов; опасность деформирования тонких заготовок, которые во время прижима притягиваются к плите и после выключения ее возвращаются в исходное положение; намагничивание заготовок (после обработки требуется специальное устройство, когда это необходимо, для размагничивания).

В тех случаях, когда форма заготовки, технология обработки или свойство материала не позволяют закреплять заготовки на магнитных столах, применяют различные механические способы крепления: упоры, болты, штифты, тиски, закрепляемые на столе станка, различные синусные приспособления, выставляемые с помощью плит или механически с точной градуировкой лимбов (оптические) для обработки различных наклонных поверхностей с большой точностью угла наклона. При шлифовании немагнитных заготовок, тонких пластин и т. п. применяют также вакуумные столы. Иногда для шлифования немагнитных заготовок используют различные клеи (шеллак и др.) для наклеивания заготовок на металлическую плиту, которую устанавливают на магнитной плите. После повторного нагрева заготовки снимают с плиты.

**Обработка заготовок на внутришлифовальных станках.** Внутренним круглым шлифованием обрабатывают внутренние поверхности. Обработка производится следующими методами: шлифование с продольным движением подачи (рис. 22.8, а, б), врезное шлифование с поперечным движением подачи, врезное шлифование с дополнительной осцилляцией круга (рис. 22.8, в), шлифование с планетарным  $D_{с пл}$  движением круга (рис. 22.8, г). При планетарном движении шпиндель с кругом помимо главного движения совершает еще вращательное, относительно оси обрабатываемого отверстия. Метод применяют для шлифования отверстий в тяжелых корпусных заготовках.

При шлифовании внутренних отверстий диаметр шлифовального круга всегда должен быть меньше диаметра

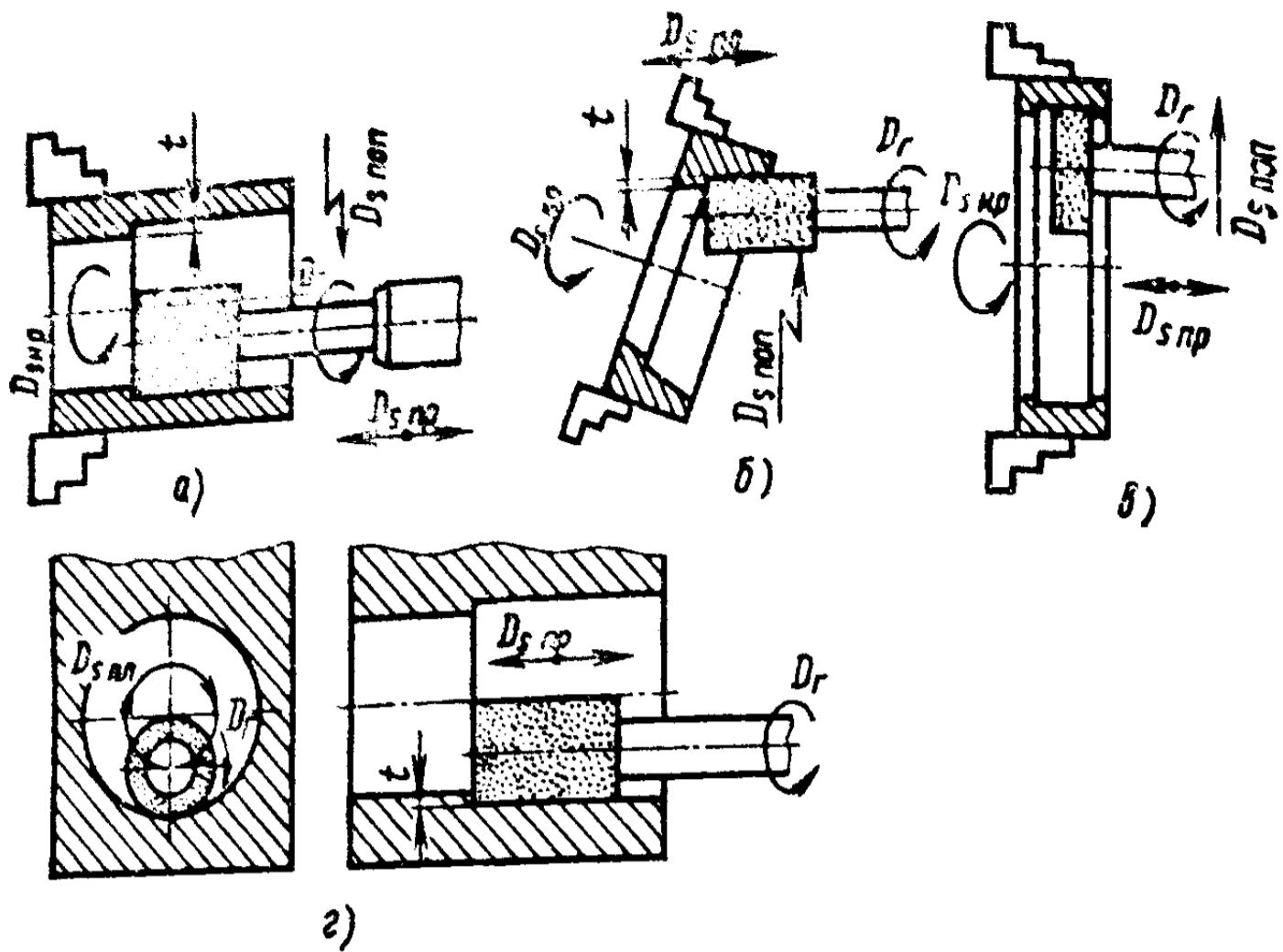


Рис. 22.8. Схемы обработки заготовок на внутришлифовальных станках

обрабатываемого отверстия, чем затрудняется внутреннее шлифование (малая жесткость шпинделя, особенно при шлифовании глубоких отверстий, большой линейный износ круга, так как велика дуга контакта инструмента и заготовки, затруднена подача СОТС). Охлаждение должно подаваться под большим давлением через специальные сопла, а в особо ответственных случаях применяют подачу СОТС специальными методами.

**Бесцентровое круглое наружное шлифование.** Сущность бесцентрового шлифования заключается в том, что заготовка в процессе обработки не закрепляется в центрах и

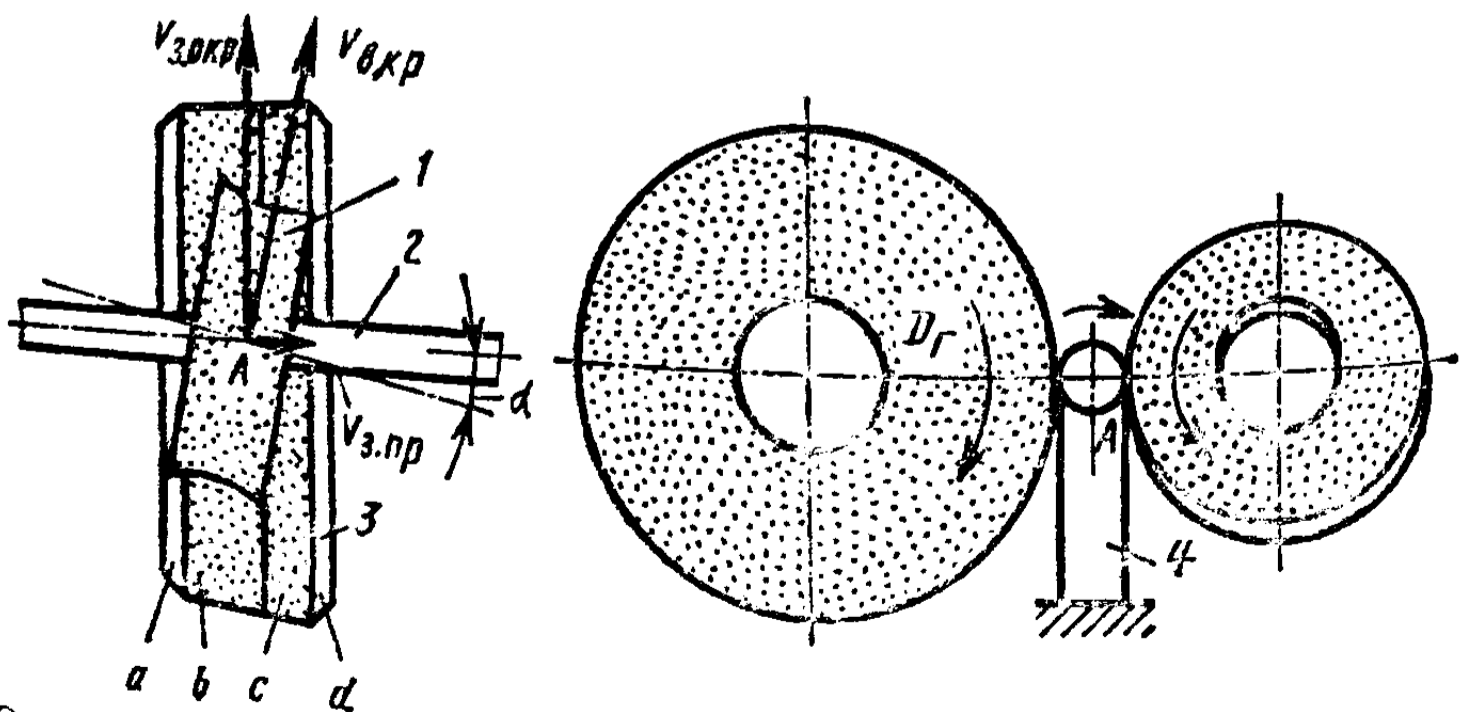


Рис. 22.9. Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке

других зажимных приспособлениях, а базируется на опорном ноже станка и ведущем круге (рис. 22.9). Таким образом, возможно шлифование большими партиями не только заготовок колец, гильз, но и заготовок, имеющих большую длину и малый диаметр. Обработка заготовки (заготовок) 2 заключается в следующем. Шлифовальный 3 и ведущий 1 круги вращаются с разной частотой. Окружная скорость шлифовального круга в 50—60 раз выше окружной скорости ведущего круга. Конструктивно ведущий круг выполнен так же, как шлифовальный, но на основе вязких, вулканических связующих веществ, обеспечивающих контакт с заготовкой практически без скольжения. В этом случае мгновенная окружная скорость в точке А (точка контакта) будет одинаковой для заготовки и ведущего круга.

Рассмотрим схему бесцентрового шлифования напроход (рис. 22.9). Для обеспечения перемещения заготовки вдоль оси шлифовального круга у ведущего круга предусмотрен наклон в вертикальной плоскости на  $0—8^\circ$  к оси шлифовального круга. Учитывая это, а также одинаковые окружные скорости ведущего круга и заготовки в месте контакта, разложим вектор угловой скорости ведущего круга на составляющие относительно заготовки: вертикальную — вектор угловой скорости заготовки и горизонтальную — вектор скорости перемещения заготовки вдоль своей оси. Тогда окружная скорость (м/мин) заготовки  $v_{з. \text{окр}} = v_{в} \cos \alpha \cdot k$ . Скорость (м/мин) продольного перемещения заготовки по направляющим ножа 4  $v_{з. \text{пр}} = v_{в} \sin \alpha \cdot k$ , где  $\alpha$  — угол наклона ведущего круга;  $k$  — коэффициент проскальзывания.

Меняя угол наклона ведущего круга  $\alpha$ , можно изменять в значительной степени угловую скорость и скорость поступательного движения заготовки. При  $\alpha = 0$   $v_{з. \text{пр}} = 0$  происходит врезное шлифование.

Рабочая поверхность шлифовального круга состоит из четырех участков, каждый из которых выполняет свою функцию. Участок *a* — участок входа заготовки, или заборный конус. Высота этого конуса 10—30 мм. Угол его наклона способствует беспрепятственному вхождению заготовок в зону резания с предельными значениями припуска. Основную часть круга по высоте занимает рабочий конус *b*, который снимает припуск с заготовки и обеспечивает равномерность его съема. Цилиндрическая калибрующая зона *c* обеспечивает заданный параметр

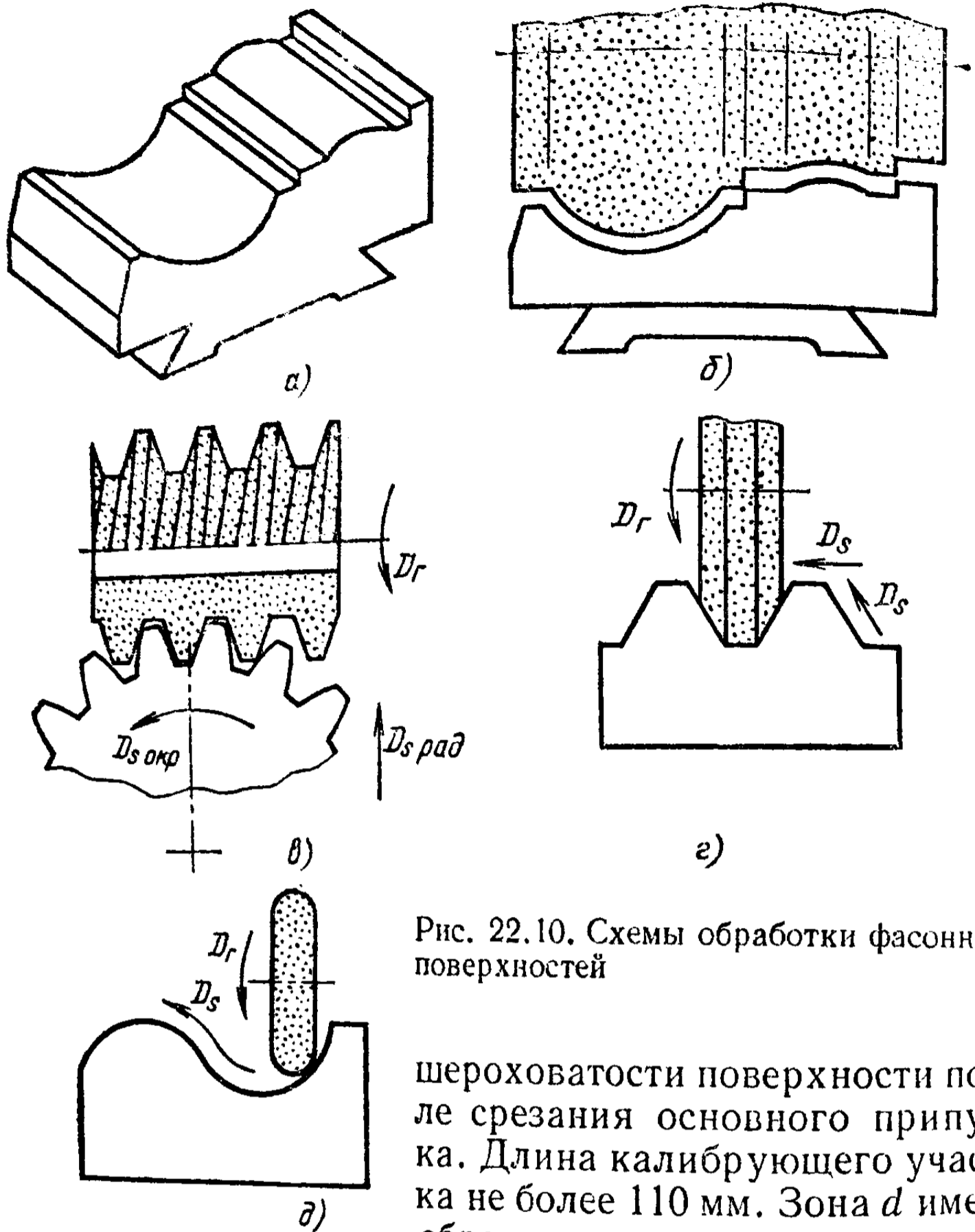


Рис. 22.10. Схемы обработки фасонных поверхностей

шероховатости поверхности после срезания основного припуска. Длина калибрующего участка не более 110 мм. Зона *d* имеет обратную конусность и служит для направления заготовок после обработки, длина этого конуса не превышает 20—30 мм. Кроме заготовок, имеющих форму тела вращения, а также заготовок с прямолинейной образующей, которые можно обработать на кругло-, плоско-, бесцентрово-шлифовальных станках абразивными инструментами простой формы (ПП, ЧЦ, ЧК и т. п.), существует большая группа заготовок, имеющих фасонные, сложные поверхности, к шероховатости и параметрам точности которых предъявляют высокие требования: зубчатые колеса, шлицевые валы, кулачки, лопатки турбин, комп-рессоров, фасонные резцы, профильные шаблоны, копиры и т. п. Все эти поверхности обрабатывают на специальных станках и специальными шлифовальными кругами, имеющими сложный профиль.



Профильное шлифование можно осуществлять различными методами, но наиболее распространенные из них три: 1) метод копирования (рис. 22.10, а, б), при котором профиль круга соответствует профилю детали; метод огибания профиля на заготовке рабочей поверхностью круга за счет относительного движения обкатки (рис. 22.10, в); 3) метод эквидистантного шлифования, при котором движение подачи круга осуществляется по траектории, эквидистантной по отношению к шлифуемому профилю (рис. 22.10, г, д), т. е. отстоящей на одинаковое расстояние от образующей шлифуемого профиля.

### § 22.3. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Элементы срезаемого слоя при шлифовании относятся не к единичным режущим зернам, а к их совокупности — режущей поверхности абразивного инструмента. Основными элементами режима резания при шлифовании являются: окружная скорость круга  $v_{кр}$ , окружная скорость (перемещения) заготовки  $v_з$ , глубина резания  $t$ , подача  $S$ . Элементы режима резания при плоском, круглом шлифовании показаны на рис. 22.2, 22.5, 22.7; а при внутреннем шлифовании — на рис. 22.8.

Скоростью (м/с) резания при шлифовании  $v_{кр}$  называют линейную скорость на наибольшей окружности шлифовального круга  $v_{кр} = \pi D n$ , где  $n$  — частота вращения,  $c^{-1}$ .

Скоростью перемещения заготовки при шлифовании называют: при плоском шлифовании — скорость перемещения стола, при круглом шлифовании — окружную скорость заготовки.

Поперечной подачей (при плоском шлифовании) и продольной подачей (при круглом и внутреннем шлифовании) называют перемещение точки круга вдоль оси за один оборот, ход или двойной ход заготовки. Поперечную подачу измеряют в долях высоты круга  $H$ ;  $S = kH$ , где  $k$  — коэффициент.

Глубиной резания при шлифовании называют слой металла между обработанной и обрабатываемой поверхностью, снимаемый за один рабочий ход.

В зависимости от различных технологических параметров качества заготовки, оборудования можно с помощью справочных данных назначить окружную скорость шлифовального круга, глубину срезаемого слоя, скорость движения подачи.

## 22.1. Режимы круглого наружного шлифования

Шлифование	Характер обработки	Продольная подача, доли ширины круга	Окружная скорость заготовок, м/мин	Подача на глубину шлифования		
				мм/мин	мм/ход стола	мм/дв. ход стола
Врезное	Обдирочная	—	30—50	0,1—0,5	—	—
	Чистовая	—	20—40	0,05—0,20	—	—
С продольным движением подачи	Обдирочная	0,3—0,7	15—30	—	0,01—0,025	0,015—0,05
	Чистовая	0,2—0,4	20—60	—	0,005—0,01	0,005—0,01

По табл. 22.1 можно ориентировочно выбрать режимы круглого наружного шлифования.

При обдирочном шлифовании достигается точность по 6—9-му качеству и параметр шероховатости поверхности  $Ra = 1,2...2,5$  мкм, окончательное шлифование обеспечивает точность по 5—6-му качеству и  $Ra = 0,2...1,2$  мкм. При тонком шлифовании достигается  $Ra = 0,025...0,1$  мкм при припуске на обработку 0,025—0,05 мм. Выбранные по таблице значения параметров режима шлифования сравнивают с паспортными данными и выбирают параметры обработки.

### § 22.4. СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Снятие припуска с заготовки любым инструментом, в том числе абразивным, сопровождается действием силы  $P$ , которая отделяет лишний слой материала в виде стружки. У лезвийных инструментов (резцов, сверл, фрез и т. п.) довольно просто представляется воздействие силы резания  $P$  или ее составляющих ввиду явно выраженных режущих элементов, геометрических параметров инструментов, движений и т. п. У абразивного инструмента в силу конструктивных особенностей нет единой режущей кромки.

При некоторых видах шлифования (плоское, бесцентровое и др.) хотя и происходит отделение припуска со значи-

тельными силами резания, но эти силы не оказывают существенного влияния (при оптимальных режимах обработки) на параметры качества обработанной поверхности. При круглом наружном шлифовании знание сил резания (а точнее составляющих этих сил) имеет большое значение, так как они в значительной мере оказывают влияние на качественные, точностные и стойкостные показатели шлифования.

На рис. 22.11 приведена схема наружного круглого шлифования в центрах. Из рисунка следует, что сила резания относительно заготовки расположена в процессе шлифования под определенным углом. Знание силы резания  $P$  необходимо для управления параметрами качества обрабатываемой поверхности заготовки, расчета мощности шпиндельного двигателя и др. Но измерить силу резания  $P$  с достаточной точностью не всегда возможно, а составляющие этой силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  легко могут быть измерены трехкомпонентными динамометрами в процессе шлифования. Знание составляющих силы резания позволяет судить о механизме срезания припуска и влиянии на него таких параметров, как режим обработки, обрабатываемый материал, характеристика шлифовального круга, состояние режущей поверхности абразивного круга, а также тип правящего инструмента и режимы правки.

Наибольшее влияние на качественные показатели обрабатываемой заготовки при круглом наружном шлифовании оказывает нормальная составляющая силы резания  $P_y$  — сила, препятствующая внедрению шлифовального круга (совокупности абразивных зерен) в заготовку и направленная перпендикулярно к режущей поверхности круга. Эту силу называют радиальной, если режущая поверхность цилиндрическая. Из рис. 22.11 также следует, что кроме нормальной составляющей силы резания на заготовку еще действует касательная составляющая силы резания  $P_z$  (обычно  $P_z$  в 1,5 — 2,5 раза меньше  $P_y$ ) и осевая составляющая силы резания  $P_x \approx 0,5 \dots 10$  Н. В отдельных случаях

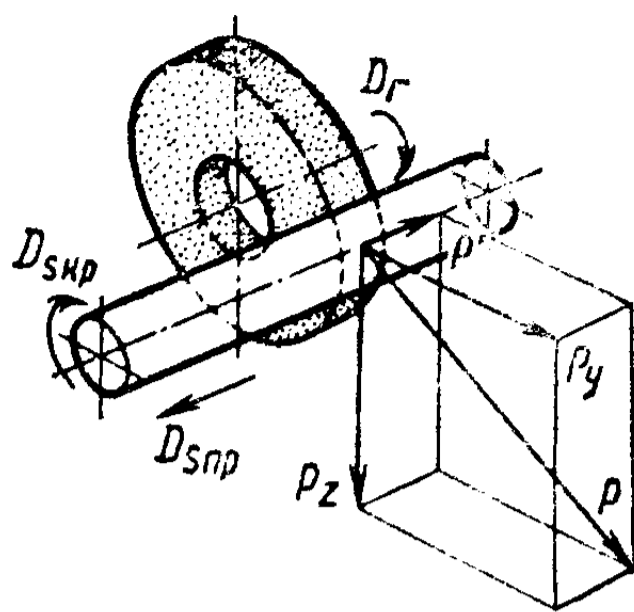


Рис. 22.11. Схемы составляющих силы резания при наружном круглом шлифовании в центрах

силой резания можно активно управлять путем выбора оптимальных режимов резания, режимов правки, правящих инструментов, обильной подачи СОТС.

## § 22.5. КОНСТРУКЦИИ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Абразивные инструменты имеют свои конструктивные особенности. Шлифовальные круги, бруски, сегменты, головки применяют для различных операций шлифования, хонингования, полирования и т. п. Ленты используют для шлифования и отделочной обработки заготовок фасонного профиля. Свободные абразивные порошки и пасты применяют при притирке и полировке, жидкостной отделочной обработке и т. п.

Конструктивные особенности абразивных инструментов рассмотрим на конкретном примере шлифовального круга по его маркировке: ПП 500×60×305 34А 40 СТ2 6 К5 35 м/с А 1 кл. В маркировку инструмента входят тип круга и его размеры (ПП 500×60×305), марка абразивного материала (34А), зернистость и индекс зернистости (40), твердость (СТ2), структура (6), связка (К5), допустимая окружная скорость (35 м/с), класс точности (А), класс неуравновешенности (1 кл).

**Абразивные материалы.** Рабочими элементами любого абразивного инструмента являются классифицированные частицы абразивного материала, твердость которых выше твердости обрабатываемого материала. В качестве абразивного материала широко используются электрокорунды, карбид кремния, алмаз, кубический нитрид бора (эльбор). Алмазно-абразивной обработке подвергают самые различные поверхности и материалы. Наиболее широкое применение в машиностроении находят круги из электрокорунда и карбида кремния (рис. 22.12) по ГОСТ 2424—83, алмазные круги по ГОСТ 16167—80, 16172—80Е и др., а также эльборовые круги по ГОСТ 17123—79Е.

Электрокорунды (кристаллическая окись алюминия  $Al_2O_3$ ) получают из естественных бокситов с незначительными примесями некоторых материалов. Выпускают следующие разновидности электрокорундов: нормальный (13А—16А), белый (22А—25А), хромистый (32А—34А), титанистый (37А), монокорунд (43А—45А), циркониевый (38А). По мере возрастания номера индекса растет процентное содержание окиси алюминия и увеличивается

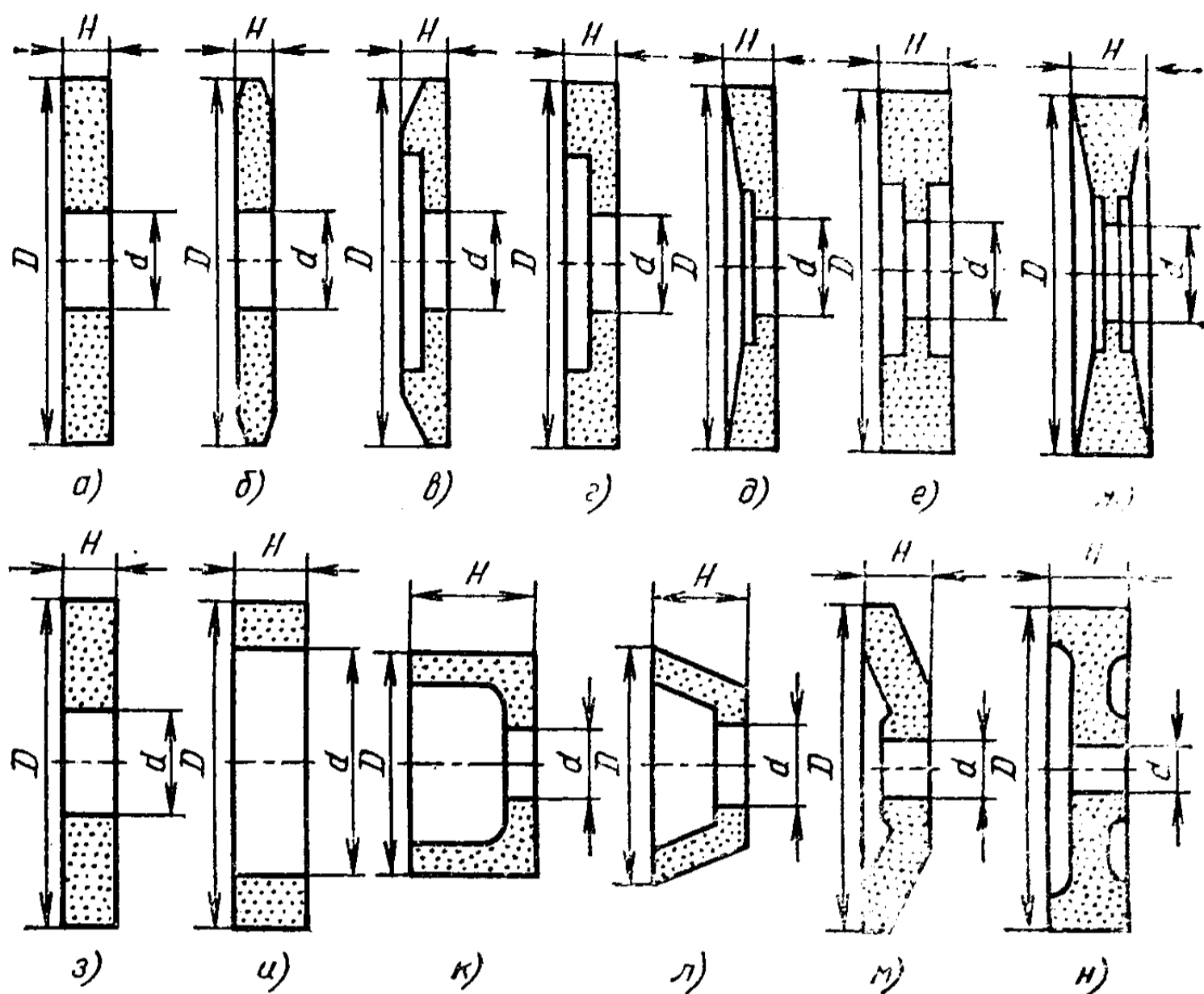


Рис. 22.12. Форма сечений шлифовальных кругов по ГОСТ 2424—83: а — с прямым профилем (ПП); б — с двусторонним коническим профилем (2П); в — с коническим профилем (ЗП); г — с выточкой (ПВ); д — с конической выточкой (ПВК); е — с двусторонней выточкой (ПВД); ж — с двусторонней конической выточкой (ПВДК); з — специальный (ПН); и — кольцевой (К); к — чашечный цилиндрический (ЧЦ); л — чашечный конический (ЧК); м — тарельчатый (Т); н — с двусторонней выточкой и ступицей (ПВДС)

режущая способность. Легируя глинозем в процессе плавки титаном, цирконием, хромом, получают абразивные материалы с требуемыми свойствами.

Карбид кремния (карборунд) содержит 97—99 % SiC и незначительные примеси других элементов. Выпускают две разновидности карбида кремния: черный (53С, 54С) и зеленый (63С, 64С). Зеленый карбид кремния более хрупок, чем черный, и применяется для обработки чугуна, твердых сплавов цветных металлов, камня. Черный карбид кремния более прочен и применяется в аналогичных случаях, но более тяжелых условиях обработки.

Алмазные инструменты (круги, правящий инструмент, некоторые виды лезвийного инструмента, порошки) необходимы для прогрессивной технологии в машиностроении и потребность в них непрерывно растет. В настоящее время в СССР благодаря синтетическим алмазам полностью

удовлетворены нужды промышленности в этом сырье. В инструментах природный алмаз условно обозначают А, синтетические алмазы АС. По ГОСТ 9206—80Е выпускают алмазные шлифпорошки следующих марок: АСО, АСР, АСВ, АСК, АСС (шлифзерно 2000—160 мкм, шлифпорошки 125—40 мкм, микропорошки 63—14 мкм; тонкие шлифпорошки 10—3 мкм).

В 1957 г. был синтезирован новый абразивный материал — кубический нитрид бора. Кубический нитрид бора можно встретить под названиями: борозон, композит гексанит, эльбор, кубонит, КНБ. По своим прочностным характеристикам и режущей способности эльбор близок к алмазу. Его условное обозначение Л. Плотность эльбора ( $3,48 \text{ г/см}^3$ ) немного уступает плотности алмаза ( $3,5 \text{ г/см}^3$ ).

Каждая группа абразивных материалов обладает своими особенностями при обработке различных материалов: режущие свойства, износостойкость, теплостойкость, способность сопротивляться адгезионному изнашиванию и др.

Абразивные инструменты из белого электрокорунда применяют в основном для обработки закаленных заготовок и инструментов из углеродистых легированных быстрорежущих сталей. Абразивные материалы из карбида кремния SiC имеют большую твердость, чем зерна электрокорунда, и меньшую химическую связь.

Абразивный инструмент из природного и синтетических алмазов широко применяют для обработки заготовок и инструмента из твердых сплавов, стекла, керамики, камня, бурового инструмента.

Для обработки легированных труднообрабатываемых жаропрочных сталей и сплавов применяют шлифовальные круги, бруски, шкурки, лезвийный инструмент из эльбора.

**Зернистость инструмента.** Зернистость инструмента характеризует размер зерен основной группы. Шлифзерно сортируют специальными ситами с размером ячеек 200—16 мкм, а шлифпорошки с размером ячеек 12—3 мкм. Зернистость шлифовального материала на абразивном инструменте указывают в десятках микрометров, например зернистость 40 означает средний размер зерна 400 мкм. Мелкие зерна называют микропорошками (М63—М14) или тонкими микропорошками (М10—М5).

**Твердость инструмента.** Способность связки предотвращать вырывание абразивных зерен в процессе резания при сохранении инструментом характеристики в пределах

установленной нормы называют твердостью инструмента. Чем выше степень твердости, тем прочнее связь между абразивными зернами в инструменте. И чем выше твердость, тем больше связки и меньше пор. Таким образом, абразивные инструменты из одного и того же материала, с одной и той же связкой могут иметь различную твердость. Увеличение или уменьшение объема связки на 1,5 % приводит к изменению твердости на одну степень.

Абразивные инструменты имеют различные степени твердости — от чрезвычайно твердых (ЧТ) до чрезвычайно мягких (ЧМ), а также весьма мягкие (ВМ), мягкие (М), среднемягкие (СМ), средние (С), среднетвердые (СТ), твердые (Т) и весьма твердые (ВТ). Каждая степень твердости имеет несколько подгрупп и на маркировке круга степень твердости указывают индексом, например СТ2, ЧТ5 и т. п. Твердость — очень важный показатель работоспособности инструмента: в чрезвычайно мягком круге еще работоспособные зерна могут вырываться из связки, увеличивая расход инструмента. В чрезмерно твердом круге затупившиеся зерна остаются в инструменте, ухудшая параметры качества обработанной поверхности. Определенной твердости всегда соответствует определенный объем пор, %:

Твердость абразивного инструмента	М1	М2	М3	СМ1	СМ2	С1	С2	СТ1	СТ2	СТ3
Объем пор	46,5	45	43,5	42	40,5	39	37,5	36	34,5	33

Из сказанного выше следует, что изменение твердости достигается изменением доли связки  $\Delta V_{св}$  и соответствующим изменением объема пор при постоянном объеме зерен для определенной структуры круга. Для объема круга

$$V_s + (V_{св} \pm \Delta V_{св}) + (V_{п} \mp \Delta V_{п}) = 100 \%,$$

где  $V_s$  — суммарный объем зерен в круге, %;  $V_{св}$  — суммарный объем пор в чугунае, %;  $V_{п}$  — суммарный объем пор в круге, %.

По степени твердости абразивные инструменты подразделяют на 8 групп и более чем на 20 степеней твердости (см. табл. 22.2).

**Структура шлифовального круга.** Процентное соотношение трех основных фазовых составляющих (зерен, связки и пор) в объеме абразивного инструмента называют структурой. Структуры абразивных инструментов обозначают номерами от 0 до 20. Структуры подразделяют на

## 22.2. Шкала твердости абразивных инструментов

Твердость инструмента	Обозначение	Твердость инструментов на связках	
		керамической и бакелитовой	пυлканитовой
Чрезвычайно мягкий	ЧМ	—	—
Весьма мягкий	ВМ, ВМ1, ВМ2	—	—
Мягкий	М	М1, М2, М3	—
Среднемягкий	СМ	СМ1, СМ2	—
Средний	С	С1, С2	С
Среднетвердый	СТ	СТ1, СТ2, СТ3	СТ
Твердый	Т	Т1, Т2	Т
Весьма твердый	ВТ	ВТ1, ВТ2	—
Чрезвычайно твердый	ЧТ	ЧТ1, ЧТ2, ЧТ3, ЧТ4, ЧТ5, ЧТ6, ЧТ7, ЧТ8, ЧТ9, ЧТ10	—

закрытые (1—4), средние (5—8) и открытые (9—12). Структуры 13—20 — высокопористые. Например, у инструмента со структурой 0 объемная концентрация зерен 62 %, а со структурой 20—22 %.

С увеличением структуры на один номер объем зерен в инструменте уменьшается на 2 %, а объем связки увеличивается на 2 % при неизменном суммарном объеме пор. Эту зависимость можно представить в виде

$$(V_z \pm \Delta V_z) + (V_{св} \mp \Delta V_{св}) + V_{п} = 100 \%,$$

где  $\Delta V_z = \Delta V_{св} = 2 \%$ .

В настоящее время существует 21 структура абразивных инструментов (табл. 22.3).

## 22.3. Зависимость объема зерен от номера структуры

Структура							
плотная		средняя		открытая		очень открытая	
№	Объем зерен, %	№	Объем зерен, %	№	Объем зерен, %	%	Объем зерен, %
0	62	5	52	9	44	13—14	36—34
1	60	6	50	10	42	15—16	32—30
2	58	7	48	11	40	17—18	28—26
3	56	8	46	12	38	19—20	24—22



У алмазных, эльборовых инструментов содержание абразивной фазовой составляющей задается относительной процентной концентрацией. В настоящее время в промышленности применяют алмазные и эльборовые инструменты с концентрацией 25, 50, 100, 150 %. Но под 100 %-ной концентрацией алмаза или эльбора понимают 25 % объема абразивной составляющей, остальные 75 % — связка, поры, наполнители. При 150 %-ной концентрации 37,5 % зерен алмазов или эльбора и т. д.

Абразивные инструменты плотной структуры применяются для снятия очень небольшого припуска (малое число пор). Инструменты с плотными (0—3) структурами используют для доводки, прецизионного шлифования.

Основные операции предварительного и окончательного шлифования производят инструментами средних (5, 6, 7, 8) структур. С повышением номера структуры расстояние между зернами увеличивается, лучше отводится стружка, СОТС легче проникает в зону резания, можно работать с несколько повышенными режимами резания. Но инструменты с более открытой структурой обладают меньшей прочностью и быстрее теряют форму профиля. Все чаще и чаще, особенно для врезного шлифования заготовок ответственных деталей, применяют высокопористые круги. Внешне эти круги напоминают губку, они имеют большие по размеру поры. Поры по размерам превосходят зерна, которые соединены тонкими мостиками связки. Поры больших размеров получают благодаря специальной технологии изготовления кругов путем выгорания при термической обработке различных добавок (пластмассы, бисер сополимера, опилки, уголь и др.).

**Связка инструментов.** Абразивные зерна в теле инструмента должны быть связаны между собой, если этот инструмент представляет собой круг, брусок, сегмент и т. п. Связующий материал или совокупность нескольких связующих, удерживающих абразивные зерна в теле инструмента, называют связкой.

Связка играет сложную роль в процессе механической обработки абразивным инструментом. Удерживая зерна, она должна удовлетворять определенным требованиям: быть хрупкой (легко разрушаться), вязкой (выдерживать большие колебания сил резания и не разрушаться), очень прочной (удерживать абразивные зерна до их полного изнашивания или выкрашивания) и т. д. Но все связки должны выдерживать высокую температуру в зоне реза-

ния. Все связки абразивных инструментов подразделяют на три группы в зависимости от физико-механических свойств: органические, минеральные и металлические.

К органическим связкам относятся: бакелитовая (Б), в основе которой — жидкий или порошкообразный бакелит с некоторыми наполнителями и увлажняющим компонентом; вулканитовая (В), в основе которой — жидкий каучук. Применяя ускорители затвердевания, а также некоторые добавки, получают абразивные круги на вулканитовой связке с широким диапазоном эксплуатационных свойств (упругость, плотность). Шлифовальные круги на вулканитовой связке позволяют работать до скорости 75 м/с. Недостаток вулканитовой связки — малая теплоустойчивость (теплостойкость каучука 150—180 °С). Поэтому при длительном воздействии температуры в зоне резания более 250° С связка выгорает, а при температуре 200 °С круг становится хрупким.

К органическим связкам относится и глифталева, в основе которой — синтетические смолы из глицерина. Ее применяют как связующее вещество карбида кремния зеленого малой зернистостью от 6 до М14 при полировании. Она находит применение и при изготовлении порошковых (высокопористых) кругов, объем пор которых достигает до 80 %.

К керамическим (минеральным) связкам (К) относятся многокомпонентные соединения, включающие в себя огнеупорную глину, борное стекло, тальк, полевой шпат и некоторые другие элементы. В качестве клеящего вещества связки применяют жидкое стекло, декстрин и т. п. Керамическая связка характеризуется высокой хрупкостью. Поэтому круги на керамической связке не могут выдерживать ударные нагрузки и в то же время такие круги могут работать в режиме частичного «разрушения», т. е. самозатачивания, что является их достоинством (например, круги твердостью М и ВМ).

Несмотря на сравнительную сложность изготовления шлифовальных кругов на керамической связке, их выпуск составляет 50—60 % общего объема производства. Круги на керамической связке прочны, теплоустойчивы и имеют самое разнообразное применение. Алмазные и эльборовые круги часто изготавливают на металлических связках. Например, по отношению к общему объему производства кругов на бакелитовой связке выпускается 30—35 %, на вулканитовой 4—7 %, на других связках — не более 1 %.

**Классы точности и неуравновешенности шлифовальных кругов.** При изготовлении абразивного инструмента неизбежны отклонения различных параметров: размеров, формы, расположения поверхностей и т. п. В зависимости от этих отклонений и устанавливают классы точности абразивного инструмента. Шлифовальные круги изготовляют трех классов точности: АА, А, Б.

В зависимости от допустимых неуравновешенных масс для абразивных кругов по ГОСТ 3060—86 установлено четыре класса неуравновешенности: 1, 2, 3, 4. В маркировке инструмента класс неуравновешенности кругов указывают после класса точности. Маркировка алмазных и эльборовых кругов несколько отличается от маркировки абразивных. После обозначения геометрических размеров круга следует его характеристика, например АС4 100/80 150 М15, где АС4 — материал зерен (алмаз синтетический); 100/80 — интервал зернистости, мкм; 150 — 150 %-ная условная концентрация алмазов (за 100 %-ную концентрацию принимают четверть объема алмазоносного слоя, т. е. 25 % алмазов в 1 см<sup>3</sup> алмазоносного слоя); М15 — материал связки (М — металлическая).

**Изнашивание и стойкость кругов.** Шлифование, как и любой процесс механической обработки, сопровождается интенсивным изнашиванием шлифовального круга. Изнашивание проявляется не только в затуплении режущих кромок, но и в выкрашивании зерен, заполнении пор продуктами шлифования («засаливание») и в износе наиболее нагруженных частей режущей поверхности круга. Изношенный круг частично теряет свою режущую способность, ухудшая качественные показатели обработанной поверхности: точность, шероховатость, микротвердость и др.

Правильно подобранный круг работает в частичном режиме самозатачивания, т. е. изношенные зерна частично скалываются или вырываются из режущей поверхности круга, образуя или обнажая новые режущие кромки. Ввиду того, что невозможно (из экономических соображений) полное самозатачивание, периодически необходимо восстанавливать режущую способность круга и профиль его режущей поверхности. Это достигается правкой, при которой производится снятие «дефектного слоя» абразивного инструмента и возобновление его режущих свойств. Время работы абразивного инструмента от одной правки до другой называют периодом стойкости. На износ

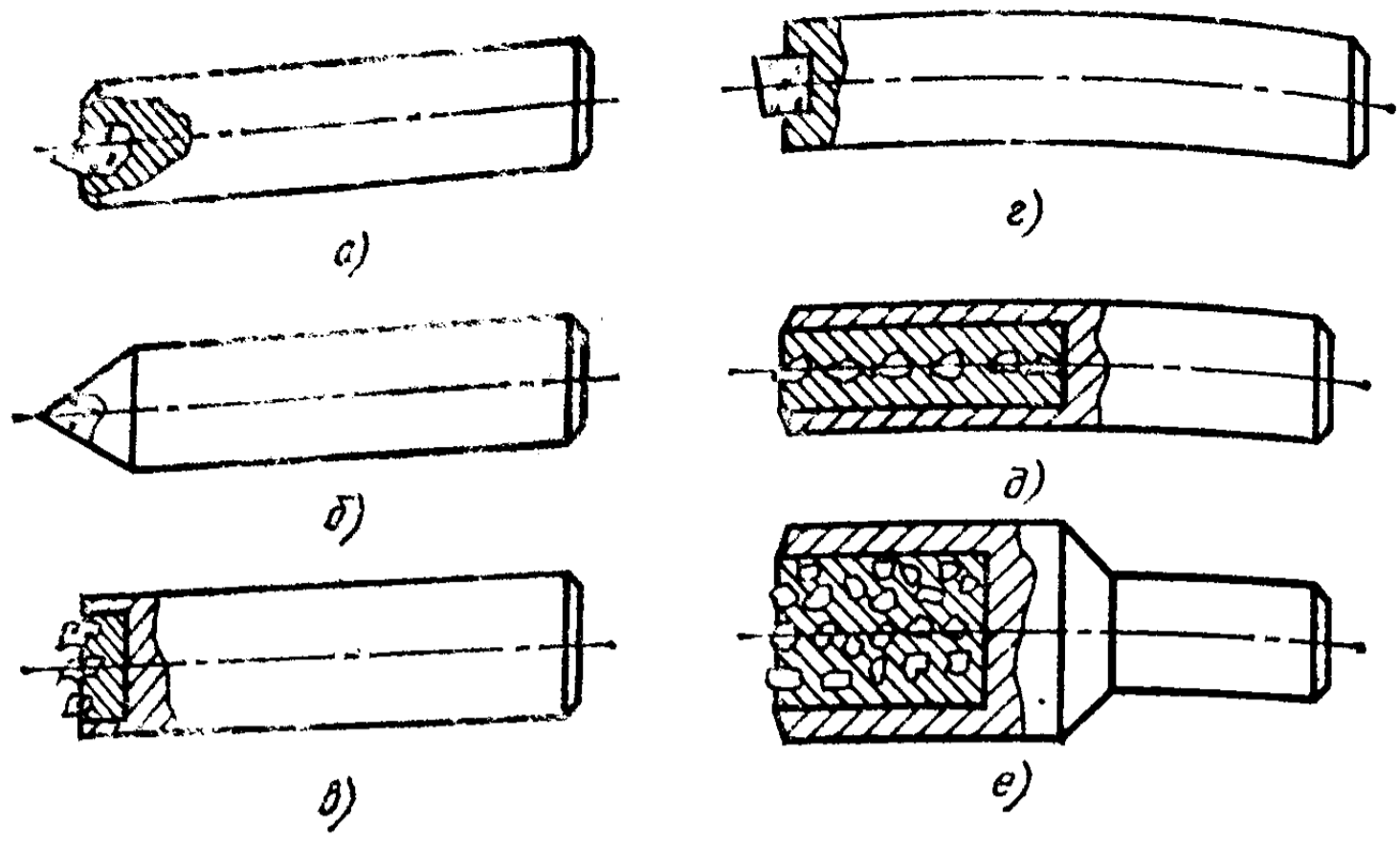


Рис. 22.13. Алмазные правящие инструменты, работающие по методу сбтачивания:

а — алмаз в оправе; б — алмазная игла; в — алмазная гребенка; г — алмазная пластина; д — алмазный карандаш типа Ц; е — алмазный карандаш типа Н

и стойкость кругов влияют режимы резания, обрабатываемый материал, характеристика круга, а также режимы правки и правящий инструмент. Период стойкости абразивных кругов составляет 5—60 мин.

Правка и балансировка шлифовальных кругов. В зависимости от конкретных условий шлифования величина слоя круга, снимаемого при правке, составляет 0,02—0,1 мм. Правку осуществляют различными способами: обтачиванием алмазами в оправе, алмазными карандашами, иглами, алмазными пластиками (рис. 22.13), шлифованием кругами из карбида кремния (рис. 22.14, в), алмазно-металлическими и твердосплавными роликами (рис. 22.14, а, б), выдавливанием поверхностного слоя круга обкаты-

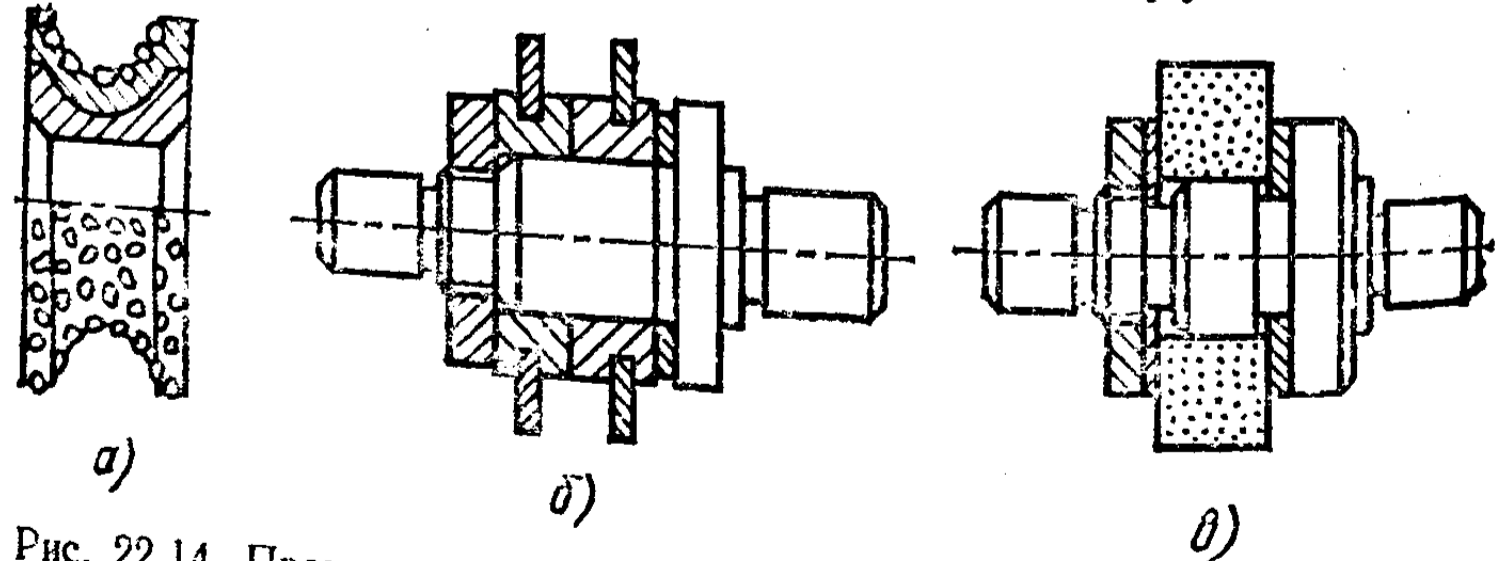


Рис. 22.14. Правящие инструменты: а — алмазно-металлический ролик; б — твердосплавные ролики; в — круг

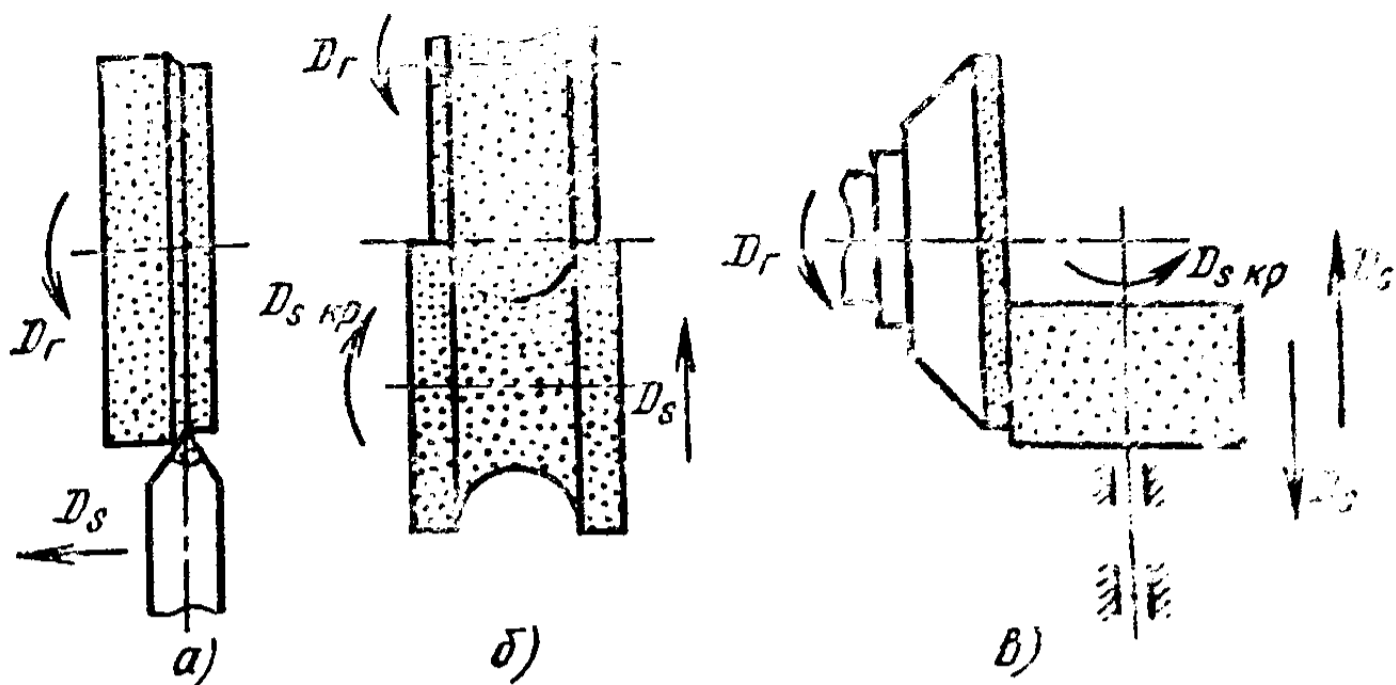


Рис. 22.15. Схемы правки кругов:

*a* — обтачиванием; *б* — шлифованием алмазно-металлическими роликами; *в* — шлифовальным кругом из карбида кремния

ванием по нему дисков или роликов (рис. 22.15, б). Правку кругов обтачиванием (рис. 22.15, а) выполняют со следующими режимами: скорость подачи инструмента 0,05—1,5 м/мин, толщина снимаемого слоя 0,005—0,04 мм. На станках-автоматах правка осуществляется автоматически.

Правка алмазных и эльборовых кругов производится абразивными брусками, шлифовальными кругами, (рис 22.15, в) электрохимическими методами и свободным абразивным материалом. Период стойкости у алмазных и эльборовых кругов значительно выше, чем у кругов из электрокорунда и карбида кремния, и зависит от конкретных условий шлифования. Способ правки, вид правящего инструмента, режимы правки влияют на формирование режущей поверхности шлифовального круга и, следовательно, на силы резания, температуру, точность и т. д.

Шлифовальный круг, закрепленный на шпинделе станка, вращается с большой угловой скоростью. Поэтому необходимо, чтобы масса круга была уравновешена относительно оси вращения. Неуравновешенность круга вызывает периодические нагрузки на подшипники и при значительных нагрузках появляются колебания (вибрации шпиндельной группы и станка в целом). Это приводит к ухудшению качества шлифуемой поверхности (появляется огранка), к повышенному расходу абразивного материала и быстрому изнашиванию шпинделя. Во избежание этих нежелательных, а порой и опасных явлений (разрыв круга) круги необходимо балансировать, добиваясь сим-

метричного распределения вращающихся масс относительно оси шлифовального круга.

Наиболее проста статическая балансировка кругов, когда круг на специальной оправке устанавливают перпендикулярно закаленным, имеющим малую шероховатость валикам. На рабочем фланце круга в пазу расположены сухарики (обычно три), которые можно зафиксировать в любом положении, установив их в паз планшайбы в начале балансировки.

Установив сухарики под углом  $120^\circ$ , дают возможность кругу поворачиваться вокруг оси до полного останова. После останова круга нижнюю его часть помечают мелом. Это и будет наиболее тяжелая его часть.

Регулируя перемещениями двух крайних сухариков, добиваются такого положения круга, когда круг остается неподвижным в любом положении относительно меловой черты (круг считается уравновешенным). Наиболее прогрессивным и эффективным средством балансировки являются автоматические балансировочные устройства, позволяющие балансировать круг на шпинделе без его снятия со станка с рабочей угловой скоростью.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключается особенность шлифования?
2. Расскажите об основных методах шлифования различных поверхностей.
3. Какие абразивные материалы применяют для изготовления шлифовальных кругов?
4. Какие связующие материалы применяют для изготовления шлифовальных кругов?

## ГЛАВА 23. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

### § 23.1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Шлифовальные станки относятся к третьей группе станков и подразделяются на ряд типов, из которых наиболее распространены следующие: плоскошлифовальные — для обработки различных плоскостей; круглошлифовальные — для обработки заготовок, имеющих ось вращения по наружной поверхности; внутришлифовальные — для обработки внутренних отверстий заготовок;

бесцентрово-шлифовальные — для обработки наружных поверхностей тел вращения, имеющих большую по сравнению с диаметром длину, или заготовок типа колец, заготовок, обрабатываемых в серийном или массовом производстве; заточные — для заточки различного режущего инструмента.

### § 23.2. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ СТОЛОМ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ШПИНДЕЛЯ

Станки этого типа весьма распространены и предназначены для шлифования плоских поверхностей периферией шлифовального круга. В небольших пределах по высоте, допускаемых кожухом шпинделя, возможно шлифование вертикальных поверхностей. Схемы обработки на плоскошлифовальных станках приведены на рис. 22.5—22.7. Отдельные модификации станков этой группы предназначаются для профильного шлифования (станок Е711В), для глубинного шлифования (станок ЗЕ721ГВ-1), где предусматривается малая скорость перемещения стола (примерно 0,01 м/мин). Выпускают также станки для скоростного шлифования (ЗЕ711ИВФ-1 и ЗЕ721ВФ1-1), работающие при скорости круга 50 и 60 м/с. На станках с ЧПУ (ЗЕ721ВФ3-1) осуществляются автоматическое возвращение узлов в исходное положение, цифровая индикация всех размерных перемещений и автоматическое устранение зазоров в кинематических узлах станка. Станки всех моделей оборудованы системой, обеспечивающей обильную подачу СОЖ в зону резания.

На рис. 23.1 показан общий вид плоскошлифовального станка ЗГ71. На станине 1 размещен крестовой стол 2 с направляющими, по которым перемещается рабочий стол 3. Стол 3 оборудован кожухами, обеспечивающими безопасную работу станочника. На столе 3 установлена магнитная плита, тиски или другое зажимное приспособление для установки и закрепления обрабатываемой заготовки. На колонне 4 расположена шлифовальная бабка 5, несущая шпиндель со шлифовальным кругом 6, который работает периферией. К основным узлам станка относятся также гидростанция 8 и система электрооборудования, расположенная внутри станины станка или отдельным электрошкафом.

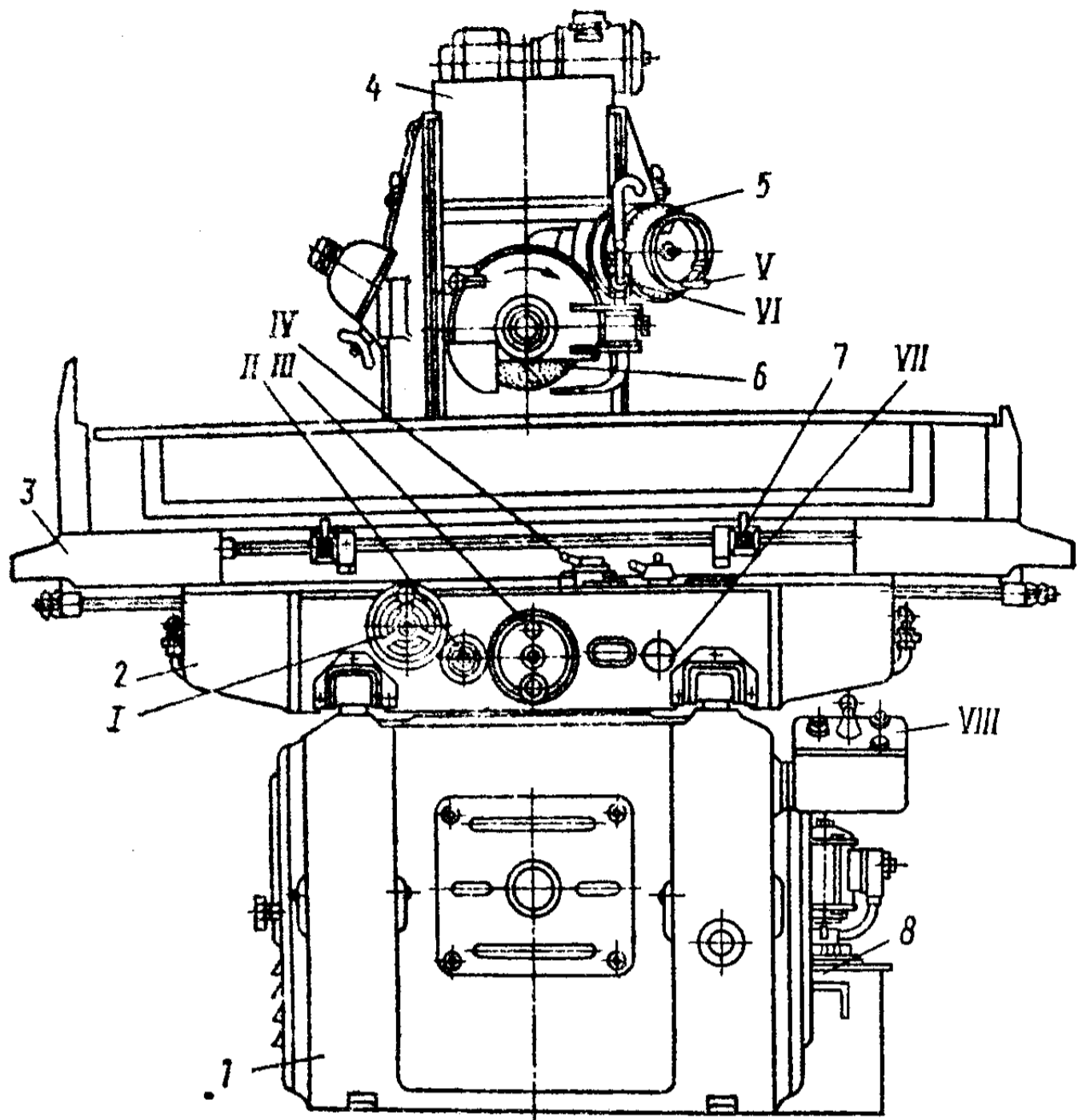


Рис. 23.1. Плоскошлифовальный станок 3Г71 с прямоугольным столом и горизонтальной осью шпинделя

К органам управления станка относятся рукоятки *I* ручного продольного перемещения стола, диск *II* установки автоматической поперечной подачи, рукоятка *III* ручного перемещения стола в поперечном направлении, рукоятка *IV* ручного реверса стола, маховичок *V* ручной вертикальной подачи шпинделя, системы *VI* подвода СОТС, рукоятка *VII* включения и реверсирования поперечной подачи стола, панель *VIII* управления станком. Длину ухода стола устанавливает передвижными упорами *7*.

В СССР выпускают также станки с прямоугольным столом, не имеющим поперечного движения подачи, с вертикальной и горизонтальной осью шпинделя. Поперечное движение подачи осуществляет шпиндельная бабка с мощным двигателем. Эти станки (например, 3Г1722) работают с большей производительностью, но точность обработки на них несколько ниже, чем у станков, имеющих движе-



ние поперечной подачи, осуществляемое столом. Схема обработки на плоскошлифовальном станке с прямоугольным столом показана на рис. 22.5.

### § 23.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Круглошлифовальные станки выпускают повышенной, высокой и особо высокой точности (соответственно классы П, В, А). Для станков соответствующих классов точности регламентированы допуски на размеры шлифуемых заготовок и шероховатость их поверхности. Станок ЗН163С, например, обеспечивает отклонение от круглости 0,5 мкм на диаметре 100 мм, отклонение формы до 2—5 мкм и параметр шероховатости поверхности  $Ra = 0,04$  мкм. Такие параметры достигаются с помощью гидростатических и пневмостатических подшипников шпинделя, использования твердосплавных центров крепления заготовки, повышения жесткости станка и др. В качестве привода поперечного движения подачи у современных прецизионных станков применяют шаговый электродвигатель, позволяющий перемещать шпиндельную бабку с очень высокой точностью.

На рис. 23.2 показан общий вид универсального круглошлифовального станка ЗА151. Основные узлы станка следующие: станина 1, по направляющим которой перемещаются нижний 2 и верхний 3 поворотные столы; на верхнем столе установлена передняя 4 и задняя 7 бабки. Шпиндель передней бабки неподвижен. Вращение заготовки обеспечивается планшайбой и поводком, планшайба приводится в движение клиноременной передачей от двигателя постоянного тока. На станине в тыльной ее части расположена шлифовальная бабка 6, несущая шпиндель со шлифовальным кругом 5. К основным узлам относится также гидростанция, расположенная внутри станины и представляющая собой отдельный блок. Гидростанция управляет перемещением стола с обрабатываемой заготовкой и перемещением шпиндельной бабки (подвод, отвод) в поперечном направлении.

К органам управления станка относятся: рукоятка IV ручного перемещения стола, рукоятка VI ручного перемещения и подачи шпиндельной бабки, рычаг III возвратно-поступательного движения стола, рычаг I регу-

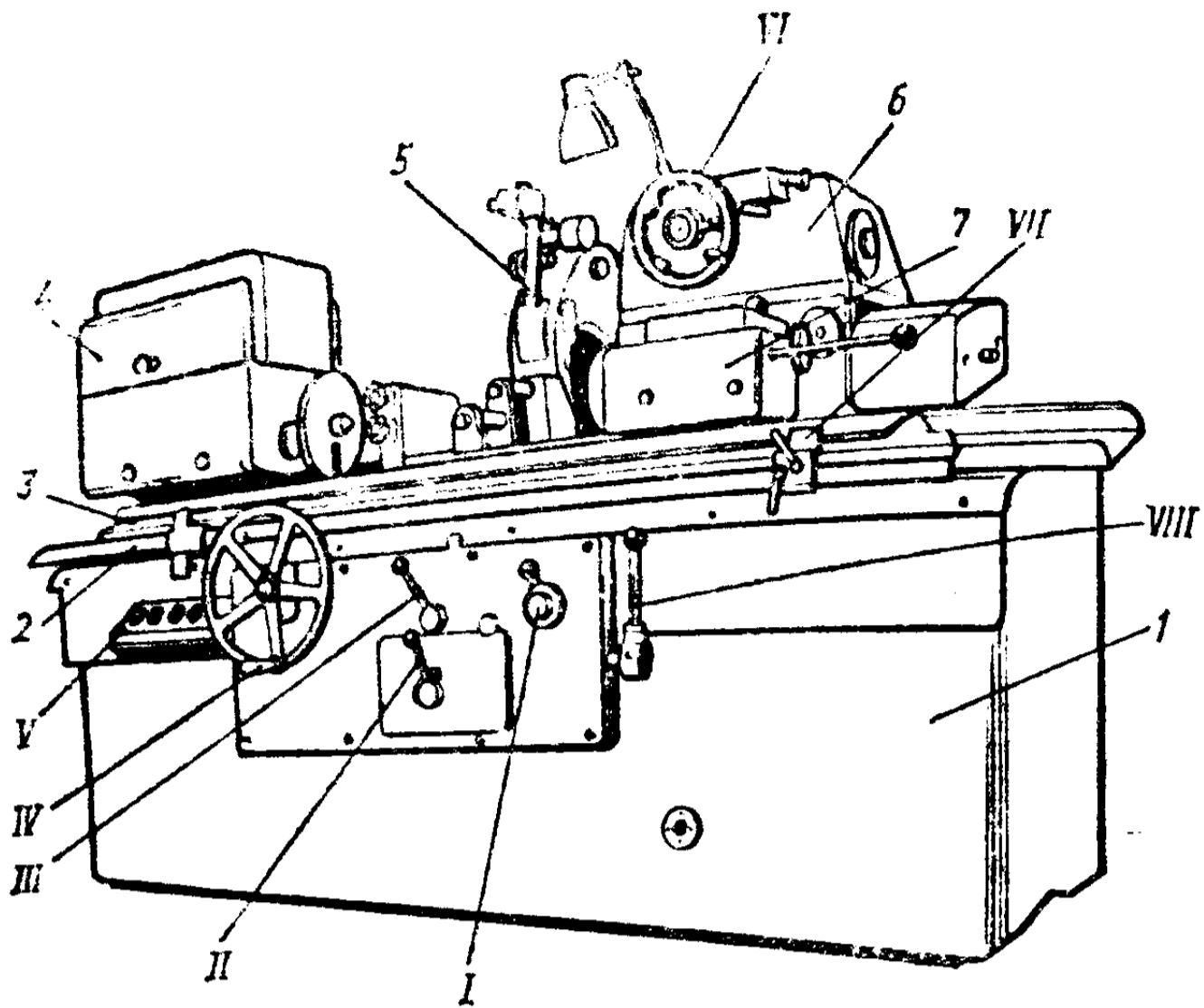


Рис. 23.2. Круглошлифовальный станок 3А151

лирования задержки стола в крайних положениях, рычаг *I* регулирования скорости перемещения стола, рычаг *VIII* быстрого отвода и подвода шпиндельной бабки, пульт управления *V*, длина хода стола устанавливается упорами *VII*. Схема обработки на круглошлифовальном станке показана на рис. 22.2.

#### § 23.4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

В зависимости от типа обрабатываемой заготовки и ее размеров внутришлифовальные станки разделяют на две основных группы: 1) станки, в которых вращаются шпиндель со шлифовальным кругом и заготовка; 2) станки, у которых заготовка неподвижна, а шлифовальный круг наряду с вращением получает движение по образующей обрабатываемого отверстия (станки планетарного типа).

Для станков первой группы распространены три основные компоновки: 1) поперечное и продольное движения подачи осуществляются шлифовальным кругом с прямолинейным перемещением; 2) поперечное движение подачи осуществляется шлифовальным кругом, а продольной подачи — заготовкой; 3) поперечное и продольное

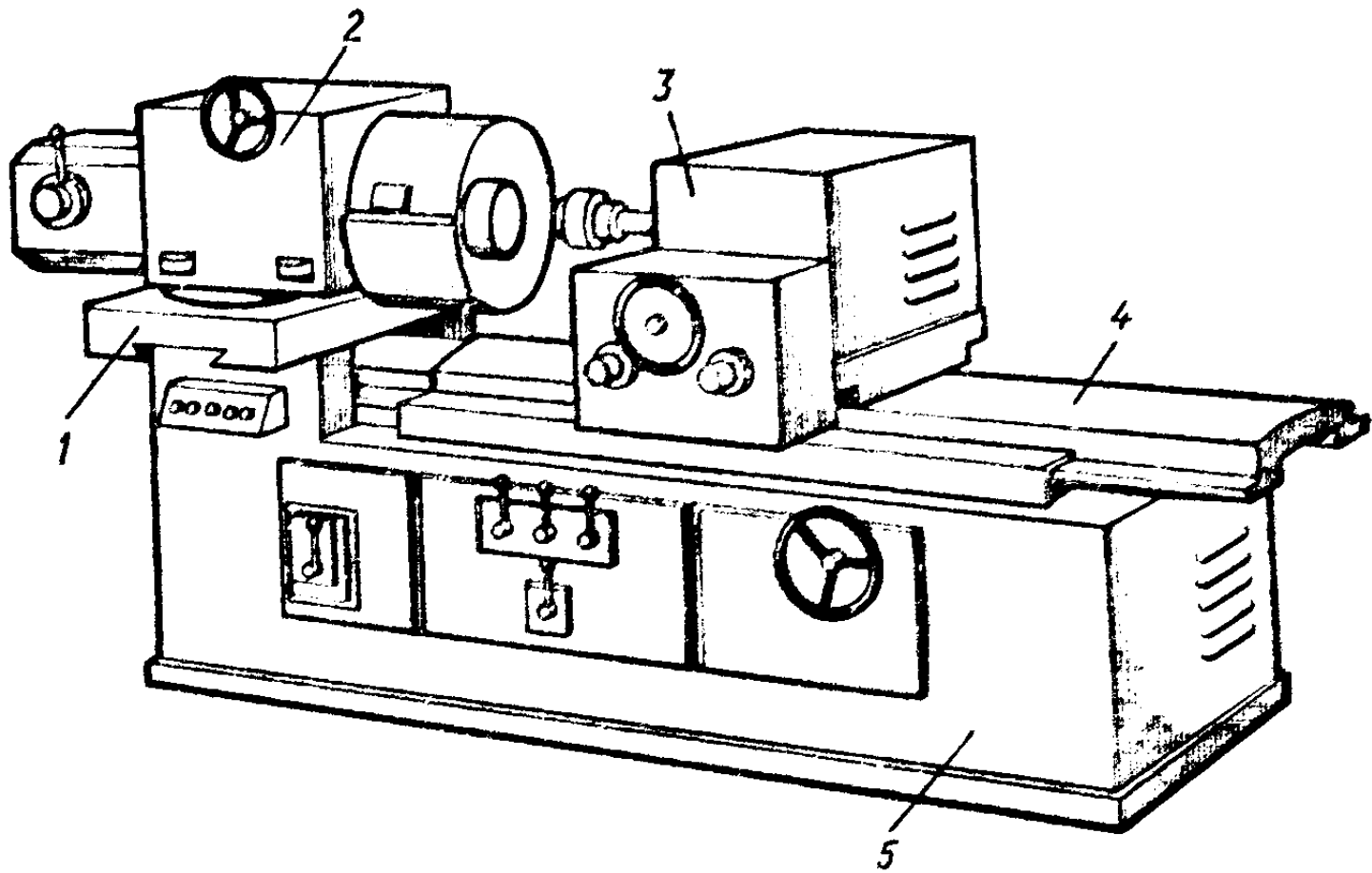


Рис. 23.3. Внутришлифовальный станок 3А252

движения подачи производит шлифовальный круг (рис. 22.8, а, б, в).

Внутришлифовальные станки оборудованы для обработки наружного торца заготовки специальным приспособлением с дополнительным шпинделем. Внутришлифовальные станки обрабатывают отверстия диаметром 3—800 мм.

На рис. 23.3 показан общий вид внутришлифовального станка 3А252. На станине 5 установлен мост 1 со шпиндельной бабкой 2. Шпиндельная бабка перемещается во время наладки станка в поперечном направлении по направляющим моста. Приспособление для шлифования торцов также устанавливается на корпусе бабки изделия. Стол 4 со шлифовальной бабкой 3 совершает возвратно-поступательное движение по направляющим станины. Внутришлифовальный станок, как и шлифовальные станки других типов, оборудован системой охлаждения с магнитным сепаратором, электронасосом. Шпиндельная бабка может поворачиваться на угол до  $45^\circ$ , это позволяет обрабатывать внутренние конусные поверхности. Схемы обработки на внутришлифовальных станках приведены на рис. 22.8.

### § 23.5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

К конструктивным особенностям бесцентрово-шлифовальных станков относятся, прежде всего, различные компоновки двух основных узлов: шлифовальной

бабки 2 (рис. 23.4, а, б) и бабки 1 ведущего круга. По основной компоновке бесцентрово-шлифовальные станки подразделяют на станки с неподвижной и подвижной шлифовальными бабками. В станках с неподвижной шлифовальной бабкой суппорт 1 (рис. 23.4, а) ножа и бабка ведущего круга установлены на отдельной каретке. Каретка перемещается при врезном шлифовании и при компенсации изнашивания ведущего круга. Эти станки обладают высокой жесткостью, но недостатком является смещение оси обрабатываемой заготовки по мере изнашивания шлифовального круга.

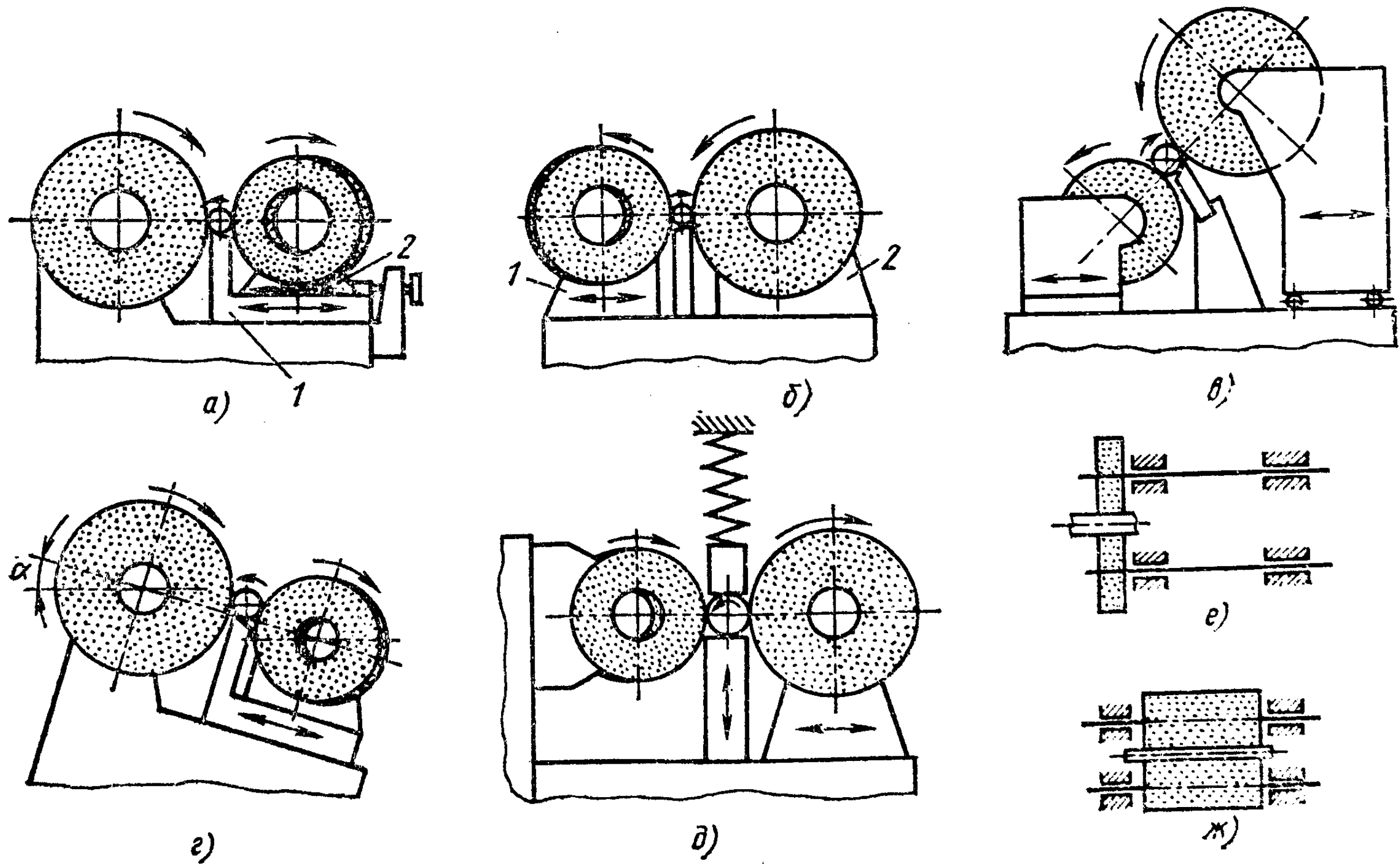
В станках с подвижной шлифовальной бабкой опорный нож жестко закреплен на станине станка (рис. 23.4, б), а шлифовальная бабка и бабка ведущего круга, перемещаясь перпендикулярно своим осям, компенсирует изменение положения оси заготовки по мере изнашивания кругов. Благодаря такой компоновке эти станки обрабатывают заготовки типа труб и прутков и существенно облегчается встраивание их в автоматические линии.

Бесцентрово-шлифовальные станки различаются также по расположению линии центров и могут быть разделены на горизонтальные, наклонные и вертикальные (рис. 23.4, а, в, д).

Наиболее распространены станки с горизонтальным расположением линии центров. Направляющие этих станков хорошо защищены от попадания шлама и эмульсии, что влияет на точность и долговечность оборудования.

Станки с наклонным расположением линии центров (рис. 23.4, в, г) используют при обработке заготовок больших диаметра и массы. При такой компоновке уменьшается сила прижима заготовки к ножу и увеличивается сила прижима заготовки к ведущему кругу. Иногда применяют станки с вертикальной линией центров. Эту компоновку применяют при врезном шлифовании при тангенциальном движении подачи заготовки.

По конструктивным особенностям шпиндельной группы бесцентрово-шлифовальные станки подразделяют на станки с консольным расположением кругов (рис. 23.4, е) и станки с расположением кругов между опорами (рис. 23.4, ж). Станки с консольным расположением кругов наиболее распространены; они просты в наладке, удобны в обслуживании, но из-за малой высоты кругов (не более 300 мм) снятие большого припуска за один рабочий ход затруд-



349 Рис. 23.4. Компонировки бесцентрово-шлифовальных станков и схемы обработки

нено. У станков с расположением кругов между опорами высота кругов достигает 1000 мм, чем обеспечивается снятие большого припуска за один рабочий ход.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Расскажите о конструктивных особенностях круглошлифовального станка.
2. Каковы конструктивные особенности внутришлифовального станка?
3. Расскажите о конструктивных особенностях бесцентрово-шлифовальных станков.

## ГЛАВА 24. ОТДЕЛОЧНАЯ ОБРАБОТКА

### § 24.1. ХОНИНГОВАНИЕ

Хонингование является отделочной операцией, позволяющей получить высокую точность (до 7-го качества), малый параметр шероховатости ( $Ra = 0,3 \dots 0,08$  мкм) поверхностей, специальную сетку микропрофиля обрабатываемой поверхности. Такой микропрофиль необходим для удержания на поверхностях смазочного материала. Хонингование чаще применяют для отделки отверстий диаметром 2—1000 мм (стенки цилиндров, гильз двигателей внутреннего сгорания и т. п.) и длиной до 30 м. Обработка производится мелкозернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке — хоне.

При хонинговании внутренних поверхностей хону сообщается три движения: вращение  $D_r$ , движение подачи вдоль оси  $D_{s\text{ ос}}$ , радиальное движение подачи брусков. Совокупность этих трех движений создает условия для резания, самозатачивания и характерный рисунок следов траектории (сетки). При хонинговании срезаемый припуск составляет 5—2000 мкм, а иногда и более.

Скорость резания при хонинговании является геометрической суммой окружной скорости хона  $v$  и скорости поступательного движения хона  $v_n$ :

$$v = \sqrt{v^2 + v_n^2} = v \sqrt{1 + (\operatorname{tg} \alpha)^2},$$

где  $\alpha = \operatorname{arctg} v_n/v = 40 \dots 60^\circ$  — угол наклона вектора скорости резания.

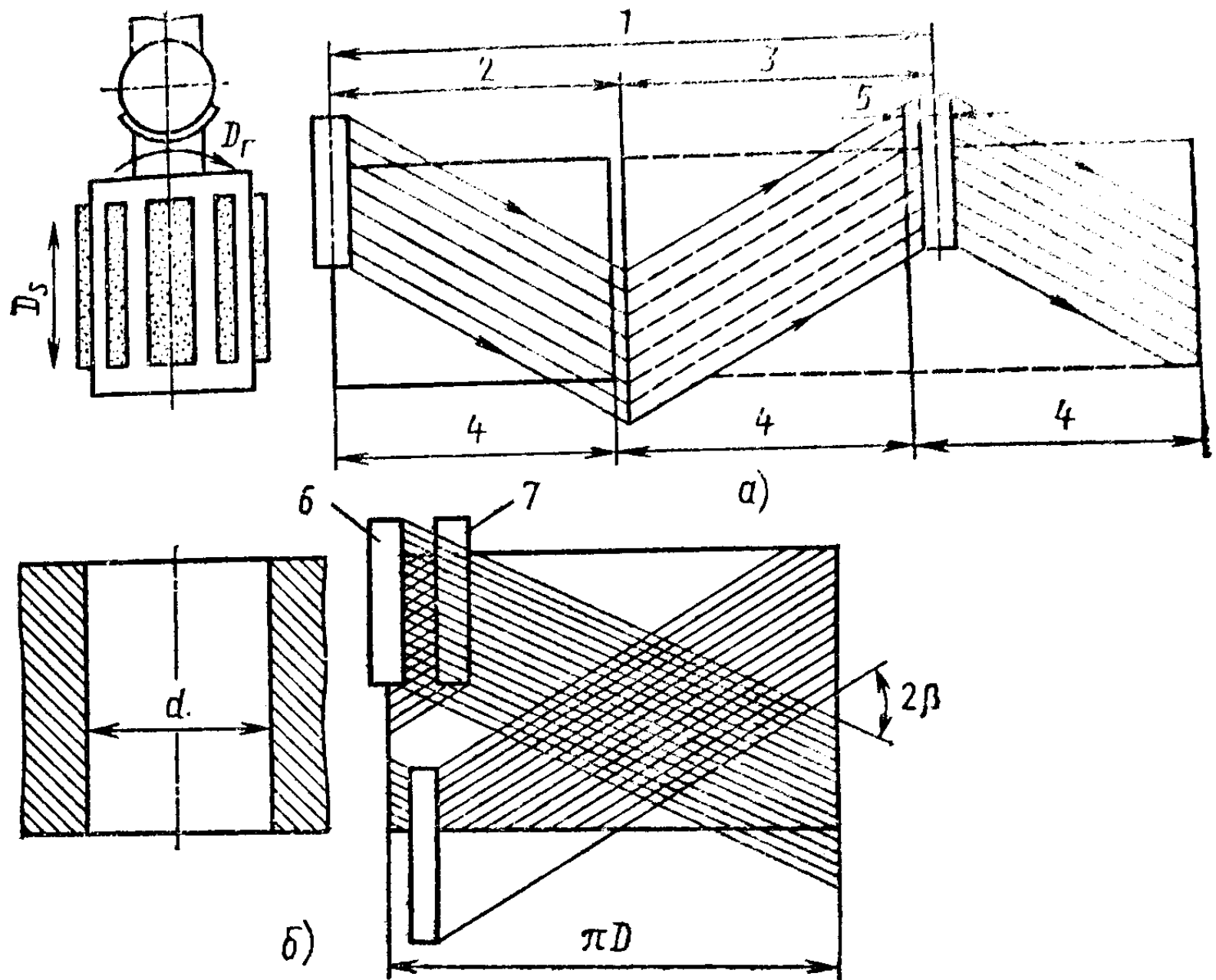


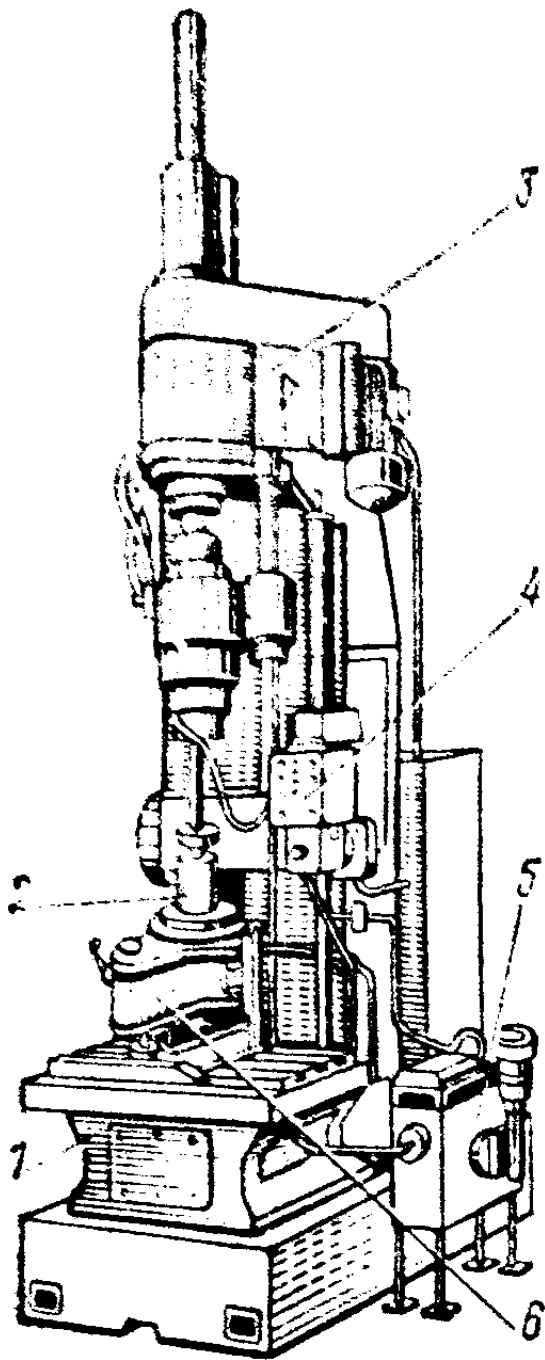
Рис. 24.1. Сетка, наносимая брусками хонинговальной головки на внутреннюю поверхность цилиндра:

1 — путь, пройденный хонем за одно возвратно-поступательное движение; 2 — поступательный ход хона; 3 — возвратный ход; 4 — путь, пройденный за один оборот хона; 5 — путь поворота хона за время окончания двойного хода; 6 — положение бруска в начале двойного хода; 7 — положение бруска в конце двойного хода;  $\beta$  — угол траекторий движений бруска

На рис. 24.1 показана разбортка внутренней цилиндрической поверхности заготовки. Крайнее верхнее и нижнее положения брусков устанавливаются с перебегом для формирования прямолинейности образующих отверстий. Абразивные бруски всегда работают со смещением, так как путь поворота 5 образуется за время реверсирования осевого движения хонинговальной головки. Наложение траекторий следов обработки (сетки) на обрабатываемую поверхность исключено. Давление брусков на обрабатываемую поверхность производится с использованием гидравлических, пневматических или механических устройств. Хонингование исправляет отклонения формы, появившиеся в результате предыдущей обработки в пределах снимаемого припуска, но отклонения расположения оси отверстия хонингованием не исправляются, так как инструмент установлен шарнирно.

Рис. 242. Хонинговальный станок с вертикальным шпинделем:

1 — стол; 2 — хонинговальная головка; 3 — коробка скоростей; 4 — пульт управления; 5 — насосная станция; 6 — заготовка



Различают хонингование двух видов: предварительное и окончательное. Для окончательного хонингования оставляют 0,2—0,3 общего припуска на обработку. Для стальных заготовок припуск выбирают обычно в 2 раза меньше, чем для обработки чугунных заготовок. Производительность хонингования зависит от характеристики абразивных брусков и давления на бруски. Оптимальное давление 40—60 МПа. Оптимальные режимы обработки: при обработке чугуна  $v = 60 \dots 75$  м/мин, при обработке стали  $v = 45 \dots 60$  м/мин. При обработке мягких, вязких металлов (латуни, бронзы, алюминия) скорость резания в

1,5—2 раза больше. Следует также увеличивать скорость  $v$  с увеличением твердости обрабатываемых заготовок. Температура в зоне резания при хонинговании не превышает  $150^\circ\text{C}$  и не влияет на структурные изменения обрабатываемой поверхности, но хонингование сопровождается охлаждением с большим расходом СОТС (50—60 л/мин) для своевременного удаления шлама и стружек из зоны обработки. В качестве СОТС наибольшее распространение получила смесь керосина (80—90 %) и веретенного масла (10—20 %).

Наряду с абразивными брусками из электрокорунда и карбида кремния с различными характеристиками широкое распространение получили алмазные бруски, стойкость которых во много раз выше при обработке чугуна, резко возрастает и производительность хонингования, так как давление при алмазном хонинговании выше (120—250 МПа). Число брусков на хонинговальной головке должно быть кратно трем для того, чтобы гарантировать возможность исправить отклонения формы отверстия.



Хонинговальные станки (рис. 24.2) различаются по конструкции, имеют либо горизонтальное, либо вертикальное расположение шпинделя, который кроме возвратно-поступательного движения вращается относительно неподвижной заготовки. Часто хонингование производится одновременно несколькими хонами, при этом обрабатываются сразу несколько отверстий (блок двигателя внутреннего сгорания и т. п.). Конструктивно хонинговальные станки имеют много общего с вертикально-сверлильными.

## § 24.2. СУПЕРФИНИШИРОВАНИЕ

Суперфинишированием называют технологический процесс тонкой отделочной обработки поверхностей заготовок брусками, изготовляемыми из различных абразивных материалов. Абразивные бруски закрепляют в специальной державке; они совершают сложные движения (рис. 24.3). Упруго закрепленные бруски совершают не менее трех составных движений. В некоторых

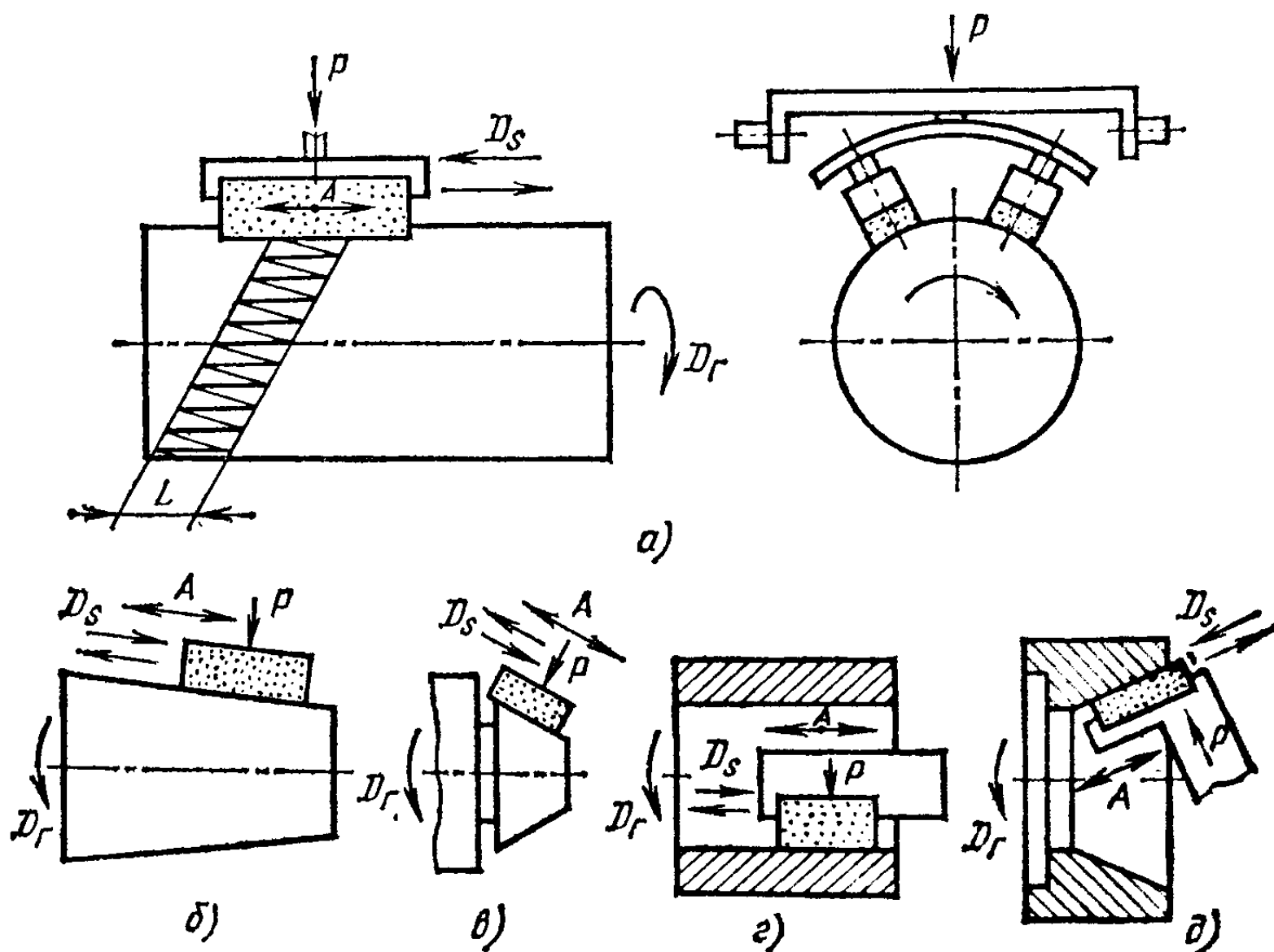


Рис. 24.3. Схемы суперфиниширования:

а — наружной цилиндрической поверхности; б, в — наружной конической поверхности; г, д — внутренних поверхностей

станках имеется до шести движений. При суперфинишировании у заготовок, имеющих ось вращения (конические, цилиндрические, внутренние и наружные поверхности), всегда вращательное движение  $D_r$ , а бруски, закрепленные упруго, совершают возвратно-поступательное движение  $D_s$  вдоль образующей обрабатываемой поверхности. Кроме того, происходит еще вибрационное движение брусков с частотой колебаний до 50 Гц и амплитудой  $L = 2 \dots 5$  мм. На державку с брусками действует давление  $p = 50 \dots 300$  МПа. Обработка производится с применением различных СОТС малой вязкости. Применяемая СОТС (90 % керосина, 10 % веретенного масла), как и при хонинговании, предназначена для удаления продуктов обработки и получения тонкой масляной пленки. Число брусков при суперфинишировании колеблется от 1 до 4 и зависит от диаметра обрабатываемой заготовки (обычно до диаметра 100 мм применяют один брусок). Бруски обычно имеют квадратное сечение от  $3 \times 3$  до  $40 \times 40$  мм и перед началом обработки им придают кривизну, соответствующую кривизне обрабатываемой поверхности.

Режимы обработки различаются в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. Например, при обработке стальных и алюминиевых заготовок абразивными брусками рекомендуются следующие режимы резания. Окружная скорость заготовки  $v_z = 30 \dots 45$  м/мин, скорость движения брусков вдоль образующей около 0,5 м/мин, давление на бруски  $p = 50 \dots 150$  МПа, амплитуда колебаний  $L = 3 \dots 5$  мм.

После суперфиниширования достигают  $Ra = 0,16 \dots 0,02$  мкм. При суперфинишировании снимается очень небольшой припуск (5—10 мкм) и время протекания процесса обычно очень мало (30—60 с). Суперфиниширование не исправляет отклонение формы заготовок. Обработка заканчивается по мере срезания гребешков на поверхности, оставшихся после предыдущей обработки, при наступлении момента, когда давления на бруски становится недостаточно, чтобы преодолеть тонкую масляную пленку. Суперфинишированию подвергаются ответственные детали: ролики подшипников, кольца подшипников, шейки распределительного и коленчатого валов, поршни, клапаны, калибры и т. п. Принцип выбора характеристик брусков тот же, что характеристик шлифовальных кругов и брусков при хонинговании.

Суперфиниширование производится на специальных станках, а также на токарных, шлифовальных станках с применением специальных приспособлений.

### § 24.3. ПОЛИРОВАНИЕ

Одним из самых распространенных методов уменьшения шероховатости обработанной поверхности является полирование. Этим методом шероховатость уменьшают до минимума, придавая полируемым поверхностям зеркальный блеск. Полированию подвергают ответственные части деталей (дорожки колес подшипников); оно применяется также для декоративных целей (автомобилестроение и др.). Полирование может производиться эластичными (войлочными, фетровыми и др.) кругами, абразивными лентами, абразивно-жидкостной суспензией.

При полировании эластичными кругами их шаржируют с применением клеящих веществ абразивными зёрнами различной зернистости. В зависимости от требуемой шероховатости поверхности выбирают зернистость и вид абразивного материала. Для полирования деталей из цветных металлов применяют круги из мягкого войлока. Круги шаржируют пастами требуемой зернистости, связующим материалом паст служит воск, парафин, жиры. В пасты добавляют активные кислоты для улучшения полирующих свойств. В пасты крупной и средней зернистости добавляют стеариновую кислоту, а в мелкозернистую пасту ГОИ — смесь стеариновой и алейновой кислот.

Для полирования деталей из черных металлов применяют более жесткие круги, чем для полирования деталей из цветных металлов.

Полированию подвергают, как правило, детали, имеющие криволинейные поверхности (канавки сверл, дорожки качения подшипников и др.) (рис. 24.4). При полировании эластичными кругами припуск на отделку может составлять 0,005—0,015 мм. Полирование кругами происходит при скоростях до 50 м/с. Заготовка, прижимаясь силой  $P$  к полировальному кругу, совершает движение подачи  $D_s$  в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности. При ручном полировании окружная скорость круга несколько ниже (до 30 м/с) в связи с высокой температурой в зоне резания и отсутствием охлаждения.

В промышленности широко применяется полирование абразивными лентами. В этом случае процесс может про-

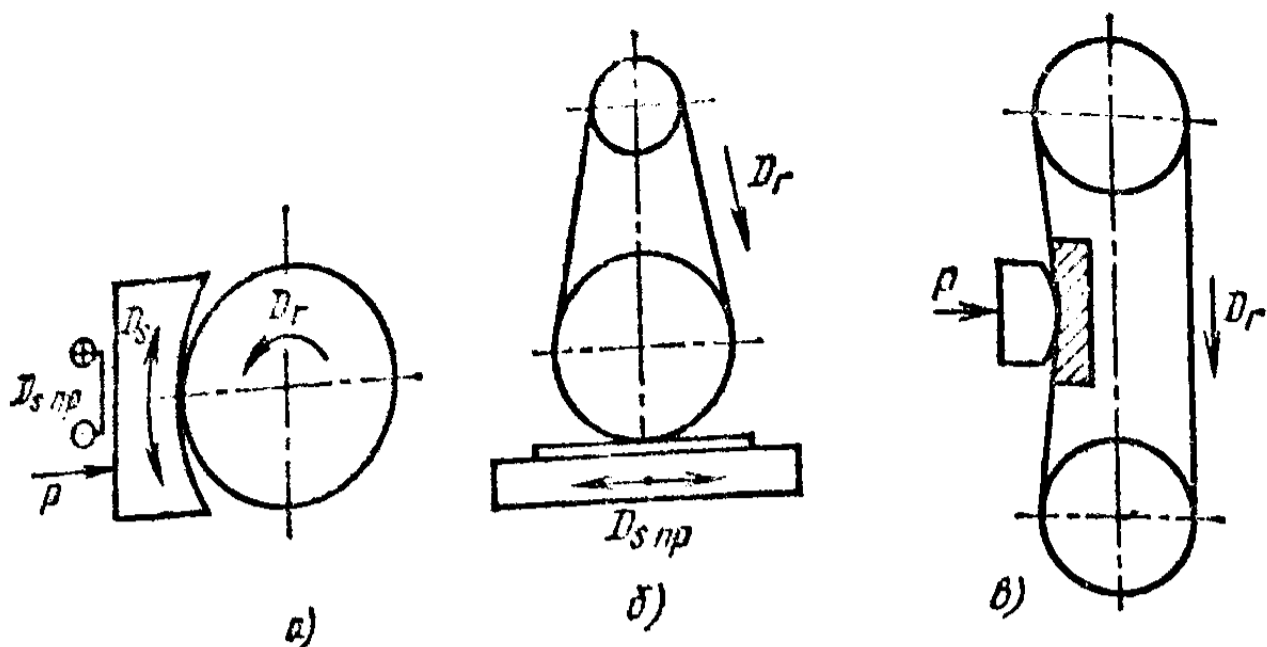


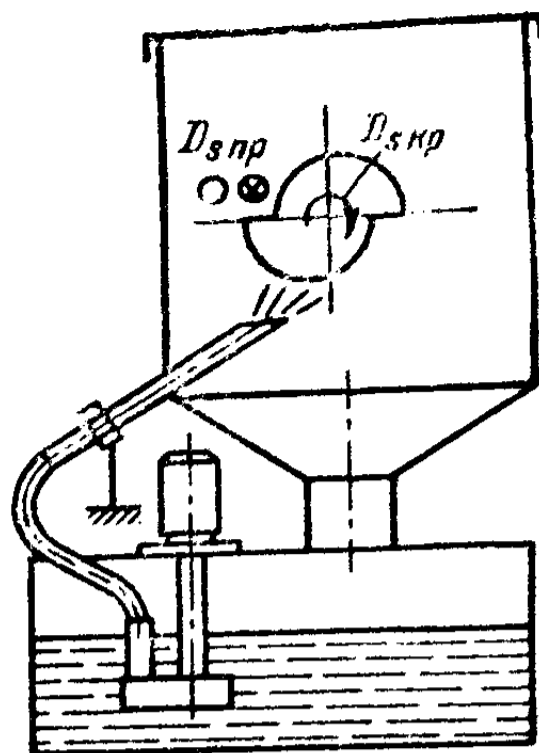
Рис. 24.4. Схемы полирования:  
 а — криволинейной поверхности; б, в — абразивными лентами

изводиться в автоматическом или полуавтоматическом цикле. Абразивная бесконечная лента вращается на двух шкивах и более с большой скоростью. Заготовки перемещаются в направлении, соответствующем профилю обрабатываемой поверхности (рис. 24.4, б, в). В месте контакта с заготовкой лента поддерживается специальной опорой, имеющей соответствующий профиль. От конструкции и степени эластичности опор существенно зависит площадь контакта ленты с заготовкой, производительность процесса и шероховатость обработанной поверхности.

Скорость ленты может быть различной (10—50 м/с) и зависит от обрабатываемого материала. При полировании легких металлов скорость ленты составляет 40—50 м/с, стали, стекла — около 15—20 м/с, труднообрабатываемых материалов — около 10 м/с. Давление детали на ленту также существенно колеблется — от 3 до 25 МПа и зависит от обрабатываемого материала и площади контакта. Полирование на бесконечных абразивных водостойких лентах производится с охлаждением различными видами эмульсий. Ленточное полирование более производительное, чем полирование кругами.

В некоторых случаях, когда невозможно полирование кругами или лентами, применяют абразивно-жидкостное полирование. Его успешно используют для отделки заготовок, имеющих особенно сложную конфигурацию (отделка профильных штампов, форм для литья под давлением, декоративное полирование и др.). Абразивно-жид-

Рис. 24.5. Схема установки для жидкостного полирования



жидкостное полирование заготовок производится в специальных камерах струей жидкости, насыщенной абразивом, со скоростью около 50 м/с (рис. 24.5). Заготовка (или форсунка) в зависимости от обрабатываемой поверхности имеет соответствующее вращательное и поступательное движение. В зависимости от обрабатываемого материала для жидкостного полирования применяют зерна, порошки и микропорошки электрокорунда и карбида кремния. Абразивные зерна, попадая под давлением 10—100 МПа на микровыступы шероховатости, оставшейся от предыдущей обработки, производят микрорезание, уменьшая шероховатость. Производительность обработки при жидкостном полировании зависит не только от зернистости, но и от угла установки форсунки. Наибольшая производительность достигается при угле установки 30—45°.

Полирование перечисленных видов не исправляет отклонения формы заготовок. Абразивно-жидкостное полирование позволяет выявить трещины и раковины, оставшиеся после предшествующих операций обработки или образованные в процессе их. Абразивно-жидкостное полирование не образует трещин, прижогов, улучшает на 25—30 % износостойкость по сравнению с механическими методами полирования, и увеличивает на 15 % усталостную прочность.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите виды отделочной обработки и дайте им краткую характеристику.
2. Назовите область применения отделочной обработки различных видов.

**ГЛАВА 25. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ**

Расширение использования труднообрабатываемых материалов для изготовления деталей машин, усложнение конструкций этих деталей в сочетании с возрастающими требованиями к снижению себестоимости и увеличению производительности послужили причиной разработки и освоения методов электрофизико-химической обработки (ЭФХО). Эти методы основаны на использовании специфических явлений, возникающих под действием электрического тока, для удаления материала или изменения формы заготовки. Основным преимуществом методов ЭФХО является возможность их использования для изменения формы заготовок из материалов, не поддающихся обработке резанием, причем обработка этими методами происходит в условиях действия минимальных сил или при полном их отсутствии.

Во многих случаях обработки методами ЭФХО в качестве обрабатывающего инструмента используют сформированный определенным образом поток электронов, ионов или фотонов. Преимуществом подобных «инструментов» является их безынерционность и отсутствие износа.

Важным преимуществом методов ЭФХО является независимость производительности большинства из них от твердости и хрупкости обрабатываемого материала. Трудоемкость и длительность ЭФХО материалов повышенной твердости ( $НВ > 400$ ) меньше, чем трудоемкость и длительность обработки резанием.

Незначительность или отсутствие силового взаимодействия между инструментом и заготовкой позволяют в станках для ЭФХО значительно уменьшить массу основных узлов и передач, использовать кинематические цепи, обеспечивающие лишь точность перемещения исполнительных органов, и создают предпосылки для оснащения

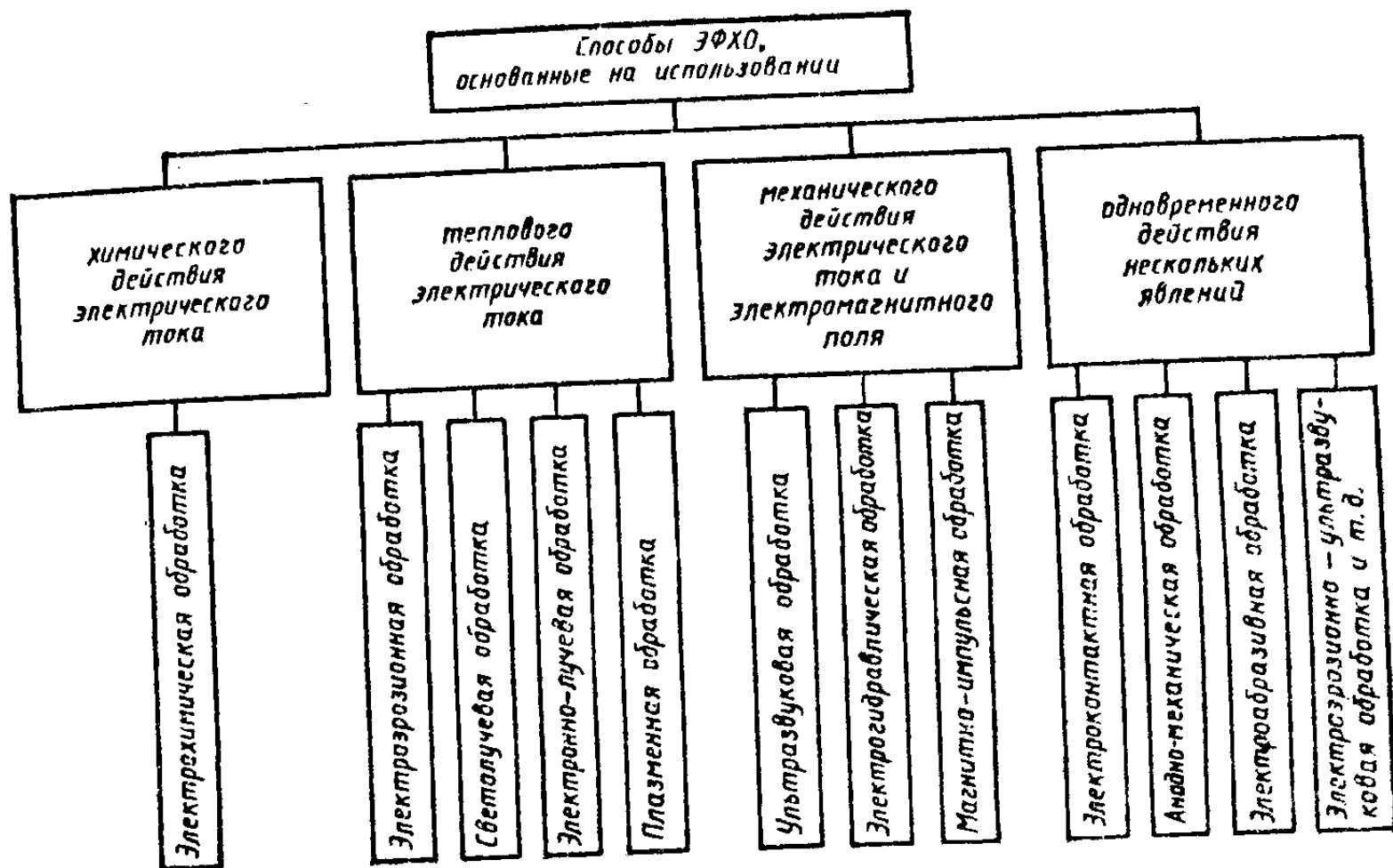


Рис. 25.1. Классификация способов ЭФХО

этих станков следящими системами и системами ЧПУ. Это же позволяет оператору при работе на станках для ЭФХО прикладывать минимальные физические усилия, что снижает его утомляемость и создает благоприятные условия для многостаночного обслуживания.

ЭФХО охватывает практически все операции механической обработки и не уступает большинству из них по достигаемой шероховатости и точности обработки.

Однако у ЭФХО есть и недостатки: повышенная по сравнению с обработкой резанием энергоемкость; необходимость использования при обработке специального оборудования; необходимость сбора и утилизации отходов.

Все методы ЭФХО в зависимости от характера явлений, используемых при обработке, можно разделить на четыре группы (рис. 25.1): 1) методы, основанные на использовании теплового действия электрического тока; 2) методы, основанные на использовании химического действия электрического тока; 3) методы, основанные на использовании механического действия электрического тока и электромагнитного поля; 4) методы, использующие одновременное действие нескольких явлений.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Чем вызвано появление и развитие методов ЭФХО?
2. Каким группам методов ЭФХО соответствует действие наименьших обрабатывающих усилий?

# ГЛАВА 26. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

## § 26.1. ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) является разновидностью электрофизической обработки и характеризуется тем, что изменение формы, размеров и качества поверхности заготовки происходит под действием электрических разрядов. Электрические разряды возникают при пропускании импульсного электрического тока в зазоре шириной 0,01—0,05 мм между электродом-заготовкой и электродом-инструментом. Под действием электрических разрядов материал заготовки плавится, испаряется и удаляется из межэлектродного зазора в жидком или парообразном состоянии. Подобные процессы разрушения электродов (заготовок) называют электрической эрозией. В целях интенсификации электрической эрозии зазор между заготовкой и электродом заполняют диэлектрической жидкостью (керосин, минеральное масло). При достижении на электродах напряжения, равного напряжению пробоя, в среде между электродом и заготовкой образуется канал проводимости в виде заполненной плазмой цилиндрической области малого сечения с плотностью тока 8 000—10 000 А/мм<sup>2</sup>. Высокая плотность тока, поддерживаемая в течение  $10^{-5}$ — $10^{-8}$  с, обеспечивает температуру на поверхности заготовки до 10 000—12 000 °С.

Удаленный с поверхности заготовки металл охлаждается диэлектрической жидкостью и застывает в виде сферических гранул диаметром 0,01—0,005 мм. В каждый последующий момент времени импульс тока пробивает межэлектродный зазор в том месте, где промежуток между электродами оказался наименьшим. Непрерывное подведение импульсов тока и автоматическое сближение электрода-инструмента с электродом-заготовкой обеспечивают продолжение эрозии до тех пор, пока не будет достигнут заданный размер заготовки или не будет удален весь металл заготовки в межэлектродном зазоре.

При электроэрозионной обработке электроды (инструмент и заготовка) наряду с тепловым воздействием испытывают действие электростатических и электродинамических сил, а также гидродинамических сил, возникающих при кавитационном «захлопывании» газовых пузырей, образующихся в диэлектрической жидкости при ЭЭО.



Режимы ЭЭО характеризуются полярностью и электрическими параметрами импульсов тока и определяют производительность эрозии и качество обработанной поверхности. Так, например, наибольшая производительность имеет место тогда, когда катодом служит заготовка. При черновой обработке используют импульсы большой длительности ( $10^{-1}$ — $10^{-4}$  с) и низкой частоты, для чистовой — импульсы малой длительности ( $10^{-4}$ — $10^{-7}$  с) и высокой частоты.

Режимы ЭЭО делятся на электроискровые и электроимпульсные.

Электроискровые режимы характеризуются использованием искровых разрядов с малой длительностью ( $10^{-5}$ — $10^{-7}$  с) при прямой полярности подключения электродов (заготовка «+», инструмент «-»). В зависимости от мощности искровых разрядов режимы делятся на жесткие и средние (для предварительной обработки), мягкие и особомягкие (для окончательной обработки). Использование мягких режимов обеспечивает отклонение размеров детали до 0,002 мм при параметре шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,01$  мкм. Использование при электроискровой обработке в качестве диэлектрической жидкости керосина или минерального масла предотвращает нагрев электродов.

Электроискровые режимы используют при обработке твердых сплавов, труднообрабатываемых металлов и сплавов, тантала, молибдена, вольфрама и т. д.: обрабатывают сквозные и глубокие отверстия любого поперечного сечения, отверстия с криволинейными осями; используя проволочные и ленточные электроды, вырезают детали из листовых заготовок; нарезают зубья и резьбы, шлифуют и клеймят детали.

Для проведения обработки на электроискровых режимах используют станки (рис. 26.1), оснащенные РС-генераторами, состоящими из зарядного и разрядного контура. Зарядный контур включает конденсатор  $C$ , заряжающийся через сопротивление  $R$  от источника тока с напряжением 100—200 В, а в разрядный контур параллельно конденсатору  $C$  включены электроды 1 (инструмент) и 2 (заготовка). Как только напряжение на электродах 1 и 2 достигает пробойного, через межэлектродный зазор происходит искровой разряд энергии, накопленной в конденсаторе  $C$ . Производительность эрозионного процесса может быть увеличена уменьшением сопротивления  $R$ .

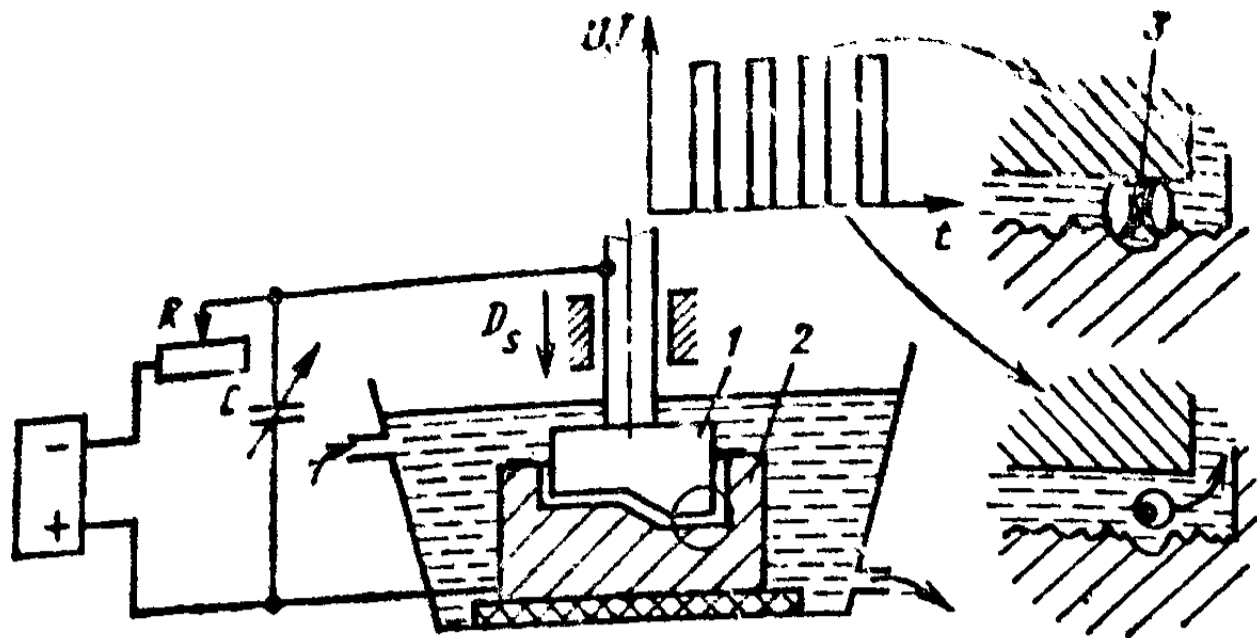


Рис. 26.1. Схема электрон스크ровой обработки

Постоянство межэлектродного зазора поддерживается специальной следящей системой, управляющей механизмом автоматического движения подачи инструмента, изготовленного из меди, латуни или углеродистых материалов.

Разновидностью электронскровых режимов являются высокочастотные режимы, использующие импульсы малой энергии с частотой 100—150 кГц. Применение высокочастотных импульсов позволяет увеличить производительность в 30—50 раз при одновременном увеличении точности, снижении шероховатости и обеспечении минимального износа инструмента. Одновременно гарантируется получение поверхностей с минимальной глубиной дефектного слоя (микротрещины, структурные изменения), что очень важно при обработке твердых и хрупких материалов.

Показанная на рис. 26.2 схема высокочастотной обработки включает резистор  $R$ , конденсатор  $C$ , который раз-

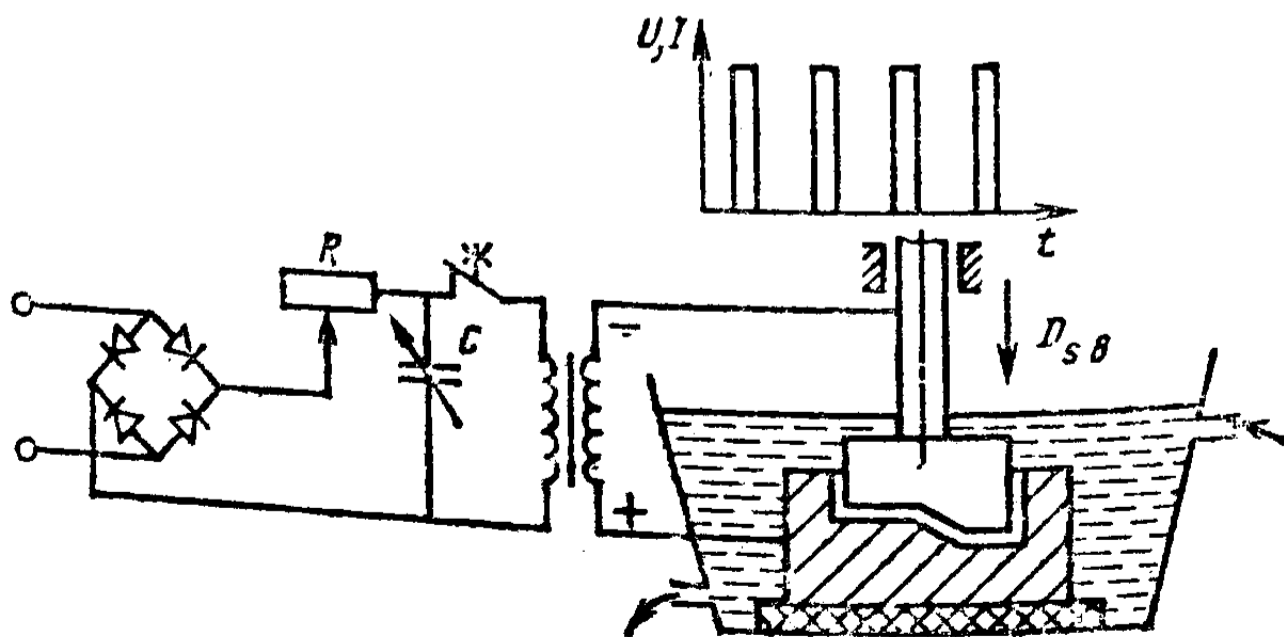


Рис. 26.2. Схема высокочастотной электронскровой обработки

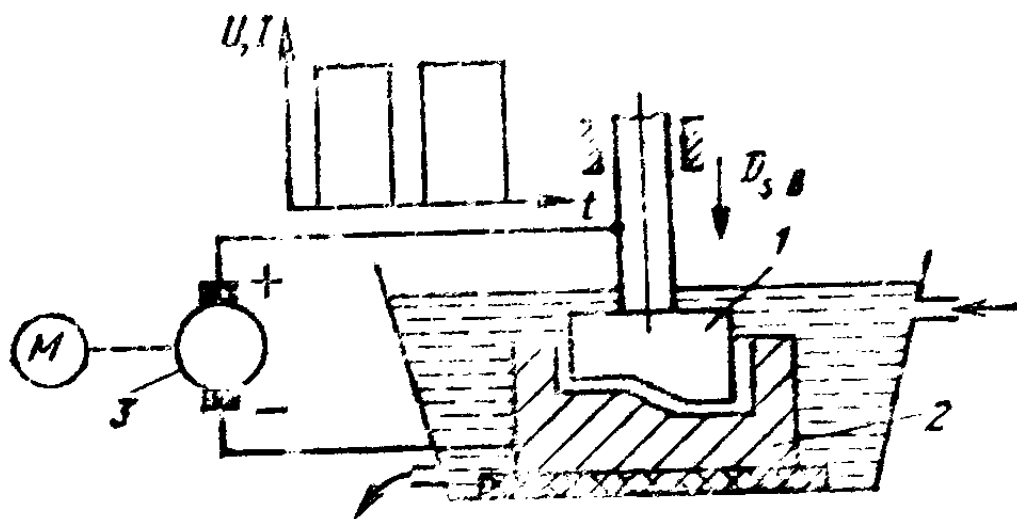


Рис. 26.3. Схема электроимпульсной обработки

ряжается при замыкании первичной цепи импульсного трансформатора прерывателем (тиратроном или вакуумной лампой).

Электроимпульсные режимы характеризуются применением импульсов большой длительности (0,5—10 с), соответствующих дуговому разряду между электродами и более интенсивному разрушению катода. В связи с этим при электроимпульсных режимах катод соединяется с заготовкой, что обеспечивает более высокую производительность эрозии (в 8—10 раз) и меньший, чем при электроискровых режимах, износ инструмента.

Наиболее целесообразной областью применения электроимпульсных режимов является предварительная обработка заготовок сложнопрофильных деталей (штампы, турбинные лопатки и т. д.), изготовленных из труднообрабатываемых сплавов и сталей. Электроимпульсные режимы реализуются установками (рис. 26.3), в которых на электроды 1 и 2 подаются униполярные импульсы от электромашинного 3 или электронного генератора.

Электроконтактная обработка (ЭКО) является разновидностью ЭЭО и основана на разрушении металла в результате одновременного механического и теплового воздействия, приводящего к расплавлению, частичному испарению и удалению размягченного металла из зоны обработки. Теплота, необходимая для расплавления и испарения металла, выделяется в результате следующих процессов: кратковременного горения дуг между неровностями заготовки и инструментом; нагревания вследствие прохождения тока через сопротивление контакта; разогревания при трении электрода о заготовку. При обработке между инструментом и заготовкой протекает ток силой 10—25 А и в зависимости от уровня напряжения  $U$  либо

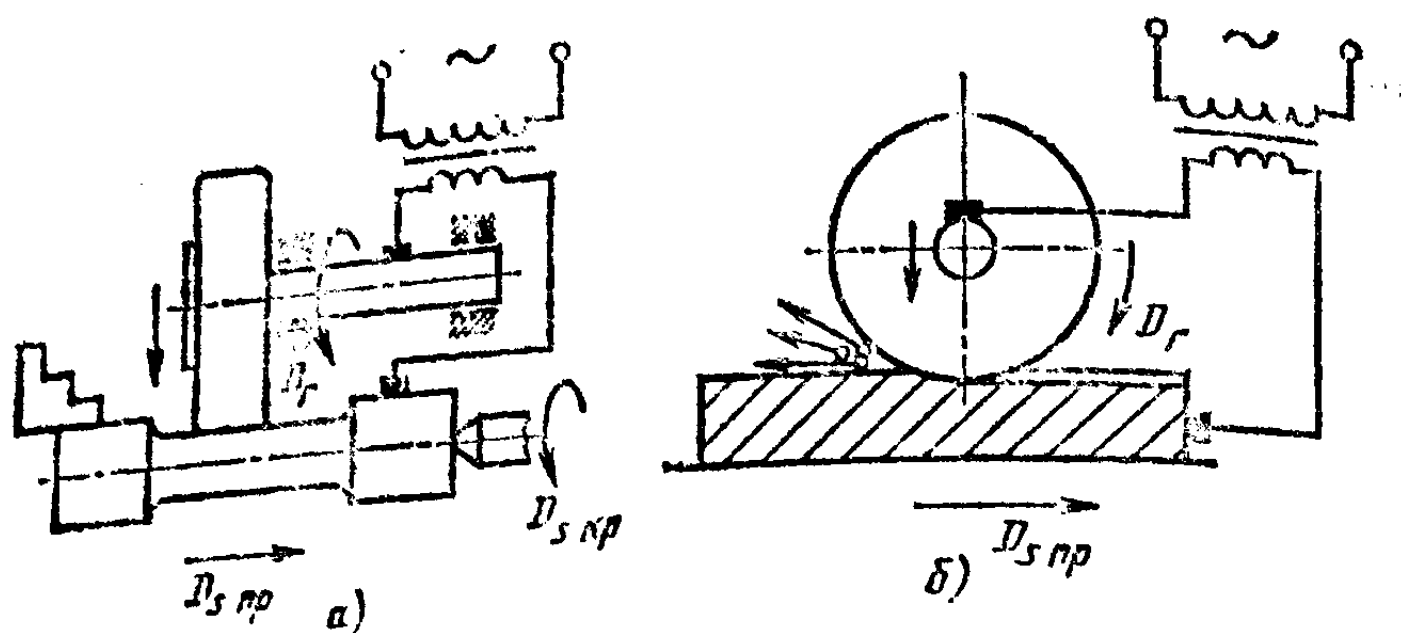


Рис. 26.4. Схемы электроконтактного точения (а) и фрезерования (б)

разрывается давление 1,0—1,5 МПа ( $U \leq 12$  В при электроконтактной заточке инструмента), либо оно отсутствует при  $U > 12$  В и преобладает режим оплавления. Наибольшее распространение получили режимы ЭКО ( $U > 12$  В), при которых преобладает выделение теплоты за счет множественных дуговых разрядов между инструментом и заготовкой. Увеличению числа контактов, приводящих к образованию дуг, способствуют вибрации, сопровождающие процесс обработки.

Электроконтактную обработку проводят при постоянном или переменном токе медными или чугунными электродами. Нерабочие поверхности электродов (например, боковые поверхности дисков) покрывают диэлектрическим слоем эпоксидно-карбидной композиции, препятствующей возникновению нежелательных контактов и способствующей удалению с поверхности дефектного слоя глубиной 0,2—0,3 мм. Меньшая эрозия инструмента по сравнению с эрозией заготовки при ЭКО объясняется интенсивным воздействием применяемых охлаждающих сред (сжатый воздух, вода, содовый раствор) и быстрым вращением (у электрода инструмента  $v < 60$  м/с).

По схеме ЭКО может выполняться (рис. 26.4) точение, сверление, разрезание, обработка плоских и сложнофасонных поверхностей, зачистка литниковых заусенцев и т. д. Режимы ЭКО могут быть разбиты на две группы: жесткие и мягкие режимы. Жесткие режимы обеспечивают возможно больший удельный съем металла (например, при разрезании заготовок диаметром 50—90 мм из стали 12Х18Н10Т при  $U = 23$  В,  $I = 2,3$  А,  $Q = 128 \dots 200$  см<sup>3</sup>/мин) и увеличения производительности в 5—

10 раз, снижение себестоимости в 2—3,5 раза и образование дефектного слоя значительной глубины.

В результате обработки на мягких режимах снимается значительно меньше металла (например, при обработке титановых сплавов при  $I = 500$  А,  $Q \leq 6,7$  см<sup>3</sup>/мин) и параметр шероховатости обработанных поверхностей  $Ra = 0,16 \dots 0,63$  мкм при глубине дефектного слоя 0,02—0,05 мм.

В настоящее время в машиностроении наиболее распространена ЭКО на жестких режимах, применяемая для зачистки слитков, отливок, разрезания проката и т. д.

В качестве оборудования для ЭКО используют либо специальные, либо станки универсальные (токарные, фрезерные, шлифовальные и т. д.), приспособленные модернизацией к электроконтактной обработке.

## § 26.2. ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА

Разновидностями лучевой обработки в машиностроении являются электронно-лучевая или светолучевая обработка.

Электронно-лучевая обработка (ЭЛО) основана на тепловом воздействии потока движущихся электронов на обрабатываемый материал, который в месте обработки плавится и испаряется. Столь интенсивный нагрев вызывается тем, что кинетическая энергия движущихся электронов при ударе о поверхность обрабатываемой заготовки почти полностью переходит в тепловую, которая, будучи сконцентрирована на площадке малых размеров (диаметром не более 10 мкм), вызывает ее разогревание до 6000 °С.

При размерной обработке, как известно, происходит локальное воздействие на обрабатываемый материал, что при ЭЛО обеспечивается импульсным режимом потока электронов с продолжительностью импульсов  $10^{-4}$ — $10^{-6}$  с и частотой  $f = 50 \dots 5000$  Гц. Высокая концентрация энергии при ЭЛО в сочетании с импульсным воздействием обеспечивают условия обработки, при которых поверхности заготовки, находящиеся на расстоянии 1 мкм от кромки электронного луча, разогреваются до 300 °С. Это позволяет использовать ЭЛО для резки заготовок, изготовления сеток из фольги, прорезания пазов и обработки отверстий диаметром 1—10 мкм в деталях из труднообрабатываемых металлов и сплавов.

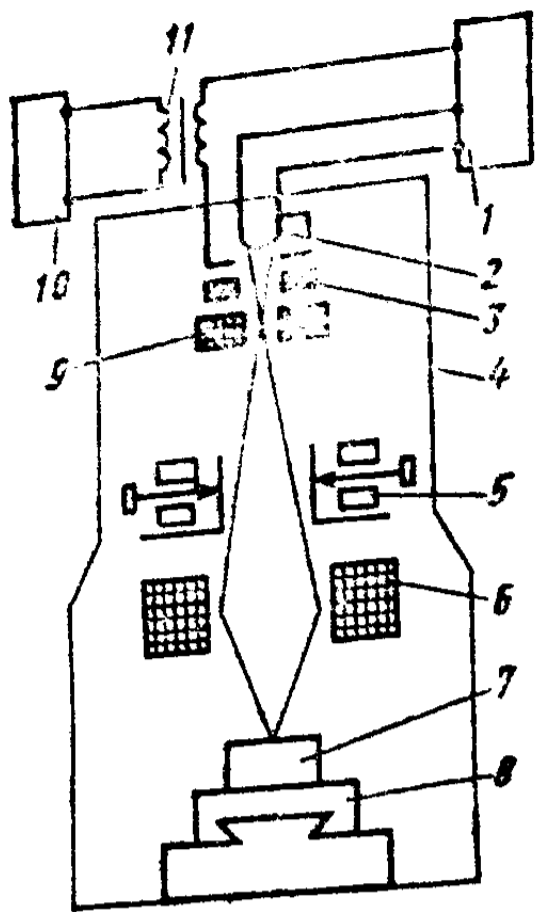


Рис. 26.5. Схема установки для электронно-лучевой обработки

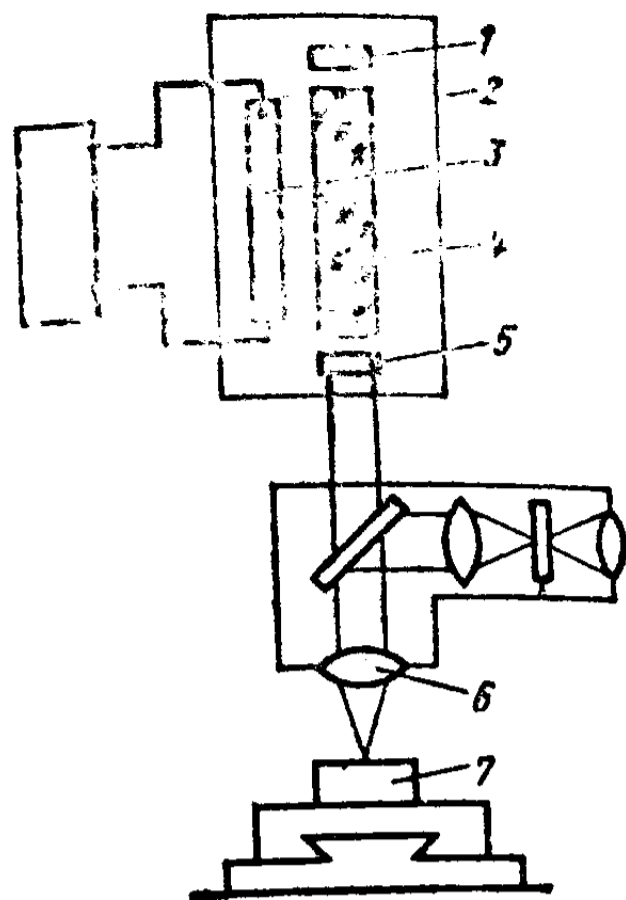


Рис. 26.6. Схема твердотельного технологического лазера

В качестве оборудования для проведения ЭЛО используют специальные электровакуумные устройства, называемые электронными пушками (рис. 26.5). Они генерируют, ускоряют и фокусируют электронный луч. Электронная пушка состоит из вакуумной камеры 4 (с разрежением  $133 \cdot 10^{-4}$  Па), в которой установлен питаемый источником высокого напряжения 1 вольфрамовый катод 2, обеспечивающий эмиссию свободных электронов, которые разгоняются электрическим полем, созданным между катодом 2 и анодной диафрагмой 3. Далее электронный луч проходит через систему магнитных линз 9, 6, устройство электрической юстировки 5 и фокусируется на поверхности обрабатываемой заготовки 7, установленной на координатном столе 8.

Импульсный режим работы электронной пушки обеспечивается системой, состоящей из импульсного генератора 10 и трансформатора 11.

Метод светолучевой обработки (СЛО) основан на использовании теплового воздействия светового луча высокой энергии, излучаемого оптическим квантовым генератором (лазером) на поверхность заготовки. Излучение лазера характеризуется оптической нерасходимостью в пространстве и высокой концентрацией энергии, плотность которой значительно увеличивается при фокусировке светового луча на площадке диаметром около

0,01 мм. Температура в зоне фокусировки достигает 5500—9000 К, что при достаточной длительности излучения приводит к расплавлению и испарению любого материала. Так, при удельной мощности излучения до  $10^6$ — $10^7$  Вт/см<sup>2</sup> материал плавится, а при удельной мощности более  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup> — испаряется. Эффективность воздействия лазерного излучения зависит также от теплофизических свойств материала заготовки, отражательной способности ее обрабатываемой поверхности. С уменьшением длины волны излучения возрастает доля поглощенной заготовкой световой энергии.

Размерная обработка с помощью лазеров заключается в образовании отверстий диаметром 0,5—10 мкм в труднообрабатываемых материалах, изготовлении сеток, вырезании из листа сложнопрофильных деталей и т. д.

Наиболее надежными для размерной обработки являются твердотельные рубиновые лазеры, работающие в импульсном режиме (рис. 26.6). Активным элементом такого лазера является рубиновый стержень ( $Al_2O_3$ ) легированный 0,05 % Cr. Торцы стержня 4, установленного в лазерную головку 2, закрываются зеркалами-резонаторами 1 и 5, одно из которых (обращенное к обрабатываемой заготовке 7) полупрозрачно. При облучении стержня 4 ксеноновой импульсной лампой 3 атомы хрома приходят в возбужденное состояние. При возвращении в нормальное состояние атомы хрома испускают фотоны, которые, взаимодействуя с возбужденными атомами Cr, вызывают лавинообразный поток фотонов. Наличие зеркал-резонаторов приводит к усилению колебаний фотонов вдоль оси стержня 4, накоплению энергии и последующему испусканию ее в виде импульса ярко-красного света через полупрозрачное зеркало-резонатор 5. Системой линз 6 луч света фокусируется на поверхности обрабатываемой заготовки 7. КПД твердотельных лазеров невелик: он составляет всего лишь 0,1—1 %.

В отличие от электронных пушек работа лазера не сопровождается рентгеновским излучением, а его конструкция проще вследствие отсутствия вакуумной системы.

### § 26.3. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА

Ультразвуковая обработка (УЗО) представляет собой разновидность механической обработки. Она основана на использовании энергии ультразвуковых (УЗ)

колебаний инструмента, воздействующих на заготовку через абразивные частицы, твердость которых превосходит твердость обрабатываемого материала. Эти частицы, получив импульс движения от колеблющегося с частотой 16—30 кГц торца инструмента, врезаются в обрабатываемую поверхность, скалывая с нее микрочастицы. Значительное число абразивных частиц, одновременно участвующих в обработке (30—100 тыс. на 1 см<sup>2</sup>), обеспечивает интенсивный съем обрабатываемого материала и копирование формы рабочей части инструмента на заготовке. Наиболее интенсивный съем материала происходит в направлении колебаний инструмента, на его боковых поверхностях обработка протекает менее интенсивно. УЗО в жидкой среде (воде), несущей абразивные частицы, улучшает условия их обмена и интенсифицирует удаление продуктов обработки вследствие ультразвукового кавитирования жидкости в рабочей зоне.

УЗО подвергают твердые и хрупкие материалы (например, стекло, ферриты, ситаллы, кремний, твердые сплавы и т. д.). Пластичные и вязкие материалы этими методами не обрабатывают.

Наибольшая производительность обеспечивается при увеличении амплитуды УЗ-колебаний и соответствует оптимальной силе воздействия инструмента (3—60 Н) на заготовку.

Отклонение размеров деталей из твердых и хрупких материалов, подвергнутых УЗО, не превышает 0,02 мм (для глубины обработки 3 мм). При этом наибольшее влияние на отклонение размеров деталей оказывают размер абразивных зерен, глубина обработки и размерный износ инструмента. Шероховатость поверхностей при УЗО зависит от размеров абразивных зерен, свойств обрабатываемого материала и амплитуды колебаний инструмента. Использование небольших амплитуд, мелких шлиф- и микропорошков обеспечивает  $Ra = 1,25 \dots 2,5$  мкм.

Ультразвуком обрабатывают пазы, сквозные и глухие отверстия любой формы, разрезают заготовки, гравировуют и профилируют поверхности, нарезают резьбу и т. д. Инструменты для УЗО выполняют из прочных (35—40 HRC<sub>2</sub>), но вязких материалов. Для обработки сквозных отверстий диаметром 0,5—20 мм используют сплошные инструменты, а для сквозных отверстий диаметром 20—100 мм — полые, что улучшает условия циркуляции абразивных зерен и повышает производительность УЗО.



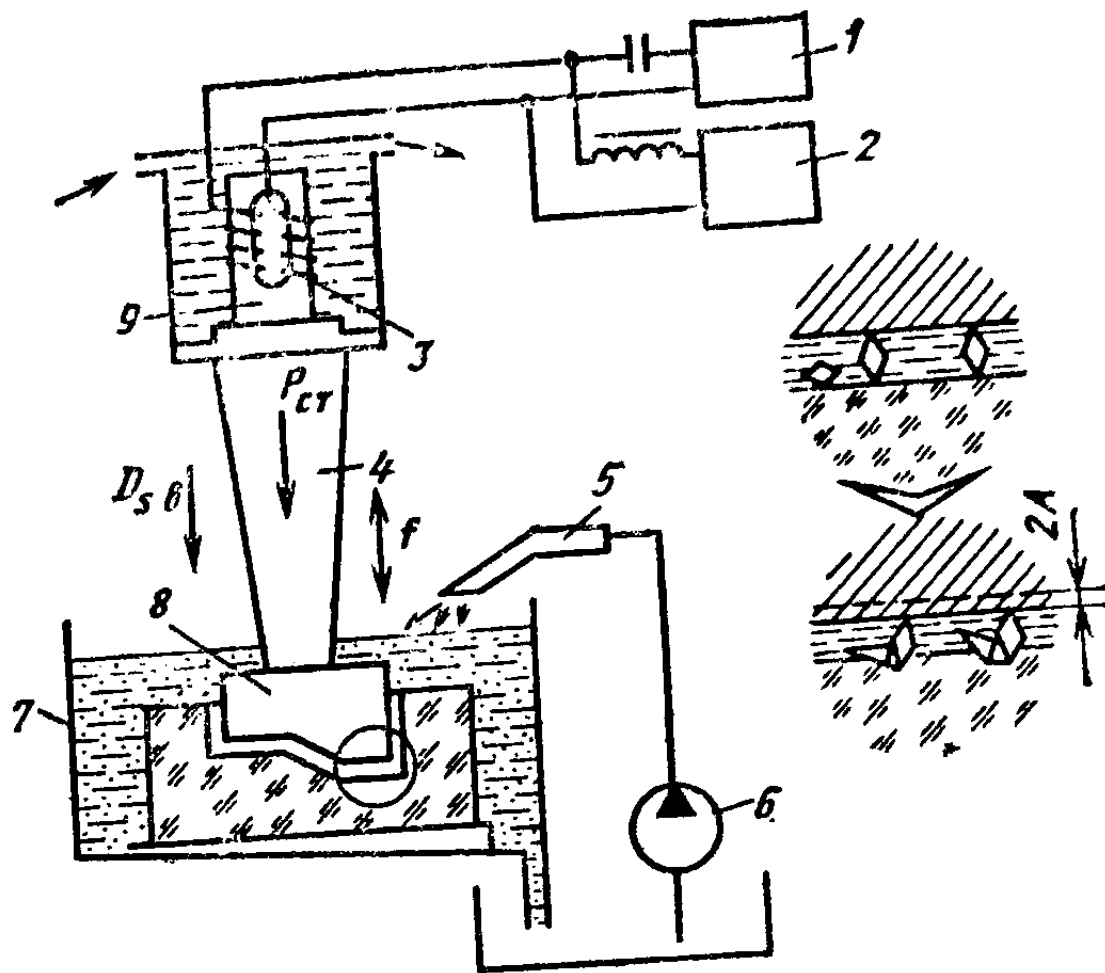


Рис. 26.7. Схема ультразвуковой обработки

Размерную УЗО выполняют на ультразвуковых станках мощностью 100 Вт — 4 кВт. Основным узлом таких станков является акустическая головка с источником ультразвуковых колебаний в виде магнестрикционного преобразователя, представляющего собой ферромагнитный сердечник, способный изменять свои размеры в переменном магнитном поле (эффект магнестрикции).

Такой способностью обладают сердечники, изготовленные из никеля, железокобальтовых, железоалюминиевых и других сплавов. Созданное с помощью генератора 1 (рис. 26.7), источника постоянного тока 2 и обмотки 3 переменное электромагнитное поле с частотой  $f = 16 \dots 30$  кГц обеспечивает амплитуду колебаний торца 9 сердечника 5—10 мкм. Для увеличения амплитуды до 40—60 мкм к торцу сердечника крепят резонансный волновод-концентратор 4, на конце которого закрепляют инструмент 8. Для подачи в рабочую зону инструмента абразивной суспензии станок снабжают ванной 7 и патрубком 5, по которому насос 6 прокачивает суспензию.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Влияет ли уровень диэлектрической проницаемости жидкости на производительность ЭЗО?
2. Чем отличаются электронисковые режимы ЭЗО от электроимпульсных?

3. В чем отличия ЭКО от ЭЭО?
4. Почему ЭЛО проводится в вакуумной камере?
5. Возможна ли светолучевая обработка диэлектрических материалов?
6. На каких физических явлениях основана УЗО?

## ГЛАВА 27. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

### § 27.1. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Электрохимическая обработка (ЭХО) основана на анодном растворении металла обрабатываемой заготовки в среде электролита под действием электрического тока. Все разновидности ЭХО можно разделить на отделочную и размерную обработку.

Отделочная ЭХО предназначена для изменения состояния и свойств поверхностей (например, удаление грата, окалины, скругление заусенцев, снижение шероховатости до  $Ra = 0,04$  мкм и  $Rz = 0,025$  мкм). При проведении отделочной ЭХО заготовка помещается в ванну с электролитом, подключается к аноду, а катодом служит металлическая пластина (медь, свинец и т. д.). После подачи напряжения на электроды начинается интенсивное растворение выступов микронеровностей заготовки вследствие повышенной плотности тока на их вершинах. Поверхности впадин микронеровностей растворяются значительно медленнее, так как заполняются экранирующими их продуктами растворения, имеющими пониженную проводимость. В результате такого неравномерного растворения происходит сглаживание выступов микронеровностей, снижение толщины дефектного слоя и увеличение коррозионной стойкости поверхности. Для повышения интенсивности растворения используют электролит, нагретый до  $40-80$  °С.

Размерная ЭХО предназначена для изменения формы, размеров и шероховатости поверхностей обрабатываемой заготовки.

При размерной ЭХО растворение металла происходит при прохождении тока через электролит, прокачиваемый под давлением в зазоре между электродом-инструментом и заготовкой. Наиболее интенсивно растворение происходит на участках, где зазор минимален, а плотность тока

наибольшая. В ходе размерной ЭХО происходит выравнивание плотности тока в межэлектродном зазоре и, как следствие, копирование профиля электрода-инструмента на заготовке. В связи с растворением металла заготовки и необходимостью поддержания оптимальной ширины межэлектродного зазора для продолжения процесса инструменту-катоду сообщается движение подачи, направленное к обрабатываемой поверхности.

В качестве показателя, характеризующего производительность размерной ЭХО, используют линейную скорость растворения металла  $v_{\text{л}}$ , пропорциональную анодной плотности тока. Скорость растворения металла (скорость съема)  $v_{\text{л}}$  регулируют изменением электрических параметров, температуры и скорости прокачки электролита. При обработке небольших поверхностей (площадью до  $10^5 \text{ мм}^2$ ) скорость съема до 1 мм/мин, а для больших поверхностей (площадью  $10^5 \text{ мм}^2$  и более) скорость съема 0,02—0,2 мм/мин.

В качестве электролитов используют растворы солей  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  с добавлением слабого раствора соляной кислоты. Наиболее часто используют водный раствор  $\text{NaCl}$ , который дешев и обеспечивает длительную работоспособность благодаря непрерывному восстановлению в растворе хлористого натрия.

В среднем электрические параметры размерной ЭХО следующие: напряжение  $U = 6 \dots 60 \text{ В}$ , плотность тока  $i = 5 \dots 250 \text{ А/см}^2$ . При этом достигается параметр шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 2,5 \dots 0,32 \text{ мкм}$ , который с увеличением плотности тока снижается.

Поверхности заготовки, не требующие обработки, электронизируют так же, как и поверхности электрода-инструмента, с которыми недопустимо электрохимическое взаимодействие заготовки.

Размерной ЭХО подвергают наружные и внутренние поверхности. Она служит также для прошивки и калибрования отверстий (рис. 27.1, а), обработки лопаток (рис. 27.1, б) турбин, труб, фасонных полостей и т. д.

Выполняют размерную ЭХО на специальных станках, включающих механизмы, реализующие кинематическую схему обработки; источник электропитания; гидросистему, обеспечивающую очистку и подачу электролита в межэлектродный зазор; устройства, контролирующие работу систем и средства автоматизации, поддерживающие оптималь-

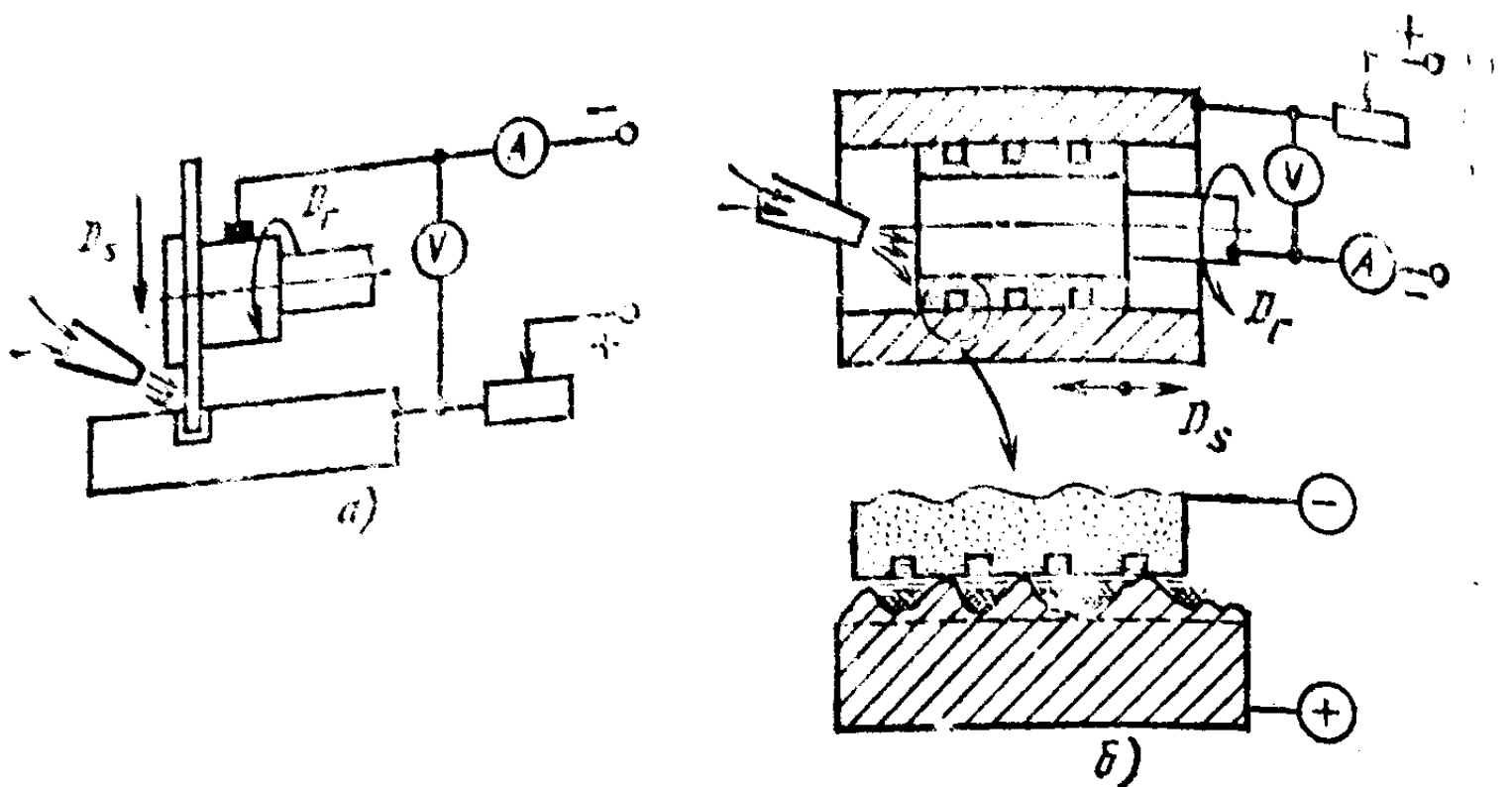


Рис. 27.1. Схемы анодно-механической резки (а) и полирования отверстия трубы (б)

ный межэлектродный зазор и другие параметры процесса.

Разновидностью размерной ЭХО является электроабразивная обработка, выполняемая электродом-инструментом в виде вращающегося шлифовального круга на токопроводящей связке (бакелитовая связка с графитовым наполнителем). Присутствие при электроабразивной обработке в межэлектродном зазоре движущихся абразивных зерен, закрепленных в связке, интенсифицирует удаление продуктов растворения, что повышает производительность обработки. Съем металла при этом происходит не только в результате анодного растворения (85—90 % припуска), но и вследствие механического воздействия на заготовку абразивных зерен (10—15 % припуска).

Более производительной по сравнению с электроабразивной является электроалмазная обработка, выполняемая алмазными кругами на электропроводной связке (например, металлической). При электроалмазной обработке 75 % припуска удаляется анодным растворением, а 25 % срезается алмазными зернами. Весьма успешно и широко используют электроалмазную обработку при заточке твердосплавного инструмента.

## § 27.2. АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Анодно-механическая обработка (АМО) представляет собой метод, позволяющий соединить производительность электроэрозионной обработки с возможностью

получения высококачественных поверхностей, что характерно для электрохимического растворения. Соединение электроэрозионного и электрохимического воздействий при АМО происходит таким образом, что создаются благоприятные условия для увеличения результативности электрохимического воздействия.

Для создания таких условий (рис. 27.2) движущийся инструмент, подключенный к катоду, прижимается к обрабатываемой поверхности (аноду), в результате чего разрушаются образующиеся на ней пленки продуктов растворения и обеспечивается их вынос из рабочей зоны. Таким образом, механическое воздействие на обрабатываемую поверхность со стороны инструмента интенсифицирует электрофизико-химические процессы в рабочей зоне и увеличивает производительность съема металла.

Переход при АМО от преобладания электроэрозионного разрушения материала к электрохимическому осуществляется изменением энергетических параметров процесса. С увеличением напряжения и удельной мощности, подводимой в зону обработки, преобладает электроэрозионный процесс, а с уменьшением напряжения и удельной мощности преобладает электрохимическое растворение. На черновых режимах при скорости инструмента 25 м/с, давлении прижима 200 кПа и плотности тока, составляющей несколько сотен  $A/cm^2$ , обеспечивается шероховатость  $Rz = 500 \dots 600$  мкм и интенсивность съема  $8 \cdot 10^3 \text{—} 1 \cdot 10^4$  мм<sup>3</sup>/мин. На чистовых режимах при скорости 0,5—25 м/с, давлении прижима 50 кПа и плотности тока, составляющей десятые доли  $A/cm^2$ , гарантируется  $Ra =$

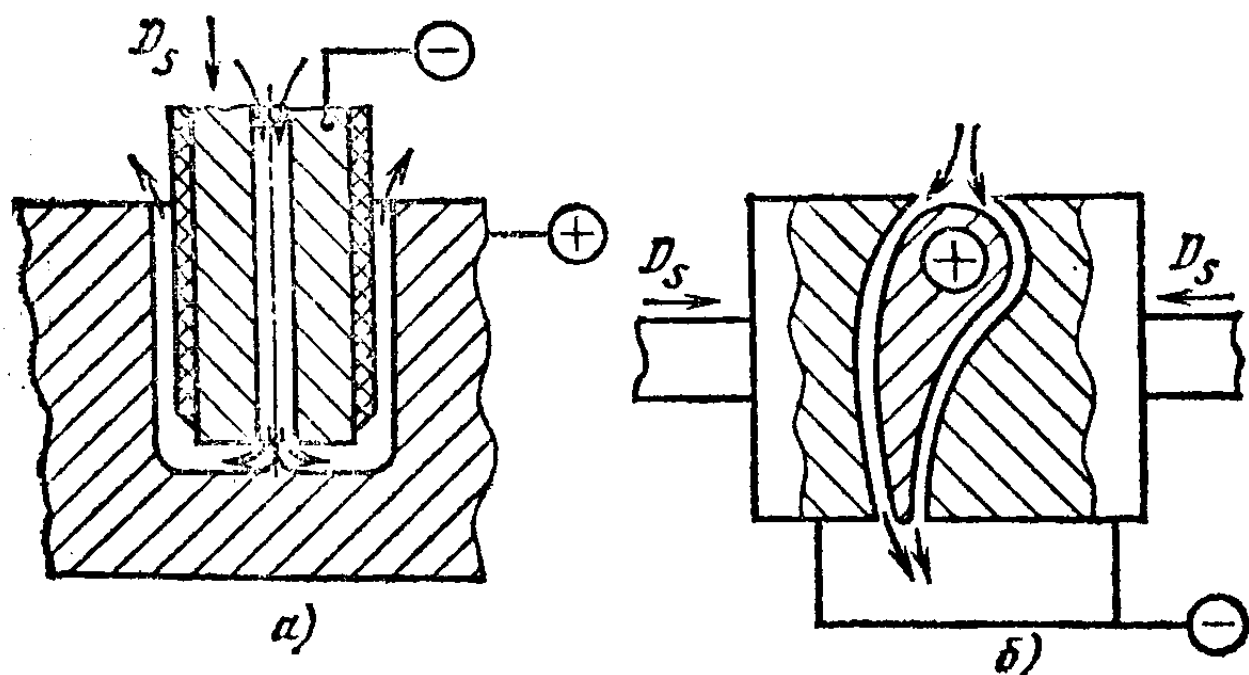


Рис. 27.2. Схемы электрохимической прошивки отверстия (а) и обработки лопатки (б)

= 0,01 мкм и интенсивность съема 0,6 мм<sup>3</sup>/мин. АМО следует обязательно проводить в присутствии электролита (раствора силиката натрия в воде), подаваемого в виде струи в рабочую зону при напряжении источника постоянного тока 14—28 В. При АМО происходит весьма малый износ инструмента, составляющий на черновых режимах 20—30 % и на чистовых режимах 2—3 % по сравнению с износом при ЭЭО.

Областью применения АМО является широкая номенклатура операций анодно-механической резки (отрезание литниковых систем, вырезание профилей и прорезание пазов, разрезание труб и слитков) и операций анодно-механической шлифовки (профилирование, заточка и доводка режущего инструмента, шлифование твердосплавных изделий и обдирка отливок и поковок).

Наряду с электрохимической комбинированной обработкой находят применение электроэрозионная, ультразвуковая, плазменная и магнитная комбинированная обработки.

### *ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ*

1. Почему при ЭХО возрастает интенсивность растворения выступов микронеровностей?
2. Как влияет уровень электрических параметров ЭХО на ширину межэлектродного зазора?
3. Какие разновидности электрохимической обработки вы знаете?
4. Какие методы ЭФХО оказывают на экологию наиболее вредное воздействие?

**ГЛАВА 28. АГРЕГАТНЫЕ СТАНКИ****§ 28.1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И КОМПОНОВКИ**

Агрегатные станки — это разновидность специальных и специализированных станков, часть узлов и деталей которых нормализована и имеет универсальное назначение. Нормализованные узлы и детали в общем объеме конструктивных элементов агрегатных станков составляют 70—90 %. Используется 500 наименований, более 2500 исполнений и типоразмеров таких узлов. К нормализованным узлам и деталям относятся станины, стойки, столы, бабки, силовые головки, шпиндели, валики, зубчатые колеса, детали приспособлений, механизмов зажима, устройств контроля и систем управления. Специальные узлы и детали, входящие вместе с нормализованными в конструкцию агрегатного станка, проектируют для изготовления конкретной детали или группы деталей. К специальным узлам относятся кондукторные плиты, зажимные приспособления, системы охлаждения, контроля и управления, а также специальные расточные, сверлильные, фрезерные бабки, силовые и поворотные столы.

Технологически агрегатные станки характеризуются значительной концентрацией операций и переходов, что обеспечивается компоновкой станка и конструкцией применяемых инструментов. Компоновка, в свою очередь, зависит от технологического процесса обработки, взаимного расположения и числа обрабатываемых у заготовок сторон. Агрегатные станки выполняют сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы отверстий диаметром 5—80 мм, растачивание отверстий диаметром 20—400 мм, подрезание торцов диаметром до 600 мм, обработку канавок в отверстиях, обтачивание наружных поверхностей, фрезерование плоскостей шириной до 500 мм и длиной до 1500 мм, а также обработку фасонных поверхностей. По точности обработка на агрегатных станках соот-

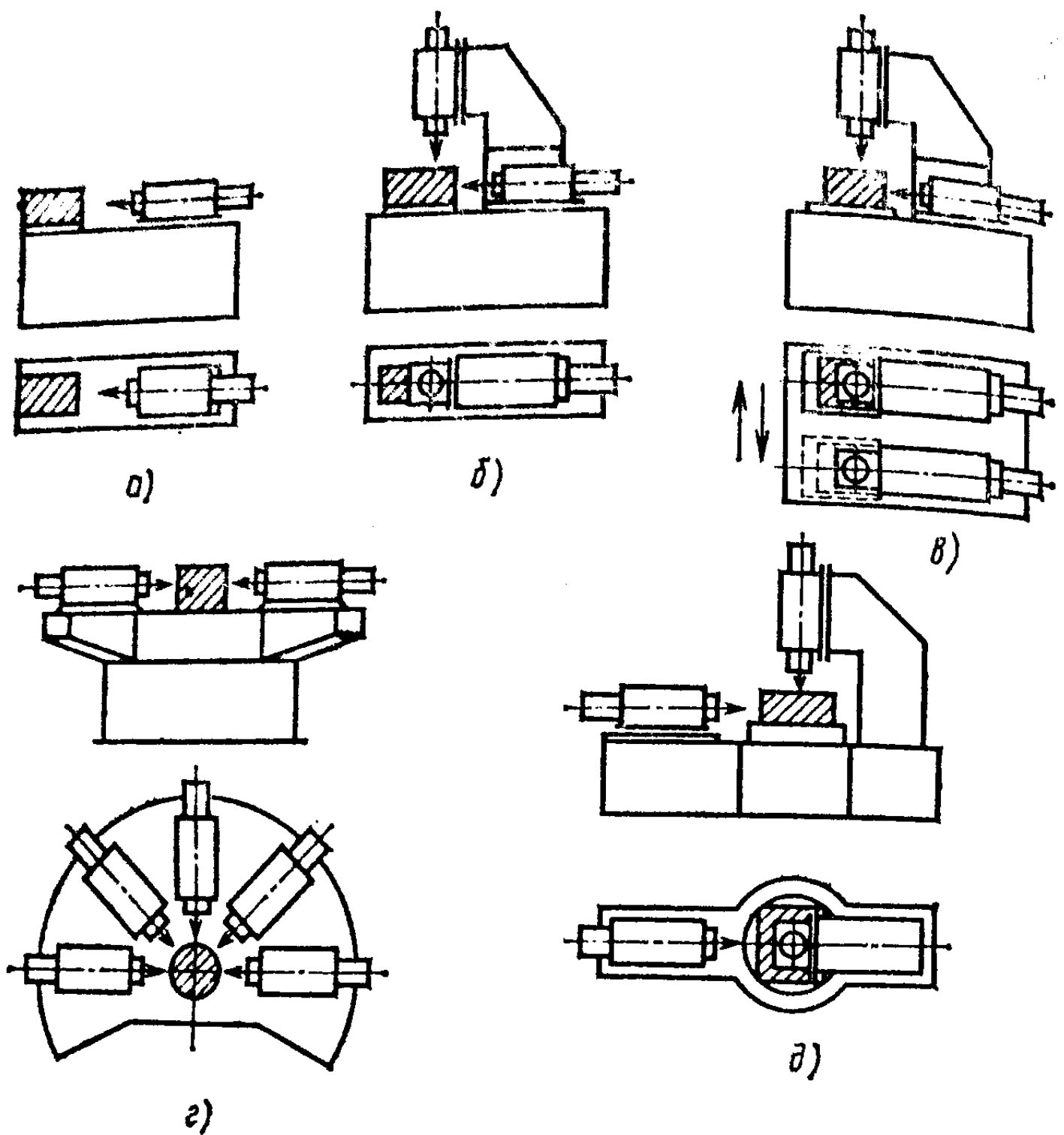


Рис. 28.1. Компоновка однопозиционных агрегатных станков:  
 а — для обработки с одной стороны; б — для обработки с двух сторон; в — с магнитковым столом; г, д — для обработки с нескольких сторон

ветствует обработке на универсальных станках классов точности Н, П, В. При обработке с неизменным положением заготовки, закрепленной в стационарном приспособлении, используют однопозиционные агрегатные станки. На таких станках можно обрабатывать заготовки с одной или нескольких сторон. Обработка заготовки с одной стороны выполняется однопозиционным станком с одной силовой головкой, оснащенной многошпиндельной насадкой (рис. 28.1). При обработке с нескольких сторон число головок должно соответствовать числу сторон обработки (рис. 28.1, г, д).

Наряду со стационарными приспособлениями на однопозиционных станках для установки и закрепления сложных заготовок с большим числом обрабатываемых



поверхностей используют делительные приспособления или столы, позволяющие проводить последовательную обработку. Использование делительных приспособлений экономически оправдано при небольшом выпуске крупногабаритных деталей на однопозиционных станках, размеры которых недостаточны для установки необходимого числа силовых головок. Крупногабаритные заготовки удобно обрабатывать на однопозиционных станках маятникового типа (рис. 28.1, в), у которых стол с заготовкой может, поступательно перемещаясь, устанавливаться в двух крайних позициях. Одну из позиций при необходимости можно использовать для загрузки-выгрузки.

Для обработки за несколько переходов заготовок со значительным числом поверхностей, расположенных в разных плоскостях, используют многопозиционные станки, работающие в полуавтоматическом или автоматическом цикле (при оснащении загрузочными устройствами). Широко используют многопозиционные станки с поворотным столом в виде диска или кольца. Силовые головки в таких станках устанавливают на станине вокруг стола (рис. 28.2, а) и дополнительно на центральной колонне у станков с кольцеобразным столом (рис. 28.2, б). Силовые головки занимают горизонтальное, вертикальное или наклонное

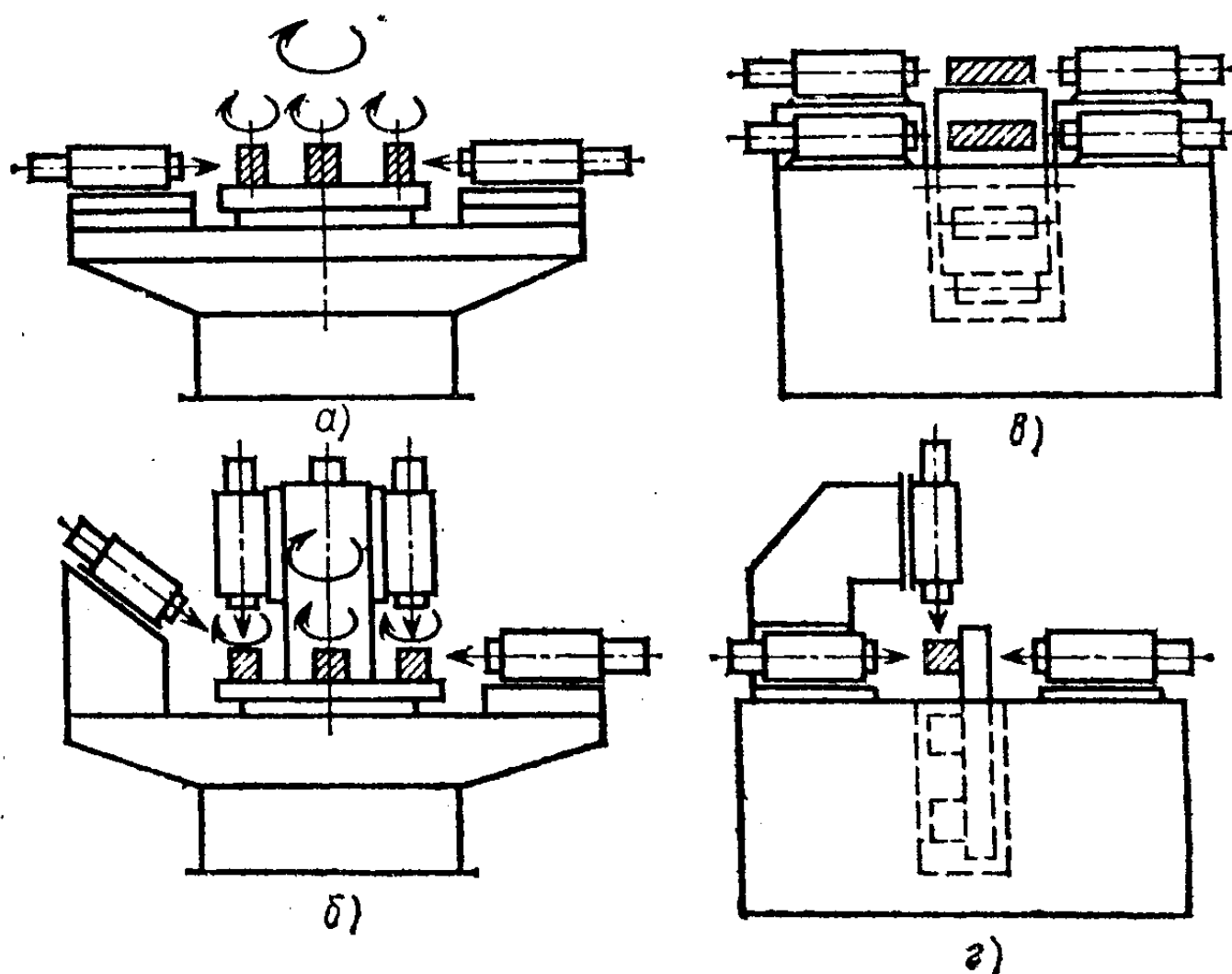


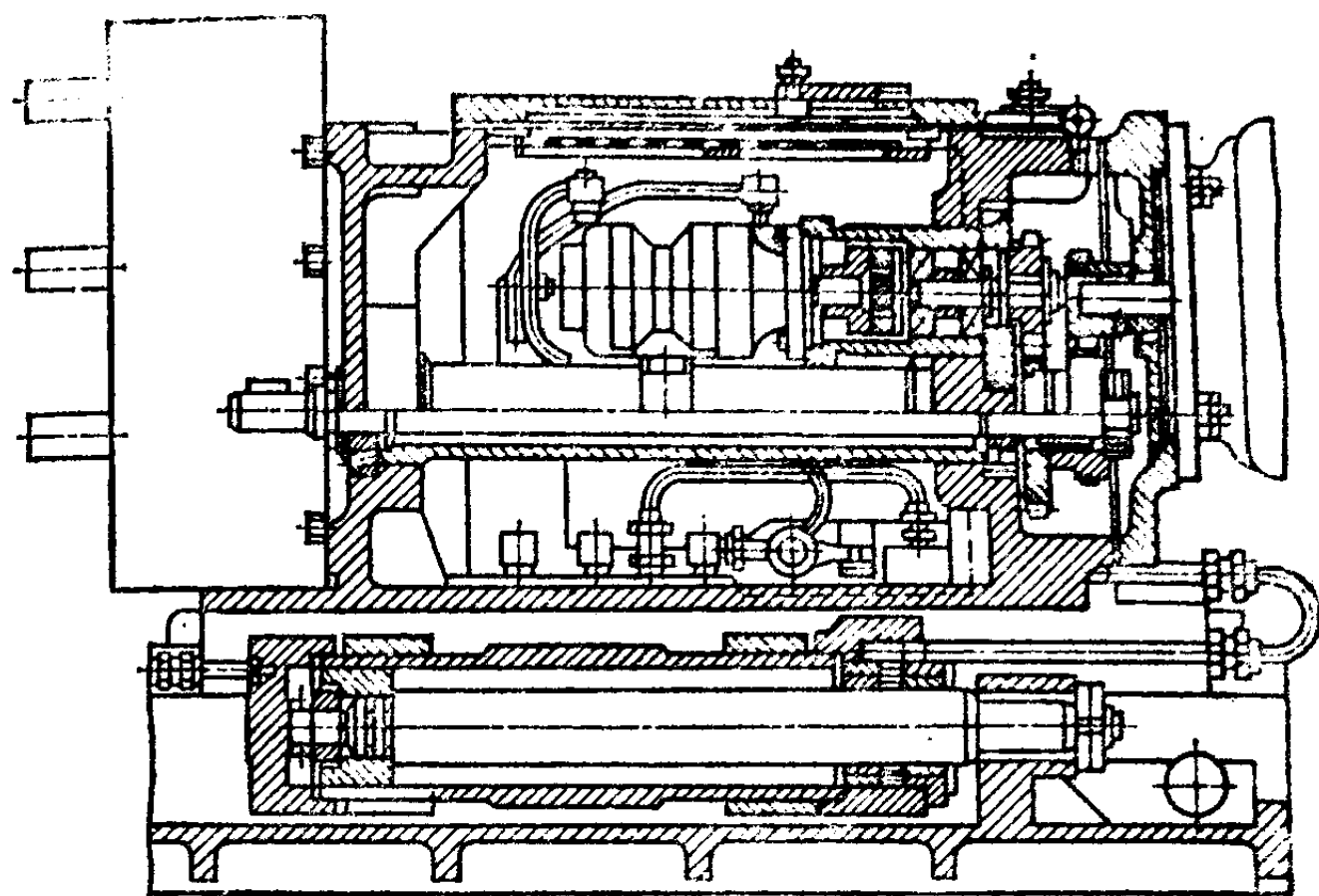
Рис. 28.2. Компонировка многопозиционных агрегатных станков

положение. При обработке заготовок с двух противоположных сторон используют многопозиционные станки барабанного типа, заготовки крепят на поворотном барабане (рис. 28.2, в, г), что позволяет одновременно обрабатывать их с трех сторон.

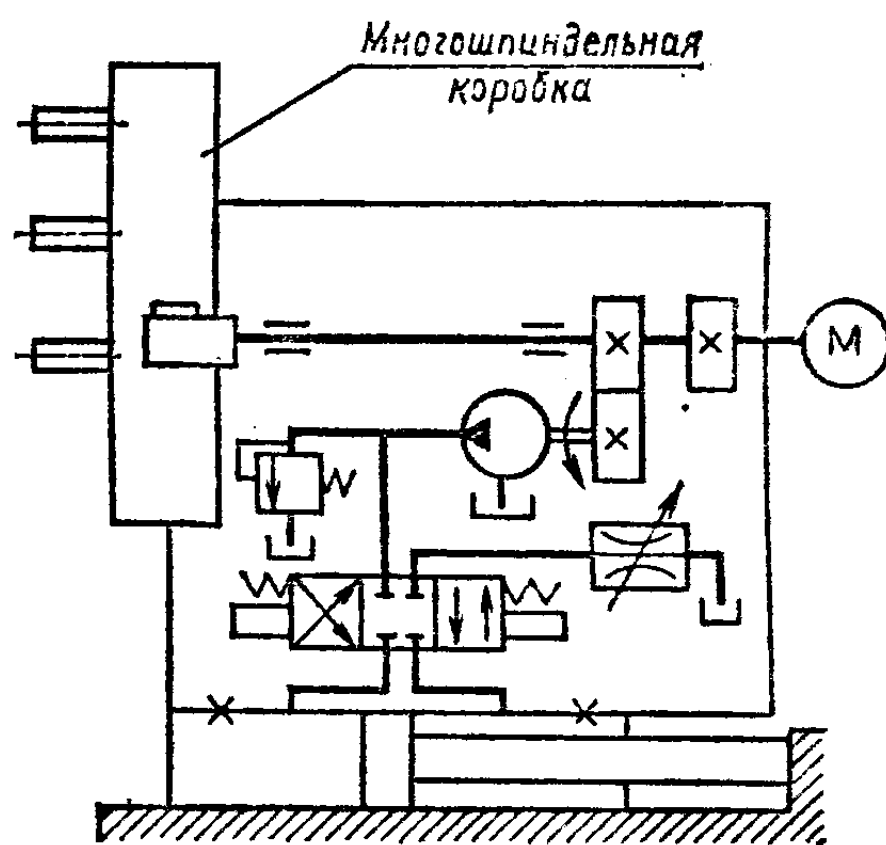
## § 28.2. КОНСТРУКЦИЯ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ

Основными нормализованными узлами агрегатных станков являются силовые узлы и поворотные делительные устройства. Силовые узлы конструктивно подразделяют на силовые головки и столы. Силовые головки в отличие от силовых столов оснащают приводами главного движения (вращения) на основе электрического, пневматического или гидравлического двигателя. Наибольшее распространение получил привод на основе электрического двигателя мощностью 0,1—30 кВт. В качестве приводов подач силовых головок и столов используют кулачковые и винтовые механизмы, а также гидравлические и пневмогидравлические устройства. У самодействующих силовых головок и столов приводы подач расположены непосредственно в корпусах, а у несамодействующих — вне корпусов. Самодействующие (рис. 28.3) силовые узлы более компактны, а несамодействующие — проще в наладке и ремонте. Силовые головки по конструкции механизма движения подачи бывают с выдвижной пинолью или с перемещаемым корпусом, а также могут иметь перемещаемый корпус с выдвижной пинолью. Большей жесткостью обладают головки с подвижным корпусом, а головки с выдвижной пинолью более компактны, имеют меньшую массу движущейся части.

Для расширения технологических возможностей вместо силовых головок на агрегатных станках используют комплекты из силового стола с установленной на нем инструментальной бабкой. Силовые столы 2 (рис. 28.4) оснащаются электромеханическим или гидравлическим (несамодействующим) приводом, они обеспечивают быстрый подвод, рабочее движение подачи и быстрый отвод инструментов. Инструментальные бабки 1 (сверлильные, фрезерные, расточные и резьбонарезные) оснащают отдельным электродвигателем, вращающим через ременную или зубчатую передачу шпиндель с инструментом или выходной вал привода многошпиндельной коробки.



а)



б)

Рис. 28.3. Конструкция (а) и гидрокинематическая схема (б) самодействующей силовой головки

При обработке на агрегатных станках поворот заготовок или перенос с позиции на позицию осуществляется с помощью поворотных делительных устройств. В агрегатных станках маятникового типа (см. рис. 28.1, в) и станках с головками, расположенными в ряд, перенос заготовок выполняется прямолинейно перемещающимся столом. Более широкое распространение получили агре-

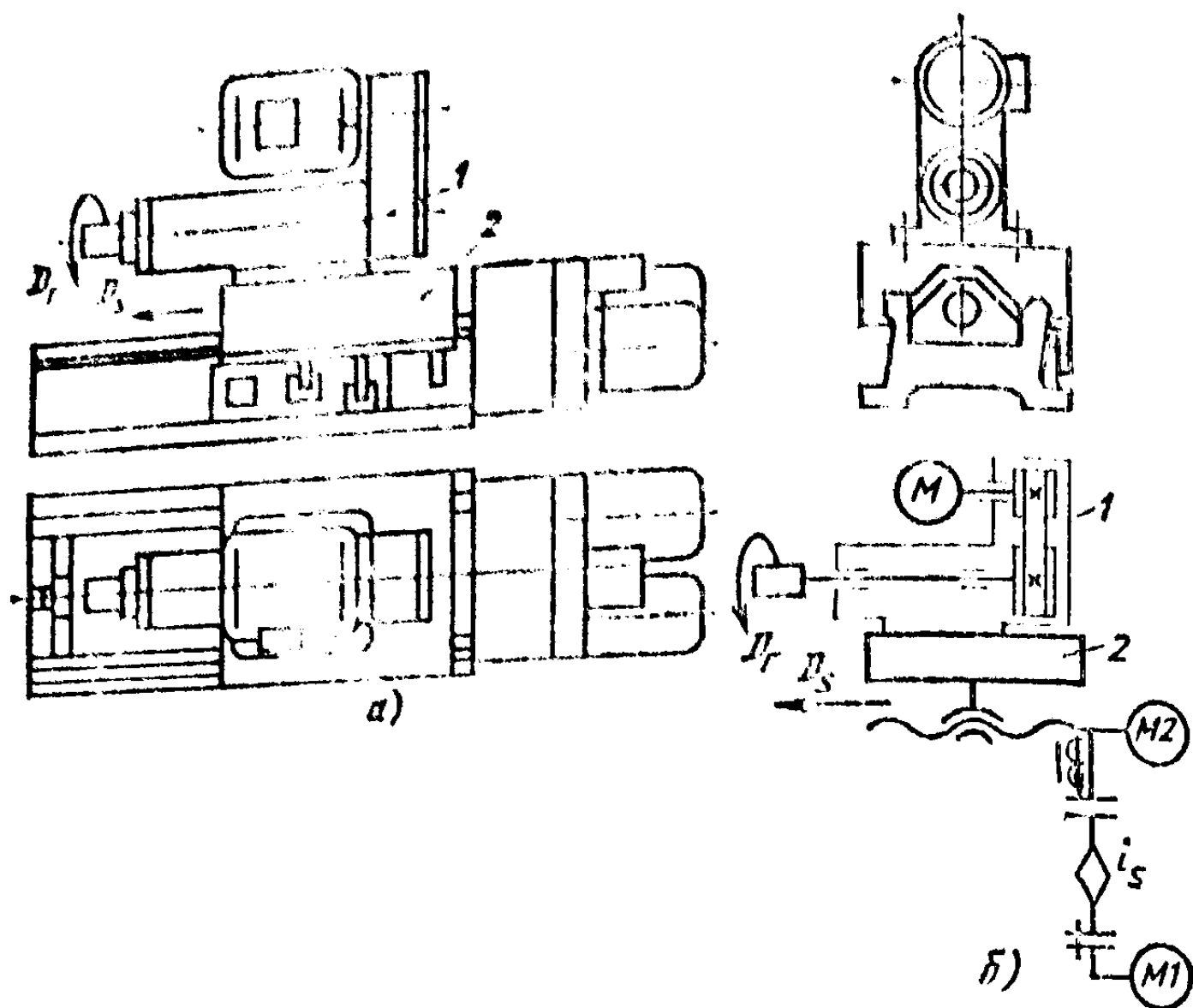


Рис. 28.4. Силовой стол с инструментальной бабкой (а) и их структурная схема (б)

гатные станки с круговым перемещением заготовок, которые устанавливают либо на столах в виде дисков и колец, либо на барабанах. При этом столы вращаются в горизонтальной плоскости, а барабаны — в вертикальной. Для легких и средних заготовок используются поворотные устройства с механическими и, реже, пневматическими приводами. При обработке более тяжелых (более 250 кг) заготовок поворотные устройства оснащают механическими и гидравлическими приводами. В поворотных столах и барабанах с механическим приводом в качестве поворотных устройств применяют кулачковые, мальтийские и зубчатые механизмы. Наибольшее распространение в поворотных делительных столах получили мальтийские механизмы с внутренним и внешним зацеплением, а в поворотных барабанах — сферические мальтийские механизмы. Все силовые головки и поворотные устройства располагаются на сварных или литых станинах и стойках. При обработке мелких заготовок все узлы и зажимные устройства монтируют на цельных станинах, а для обработки крупных и средних заготовок станины выполняют составными. На приставных боковых станинах распола-

гают силовые головки, а на средних станинах — поворотные столы и зажимные устройства.

Технологические возможности агрегатных станков существенно расширяются благодаря применению многошпиндельных и фрезерных насадок, шпиндельных коробок, расточных приспособлений, зажимных, загрузочных устройств и контрольных приспособлений. Одношпиндельные насадки предназначены для уменьшения или увеличения частоты вращения инструментов и изменения направления их вращения. Использование многошпиндельных насадок и шпиндельных коробок позволяет увеличить производительность агрегатных станков. Насадки закрепляются на пиноли головки и двигаются вместе с нею. При малой радиальной жесткости насадки снабжают дополнительными направляющими или призматическими направляющими, закрепленными на корпусе силовой головки.

На рис. 28.5 показана двухшпиндельная сверлильная головка, шпиндели 1 которой получают вращение от приводного вала 7 силовой головки через валы и шестерни, размещенные в корпусе 6. В кронштейнах 4 корпуса 8

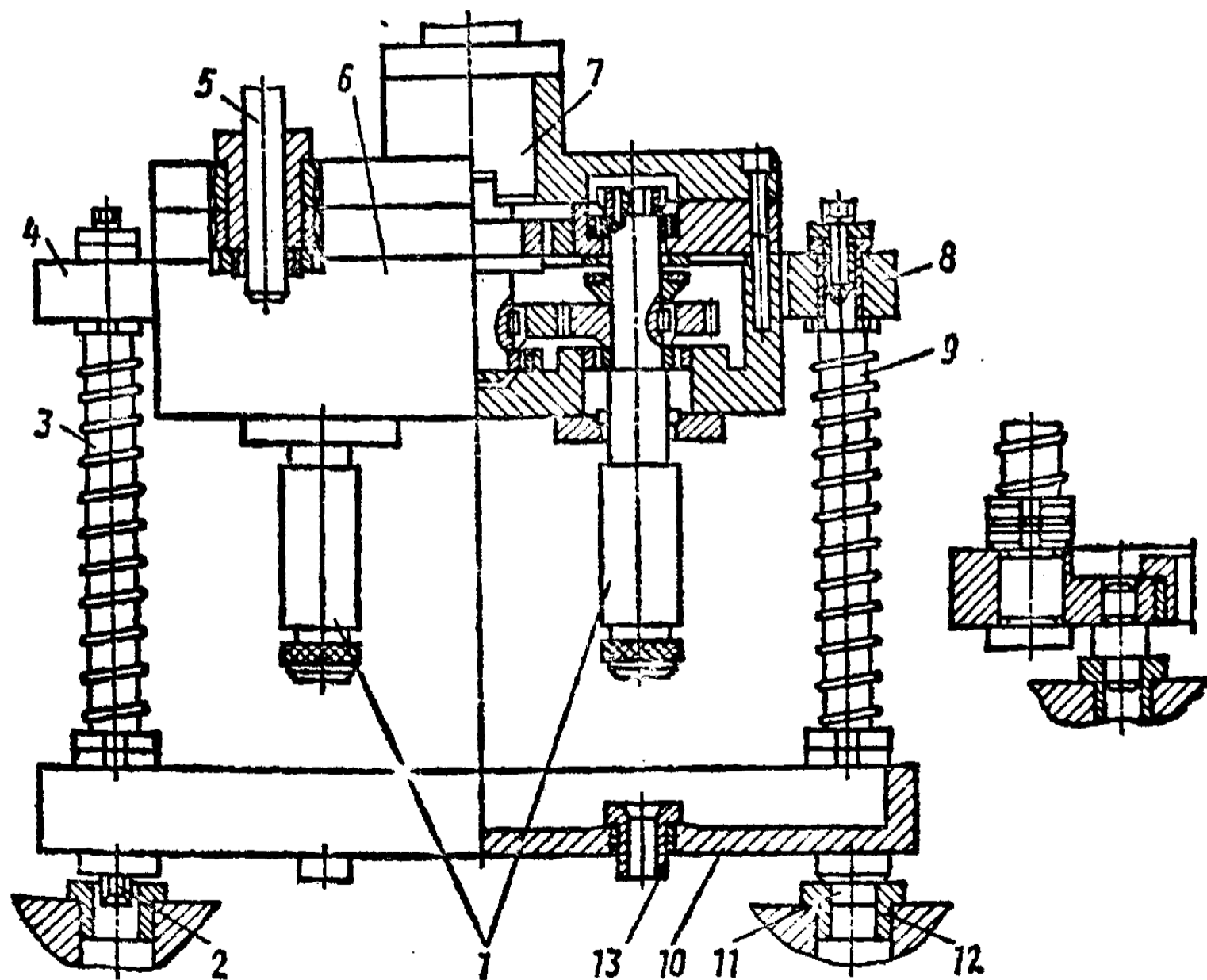


Рис. 28.5. Двухшпиндельная сверлильная головка

перемещаются скалки 3, 9 подвижной кондукторной плиты 10 и направляющая скалка 5, закрепленная на корпусе силовой головки. Насадки имеют то же назначение, что и шпиндельные коробки, которые крепят к фланцу корпуса силовой головки, перемещающейся со скоростью движения подачи. Шпиндельные насадки и коробки проектируют применительно к обработке конкретной детали, и поэтому расположение шпинделей, их размеры и угловые скорости определяются чертежом изготавливаемой детали.

### § 28.3. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ЗАГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИНСТРУМЕНТ

Повышение жесткости и уменьшение отклонения направления осевых инструментов на агрегатных станках обеспечивается кондукторными плитами подвижной и неподвижной конструкции. Неподвижные плиты гарантируют более высокую точность расположения отверстий. Несколько меньшую точность, но значительно большее удобство при загрузке-выгрузке обеспечивают подвижные кондукторы, которые могут быть установлены на силовой головке либо закреплены на крышке зажимного приспособления. Для направления режущих инструментов кондукторные плиты 10 (см. рис. 28.5) оснащают вращающимися или неподвижными кондукторными втулками 13. При необходимости точного ориентирования отверстий относительно технологических баз кондукторную плиту 10 с ее жесткими пальцами 2, 11 перед началом обработки фиксируют во втулках 12 зажимного приспособления.

Зажимные приспособления агрегатных станков характеризуются повышенной надежностью базирования, закрепления и использованием компактных зажимных устройств, что объясняется преобладанием на этих станках многоинструментной обработки. Зажимные приспособления в зависимости от компоновки станка и размеров заготовки могут быть одноместными и многоместными. Для уменьшения размеров многоместного приспособления используют винтовые зажимы с приводом в виде винтовых пар.

Для повышения производительности агрегатных станков их оснащают загрузочными устройствами, обеспечивающими полуавтоматический или автоматический режим работы. Полуавтоматический режим работы целесообразен

при обработке средних и крупногабаритных заготовок корпусных деталей, имеющих длительный цикл обработки. Для загрузки мелких заготовок используют бункеры, куда заготовки засыпаются навалом, а затем простыми механизмами подаются на станок в ориентированном положении. Часто бункеры оснащают элеваторными загрузочными устройствами (рис. 30.3, з) регулируемой производи-

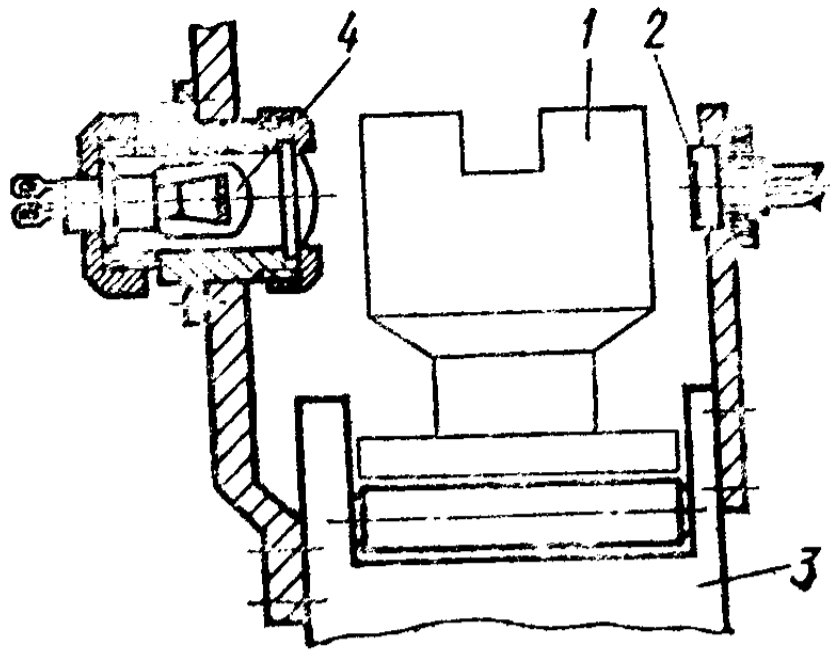


Рис. 28.6. Фотоэлектрический контроль наличия заготовок в падающем лотке

тельности. Из бункера заготовки захватываются планками элеваторного конвейера, с которого попадают на лоток, подающий их в зажимное приспособление станка. Для сложных по форме заготовок целесообразны ручное ориентирование и укладка их в магазины (в виде лотков, дисков со штырями и т. п.). Из магазинов заготовки подаются в зажимные приспособления станка с помощью автоматических рук, выполняемых в виде двуплечего рычага с захватными устройствами на концах.

Контроль состояния заготовок и инструментов на агрегатных станках выполняется автоматическими контрольными устройствами в виде механических щупов, индуктивных и фотоэлектрических датчиков. Так, состояние инструмента контролируется контактным датчиком, щуп которого, касаясь лезвия инструмента, включает реле пуска электродвигателя. При поломке режущей части цепь реле разорвана и реле отключается.

Широко применяют фотоэлектрический контроль наличия заготовок в подающем лотке агрегатного автомата (рис. 28.6). Заготовка 1, находясь на лотке 3, прерывает световой поток, падающий на фоторезистор 2 от лампы 4, сопротивление фоторезистора 2 увеличивается и происходит включение реле пуска станка. При отсутствии заготовки световой поток, падая на фоторезистор, снижает его сопротивление и включение станка не происходит.

В качестве режущего и вспомогательного инструмента на агрегатных станках используют стандартный, нормализованный и специальный инструмент (комбинированный

цельной и сборной конструкции). Материал режущей части инструментов и режимы резания выбирают исходя из условия обеспечения стойкости порядка 8 ч (одна смена). В конструкцию инструментов вносят изменения с целью улучшения отвода стружки, подвода СОТС и снижения возникающих при резании вибраций. Жесткость и точность осевых инструментов увеличивается благодаря направляющим А (рис. 28.7, в), которые выполняют перед или за режущей частью либо режущую часть выполняют между направляющими участками. Направляющие при работе контактируют с кондукторными втулками либо с ранее обработанными отверстиями заготовки. При контактировании с жесткими втулками или отверстиями на

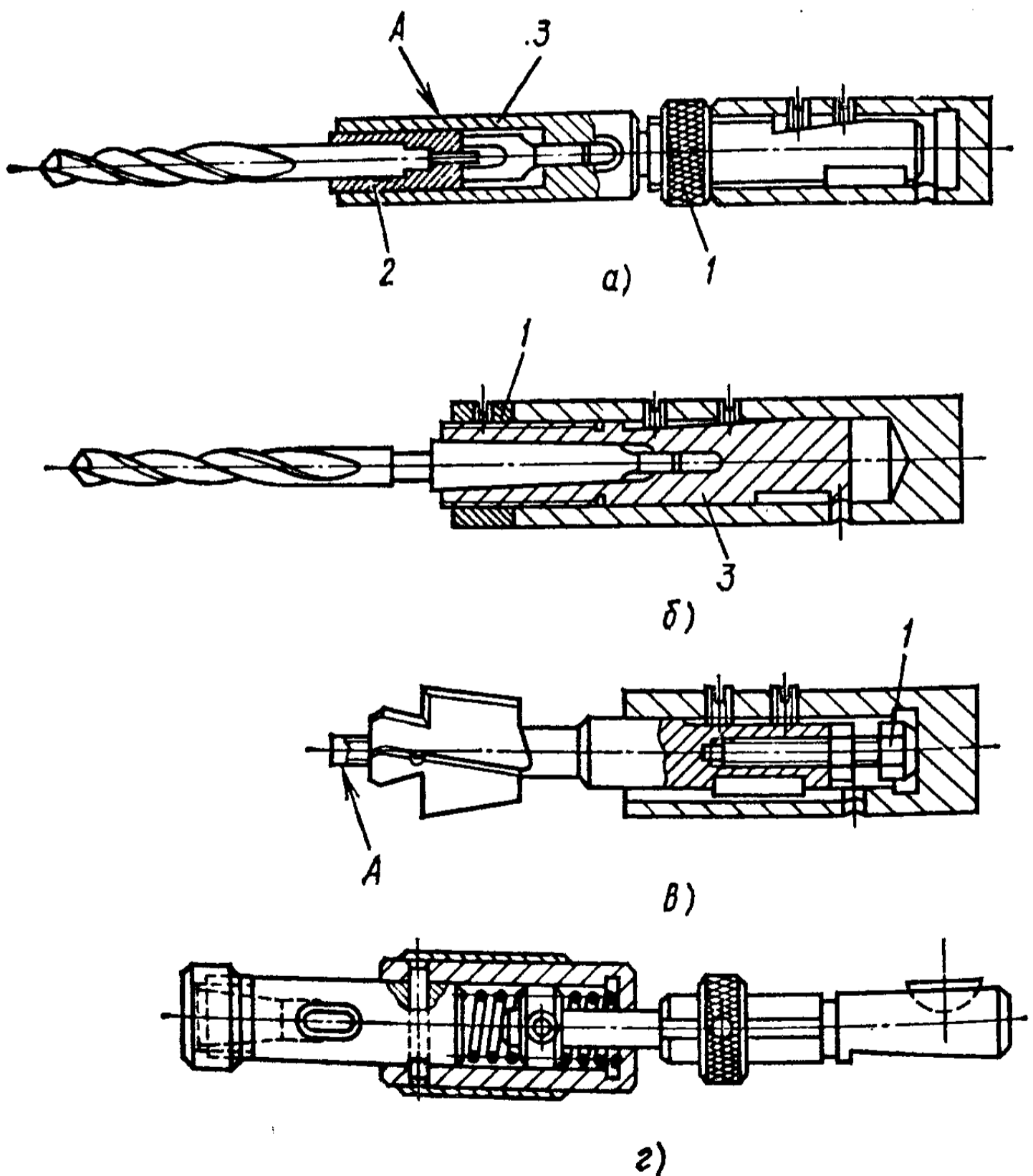


Рис. 28.7. Вспомогательный инструмент агрегатных станков (А — направляющие участки)



поверхности направляющих выполняют канавки для смазывания. Для получения точных отверстий необходимо, чтобы длина направляющих обеспечивала их контактирование со втулками в течение всего рабочего хода.

В качестве вспомогательного инструмента на агрегатных станках широко используют быстросменные патроны, оправки, державки, переходные и регулируемые втулки и патроны. Наиболее часто для крепления инструментов на агрегатных станках применяют переходные регулируемые втулки, наличие регулировочной гайки 1 в конструкции которых позволяет изменять вылет инструмента. Установка режущего инструмента производится либо непосредственно в регулируемую втулку, либо через промежуточную втулку 2 (рис. 28.7, а) разрезной или цельной конструкции. Закрепление регулируемых втулок с инструментами в цилиндрических отверстиях шпинделей производят посредством шпонки и двух стопорных винтов, упирающихся в скос втулки 3 (рис. 28.7, б). При креплении инструмента непосредственно в шпинделе силовой головки или насадки его вылет устанавливается вне станка регулируемым винтом 1, размещенным в хвостовике (рис. 28.7, в). При установке в одной насадке различных по длине режущих инструментов используют переходные втулки-удлинители 3 (рис. 28.7, а). Перед закреплением в патронах (быстросменных, плавающих и т. д.) инструменты устанавливают в переходные втулки, где их вылет определяется положением регулировочного винта. Для закрепления метчиков применяют пружинное (рис. 28.7, г) устройство, обеспечивающее самозатягивание метчика и компенсирующее численное неравенство подачи из шага нарезаемой резьбы.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите основные разновидности нормализованных узлов агрегатных станков.
2. Чем определяется положение силовой головки агрегатного станка в пространстве?
3. С какой целью используются переходные втулки на агрегатных станках?

# ГЛАВА 29. СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И РОБОТЫ

## § 29.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ

Стремление увеличить производительность и уровень автоматизации мелкосерийного производства путем совершенствования систем управления станками привело к созданию станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Числовое программное управление станками основано на использовании чисел для задания программы перемещений исполнительных органов станков в процессе обработки. В отличие от станков-автоматов, где программа работы задается в аналоговом виде (шаблонами, копирами, кулачками и т. д.), в станках с ЧПУ реализуется связь размеров детали с программой, заданной в виде числового кода на программоносителе.

Подготовка программ для станков с ЧПУ, а также их тиражирование требует меньшей трудоемкости по сравнению с трудоемкостью изготовления кулачков или копиров. В то время как для изготовления кулачков (копиров) необходимы расчетные, чертежные работы и механическая обработка, подготовка программ сводится к расчету и записи ее на программоноситель. При тиражировании программ трудоемкость предельно мала, так как не нужны повторные расчеты. Еще одним преимуществом ЧПУ является возможность коррекции программ непосредственно в процессе обработки без замены программоносителя. Применительно к мелкосерийному производству, в котором эксплуатируется более 50 % всего станочного парка, использование станков с ЧПУ позволяет увеличить производительность в 2—4 раза, увеличить долю основного времени в общем цикле обработки с 30 до 50 %.

В связи с управлением работой станков по командам системы ЧПУ внесли изменения в конструкцию их основных узлов с целью повышения точности и стабильности качества обработки. Эти изменения, в первую очередь, коснулись приводов подач, в которых стали применять передачи, позволяющие исключить кинематические и силовые зазоры. С этой целью сокращают длину кинематических цепей, в каждой из которых использован индивидуальный двигатель, в передачах трение скольжения

заменяют трением качения (передачи винт — гайка качения), используют передачи с устройствами устранения зазоров в передачах (разрезные колеса, смещаемые в осевом направлении червяки) и редукторах (беззазорные редукторы с параллельными кинематическими цепями и др.), а при установке зубчатых колес на валы используют конические разжимные кольца.

Большое значение для станков с ЧПУ имеет быстродействие привода, так как время его разгона и торможения оказывает влияние на точность отработки программы, в частности точность позиционирования. Высокое быстродействие привода подач в широком диапазоне регулирования обеспечивается специальными электродвигателями и передачами, у которых стабильно малые потери на трение (винт — гайка качения, гидростатическая винт — гайка), подвижные узлы установлены на направляющих качения и гидростатических направляющих, а также применены специальные смазочные материалы. В качестве специальных электродвигателей в приводах подач используют силовые шаговые электродвигатели и шаговые двигатели в сочетании с гидроусилителями моментов, высокомоментные двигатели постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями и электродвигатели постоянного тока с дисковым ротором. Расширяется применение в приводах подач синхронных бесколлекторных двигателей переменного тока (вентильных) с моментом 0,1—90 Н·м и максимальной частотой вращения 3000—5000 мин<sup>-1</sup>. Эти двигатели имеют широкий диапазон регулирования, равномерность вращения, а также малые габаритные размеры и массу.

В зависимости от технологического назначения станка с ЧПУ привод его главного движения выполняют ступенчатым или бесступенчатым. В ступенчатом приводе шпиндель получает вращение от автоматической коробки скоростей (АКС), переключаемой от электромагнитных муфт и приводимой во вращение одно- или многоскоростным нерегулируемым электродвигателем. В приводах с бесступенчатым регулированием используют сочетание двигателя постоянного тока с тиристорным управлением и двух-трехступенчатой коробки скоростей.

Весьма перспективным для станков с ЧПУ является асинхронный комплектный электропривод «Размер 2М-5-21». Он предназначен для работы в системах автоматического бесступенчатого регулирования частоты вра-

щения электродвигателей двух механизмов подачи и электродвигателя шпинделя токарных станков с ЧПУ. В приводе используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, снабженные встроенными датчиками положения (фазовращатель, работающий на индуктивном принципе) и датчиком температуры. Регулирование частоты вращения реализуется в соответствии с частотно-токовым способом. Для этого обмотки статора запитывают от транзисторных инверторов, преобразующих постоянное напряжение в регулируемое по частоте и амплитуде трехфазную систему токов. В диапазоне частот вращения  $0-1500 \text{ мин}^{-1}$  регулирование этого электропривода выполняется с постоянным крутящим моментом (приводы подачи), а в диапазоне  $1500-4500 \text{ мин}^{-1}$  — с примерно постоянной мощностью (приводы главного движения).

Шпиндели станков с ЧПУ по сравнению со шпинделями универсальных станков имеют большие диаметры, что позволяет размещать в них зажимные автоматические устройства, датчики и диагностические устройства. Установка в опорах шпинделя более жестких роликовых подшипников с предварительным натягом обеспечивает необходимые для станков с ЧПУ долговечность и жесткость, позволяющие выполнять черновую и чистовую обработку. Находят применение также гидродинамические (в шлифовальных станках), гидростатические и аэростатические (в прецизионных станках) подшипники. Базовые детали станков с ЧПУ выполняют с дополнительными ребрами жесткости с увеличенными направляющими. компоновка этих станков обеспечивает удобство при загрузке — выгрузке и отводе стружки.

## § 29.2. ПРИНЦИПЫ ЗАДАНИЯ И ОТРАБОТКИ ПРОГРАММ НА СТАНКАХ С ЧПУ

В станках с ЧПУ направления перемещений и символика определяются ГОСТ 23597—79 по правилу правой руки (рис. 29.1, а). За положительное направление перемещения принято то, при котором увеличивается расстояние между инструментом и заготовкой. Исходная ось (Z), перпендикулярная к плоскости крепления заготовки, имеет положительное направление от заготовки к инструменту и совпадает с осью шпинделя (см. рис. 29.1, б, в). При перемещении заготовки (а не инструмента) поло-

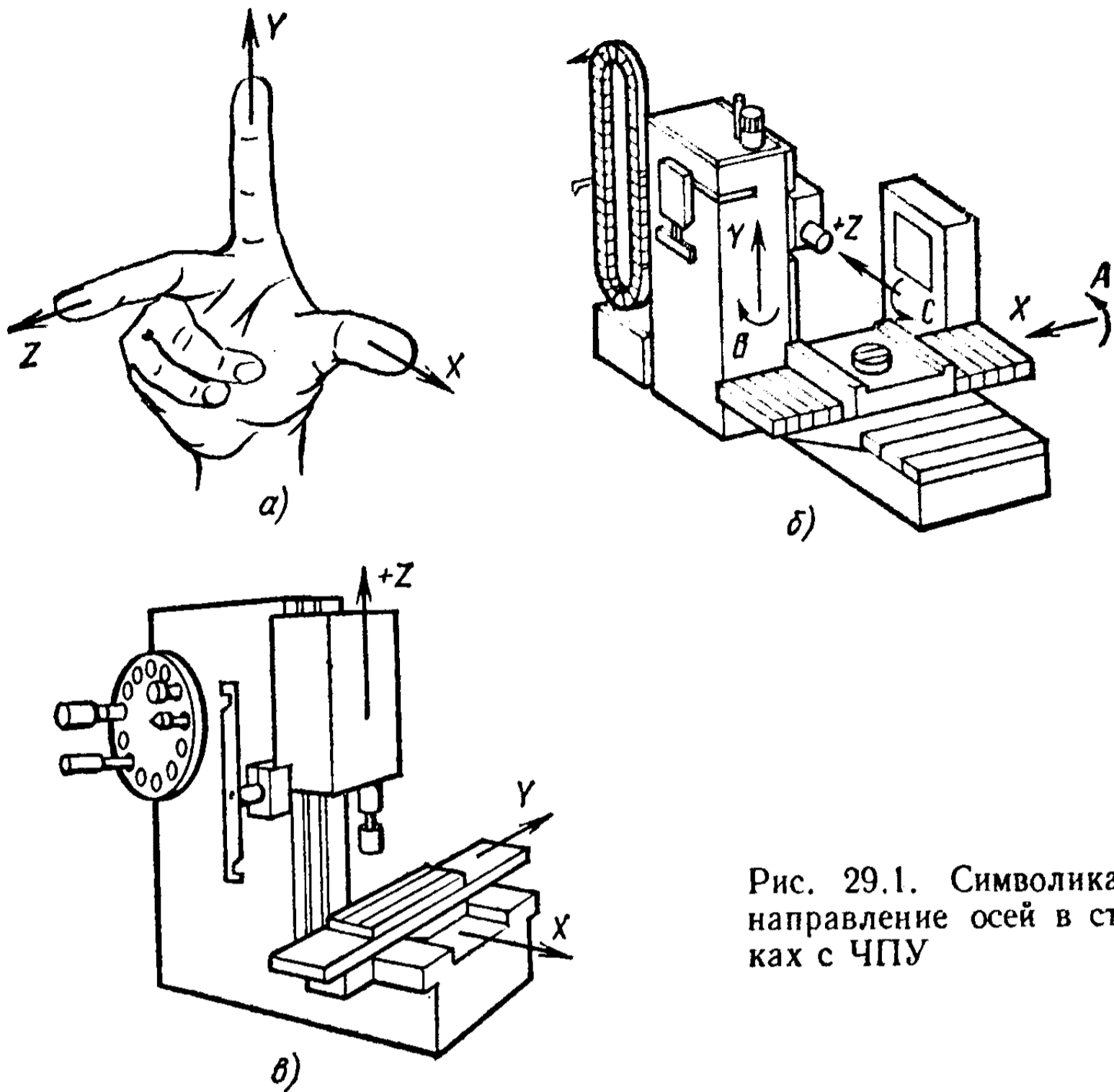


Рис. 29.1. Символика и направление осей в станках с ЧПУ

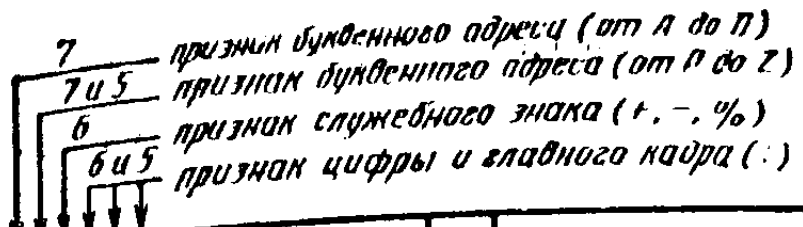
жительное направление изменяется на противоположное и обозначается  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  и т. д. Оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  — первичные (расположены ближе к шпинделю), оси  $U$ ,  $V$ ,  $W$  — вторичные (параллельны первичным) и оси  $P$ ,  $Q$ ,  $R$  — третичные оси. Углы поворота вокруг осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  обозначают соответственно буквами  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Положительным считают поворот по часовой стрелке при взгляде на ось в положительном направлении.

Таким образом, для каждого станка существует система координат. Начало системы координат определяют относительно конструктивных элементов станка и принимают за его «нулевую точку», от которой управляющая программа (УП) задает абсолютные перемещения рабочих органов станка. Исходя из условия обеспечения минимальных вспомогательных ходов, удобства смены инструмента и закрепления заготовки выбирают «исходную точку» станка, определяемую относительно его «нулевой» точки. «Исходную» точку используют для начала работы по УП. Начало отсчета перемещений рабочего органа может быть

перенесено устройством ЧПУ в любое новое положение («плавающий ноль») относительно «нулевой» точки станка. Для УП условно принято, что всегда движется инструмент. В общем случае УП задает траекторию движения центра инструмента по эквидистанте, являющейся геометрическим местом точек, равноудаленных от контура детали. Центром инструмента считают либо его вершину (резец, сверло), либо геометрическую точку (центр дуги окружности при вершине резца, центр торца фрезы, зенкера, метчика и т. д.). Траектория движения центра инструмента состоит из отдельных элементов (отрезки прямых, дуги окружности и т. д.), точки стыковки которых называют опорными точками.

Задание УП для станков с ЧПУ в большинстве случаев проводят в кодированном виде, обеспечивающем однозначность чисел и слов, предотвращение от ошибок, наглядность и удобство при передаче от программоносителя к исполнительным органам станка. Преимущественное распространение при записи УП на восьмидорожечную перфоленту шириной 25,4 мм получил двоично-десятичный международный код ISO—7 бит (рис. 29.2). Используемая в этом коде двоично-десятичная форма (код 8—4—2—1) представляет собой число в десятичной системе, а его цифры записаны в двоичной системе на отдельных строчках, соответствующих десятичным разрядам. Числа 8, 4, 2, 1 называют «весами» кода, каждому из которых отводится дорожка на перфоленте (первые четыре дорожки).

УП состоит из кадров и слов. Слово УП представляет собой часть кадра, содержащую данные о параметре процесса обработки и (или) данные по управлению. Кадр УП—это составная часть УП, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды. Структура кадра (расположение слов и т. д.) определяет его формат, индивидуальный для каждого устройства ЧПУ. Наиболее информативным из совокупности кадров УП является главный кадр, содержащий все данные, необходимые для возобновления обработки после её перерыва. Важным составным элементом УП являются технологические команды. Для них предусмотрены буквенные «адреса», выражаемые буквами латинского алфавита. «Адрес» в ЧПУ представляет собой часть слова УП, определяющую назначение следующих за ним данных, содержащихся в этом слове.



Номер дорожки								Наименование символа	Число знаков - ASCII	
8	7	6	5	4	3	2	1			
Вес кода										
				8	4	2	1			
								0	Цифра 0	
								1	Цифра 1	
								2	Цифра 2	
								3	Цифра 3	
								4	Цифра 4	
								5	Цифра 5	
								6	Цифра 6	
								7	Цифра 7	
								8	Цифра 8	
								9	Цифра 9	
								%	Начало программы	5
								:	Глубинный кадр	10
								A	Поворот относительно оси X	1
								B	Поворот относительно оси Y	2
								C	Поворот относительно оси Z	3
								D	Поворот относительно спец. оси или третья подача, шаг резьбы	4
								E	Поворот относительно спец. оси или вторая подача	5
								F	Скорость подачи	6
								G	Подготовительная функция (задает режим работы ЧПУ)	7
								I	Начальная координата по оси X дуги окружности относительно ее центра	9
								J	То же, по оси Y	10
								K	То же, по оси Z	11
								L	Коррекция	12
								M	Вспомогательная команда	13
								N	Номер кадра (порядковый)	14
								O	Резервная	15
								P	Третичное перемещение параллельно оси X или быстрый ход	0
								Q	То же, параллельно оси Y	1
								R	То же, параллельно оси Z	2
								S	Скорость главного движения (частота вращения шпинделя)	3
								T	Номер (код) инструмента	4
								U	Вторичное перемещение параллельно оси X	5
								V	То же, параллельно оси Y	6
								W	То же, параллельно оси Z	7
								X	Перемещение по оси X	8
								Y	Перемещение по оси Y	9
								Z	Перемещение по оси Z	10
								+	Плюс (направление перемещения)	11
								-	Минус (направление перемещения)	13
								/	Пропуск кадра	15
								LF	Конец кадра (ПС)	10

Рис. 29.2. Код ISO — 7 бит

УП переносят на перфоленту в виде комбинации отверстий. Так, запись цифр (от 0 до 9) выполняют пробивкой отверстий диаметром 1,8 мм на первых четырех дорожках и одновременной пробивкой признака цифры — отверстий на 5-й и 6-й дорожках. Буквы от А до О также записывают на первых четырех дорожках, но при этом делают пробивку на 7-й дорожке. Аналогично записывают буквы от Р до Z, но признак буквы пробивают на 7-й и 5-й дорожках. На 8-й дорожке отверстие пробивают только в том случае, когда сумма отверстий в строке нечетная (контроль ошибок по четности). Режим работы устройства ЧПУ (УЧПУ) записывается в виде сочетания символа G с цифрами: G01 — линейное перемещение, G02, (G03) — круговое перемещение, G91, G90 — относительная и абсолютная системы. Вспомогательные команды записывают в виде символа M с цифрами: M05 — остановка шпинделя, M10 — зажим и т. д.

В общем случае запись УП состоит из символа «Начало программы», последовательности кадров, соответствующей программируемому этапу обработки, и символа «Конец программы». Каждый кадр содержит номер кадра с адресом N, числовую, геометрическую и технологическую информацию и символ конца кадра (\*). Числовую информацию в каждом кадре записывают в определенной последовательности адресов: N, G, X, Y, Z, I, J, K, U, V, W, P, Q, R. Между кадрами на перфоленте делают пропуск, равный трем-пяти строкам. В качестве примера рассмотрим кадр УП для УЧПУ «Электроника НЦ-31» токарного станка:

N004S01M03M08G01X074,50F54\*, где N004 — номер кадра; S01 — частота вращения шпинделя  $180 \text{ мин}^{-1}$ ; M03 — правое вращение шпинделя; M08 — включено охлаждение; G01 — линейное перемещение; X074,50 — перемещение в точку с координатой  $X = 74,5 \text{ мм}$ ; F54 — перемещение со скоростью  $120 \text{ мм/мин}$ ; \* — конец кадра.

Процесс отработки УП удобно проследить по структурной схеме контурной системы ЧПУ (рис. 29.3). Записанная на перфоленту УП считывается (обычно фотосчитывающим устройством) в считывателе программ (СП) и в виде электрических сигналов передается для расшифровки в блок ввода программ (БВП). Поступающая из БВП информация поэлементно записывается в ячейки буферной памяти (ББП) для того, чтобы при необходимости ее можно было откорректировать и ускоренно ввести



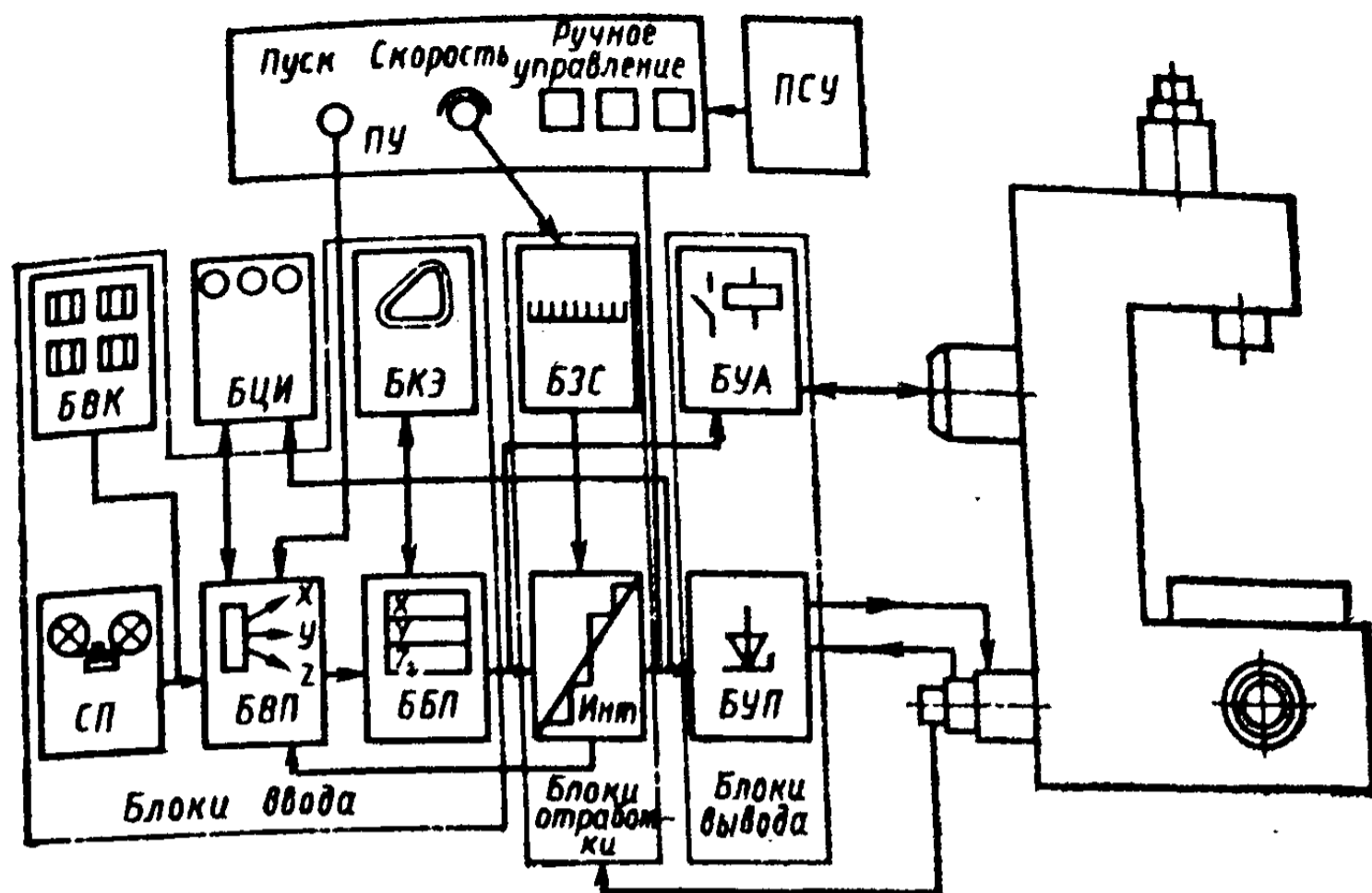


Рис. 29.3. Структурная схема контурной системы ЧПУ

в интерполятор (*Интер*), представляющий собой специальную ЭВМ системы управления. Коррекция покадровой информации (например, учитывающая реальные размеры фрезы) выполняется блоком коррекции эквидистанты (*БКЭ*), а в станках с автоматической сменой инструмента — блоком ввода коррекции (*БВК*) на размеры и положение инструмента.

Будучи центральным блоком УЧПУ, интерполятор преобразует числа, заданные программой, в совокупность импульсов, распределенных по управляемым координатам. Скорость работы *Интер* регулируется блоком задания скорости (*БЗС*) в соответствии с заданным значением подачи. *БЗС* также осуществляет предусмотренный программой разгон и торможение. Поступающие от *Интер* импульсы в блоке управления приводами (*БУП*) преобразуются в сигналы, управляющие приводами подачи. Расшифровку технологических команд и передачу их исполнительным органам осуществляет блок управления автоматикой (*БУА*). Информирование оператора о положении инструмента осуществляет блок цифровой индикации (*БЦИ*). С пульта управления (*ПУ*) оператор может вращаться в работу УЧПУ, а в микропроцессорных системах может вводить УП клавиатурой. Управление станком в режиме наладки проводится с пульта станочного управления (*ПСУ*).

## § 29.3. СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ЧПУ

Система ЧПУ представляет собой совокупность устройств, методов и средств, необходимых для ЧПУ станками. Упрощенная структурная схема системы ЧПУ показана на рис. 29.4. Структурно системы ЧПУ делят на системы с постоянной структурой (НС) и системы с программной реализацией основных алгоритмов работы (СНС). В некоторых системах с постоянной структурой имеются устройства ручного ввода программы с клавиатуры пульта (системы HNC). В системах СНС управление осуществляется от микропроцессора (устройства, выполняющего операции с исходными данными в соответствии с программой, поступающей на его вход) или встроенной ЭВМ. Алгоритмы работы этих систем записываются в ее постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) при изготовлении УЧПУ. В микропроцессорных системах также предусмотрен ручной ввод программ с клавиатуры пульта.

УЧПУ являются составной частью систем ЧПУ. В зависимости от вида управления исполнительными движениями все УЧПУ разделяют на позиционные, контурные и универсальные. В позиционных системах обеспечивается перемещение инструмента (заготовки) в программируе-

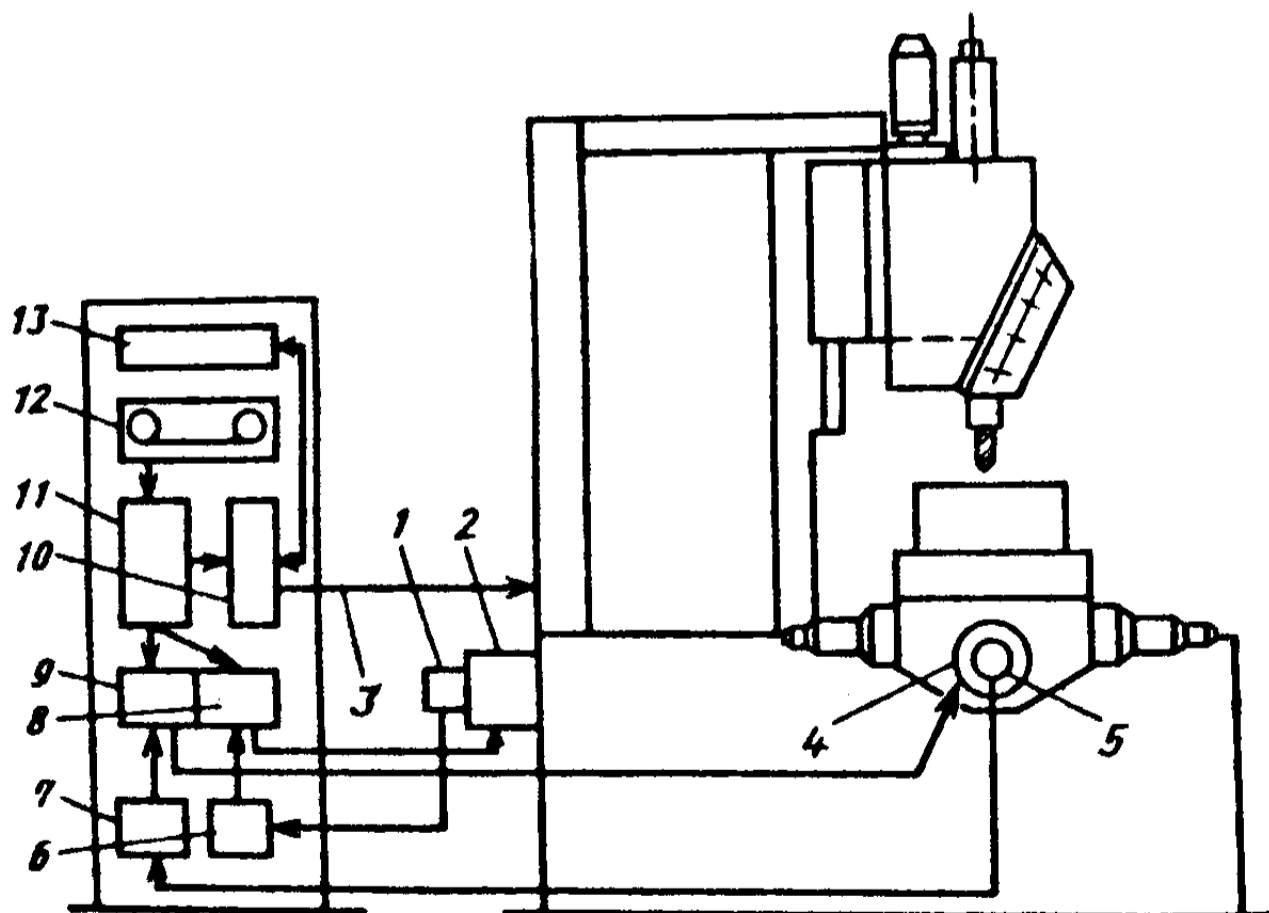


Рис. 29.4. Структурная схема системы ЧПУ:

1, 6 — датчик положения исполнительного механизма; 2, 4 — привод салазок стола; 3 — технологическая информация на исполнительные механизмы; 6, 7 — блок связи; 8, 9 — устройство управления приводами; 10 — блок технологических команд; 11 — кодовый преобразователь; 12 — устройство ввода программы; 13 — блок индикации и ручного управления

емую точку без контроля траектории движения между заданными точками. При движении между точками обработка либо не ведется (станки сверлильной группы), либо проводится поочередным движением по направляющим станка (обработка прямоугольного контура на фрезерных станках или ступенчатых валов на токарных станках). Для уменьшения влияния инерционных и упругих сил на точность позиционирования при подходе к заданной точке УЧПУ ступенчато снижает скорость исполнительного органа до значений «ползучих» скоростей. В контурных системах управления перемещение инструмента (заготовки) в заданную точку производится по согласованным командам, выдаваемым приводам в виде импульсов. Единичное перемещение исполнительного органа, соответствующее одному управляющему импульсу, называют дискретностью. Дискретность (0,01; 0,05 или 0,001 мм) определяет погрешность, обусловленную представлением траектории в цифровой форме. Согласование команд для каждой координаты проводится интерполятором по результатам расчета оценочной функции, основанной на уравнении прямой, окружности или кривой высшего порядка (соответственно линейная, круговая и специальная интерполяция). Контурные системы имеют большее, чем позиционные, число одновременно управляемых координат (до четырех-пяти) и используются для обработки сложных криволинейных профилей на токарных и фрезерных станках. В многоцелевых станках используют универсальные УЧПУ с линейно-круговыми интерполяторами, в которых при круговой интерполяции дуга заданного программой радиуса представляется ступенчатой траекторией, построенной импульсами интерполятора.

Эксплуатационные показатели станков с ЧПУ во многом зависят от числа потоков информации, функционирующих в системе управления. Различают системы разомкнутые, замкнутые и адаптивные. Разомкнутые системы характеризуются наличием одного потока информации, направленного от устройства ввода программы к исполнительному органу. Отсутствие в таких системах (рис. 29.5, а) контроля фактического положения исполнительного органа, упрощая систему, снижает ее точность. Замкнутые системы имеют два потока информации: один — управляющий, направленный к исполнительному органу; второй — контролирующий, направленный от исполни-

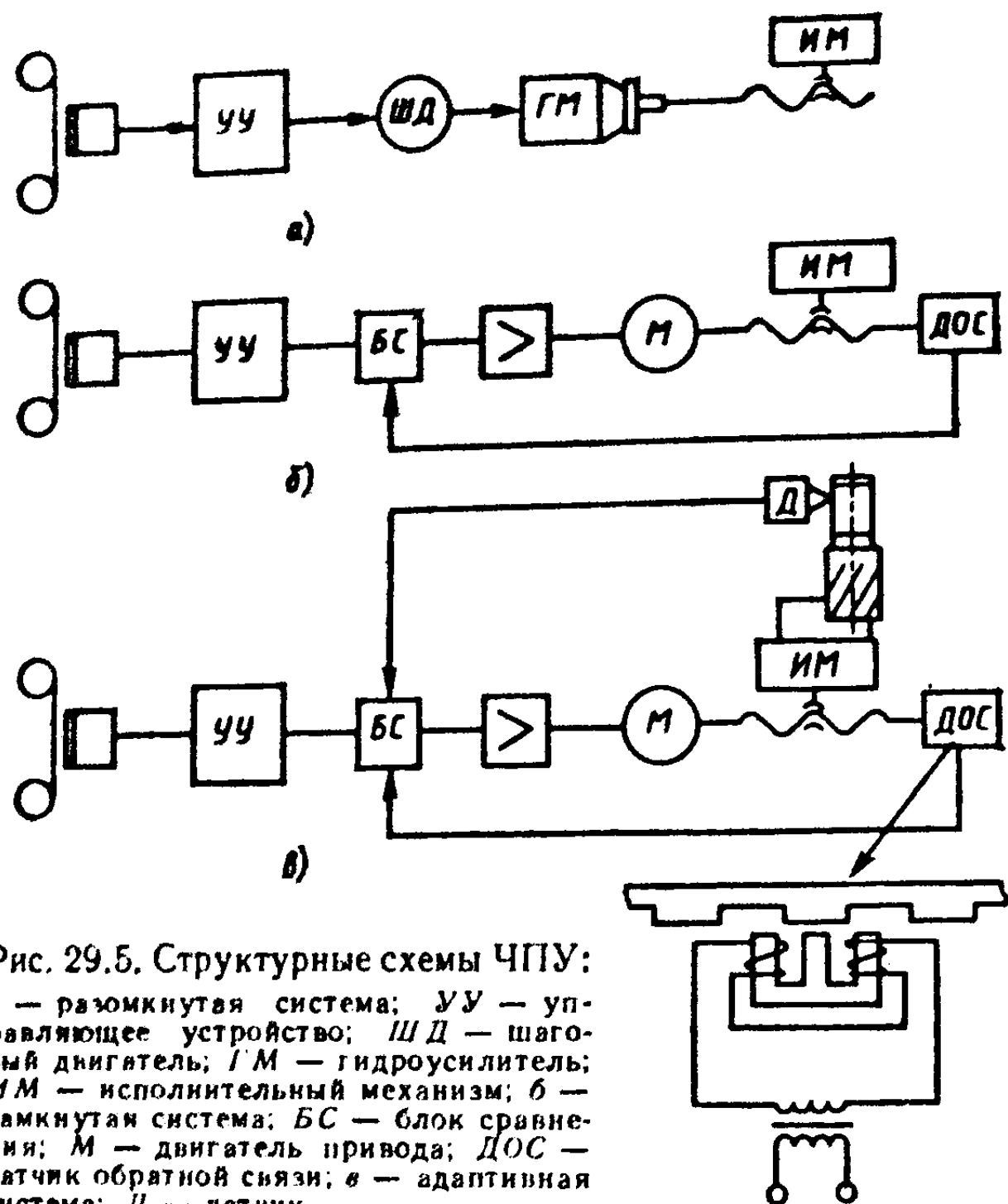


Рис. 29.5. Структурные схемы ЧПУ:  
 а — разомкнутая система; УУ — управляющее устройство; ШД — шаговый двигатель; ГМ — гидроусилитель; ИМ — исполнительный механизм; б — замкнутая система; БС — блок сравнения; М — двигатель привода; ДОС — датчик обратной связи; в — адаптивная система; Д — датчик

тельного органа, точнее от датчика обратной связи по положению (ДОС), контролирующего перемещение исполнительного органа. Сигнал от ДОС сравнивается с управляющим сигналом в блоке сравнения (БС) и при расогласовании между ними на выходе БС появляется сигнал, вызывающий дополнительное перемещение исполнительного органа. При отсутствии сигнала на выходе БС движение прекращается (рис. 29.5, б). По принципу действия ДОС подразделяют на оптические (импульсные) и индуктивные (аналоговые), а по конструктивному исполнению — на круговые и линейные. В менее точных системах в качестве ДОС используют установленные на ходовые винты поворотные датчики в виде сельсинов или вращающихся трансформаторов. Введение канала обратной связи увеличивает точность обработки, но одновременно усложняет системы ЧПУ.

Адаптивные системы (рис. 29.5, в) отличаются от замкнутых наличием третьего информационного канала для оперативного сбора данных об изменении режимов обработки. К таким параметрам, в частности, относятся мощность резания, крутящий момент, силы резания, причиной изменения которых могут быть изнашивание инструмента, переменный припуск и изменение твердости заготовки, а следствием — потеря точности. Подобные отклонения не могут быть предусмотрены УП и потому для их устранения в обоснованных случаях используют адаптивные системы (АС).

Работа АС строится на принципах предельного регулирования, самопрограммирования или оптимального регулирования. Примером предельного регулирования может быть регулирование в системах, в которых изменением подачи обеспечивают изменение силы резания до уровня, не превышающего предельный. Сигналы для управления приводом подач выдает блок сравнения (БС), в котором предельное значение силы резания сравнивается со значением, измеряемым датчиком в процессе обработки. В самопрограммируемых АС, применяемых, в частности, для расчета и программирования числа проходов, используют логическое устройство, в которое наряду с информацией от датчиков вводят предельные значения контролируемых датчиками параметров, информацию о размерах и форме заготовки и готовой детали. При оснащении АС средствами вычислительной техники возможно регулирование на основе заданного алгоритма оптимизации, введенной в систему исходной информации, и оперативных данных, поступающих от датчиков в процессе обработки.

Создание электронных элементов с высокой степенью интеграции позволило унифицировать аппаратные части УЧПУ и сократить число их модификаций. Так, гамма УЧПУ на базе микроЭВМ «Электроника-60» состоит из трех модификаций: 26С85, 2С42 и 2Р22. МикроЭВМ «Электроника-60» построена по модульному принципу. Обмен информацией между модулями осуществляется через единый канал (общую шину). К каналу ЭВМ подключают модули запоминающих устройств, модули связи с пультом оператора, индикатором, приводами, датчиками и электроавтоматикой станка. Возможен ввод данных с клавиатуры, магнитной кассеты и перфоленты. Конструктивно эти УЧПУ выполняют либо в виде автономной стойки,

либо по блочно-модульному принципу с выносным дисплейным блоком, включающим дисплей, клавиатуру пульта и станочный пульт.

Модификации УЧПУ различаются числом управляемых координат и составом программно-математического обеспечения. УЧПУ «Электроника НЦ-31» и «Электроника НЦ80-31» выполнены на основе микропроцессорной универсальной вычислительной системы. УЧПУ «Электроника НЦ-31» предназначена для управления токарными станками со следящим приводом подач и импульсными датчиками обратной связи (замкнутые системы). Для этих устройств технологическое программное обеспечение заносится в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) на этапе изготовления УЧПУ. Устройство обеспечивает контурное управление с линейной и линейно-круговой интерполяцией. Ввод программы можно выполнять двумя способами: с клавиатуры пульта и с кассеты внешней памяти. При отключении от ОЗУ внешней памяти информация в кассете сохраняется в течение 100 ч благодаря использованию автономного источника питания.

УЧПУ «Электроника НЦ80-31» относится к наиболее совершенным отечественным разработкам. Это устройство построено по блочно-модульному принципу с числом блоков, варьируемым в зависимости от типа станка и задач управления. Оно оборудовано съемной кассетой с энергонезависимой памятью (на цифровых магнитных доменах), позволяющей готовить УП отдельно от станка. Кроме ввода УП с клавиатуры и кассеты, предусмотрен ввод УП с фотосчитывающего устройства и ЭВМ верхнего уровня. В УЧПУ «Электроника ЦН80-31» предусмотрено программирование с помощью специальных программ электроавтоматики (ЭА) станка (язык ЯРУС-2). Это дает возможность оперативно корректировать функции ЭА при отладке. Входной контроль УЧПУ выполняется специальным тестом проверки путем установки платы контроля. Предусмотрено также выполнение тестов самодиагностирования двух видов: до начала рабочих режимов, непосредственно после включения УЧПУ; в процессе функционирования (выполняется во время, свободное от выполнения основных операций). Результаты диагностирования выводятся на экран дисплея в зону комментариев, где индицируется информация об ошибке, которая позволяет локализовать неисправный узел или место в УЧПУ.

## § 29.4. ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

В качестве типового представителя рассмотрим токарный патронно-центровой станок 16А20Ф3 с ЧПУ, предназначенный для обработки заготовок деталей типа тел вращения по замкнутому полуавтоматическому циклу в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства. Размеры станка позволяют устанавливать над станиной заготовку диаметром до 500 мм. Основание 3 станка (рис. 29.6, а), где смонтирована станина 4, оборудовано продольным конвейером 16, транспортирующим стружку.

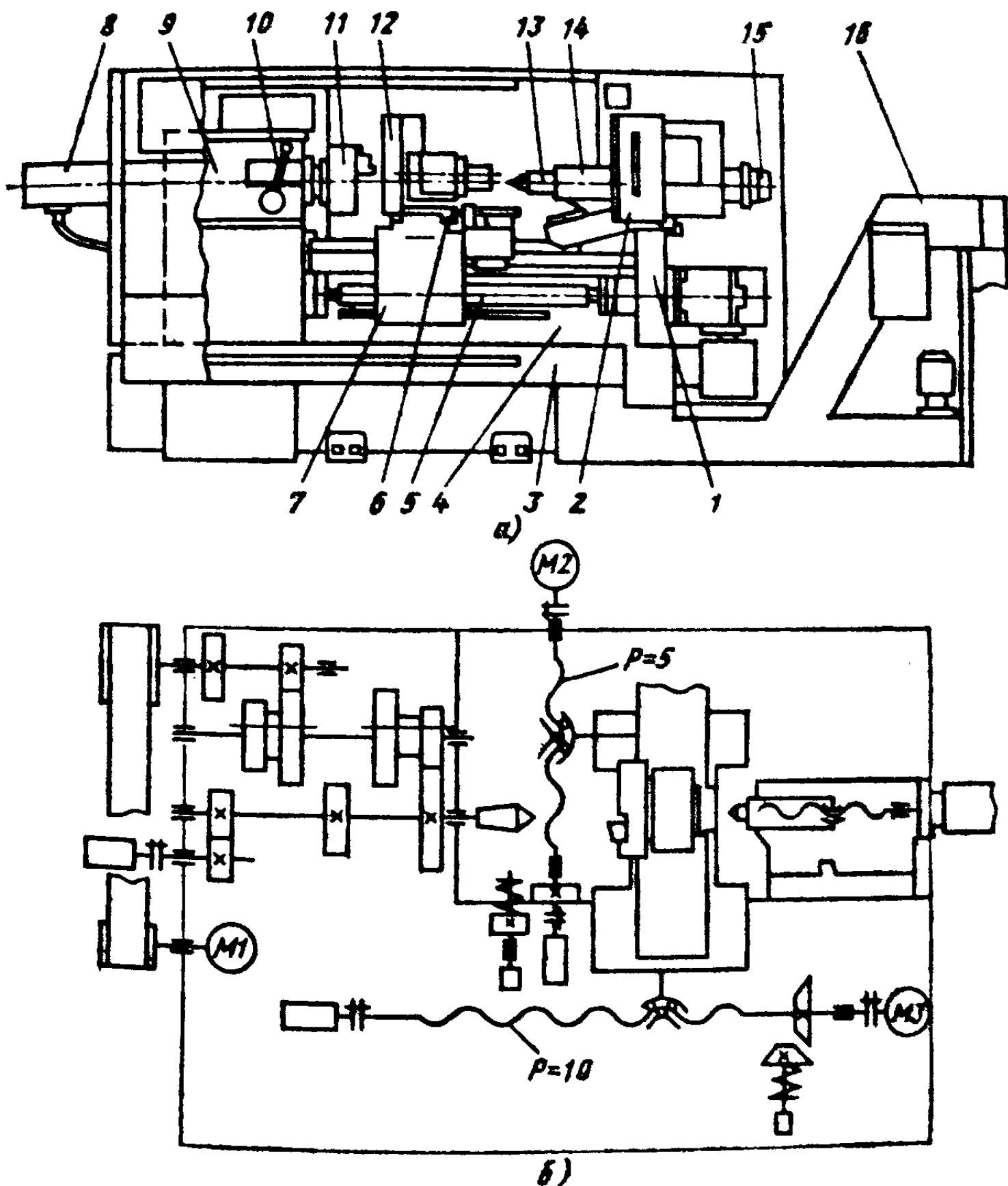


Рис. 29.6. Общий вид (а) и кинематическая схема (б) токарного станка с ЧПУ

Слева на станине закреплена шпиндельная бабка 9 с коробкой скоростей, ведомый вал которой получает вращение от электродвигателя через поликлиновой ремень.

В приводе главного движения используется либо высокомоментный двигатель постоянного тока (с встроенным тахогенератором), либо асинхронный привод «Размер 2М-5-21». Коробка скоростей обеспечивает три переключаемых рукояткой 10 диапазона частот вращения шпинделя ( $n_{\min} = 20 \text{ мин}^{-1}$  и  $n_{\max} = 2500 \text{ мин}^{-1}$ ). Шпиндель смонтирован на конических двухрядном и однорядном подшипниках. На рабочем торце шпинделя закреплён механизированный патрон 11 с электромеханическим приводом 8, размещённым в отверстии шпинделя. По закалённому шлифованному направляющему станины 4 перемещается суппорт 7, отличающийся применением комбинированных поперечных направляющих (левая — наклонная, правая — прямоугольная). Продольные и поперечные направляющие суппорта покрыты полимерным антифрикционным составом, обеспечивающим постоянство коэффициента трения во всем диапазоне скоростей перемещения, что повышает точность позиционирования, стабильность и точность обработки. На каретке суппорта 6 установлена автоматическая восьмипозиционная инструментальная головка 12, в которой закрепляются режущие инструменты. На специальных направляющих станины установлена задняя бабка 14, пиноль 13 которой перемещается электромеханическим приводом 15. Продольное и поперечное перемещения суппортная группа получает либо от высокомоментных двигателей постоянного тока, либо от асинхронных электроприводов «Размер 2М-5-21» через передачи винт—гайка качения 5.

Станки выпускаются с УЧПУ 2Р22 (мод. 16А20Ф3С32) и УЧПУ «Электроника НЦ-31» (мод. 16А20Ф3С39). Эти УЧПУ обеспечивают дискретность задания продольных и поперечных перемещений 0,001 мм, управление по двум координатам при рабочих и ускоренных перемещениях. В устройствах ЧПУ использованы датчики обратной связи по положению, обеспечивающие систему отсчёта в абсолютных перемещениях и приращениях. Пульт управления 2 станком и УЧПУ установлен на поворотной стойке 1, закреплённой на основании станка. На пульте 2 смонтированы органы управления станком с ручными генераторами перемещений по осям Z и X, вычислительный



блок и ОЗУ внешней памяти УЧПУ «Электроника НЦ-31» или блок отображения символьной информации УЧПУ 2Р22. Клавиатура УЧПУ позволяет вводить и редактировать УП и параметры работы, управлять работой станка в наладочном и ручном режимах. Контроль заданной программы проводится с пульта управления 2.

В станке 16А20Ф3С132 предусмотрена возможность установки на его основание встроенного робота, станок 16А20Ф3С239 вместе с напольным роботом может быть введен в состав гибкого производственного модуля (ГПМ). Станок для ГПМ оснащают автоматическим приводом перемещения ограждения, датчиками контроля перемещения пиноли и положения зажимных элементов патрона, а также индикатором контакта. При касании индикатора контакта о рабочую кромку инструмента в УЧПУ поступает сигнал, обеспечивающий работу в режиме с автоматической привязкой инструмента.

Особое место среди станков с ЧПУ занимают многоцелевые станки, конструктивные особенности которых наиболее полно используют преимущества систем ЧПУ. К таким особенностям относятся: магазин инструментов, автооператор смены инструментов, механизмы фиксации узлов при их позиционировании, многопозиционный стол для смены заготовок и приводы с широкими диапазонами регулирования частот вращения и подач ( $R_n = 50 \dots 200$ ;  $n_{\max} = 3000 \dots 4000 \text{ мин}^{-1}$ ,  $R_s \approx 10\,000 \dots 15\,000$ ;  $v_{s \max} = 10 \dots 20 \text{ м/мин}$ ). Особенности УЧПУ многопозиционных станков следующие: большое число программно-управляемых координат (до семи-восьми), высокая точность перемещения исполнительных органов (точность позиционирования 0,005—0,01 мм), преимущественное использование универсальных (позиционно-контурных) систем ЧПУ типа CNC, способность систем работать как в автономном режиме, так и от ЭВМ верхнего уровня.

Наиболее характерными для многоцелевых станков являются механизмы автоматической смены инструментов, которые можно разделить на три группы: 1) с заменой шпиндельного устройства (магазины шпиндельных гильз или револьверных головок); 2) со сменой инструментов в одном шпинделе (наибольшее распространение); 3) комбинированные. В зависимости от объема магазин может выполняться в виде револьверной головки (до восьми инструментов), дискового или барабанного магазина (до 30—40 инструментов) или цепного магазина (до 100 ин-

струментов) и может устанавливаться на шпиндельной бабке, колонне, на столе или за пределами станка. При одноразовом за цикл обработки использовании инструментов располагают в магазинах в соответствии с ходом технологического процесса, в других случаях проводят кодирование либо инструмента, либо гнезда магазина. Кодирование инструмента выполняется установленными на оправку сменными кодовыми кольцами, взаимодействующими с набором конечных выключателей, которые ведут поиск нужного инструмента. При кодировании гнезда оправка короче и жестче, чем при кодировании оправки, а поиск ведется датчиками. Оправки, используемые в многоцелевых станках, обычно имеют наружный конус 50. С целью совмещения основного и вспомогательного времени в многоцелевых станках с двухшпиндельными поворотными головками при вращении одного шпинделя во втором происходит смена инструмента.

Используемые для смены инструментов автооператоры бывают однозахватного и двухзахватного типа. Применение автооператоров двухзахватного типа значительно уменьшает время смены инструментов, так как одновременно захватывается или устанавливается инструмент в шпинделе и магазине (рис. 29.7). Привод автооператоров осуществляется механическими или гидравлическими устройствами.

Автоматическая загрузка многоцелевых станков выполняется с помощью многопозиционных столов, значительно сокращающих время смены заготовки. Пока в спутнике 1 ведется обработка заготовки А на станке, в спутнике 2, размещенном на поворотном двухпозиционном столе 3 (станок ИР500ПМФ4), устанавливается новая заготовка Б. По окончании обработки спутник 1 автоматически сдвигается на стол 3, который затем поворачивается на 180°. Далее спутник 2 с заготовкой Б сдвигается для последующей обработки на стол станка, а обработанная заготовка А снимается со спутника 1, на который устанавливается новая заготовка.

Существуют две компоновки многоцелевых станков: вертикальная (станки 2Ч3ВМФ2, 6560МФ3, 2254ВМФ4) и горизонтальная (станки 6305Ф4, 6904ВФ4, ИР500МФ4). Станки вертикальной компоновки используют для односторонней обработки заготовок крупных деталей и выполняются по типу фрезерных или координатно-расточ-

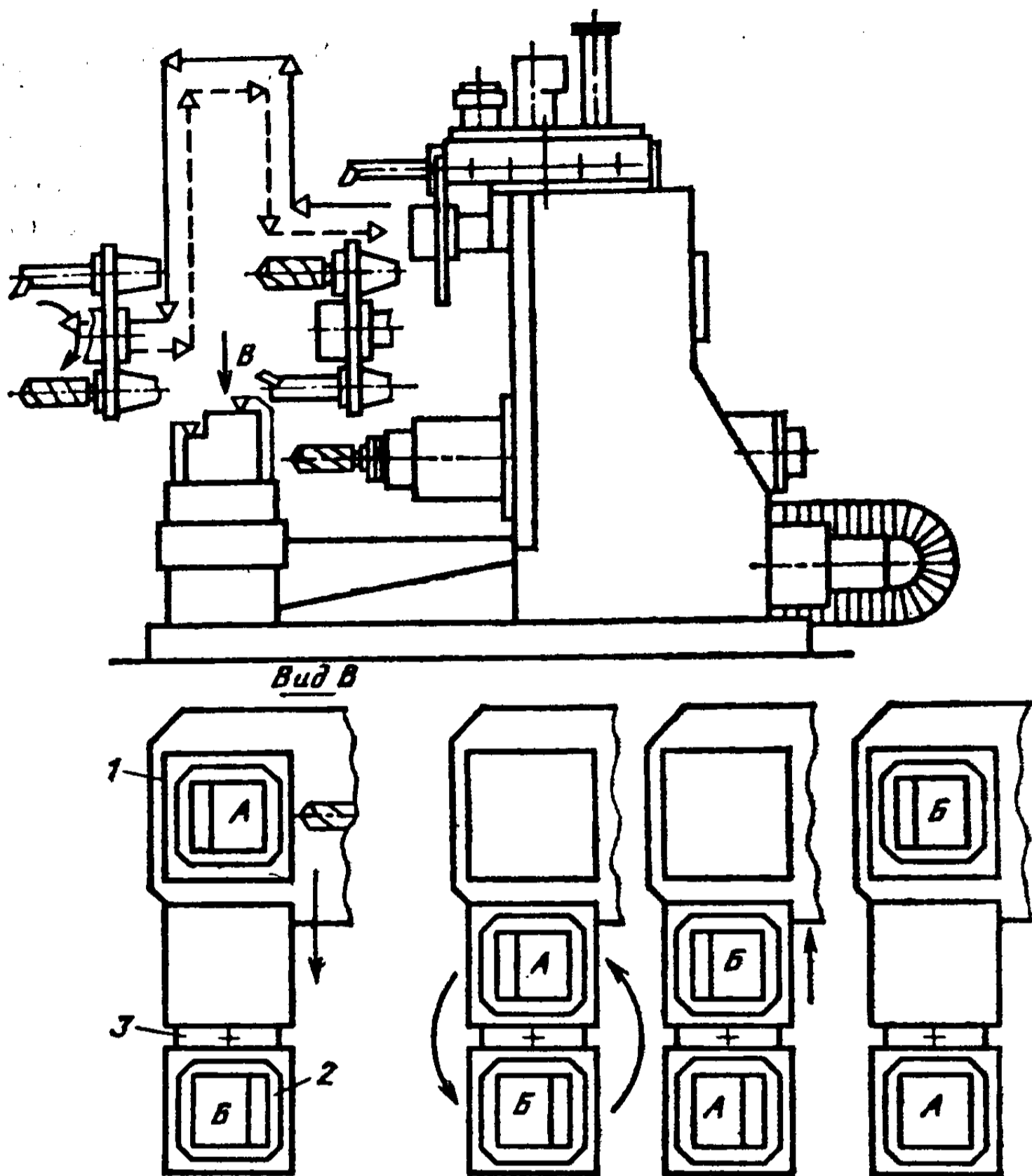


Рис. 29.7. Многоцелевой станок с автоматической сменой заготовки и инструмента

ных станков с вертикально перемещающейся шпиндельной бабкой.

Станки с горизонтальной компоновкой предназначены для обработки заготовок с двух-четырех (а иногда и пяти) сторон и изготавливаются по типу горизонтально-фрезерных или горизонтально-расточных станков, оснащаются крестовым столом, вертикально перемещаемой шпиндельной бабкой, а в отдельных случаях — поперечно или продольно перемещаемой стойкой.

На многоцелевых станках выполняют предварительную и финишную токарно-сверлильно-фрезерную обработку сложнопрофильных деталей без их перебазирования, при этом класс точности станка П или В. Из-за увеличения

доли машинного времени до 60—75 % в общем цикле обработки производительность многоцелевых станков в 3—8 раз выше, чем универсальных.

### § 29.5. ОСНАСТКА И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Эффективное использование станков с ЧПУ невозможно без оснащения их инструментами, приспособленными к особенностям работы на таких станках:

выбор конструкции инструмента должен учитывать изменение в широких пределах его геометрических параметров при обработке на станках с ЧПУ;

автоматическая смена инструментов на станках с ЧПУ требует повышенной точности изготовления корпусов, державок, сменных пластин (СМП), что достигается выпуском специальных резцов и применением блочной системы инструмента. В этой системе использованы сборные державки, состоящие из постоянно закрепленного в суппорте или револьверной головке корпуса и оснащенной СМП головки, соединяемой с корпусом цилиндрическим пазом, в который входит тяга корпуса с цилиндрическим участком на конце, что обеспечивает точность базирования  $\pm 0,01$  мм (рис. 29,8, а);

Настройка инструментов на размер вне станка требует оснащения державок регулировочными элементами, а цехов — устройствами для настройки. При недостаточной точности настройки вне станка используется автоматическая размерная настройка, выполняемая измерительными головками (ИГ), устанавливаемыми на станке с ЧПУ и представляющими собой датчики перемещений, команды которых передаются в систему ЧПУ (типа CNC) и служат исходными данными при введении необходимой коррекции (рис. 29.8, б).

Более высокие, чем для универсальных станков, мощность (45—60 кВт), быстроходность приводов, жесткость, точность и надежность станков с ЧПУ предъявляют к их технологической оснастке повышенные требования. Из-за высокой частоты вращения шпинделя ( $n_{\max} = 4000 \text{ мин}^{-1}$ ) патроны для крепления заготовок изготавливают из высокопрочных сталей и оснащают их устройствами, компенсирующими действие центробежных сил, снижающими силу зажима. Основные требования к зажимным приспособлениям станков с ЧПУ следующие: высокие точность, на-

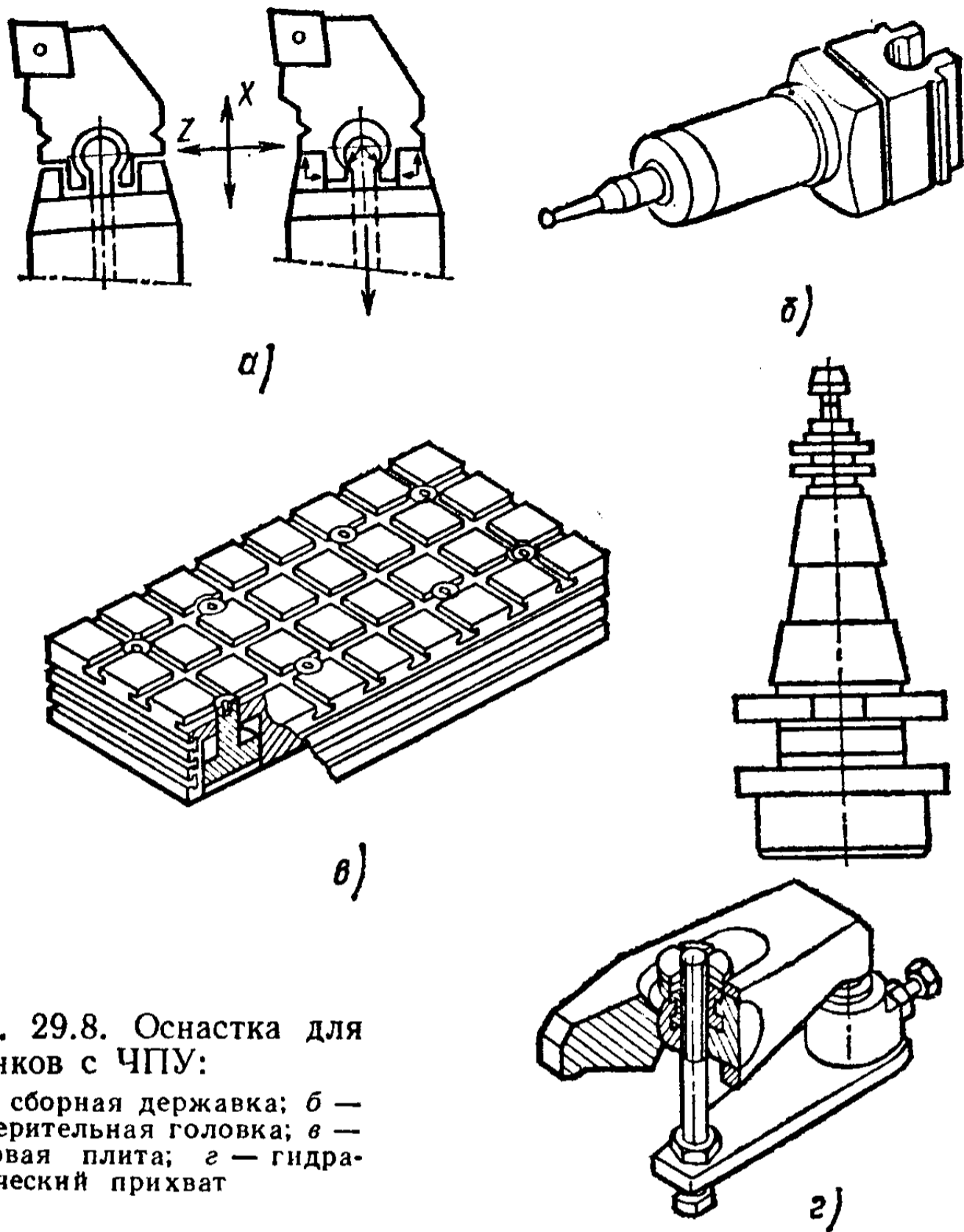


Рис. 29.8. Оснастка для станков с ЧПУ:

*а* — сборная державка; *б* — измерительная головка; *в* — базовая плита; *г* — гидравлический прихват

дежность закрепления и возможность быстрой переналадки, что обеспечивается использованием системы универсально-наладочных приспособлений (УНП) и разработанной специально для станков с ЧПУ системы универсально-сборных механизированных приспособлений (УСПМ—ЧПУ). Основными узлами УСПМ—ЧПУ являются передвижные гидравлические прихваты и базовая плита с встроенными гидроцилиндрами, управление работой которых возможно от системы ЧПУ (рис. 29.8, *в*, *г*).

Широко используются комплекты вспомогательных переходников (адаптеров), позволяющих регулировать положение режущих кромок. Их хвостовик соответствует присоединительным размерам станка с ЧПУ (обычно конус 7 : 24), а передняя зажимная часть — присоединительным размерам инструментов.

## § 29.6. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

Существенно повысить интенсивность использования станка с ЧПУ можно путем автоматизации их загрузки-выгрузки с помощью промышленных роботов. Промышленные роботы (ПР) представляют собой автоматические машины, выполняющие двигательные функции и оснащенные перепрограммируемой системой управления. ПР используются для выполнения как основных операций (окраска, сварка, сборка и т. д.), так и осуществления вспомогательных действий по обслуживанию технологического оборудования (захват, ориентирование, транспортирование обрабатываемой заготовки или детали). Применяют роботы для интенсифицирования использования технологического оборудования, освобождения рабочего от выполнения монотонных быстроутомляющих действий, повышение скорости этих действий, а также для замены рабочих в зонах, травмоопасных и вредных для их здоровья. Перепрограммируемость ПР и возможность замены хватных устройств позволяет использовать их для обслуживания широкой номенклатуры оборудования и различных технологических процессов.

По характеру выполняемых операций ПР согласно ГОСТ 25685—83 подразделяют на три группы:

технологические роботы (ТПР), непосредственно участвующие в технологическом процессе в качестве производящих или обрабатывающих машин, выполняющие такие операции, как сварка, гибка, окраска и т. п.;

вспомогательные роботы (ВПР), выполняющие действия типа взять—перенести—положить;

универсальные роботы (УПР), выполняющие разнообразные технологические операции, сочетающие в себе признаки первых двух групп.

По степени специализации ТПР и ВПР можно разделить на специальные, специализированные и многоцелевые.

Конструктивно ПР могут быть встроенными, подвесными или напольными. Встроенные роботы наиболее компактны и обслуживают только один станок. Подвесные роботы монтируют на специальной балке, перемещаясь по которой они могут одновременно обслуживать несколько станков. Напольные роботы выполняют широкий круг задач, устанавливаются около или между станками, способны выполнять межстаночное транспортирование.

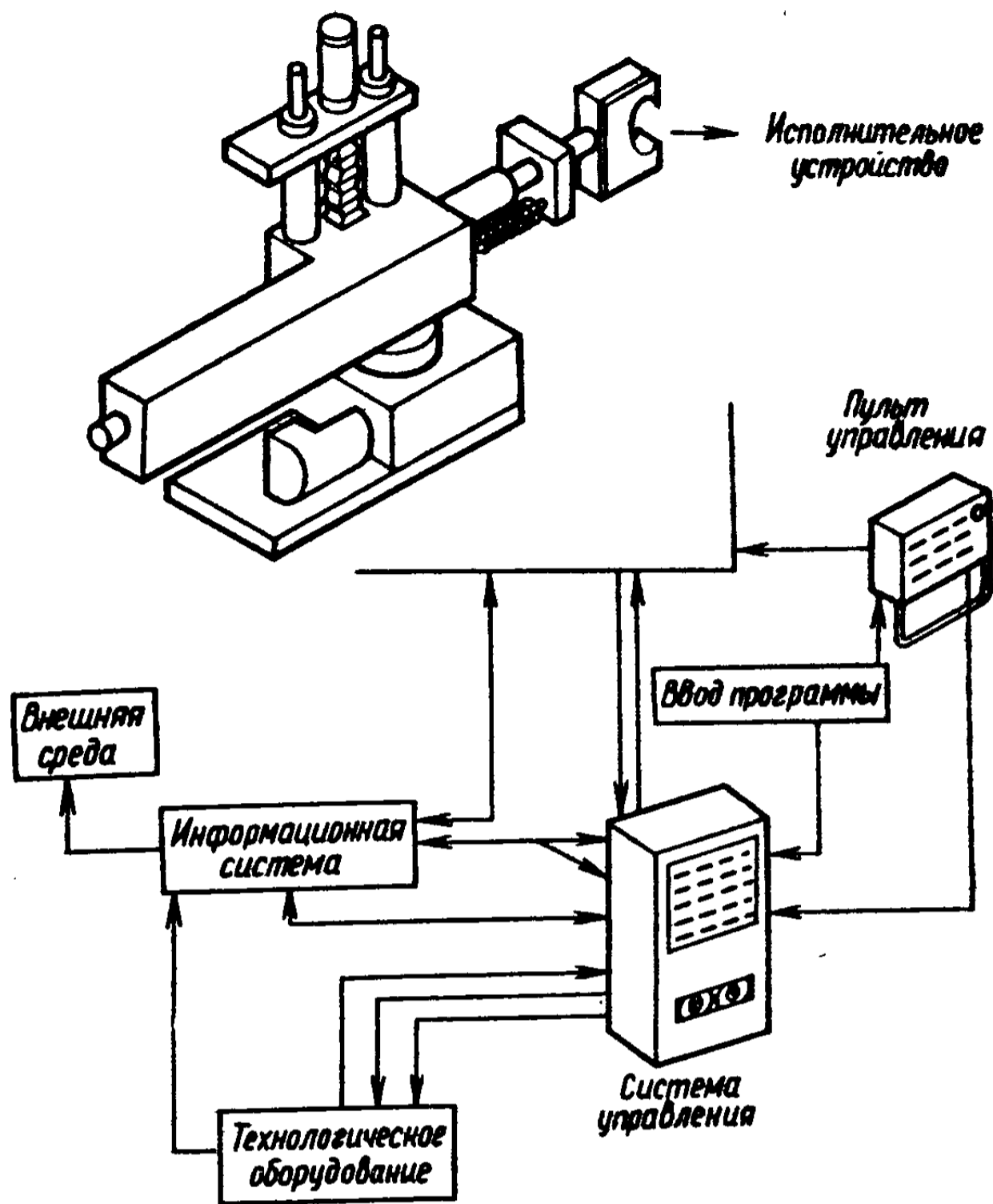


Рис. 29.9. Структурная схема РР

Структурно РР состоят (рис. 29.9) из исполнительного устройства — манипулятора, системы управления и информационной системы. Исполнительное устройство выполняет все двигательные функции и состоит из механической руки с захватным устройством и устройства передвижения робота. Каждая степень подвижности РР оснащается индивидуальным приводом, в конструкции которого предпочтение отдается компактным устройствам (винтовым передачам, планетарным и волновым редукторам и т. п.). В качестве приводных двигателей используют пневматические, гидравлические и комбинированные двигатели. Пневмопривод используют в РР с позиционным управлением и грузоподъемностью не более 200 Н. Гидропривод на основе гидроцилиндров с ограниченным углом поворота применяют для РР с грузоподъемностью свыше 10—20 кг. Также используют электрогидравлические сле-

дящие приводы с датчиками обратной связи и электрогидравлические шаговые приводы. Из электродвигателей в наибольшей степени для привода ПР подходят двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, силовые шаговые двигатели и двигатели с плоским ротором.

Система управления ПР предназначена для формирования, хранения и воспроизведения программы движений. Она включает: пульт управления, запоминающее и вычислительное устройства и блок управления приводами робота. Системы управления ПР могут быть автономными, комплексными и многоуровневыми. Автономные системы управляют только ПР, в качестве таких систем используют либо устройства управления станками, либо специализированные устройства, позволяющие проводить программирование методом обучения. Комплексные системы управляют комплексами станок — ПР, и для этих целей используют серийные станочные системы ЧПУ, допускающие подготовку программ методом обучения. Многоуровневые системы используют для ПР, обслуживающих станки, которые входят в автоматизированные участки, управляемые от ЭВМ.

Информационная система предназначена для сбора, преобразования и передачи в систему управления информации о состоянии ПР и рабочей среды. Сбор и преобразование информации производятся различными датчиками, средствами обратной связи и устройствами сравнения сигналов.

Каждой компоновочной схеме ПР и типу использованных в его конструкции кинематических пар соответствует определенное число степеней подвижности, кинематическая структура, форма рабочей зоны и система координат основных перемещений робота. Наиболее распространены следующие системы координат основных перемещений ПР: прямоугольная (плоская или пространственная), плоская полярная, цилиндрическая, сферическая и угловая (плоская и пространственная) (рис. 29.10).

Технологические возможности ПР определяются уровнем совершенства систем их управления, различия в которых позволяют разделить роботы на три типа (поколения).

Роботы I типа с жесткой программой движений обладают очень ограниченными возможностями по восприятию рабочей среды и способностью запоминать программу



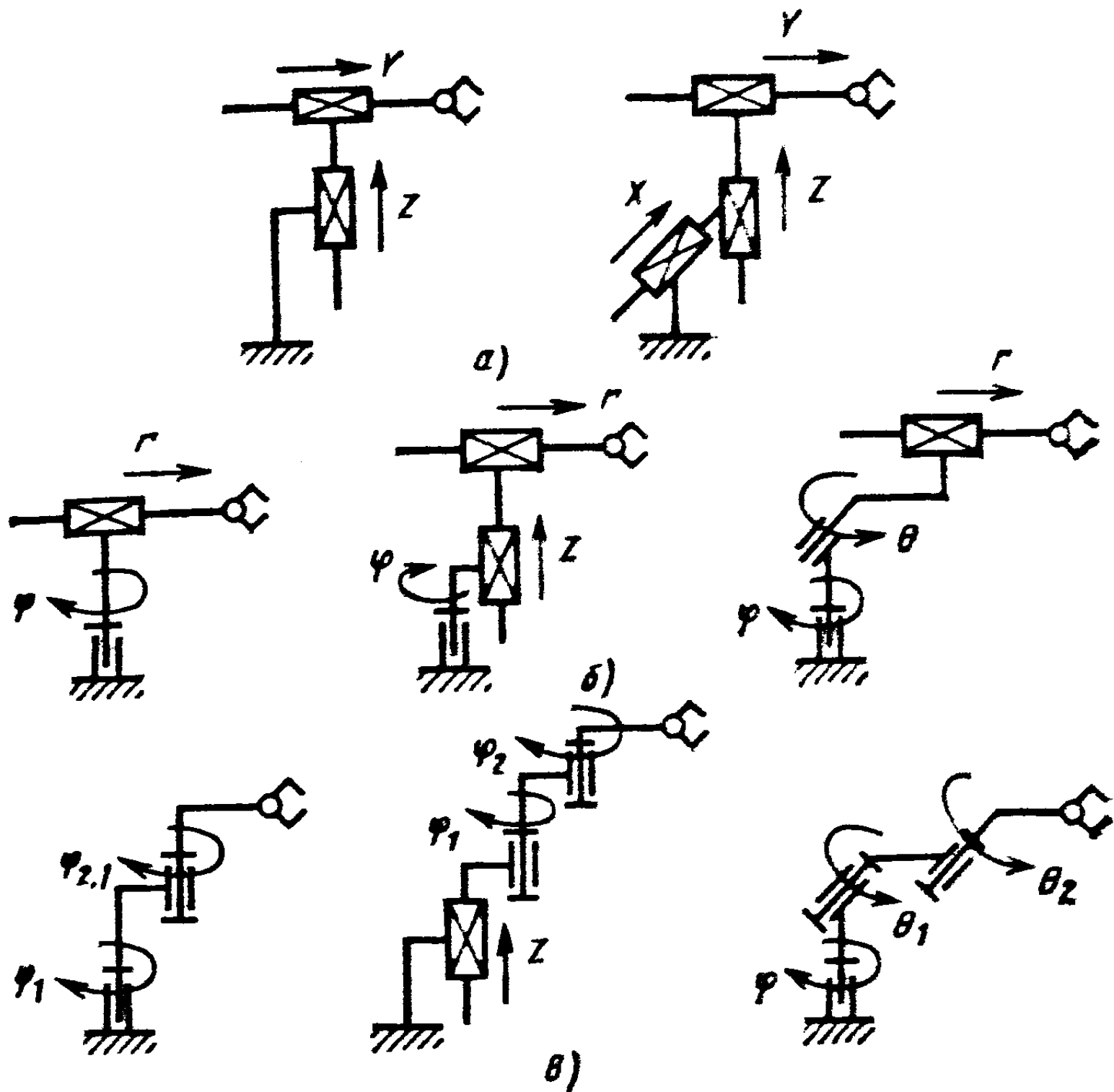


Рис. 29.10. Структурные кинематические схемы ПР с прямоугольной (а), полярной (б) и угловой (в) системами координат

движений, которая при изменении параметров рабочей среды не корректируется.

Роботы II типа (адаптивные) имеют основную программу и подпрограмму, выбор которых проводится на основе информации от внешней рабочей среды, поступающей с датчиков обратной связи. Адаптивное управление упрощает программирование, позволяет захватывать неориентированные заготовки, контролировать наличие заготовки в захватном устройстве, силу зажима, регулировать скорость перемещения, использовать заготовки с более широкими допусками.

Роботы III типа (интеллектуальные) способны не только воспринимать рабочую среду с помощью систем осязания (сенсорных устройств), но и на основании ее логической оценки могут наметить программу движений, необходимых для достижения заданной конечной цели.

Системы управления интеллектуальными роботами оснащают совершенными ЭВМ, оптимизирующими параметры движений и использующими при выработке программы перемещений ранее приобретенный опыт (самообучение). Такие ПР эффективно используют при обслуживании разнородного оборудования и частой смене объектов производства.

В зависимости от сложности выполняемых действий ПР оснащают позиционными, контурными или универсальными системами управления. Позиционные системы управления наиболее просты, при их использовании хватное устройство робота движется от точки к точке по жесткой программе, что позволяет использовать их для снятия и установки заготовки (детали) на станок (конвейер), точечной сварки и укладки деталей в тару. В таких системах программа задается набором упоров и концевых выключателей, штекерных и магнитных барабанов, матричных штекерных панелей и струйных элементов пневмоники.

Контурные системы управления ПР обеспечивают точное и плавное движение хватного устройства робота по заданному контуру. Поэтому их применяют при окраске, дуговой сварке, установке и снятии заготовок (деталей) с движущегося конвейера. В контурных системах программа записывается на перфоленте или магнитном диске.

Универсальные системы характеризуются наличием интерполяторов и запоминающих устройств, обеспечивающих как позиционное, так и контурное управление ПР.

Так же как и в станках с ЧПУ, системы управления ПР могут быть разомкнуты (лишенными информационных систем) и замкнутыми, получающими информацию о состоянии робота и рабочей среды.

Программирование робота может проводиться обучением или аналитически (расчетом программы). Программирование обучением выполняется на первом цикле оператором, который с помощью пульта управления проводит хватное устройство ПР из одного конечного положения в другое. Траектория первого цикла фиксируется в запоминающем устройстве системы управления и воспроизводится автоматически при повторных циклах на рабочих скоростях. По методу самообучения программа формируется с использованием информации, поступающей

от датчиков, которые контролируют состояние рабочей среды. Расчет программ для ПР аналогичен подготовке программ для станков.

Основные технические характеристики ПР согласно ГОСТ 25685—83 включают, в частности, грузоподъемность робота, форму и размеры рабочей зоны, число степеней подвижности, погрешность позиционирования или отработки траектории, скорость перемещения исполнительного механизма, число хватных устройств, объем памяти и тип программносителя.

Грузоподъемность — это наибольшая масса объекта производства (без учета массы хватного устройства), которую ПР способен захватить, удерживать и выполнять с которой может заданную совокупность движений. По грузоподъемности ПР делят на сверхлегкие (грузоподъемность до 1 кг), легкие (до 10 кг), средние (до 200 кг), тяжелые (до 1000 кг) и сверхтяжелые (свыше 1000 кг).

Число степеней подвижности ПР — это сумма возможных координатных перемещений хватного устройства с деталью (без учета движения зажима детали) относительно неподвижного звена (стойки основания и т. д.). Рабочая зона ПР представляет собой область пространства, в которой может находиться хватное устройство робота при его функционировании. Размеры рабочей зоны колеблются от 0,01 м<sup>3</sup> (для точных операций) до 10 м<sup>3</sup> и более (для передвижных роботов).

Погрешность позиционирования для большинства ПР составляет  $\pm 0,1 \dots 2,5$  мм. Линейная скорость исполнительного механизма ПР составляет 0,5—1 м/с, а угловая 90—180 °/с.

Для иллюстрации системы индексации рассмотрим обозначение ПР СМ40Ф2.80.02, которое расшифровывается следующим образом: СМ — станочный манипулятор; 40 — грузоподъемность, кг; Ф2 — с позиционной системой ПУ; 80 — индекс компоновки; 02 — конструктивное исполнение.

Нормальное функционирование ПР в значительной степени определяется способностью его хватного устройства надежно удерживать объект, обеспечивая его стабильное базирование. По принципу действия различают хватные устройства механические, магнитные, вакуумные и эластичные. Наибольшее число конструктивных исполнений имеют механические устройства (рис. 29.11) рычажного и реечного типа с пружинными,

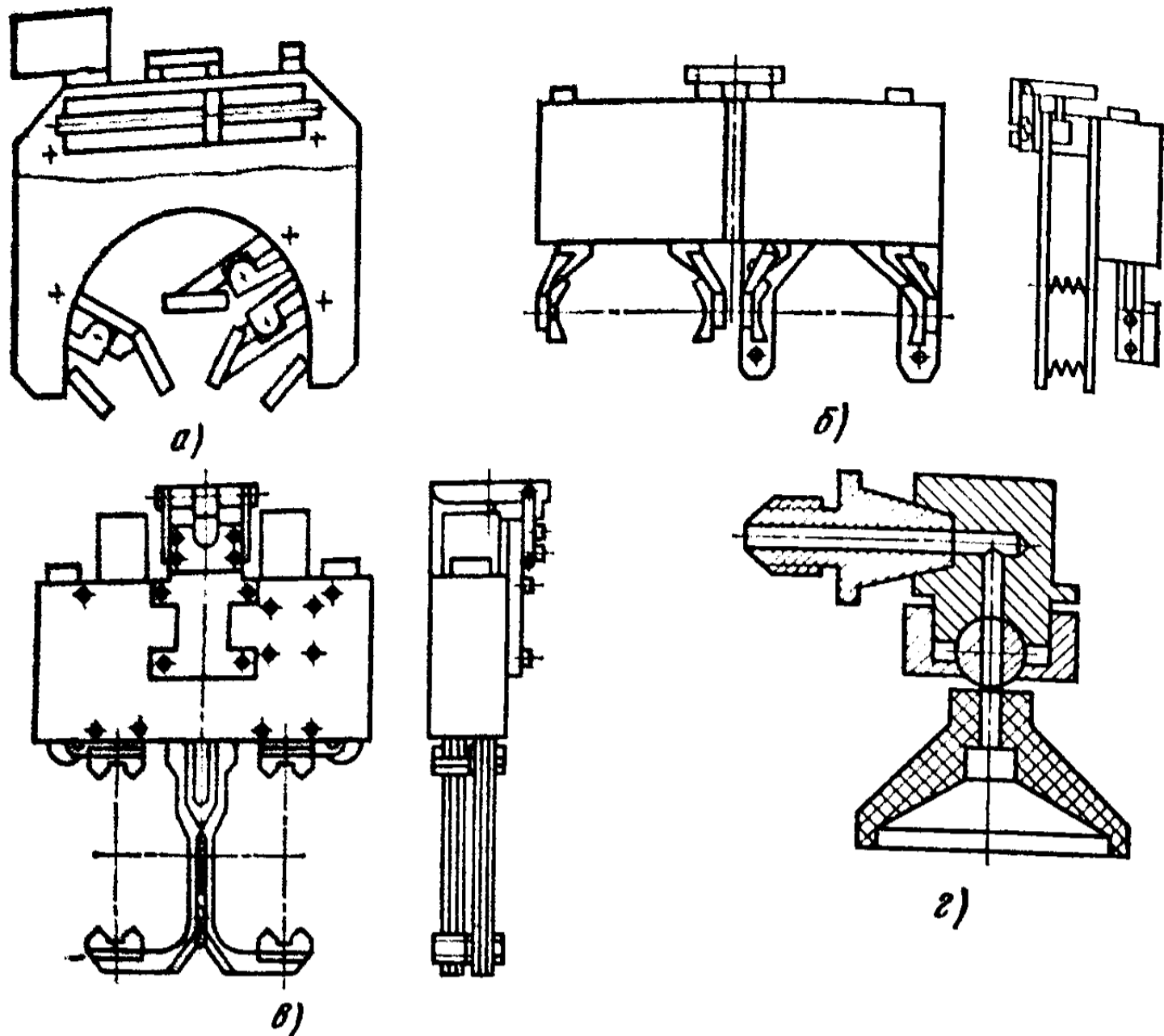


Рис. 29.11. Захватные устройства ПР:

а — рычажные одноместные с пневмоприводом; б — рычажные двухместные; в — реечные; г — вакуумные

пневматическими, гидравлическими и электромеханическими приводами. Магнитные и вакуумные устройства используют для захвата заготовок из ферромагнитных материалов, имеющих плоские ровные поверхности. На конструкцию хватных устройств влияют тип системы управления, тип робота и обслуживаемого оборудования, а также серийность производства. ПР с упрощенными системами управления используют следующие хватные устройства: неуправляемые (например, магнитные), командные, получающие команды только на захват и разжим, и жесткопрограммируемые. Более совершенные системы управления ПР позволяют оснащать их адаптивными хватными устройствами с датчиками, дающими информацию об объекте и рабочей среде. При необходимости хватные устройства оснащают приспособлениями для выполнения технологических операций, устройствами для запрессовки, измерения деталей, воздушными соплами для очистки деталей. В зависимости от серийности произ-

водства захватные устройства могут быть несменяемыми, сменными, быстросменными и с автоматической заменой.

Для сокращения чрезмерного разнообразия конструкций ПР применяют модульный принцип их построения. В основу этого принципа положен конструктивный модуль (рис. 29.12), являющийся функционально и конструктивно независимой единицей, используемой как индивидуально, так и в сочетании с другими модулями. Модульный принцип ПР подобен агрегатированию металлорежущих станков. В качестве типовых модулей при разработке ПР используют: несущие конструкции (основания колонны и т. д.), механизмы рабочих перемещений с приводами, захватные устройства, модули системы управления ПР. Компонентные гаммы модульных (агрегатных) ПР условно можно разделить на две группы: 1) ПР, построенные на базе одной принципиальной компоновки, где различные модификации получают путем изменения взаимного расположения основных модулей, применения дополнительных модулей, замены приводов и систем управления; 2) ПР, построенные по различным компоновочным схемам и обеспечивающие различные размеры и формы рабочих зон.

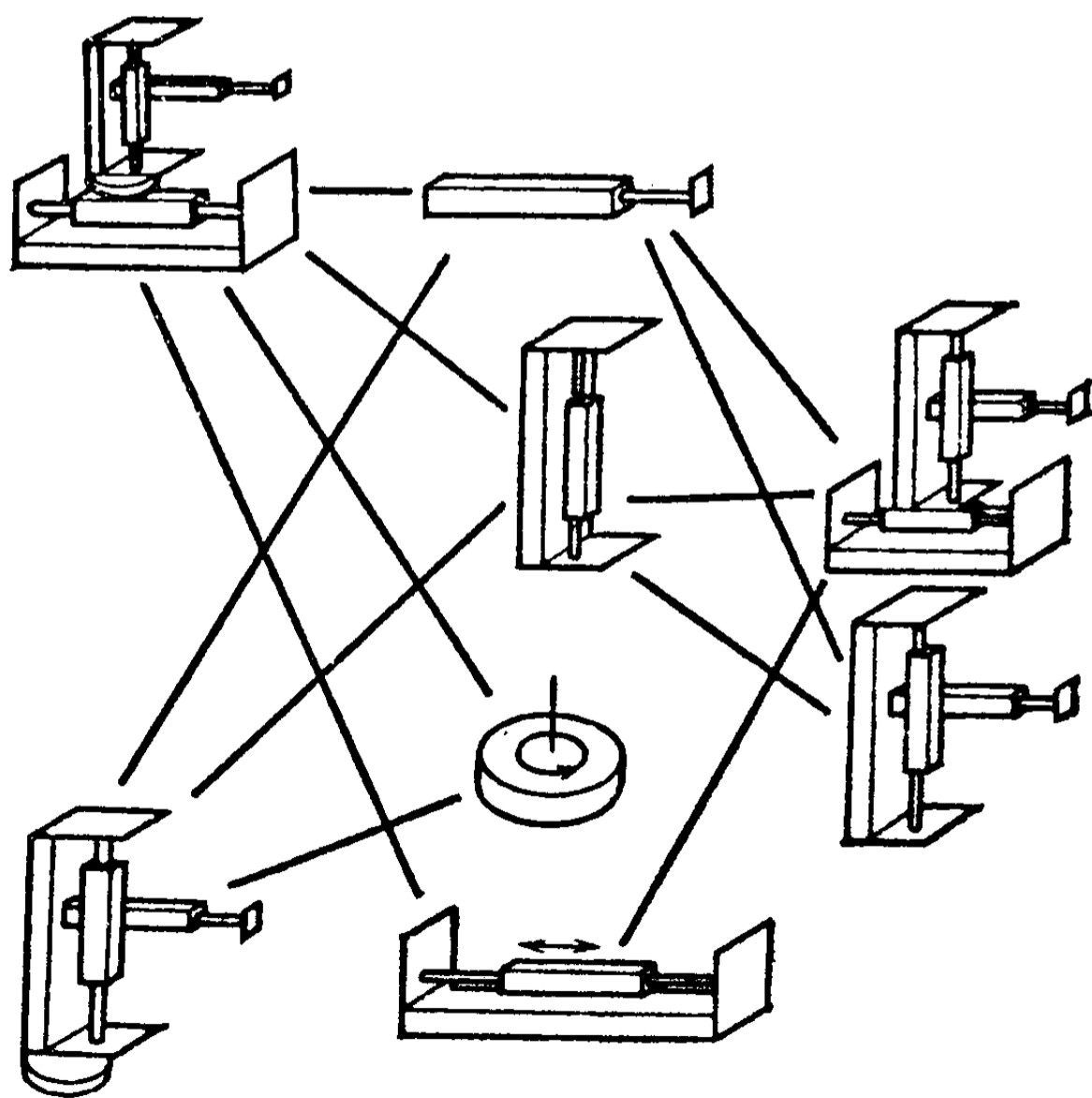


Рис. 29.12. Схема агрегатно-модульного построения ПР



сальных станков являются минимальные затраты на их создание и значительное сокращение численности обслуживающего персонала. Производительность универсальных станков при блокировании их в линию несколько снижается вследствие возникновения дополнительных простоев. Значительно большую производительность по сравнению с производительностью АЛ из универсальных станков имеют линии на базе агрегатных станков, обладающие широкими возможностями по дифференциации и концентрации операций. Использование в конструкции агрегатных станков нормализованных элементов позволяет при необходимости вносить изменения в технологические процессы обработки на линии. Наиболее часто АЛ из агрегатных станков используют для обработки заготовок корпусных деталей сложной формы и большим числом технологических переходов.

В массовом производстве при стабильной продукции создают АЛ на базе специальных станков. Технологический процесс и оборудование в этом случае проектируют специально для конкретной детали. Такая АЛ осуществляет комплекс операций: получение заготовок, механическую и термическую обработки, сборку и упаковку деталей. Такие АЛ характеризуются наибольшей производительностью и наименьшей себестоимостью продукции. Наибольшее распространение среди АЛ из специальных станков получили одноименклатурные линии, предназначенные для обработки заготовок деталей одного наименования и типоразмера. Среди АЛ из универсальных и агрегатных станков чаще применяются линии, на которых одновременно обрабатываются заготовки деталей нескольких наименований либо различных типоразмеров одного наименования.

На характер функционирования АЛ большое влияние оказывает наличие или отсутствие в ее конструкции транспортной системы устройств для размещения межоперационных заделов обрабатываемых заготовок. Эти заделы сосредоточены в бункерах и магазинах-накопителях, расположенных между технологическими агрегатами (рис. 30.1, а). Наличие межоперационных заделов как бы разделяет АЛ на несколько независимо работающих участков, которые в случае вынужденной остановки одного из агрегатов продолжают свое функционирование, расходуя заготовки из заделов. В оправданных случаях в качестве накопителя заделов выступает достаточно про-

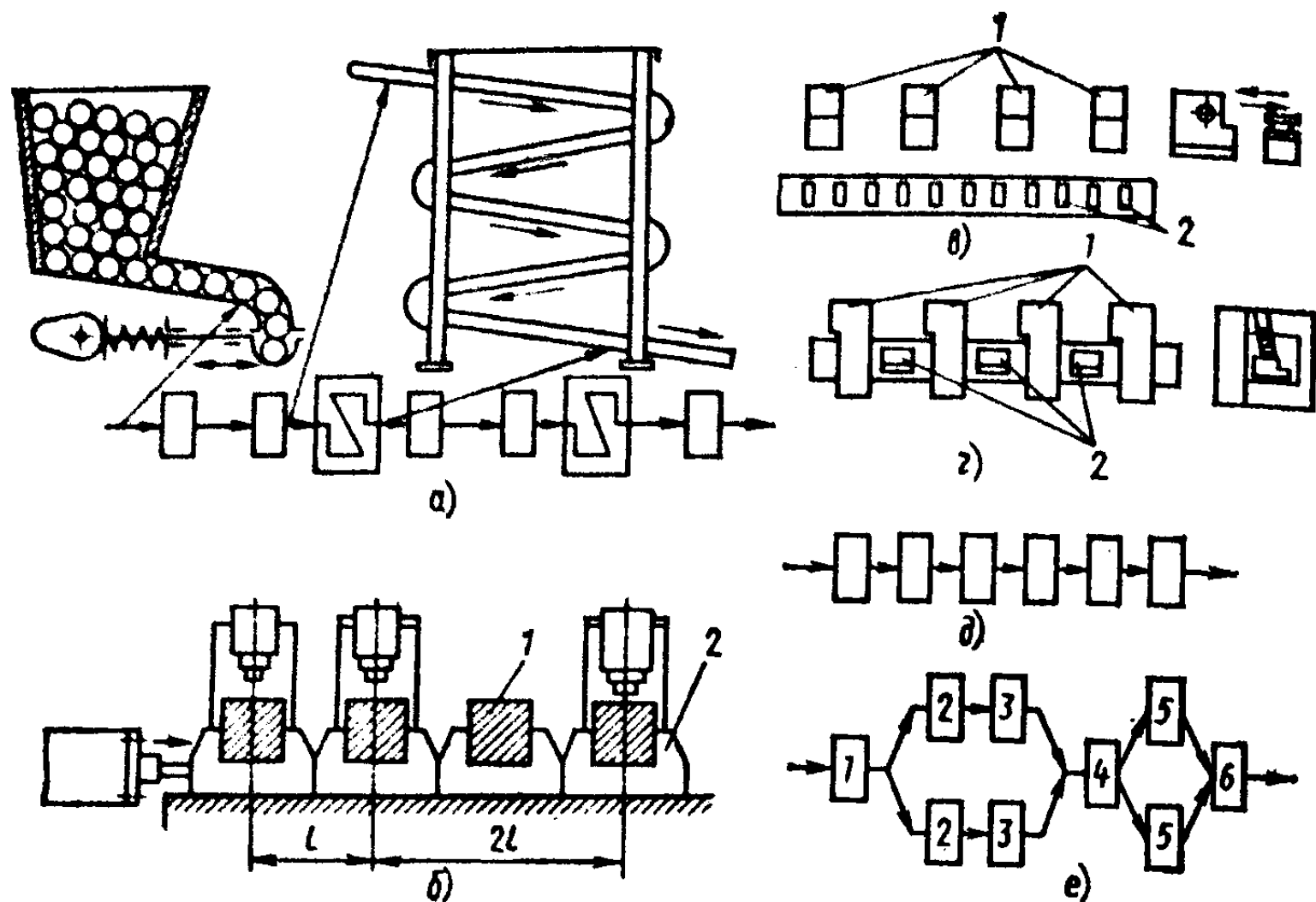


Рис. 30.1. Схемы автоматических линий:

*а* — с промежуточными бункерами; *б* — с жесткой межоперационной связью (спутниковая); *в* — с несквозным перемещением заготовок; *г* — со сквозным перемещением заготовок; *д* — с неразделяющимися потоками; *е* — с разделяющимися потоками

тяженный участок транспортной системы. Межоперационные заделы обеспечивают гибкую межоперационную связь, увеличивают производительность АЛ и снижают ее простои, но их применение наиболее целесообразно при обработке сравнительно небольших по массе и размерам заготовок.

При обработке крупных заготовок корпусных деталей используют АЛ с жесткой межоперационной связью, в которых заготовки передаются непосредственно с одного агрегата на другой транспортным устройством жесткого типа (рис. 30.1, б). Перемещение заготовки производится на расстояние (шаг)  $l$ , равное или кратное расстоянию между агрегатами. При отказе одного из агрегатов такая линия прекращает свою работу, вплоть до устранения причин остановки.

По характеру установки заготовок АЛ разделяют на спутниковые и беспутниковые. Спутниковые линии применяют при обработке сложных по конфигурации и неудобных для автоматического перемещения и закрепления заготовок. В таких линиях заготовки  $l$  (рис. 30.1, б) перед обработкой устанавливают и закрепляют в специ-



альных приспособлениях-спутниках 2, вместе с которыми они перемещаются транспортной системой АЛ от агрегата к агрегату. На позиции выгрузки деталь извлекается из спутника, который специальным конвейером возвращается на загрузочную позицию. Спутники используются на АЛ с жесткой межоперационной связью, причем их число всегда больше числа рабочих позиций линии. Использование спутников увеличивает стоимость АЛ в среднем на 20—30 %, а также снижает точность обработки вследствие увеличения числа стыков и сопряжений в технологической системе.

В беспутниковых АЛ установочно-зажимные приспособления размещаются стационарно на каждом агрегате линии, а установка и извлечение заготовок из этих приспособлений производится устройствами транспортной системы (лотки, толкатели и т. п.).

По расположению транспортных систем различают АЛ со сквозным и несквозным перемещением заготовок. В линиях со сквозным перемещением заготовки при транспортировании проходят непосредственно через рабочую зону станков 1 (рис. 30.1, а), что удобно при обработке тяжелых заготовок корпусных деталей и заготовок 2, установленных в приспособлениях-спутниках. В линиях с несквозным перемещением транспортирование заготовок проводится в стороне от рабочих позиций (рис. 30.1, в). Для передачи заготовок 2 на рабочие позиции 1 используются дополнительные устройства (питатели, механические руки и т. д.), что усложняет конструкцию АЛ. На линиях с несквозным перемещением заготовок обрабатывают детали типа валов, колец фланцев.

По характеру организации движения потоков АЛ разделяют на линии с неразделяющимися и разделяющимися потоками. Неразделяющиеся потоки (рис. 30.1, б) применяются в АЛ, где длительность обработки на всех позициях примерно одинакова. Разделяющиеся потоки (рис. 30.1, в) используют в случаях, когда для части позиций АЛ (2, 3, 5) время обработки значительно больше, чем на остальных позициях (1, 4, 6). Вводя дублирующие потоки, параллельные позициям (2, 3, 5) с увеличенной длительностью обработки, добиваются одинаковой продолжительности обработки на всех участках АЛ.

По конфигурации расположения оборудования на площади цеха различают замкнутые и незамкнутые АЛ. Незамкнутые АЛ (линейные, Г- и П-образные) используют

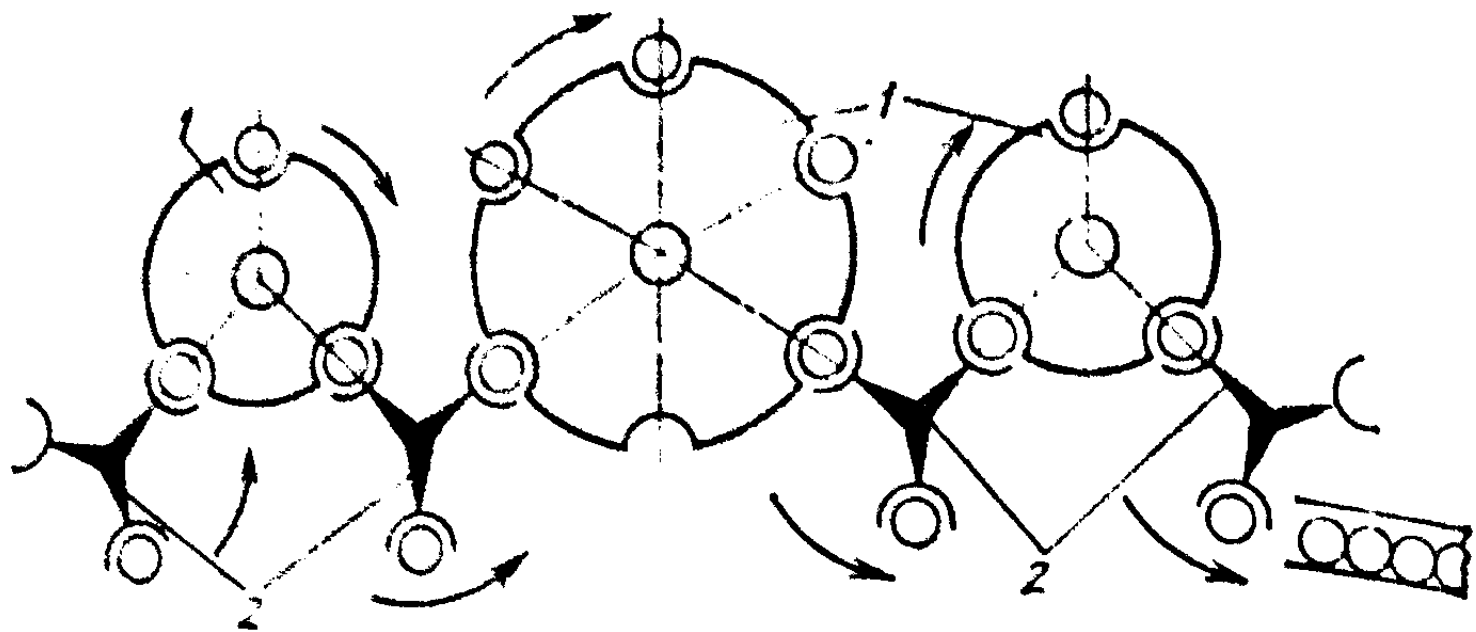


Рис. 30.2. Схема роторной АЛ

чаще, так как они обеспечивают более удобный доступ к агрегатам при ремонте и наладке.

Общим недостатком рассмотренных выше АЛ являются потери производительности вследствие того, что невозможно обрабатывать заготовки при их транспортировании с позиции на позицию. Этот недостаток отсутствует у роторных (РЛ) и роторно-конвейерных (РКЛ) линий (рис. 30.2), где заготовки обрабатываются на подвижных рабочих позициях при перемещении их от одного транспортного устройства к другому. Рабочие позиции, оснащенные инструментами и зажимными приспособлениями, располагаются на специальных вращающихся барабанах 1 (рабочих роторах). Передача заготовок с одного рабочего ротора на другой производится установленным между ними транспортным ротором 2. Изменением числа позиций на рабочих роторах можно получить одинаковую продолжительность выполнения всех операций либо снизить скорость резания без потери производительности (например, с целью повышения стойкости метчиков при нарезании резьб с мелким шагом).

Обладающие исключительно высокой производительностью РЛ находят применение в массовом производстве сравнительно простых деталей. Жесткая связь инструментов с роторами приводит к значительным потерям производительности вследствие простоев всей линии при остановке хотя бы одной позиции. По этой же причине переналадка при переходе на выпуск новых изделий для РЛ трудно реализуема, а часто и экономически не выгодна. Эти проблемы решены отчасти созданием РКЛ, в которых инструменты (инструментальные блоки) не закреплены жестко на роторе, а доставляются в рабочую позицию

цепным инструментальным конвейером. При изменении размеров заготовки, обрабатываемой на РКЛ, ее переналадка сводится к подбору и установке в гнездо конвейера соответствующих инструментов и к регулированию длины конвейера.

Безотказность функционирования АЛ во многом зависит от их загрузочных и транспортных устройств. Загрузочные устройства могут быть неотъемлемой частью станков-автоматов, входящих в состав АЛ, либо их могут специально устанавливать между агрегатами и участками линии. Подача заготовок загрузочными устройствами производится либо непрерывно (например, на бесцентрово-шлифовальных станках), либо периодически (например, на токарных автоматах). В качестве загрузочных устройств используют бункеры, магазины-накопители, автооператоры и манипуляторы. Бункеры оснащают приводами и механизмами, позволяющими загруженные в него навалом заготовки подавать на лоток-накопитель в строго ориентированном положении. Бункеры находят применение в массовом производстве мелких, легко ориентируемых деталей. При загрузке сложных для ориентирования заготовок используют магазины-накопители, куда заготовки доставляет рабочий в строго ориентированном положении (например, установка на штыри либо в направляющие лотка).

При закреплении заготовок в спутниках и зажимных приспособлениях АЛ используют рычажные, клиновые, цанговые и винтовые механизмы с электро-, гидро- и пневмоприводами. Для изменения положения в пространстве заготовок или приспособлений-спутников на АЛ применяют подъемные и поворотные-фиксирующие устройства в виде лифтов, поворотных столов, барабанов, кантователей и т. п.

Накопители, используемые в АЛ с гибкой межоперационной связью или устанавливаемые между агрегатами линии с разной производительностью, могут быть транзитными или тупиковыми. Через транзитные накопители заготовки непрерывно перемещаются, постоянно участвуют в общем транспортном потоке, а тупиковые накопители начинают выдавать заготовки только при остановке расположенного перед ними агрегата.

На конструкцию транспортных устройств, используемых для перемещения заготовок с позиции на позицию, большое влияние оказывает характер межоперационной

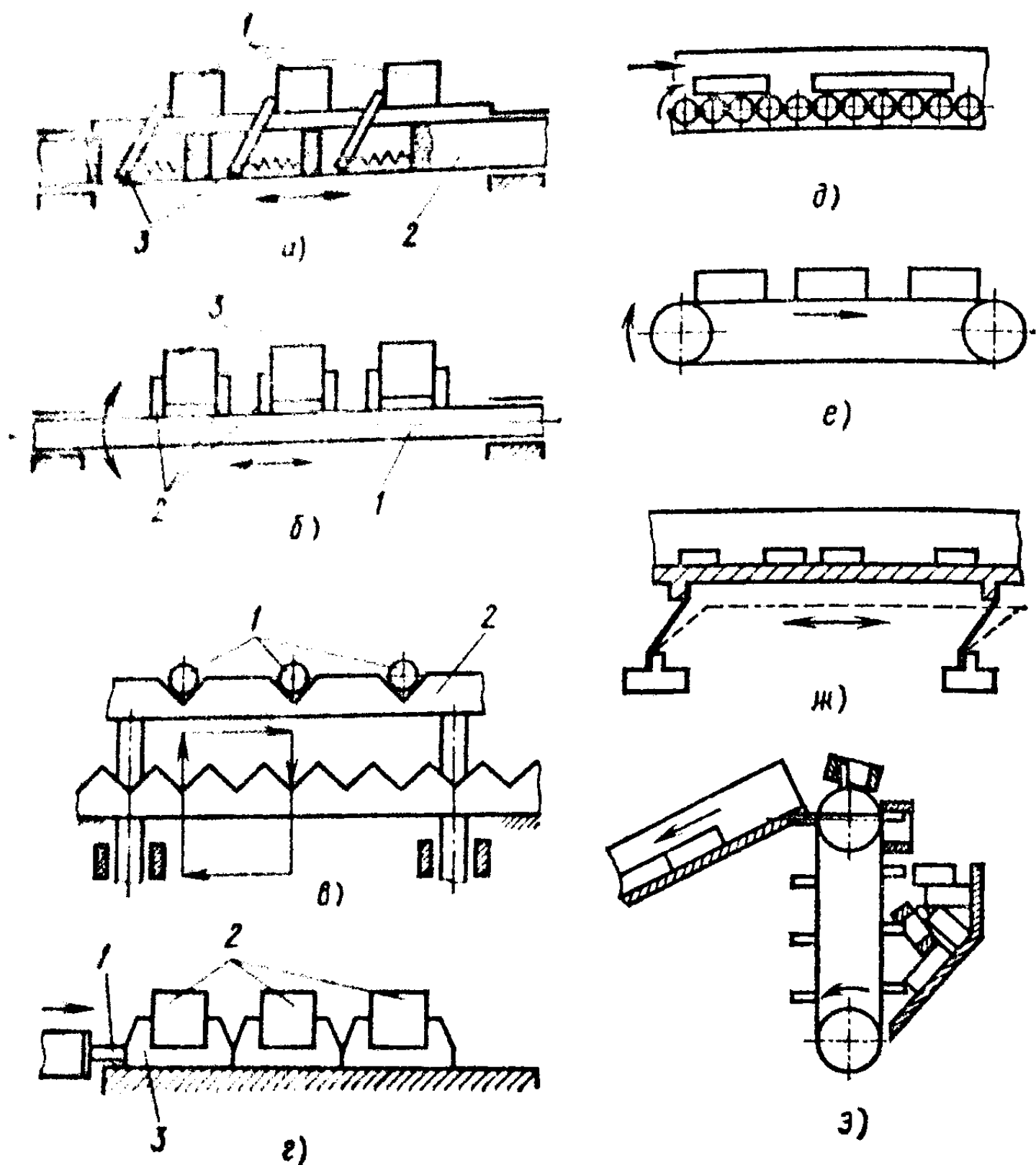


Рис. 30.3. Транспортные устройства АЛ:

а — шаговые с собачками; б — флажковые; в — перекладчики; г — с толкателем; д — роликовые; е — цепные; ж — вибрационные; з — элеваторные

связи в АЛ (жесткая или гибкая). В линиях с жесткой связью, используемой для обработки заготовок корпусных деталей, наибольшее распространение получили шаговые конвейеры. Наиболее простыми из них являются штанговые конвейеры с убирающимися собачками, которые при ходе штанги вперед захватывают заготовку или спутники и перемещают их на расстояние  $l$ . При ходе назад собачки 3 (рис. 30.3, а) устанавливаются в пазах штанги 2 и проскальзывают под заготовкой 1.

Более сложную кинематику имеют флажковые транспортеры, в которых штанга с закрепленными на них флажками совершает не только возвратно-поступательное, но

и возвратно-поворотное движение (рис. 30.3, б). При повороте вокруг своей оси штанга 1 флажками 2 захватывает заготовки 3 и, перемещаясь поступательно, сдвигает их по направляющим конвейера на расстояние, равное шагу. Затем штанга, поворачиваясь, выводит флажки из контакта с заготовками и поступательно смещается назад в исходное положение.

В качестве шаговых конвейеров также широко используют различные переключики. Используются переключики в виде двух поворотных штанг с закрепленными на них упорами. При повороте штанг заготовка поднимается упорами над направляющими и переносится штангами вперед на расстояние, равное шагу. Повернувшись в обратном направлении, штанги опускают заготовку на новую рабочую позицию и возвращаются в исходное положение. В конвейере-переключике (рис. 30.3, в) с прямоугольными штангами 2 съём заготовок 1 с позиций производится при перемещении штанг вверх, а установка на новые позиции — при опускании вниз. При установке приспособлений-спутников 3 с заготовками 2 на конвейере АЛ вплотную друг за другом их перемещение на новую позицию производится толкателем 1 (рис. 30.3, г), упирающимся в крайний спутник 3.

В линиях с гибкой межоперационной связью, на которых обрабатываются заготовки деталей типа валов, колец, фланцев и т. д., в качестве транспортных систем используются устройства, не обеспечивающие координацию заготовок при их перемещении: роликовые, цепные, винтовые и вибрационные конвейеры, элеваторные подъемники, лотки и т. д. (рис. 30.3).

Значительные помехи нормальной работе автоматических устройств создает стружка, образующаяся при механической обработке заготовок на АЛ. Для удаления стружки на АЛ предусматривается ряд устройств и транспортных систем. Непосредственно из зоны резания стружка смывается СОТС, сдувается сжатым воздухом, стряхивается либо отсасывается при достаточно малом размере частиц гидроциклонами. В наиболее ответственных случаях полную очистку от стружки деталей и приспособлений-спутников проводят в моечных машинах, встроенных в АЛ. Для удаления стружки за пределы АЛ используют два вида транспортных систем: 1) конвейеры, проходящие вне линии и собирающие стружку из специальных устройств (вибралотки, шнековые и цепные конвейеры),

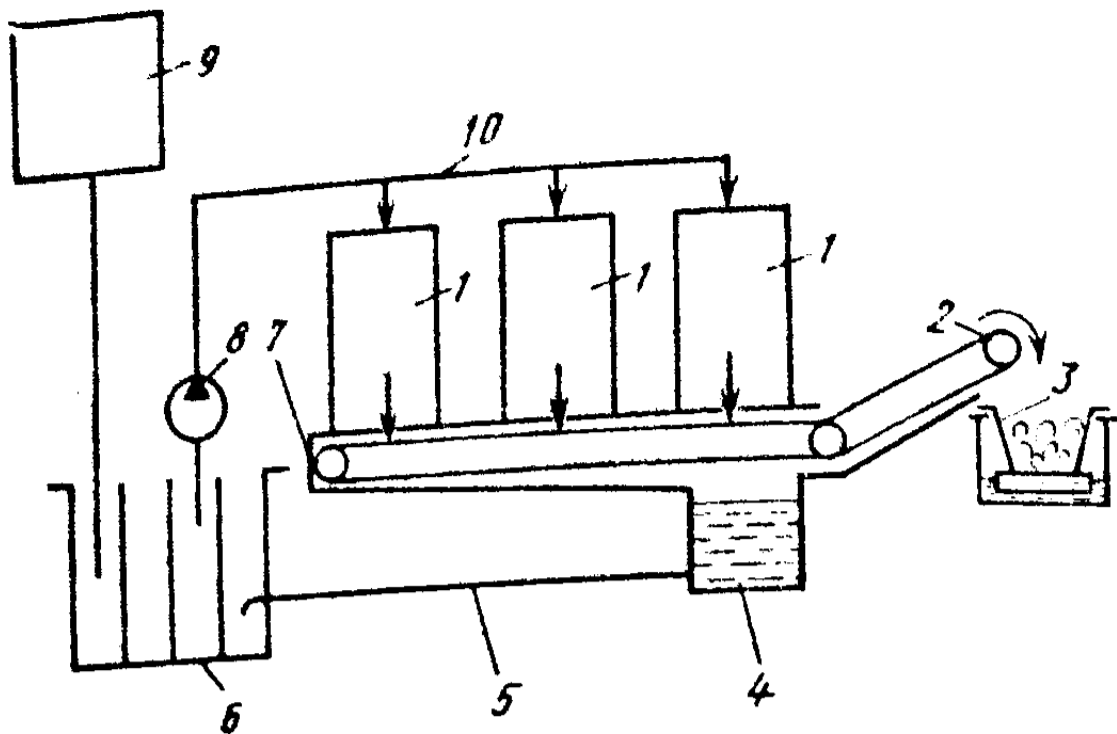


Рис. 30.4. Централизованная циркуляционная система подачи СОТС на АЛ

встроенных в отдельные станки линии; 2) конвейеры, встроенные непосредственно в линию (обычно в канал под линией) и собирающие стружку через проемы в станинах станков непосредственно из зоны резания. Наиболее часто в системах транспортирования стружки используют скребковые, винтовые и вибрационные конвейеры.

Обязательной составной частью механообрабатывающей АЛ является система подачи и подготовки СОТС. Подача СОТС в зону резания производится как от индивидуальных, так и от централизованных систем. Индивидуальные системы устанавливаются на отдельных станках и состоят из бака, устройств очистки, насоса и трубопроводов. Наиболее эффективными системами подачи СОТС являются централизованные циркуляционные (рис. 30.4). В этих системах СОТС, смывая стружку, попадает вместе с ней в канал 7, где размещен скребковый конвейер 2, подающий стружку на конвейер 3. СОТС, стекая со стружкой в емкость 4 по трубопроводу 5, попадает в бак-отстойник 6, откуда забирается насосом 8 и по трубопроводам 10 направляется к станкам 1. Неизбежные потери СОТС периодически восполняются из бака 9. СОТС перед употреблением обязательно проходит очистку: грубую — с помощью сетчатых фильтров и тонкую — с помощью магнитных сепараторов.

### § 30.2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Осуществление заданного рабочего цикла и согласованность функционирования всех агрегатов, систем и механизмов АЛ обеспечивает ее система управления.

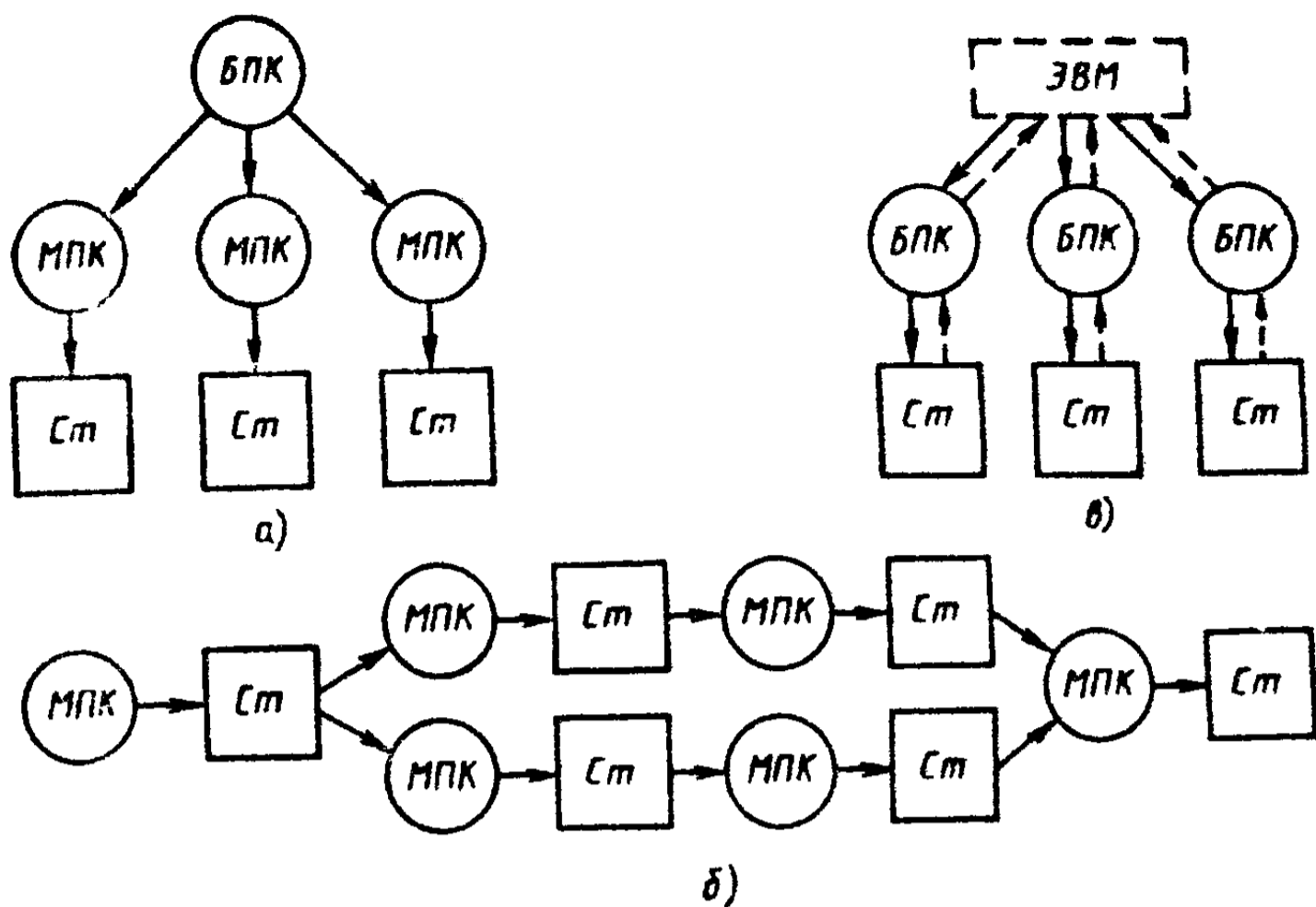


Рис. 30.5. Структура систем управления АЛ:

БПК — большой программируемый командоаппарат; МПК — малый программируемый командоаппарат; Ст — станок

Используют централизованные, децентрализованные и смешанные системы управления циклом АЛ.

В централизованных системах (рис. 30.5, а) программа работы АЛ задается центральным командным устройством (командоаппаратом, пультом, считывающим устройством). Из-за отсутствия в централизованных системах зависимости начала последующих операций от окончания предыдущих их целесообразно применять только в простых АЛ с коротким рабочим циклом.

В децентрализованных системах управления АЛ (рис. 30.5, б) используют путевые переключатели или упоры, команда на начало последующей операции подается только после завершения предыдущей.

В смешанных системах управления АЛ (рис. 30.5, в) управляющие сигналы выдаются командоаппаратом, но при этом дополнительно введен контроль выполнения предыдущих операций.

Системы управления АЛ всех видов оснащают периферийными средствами электроавтоматики (путевые переключатели, тепловые реле и т. п.). Сигналы этих средств поступают в программируемые командоаппараты (ПК) — контроллеры, которые управляют электроавтоматикой исполнительных механизмов (контакторы, электромагнитные муфты, сигнальные лампы и т. п.) по программе,

заложенной в их памяти. ПК выпускают не только для управления циклом работы оборудования (малые ПК), но и для одновременного диспетчирования и технической диагностики (большие ПК). Наиболее целесообразной для АЛ считается двухуровневая система управления, в которой нижний уровень организован на базе ПК, а верхний — на базе ЭВМ.

В настоящее время в машиностроительных цехах действуют сотни обрабатывающих и сборочных автоматических линий. Некоторые из них объединены в автоматические цехи и заводы-автоматы с законченным производственным циклом. Наибольшее распространение АЛ получили в массовом и крупносерийном производстве, например, в автомобилестроении (ВАЗ, ГАЗ, ЗИЛ и т. д.), подшипниковой промышленности (1-й ГПЗ, 2-й ГПЗ и т. д.). Эксплуатируют АЛ по производству вагонных колес, блоков и головок цилиндров, клапанов, колец подшипников, валов электродвигателей и т. д. Вопрос об использовании в условиях конкретного производства АЛ решается на основе технико-экономического обоснования.

Областью рационального применения АЛ является массовое и крупносерийное производство с длительным выпуском изделий.

### § 30.3. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Задачи повышения эффективности серийного производства, предполагающего частую смену выпускаемых изделий, наиболее полно решаются его автоматизацией на основе гибких производственных систем (ГПС) ГПС обеспечивают:

быстрый автоматический переход на изготовление (сборку) нового изделия освоеной номенклатуры;

нормальное функционирование при отказе отдельных станков или элементов ГПС;

сокращение численности обслуживающего персонала путем использования накопителей, устройств автоматической диагностики и средств предупреждения отказов.

Согласно ГОСТ 26228—85 гибкой производственной системой называют совокупность оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их автома-



тического функционирования, обладающих свойством автоматизированной переналадки на выпуск новых изделий (в заданный период времени и в установленных пределах характеристик изделий).

По организационным признакам ГПС разделяют на следующие виды: гибкие автоматизированные линии (ГАЛ), гибкие автоматизированные участки (ГАУ) и гибкие автоматизированные цеха (ГАЦ). Перспективными ГПС являются гибкие автоматизированные заводы (ГАЗ). В ГАЛ технологическое оборудование располагают согласно принятой последовательности технологических операций. ГАУ функционируют по технологическому маршруту, допускающему изменение последовательности использования технологического оборудования. ГАЦ — это совокупность ГАЛ, ГАУ, роботизированных участков и линий.

Основной составной частью (ГПС) является гибкий производственный модуль (ГПМ), представляющий собой автономно функционирующую единицу технологического оборудования с автоматизированным УЧПУ, оснащенную системами диагностирования, с промышленным роботом для загрузки-выгрузки заготовок, с устройствами удаления стружки, замены инструментов, измерений и контроля в процессе обработки. ГПМ способны автоматически переналаживаться на выпуск новых изделий (освоенной номенклатуры) и пригодны для встраивания в ГПС.

Роботизированные технологические комплексы (РТК) представляют собой совокупность единицы технологического оборудования, ПР и средств оснащения, способных автономно осуществлять многократные циклы. РТК, входящие в ГПС, автоматически переналаживаются на изготовление изделий заданной номенклатуры. Совокупность РТК может объединяться в роботизированные технологические линии или участки.

ГПС объединяются в единый комплекс системой обеспечения функционирования, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных автоматизированных систем проектирования изделий, технологической подготовки их производства, транспортирования заготовок изделий, технологической оснастки и управления с помощью ЭВМ.

Составной частью системы обеспечения ГПС является также автоматизированная транспортно-складская система (АТСС), объединяющая автоматизированные транс-

портные и складские устройства для заготовок изделий и технологической оснастки.

В состав системы обеспечения ГПС входит также автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИ), осуществляющая транспортирование, накопление и подготовку инструмента, контроль его качества и автоматическую замену.

Накопленный отечественный и зарубежный опыт показывает, что эффективность гибкой автоматизации возрастает с переходом к ее более высокому организационному уровню (например, от ГАУ к ГАЛ и т. д.).

### *ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ*

1. Как влияют межоперационные заделы на характер функционирования АЛ?
2. Что представляют собой спутниковые АЛ?
3. В чем преимущества и особенности роторных и роторно-конвейерных АЛ?
4. Какие системы управления используют в АЛ?
5. Что включает в себя автоматизация на основе ГПС?

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНКОВ

---

### ГЛАВА 31. МОНТАЖ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

#### § 31.1. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ СТАНКОВ И ВЫБОР ФУНДАМЕНТОВ

Эксплуатации металлорежущего оборудования (станка) всегда предшествует тщательное изучение его паспорта. Он является основным техническим документом, где отражены технические данные, комплект поставки, устройство и работа, порядок установки, указания по эксплуатации и мерам безопасности, характерные неисправности и методы их устранения, особенности ремонта и перечень сборочных чертежей. В разделе «Основные технические данные» приводят характеристику станка, определяющую его технологические возможности, а также дают характеристики основных систем станка (системы ЧПУ, электрооборудования, системы смазки и т. д.). В разделе «Порядок установки» приводят данные о распаковке, транспортировании и установке станка согласно прилагаемому установочному чертежу. К паспорту прилагают свидетельство о его приемке, упаковке и консервации.

Мероприятия по монтажу металлорежущих станков начинаются и сопровождаются их транспортированием. Основные рекомендации, которые должны соблюдаться при этом, приведены ниже.

1. При подготовке к транспортированию необходимо надежно закрепить все подвижные узлы станка на станине (столы, суппорты, шпиндельные гильзы, задние бабки и т. д.).

2. Перед транспортированием подъемным краном следует с учетом положения центра тяжести станка произвести надежный захват канатом его выступающих частей или транспортных устройств (рым-болты, крюки, штанги и т. д.)

3. При транспортировании и установке на фундамент необходимо исключить толчки, удары и сотрясения станков.

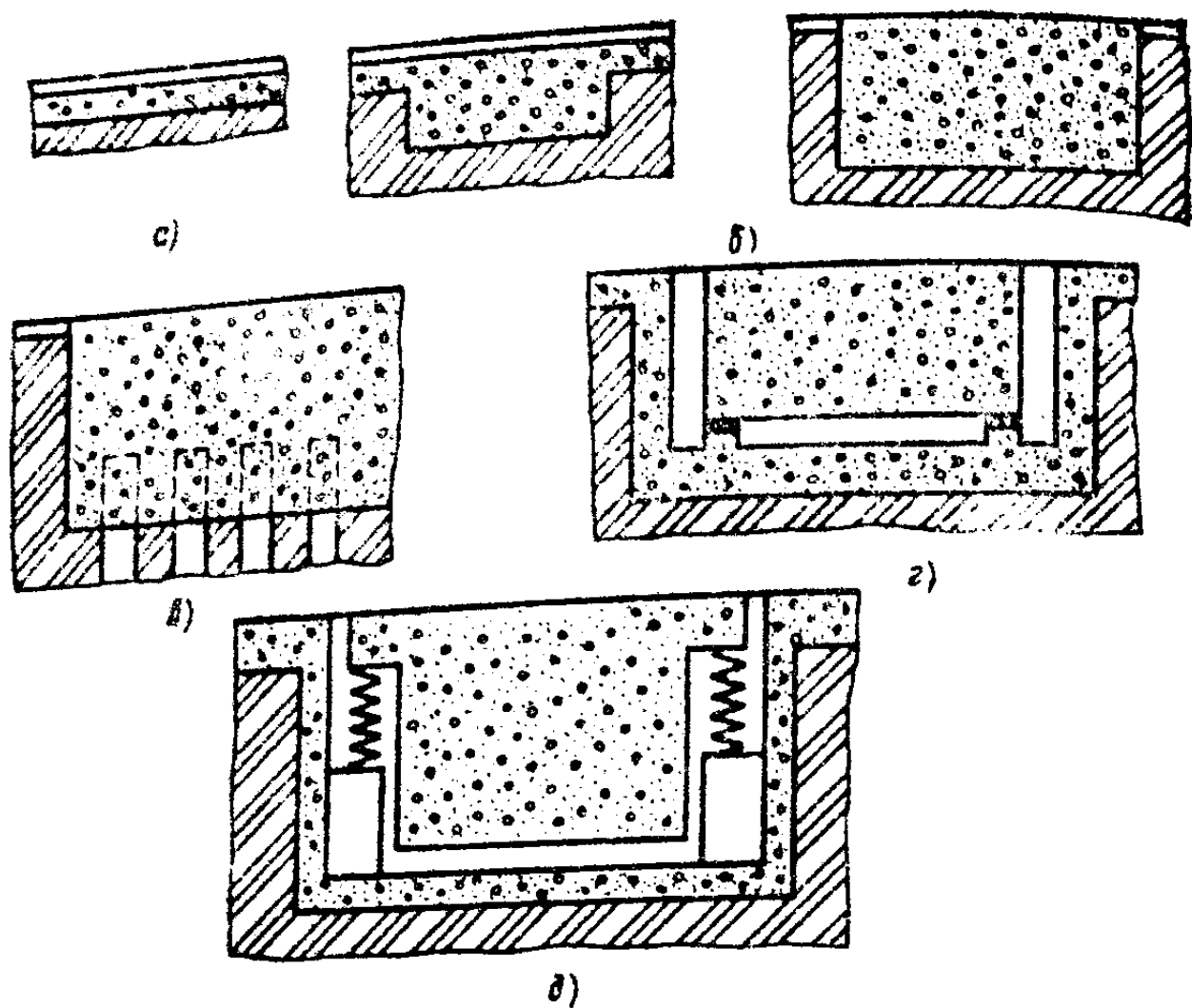


Рис. 31.1. Фундаменты станков:

*a* — бетонные полы; *b* — ленточные фундаменты; *в* — на сваях; *г* — на резиновых ковриках; *д* — фундаменты на пружинах

Установка станка на фундамент либо заменяющие его устройства должна быть такой, чтобы полностью использовались технологические возможности станка по производительности и точности. Фундамент равномерно распределяет нагрузку на грунт под действием веса станка и гасит вибрации.

В качестве фундаментов наиболее часто используются (рис. 31.1): бетонные полы первого этажа; ленточные бетонные фундаменты; специальные массивные фундаменты, опирающиеся в зависимости от конкретных условий на грунт, сваи, резиновые коврики или пружины.

Площадь фундамента выбирают, исходя из несущей способности грунта, а высоту  $H$  (м) устанавливают по эмпирической зависимости  $H = K \sqrt{L}$ , м, где  $K$  — коэффициент; для токарных и горизонтально-протяжных  $K = 0,2$ ; для расточных, продольно-строгальных и продольно-фрезерных  $K = 0,3$ ; для шлифовальных  $K = 0,4$ ; для зуборезных  $K = 0,6$ ;  $L$  — длина фундамента, м.

## § 31.2. ВАРИАНТЫ УСТАНОВКИ И КРЕПЛЕНИЯ СТАНКОВ

Используются несколько вариантов крепления или установки станков на фундаменте.

1. Крепление анкерными болтами на клиньях или винтовых опорах с заливкой или без заливки цементным раствором (рис. 31.2, а, б) применяют для всех групп станков с длинными станинами, для станков, не требующих перестановки, производящих черновую обработку неуравновешенных заготовок.

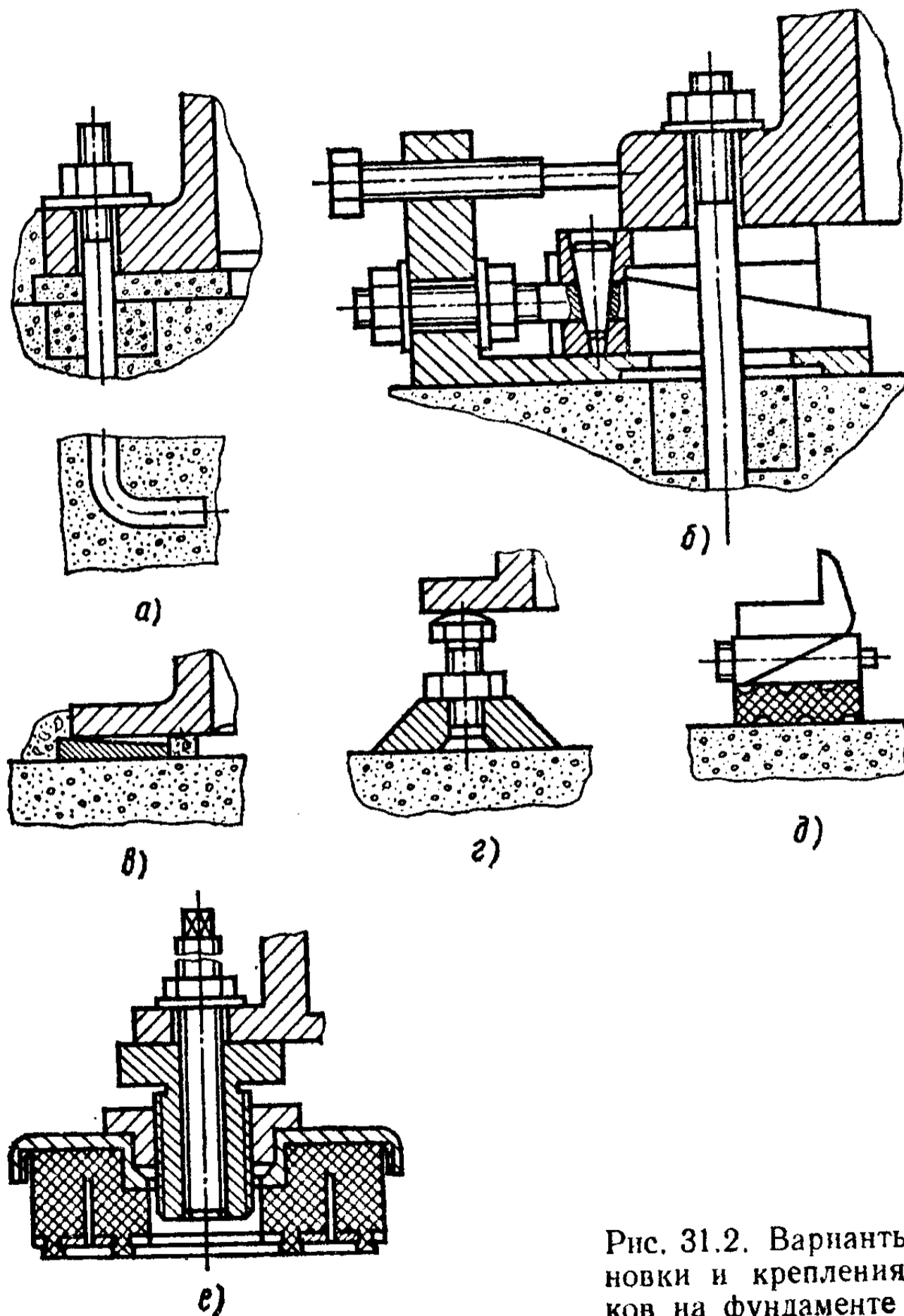


Рис. 31.2. Варианты установки и крепления станков на фундаменте

2. Заливают опорную поверхность цементным раствором (рис. 31.2, в) без укрепления болтами для всех станков, кроме радиально-сверлильных; для станков, выполняющих операции сравнительно повышенной точности, не требующих частой перестановки, и для станков с длинными станинами, выполняющих чистовую обработку.

3. На жесткие регулируемые опорные элементы без крепления болтами и без заливки (рис. 31.2, г) устанавливают, кроме сверлильно-расточных и строгально-долбежно-протяжных и зубострогальных станков, также станки, требующие частых перестановок и используемые в основном на легких режимах и операциях сравнительно невысокой точности.

4. На упругих опорах (рис. 31.2, д, е, опоры ОВ-30, ОВ-31 и коврики КВ-1 и КВ-2) устанавливают токарные, фрезерные, зубофрезерные поперечно-строгальные и долбежные станки массой до 15 т, имеющие отношение длины станины к высоте не более 4 : 5, а также станки, размещаемые на нежестких перекрытиях и работающие в условиях интенсивных колебаний оснований, либо устанавливаемые вблизи высокоточных станков и работающие на легких режимах работы.

При установке на фундамент станок с помощью регулировочных элементов опоры выверяют по уровню в продольном и поперечном направлениях. Выверку проводят уровнями с ценой деления 0,04 мм/м для станков классов точности Н и П и 0,02 мм/м для станков классов В, А и С.

Прецизионные (особоточные) станки монтируют на отдельных фундаментах, выполненных в виде монолитных бетонных блоков высотой до 1,5 м.

Колебания температуры  $+20^{\circ}\text{C}$  в цехах, где устанавливают станки, не должны превышать  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  для станков класса точности С,  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  для станков классов А и В и  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  для станков менее точных классов.

В цехах единичного производства станки расставляют по группам (токарные, фрезерные, зубообрабатываемые и т. д.), а в цехах серийного производства — по ходу технологического процесса, при этом в обоих случаях строго соблюдают требуемые расстояния между станками и т. д. (рис. 31.3).

Методы монтажа металлорежущих станков, входящих в состав автоматической линии, зависят от ее конструкции.

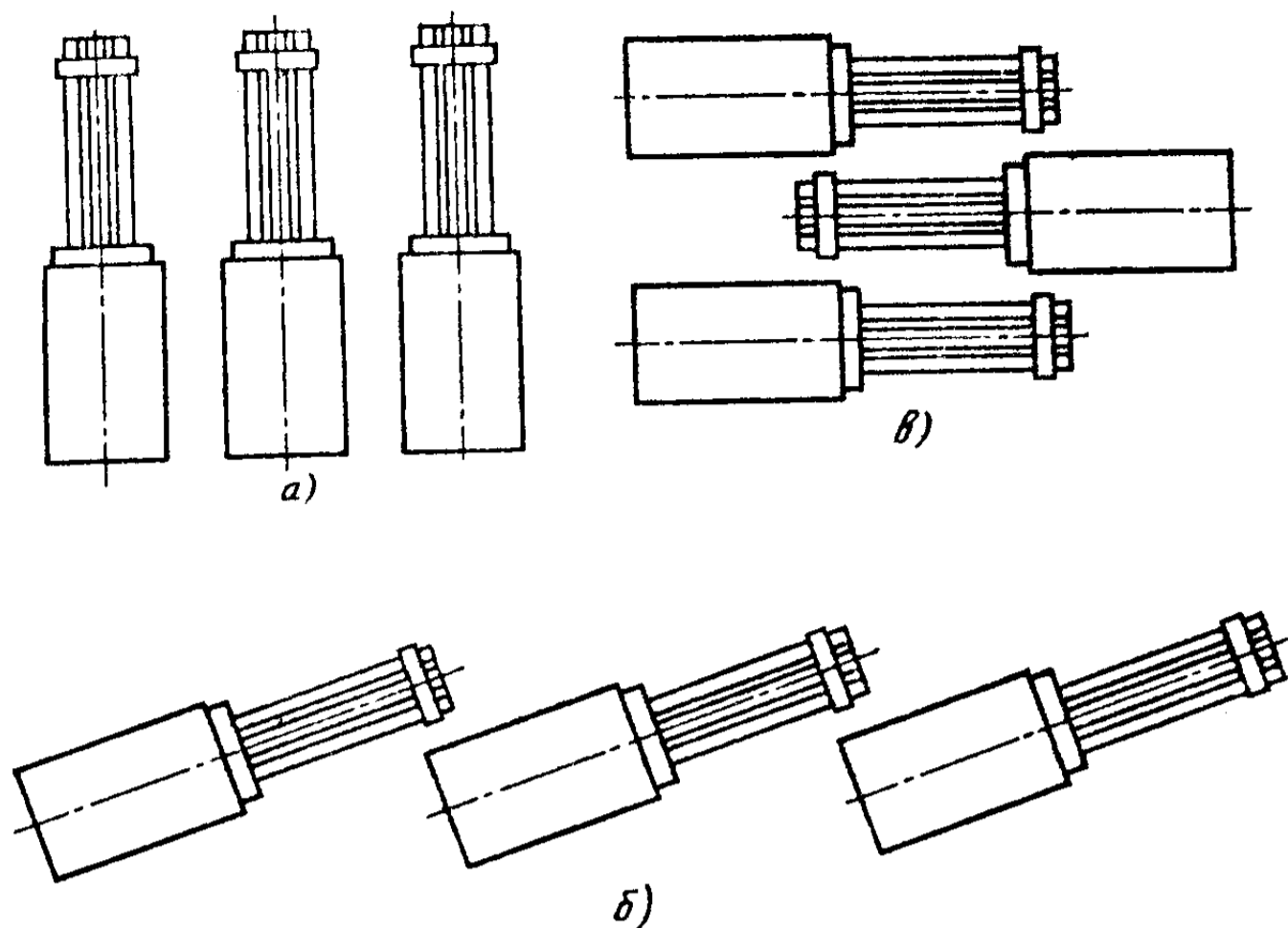


Рис. 31.3. Расстановка прутковых автоматов в цехе (план):  
*a* — прямая; *б* — диагональная; *в* — шахматная

В линиях с жесткой транспортной связью, требующей точного расположения станков АЛ, допустимое отклонение установки оборудования по высоте в продольном и поперечном направлениях обычно составляет 0,04—0,05 мм на длине 1 м.

В автоматических линиях с гибкой транспортной связью расстановку и выверку оборудования осуществляют в продольном и поперечном направлениях с допустимой погрешностью  $\pm 5$  мм, а в вертикальном направлении выверку проводят регулируемы опорами с допустимой погрешностью  $\pm 1$  мм.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие виды фундаментов используют для установки станков?
2. Как серийность производства влияет на расстановку станков?
3. Каковы особенности монтажа для станков автоматических линий?

## ГЛАВА 32. КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТАНКОВ

### § 32.1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Контроль работоспособности станков осуществляют путем проведения испытаний, имитирующих в той или иной степени условия их эксплуатации. Объем контроля определяется назначением станка. Наиболее подробным испытаниям подвергают образцы новых моделей станков. Значительно меньший объем испытаний проводится контролерами ОТК серийных станков при их изготовлении либо после среднего и капитального ремонта. Типовые методики испытаний серийных станков предусматривают три вида проверок: в статическом состоянии; на холостом ходу (без нагрузки); под нагрузкой.

Перед началом испытаний станок устанавливают на фундамент, где его выверяют в продольном и поперечном направлениях. В отличие от реальных условий эксплуатации при испытаниях фундаментные болты не затягивают. Но температурные условия эксплуатации станка при испытаниях должны быть воспроизведены полностью.

### § 32.2. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Особенность проверки станка в статическом состоянии состоит в том, что ее проводят при ручном или механизированном (на самых малых скоростях) перемещении подвижных узлов и частей станка. Одна из целей проверки в статическом состоянии заключается в оценке возможностей станка по его геометрической и кинематической точности, которая зависит от качества изготовления и сборки станка.

Геометрические и кинематические погрешности принято считать систематическими, т. е. такими, которые при обработке полностью переносятся на обрабатываемую заготовку. Для оценки этих погрешностей контролируют: отклонение формы базовых поверхностей (отклонение от прямолинейности и плоскостности направляющих, конусность и овальность посадочных шеек шпинделя и т. д.); отклонение взаимного расположения этих поверхностей (параллельность, соосность, перпендикулярность); откло-



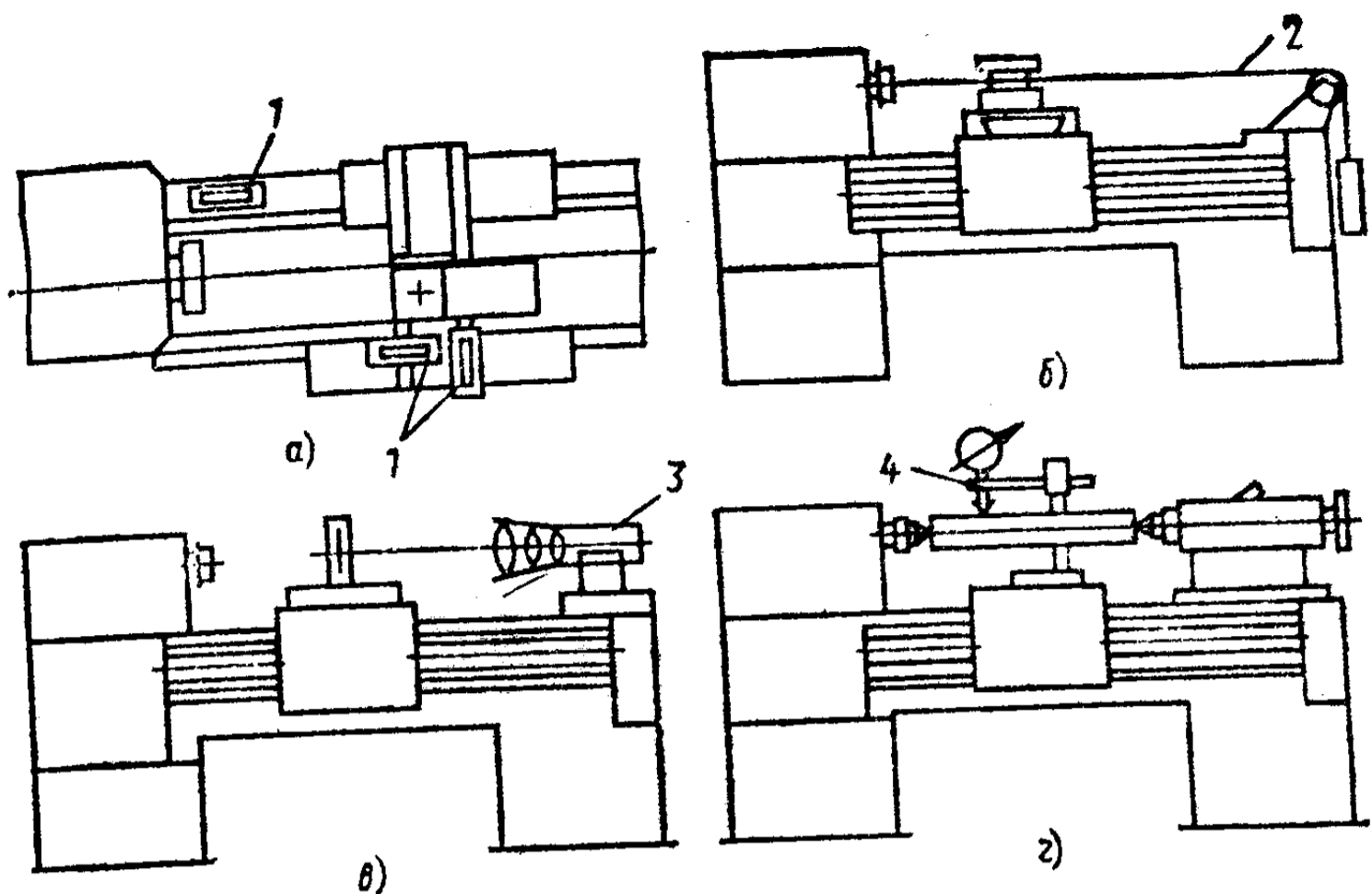


Рис. 32.1. Проверка геометрической точности токарного станка

нение формы траектории движения и исполнительных органов; соответствие фактических перемещений (линейных и угловых) заданным; точность относительных перемещений движущихся исполнительных органов (кинематическая точность). Перед проведением подобных проверок станок должен пройти обкатку, а в ходе проверок необходимо исключить внешние нагрузки.

В качестве инструментов при проверке геометрической точности используют лекальные линейки, уровни, контрольные оправки, щупы, индикаторы, миниметры, коллимационные и автоколлимационные теодолиты. Примером проверок геометрической точности может служить контроль отклонения от прямолинейности направляющих патронного токарного станка, осуществляемый с помощью уровней 1 (рис. 32.1, а), натянутой струны 2 (рис. 32.1, б), оптической оси зрительной трубы 3 (рис. 32.1, в), оправки, установленной в шпиндель и пиноль задней бабки, и индикаторной стойки 4 (рис. 32.1, г).

В тех станках, где допускается малое отклонение взаимного перемещения исполнительных органов (токарно-винторезные, затыловочные, резьбонарезные, резьбошлифовальные и зуборезные), контролируют кинематическую точность, зависящую от геометрических погрешностей звеньев передач кинематической цепи. Практическими показателями точности кинематических цепей

является свободный ход (зазор) и кинематическая погрешность. Проверку кинематической точности проводят с помощью кинематометров (например, КН-7У), регистрирующих колебания передаточного отношения в кинематической цепи.

В статическом состоянии контролируют также жесткость станка, определяющую точность обработки на станке под нагрузкой в установившемся режиме. Под жесткостью (Н/мм) понимают отношение силы  $F$ , действующей на узел, к его упругому отжатию  $Y$  в направлении действия силы:  $j = F/Y$ . Значения отжатий определяют упругими деформациями деталей, контактными деформациями стыков, зависящими от параметра шероховатости и отклонения формы контактирующих поверхностей, наличия смазочного материала и характера нагружения. В общем балансе упругих отжатий (приведенных к вершине резца) контактные деформации станков составляют 70—80 %. Для повышения достоверности результатов проверки на жесткость при испытаниях используют схему нагружения, имитирующую реальные варианты обработки.

Для нагружения при испытаниях на жесткость применяют специальные приспособления, оснащенные домкратом или динамометром. Отжатия регистрируют с помощью индикатора с ценой деления 0,01 мм, устанавливаемого на узел, относительно которого проводят измерение (обычно станина).

При контроле серийных станков измеряют суммарную жесткость, ограничивая при этом наибольшее допустимое отжатие. Примером испытаний на жесткость может служить контроль жесткости шпиндельного узла с целью проверки радиальных зазоров — натягов шпиндельных подшипников. При контроле индикатор, установленный на шпиндельной бабке, измеряет отжатия шпинделя, нагружаемого радиальной силой. Нагружение осуществляют до положения, при котором между силой и отжатием установится линейная зависимость (рис. 32.2). Касательная к линейному участку графика отсекает на оси ординат отрезок, длина которого характеризует натяг при расположении отрезка ниже начала координат (рис. 32.2).

Проверку станка на холостом ходу начинают с проверки функционирования его механических, электрических, гидравлических и прочих систем. Привод главного движения проверяют в режимах пуска-останова и ревер-

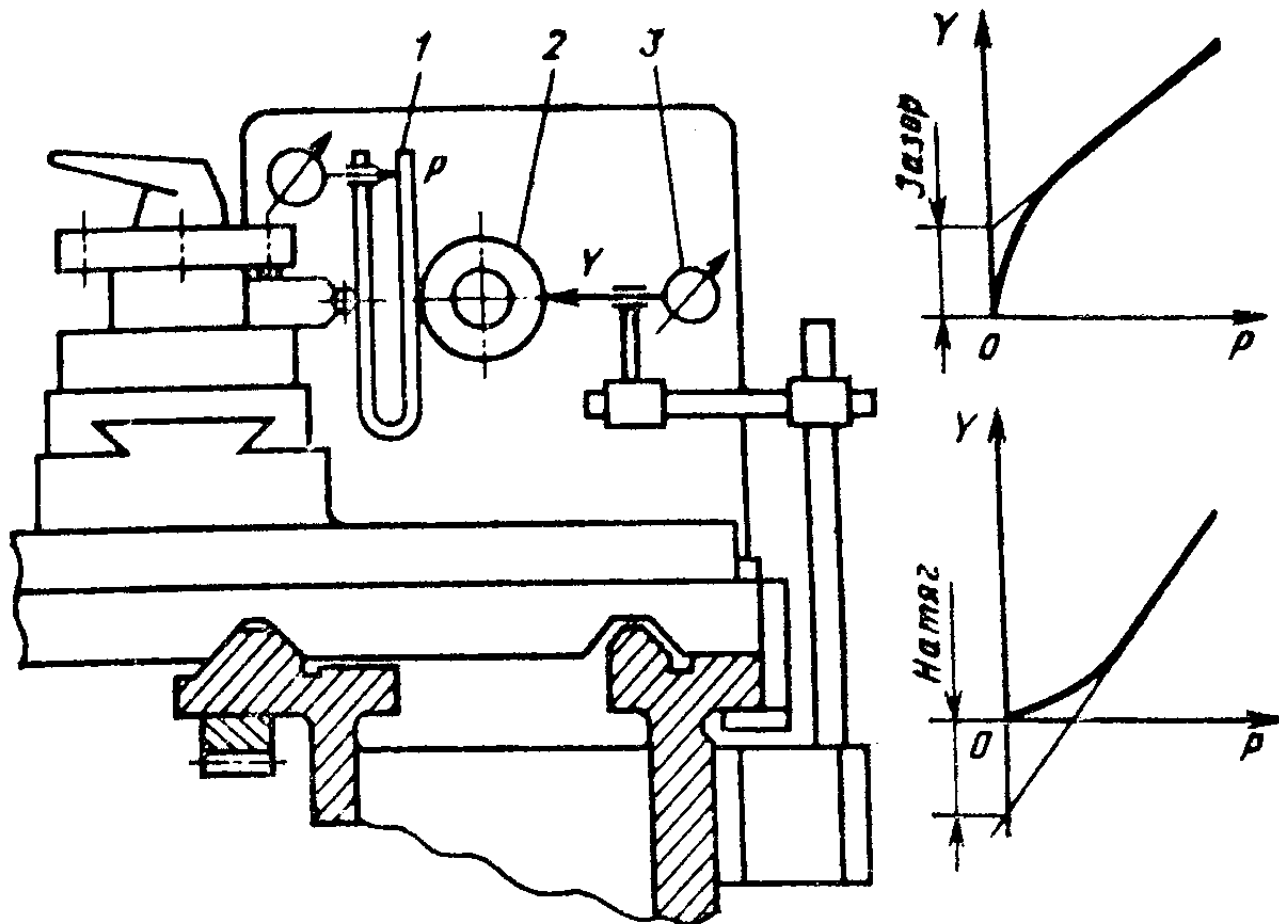


Рис. 32.2. Схема контроля жесткости шпиндельного узла:  
 1 — нагрузочный динамометр; 2 — шпиндель; 3 — индикатор

сирования на всех частотах вращения. Затем на наибольшей частоте вращения шпинделя проверяют температуру нагревания основных узлов при их длительной работе (не менее 30 мин). Основное внимание уделяют нагреву шпиндельных опор. Необходимо, чтобы температура переднего и заднего подшипников шпинделя не превышала значений, заданных ГОСТ 7599—82.

При наибольшей частоте вращения шпинделя измеряется также уровень шума, возникающего при работе станка, который является показателем качества его изготовления и сборки. Уровень шума не должен превышать установленных пределов (до 75 дБ — для частот выше 4 кГц и до 90 дБ — для частот менее 350 Гц). Особенно опасны частоты 6—9 Гц. Для измерения уровня шума станков используют методику по ГОСТ 8055—56 и шумомеры типа Ш-63, ШУМ-1М.

Наряду с уровнем шума показателем качества изготовления и сборки является уровень колебаний на холостом ходу. Измерение параметров колебаний вспомогательного хода осуществляют с помощью специальной оправки (биение измерительной шейки менее 3 мкм), устанавливаемой в отверстие шпинделя и емкостного или индуктивного датчика. Параметры колебаний станка в режиме холостого хода в диапазоне до 1 кГц проверяют путем

частотного анализа. Лучшим считается спектр колебаний, у которого на частотах, близких к частоте возможных автоколебаний, амплитуда наименьшая.

Завершают испытания проверкой работоспособности станка на режимах с максимальными силой резания, крутящим моментом и мощностью резания. При работе с наибольшей мощностью резания одновременно контролируют падение частоты вращения шпинделя, которое должно быть не более 3 %.

В процессе испытаний под нагрузкой проводят оценку границ виброустойчивости по толщине предельной стружки  $t_{пр}$ . Предельной стружке соответствует наибольшая глубина резания, срезаемая без появления визуально различимых следов вибрации на обработанной поверхности.

Границу виброустойчивости по предельной стружке при испытании серийных станков определяют для того, чтобы оценить качество их изготовления и сборки. Испытания проводят для схемы обработки, обладающей наименьшей виброустойчивостью. При этом обработку проводят со скоростью резания, выбранной в зоне наименьших значений  $t_{пр}$  для принятой подачи, при которой наблюдается разное возрастание амплитуды колебаний с ростом глубины резания. Полученное значение  $t_{пр}$  сравнивают со значением, установленным статистически на основе испытаний группы станков данной модели.

Под нагрузкой контролируют также уровень шума станка.

Завершают испытания станка под нагрузкой обработкой контрольного образца, в условиях, при которых возможно достижение наибольшей точности в последующем контроле этого образца на соответствие его размеров и параметров шероховатости предусмотренным нормативам.

Для станков с ЧПУ на режимах холостого хода и под нагрузкой, наряду с перечисленными выше, проводится дополнительная проверка их работоспособности. Такими испытаниями на режиме холостого хода является проверка точности позиционирования подвижных узлов, которая может осуществляться с помощью лазерного интерферометра с цифровым выходом. Точность позиционирования характеризуется статистическими показателями: накопленной погрешностью позиционирования (систематическая погрешность) и средним квадратическим отклонением погрешности позиционирования (случайная погрешность).

Контролируют также точность обработки станком единичных импульсов программы. Узлу сообщается перемещение единичными импульсами (не менее 20) сначала в прямом, а потом в обратном направлениях. Из сравнения фактических перемещений узла со значением дискреты определяют отклонения, наибольшие значения которых принимаются за критерий точности обработки единичного импульса.

Применительно к станкам с контурными системами ЧПУ в режиме холостого хода проводят проверку точности обработки прямолинейной траектории, наклоненной под углами  $\alpha$ , равными 5; 26,5; 45°, к оси координат. За эталон принимают поверхность установленной на столе синусной линейки, а отклонение от эталона контролируется датчиком перемещений, закрепленным в шпинделе. Разность наибольшего и наименьшего отклонений является показателем точности.

В режиме холостого хода проверяют также время автоматической смены инструментов.

Безотказность станка с ЧПУ контролируют в режиме работы под нагрузкой при обработке в течение 2 ч заготовки типовой детали, конфигурация которой максимально соответствует возможностям станка. Отказы станка с ЧПУ в ходе такой проверки не допускаются, а готовая деталь должна соответствовать чертежу.

На заключительной стадии испытаний станка с ЧПУ под нагрузкой проводят обработку контрольной партии заготовок в условиях и по программе, в которых максимально устранено влияние факторов, связанных с качеством изготовления станка. Проверку стабильности размеров в контрольной партии деталей ведут по среднему значению и размаху отклонений полученных размеров.

### *ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ*

1. Какие параметры проверяют при испытании станка на статическую жесткость?
2. Как проводится проверка станка на виброустойчивость по предельной стружке?
3. Какие особенности характеризуют проверку работоспособности станков с ЧПУ?

§ 33.1. ОБЩЕТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ

Под модернизацией станков понимают комплекс конструкторских мероприятий, предназначенных для улучшения технических характеристик станков до уровня, соответствующего современным требованиям, либо переоборудование для выполнения технологических процессов или операций, проведение которых не предусмотрено их конструкцией. Модернизацию с целью повышения технических характеристик станков называют общетехнической в отличие от технологической модернизации, при которой станки приспособляют для решения новых конкретных технологических задач.

Примером общетехнической модернизации является модернизация станков 1А62 с целью приближения их технических характеристик к уровню характеристик более совершенного станка 16Е20. Подобные модернизации носят массовый характер и для более квалифицированного их проведения разработаны типовые проекты. К общетехнической модернизации также относится совершенствование систем ЧПУ, которые выпущены в прошлые годы. Оснащение таких систем микропроцессорными модулями ввода информации значительно расширяет возможности устаревших систем ЧПУ и продлевает срок их службы.

§ 33.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ

Технологическая модернизация по своим масштабам значительно уступает общетехнической и решает текущие технологические проблемы данного завода либо группы заводов. Например, проблема механической обработки поверхностей деталей, оснащенных высокопрочными, труднообрабатываемыми сплавами, решается модернизацией токарного станка 16К20. На его суппорте устанавливают оборудование для плазменной наплавки и гидродвигатель для привода фрезы, срезающей часть наплавленного слоя, находящегося в горячем размягченном состоянии.

Часто технологическая модернизация сводится к установке на станке узлов, функционирование которых дополняет возможности станка без изменения его техноло-

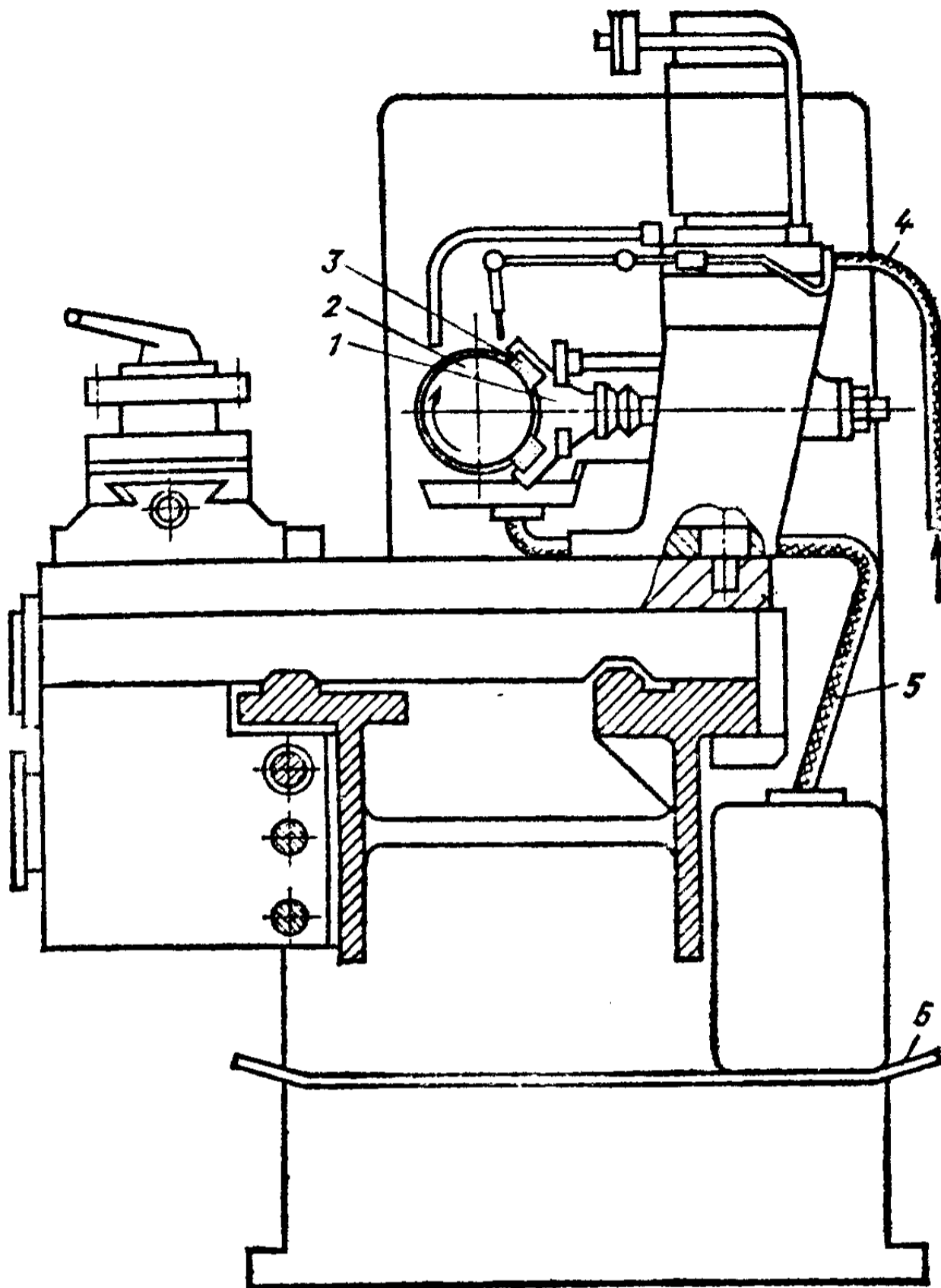


Рис. 33.1. Оснащение токарного станка суперфинишной головкой

гического назначения. Примером может служить установка на токарных одношпиндельных револьверных автоматах и горизонтальных многошпиндельных токарных автоматах узлов, позволяющих вести обработку заготовки с той стороны, где производится ее отрезание (сверление, фрезерование, обработка фасонных поверхностей и т. д.).

В результате технологической модернизации станок может быть приспособлен для выполнения операций, технологически не связанных с его назначением. Так, установкой на суппорте токарно-винторезного станка суперфинишной головки (рис. 33.1) добиваются его пригодности для абразивной отделочной обработки. При обработке

к вращающейся заготовке 2, установленной в центрах станка, подводится суперфинишная головка 1 с колеблющимися брусками 3. Бруски 3 получают аксиальные колебания от специального привода суперфинишной головки 1. После касания брусков 3 заготовки 2 смещением суппорта в поперечном направлении создается необходимый натяг, обеспечивающий эффективное срезание микронеровностей с обрабатываемой поверхности. В зону контакта заготовки с брусками постоянно по шлангу 4 подается СОТС специального состава, стекающая из зоны обработки в бак по шлангу 5, закрепленному на поддоне 6.

Если целью модернизации является сокращение машинного времени, то улучшают технические характеристики станка: увеличивают частоту вращения шпинделя, подачи и мощности привода.

При модернизации станков с целью обработки цветных сплавов и для проведения отделочных работ увеличивают быстроходность при прежней мощности. В этом случае достаточно изменить диаметры шкивов в ременной передаче, проверить по критерию быстроходности ( $dn$ ) шпиндельные опоры и соответствие системы их смазывания новым скоростям. При переходе к шлифованию с большими скоростями резания необходимо оснастить станки устройствами для динамической балансировки шлифовальных кругов на ходу.

Варианты модернизации для сокращения вспомогательного времени зависят от типа станка и условий его работы. Так, у токарных станков применяют устройства для автоматического отключения движения подачи, у сверлильных станков заменяют привод, в котором использованы ступенчатые шкивы, бесступенчатым вариатором. В шлифовальных станках вводят устройства торможения шпинделя привода изделия при остановке. Широко используют устройства активного контроля размеров в процессе обработки.

Одним из важнейших направлений модернизации является повышение точности металлорежущих станков. С этой целью повышают жесткость узлов введением устройств, создающих и регулирующих натяг, в шпиндельные опоры устанавливают подшипники повышенной точности, вводят корректирующие приспособления, устройства цифровой индикации и температурной стабилизации. При модернизации повышают эксплуатационные качества



отдельных узлов и деталей станка. Для этого используют различные методы увеличения долговечности быстроизнашивающихся деталей, применяют новые антифрикционные материалы, химико-термическую и электрофизическую обработку поверхностных слоев деталей, устанавливают в станках устройства компенсации износа.

Большое внимание при модернизации уделяется улучшению условий труда и повышению безопасности работы.

Для этого станки оснащают местным освещением, пылеотсасывающими устройствами и защитными экранами с блокировочными устройствами, отключающими станок при неправильной установке экрана.

В ходе модернизации при наличии технико-экономических обоснований может быть осуществлен переход к комплексной автоматизации технологических процессов обработки. Такую модернизацию часто выполняют для группы станков, оснащая их переключателями либо роботами для передачи заготовок со станка на станок.

Решение о проведении модернизации во всех случаях должно опираться на экономический расчет ее эффективности, учитывающий условия и возможности данного производства, особенно его ремонтных подразделений. Наибольший эффект наблюдается при наличии типовых проектов, по которым проводится модернизация оборудования на заводах капитального ремонта станков.

Модернизация станков в условиях перехода предприятий на полный хозрасчет приобретает особое значение, так как позволяет во многих случаях отказаться от приобретения нового дорогостоящего оборудования и заменить его модернизацией наличного парка станков.

### *ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ*

1. Что отличает технологическую модернизацию от общетехнической?
2. Где и когда проводится модернизация станков по типовым проектам?
3. Каким образом система ППР связана с модернизацией станков?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г. А., Аршинов В. А., Кричевская Р. М. Конструирование инструмента. М.: Машиностроение, 1979. 384 с.
2. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущий инструмент. М.: Машиностроение, 1976. 438 с.
3. Белецкий Д. Г., Моисеев В. Г., Шеметов М. Г. Справочник токаря-универсала. М.: Машиностроение, 1987. 560 с.
4. Власов С. Н., Годович Г. М., Черпаков Б. И. Устройство, наладка и обслуживание металлорежущих станков и автоматических линий. М.: Машиностроение, 1983. 439 с.
5. Горбунов Б. И. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки. М.: Машиностроение, 1981. 287 с.
6. Грановский Г. И., Грановский Б. Г. Резание металлов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.
7. Драгун А. П. Режущий инструмент. Л.: Лениздат, 1986. 271 с.
8. Ермаков Ю. М., Фролов Б. А. Металлорежущие станки. М.: Машиностроение, 1985. 320 с.
9. Локтева С. Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы. М.: Машиностроение, 1986. 320 с.
10. Попов С. А. Заточка и доводка режущего инструмента. М.: Высшая школа, 1986. 223 с.
11. Попов С. А., Малевский И. П., Терещенко Л. М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. М.: Машиностроение, 1977. 263 с.
12. Попов С. А. Шлифовальные работы. М.: Высшая школа, 1987. 359 с.
13. Режим резания металлов: Справочник/Под ред. Ю. В. Барановского. М.: Машиностроение, 1972. 470 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. С. 261—303.
15. Суворов А. А., Зайдлин Г. С., Стискин Г. М. Металлорежущие инструменты: Альбом. М.: Машиностроение, 1979. 64 с.
16. Филиппов Г. В. Режущий инструмент. Л.: Машиностроение, 1981. 392 с.
17. Фрумин Ю. Л. Высокопроизводительный резьбообрабатывающий инструмент. М.: Машиностроение, 1977. 193 с.
18. Чернов Н. Н. Металлорежущие станки. М.: Машиностроение, 1987. 416 с.
19. Шарин Ю. С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1986. 176 с.
20. Якушев А. И., Воронцов Л. Н., Федотов Н. М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>РАЗДЕЛ 1.</b>	
<b>ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. Кинематические и геометрические параметры процесса резания . . . . .</b>	<b>5</b>
§ 1.1. Общие понятия и определения . . . . .	5
§ 1.2. Элементы режима резания и геометрические параметры срезаемого слоя . . . . .	7
§ 1.3. Геометрические параметры реза . . . . .	11
<b>Глава 2. Материалы для изготовления режущих инструментов . . . . .</b>	<b>19</b>
§ 2.1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам . . . . .	19
§ 2.2. Инструментальные стали . . . . .	20
§ 2.3. Твердые сплавы . . . . .	22
§ 2.4. Керамические инструментальные материалы . . . . .	25
§ 2.5. Природные алмазы и синтетические сверхтвердые материалы . . . . .	26
<b>Глава 3. Физические основы резания . . . . .</b>	<b>29</b>
§ 3.1. Стружкообразование при резании . . . . .	29
§ 3.2. Силы резания . . . . .	36
§ 3.3. Явление наклепа при резании . . . . .	41
§ 3.4. Наростообразование при резании . . . . .	43
§ 3.5. Тепловые явления при резании металлов . . . . .	45
§ 3.6. Изнашивание и стойкость инструмента . . . . .	49
§ 3.7. Охлаждение и смазывание при резании . . . . .	53
§ 3.8. Вибрации при резании . . . . .	57
§ 3.9. Качество обработанной поверхности . . . . .	60
§ 3.10. Производительность и выбор режима резания . . . . .	65
<b>РАЗДЕЛ 2.</b>	
<b>МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>Глава 4. Назначение и классификация станков . . . . .</b>	<b>69</b>
§ 4.1. Классификация и обозначение станков . . . . .	69
§ 4.2. Движения в станках . . . . .	71
§ 4.3. Кинематика станков, принципы построения . . . . .	74
§ 4.4. Крутящий момент и мощность на шпинделе и приводном электродвигателе станка . . . . .	78
	443

Глава 5. Электропривод . . . . .	79
§ 5.1. Электродвигатели переменного тока . . . . .	79
§ 5.2. Электродвигатели постоянного тока . . . . .	83
§ 5.3. Аппаратура управления . . . . .	85
Глава 6. Гидропривод станков . . . . .	90
§ 6.1. Основные элементы . . . . .	90
§ 6.2. Типовые схемы . . . . .	99
Глава 7. Узлы и механизмы металлорежущих станков . . . . .	100
§ 7.1. Компоновка основных узлов и механизмов . . . . .	100
§ 7.2. Корпусные детали . . . . .	102
§ 7.3. Шпиндельные узлы . . . . .	109
§ 7.4. Передаточные механизмы . . . . .	114
§ 7.5. Механические вариаторы . . . . .	122
§ 7.6. Механизмы периодических движений . . . . .	124
§ 7.7. Муфты . . . . .	125
§ 7.8. Механизмы и устройства управления . . . . .	127
§ 7.9. Системы смазывания, охлаждения и удаления стружки . . . . .	128

### РАЗДЕЛ 3.

<b>ОБРАБОТКА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ . . . . .</b>	<b>132</b>
Глава 8. Токарные резцы . . . . .	132
§ 8.1. Классификация резцов . . . . .	132
§ 8.2. Крепление режущих элементов резца . . . . .	139
§ 8.3. Заточка резцов . . . . .	144
Глава 9. Токарные станки . . . . .	145
§ 9.1. Токарно-винторезные станки . . . . .	145
§ 9.2. Лобовые и карусельные станки . . . . .	155
§ 9.3. Токарно-револьверные станки . . . . .	158
§ 9.4. Токарные автоматы и полуавтоматы . . . . .	161
§ 9.5. Одношпиндельные автоматы . . . . .	164
§ 9.6. Многошпиндельные автоматы и полуавтоматы . . . . .	166

### РАЗДЕЛ 4.

<b>ОБРАБОТКА НА СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ . . . . .</b>	<b>173</b>
Глава 10. Обработка отверстий . . . . .	173
§ 10.1. Основные схемы . . . . .	173
§ 10.2. Силы резания и мощность при сверлении . . . . .	178
§ 10.3. Определение основного времени . . . . .	180
Глава 11. Назначение и основные типы инструментов для обработки отверстий . . . . .	181
§ 11.1. Конструктивные особенности инструментов основных типов . . . . .	181
§ 11.2. Геометрические параметры режущей части сверл, зенкеров и разверток . . . . .	186
§ 11.3. Инструменты для расточных работ . . . . .	189
§ 11.4. Комбинированные инструменты . . . . .	191
§ 11.5. Изнашивание и заточка осевого инструмента . . . . .	193

Глава 12. Станки для обработки отверстий . . . . .	196
§ 12.1. Сверлильные станки . . . . .	196
§ 12.2. Расточные станки . . . . .	204
<b>РАЗДЕЛ 5.</b>	
<b>ОБРАБОТКА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ . . . . .</b>	<b>212</b>
Глава 13. Фрезерование и основные типы фрез . . . . .	212
§ 13.1. Особенности фрезерования . . . . .	212
§ 13.2. Элементы режима резания и срезаемого слоя при фрезеровании . . . . .	213
§ 13.3. Силы резания и мощность при фрезеровании . . . . .	217
§ 13.4. Попутное и встречное фрезерование . . . . .	219
§ 13.5. Фрезы для обработки различных поверхностей . . . . .	223
§ 13.6. Типы фрез и их классификация . . . . .	225
§ 13.7. Конструктивные элементы и геометрические параметры цилиндрической и торцовой фрез . . . . .	225
Глава 14. Фрезерные станки, приспособления и вспомогательный инструмент, применяемые при фрезеровании . . . . .	228
§ 14.1. Фрезерные станки . . . . .	228
§ 14.2. Вспомогательный инструмент и приспособления, применяемые на фрезерных станках . . . . .	232
§ 14.3. Делительные приспособления . . . . .	234
§ 14.4. Заточка фрез . . . . .	243
<b>РАЗДЕЛ 6.</b>	
<b>ОБРАБОТКА НА СТРОГАЛЬНЫХ И ДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ . . . . .</b>	<b>246</b>
Глава 15. Особенности строгания и долбления . . . . .	246
§ 15.1. Схемы строгания и долбления . . . . .	246
§ 15.2. Элементы режима резания при строгании (долблении) . . . . .	248
§ 15.3. Конструктивные особенности и геометрические параметры строгальных и долбежных резцов . . . . .	248
Глава 16. Строгальные и долбежные станки . . . . .	250
§ 16.1. Область применения . . . . .	250
§ 16.2. Поперечно-строгальные станки . . . . .	251
§ 16.3. Продольно-строгальные станки . . . . .	253
§ 16.4. Долбежные станки . . . . .	254
<b>РАЗДЕЛ 7.</b>	
<b>ОБРАБОТКА НА ПРОТЯЖНЫХ СТАНКАХ . . . . .</b>	<b>256</b>
Глава 17. Протягивание и протяжной инструмент . . . . .	256
§ 17.1. Протягивание и схемы резания при протягивании внутренних и наружных поверхностей . . . . .	256
	445

§ 17.2.	Элементы режима резания при протягивании . . . . .	260
§ 17.3.	Сила резания при протягивании . . . . .	261
§ 17.4.	Типы протяжек, их конструктивные элементы и геометрические параметры . . . . .	262
<b>Глава 18. Протяжные станки . . . . .</b>		267
§ 18.1.	Классификация и основные параметры	267
§ 18.2.	Горизонтально-протяжные станки . . . . .	267
§ 18.3.	Вертикально-протяжные станки . . . . .	268
§ 18.4.	Протяжные станки непрерывной обработки	269
<b>РАЗДЕЛ 8.</b>		
<b>РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ . . . . .</b>		271
<b>Глава 19. Особенности резьбонарезания . . . . .</b>		271
§ 19.1.	Резьбы и их конструктивные элементы	271
§ 19.2.	Нарезание наружных резьб . . . . .	273
§ 19.3.	Нарезание внутренних резьб . . . . .	274
§ 19.4.	Нарезание резьб резцами и резьбовыми гребенками . . . . .	276
§ 19.5.	Нарезание резьб фрезерованием, шлифованием . . . . .	278
§ 19.6.	Нарезание резьб резьбонарезными головками . . . . .	280
§ 19.7.	Накатывание резьб . . . . .	281
<b>РАЗДЕЛ 9.</b>		
<b>ЗУБООБРАБОТКА . . . . .</b>		284
<b>Глава 20. Зуборезный инструмент и зубонарезание . . . . .</b>		284
§ 20.1.	Инструменты, работающие по методу копирования . . . . .	284
§ 20.2.	Инструменты и технологические процессы для обработки зубчатых колес методом обката . . . . .	288
<b>Глава 21. Зубообрабатывающие станки . . . . .</b>		307
§ 21.1.	Станки для нарезания цилиндрических колес . . . . .	307
§ 21.2.	Станки для нарезания конических зубчатых колес . . . . .	313
§ 21.3.	Станки для отделочной обработки зубчатых колес . . . . .	316
<b>РАЗДЕЛ 10.</b>		
<b>ОБРАБОТКА НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ . . . . .</b>		319
<b>Глава 22. Шлифование и абразивный инструмент . . . . .</b>		319
§ 22.1.	Особенности шлифования . . . . .	319
§ 22.2.	Схемы обработки при шлифовании . . . . .	320
§ 22.3.	Элементы режима резания при шлифовании . . . . .	329
§ 22.4.	Силы резания при шлифовании . . . . .	330
§ 22.5.	Конструкции абразивных инструментов	332

<b>Глава 23. Шлифовальные станки</b> . . . . .	<b>342</b>
§ 23.1. Основные типы шлифовальных станков	342
§ 23.2. Конструктивные особенности универсального плоскошлифовального станка с прямоугольным столом и горизонтальной осью шпинделя . . . . .	343
§ 23.3. Конструктивные особенности универсального круглошлифовального станка . . . . .	345
§ 23.4. Конструктивные особенности внутришлифовального станка . . . . .	346
§ 23.5. Конструктивные особенности бесцентрово-шлифовального станка . . . . .	347
<b>Глава 24. Отделочная обработка</b> . . . . .	<b>350</b>
§ 24.1. Хонингование . . . . .	350
§ 24.2. Суперфиниширование . . . . .	353
§ 24.3. Полирование . . . . .	355
<b>РАЗДЕЛ 11.</b>	
<b>ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА</b> . . . . .	<b>358</b>
<b>Глава 25. Общая характеристика электрофизической и электрохимической обработки</b> . . . . .	<b>358</b>
<b>Глава 26. Электрофизические методы обработки</b> . . . . .	<b>360</b>
§ 26.1. Электроэрозионная обработка . . . . .	360
§ 26.2. Лучевая обработка . . . . .	365
§ 26.3. Ультразвуковая обработка . . . . .	367
<b>Глава 27. Электрохимические методы обработки</b> . . . . .	<b>370</b>
§ 27.1. Электрохимическая обработка . . . . .	370
§ 27.2. Анодно-механическая обработка . . . . .	372
<b>РАЗДЕЛ 12.</b>	
<b>ОБРАБОТКА НА ОБОРУДОВАНИИ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ЦИКЛОМ</b> . . . . .	<b>375</b>
<b>Глава 28. Агрегатные станки</b> . . . . .	<b>375</b>
§ 28.1. Область применения и компоновки . . . . .	375
§ 28.2. Конструкция основных узлов . . . . .	378
§ 28.3. Приспособления, загрузочные устройства и инструмент . . . . .	382
<b>Глава 29. Станки с числовым программным управлением и роботы</b> . . . . .	<b>386</b>
§ 29.1. Назначение и конструктивные особенности станков с ЧПУ . . . . .	386
§ 29.2. Принципы задания и отработки программ на станках с ЧПУ . . . . .	388
§ 29.3. Системы и устройства ЧПУ . . . . .	394
§ 29.4. Типовые конструкции станков с ЧПУ . . . . .	399
§ 29.5. Оснастка и приспособления станков с ЧПУ . . . . .	404
§ 29.6. Промышленные роботы . . . . .	406
<b>Глава 30. Автоматические линии и гибкие производственные системы</b> . . . . .	<b>414</b>
	447

§ 30.1. Конструктивные особенности автоматических линий и их транспортных систем	414
§ 30.2. Системы управления автоматических линий	422
§ 30.3. Гибкие производственные системы	424

## РАЗДЕЛ 13.

<b>ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНКОВ</b>	427
<b>Глава 31. Монтаж металлорежущих станков</b>	427
§ 31.1. Транспортирование станков и выбор фундаментов	427
§ 31.2. Варианты установки и крепления станков	429
<b>Глава 32. Контроль работоспособности станков</b>	432
§ 32.1. Основные виды контроля работоспособности	432
§ 32.2. Особенности проведения контроля работоспособности	432
<b>Глава 33. Модернизация станков</b>	438
§ 33.1. Общетехническая модернизация	438
§ 33.2. Технологическая модернизация	438
Список литературы	442

### УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Гапонкин Вячеслав Александрович, Лукашев Лев Константинович,  
Суворова Тамара Григорьевна

### ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ, МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И СТАНКИ

Редактор *И. С. Форстен*  
Художественный редактор *А. С. Вершинкин*  
Технический редактор *Л. А. Макарова*  
Корректоры: *Л. Л. Георгиевская, А. П. Сизова*

ИБ № 5867

Сдано в набор 11.09.89. Подписано в печать 01.02.90. Т-07016. Формат 84 X  
X108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. печ. л. 23,52. Усл. кр.-отт. 23,52. Уч.-изд. л. 25,08. Тираж 90 000 экз.  
Заказ 875. Цена 1 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,  
107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени  
издательства «Машиностроение» при Государственном комитете СССР по печати.  
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10