

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Допущено Министерством высшего и среднего специального
образования СССР в качестве учебника для студентов
машиностроительных специальностей вузов*



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1977

Авторы: А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин, Н. П. Дубинин, В. П. Каширцев, И. Г. Кременский, Э. Л. Макаров, Е. А. Попов, Ю. А. Степанов

Редакционная коллегия: А. М. Дальский, Н. П. Дубинин, Э. Л. Макаров, Е. А. Попов

Рецензенты: Кафедра «Технология конструкционных материалов» Ленинградского политехнического института и д-р техн. наук проф. В. В. Матвеев

Технология конструкционных материалов. Учебник для Т 38 вузов. М., «Машиностроение», 1977.

664 с. с ил.

На обороте тит. л. авт.: А. М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова и др.

В учебнике рассмотрены технологические методы получения черных и цветных металлов и изготовления заготовок обработкой металлов давлением, литьем, сваркой, а также способы их механической обработки. Описаны современные способы изготовления заготовок и деталей из неметаллических материалов и применяемые для этого технологическое оборудование, инструменты и приспособления. Освещены вопросы создания технологических конструкций деталей машин с учетом методов изготовления и обработки заготовок.

31201-077
Т 038(01)-77 077-77

6ПЗ/6П4

©Издательство «Машиностроение», 1977 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» указано, что главными задачами промышленности являются более полное удовлетворение потребностей народного хозяйства в высококачественной продукции, обеспечение технического перевооружения и интенсификация производства во всех отраслях.

Поставленные задачи должны решать высококвалифицированные инженерные кадры машиностроителей, в деятельности которых применение на практике технологических наук имеет очень большое значение. Создавая конструкции машин и приборов, инженер должен обеспечивать определенные их эксплуатационные технические характеристики и надежность работы, учитывать особенности технологических методов обработки и сборки, а также экономическую целесообразность изготовления конструкций. Для этого инженер широкого профиля должен обладать глубокими технологическими знаниями в области расчета и конструирования машин.

Предметом изучения курса «Технология конструкционных материалов» являются современные рациональные и распространенные в промышленности, наиболее прогрессивные технологические методы формообразования заготовок и деталей машин литьем, обработкой давлением, сваркой, механической обработкой резанием и другими методами. При этом студенты машиностроительных специальностей получают общепрофессиональную технологическую подготовку, которая является фундаментом для специальной технологической подготовки, осуществляемой курсами «Технология механо-сборочного производства».

Учебник написан коллективом преподавателей МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Разделы учебника написаны: I — канд. техн. наук И. А. Арутюновой и докторами техн. наук профессорами Ю. А. Степановым и Н. П. Дубининым; II — д-ром техн. наук проф. Ю. А. Степановым; III — д-ром техн. наук проф. Е. А. Поповым и ст. преподавателем И. Г. Кременским; IV — д-ром техн. наук проф. Н. П. Дубининым; V — д-ром техн. наук Э. Л. Макаровым и канд. техн. наук И. А. Арутюновой; VI — д-ром техн. наук проф. А. М. Дальским, кандидатами техн. наук Л. Н. Бухаркиным и Т. М. Барсуковой; VII и VIII — канд. техн. наук В. П. Каширцевым.

Глава I. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Технически чистые металлы характеризуются низким пределом прочности, поэтому в машиностроении применяют главным образом их сплавы. Сплавы на основе железа называют черными, к ним относят стали и чугуны; на основе алюминия и магния — легкими цветными; на основе меди, свинца, олова — тяжелыми цветными; на основе цветных тугоплавких металлов титана, молибдена, ниобия, циркония, вольфрама, ванадия и др. — тугоплавкими.

1. Кристаллическое строение металлов

Все металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение. Атомы в твердом металле образуют пространственную кристаллическую решетку. Воображаемые линии, проведенные через центры атомов, образуют кристаллографическую плоскость. Многократное повторение расположенных параллельно кристаллографических плоскостей воспроизводит пространственную кристаллическую решетку. На рис. 1.1, а—в показаны основные типы кристаллических решеток.

Расстояния между атомами называются параметрами решеток и измеряются в ангстремах ($\text{Å} = 10^{-8}$ см). С повышением температуры или давления параметры решеток могут изменяться. Некоторые металлы в твердом состоянии при различных температурных интервалах приобретают различную кристаллическую решетку, что всегда приводит к изменению их физико-химических свойств.

Существование одного и того же металла в нескольких кристаллических формах носит название аллотропии, или полиморфизма. Перестройка кристаллических решеток при определенных критических температурах называется аллотропическими превращениями—формами, обозначаемыми греческими буквами α , β , γ и другими, которые в виде индекса добавляют к символу элемента. Аллотропическую форму при самой низкой температуре обозначают буквой α , при более высокой температуре — β и т. д.

Так, например, железо при нагреве испытывает ряд аллотропических превращений:

1) при температуре $1539 - 1400^\circ \text{C}$ имеет решетку о. ц. к. с параметром $2,93 \text{ Å}$ и обозначается Fe_δ ;

2) при температуре $1400 - 910^\circ \text{C}$ имеет решетку г. ц. к. с параметром $3,6 \text{ Å}$ и обозначается Fe_γ (немагнитно);

3) при температуре $910 - 768^\circ \text{C}$ превращается в Fe_β и имеет решетку о. ц. к. с параметром $2,93 \text{ Å}$ (немагнитно);

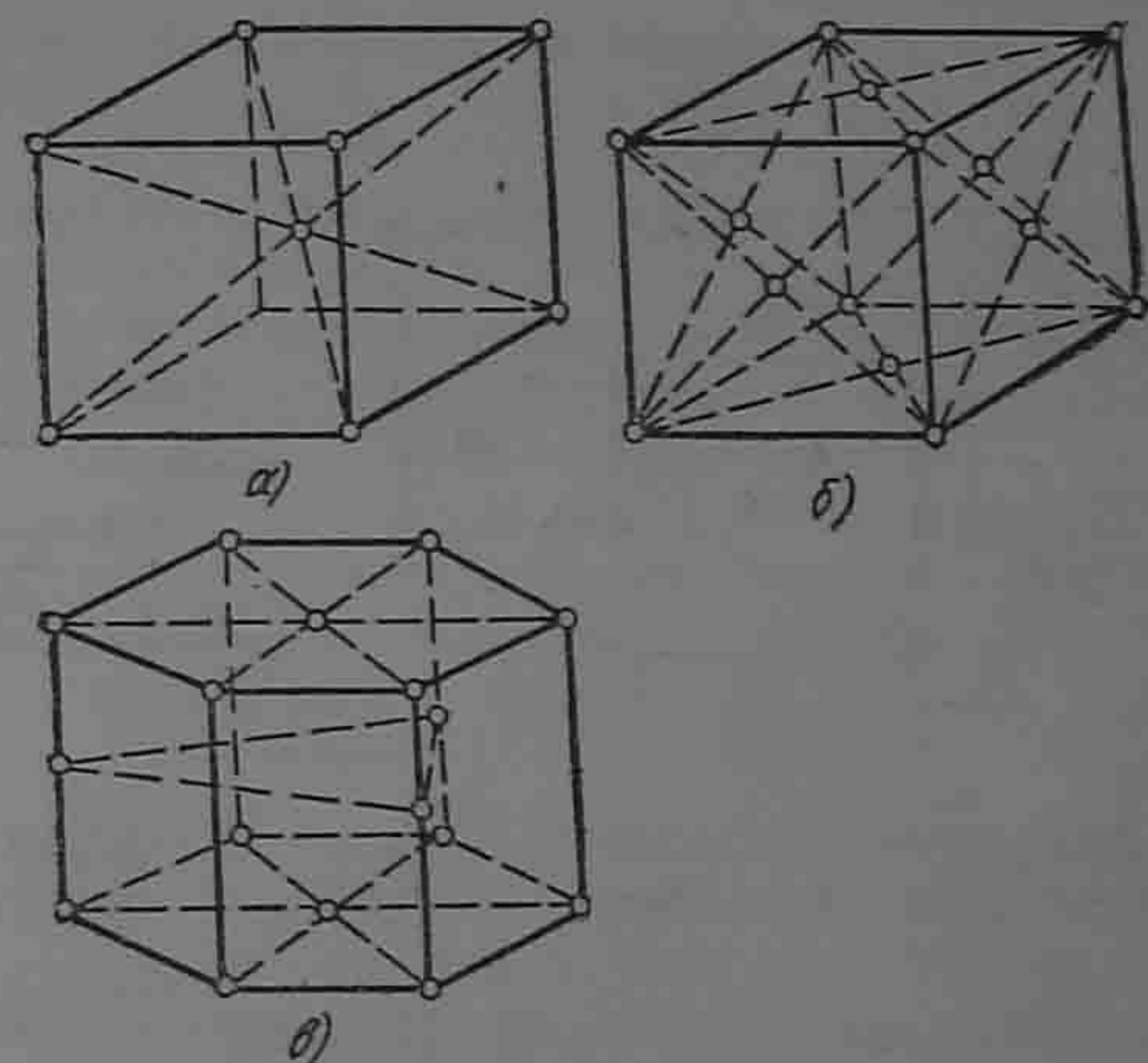


Рис. 1.1. Кристаллическая решетка:

а — объемно-центрированного куба (о. ц. к.); б — гранецентрированного куба (г. ц. к.); в — гексагональная плотно упакованная

4) при температуре менее 768°C Fe_β превращается в магнитное Fe_α .

Кроме железа, ряд металлов (марганец, кобальт, олово и др.) также обладает свойствами полиморфизма.

2. Кристаллическое строение сплавов

Под сплавом подразумевается вещество, полученное сплавлением двух элементов или более. Элементами сплава могут быть металлы и металлоиды. Эти элементы называются компонентами сплава. В сплаве, кроме основных компонентов, могут быть и примеси. Примеси бывают полезные, улучшающие свойства сплава, и вредные, ухудшающие его свойства. Примеси могут быть случайные, попадающие в сплав при его приготовлении, и специальные, которые вводят для придания ему требуемых свойств.

Кристаллическое строение сплава более сложное, чем чистого металла, и зависит от взаимодействия его компонентов при кристаллизации. Компоненты в твердом сплаве могут образовывать механическую смесь, химическое соединение и твердый раствор.

Механическая смесь — отсутствует взаимодействие между компонентами, нет взаимного растворения, компоненты не вступают в химические реакции и их кристаллические решетки различны; например, эвтектические сплавы, имеющие самую низкую температуру плавления.

Химическое соединение — компоненты сплава вступают в химическое взаимодействие, при этом образуется новая кристаллическая решетка. Компоненты имеют строгое соотношение по массе; например, поваренная соль (NaCl).

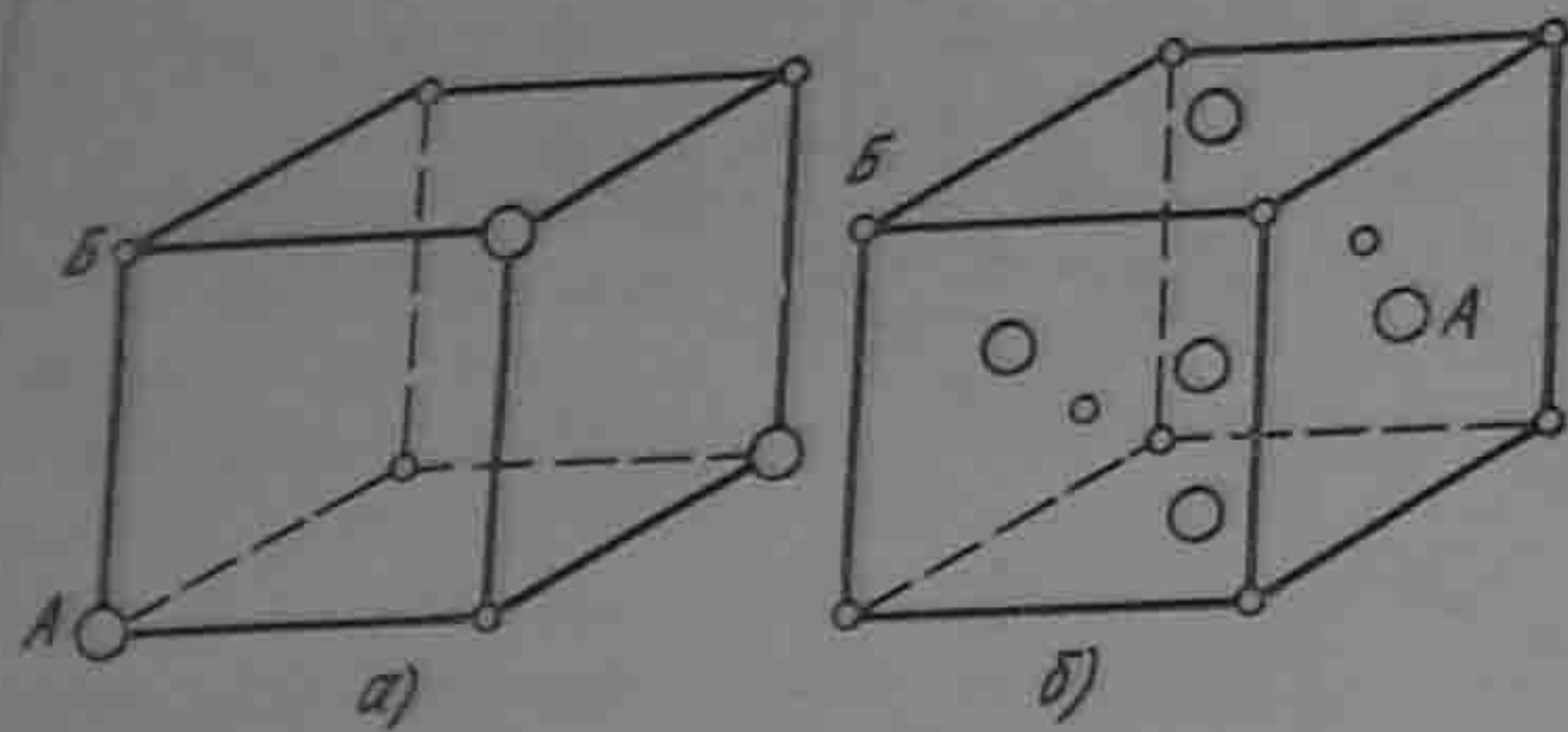


Рис. 1.2. Виды твердых растворов:

a — замещения; *б* — внедрения; *A* — атомы компонента растворителя; *B* — атомы растворенного компонента

Твердые растворы — компоненты сплава взаимно растворяются друг в друге, при этом образуется общая кристаллическая решетка. Компоненты сплава могут входить в кристаллическую решетку в интервалах концентраций. Различают два основных вида твердых растворов: замещения и внедрения (рис. 1.2, *a*, *б*).

В твердых растворах замещения атомы растворенного компонента замещают в решетке атомы растворителя. В твердых растворах внедрения атомы растворенного компонента размещаются между атомами растворителя. Примером твердого раствора внедрения может служить γ -железо ($\text{Fe}\gamma$), в котором растворяется углерод.

3. Кристаллизация сплавов

Процесс перехода из жидкого состояния в твердое с образованием кристаллических решеток (кристаллов) называется первичной **кристаллизацией**.

Кристаллическое строение сплава называется его **структурой**. Свойства сплавов зависят от образующейся в процессе кристаллизации структуры. Процесс кристаллизации начинается с образования кристаллических зародышей — центров кристаллизации. **Скорость кристаллизации** зависит от скорости зарождения центров кристаллизации и скорости роста кристаллов; чем больше число образующихся зародышей и скорость их роста, тем быстрее протекает процесс кристаллизации.

Структура сплава зависит от формы, ориентировки кристаллических решеток в пространстве и от скорости кристаллизации.

Центрами кристаллизации могут быть группы элементарных кристаллических решеток, неметаллические включения и тугоплавкие примеси. Кристаллизация сплава обычно начинается от стенок формы (изложницы). С наибольшей скоростью кристаллы растут в направлении, противоположном отводу теплоты, т. е. перпендикулярно стенке формы.

Если при кристаллизации рост решеток не ограничивается, то получаются кристаллы неограниченного размера древовидной формы — дендриты (рис. 1.3). Так как процесс кристаллизации происходит из многих центров кристаллизации, то ветви дендритов при росте могут ограничивать друг друга и искажаться. Кристаллы неправильной формы называются **зернами**. Зерно — это комплекс одинаково ориентированных кристаллических решеток, а комплекс зерен — это **поликристалл** (рис. 1.4).

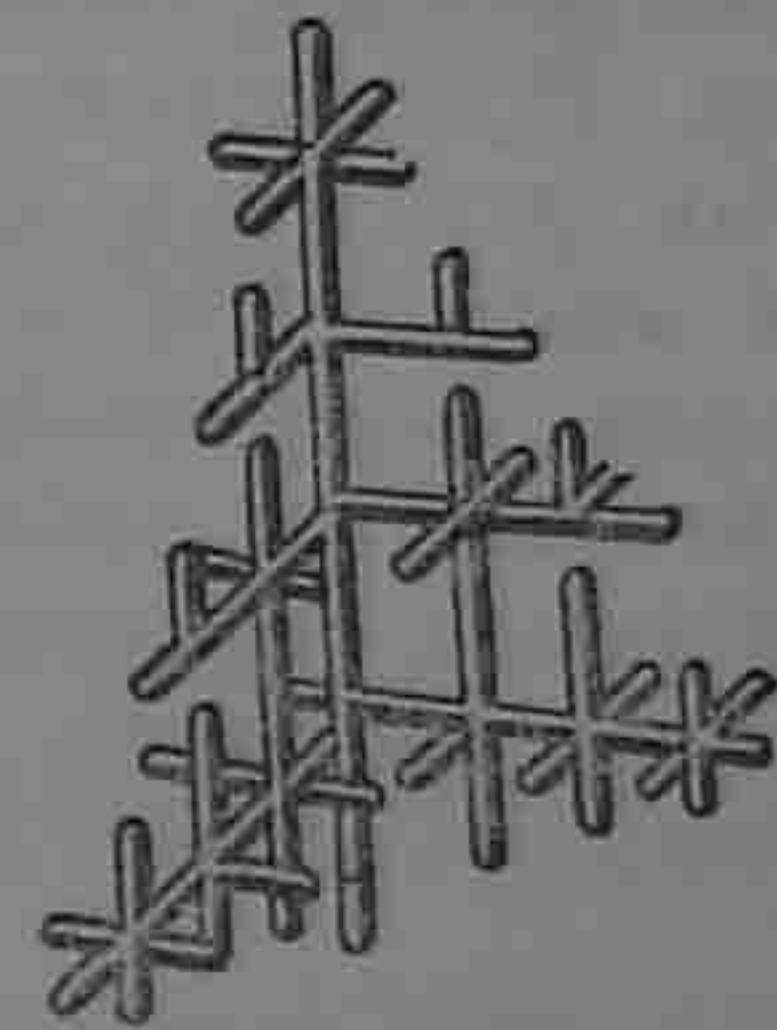


Рис. 1.3. Кристалл древовидной формы

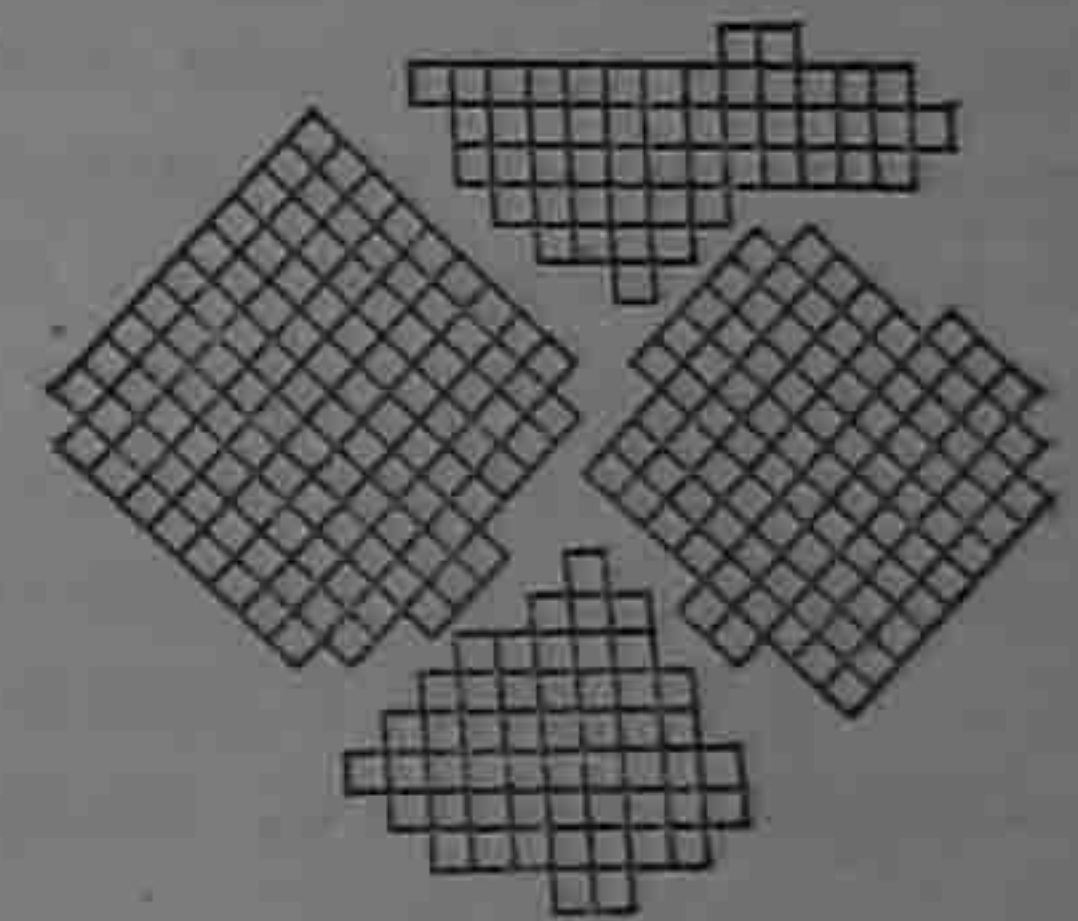


Рис. 1.4. Строение поликристалла

Зерна отличаются различной ориентацией кристаллических решеток; размер зерен составляет 1 — 10 000 мкм. Зерна повернуты относительно друг друга на десятки градусов. На границах зерен имеется поврежденный переходный слой толщиной порядка нескольких атомных слоев, свойства и химический состав которого может отличаться от сердцевины.

Кристаллические решетки зерна могут иметь различные несовершенства, которые возникают в результате образования вакансий — мест, не занятых атомами; дислоцированных атомов (вышедших из узла решетки и занявших междуузленное место); примесных атомов, внедренных в кристаллическую решетку. В результате таких несовершенств зерно разделяется на блоки и имеет структуру, которая называется **микромозаичной**. Отдельные мозаики повернуты относительно друг друга на небольшие углы, составляющие $\sim 1^\circ$. Решетки соседних блоков не совпадают по ориентации; смыкание решеток сопряжено с нарушением их правильности.

Причина возникновения вакансий или незаполненных углов кристаллической решетки — нарушение правильности порядка присоединения атомов при росте кристалла или сильное искажение решетки при пластическом деформировании. Число ва-

кансий зависит от температуры (может достигать 2% от объема кристалла): чем выше температура, тем больше концентрация вакансий. Искажение кристаллической решетки и состояние границ зерен в металлах влияют на свойства зерен. Например, прочность может увеличиваться вследствие искажения кристаллической решетки вблизи границ или уменьшаться из-за наличия примесей, которые всегда присутствуют в расплаве. Примеси, растворенные в жидком металле, могут также измельчать зерно и изменять его форму. Примеси при затвердевании в виде тонкого слоя осаждаются на поверхности растущего кристалла и ограничивают его рост. Чем больше скорости охлаждения и зарождения центров кристаллизации, тем больше скорость кристаллизации и тем мельче зернистая структура сплава. При мелкозернистой структуре механические свойства сплава повышаются. При переходе сплава из жидкого в твердое состояние происходит усадка, сопровождаемая изменением удельного объема зерна. В результате усадки между зернами в местах соприкосновения растущих дендритов, в междоузлиях пространства образуются микропустоты, которые могут заполняться примесями (сульфидами, фосфидами и т. п.) или образовывать микроскопические усадочные раковины и поры. Такие примеси и поры ухудшают механические свойства сплава, так как при его нагреве и приложении к нему нагрузок являются очагами развития трещин, надрывов и тому подобных дефектов.

4. Свойства металлов и сплавов

К основным свойствам металлов и сплавов относятся механические, физико-химические, технологические и эксплуатационные.

Механические свойства. Основными из них являются прочность, пластичность, твердость и вязкость. Внешняя нагрузка вызывает в твердом теле напряжение и деформацию. *Напряжение* — величина нагрузки (силы), отнесенная к единице площади сечения, в МН/м²:

$$\sigma = \frac{P}{F_0},$$

где P — нагрузка, МН; F_0 — начальная площадь, м².

Напряжение, приложенное к металлу всегда вызывает деформацию. *Деформация* — изменение формы и размеров тела под влиянием приложенных внешних сил или в результате физико-механических процессов, возникающих в самом теле (например, структурных превращений, усадки и т. п.). Деформация может быть *упругая*, исчезающая после снятия нагрузки, и *пластическая*, остающаяся после снятия нагрузки.

Упругая деформация при увеличении нагрузки переходит в пластическую; при дальнейшем повышении нагрузки происходит разрушение тела.

На рис. 1.5 изображена диаграмма нагрузка — деформация, типичная для низкоуглеродистой стали. По оси ординат откладывают нагрузки, а по оси абсцисс — абсолютные удлинения.

Упругая деформация характеризуется прямой линией $OP_{пц}$; на этом участке сохраняется пропорциональность между удлинением и нагрузкой. При упругой деформации под действием внешней силы в кристаллической решетке изменяется расстояние между атомами. Снятие нагрузки устраняет и причину, вызывающую изменение межатомного расстояния, при этом деформация исчезает.

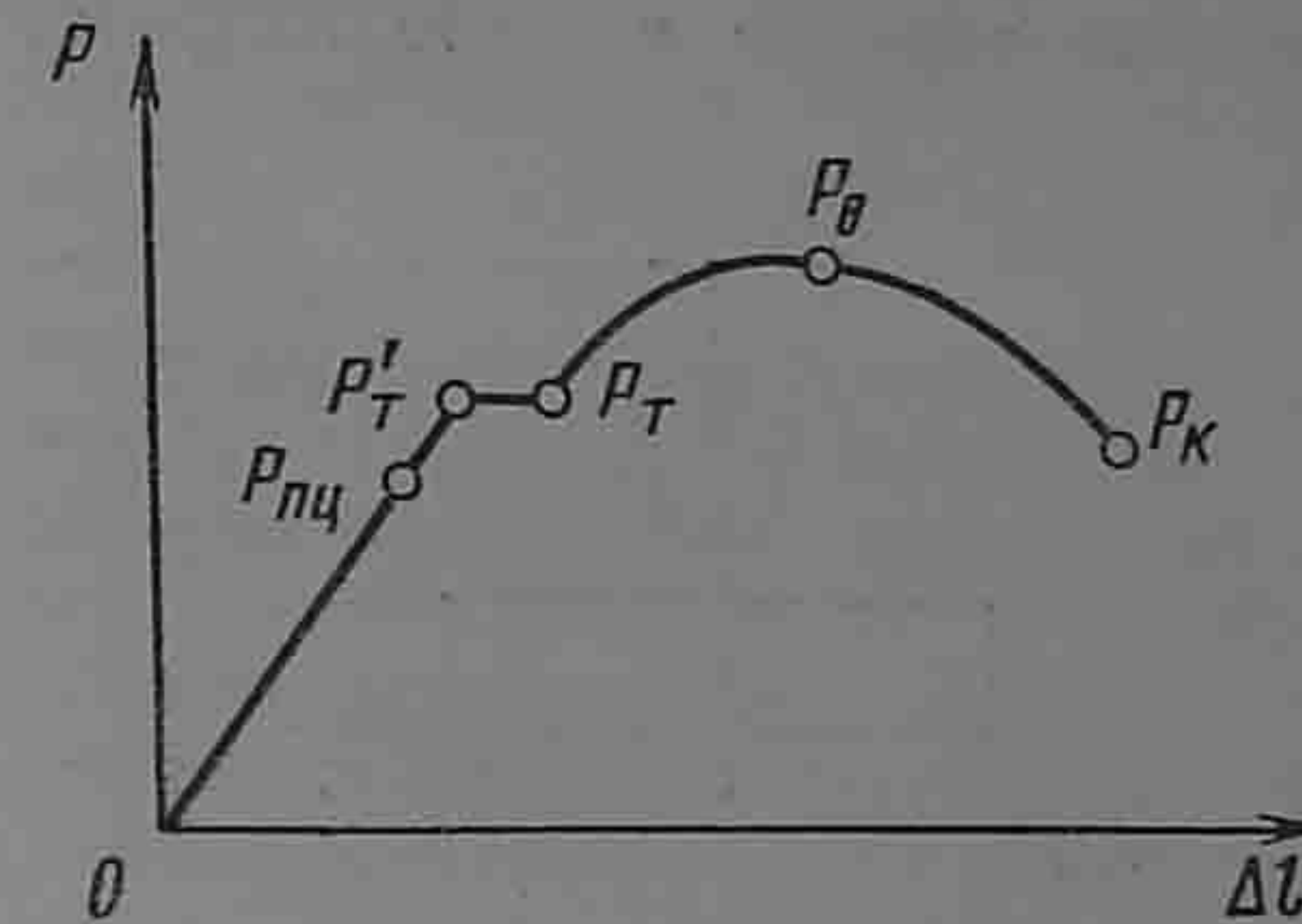


Рис. 1.5. Диаграмма нагрузка — деформация:

$P_{пц}$ — нагрузка при пределе пропорциональности; $P_{Т'}$ — нагрузка при верхнем пределе текучести; $P_{Т}$ — постоянная нагрузка; $P_{σ}$ — нагрузка при предельной прочности; $P_{К}$ — нагрузка в момент разрушения образца

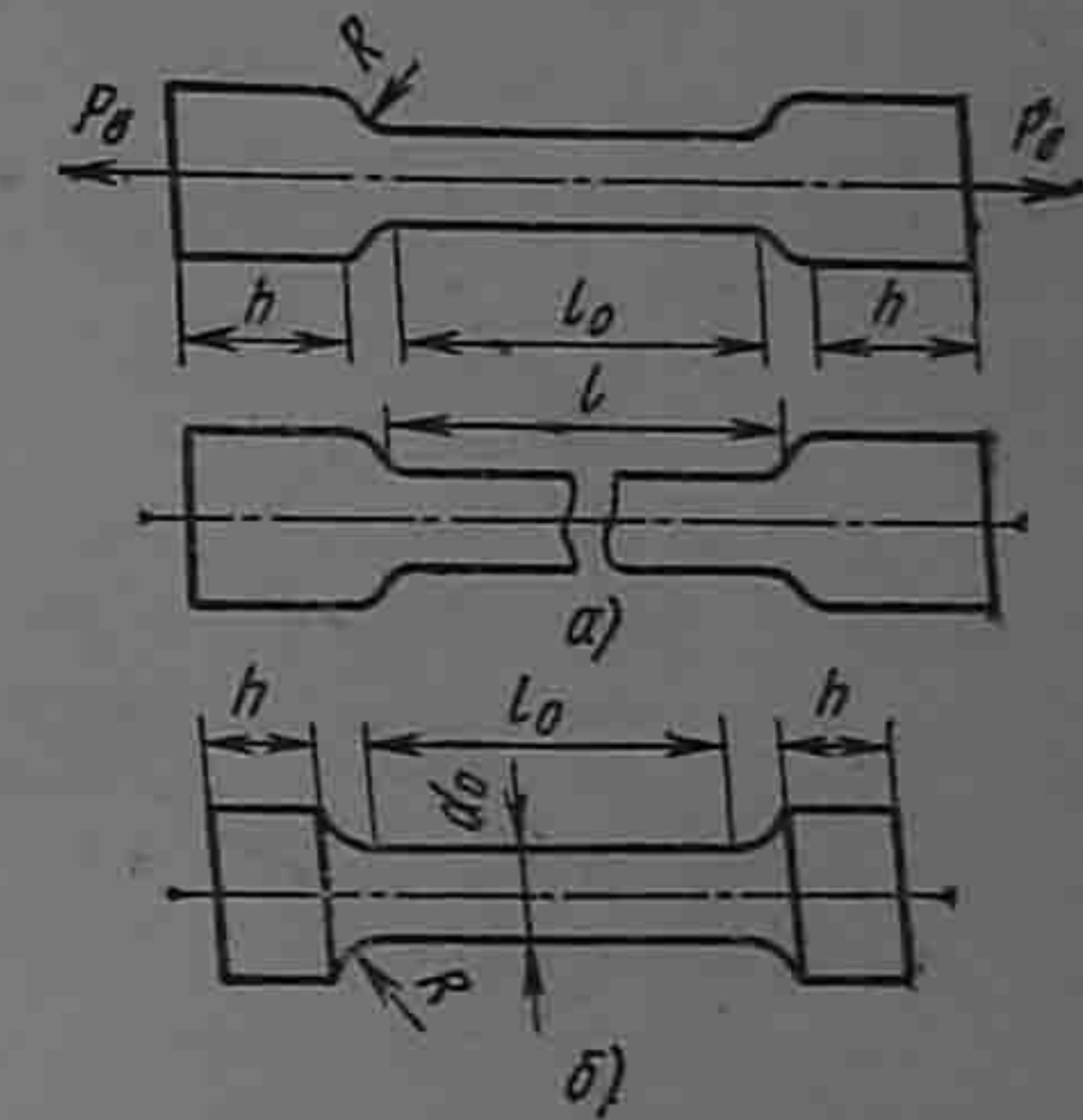


Рис. 1.6. Образцы для испытания на прочность и пластичность:

a — плоский для испытания на растяжение; b — круглый; h — длина головки; закрепляемой в захватах машины; l_0 — расчетная длина образца до испытания; l — длина образца после испытания; R — радиус закругления; d_0 — диаметр цилиндрического образца до испытания

Выше точки $P_{пц}$ нарушается пропорциональность между напряжением и деформацией. Напряжения вызывают не упругую, а пластическую деформацию. В пределах участка $P_{Т'} - P_{Т}$ (площадка текучести) удлинение происходит при постоянной нагрузке $P_{Т}$. Таким образом, пластической деформации всегда предшествует упругая.

Прочность — это способность твердого тела сопротивляться деформации или разрушению под действием статических или динамических нагрузок. Прочность определяют с помощью специальных механических испытаний образцов, полученных из исследуемой детали или материала, из которого ее изготавливают.

Различают *статические* и *динамические* приложения нагрузок. Для определения прочности при статических нагрузках образцы испытывают на растяжение, сжатие, изгиб и кручение. Испытания на растяжение — обязательны. Предел прочности (временное со-

противление разрыву) в МН:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$$

На рис. 1.6, а, б представлены типовые образцы прямоугольного и круглого сечений для испытания на растяжение.

Прочность при динамических нагрузках определяют по данным испытаний на ударную вязкость, на предел выносливости и ползучесть. Наиболее часто применяют испытания на ударную вязкость в МН·м/м²:

$$a_H = \frac{A}{F}$$

где A — работа излома; F — площадь образца в месте надреза.

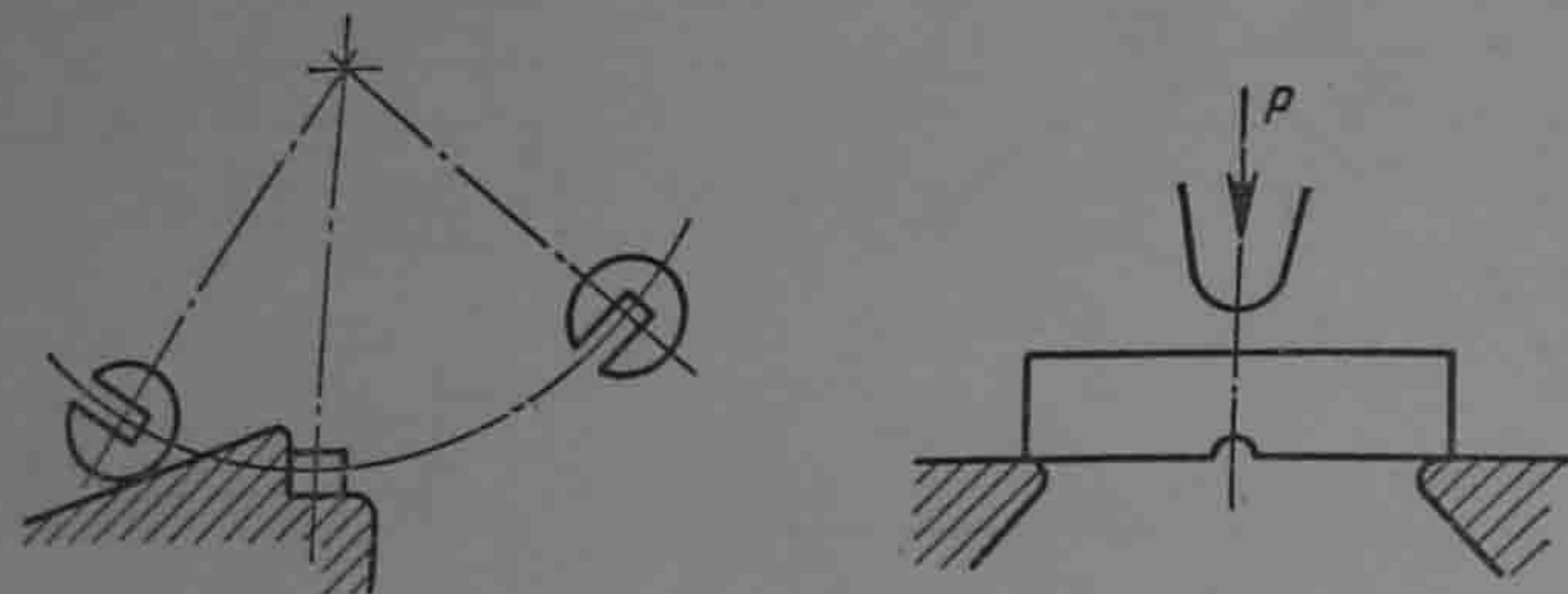


Рис. 1.7. Образец для испытания на ударную вязкость

На рис. 1.7 дан типовой образец для определения ударной вязкости.

Пластичность — это способность материала получать остаточное изменение формы и размера без разрушения. Пластичность определяется относительным удлинением δ образца при разрыве:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} 100\%$$

где l — длина образца после разрыва, мм; l_0 — первоначальная длина образца, мм.

На рис. 1.6, а представлен типовой образец для определения относительного удлинения.

Твердость — это способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела. Твердость и ее размерность для одного и того же материала обуславливаются применяемым методом измерения. Например, твердость по Бринеллю (H_B) в МН/м² определяют из отношения нагрузки P , приложенной к шару, к поверхности полученного отпечатка шарика:

$$H_B = \frac{P}{F_{отп}}$$

На рис. 1.8 приведена схема, по которой измеряют твердость; твердость пересчитывают по таблицам и эмпирическим формулам.

В таблице даны физико-механические свойства металлов и сплавов, получивших наибольшее распространение в машиностроении.

Физико-механические свойства металлов и сплавов

Металл, сплав	γ , г/см ³	σ_B , МН/м ²	δ , %	H_B , МН/м ²
Железо 99,99	7,57	250—300	50	800—900
Сталь 30	7,8	500—550	15—20	1200
Высокопрочные стали	—	1600—2400	7—20	2400—3800
Алюминий	2,7	50—120	10—25	2500—3000
Сплавы алюминия	2,55—2,80	150—600	2—8	550—1000
Титан	4,5	300—750	20—40	1800—2800
Сплавы титана	—	1600—1700	15—20	150—200

Физические свойства. К физическим свойствам металлов и сплавов относятся температура плавления, плотность, коэффициенты линейного и объемного расширения, электропроводность

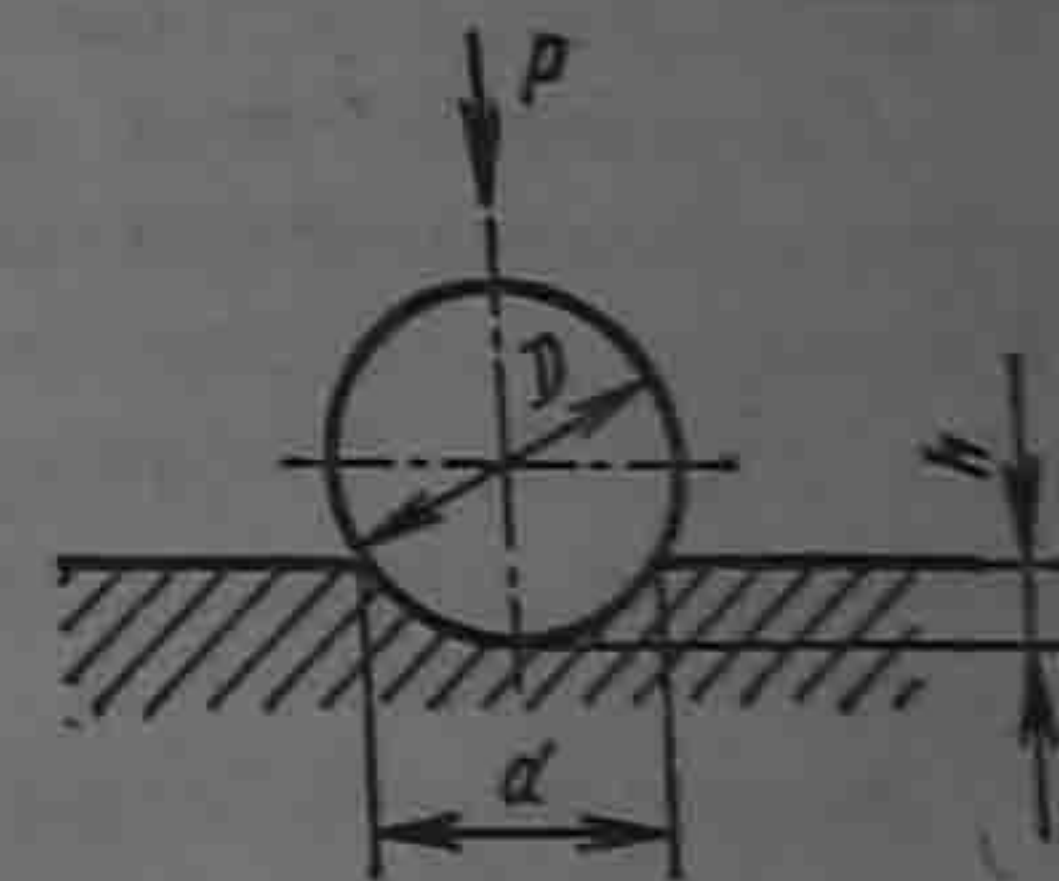


Рис. 1.8. Образец для испытания твердости:

D — диаметр шарика, мм; d — диаметр отпечатка, мм; h — глубина отпечатка, мм

и теплопроводность. Физические свойства сплавов обуславливаются их составом и структурой. Состав металлов и сплавов определяют химическим, спектральным и фазовым анализами; структуру металла и сплава — рентгено-структурным и магнито-структурным анализами, металлографией и магнитной металлографией; электрические свойства сплавов — их электросопротивлением.

Химические свойства. К химическим свойствам относятся химическая активность, способность к химическому взаимодействию с агрессивными средами; антикоррозионные свойства. Для определения химических свойств металлы и сплавы испытывают на общую коррозию в различных средах, межкристаллитную коррозию и на коррозионное растрескивание.

Технологические свойства. Способность материала подвергаться различным методам горячей и холодной обработки определяют по его технологическим свойствам.

Технологические свойства металлов и сплавов характеризуются литейными свойствами, ковкостью, свариваемостью и обрабатываемостью режущим инструментом.

Литейные свойства определяются жидкотекучестью, усадкой и склонностью к ликвации. **Жидкотекучестью** называют способность сплава заполнять литейную форму. **Усадкой** называется сокращение объема и размеров металла отливки при затвердевании и последующем охлаждении.

Ликвацией называется неоднородность химического состава твердого сплава по сечению слитка. Чугун обладает высокими литейными свойствами — хорошей жидкотекучестью, небольшой усадкой и незначительной склонностью к ликвации. Сталь имеет меньшую, чем чугун, жидкотекучесть, но большую усадку и склонность к образованию ликвации. Оловянистые бронзы обладают хорошей жидкотекучестью и малой усадкой.

Ковкостью металла называется его способность деформироваться при наименьшем сопротивлении и принимать необходимую форму под влиянием внешней нагрузки без разрушения. Металлы можно подвергать ковке в холодном и нагретом состояниях. В нагретом состоянии ковкость металла обычно выше. Хорошую ковкость имеет сталь в нагретом состоянии; чугун этим свойством не обладает. Алюминиевые сплавы и латуни обладают ковкостью в холодном состоянии.

Свариваемость называется способность металлов и сплавов образовывать неразъемные соединения с требуемыми свойствами. Хорошая свариваемость у низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Высокоуглеродистые и высоколегированные стали, некоторые цветные металлы и сплавы имеют худшую свариваемость.

Эксплуатационные, или служебные свойства. К этим свойствам относятся хладостойкость, жаропрочность, антифрикционность, способность прирабатываться к другому материалу. Эти свойства определяют в зависимости от условий работы машины или конструкции специальными испытаниями.

5. Диаграмма состояния

В сплавах при охлаждении происходят изменения и образуются новые фазы и структуры. Эти изменения можно определить по диаграмме состояния. **Диаграммой состояния** называется графическое изображение, показывающее в условиях равновесия фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от температуры и химической концентрации компонентов.

Фаза — однородная часть системы, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую свойства сплава изменяются скачкообразно.

При построении диаграмм состояния используют термический метод, т. е. строят кривые охлаждения для каждого сплава. Горизонтальные площадки и точки перегиба на этих кривых соответствуют превращениям в сплаве и называются критическими. После определения температуры превращения большого числа

сплавов строят общую диаграмму состояния. На рис. 1.9 показаны кривые охлаждения (1—6) для сплавов Pb—Sb. Геометрическое место точек начала кристаллизации 1—6 образует линию ликвидуса ACB, а точки, определяющие полное затвердевание сплава, — линию солидуса DCE. Оба компонента (свинец и сурьма) в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом обладают полной нерастворимостью и не образуют химических соединений друг с другом. На линии AC жидкие сплавы начинают выделять при охлаждении кристаллы свинца, а на линии CB — кристаллы сурьмы. В точке C из жидкого сплава, содержащего 13% Sb и 87% Pb, выделяются одновременно кристаллы свинца и сурьмы, образуя структуру механической смеси, называемую **эвтектикой**. Одновременное выделение обеих фаз приводит к тому, что эвтек-

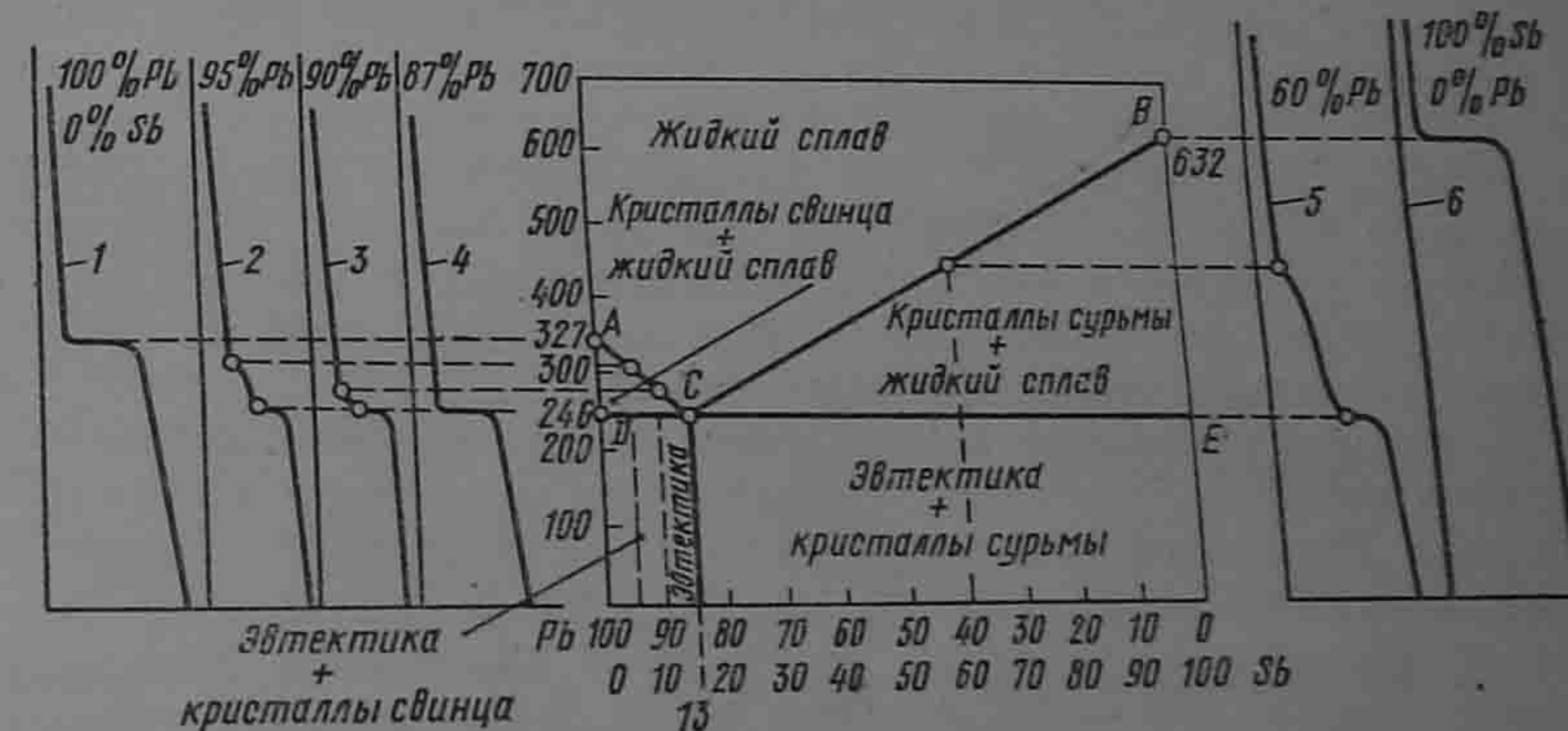


Рис. 1.9. Кривые охлаждения сплавов

тический сплав затвердевает при постоянной температуре, так же как и чистые металлы (кривые 1, 4 и 6). Сплавы с иным содержанием свинца и сурьмы затвердевают в интервале температур между линиями ACB и DCE. В них сначала выделяется свинец (если < 13% Sb) или сурьма (если > 13% Sb) и лишь затем при эвтектической температуре, равной 246° С, происходит превращение оставшейся жидкости в эвтектику. Сплавы металлов характеризуются различными типами диаграмм состояния. Большое практическое значение имеет диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. В зависимости от температуры и концентрации углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие составляющие:

1) **аустенит** — твердый раствор углерода в γ -железе с предельной концентрацией 2,14% С при температуре 1145° С; с понижением температуры до 723° С концентрация снижается до 0,8% С; сталь со структурой аустенита, немагнитна и имеет хорошую пластичность и вязкость;

2) **феррит** — твердый раствор углерода в α -железе с предельной концентрацией 0,02% С при температуре 723° С; феррит имеет небольшую твердость и высокую пластичность;

3) **цементит** — химическое соединение железа с углеродом (6,67% С); имеет большие твердость и хрупкость;

4) **перлит** — механическая смесь феррита и цементита, образующая при эвтектоидном распаде аустенита (0,8% С); сталь, имеющая структуру перлита, обладает большими прочностью и твердостью;

5) **ледебурит** — механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита (4,3% С); ниже температуры 723° С аустенит в ледебурите превращается в перлит, при этом образуется смесь перлита и цементита;

6) **графит** — углерод в свободном состоянии, располагается в основной массе металла и имеет развитую объемную форму в виде пластинок или завихрений; кроме пластинчатого графита, можно получить графит компактных форм (шаровидный или хлопьевидный), образующийся за счет распада цементита или выделяющийся из пересыщенных твердых растворов железа с углеродом.

Кроме указанных основных составляющих, в железоуглеродистых сплавах могут быть нежелательные неметаллические включения: фосфиды, окислы, нитриды, сульфиды.

Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов. Основные свойства стали определяются содержанием ее главной примеси — углерода. Взаимодействие углерода с α - или γ -модификациями железа приводит к образованию железоуглеродистых сплавов, различных по строению и свойствам. Построение диаграммы состояния железо-цементит (Fe — Fe₃C) дает представление о температурных и концентрационных границах существования этих сплавов.

В цементите содержится 6,67% С. Сплавы с более высоким содержанием углерода не применяют.

Диаграмма состояния железо-цементит представлена на рис. 1.10. Линия *ACD* является линией ликвидуса, выше которой сплав находится в жидком состоянии; линия *AECF* — линией солидуса, ниже которой сплав находится в твердом состоянии. При температурах, соответствующих этой линии, заканчивается первичная кристаллизация. В точке *C* при 4,3% С линия ликвидуса соприкасается с линией солидуса, и кристаллизация сплава происходит при постоянной температуре 1145° С.

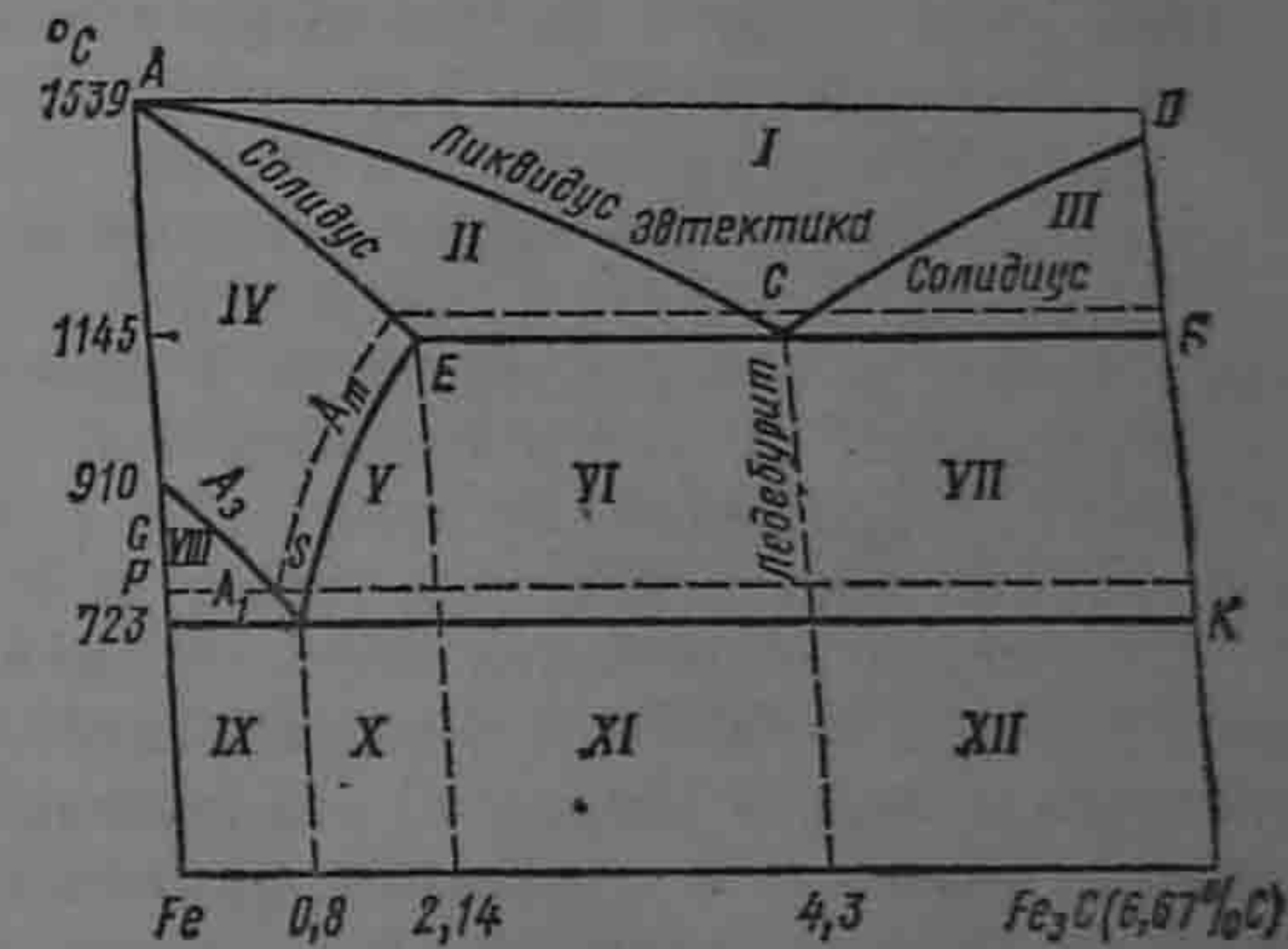
Линия *PSK* — эвтектоидная линия, на которой заканчивается процесс вторичной кристаллизации. Линия нижних критических точек — линия *A₁*. Линия *GSE* — начало процесса вторичной кристаллизации из твердого раствора. Линия *GS* — линия верхних кристаллических точек *A₃*; она показывает температуру начала выделения феррита из аустенита. Линия *SE* — линия верхних критических точек *A_m*; она показывает температуру начала выделения вторичного цементита и является линией предельной растворимости углерода в аустените. Сплавы, содержа-

щие до 2,14% С, условно называют сталями, свыше 2,14% С — чугунами. Сталь, содержащая 0,8% С, называется эвтектоидной сталью; сталь, содержащая 0,02—0,8% С, — доэвтектоидной сталью и содержит феррит и перлит. Стали, содержащие более 0,8% С, относятся к заэвтектоидным сталям и содержат перлит и цементит.

При содержании в железоуглеродистом сплаве $\geq 1,5\%$ Si или при очень медленном его охлаждении вместо цементита может выделиться графит. Диаграмма состояния железо-графит на рис. 1.10 нанесена штриховыми линиями. Чугун, содержащий 4,3% С, называют эвтектическим, менее 4,3% С — доэвтектическим и более 4,3% С — заэвтектическим. Чугуны без свободного графита только с ледебуритом называют белыми, в изломе они имеют белый цвет; чугуны с ледебуритом и графитом — полови-

Рис. 1.10. Диаграмма железо — цементит:

I — жидкий сплав; *II* — жидкость + аустенит; *III* — жидкость + цементит; *IV* — аустенит; *V* — аустенит + вторичный цементит; *VI* — вторичный цементит + ледебурит + аустенит; *VII* — первичный цементит + ледебурит; *VIII* — феррит + перлит; *IX* — феррит + перлит; *X* — перлит + вторичный цементит; *XI* — перлит + вторичный цементит + ледебурит; *XII* — ледебурит + вторичный цементит



чатыми. Чугуны, в которых весь углерод или его большая часть находится в виде графита, а в виде цементита содержится не более 0,8% С, называются серыми и имеют в изломе серый цвет.

Практическое применение диаграммы Fe—Fe₃C. Диаграмму Fe — Fe₃C используют для определения видов и температурных интервалов при термической обработке стали и при обработке давлением, температуры плавления и заливки сплава и литейных свойств сплава (жидкотекучести, усадки).

Основой процессов термической обработки является полиморфизм железа и его твердых растворов на базе α - и γ -железа, определяющих структуру стали. Полиморфные превращения стали данного состава происходят в определенном интервале температур, ограниченном нижней *A₁* и верхней *A₃* критическими точками.

В результате полиморфизма происходит перекристаллизация в твердом состоянии. Перекристаллизация — это изменение кристаллического строения стали при ее нагреве или при медленном охлаждении до определенных температур.

Таким образом, **термическая обработка** заключается в нагреве сплавов до определенных температур, выдержке их при этих т-

пературах и последующем охлаждении с различной скоростью. При этом изменяется структура сплава, а следовательно, и его свойства. Изменяя режим термической обработки, можно получить различные физико-механические свойства и структуры железистоуглеродистых сплавов.

Основными операциями термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг — фазовая перекристаллизация, нагрев доэвтектоидной стали выше точки A_3 , заэвтектоидной выше точки A_m с последующим охлаждением вместе с печью. При полном отжиге структура сплава состоит из феррита и перлита (доэвтектоидные стали) или из перлита и вторичного цементита (заэвтектоидные стали). Отжиг снимает внутренние напряжения, понижает твердость и повышает пластичность, устраняет структурную неоднородность. Неполный отжиг — нагрев выше точки A_1 , но ниже A_3 ; происходит неполная фазовая перекристаллизация.

Нормализация — нагрев выше точки A_3 , охлаждение на воздухе, измельчает зерно и повышает прочность.

Закалка — нагрев выше точки A_3 , быстрое охлаждение в воде или масле; повышает твердость и прочность.

Регулируя скорость охлаждения, можно получать промежуточные превращения аустенита, в результате чего образуются структуры мартенсита, троостита и сорбита.

Структура мартенсита образуется в результате перехода решетки твердого раствора γ -железа (аустенита) в решетку твердого раствора α -железа (феррита) без выделения углерода из раствора. Переход γ -железа в α -железо сопровождается изменением объемов кристаллических решеток, что вызывает появление внутренних дополнительных напряжений. Мартенсит представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе с искаженной кристаллической решеткой. Сплав со структурой мартенсита обладает большой твердостью и прочностью.

Структура троостита образуется в результате превращения аустенита и представляет собой смесь феррита и цементита с высокой дисперсностью. Игольчатый троостит называется бейнитом. Троостит получается при более медленном охлаждении и имеет меньшую твердость и прочность, чем мартенсит.

Структура сорбита образуется в результате превращения аустенита при более медленном охлаждении, чем у троостита. Сорбит — грубая дисперсная смесь феррита и цементита.

Структура перлита образуется в результате медленного охлаждения сплава вместе с печью и является у эвтектоидных сталей конечной структурой распада аустенита; у доэвтектоидных сталей конечной структурой будет феррит и перлит; у заэвтектоидных сталей — перлит и цементит.

Отпуск — нагрев ниже точки A_1 и медленное охлаждение; применяют как сопутствующую операцию при закалке для получения более устойчивых структур. Высокий отпуск — нагрев до

700°C ; применяют для повышения пластичности и обрабатываемости при сохранении прочности закаленной стали; низкий отпуск нагрев до 250°C ; применяют для повышения вязкости закаленной стали при сохранении прочности.

Температурный интервал при обработке давлением. Этот интервал находится ниже линии солидуса на $100\text{—}150^\circ\text{C}$ (верхний предел) и выше линии критических точек A_3 на $50\text{—}70^\circ\text{C}$ (нижний предел). При нагреве выше верхнего предела происходит рост зерна и увеличение хрупкости (перегрев). Перегрев исправляют отжигом или нормализацией.

При нагреве до температуры, близкой к линии солидуса, происходит окисление металла вдоль границ зерен, в результате чего нарушается связь между ними. Такой нагрев называется пережогом; он неисправим.

При нагреве ниже нижнего предела (при деформировании) возможно упрочнение (наклеп) металла, которое вызывает искажение структуры; при этом возможно образование трещин.

Температура плавления и заливки сплава. Эту температуру определяют по линии ликвидуса: она должна быть выше линии ликвидуса. Температура заливки должна быть выше температуры плавления. Литейные свойства сплава зависят от интервала его кристаллизации: чем больше интервал, тем меньше жидкотекучесть и выше склонность к образованию кристаллизационных трещин. Лучшие литейные свойства имеют сплавы, затвердевающие в малом интервале температур, — эвтектические сплавы.

6. Влияние примесей

На свойства железистоуглеродистых сплавов влияет наличие в них неизбежных примесей (серы, фосфора, кислорода, азота, водорода, кремния, марганца и др.). Эти примеси могут попадать в сплав из природных соединений (руд), например сера и фосфор; из металлического лома — хром, никель и др.; в процессе раскисления — кремний и марганец.

Влияние углерода. Углерод в железистоуглеродистом сплаве находится главным образом в связанном состоянии в виде цементита. В свободном состоянии в виде графита он содержится в сером чугуна. С увеличением содержания углерода возрастает твердость, прочность и уменьшается пластичность. При содержании более $0,8\%$ С твердость возрастает, а прочность уменьшается, так как сплав становится более хрупким.

Влияние серы. Сера является вредной примесью. Она образует сернистое железо FeS , которое нерастворимо в железе, и легкоплавкую эвтектику. При кристаллизации сплава легкоплавкая эвтектика располагается по границам зерен и при повторном нагреве расплавляется, в результате чего нарушается связь между зернами, что приводит к образованию трещин и надрывов.

Это явление носит название красноломкости. Допускается содержание до 0,035%—0,06% S.

Влияние фосфора. Фосфор растворяется в α - и γ -железе, искажает кристаллическую решетку и ухудшает пластические свойства сплава. Фосфор вызывает явление хладноломкости. Фосфор является вредной примесью и его содержание не должно превышать 0,025—0,08%.

Влияние азота, кислорода и водорода. Эти элементы присутствуют в сплавах или в виде хрупких неметаллических включений, например окислов FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , нитридов Fe_4N , или в свободном состоянии, при этом они располагаются в дефектных местах в виде молекулярного и атомарного газов.

Неметаллические соединения являются концентраторами напряжений и могут понизить механические свойства (прочность, пластичность).

Водород поглощается сталью в атомарном состоянии. При охлаждении сплава растворимость водорода уменьшается и его атомы накапливаются в микропорах. В результате этого в микропорах развивается большое давление. Таким образом, водород может явиться причиной образования внутренних надрывов в металле (флокенов).

Существует много прогрессивных методов выплавки железоуглеродистых сплавов, обеспечивающих уменьшение содержания кислорода, азота и водорода, что улучшает механические свойства сплавов.

Влияние кремния и марганца. Кремний и марганец попадают в железоуглеродистый сплав при его выплавке в процессе раскисления. Кремний и марганец удаляют из сплава закись железа. Кремний, растворяясь в феррите, повышает предел текучести и уменьшает склонность к хладноломкости.

Марганец образует твердый раствор с железом и немного повышает твердость и прочность. В присутствии серы он частично связывается с серой в сернистый марганец и переходит в шлак. Это способствует удалению серы из сплава, т. е. кремний и марганец являются полезными примесями. В железоуглеродистых сплавах обычно не более 0,35—0,4% Si и 0,5—0,8 Mn.

7. Основы классификации сталей и их маркировка

Стали являются наиболее многочисленными сплавами и широко применяются в промышленности как основной машиностроительный материал.

Стали классифицируют по химическому составу, способу производства и применению.

По химическому составу классифицируют в основном конструкционные стали. Согласно этой классификации стали подразделяют на углеродистые, хромистые, хромоникелевые и т. д. Другие стали, например инструментальные, с особыми физико-химичес-

кими свойствами по химическому составу почти не классифицируют.

По способу производства (определение условий металлургического производства сталей и содержание в них вредных примесей) стали классифицируют на группы А, Б, В и Г.

Группа А. К ней относятся стали обыкновенного качества. Они могут иметь повышенное содержание серы (до 0,055%) и фосфора (до 0,07%).

Механические свойства сталей обыкновенного качества ниже механических свойств сталей других классов. Основным элементом, определяющим механические свойства этих сталей, является углерод. Их выплавляют в кислородных конвертерах и мартеновских печах. Стали обыкновенного качества подразделяют на спокойные (полностью раскисленные), кипящие (не полностью раскисленные) и полуспокойные (занимающие промежуточное положение между спокойными и кипящими). Согласно ГОСТу спокойные, полуспокойные и кипящие стали обозначают в конце марки буквами, соответственно сп; пс и кп.

Группа Б. К ней относятся качественные стали — углеродистые или легированные. В этих сталях содержание серы и фосфора не должно превышать 0,035% каждого. Выплавляют их в основных мартеновских печах.

Группа В. К этой группе относятся высококачественные стали, главным образом легированные, выплавляемые в электропечах. В этих сталях содержание серы и фосфора не должно превышать 0,025% каждого.

Группа Г. Стали особовысококачественные, выплавляемые в электропечах, электрошлаковым переплавом или другими методами. Содержание серы и фосфора до 0,015% каждого.

По применению стали подразделяют на строительные, машиностроительные (конструкционные, общего назначения), инструментальные, машиностроительные специализированного назначения, с особыми физическими свойствами, с особыми химическими свойствами (устойчивые против коррозии).

Строительные стали — это углеродистые и некоторые низколегированные стали с небольшим содержанием углерода — стали обыкновенного качества.

Для машиностроительных сталей (конструкционных) общего назначения главной характеристикой являются их механические свойства, которые зависят от содержания углерода, изменяющегося в пределах 0,05—0,65%.

Инструментальные стали имеют высокие твердость, прочность и износостойкость. Их используют для изготовления режущего и измерительного инструментов, штампов и т. д. Твердость и вязкость зависят от содержания в инструментальных сталях углерода.

Машиностроительные стали и сплавы специализированного назначения характеризуются их механическими свойствами при

низких и высоких температурах; физическими, химическими и технологическими свойствами. Они могут быть использованы для эксплуатации в особых условиях (на холоде, при нагреве, при динамических и гидроабразивных нагрузках и т. п.).

Стали и сплавы с особыми физическими свойствами получают эти свойства в результате специального легирования и термической обработки. Их применяют в основном в приборостроении, электронной, радиотехнической промышленности и т. д.

Стали и сплавы с особыми химическими свойствами (стойкие против коррозии). Стойкости сталей против коррозии достигают при содержании хрома не ниже 12,5—13%. Стали с высоким содержанием хрома и никеля — стойкие в агрессивных средах.

Маркировка сталей. Стали обыкновенного качества обозначают марками Ст0 — Ст6. Чем выше номер, тем выше прочностные свойства стали и содержание углерода.

Качественные, высококачественные и особовысококачественные стали маркируют следующим образом. Содержание углерода указывают в начале марки цифрой, соответствующей его содержанию: в сотых долях процента для сталей, содержащих до 0,7% С (конструкционные стали), и в десятых долях процента для сталей, имеющих более 0,7% С (инструментальные стали). Соответственно сталь, содержащую до 0,1% С, обозначают как сталь 10, сталь с 0,5% С — сталь 50, сталь с 1% С — сталь У10.

Легированные элементы обозначают русскими буквами, например Н (никель); Г (марганец); Х (хром); С (кремний) и т. д. Если после буквы нет цифры, то сталь содержит 1,0—1,5% легирующего элемента; если стоит цифра, то она указывает содержание легирующего элемента в процентах, кроме молибдена и ванадия, содержание которых в сталях обычно до 0,2—0,3%.

Различие в обозначении качественной стали по сравнению с высококачественной сталью состоит в том, что в конце марки высококачественной стали ставят букву А: сталь 30ХНМ — качественная, а сталь 30ХНМА — высококачественная. В конце марки особовысококачественной стали стоит буква Ш.

Для некоторых высококачественных сталей бывают следующие отклонения в обозначении:

1) все инструментальные, легированные стали и сплавы с особыми физическими свойствами всегда высококачественные, поэтому в марках этих сталей букву А не ставят;

2) шарикоподшипниковые стали обозначают в начале марки буквами ШХ, затем стоит содержание хрома в десятых долях процента; например, сталь ШХ15;

3) быстрорежущие легированные стали обозначают буквой Р, следующая за ней цифра указывает на содержание в ней вольфрама в %;

4) электротехнические стали обозначают буквой Э; следующая за ней цифра указывает на содержание в ней кремния в %.

8. Цветные металлы и сплавы

625

Алюминий и его сплавы. Алюминий — легкий металл (плотность 2,7 г/см³), обладает высокими теплопроводностью ~ 200 Вт/(м·°С) и электропроводностью (3,8·10⁵ Ом⁻¹·см⁻¹). Алюминий имеет большое сродство к кислороду, легко окисляется на воздухе. При этом его поверхность покрывается плотной пленкой окиси алюминия (~ 0,2 мкм), которая хорошо защищает от дальнейшего окисления, поэтому алюминий стоек против коррозии. Температура плавления алюминия 660° С.

Алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. К деформируемым алюминиевым сплавам относятся дуралюмины (Д1—Д16), содержащие 3,8—4,9% Cu, 0,4—1,8% Mg, 0,4—0,9% Mn; авиали (АВ), содержащие 0,2—0,6% Cu, 0,4—0,9% Mg, 0,15—0,35% Mn, 0,5—1,2% Si; высокопрочные алюминиевые сплавы, содержащие медь, магний, марганец и упрочняющие добавки (до 8,5% Zn или 0,1—0,25% Cr); ковочные алюминиевые сплавы (АК), содержащие 1,8—4,8% Cu, 0,4—0,8% Mg, 0,4—1,0% Mn, 0,6—1,2% Si, а также жаропрочные алюминиевые сплавы, в которые в качестве упрочняющих добавок вводят железо, никель, титан и цирконий. Эти сплавы хорошо обрабатываются ковкой, штамповкой, прокаткой. Механические свойства их повышаются после термической обработки. Благодаря высоким механическим свойствам и малой плотности эти сплавы широко применяют в машиностроении, самолетостроении, химической промышленности, транспортном и пищевом машиностроении, приборостроении и т. д. Кроме термически обрабатываемых деформируемых сплавов, широко применяют алюминиевые деформируемые сплавы, не упрочняемые термической обработкой. К этим сплавам относятся сплавы алюминия с марганцем (АМц, до 1,6% Mn) или магнием и марганцем (АМг), содержащие 1,8—5,8% Mg и 0,2—0,8% Mn.

Эти сплавы хорошо обрабатываются давлением (штамповкой в холодном состоянии, гибкой и т. д.), свариваются и имеют высокую коррозионную стойкость. Их широко применяют в строительных конструкциях (рамах, перегородках, дверях, витражах и т. д.), при изготовлении баков для бензина, трубопроводов и т. д.

Литейные алюминиевые сплавы применяют для изготовления деталей машин и приборов литьем. Они имеют хорошие литейные свойства: высокую жидкотекучесть в расплавленном состоянии, малую усадку при затвердевании, высокие механические свойства. Кроме того, они хорошо обрабатываются резанием. Из литейных алюминиевых сплавов наибольшее применение имеют силумины — сплавы алюминия с 10—13% Si; сплавы алюминия с медью и марганцем, содержание 4,5—5,3% Cu и до 1% Mn; сплавы алюминия с 9,5—11,5% Mg.

Сплавны наиболее широко используют для изготовления многих деталей в машиностроении и приборостроении: блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания, картеров блоков, корпусов компрессоров, арматуры и т. д.

Сплавы алюминия с медью, обладающие повышенной прочностью, применяют для литья деталей, работающих при нагрузках (арматуры, крошителей и др.).

Сплавы алюминия с магнием обладают хорошей коррозионной стойкостью и применяются для отливок, работающих во влажной атмосфере, например в судостроении. Многие отливки из алюминиевых сплавов подвергают термической обработке для повышения их механических свойств, пластичности, а также снижения остаточных напряжений.

Алюминий применяют для приготовления спеченных алюминиевых сплавов (САС) и спекаемых алюминиевых пудр (САП), из которых методами порошковой металлургии (прессованием с последующим спеканием) изготавливают детали машин.

Магний и его сплавы. Магний относится к группе легких металлов, плотность его в твердом состоянии $1,738 \text{ г/см}^3$, температура плавления 651°C . Магний, являясь весьма химически активным металлом, широко применяется в виде сплавов с алюминием, цинком, марганцем.

Магниевые сплавы подразделяют на деформируемые сплавы (МА), используемые в виде листов, полос, профилей, прутков и поковок, и литейные сплавы (Мл), из которых получают фасонные отливки.

Деформируемые магниевые сплавы обычно содержат 1—2% Мп, до 0,8% Al, десятые доли процента кальция и церия; высокопрочные сплавы — до 5% Al и 1,5% Zn, а жаропрочные магниевые сплавы содержат добавки циркония, никеля и др. Деформируемые магниевые сплавы имеют прочность до $264\text{—}274 \text{ МН/м}^2$ при удлинении 7—12%. Из этих сплавов изготавливают сварные бензо- и маслобаки, арматуру бензо- и маслопроводов самолетов, летательных аппаратов, детали прядильных и ткацких станков.

Литейные магниевые сплавы содержат 2,5—9,0% Al и 0,2—1,5% Zn, а также 0,15—0,5% Мп; предел прочности при растяжении $177\text{—}235 \text{ МН/м}^2$, при удлинении 3—8%. Детали, отлитые из жаропрочных магниевых сплавов, способны работать продолжительное время при температуре до 250°C , а кратковременно при температурах до $400\text{—}450^\circ \text{C}$.

Литейные магниевые сплавы имеют невысокий модуль упругости ($E \approx 43\,000 \text{ МН/м}^2$) и вследствие этого высокие демпфирующие свойства (гасят колебания и вибрации конструкции). Однако литейные магниевые сплавы имеют невысокую коррозионную стойкость, для ее повышения отливки из этих сплавов оксидируют и покрывают защитными лаками. Отливки из магниевых сплавов широко применяют в самолето- и ракетостроении, в авто-

мобильной промышленности (для картеров двигателей, коробок передач), в электротехнике, радиотехнике (для деталей и корпусов приборов), в текстильной и полиграфической промышленности, транспортном машиностроении и т. д.

Медь и ее сплавы. Технически чистая медь обладает высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, электропроводностью и теплопроводностью. Плотность меди $8,97 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1083°C , теплопроводность $385 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$, удельное электросопротивление $0,018 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. В литом состоянии медь имеет предел прочности на растяжение $170\text{—}200 \text{ МН/м}^2$, предел текучести $70\text{—}90 \text{ МН/м}^2$ и относительное удлинение 17—20%. Благодаря высокой электропроводности, теплопроводности и коррозионной стойкости медь широко применяют для изготовления линий электропередач и проводной связи, в электромашиностроении — для деталей электрических машин и приборов. Около 50% всей меди используют в электропромышленности.

Высокая теплопроводность и коррозионная стойкость способствуют широкому использованию меди в химическом машиностроении для изготовления вакуум-аппаратов, трубчатых змеевиков, теплообменников в холодильных агрегатах.

Медные сплавы подразделяют на бронзы и латуни. Бронзами называются сплавы меди с оловом (4—33% Sn), свинцом (~30% Pb), алюминием (5—11% Al), кремнием (4—5% Si), сурьмой и фосфором. Бронзы имеют более высокую прочность и твердость, чем чистая медь. Бронзы применяют для изготовления фасонных отливок (литейные бронзы) и деталей машин штамповкой, ковкой, прокаткой (бронзы для обработки давлением).

Литейные бронзы применяют для изготовления червячных шестерен, подшипников скольжения, ходовых гаек, корпусов вентиляей, клапанов, задвижек, золотников и т. д. Бронзы при обработке давлением применяют для изготовления прутков, полосы, ленты, толстостенных труб, из которых штамповкой, ковкой, обработкой резанием изготавливают различные детали машин и приборов (втулки, коллекторы электрических машин, пружины, мембраны, детали часовых механизмов, решетки, сетки, электроды электросварочных машин и т. д.).

Латунями называют сплавы меди с цинком (до 50% Zn) с небольшими добавками других элементов (алюминия, кремния, никеля, марганца). Латуни, так же как и бронзы, применяют для изготовления деталей машин обработкой давлением и резанием и фасонных отливок.

Из латуней, обрабатываемых давлением, получают прутки, трубы, листы, ленту, из которых затем штамповкой, обработкой резанием изготавливают различные детали машин — радиаторные и манометрические трубки, сильфоны (гофрированные трубы), корпуса сварочных горелок, детали приборов и т. д.

Из литейных латуней отливают корпуса паропроводной арматуры с повышенной коррозионной стойкостью в морской воде

шестерни, втулки, подшипники, гребные винты, гайки нажимных винтов и т. д.

Титан и его сплавы. Титан относится к группе тугоплавких металлов. Температура плавления титана $1665 \pm 5^\circ \text{C}$, плотность $\sim 4,5 \text{ г/см}^3$. Предел прочности при растяжении чистого титана $\sigma_b = 250 \text{ МН/м}^2$, удлинение $\delta = 70\%$; технического титана, содержащего примеси, $\sigma_b = 300 \div 550 \text{ МН/м}^2$, $\delta = 20 \div 30\%$, т. е. чем больше примесей содержится в титане, тем выше его прочность и ниже пластичность. Однако отношение σ_b/γ (удельная прочность) титана значительно выше, чем у многих легированных конструкционных сталей. Вследствие этого при замене стали титановыми сплавами можно при равной прочности получить до 40% экономии по массе детали. Несмотря на высокую температуру плавления, титан имеет более низкую жаропрочность, чем сплавы на основе железа и никеля. Предельная температура использования титана и его сплавов не выше $550\text{—}600^\circ \text{C}$. При более высокой температуре титан и его сплавы легко окисляются и поглощают водород.

Технический титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготавливать сложные фасонные отливки, но обработка резанием затруднительна.

Для получения сплавов с заданными механическими свойствами титан легируют алюминием, молибденом и др.

Наибольшее применение нашли сплавы, в которых основным легирующим элементом является алюминий, например сплав ВТ5, содержащий до 5% Al, с $\sigma_b = 700 \div 900 \text{ МН/м}^2$ при удлинении $\delta = 10 \div 12\%$. Из этих сплавов получают отливки, поковки, листы и т. д. Кроме того, применяют и сложнoleгированные сплавы, например, ВТЗ-1, ВТ-6, ВТ-8.

Титановые сплавы можно упрочнять термической обработкой в печах с защитной атмосферой. Титан и его сплавы широко используют в различных областях техники (авиационной, ракетно-космической, судостроении, химической промышленности), когда требуются высокая удельная прочность и хорошая сопротивляемость коррозии.

Из титановых сплавов делают обшивку фюзеляжей, крыльев сверхзвуковых самолетов, лонжероны, шпангоуты и другие детали. Для стационарных паровых и газовых турбин из титановых сплавов изготавливают диски и лопатки. В судостроении титан и его сплавы применяют для обшивки корпусов и подводных крыльев, а также для различной аппаратуры. Титан и его сплавы применяют и в химическом машиностроении для изготовления емкостей фильтров, трубопроводов, змеевиков и других аппаратов. Некоторые титановые сплавы обладают повышенной пластичностью при низких температурах, поэтому их используют и для изготовления деталей машин в криогенной технике.

Раздел II

ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

1. Роль металлов и металлургической промышленности в народном хозяйстве

На заре развития человеческого общества люди научились получать и обрабатывать такие металлы, как медь, железо, серебро, золото, олово и свинец. По мере развития культуры число используемых человеком металлов увеличивалось: к началу XIX в. составляло 20, а к концу достигло 50.

Промышленная классификация металлов на две основные группы — черные и цветные сложилась исторически. К черным металлам относят железо и его сплавы (чугун, сталь, ферросплавы). Остальные металлы составляют группу цветных.

Из металлов особое значение имеет железо: в общемировом производстве металлов свыше 90% приходится на железо и его сплавы. Широкое применение черных металлов в различных областях техники объясняется их ценными физическими и механическими свойствами, а также и тем, что железные руды широко распространены в природе, а производство чугуна и стали сравнительно дешево и просто.

Объем производства черных металлов в значительной степени определяет уровень технического развития той или иной страны. Современное машиностроение является основным потребителем производимых металлургической промышленностью металлов. В любой отрасли машиностроения — тяжелом машиностроении, станкостроении, судостроении, автомобильной, авиационной промышленности, электронике и радиотехнике из черных металлов изготавливают огромное число деталей машин и приборов. Значительная доля черных металлов потребляется современным промышленным и гражданским строительством.

СССР занимает одно из ведущих мест в мировом производстве черных металлов. Особенность развития металлургической промышленности СССР — устойчивые высокие темпы роста производства чугуна и стали.

Важное значение в современной технике имеют и цветные металлы, которые широко применяют во всех отраслях народного хозяйства: в машиностроении, самолетостроении, радиотехнике и электронике. Все большее производство и применение цветных металлов в технике объясняется их физико-механическими и другими свойствами, которыми не обладают черные металлы и

сплавы. Наиболее широко применяют медь, алюминий, магний, никель, титан, вольфрам, а также бериллий, германий, кремний.

Наша страна имеет мощную цветную металлургию, обеспечивающую потребности развивающегося быстрыми темпами народного хозяйства. Развитие металлургии идет по пути совершенствования методов плавки и разливки металла, механизации и автоматизации производства, внедрения новых перспективных технологических процессов, обеспечивающих улучшение технико-экономических показателей и качества выпускаемой продукции.

2. Современное металлургическое производство и его продукция

Современное металлургическое производство представляет собой сложный комплекс различных производств, базирующийся на месторождениях руд, коксующихся углей, энергетических мощностях. Оно включает следующие комбинаты, заводы, цехи (рис. II.1):

- 1) шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- 2) горно-обогатительные комбинаты, где готовят руды к плавке, т. е. обогащают их;
- 3) коксохимические заводы или цехи, где осуществляют подготовку углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов;
- 4) энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, а также очистки газов металлургических производств;
- 5) доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов;
- 6) заводы для производства ферросплавов;
- 7) сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные) для производства стали;
- 8) прокатные цехи, в которых слитки стали перерабатывают в сортовой прокат — балки, рельсы, прутки, проволоку, а также лист и т. д.

Основой современной металлургии стали является двухступенчатая схема, которая состоит из доменной выплавки чугуна и различных способов его передела в сталь. При доменной плавке, осуществляемой в доменных печах, происходит избирательное восстановление железа из руды, но одновременно из руды восстанавливаются также фосфор и в небольших количествах марганец и кремний; железо науглероживается и частично насыщается серой. В результате из руды получают *чугун* — сплав железа с углеродом, кремнием, марганцем, серой и фосфором.

Передел чугуна в сталь производят в конвертерах, мартеновских и электрических печах. В этих агрегатах происходит избирательное окисление примесей чугуна таким образом, что в процессе плавки они переходят в шлак и газы. В результате получают сталь заданного химического состава.

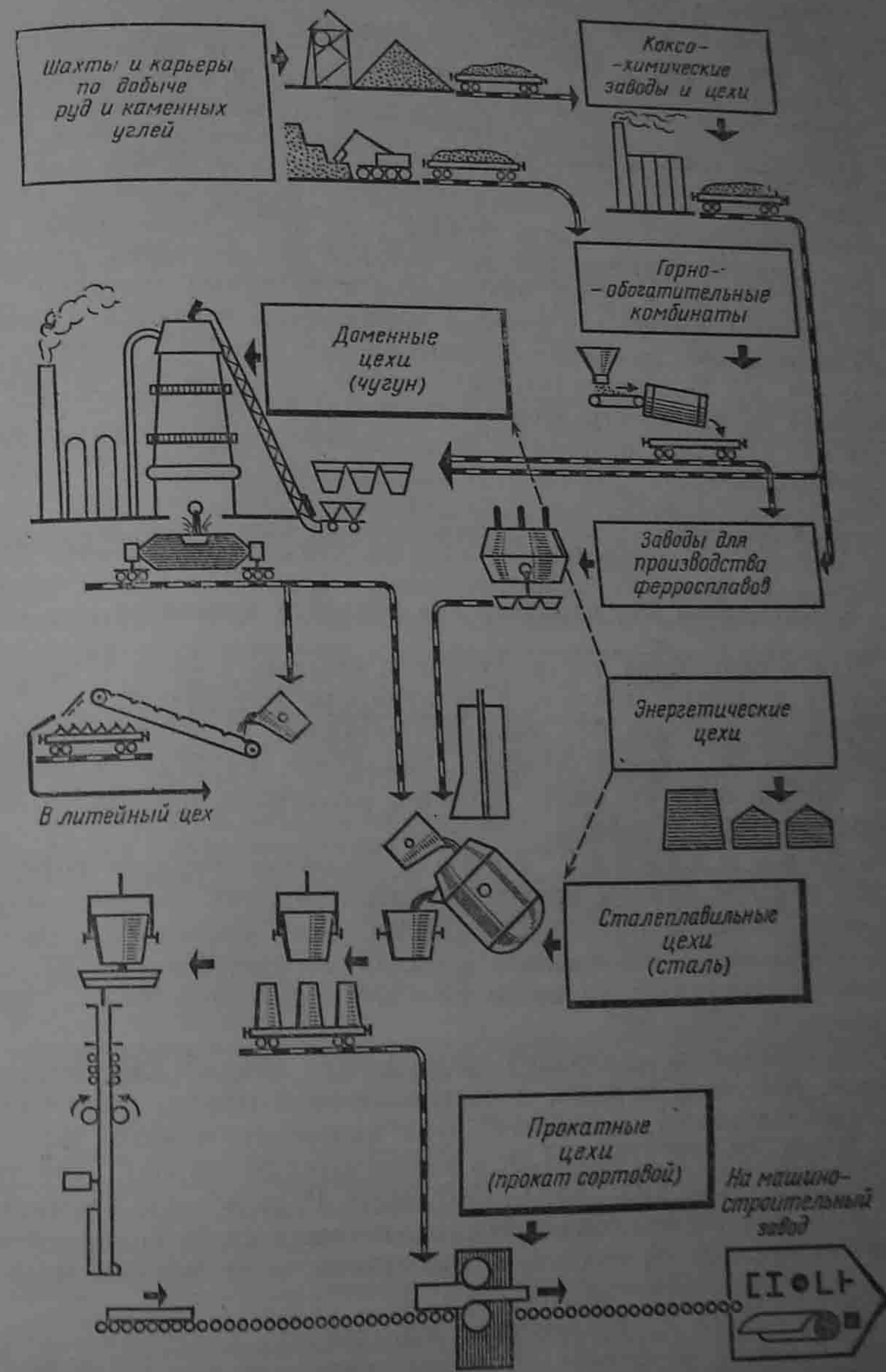


Рис. II.1. Схема современного металлургического производства

Основной продукцией черной металлургии являются: 1) чугуны — *передельный*, используемый для передела на сталь, и *литейный* для производства фасонных чугунных отливок на машиностроительных заводах; основное количество (до 90%) выплавляемого чугуна — *передельный*; 2) *ферросплавы* (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана) для производства легированных сталей; 3) *стальные слитки* для производства сортового проката (рельсов, балок, прутков, полос, проволоки), а также листа, труб и т. д.; 4) *стальные слитки* для производства крупных кованых деталей машин (валов, роторов, турбин, дисков и т. д.), называемые кузнечными слитками.

Основной продукцией цветной металлургии являются: 1) *слитки* цветных металлов для сортового проката (уголков, полос, прутков и т. д.); 2) *слитки* (чушки) цветных металлов для фасонных отливок на машиностроительных заводах; 3) *лигатуры* — сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов для фасонных отливок; 4) *слитки чистых и особоистых металлов* для нужд приборостроения, электронной техники и других специальных отраслей машиностроения.

3. Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.

Руда. В природе большинство металлов находится в виде химических соединений (окислов, силикатов, карбонатов, сернистых соединений), входящих в состав различных минералов, образующих горные породы.

Промышленной рудой называют горную породу, из которой при данном уровне развития техники целесообразно извлекать металлы или их соединения. Этот уровень определяется содержанием добываемого металла в руде. Например, для железа он составляет не менее 30—50%, для меди 3—5%, для молибдена 0,005—0,02%.

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы, в состав которой входят различные примеси. Например, железная руда содержит окислы железа Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , $FeCO_3$, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, а также пустую породу, состоящую в основном из SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO . Руды обычно называют по одному или нескольким металлам, которые в них содержатся. Например, железные, медные, алюминиевые, марганцевые, медно-никелевые, железомарганцевые и т. д.

В зависимости от содержания добываемого материала, руды бывают *богатые* и *бедные*. Богатые железные руды содержат 45—50% железа и более. Бедные руды (с малым содержанием добываемого металла) специально обрабатывают — *обогащают*. Обогащение состоит в удалении из руды части пустой породы. В результате получают концентрат — продукт с повышенным содер-

жанием добываемого металла по сравнению с рудой. Использование концентрата позволяет улучшить технико-экономические показатели работы металлургических печей.

Флюсы. Флюсом называется материал, загружаемый в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды, концентрата, золой топлива. Это соединение называют *шлаком*. При производстве чугуна в шлак сплавляют пустую породу руды, концентрата, топлива-кокса. При производстве стали шлак образуется из флюса, окислов, сульфидов и других соединений, образующихся при плавке.

Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается в печи над металлом и может быть удален в процессе плавки. Во многих случаях шлак служит для защиты металла от печных газов и воздуха.

Шлак называют *кислым*, если в его составе преобладают кислотные окислы (SiO_2 , P_2O_5), и *основным*, если в его составе преобладают основные окислы (CaO , MgO , FeO и т. д.).

При высоких температурах рабочего пространства плавильных печей шлаки могут взаимодействовать с футеровкой печи. Если в печь, выложенную огнеупорным материалом, в состав которого входят основные окислы (основная футеровка), вводить кислые флюсы, то взаимодействие шлака и огнеупорного материала футеровки печи приведет к ее разрушению. То же произойдет, если в печь, выложенную огнеупорными материалами, в состав которых входят кислотные окислы (кислая футеровка), вводить основные шлаки. Поэтому в печах с кислой футеровкой применяют кислые шлаки, а в печах с основной футеровкой — основные.

При плавке в печах с кислой футеровкой используют в качестве флюса кварцевый песок, состоящий в основном из SiO_2 , а в печах с основной футеровкой — известняк ($CaCO_3$) или доломитизированный известняк, содержащий $CaCO_3$ и $MgCO_3$.

Шлаки, образующиеся в процессе плавки в металлургических печах, играют большую роль для получения металла с требуемыми химическим составом и свойствами.

В процессе плавки в металлургической печи образуются две несмешивающиеся среды: расплавленный металл и шлак. В соответствии с законом распределения, если какое-либо вещество растворяется в двух соприкасающихся, но не смешивающихся жидкостях, то распределение вещества между этими жидкостями происходит до установления определенного соотношения, постоянного для данной температуры. Поэтому, изменяя состав шлака, можно менять соотношение между количеством примесей, входящих в состав металла и шлака, таким образом, что нежелательные примеси будут удаляться в шлак. Убирая шлак с поверхности металла и наводя новый путем подачи флюса нужного состава, можно управлять процессами удаления вредных примесей из металла (серы, фосфора и т. д.). Регулирование состава шлака с помощью флюсов является одним из основных путей управления металлургическими процессами.

Топливо. Основными видами топлива, применяемого в металлургических печах, являются кокс, природный газ, мазут, а также доменный или колошниковый газ.

Кокс получают в коксовых печах сухой перегонкой при температуре 1000°C (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. Для коксования используют смесь углей, взятую в определенном соотношении. В процессе коксования угольная масса размягчается и из нее начинают выделяться газообразные продукты, а затем она спекается в пористую массу. При выделении газов в процессе коксования эта масса растрескивается и распадается на куски. Газообразные продукты удаляются из печи и направляются в химическое отделение, где из них извлекают бензол, фенолы, каменноугольную смолу и другие ценные продукты. Процесс коксования длится 14–16 ч. Затем кокс выталакивают из печи и тушат водой или инертным газом. В коксе содержится 80–88% С; 8–12% золы; 2–5% влаги; 0,5–1,8% S; 0,02–0,2% P и до 1,2% летучих продуктов. Важными для доменной плавки показателями качества кокса являются зольность и содержание серы, которые должны быть минимальными. Сера — вредная примесь. В процессе плавки она может переходить в металл и ухудшать его свойства. Важное значение для хода плавки имеет размер кусков кокса — кусковатость. Размер кусков кокса должен быть 25–60 мм. Кокс должен обладать также высокой механической прочностью, чтобы не разрушаться в доменной печи под действием массы шихтовых материалов. Теплота сгорания кокса составляет обычно 29,3 МДж/кг.

При доменной плавке часть кокса заменяют природным газом, мазутом или пылевидным топливом. Природный газ содержит 90–98% углеводородов (CH_4 и C_2H_6) и до 1% азота. Теплота его сгорания 33–50 МДж/кг. Мазут — тяжелый остаток крекинга нефти. Он содержит 84–88% С, 10–12% H_2 , небольшое количество серы и кислорода. Эти виды топлива создают восстановительную атмосферу в доменной печи и улучшают восстановление окислов железа из руды, что приводит к экономии кокса. Кроме этого, используют доменный или колошниковый газ, который является побочным продуктом доменного процесса.

Огнеупорные материалы. В современных металлургических агрегатах процессы плавки происходят при высоких температурах. Поэтому внутреннюю облицовку (футеровку) металлургических печей и ковшей для разлива металла делают из огнеупорных материалов, способных выдерживать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температур, химическому воздействию шлака и печных газов. Огнеупорными называют материалы, способные противостоять высоким температурам, не расплавляясь при определенных условиях испытания. Огнеупорность материала определяется в $^{\circ}\text{C}$.

Огнеупорные материалы применяют в виде кирпичей разных размеров и форм, а также порошков и растворов, необходимых для заделки швов между кирпичами при кладке печей.

По химическим свойствам огнеупорные материалы подразделяют на кислые, основные и нейтральные.

Материалы, содержащие большое количество кремнезема SiO_2 , называют кислыми (динасовые, кварцелинистые); содержащие основные окислы (CaO , MgO) — основными (магнезитовые, магнезитохромитовые, доломитовые); содержащие большое количество Al_2O_3 и Cr_2O_3 — нейтральными (хромомagneзитовые, высокоглиноземные, шамотные).

Если рабочее пространство плавильной печи выложено из кислых огнеупорных материалов, то печь называют кислой, а если из основных — основной.

Кварцевый песок (не менее 95% SiO_2) — кислый огнеупорный материал. Его применяют для набивки и наварки подин кислых сталеплавильных печей. Из кварцевого песка и кварцита изготовляют динасовый кирпич, содержащий 93–95% SiO_2 . Огнеупорность динаса 1690 – 1720°C . Этим кирпичом футеруют кислые мартеновские и электросталеплавильные печи.

Магнезитовый металлургический порошок содержит 85–88% MgO . Его применяют для набивки и наварки подин основных сталеплавильных печей. Из него изготовляют магнезитовый кирпич (86–90% MgO). Огнеупорность такого кирпича более 2000°C . Его применяют для кладки пода и стен основных мартеновских и электросталеплавильных печей. Он обладает высокой термостойкостью. Магнезитохромитовый кирпич содержит 60% MgO и 8–13% Cr_2O_3 . Обладает огнеупорностью (более 2000°C), термостойкостью и шлакоустойчивостью. Применяется для кладки сводов мартеновских печей.

Доломитовый кирпич содержит 32–36% MgO и 50–56% CaO ; применяют вместе с магнезитовым порошком для наварки подин и откосов основных сталеплавильных печей. Смолодоломитовый кирпич изготовляют из доломитового порошка с каменноугольной смолой, используют для футеровки кислородных конвертеров. Смолодоломитомagneзитовый кирпич содержит 32–50% MgO , 38–54% CaO и до 4% SiO_2 ; применяют для футеровок кислородных конвертеров. Хромомagneзитовый кирпич содержит 42% MgO и 15–20% Cr_2O_3 . Огнеупорность его более 2000°C , применяют в мартеновских печах для кладки шлаковиков.

Шамотный кирпич — нейтральный материал. Содержит 50–60% SiO_2 и 30–42% Al_2O_3 . Огнеупорность его 1580 – 1730°C , применяют для футеровки доменных печей, воздухонагревателей, различных ковшей и т. д.

Высокоглиноземистый кирпич содержит 72–95% Al_2O_3 и имеет огнеупорность 1820 – 1920°C .

Углеродистый кирпич и блоки содержат до 92% С. Обладают высокой огнеупорностью. Применяют для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разлива медных сплавов.

1. Материалы, применяемые в доменном производстве, и их подготовка к плавке

Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо и флюсы.

Железные руды содержат железо в различных соединениях. Магнитный железняк, содержащий магнитную окись железа Fe_3O_4 , добывают в виде плотных кусковых пород (55—60% железа). Наиболее крупные месторождения этой руды в нашей стране — Соколовское и Сарбайское (Казахская ССР), Курская магнитная аномалия и др.

Красный железняк содержит Fe_2O_3 и имеет красноватый цвет (55—60% Fe). Крупные месторождения этой руды в нашей стране — Криворожское, Курская магнитная аномалия, Атасуйское и др.

Бурый железняк содержит гидраты окислов железа $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ и $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ (37—55% Fe). Бурый железняк широко распространен в земной коре. Богатые месторождения его в нашей стране — Керченское, Аятское, Лисаковское.

Шпатовые железняки содержат $FeCO_3$ (~30—40% Fe). Богатые залежи шпатового железняка в нашей стране находятся в Бакальском месторождении. Мы располагаем богатейшими в мире месторождениями железных руд. Более 48% мировых разведанных запасов железных руд приходится на долю СССР.

Марганцевые руды применяют для выплавки ферросплавов с 10—82% Mn, а также передельных чугунов, содержащих до 1% Mn. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов: MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , $MnCO_3$ и др. В рудах обычно содержится не более 22—45% Mn. Наиболее крупные месторождения марганцевых руд в нашей стране — Чиатурское и Никопольское. По запасам марганцевых руд СССР занимает первое место в мире.

Хромовые руды используют для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов — хромомagneзитов. Хромовые руды содержат сложные соединения хрома — хромит (FeO , Cr_2O_3), магнохромит (Mg, Fe) Cr_2O_4 и др. В рудах обычно содержится около 40% Cr_2O_3 . Наша страна располагает богатейшими в мире запасами хромовых руд.

Комплексные руды используют для выплавки природно-легированных чугунов. Это железомарганцевые руды, содержащие, кроме железа, до 20% Mn (Атасуйское месторождение), хромоникелевые руды с 37—47% Fe, до 2% Cr, до 1% Ni (Халиловское месторождение), железованадиевые руды, содержащие до 0,17—0,35% V.

Топливо. Для доменного процесса требуется прочное, неспекающееся твердое топливо, которое служит не только горючим

для нагрева шихты и ее расплавления, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды. Естественные виды топлива не обладают необходимыми свойствами, так как они спекаются и недостаточно прочны. Поэтому для доменной плавки применяют твердое топливо — кокс.

Флюсы. Пустая порода железных руд содержит окислы, температура плавления которых значительно выше развиваемых в доменной печи (Al_2O_3 — 2040° С, CaO — 2570° С, MgO — 2800° С). Однако при определенном количественном соотношении этих окислов образуются легкоплавкие соединения — шлаки, имеющие температуру плавления ниже 1300° С и обладающие хорошей текучестью при 1450—1600° С. Для перевода пустой породы руды и золы кокса в шлаки требуемого химического состава с определенными химическими свойствами в доменную печь при плавке загружают флюсы. Шлаки, образующиеся в доменной печи, должны содержать определенное количество основных окислов (CaO, MgO). Это необходимо для удаления серы из металла, в который она может переходить из кокса и железной руды при плавке. Рекомендуется, чтобы в шлаке отношение содержания $(CaO + MgO)/(SiO_2 + Al_2O_3) \approx 1$. Обычно пустая порода руды состоит в основном из SiO_2 и Al_2O_3 . При выплавке чугуна в доменных печах в качестве флюса используют известняк $CaCO_3$ или доломитизированный известняк, содержащий $CaCO_3$ и $MgCO_3$.

Подготовка руд к доменной плавке. Производительность доменной печи, расход кокса и качество получаемого чугуна зависят от состава исходных материалов для плавки — железной руды, кокса и флюсов. При увеличении содержания железа в руде, применении кокса определенной и равномерной кусковатости повышается производительность доменной печи, снижается расход кокса. Установлено, что в шихтовых материалах для доменной плавки оптимальное содержание железа должно быть 60—61%. Однако содержание железа в добываемых рудах значительно ниже; кроме того, многие из них содержат вредные примеси, ухудшающие качество чугуна и стали, например серу, фосфор. Поэтому перед плавкой железные руды подвергают специальной подготовке, цель которой состоит в увеличении содержания железа в шихте, повышении ее однородности по кусковатости и химическому составу. Основные методы подготовки руды к плавке следующие: дробление и сортировка по крупности; обогащение; окускование. Метод подготовки добываемой руды зависит от ее качества.

Дробление и сортировка руд по крупности необходимы для получения кусков руды определенной величины, оптимальной для плавки. Куски руды дробят и сортируют по крупности на специальных агрегатах-дробилках и классификаторах.

Руды обогащают для повышения содержания железа в шихте. В результате обогащения руду подразделяют на кон-

центрат с высоким (более 60%) содержанием железа и хвосты — отходы с небольшим содержанием металла. Способы обогащения руд основаны на использовании различия физических свойств минералов, входящих в состав руды: плотностей ее составляющих, магнитной восприимчивости, физико-химических свойств поверхностей минералов.

Промывка руды водой позволяет отделить плотные составляющие рудных минералов от пустой рыхлой породы (песка, глины).

Гравитация (отсадка) основана на отделении руды от легкой пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита, на котором лежит руда. При этом легкие зерна пустой породы вытесняются в верхний слой и уносятся водой, а тяжелые, содержащие рудные минералы, опускаются вниз. Применяют также гравитационное обогащение в тяжелых средах: руду погружают в жидкость, плотность которой выше плотности пустой породы. Рудный минерал осаждается на дно, а пустая порода всплывает и удаляется.

Магнитная сепарация основана на различии магнитных свойств железосодержащих минералов и частиц пустой породы. Измельченную руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы, отделяя их от пустой породы. Этим способом обогащают магнетитовые руды. Для обогащения бурых железняков их подвергают магнетизирующему обжигу при $600-800^{\circ}\text{C}$ в печах с слабовосстановительной атмосферой. В результате слабомагнитная окись железа Fe_2O_3 переходит в магнитную закись-окись Fe_3O_4 . После такого обжига руду направляют на магнитную сепарацию.

Окусование производят для переработки концентратов, полученных после обогащения, в кусковые материалы необходимых размеров. Используют два способа окусования: агломерацию и окатывание.

Агломерация заключается в спекании шихты, состоящей из железной руды (40—50%), известняка (15—20%), возврата мелкого агломерата (20—30%), коксовой мелочи (4—6%), влаги (6—9%). Спекание выполняют на агломерационных машинах при $1300-1500^{\circ}\text{C}$. В процессе спекания из руды удаляются вредные примеси (сера, частично мышьяк), карбонаты разлагаются и получается кусковой пористый офлюсованный материал — агломерат.

Окатывание применяют для обработки тонко измельченных концентратов. Шихта, состоящая из измельченных концентратов, флюса, топлива, увлажняется и при обработке во вращающихся барабанах, тарельчатых чашах (грануляторах) приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Окатыши высушивают и обжигают при $1200-1350^{\circ}\text{C}$ на специальных машинах. После обжига окатыши приобретают высокую прочность при достаточной пористости. Использование агломерата и окаты-

шей исключает отдельную подачу флюса-известняка в доменную печь при плавке, так как флюс в необходимом количестве входит в их состав. Это улучшает работу доменной печи, повышает ее производительность, снижает расход кокса.

2. Выплавка чугуна

Чугун выплавляют в печах шахтного типа — доменных печах. Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении окислов железа, входящих в состав

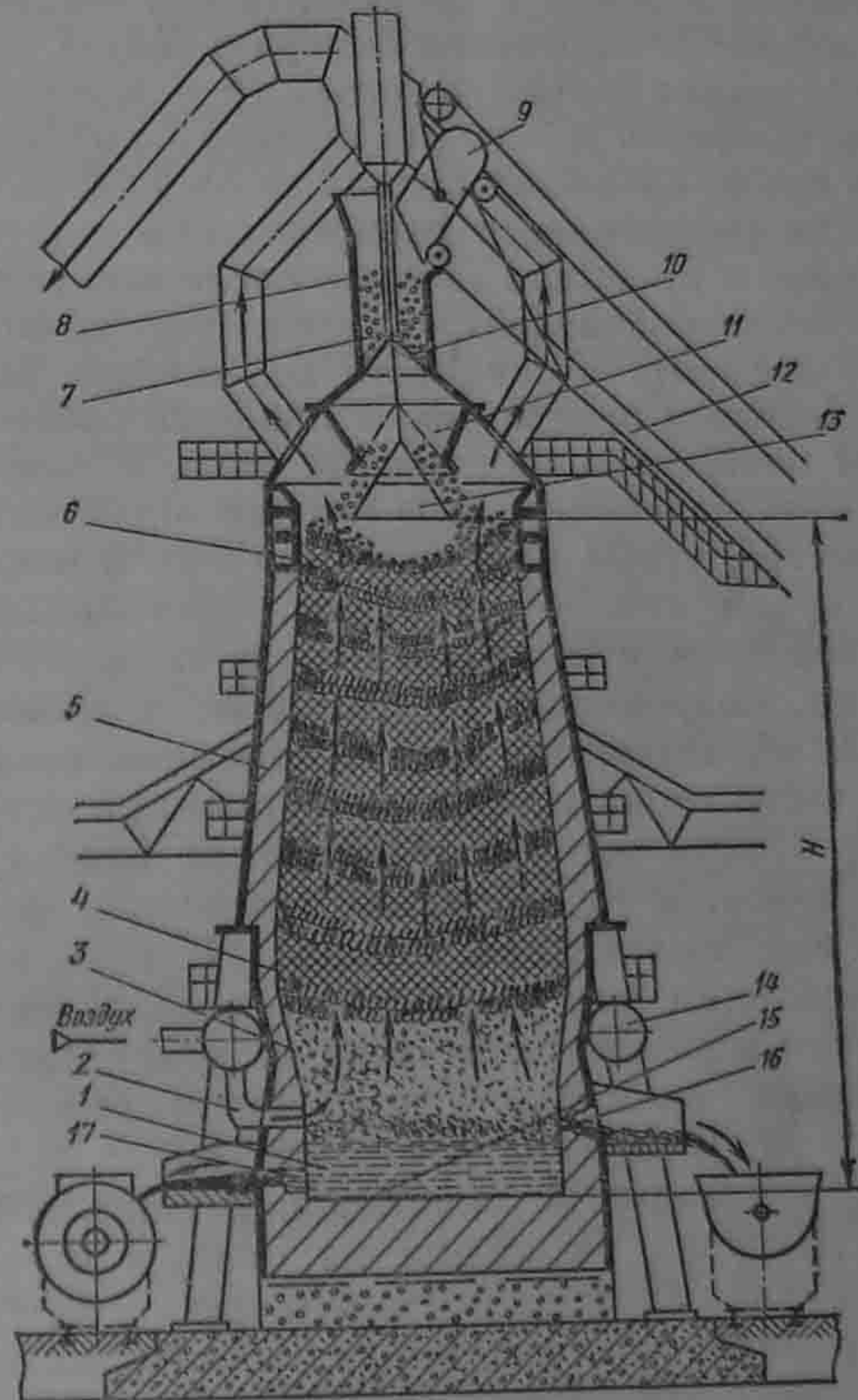


Рис. П.2. Схема устройства доменной печи

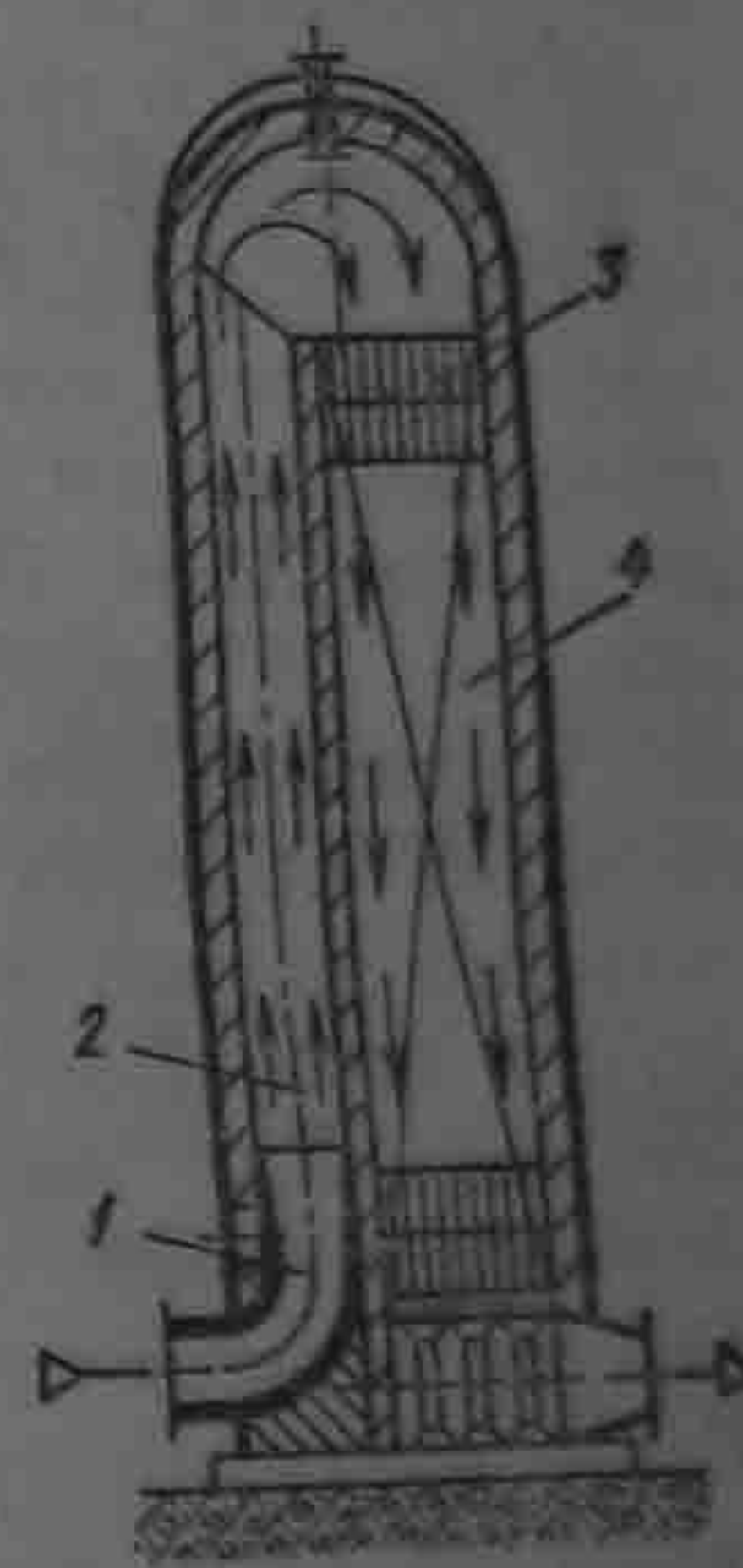


Рис. П.3. Схема устройства воздухоподогревателя

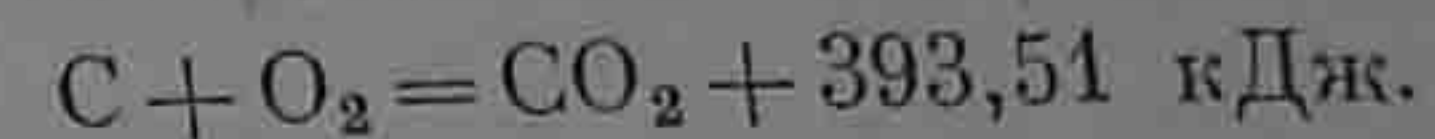
руды, которую загружают в печь, окисью углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимися при сгорании топлива в печи.

Устройство и работа доменной печи. Доменная печь (рис. П.2) имеет стальной кожух, выложенный изнутри огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник 6, шахту 5, распор 4, заплечики 3, горни 1, лещади 15. В верх-

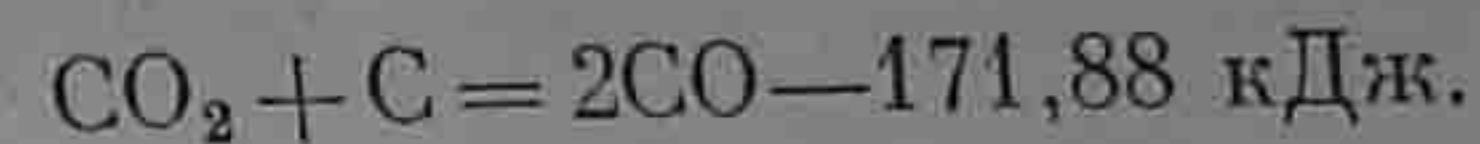
части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту (офлюсованный агломерат и окатыши). Шихтовые материалы поступают в бункера, расположенные на рудном дворе: офлюсованный агломерат с агломерационной фабрики, а кокс от коксовых батарей коксохимического завода. Из бункеров шихтовые материалы подаются в вагон-весы, на которых взвешивают определенные порции шихты. Из вагона-весов кокс и агломерат передаются в вагонетку 9 скипового подъемника. Две скиповые вагонетки с помощью лебедки передвигаются по наклонному мосту 12 к засыпному аппарату 8 и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 засыпного аппарата шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 — в доменную печь. Такая последовательность работы механизмов засыпного аппарата необходима для предотвращения выхода газов из доменной печи в атмосферу. Для равномерного распределения шихты в доменной печи малый конус и приемная воронка после загрузки очередной порции материалов поворачиваются на угол, кратный 60°. Все механизмы засыпного аппарата и скипового подъемника работают автоматически по заданной программе. В процессе работы печи шихтовые материалы постепенно опускаются вниз, а через загрузочное устройство в печь подаются новые порции шихтовых материалов в таком количестве, чтобы весь полезный объем печи был заполнен. *Полезный объем печи* — это объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании. Современные доменные печи имеют полезный объем 2000—5000 м³. Полезная высота доменной печи достигает 35 м. В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступают нагретый воздух, необходимый для горения кокса, и газообразное топливо, в некоторых случаях жидкое или пылевидное топливо. Предварительный нагрев воздуха необходим для уменьшения потерь теплоты в печи. Воздух поступает в доменную печь из воздухонагревателей. Для нагрева воздуха применяют воздухонагреватели регенеративного типа. Внутри воздухонагревателя (рис. II.3) имеется камера сгорания 2 и насадка 4, занимающая основной объем воздухонагревателя. Насадка выложена из огнеупорных кирпичей 3 так, что между ними образуются вертикальные каналы. В нижнюю часть камеры сгорания к горелке 1 подается очищенный от пыли колошниковый газ, который сгорает и образует горячие газы. Горячие газы, проходя через насадку, нагревают ее и удаляются из воздухонагревателя через дымовую трубу. Затем подача газа к горелке прекращается, и по трубопроводу через насадку пропускается холодный воздух, подаваемый турбовоздуходувной машиной. Доменная печь имеет несколько воздухонагревателей: в то время как в одних насадка нагревается горячими газами, в других она отдает теплоту холодному воздуху, нагревая его. По охлаждении нагретой насадки воздухом нагрее-

ватели переключаются. Воздух, проходя через насадку воздухонагревателя, нагревается до 1000—1200° С и поступает к фурменному устройству 14 доменной печи (см. рис. II.2), а оттуда в ее рабочее пространство.

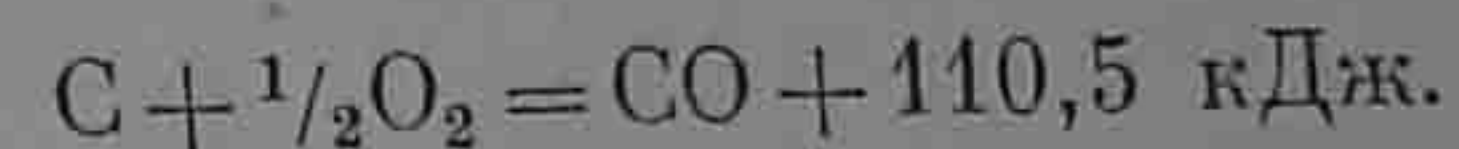
Горение топлива. Вблизи фурм 2 (см. рис. II.2) углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорает:



При высоких температурах и в присутствии твердого углерода кокса двуокись углерода неустойчива и частично переходит в окись углерода:



Одновременно, на некотором расстоянии от фурм, идет реакция неполного горения углерода кокса:



В результате горения кокса в доменной печи выделяется теплота и образуется газовый поток, содержащий CO, CO₂ и другие газы. При этом в печи немного выше уровня фурм температура становится более 2000° С. Горячие газы, поднимаясь вверх, отдают свою теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до 400—300° С у колошника. В зоне печи, где температура газов достигает 700—450° С, часть окиси углерода разлагается с образованием сажистого углерода, оседающего на шихтовых материалах:

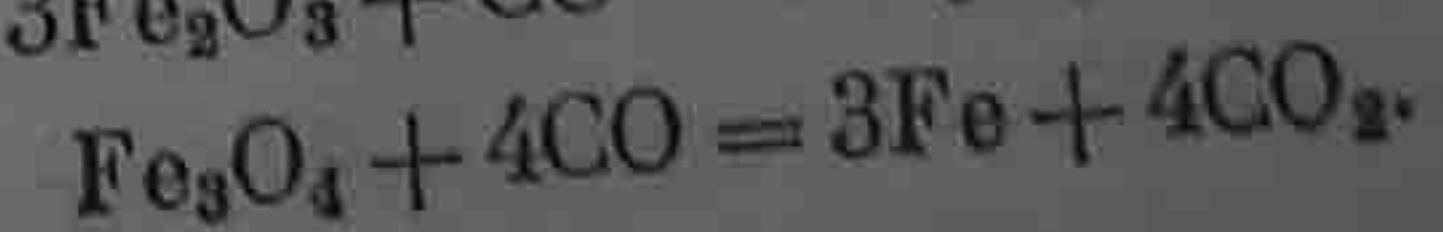
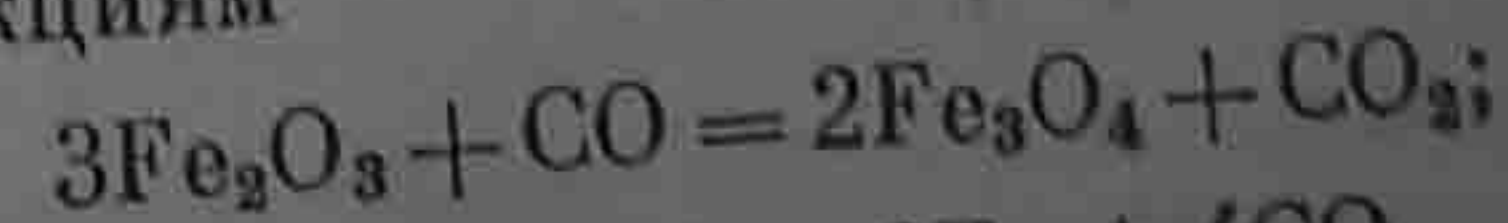


Остальная часть газа, состоящего в основном из CO, CO₂, N₂, H₂, CH₄ (колошниковый газ), отводится из печи по трубам и после очистки используется как топливо для воздухонагревателей.

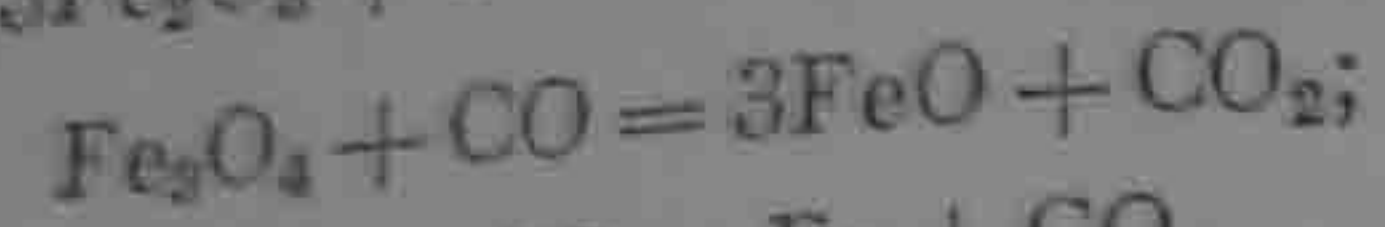
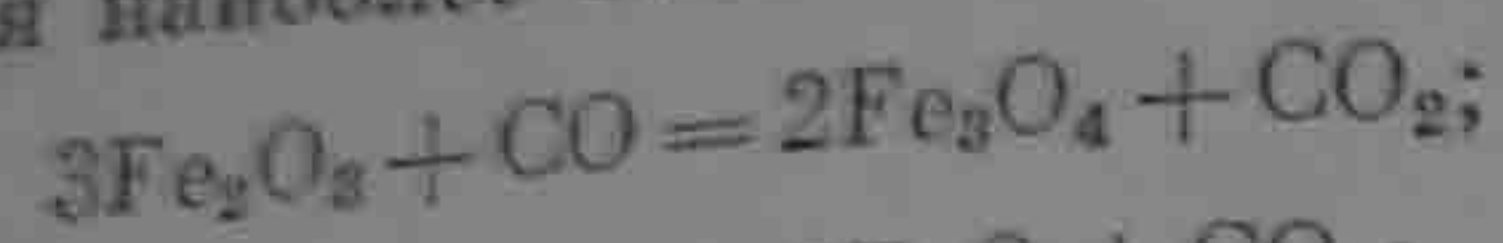
Шихтовые материалы (агломерат, кокс) опускаются навстречу потоку газов и нагреваются. В результате в них происходит целый ряд химических превращений: удаляется влага, из топлива выделяются летучие вещества, а при прогреве шихты до температуры ~ 570° С начинается основной процесс — восстановление окислов железа, содержащихся в агломерате.

Восстановление окислов железа в доменной печи. Этот процесс протекает в результате взаимодействия окислов железа с окисью углерода и твердым углеродом кокса, а также водородом. Восстановление твердым углеродом называют *прямым*, а газами — *косвенным*.

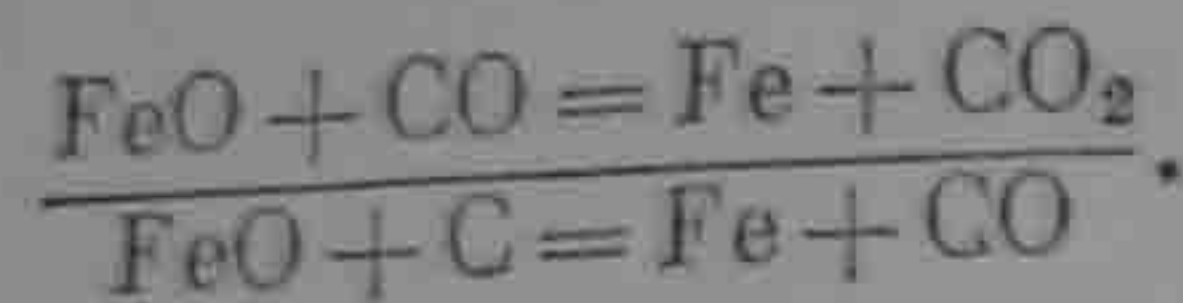
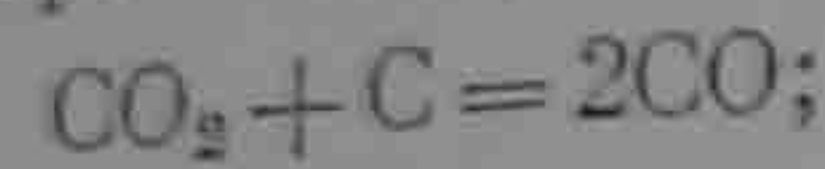
При температурах до 570° С восстановление окиси железа протекает по реакциям



При более высоких температурах (750—900° С) окислы железа восстанавливаются наиболее интенсивно:

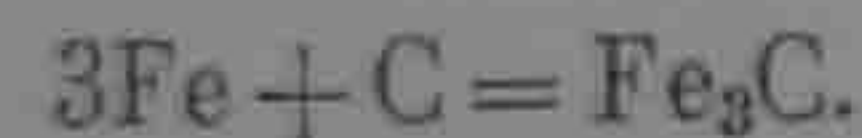
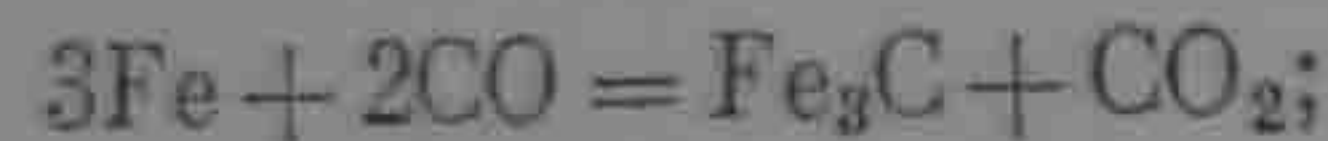


При этих температурах из руды, находящейся в нижней зоне шахты доменной печи, образуется твердое губчатое железо. Небольшая часть закиси железа опускается до уровня распара и заплечиков, где восстанавливается твердым углеродом кокса в результате двух одновременно протекающих реакций:



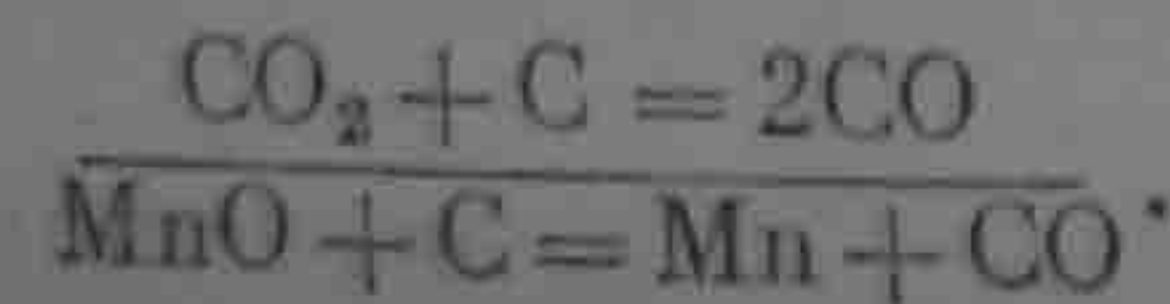
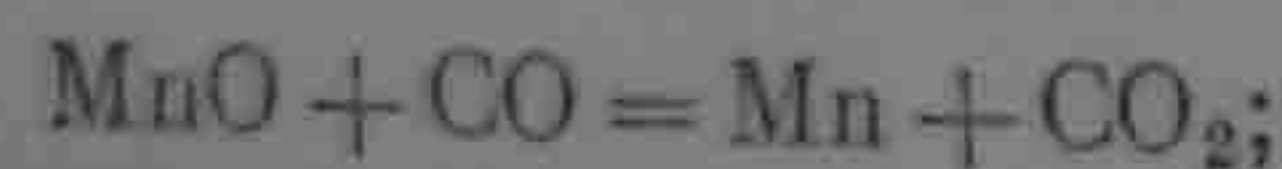
В реакциях восстановления железа участвуют также сажистый углерод и водород, особенно при введении в доменную печь природного газа.

По мере опускания шихта достигает зоны в печи, где температура составляет 1000—1100° С. При этих температурах восстановленное из руды твердое железо, взаимодействуя с окисью углерода, коксом и сажистым углеродом, интенсивно науглероживается благодаря способности железа в твердом состоянии растворять углерод:



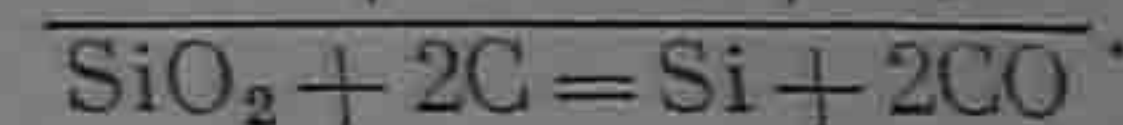
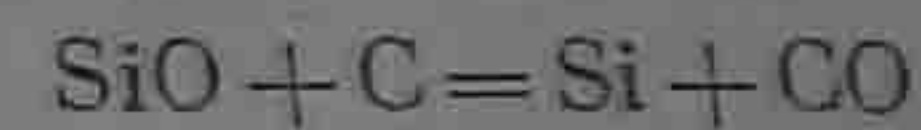
При насыщении углеродом температура плавления железа понижается и на уровне распара и заплечиков оно расплавляется. Капли железуглеродистого сплава, протекая по кускам кокса, дополнительно насыщаются углеродом (до 4% и более), марганцем, кремнием, фосфором, которые восстанавливаются из руды, а также серой, содержащейся в коксе. Эти процессы протекают следующим образом.

Марганец содержится в руде в виде MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 . Эти соединения легко восстанавливаются до MnO . При температуре более 1000° С часть MnO восстанавливается твердым углеродом по реакциям



Одновременно марганец взаимодействует с твердым углеродом и образует карбид Mn_3C , повышая содержание углерода в сплаве. Другая часть MnO входит в состав шлака.

Кремний, содержащийся в пустой породе руды в виде SiO_2 , при температуре выше 1100° С также частично восстанавливается твердым углеродом:

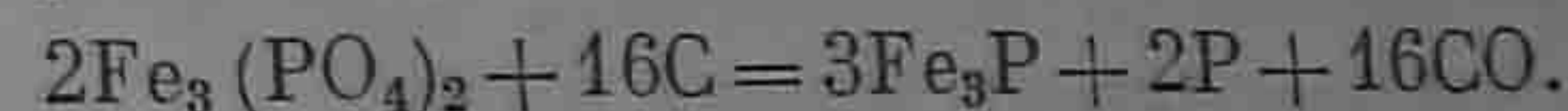


Образовавшийся кремний растворяется в железе. Другая часть SiO_2 также входит в состав шлака.

Фосфор содержится в руде в виде соединений $(\text{FeO})_3\text{P}_2\text{O}_5$ и $(\text{CaO})_3\text{P}_2\text{O}_5$. Частично фосфат железа восстанавливается окисью углерода:



При температурах более 1000° С восстановление идет за счет твердого углерода:

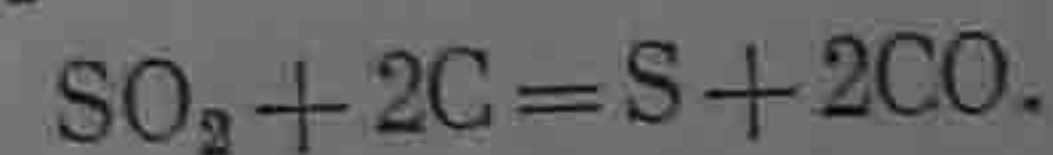


При температурах выше 1300° С фосфор восстанавливается из фосфата кальция:

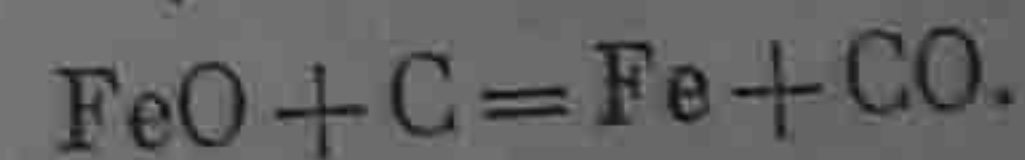
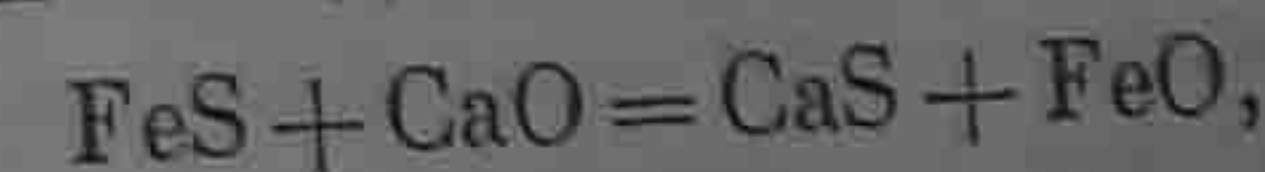


Образовавшийся фосфид железа (Fe_3P) и фосфор полностью растворяются в железе и входят в состав чугуна.

Сера присутствует в коксе и руде в виде органической серы и соединений FeS_2 , FeS , CaSO_4 . Сера летуча и поэтому часть ее удаляется с газом при нагреве шихты в печи. Сера из кокса окисляется у фурм кислородом дутья до SO_2 и, поднимаясь с газом, восстанавливается твердым углеродом:



При этом часть серы в виде S и FeS растворяется в чугуне. Сера является вредной примесью и ухудшает качество чугуна. Для удаления серы стремятся повысить содержание CaO в шлаке. При этом часть серы в виде CaS удаляется в шлак по реакциям



Таким образом, в результате процессов восстановления окислов железа, части окислов марганца и кремния, фосфатов и сернистых соединений, растворения в железе C , Mn , Si , P , S в печи образуется чугун. В нижней части печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива. В условиях доменного процесса окислы Al_2O_3 , CaO , MgO , содержащиеся в пустой породе руды, полностью переходят в шлак. В шлаке содержится также часть невосстановившихся окислов SiO_2 , MnO , FeO и CaS . Шлак образуется постепенно, его состав изменяется по мере стекания в горн, где он скапливается на поверх-

ности жидкого чугуна благодаря меньшей плотности. Состав шлака зависит от состава применяющихся шихтовых материалов и выплавляемого чугуна.

По мере скопления чугуна и шлака их выпускают из печи. Чугун выпускают через 3—4 ч, а шлак через 1,0—1,5 ч. Чугун выпускают через чугунную летку 16 (см. рис. II.2, отверстие в кладке, расположенное выше лещади), а шлак — через шлаковую летку 17. Чугунную летку открывают бурильной машиной, а после выпуска чугуна закрывают огнеупорной массой. Чугун и шлак сливают по желобам, проложенным по литейному двору, в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши, установленные на железнодорожных платформах. Емкость чугуновозных ковшей 90—140 т. В них чугун транспортируют в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи для передела в сталь. Чугун, не используемый в жидком виде, поступает на разливочные машины. Из ковша чугун через передаточный желоб заполняет металлические формы-изложницы разливочной машины и затвердевает в них в виде чушек-слитков массой 45 кг.

Часто жидкий шлак из доменной печи не сливают в шлаковозные чаши, а для удобства дальнейшего использования подвергают мокрой грануляции: на него направляют струю воды, под действием которой он рассыпается на мелкие гранулы.

Продукты доменной плавки. В доменных печах получают два жидких продукта — чугун и шлак, а также колошниковый газ.

Чугун — основной продукт доменной плавки. В доменных печах получают чугун различного химического состава в зависимости от его назначения.

Переделный чугун выплавляют для передела его в сталь в конвертерах или мартеновских печах. Он содержит 4,0—4,4% С; до 0,6—0,8% Si; до 0,25—1,0% Mn; 0,15—0,3% P и 0,03—0,07% S. Переделный чугун некоторых марок, предназначенный для передела в сталь в конвертерах, имеет пониженное содержание фосфора (до 0,07%).

Литейный чугун используют для переплава его на машиностроительных заводах при производстве фасонных отливок. Он содержит повышенное количество кремния (до 2,75—3,25%). Кроме чугуна, в доменной печи выплавляют ферросплавы.

Доменные ферросплавы — сплавы железа с кремнием, марганцем и другими металлами. Их применяют для раскисления и легирования стали. К ним относятся: доменный ферросилиций с 9—13% Si и до 3% Mn; доменный ферромарганец с 70—75% Mn и до 2% Si; зеркальный чугун с 10—25% Mn и до 2% Si.

Побочными продуктами доменной плавки являются шлак и колошниковый газ, также используемые в производстве. Из шлака производят шлаковату, шлакоблоки, цемент, а колошниковый газ после очистки от пыли используют как топ-

ливо для нагрева воздуха, вдуваемого в доменную печь, а также в цехах металлургических заводов.

Важнейшие технико-экономические показатели. Такими показателями работы доменных печей являются коэффициент использования полезного объема доменной печи (К. И. П. О.) и удельный расход кокса. Коэффициент использования полезного объема печи (К. И. П. О. в м³/т) определяется как отношение полезного объема печи V (в м³) к ее среднесуточной производительности P в тоннах выплавленного передельного чугуна.

$$\text{К. И. П. О.} = \frac{V}{P}.$$

Чем выше производительность доменной печи, тем ниже К. И. П. О., который для большинства доменных печей в нашей стране составляет 0,5—0,7.

Удельный расход кокса K — отношение расхода A кокса за сутки к количеству P в тоннах передельного чугуна, выплавленного за то же время:

$$K = \frac{A}{P}.$$

В нашей стране удельный расход кокса в доменных печах составляет 0,5—0,7; он является важным показателем работы доменной печи, так как стоимость кокса составляет более 50% общей стоимости чугуна.

Улучшение технико-экономических показателей работы доменных печей является одной из важнейших задач металлургического производства. Эта задача решается повышением производительности доменных печей путем улучшения их конструкций, способов подготовки шихты, интенсификации доменного процесса.

Основным направлением в развитии современного доменного процесса является увеличение полезного объема доменных печей. Практика показывает, что с увеличением объема печей улучшаются технико-экономические показатели их работы. Поэтому в СССР эксплуатируют доменные печи объемом 2300 и 2700 м³ и вводят в строй доменные печи объемом 5000 м³. Такие печи выплавляют в сутки более 10 000 т чугуна.

Улучшение подготовки шихтовых материалов — обогащение руд, применение при плавке офлюсованного агломерата и окатышей обеспечивает прирост выплавки чугуна и снижает расход кокса. Например, увеличение содержания железа в шихте на 1% дает прирост выплавки чугуна на 3% и снижает расход кокса на 1,5—2,0%; применение агломерата повышает производительность печей на 10—15%, а замена агломерата окатышами снижает расход топлива и дополнительно увеличивает выплавку чугуна еще на 5—8%. Вместе с тем повышение производительности доменных печей достигается интенсификацией процесса плавки за счет следующего:

1) повышения давления газа на колошнике до 0,18 МН/м², в результате чего снижается скорость их движения в шахте доменной печи, улучшаются условия восстановления железа, снижается расход кокса и уменьшается вынос колошниковой пыли;

2) обогащения дутья кислородом, благодаря чему повышается интенсивность горения кокса, повышается температура в горне доменной печи, ускоряются процессы восстановления кремния и марганца, что особенно важно при выплавке доменных ферросплавов и литейных чугунов;

3) вдувания в горн природного газа и угольной пыли, что позволяет снизить расход кокса на 10—15%, увеличить производительность печей на 2—3% за счет повышения восстановительной способности газов.

1. Сущность процесса

Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап). Сравнение химических составов передельного чугуна и стали показывает, что содержание углерода и примесей в стали существенно ниже, чем в чугуне (см. таблицу).

Состав передельного чугуна и низкоуглеродистой стали

Материал	Состав, %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
Передельный чугун	4,0—4,4	0,76—1,26	До 1,75	0,15—0,3	0,03—0,07
Низкоуглеродистая сталь	0,14—0,22	0,12—0,3	0,4—0,65	0,05	0,055

Таким образом, для передела чугуна в сталь необходимо снизить содержание углерода и примесей. Поэтому сущностью любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки. В результате окислительных реакций, осуществляемых на первом этапе передела чугуна в сталь, углерод соединяется с кислородом, образуя CO, который удаляется в атмосферу печи. Кремний, марганец, фосфор, сера образуют окислы или другие соединения, нерастворимые или малорастворимые в металле (SiO_2 , MnO , CaS и др.), которые в процессе плавки частично удаляются в шлак.

Однако в полной мере окислить примеси не удастся, так как, несмотря на их значительно большее сродство к кислороду, чем у железа, по мере снижения содержания примесей в соответствии с законом действующих масс начинает окисляться железо. Окислы железа растворяются в железе, насыщая металл кислородом. Сталь, содержащая кислород, непригодна для обработки давлением —ковки, прокатки, так как в ней образуются трещины при деформации в нагретом состоянии.

Для уменьшения содержания кислорода в стали в процессе плавки ее раскисляют, т. е. вводят в нее элементы с большим сродством к кислороду, чем у железа. Взаимодействуя с кислородом стали, эти элементы образуют нерастворимые окислы, частично всплывающие в шлак. Для раскисления стали используют ферросплавы — ферросилиций, ферромарганец, а также алюминий. Раскисление является завершающим этапом выплавки стали.

Чугун переделывают в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах. Основными из них являются кислородные конвертеры, мартеновские печи и другие электропечи. В 1974 г. мировое производство стали составило около 700 млн. т в год. В нашей стране в 1975 г. около половины всего объема стали выплавлено в мартеновских печах, около трети в кислородных конвертерах и остальное в дуговых электропечах. Соотношение между способами производства стали непрерывно изменяется. Объем производства стали, выплаваемой в высокопроизводительных агрегатах — кислородных конвертерах и крупных электропечах, возрастает, а стали, выплаваемой в мартеновских печах, постепенно уменьшается.

2. Производство стали в конвертерах

Кислородно-конвертерный процесс. Это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом сверху через водоохлаждаемую фурму.

Кислородный конвертер (рис. П. 4). Представляет собой сосуд 3 грушевидной формы, изготовленный из стального листа и выложенный изнутри основным кирпичом 4, емкостью 130—350 т жидкого чугуна. В процессе работы конвертер можно поворачивать на цапфах 5 вокруг горизонтальной оси на 360° для завалки скрапа, заливки чугуна, слива стали, шлака и т. д. Во время продувки чугуна кислородом конвертер находится в вертикальном положении. Кислород в конвертер под давлением $0,9—1,4 \text{ МН/м}^2$ (9—14 ат) подают с помощью водоохлаждаемой фурмы 1, которую вводят в конвертер через его горловину 2. Фурму устанавливают строго вертикально по оси конвертера. Ее поднимают специальным механизмом, заблокированным с механизмом вращения конвертера так, что конвертер нельзя повернуть, пока из него не удалена фурма.

Шихтовые материалы. Такими материалами для кислородно-конвертерного процесса являются жидкий передельный чугун, стальной лом, известь, железная руда, боксит, плавиковый шпат. Чугун для переработки в кислородных конвертерах должен содержать 3,7—4,4% С; 0,7—1,1% Mn; 0,4—0,8% Si; 0,03—0,08% S; < 0,15—0,3% P. Известь необходима для наводки

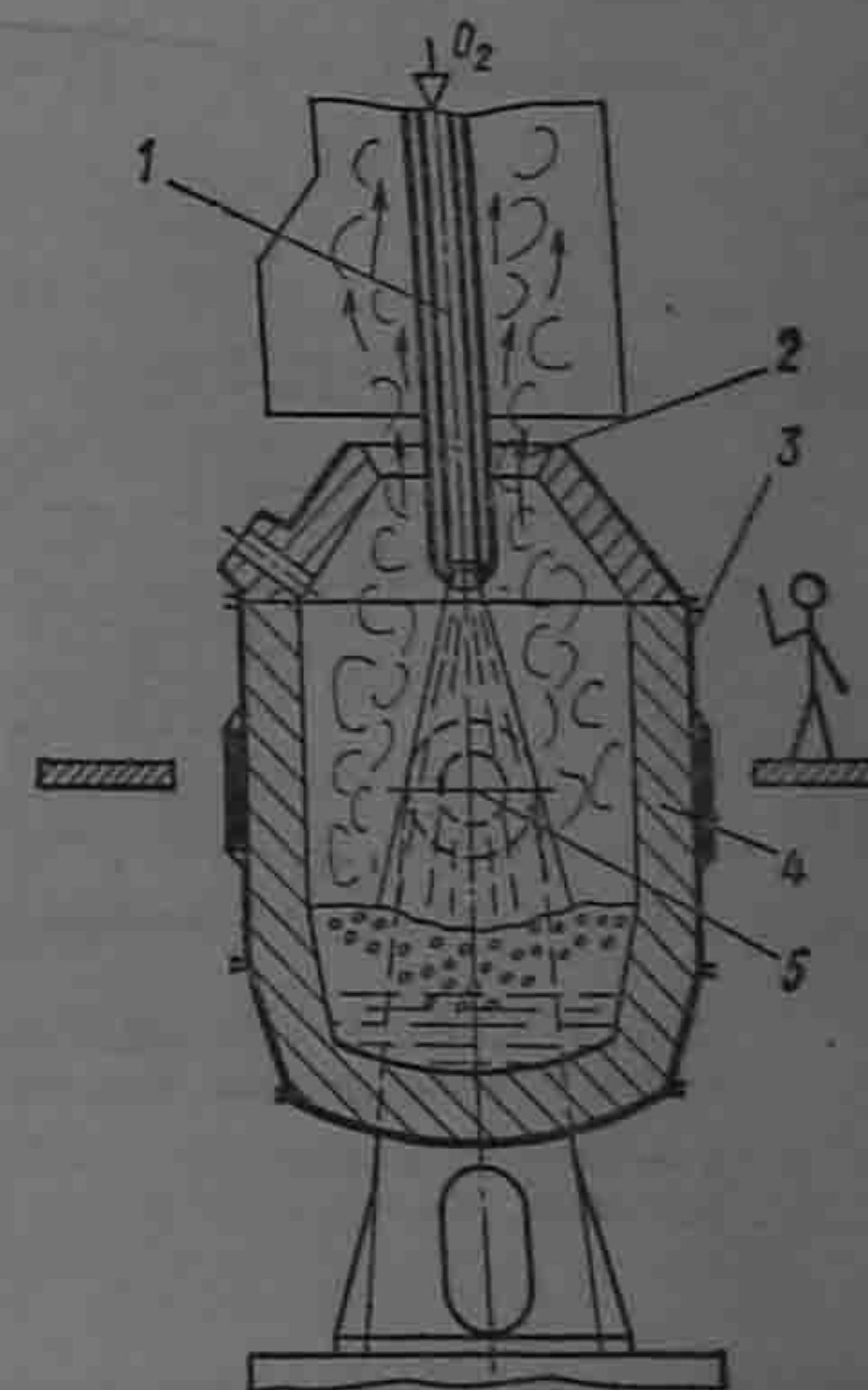


Рис. П.4. Схема устройства кислородного конвертера

шлака. Она должна содержать более 90% CaO и минимальное количество SiO₂ и серы. Боксит и плавиковый шпат применяют для разжижения шлака.

Технология плавки. После выпуска очередной плавки конвертер наклоняют и через горловину с помощью завалочных машин загружают скрапом (рис. II. 5, а). Затем в конвертер заливают чугун при температуре 1250—1400° С из чугуновозных ковшей (рис. II. 5, б). После этого конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение (рис. II. 5, в), внутрь его вводят кислородную фурму и подают кислород. Одновременно с началом

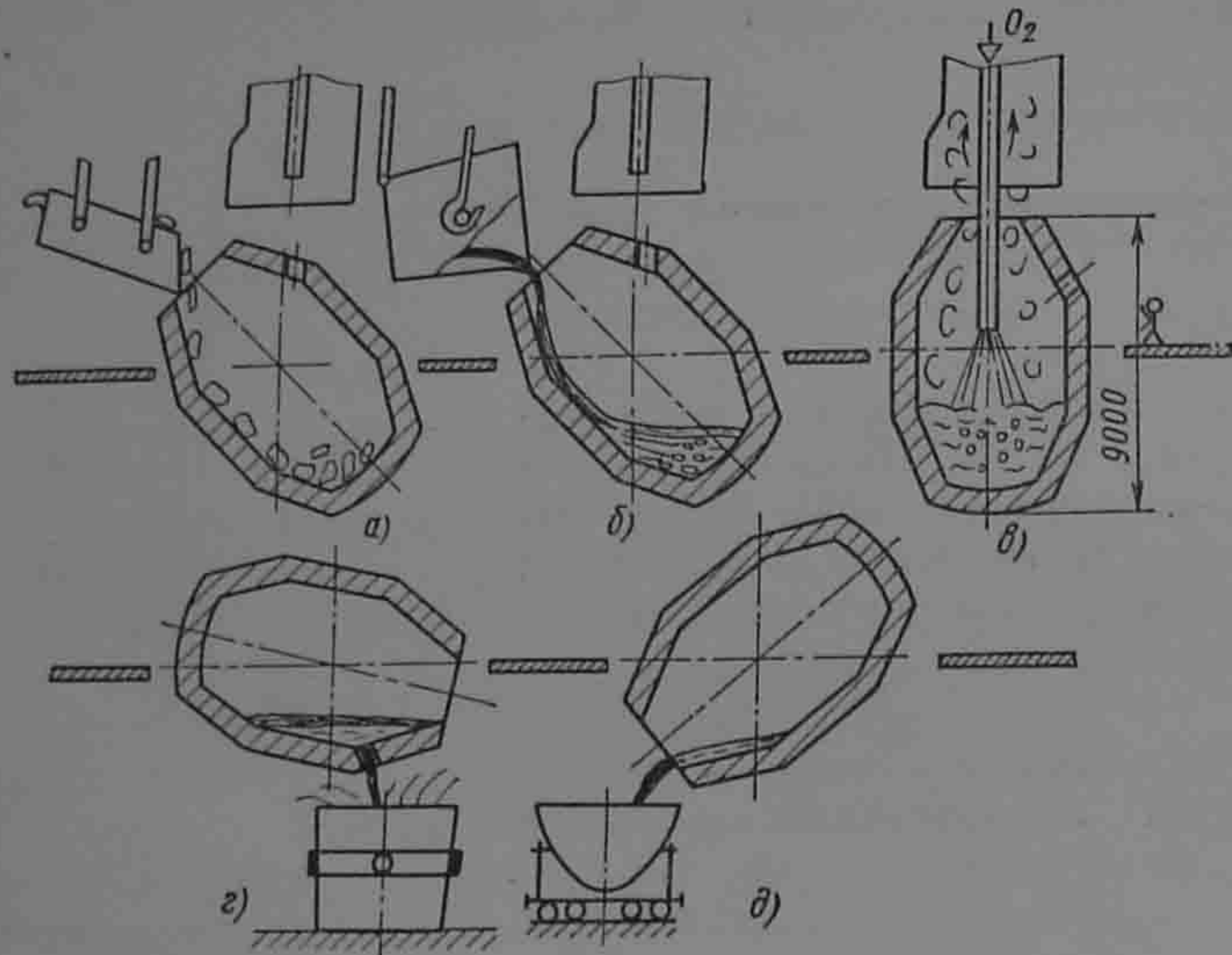


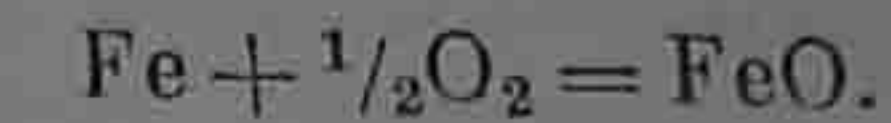
Рис. II.5. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах:

а — загрузка скрапа; б — заливка жидкого чугуна; в — продувка кислородом; г — выпуск стали в ковш; д — слив шлака в шлаковую чашу

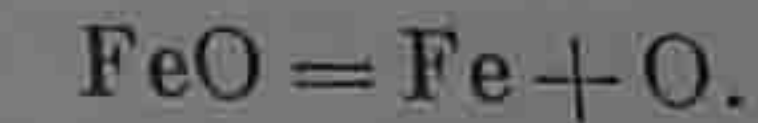
продувки в конвертер загружают шлакообразующие материалы (известь, боксит, железную руду). Расстояние головки фурмы от уровня металла в конвертере 0,7—3,0 м, в зависимости от емкости конвертера. Струи кислорода, поступающие под большим давлением в конвертер, проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой температура достигает 2400° С.

Окислительный период. В кислородном конвертере составляющие чугуна окисляются газообразным кислородом закиси железа (FeO), растворяющимся в металле и шлаке при продувке. В зоне контакта кислородной струи с чугуном в первую очередь окисляется железо, так как его концентрация во много раз выше

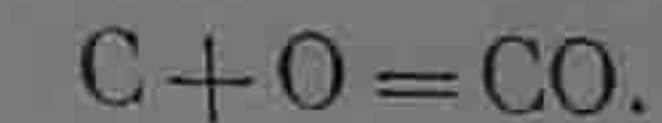
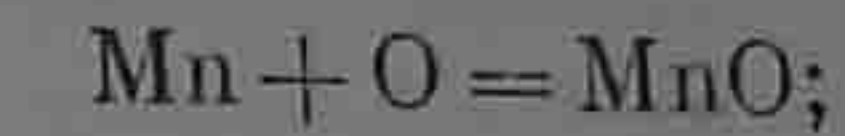
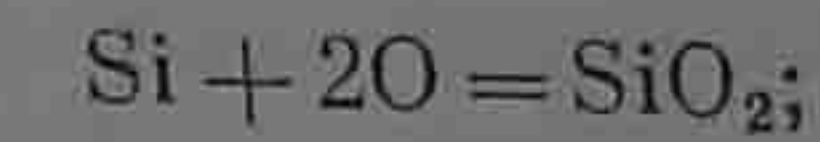
концентрации примесей:



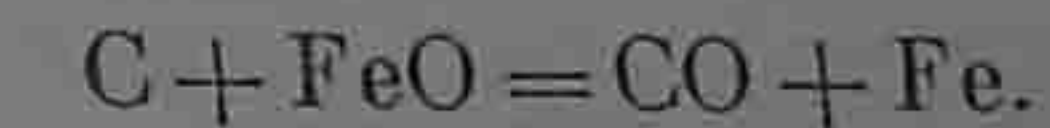
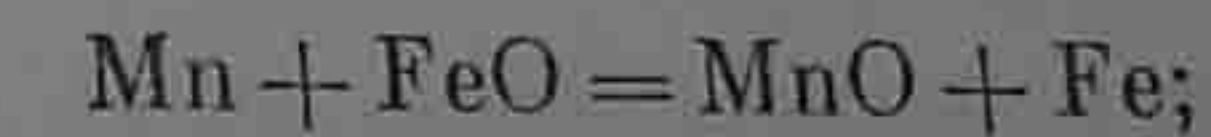
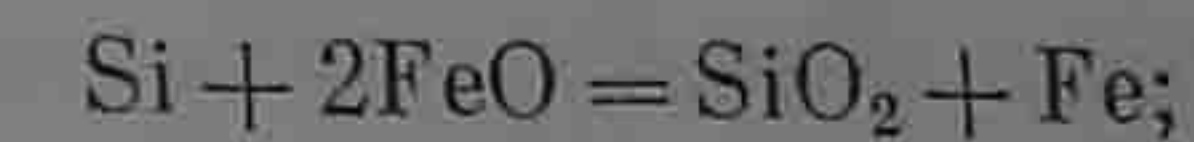
Закись железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом:



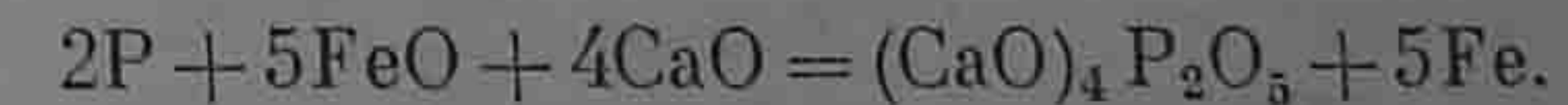
Окисление примесей чугуна кислородом, растворенным в металле, происходит по реакциям



Часть примесей окисляется на границе металл — шлак окислами железа, содержащимися в шлаке:

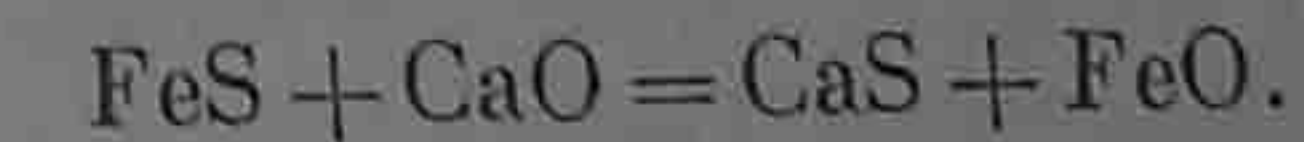


В кислородном конвертере благодаря присутствию шлаков с большим содержанием CaO и FeO, интенсивному перемешиванию металла и шлака легко удаляется из металла фосфор:



Образовавшийся фосфат кальция удаляется в шлак. В чугунах, перерабатываемых в конвертерах, должно быть не более 0,15% P. При повышенном (до 0,3%) содержании фосфора необходимо для более полного его удаления производить промежуточный слив шлака и наводить новый, что снижает производительность конвертера.

Удаление серы из металла происходит по реакции



Вместе с тем высокое содержание в шлаке FeO (до 7—20%) затрудняет протекание реакции удаления серы из металла. Поэтому для передела в сталь в кислородных конвертерах применяют чугун с ограниченным содержанием серы (до 0,07%).

Подачу кислорода заканчивают в момент, когда содержание углерода в металле соответствует заданному содержанию в стали. Для этого осуществляют автоматический контроль химического состава металла по ходу плавки с использованием ЭВМ. После этого конвертер поворачивают и производят выпуск стали в ковш (рис. II.5, г).

Раскисление стали. При выпуске стали из конвертера в ковш ее раскисляют вначале ферромарганцем, затем ферросилицием и алюминием. Затем из конвертера сливают шлак (рис. II.5, д).

В кислородных конвертерах трудно выплавлять легированные стали, содержащие легкоокисляющиеся легирующие элементы. Поэтому в кислородных конвертерах выплавляют низколегированные стали, содержащие до 2—3% легирующих элементов. Легирующие элементы вводят в ковш, предварительно расплавив их в электропечи, или легирующие ферросплавы вводят в ковш перед выпуском в него стали. Окисление примесей чугуна в кислородном конвертере протекает очень быстро: плавка в конвертерах емкостью 130—300 т заканчивается через 25—50 мин. Поэтому кислородно-конвертерный процесс производительнее плавки стали в мартеновских печах: производительность конвертера емкостью 300 т достигает 400—500 т/ч стали, а мартеновских печей и электропечей — не более 80 т/ч. Вследствие этого производство стали в нашей стране в основном увеличивается за счет ввода в строй новых кислородно-конвертерных цехов.

3. Производство стали в мартеновских печах

Устройство и работа мартеновской печи. Мартеновская печь (рис. П.6) — это пламенная отражательная регенеративная печь. Она имеет рабочее плавильное пространство, ограниченное снизу подиной 12, сверху сводом 11, а с боков передней 5 и задней 10 стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. Футеровка печи может быть основной и кислой. Если в процессе плавки стали в шлаке преобладают кислотные окислы, процесс называется *кислым мартеновским процессом*, а если преобладают основные окислы — *основным*. При высоких температурах шлаки могут взаимодействовать с футеровкой печи, разрушая ее. Для уменьшения этого взаимодействия необходимо, чтобы при кислом процессе футеровка печи была кислой, а при основном — основной. Футеровку кислой мартеновской печи изготовляют из dinasового кирпича, а верхний рабочий слой подины набивают из кварцевого песка. Футеровку основной мартеновской печи выполняют из магнезитового кирпича, на который набивают магнезитовый порошок. Свод мартеновской печи не соприкасается со шлаком, поэтому его делают из dinasового или магнезитохромитового кирпича независимо от типа процесса, осуществляемого в печи. В передней стенке печи находятся загрузочные окна 4 для подачи шихтовых материалов (металлической шихты, флюса) в печь. В задней стенке печи расположено сталевыпускное отверстие 9 для выпуска готовой стали.

Размеры плавильного пространства зависят от емкости печи. В нашей стране работают мартеновские печи емкостью 20—900 т жидкой стали. Важной характеристикой рабочего пространства является *площадь пода печи*, которую условно подсчитывают на уровне порогов загрузочных окон. Например, для печи емкостью 900 т площадь пода составляет 115 м². С обоих торцов плавильного пространства расположены головки печи 2. Головки

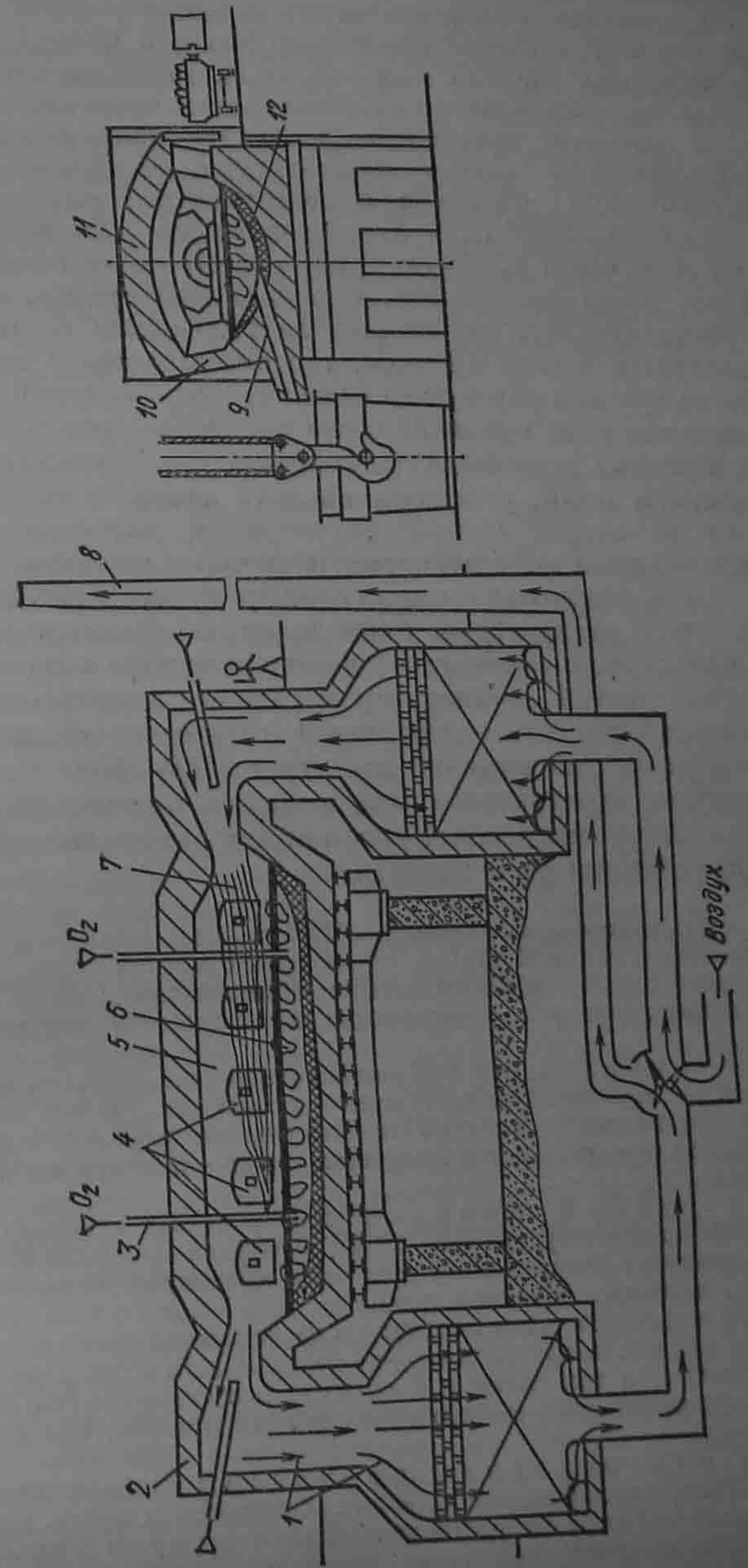


Рис. П.6. Схема мартеновской печи

печи служат для смешивания топлива с воздухом и подачи этой смеси в плавильное пространство. В качестве топлива в мартеновских печах используют природный газ или мазут.

Для подогрева воздуха при работе на газообразном топливе печь имеет два регенератора I. Регенератор представляет собой камеру, в которой размещена насадка — огнеупорный кирпич, выложенный в клетку. Температура отходящих из печи газов $1500-1000^{\circ}\text{C}$. Попадая в регенераторы, они нагревают насадку до $1250-1280^{\circ}\text{C}$, а охлажденные до $500-600^{\circ}\text{C}$ газы уходят из печи через дымовую трубу. Затем через один из регенераторов, например правый, в печь подают воздух, который, проходя через насадку, нагревается до $1100-1200^{\circ}\text{C}$. Нагретый воздух поступает в головку печи, где смешивается с топливом; на выходе из головки образуется факел 7, направленный на шихту 6. Отходящие газы проходят через противоположную головку (правую), очистные устройства (шлаковики) для отделения мелких частиц шлака и пыли, уносимых из печи потоком газов, и направляются во второй (левый) регенератор, нагревая его насадку. Охлажденные газы покидают печь через дымовую трубу 8 высотой до 120 м. После охлаждения насадки правого регенератора до определенной температуры происходит автоматическое переключение клапанов, и поток газов в печи изменяет направление: через нагретый левый регенератор и головку в печь поступает воздух, а правый нагревается теплотой отходящих газов.

Температура факела пламени достигает $1750-1800^{\circ}\text{C}$. Факел нагревает рабочее пространство печи и шихту. Факел имеет окислительный характер, что создает условия для окисления примесей шихты на протяжении всей плавки.

Разновидности мартеновского процесса. При плавке в мартеновских печах составляющими металлической шихты могут быть стальной скрап, жидкий и твердый чугуны. В зависимости от состава металлической шихты, используемой при плавке, различают следующие разновидности мартеновского процесса:

1) **скрап-процесс**, при котором основной частью шихты является стальной скрап; применяют на металлургических заводах, где нет доменных печей, но расположенных в крупных промышленных центрах, где много металлолома; кроме скрапа в состав шихты входит 25—46% чушкового переделного чугуна;

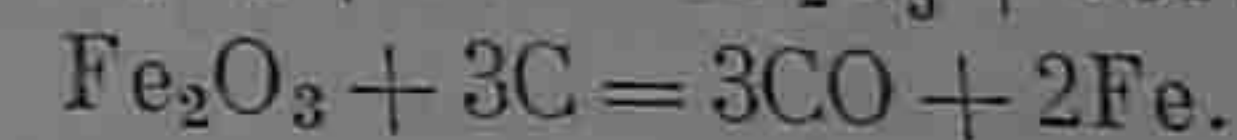
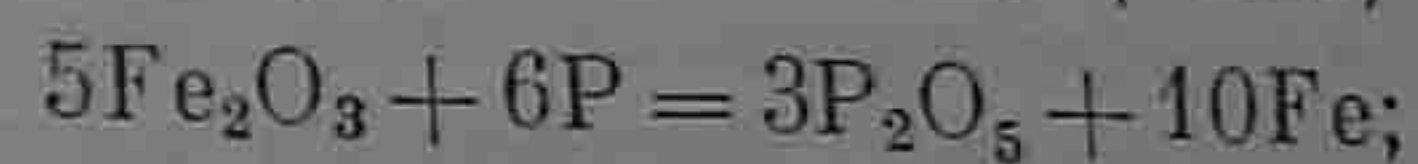
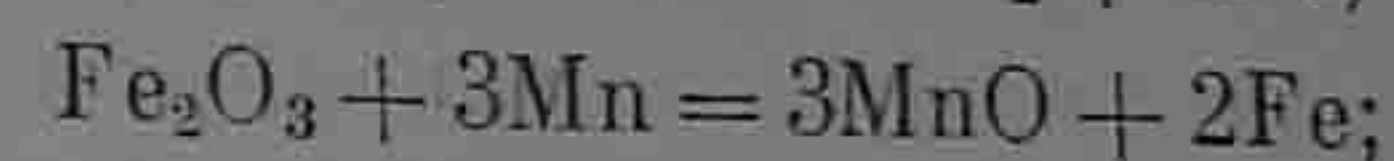
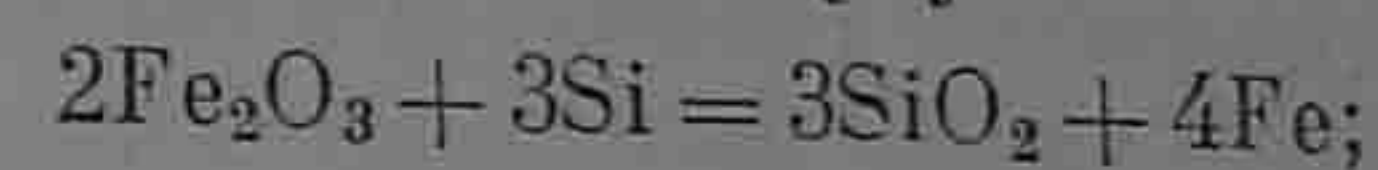
2) **скрап-рудный процесс**, при котором основная часть шихты состоит из жидкого чугуна (55—75%), а твердая составляющая шихты — скрап и железная руда; этот процесс чаще применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи.

Наибольшее количество стали получают в мартеновских печах с основной футеровкой, так как в этом случае возможно переделывать в сталь различные шихтовые материалы, в том числе и с повышенным содержанием фосфора и серы. При этом используют обычно скрап-рудный процесс, как наиболее экономичный.

Кислым мартеновским процессом выплавляют качественные стали. Стали, выплавляемые в кислых мартеновских печах, содержат значительно меньшее количество растворенных газов (водорода и кислорода), неметаллических включений, чем сталь, выплавляемая в основной печи. Поскольку в печах с кислой футеровкой нельзя вывести основной шлак, спо-

собствующий удалению фосфора и серы, то при плавке в кислой печи применяют металлическую шихту с низким содержанием этих составляющих. Благодаря этому кислая сталь имеет более высокие показатели механических свойств, особенно ударной вязкости и пластичности, и ее используют для ответственных деталей: коленчатых валов крупных двигателей, роторов мощных турбин, шарикоподшипников, стволов орудий и т. д.

Плавка стали скрап-рудным процессом в основной мартеновской печи происходит следующим образом. После осмотра и ремонта пода печи с помощью завалочной машины *загружают железную руду и известняк* и после их прогрева подают скрап. По окончании прогрева скрапа в печь заливают жидкий чугун, который, проходя через слой скрапа, взаимодействует с железной рудой. *В период плавления* за счет окислов железа руды и скрапа интенсивно окисляются примеси чугуна:



Окислы SiO_2 , MnO , P_2O_5 , а также CaO из извести образуют шлак с высоким содержанием MnO и FeO , а выделяющаяся окись углерода (CO) вспенивает шлак, который выпускают из печи в шлаковые чаши. Образование и спуск шлака продолжают почти до полного расплавления шихты. В этот период плавления полностью окисляется кремний и почти полностью марганец и большая часть углерода, а также интенсивно удаляется фосфор.

Завалка шихты, заливка чугуна и плавление протекают медленно при большом расходе топлива. Для ускорения плавления и окисления примесей после окончания заливки чугуна ванну продувают кислородом, подаваемым в печь через водоохлаждаемые фурмы, которые опускаются в отверстия в своде печи. При этом выделяется значительное количество теплоты, металл интенсивно перемешивается, что позволяет в 2—3 раза сократить период плавления, уменьшить расход топлива и железной руды.

По окончании расплавления шихты наступает *период кипения ванны*. Для этого после расплавления шихты в печь подают некоторое количество железной руды или продувают ванну кислородом, подаваемым по трубам 3 (см. рис. II. 6). Углерод, содержащийся в металле, начинает интенсивно окисляться, образуется окись углерода. В это время отключают подачу топлива и воздуха в печь, давление газов в плавильном пространстве печи падает и выделяющаяся окись углерода вспенивает шлак. Шлак начинает вытекать из печи через порог завалочного окна в шлаковые чаши. Эта операция называется скачиванием шлака. Вместе со шлаком удаляется значительное количество фосфора и серы. После этого вновь включают подачу топлива и воздуха, давление газов в печи возрастает, шлак перестает вспениваться, и его скачивание прекращается.

Для более полного удаления из металла фосфора и серы в печи наводят новый шлак путем подачи на зеркало металла извести с добавлением боксита или плавленого шпата для уменьшения вязкости шлака.

Окислительная атмосфера в печи способствует образованию на поверхности шлак — газ окиси железа (Fe_2O_3). Окись железа диффундирует через шлак и на поверхности шлак-металл реагирует с жидким железом, восстанавливаясь до FeO , который также отдает свой кислород металлу. Поступивший в металл кислород взаимодействует с углеродом металла с образованием окиси углерода, которая выделяется в виде пузырьков, вызывая кипение ванны. Поэтому для кипения ванны шихта должна содержать избыток углерода (на 0,5—0,6%) сверх заданного в выплавляемой стали. Эта реакция является главной в мартеновской плавке, так как в процессе кипения ванны металл обезуглероживается, выравнивается его температура по объему ванны, частично удаляются из него газы и неметаллические включения, увеличивается поверхность соприкосновения металла со шлаком и облегчается удаление фосфора и серы из металла.

Начиная с расплавления шихты, до выпуска металла из печи, регулярно отбирают пробы металла и шлака для анализа химического состава. Процесс кипения считают окончившимся, если содержание углерода в металле по результатам анализов соответствует заданному, а содержание серы и фосфора минимально.

После этого приступают к *раскислению* металла. Металл раскисляют в два этапа: в период кипения, путем прекращения подачи руды в печь, вследствие чего раскисление происходит за счет углерода металла и подачи в ванну раскислителей — ферромарганца, ферросилиция, алюминия и окончательно раскисляют алюминием и ферросилицием в ковше при выпуске стали из печи. После отбора контрольных проб плавку выпускают из печи через сталевыпускное отверстие в задней стенке. По желобу сталь сливается в сталеразливочный ковш.

При выплавке легированных сталей легкоокисляющиеся легирующие элементы вводят в ванну после раскисления перед выпуском металла из печи.

Основные технико-экономические показатели. Эти показатели производства стали в мартеновских печах следующие: производительность в сутки ($\text{т/м}^2 \cdot \text{сутки}$), и расход топлива на тонну выплавленной стали (кг/т). Средний съём стали с 1 м^2 площади пода в сутки составляет $\sim 10 \text{ т/м}^2$ в сутки, а расход условного топлива от 120 кг/т для обычной плавки до 80 кг/т для плавки с применением кислорода.

Технико-экономические показатели работы мартеновских печей можно повысить путем применения печей повышенной емкости, улучшения их конструкции, интенсификации технологического процесса плавки. Увеличение емкости печей способствует более полному использованию их тепловой мощности. В нашей стране эксплуатируют экономически оптимальные мартеновские печи с ванной емкостью до 500—600 т,

Все более широкое применение находят *двухваннные мартеновские печи*, позволяющие полнее использовать теплоту отходящих газов. В этих печах имеются две ванны: в то время как в одной из них протекают процессы, требующие большой затраты теплоты (завалка, прогрев, плавление), в другой происходит продувка ванны кислородом; при этом возникающий избыток теплоты с отходящими газами используется в первой ванне. К моменту выпуска металла из одной ванны печи, в другой начинают продувку, а выделяющиеся газы направляют в первую ванну, в которой после выпуска начинают завалку шихты. Окись углерода, выделяющаяся при продувке ванны, догорает над шихтой другой ванны, благодаря чему шихта быстро нагревается и плавится. В таких печах топлива расходуется в 2—3 раза меньше, чем в обычных мартеновских печах, резко сокращается расход огнеупоров, повышается производительность печи.

Процесс плавки интенсифицируют широким применением кислорода, что повышает температуру в печи, ускоряет процесс окисления примесей, уменьшает продолжительность плавки и повышает производительность печи (на 20—25%), снижает расход топлива. Широко применяют кислородный процесс, используя природный малосернистый высококалорийный газ, что снижает содержание серы в стали. Существенно повысить производительность мартеновских печей можно, применяя качественно подготовленные шихтовые материалы с минимальным содержанием вредных примесей, а также автоматизируя контроль и управление ходом мартеновской плавки. Более полное использование мартеновских печей достигается высокой организацией труда при проведении плавки.

4. Производство стали в электропечах

Электроплавильные печи. Эти печи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами. В электропечах можно быстро нагревать, плавить и точно регулировать температуру металла, создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу или вакуум. В этих печах можно выплавлять сталь и сплавы любого состава, более полно раскислить металл с образованием минимального количества неметаллических включений — продуктов раскисления. Поэтому электропечи используют для выплавки конструкционных сталей ответственного назначения, высоколегированных, инструментальных, коррозионно-стойких (нержавеющих) и других специальных сталей и сплавов.

Электроплавильные печи бывают дуговыми и индукционными.

Дуговая электросталеплавильная печь. В этих печах в качестве источника теплоты используют электрическую дугу, возникающую между электродами и металлической шихтой. Дуговая электросталеплавильная печь (рис. П. 7) питается трехфазным переменным током и имеет три цилиндрических электрода 9, изготовленных из графитированной массы. Электрический ток от трансформатора гибкими кабелями 7 и медными шинами подводится к электрододержателям 8, а через них к электродам 9. Между электродами и металлической шихтой 4 возникает электрическая дуга, электроэнергия превращается в теплоту, которая передается металлу и шлаку излучением. Рабочее напряжение 180—600 В, сила тока 1—10 кА. Во время работы печи длина дуги регулируется автоматически путем вертикального перемещения электродов. Печь имеет стальной сварной

кожух 3. Кожух печи изнутри футерован теплоизоляционным и огнеупорным кирпичом 1, который может быть основным (магнетитовый, магнезитохромитовый) или кислым (диасовый). По днищу 12 печи набивается огнеупорной массой. Плавильное пространство ограничено стенками 5, подиной 6, изготовленным также из огнеупорного кирпича и имеющим отверстия для прохода электродов. В стенках печи имеются рабочее окно 10 для управления ходом плавки и летка для выпуска готовой стали по желобу 2 в ковш.

Печь загружают при снятом своде. Механизмом 11 печь может наклоняться в сторону загрузочного окна и летки. Емкость дуго-

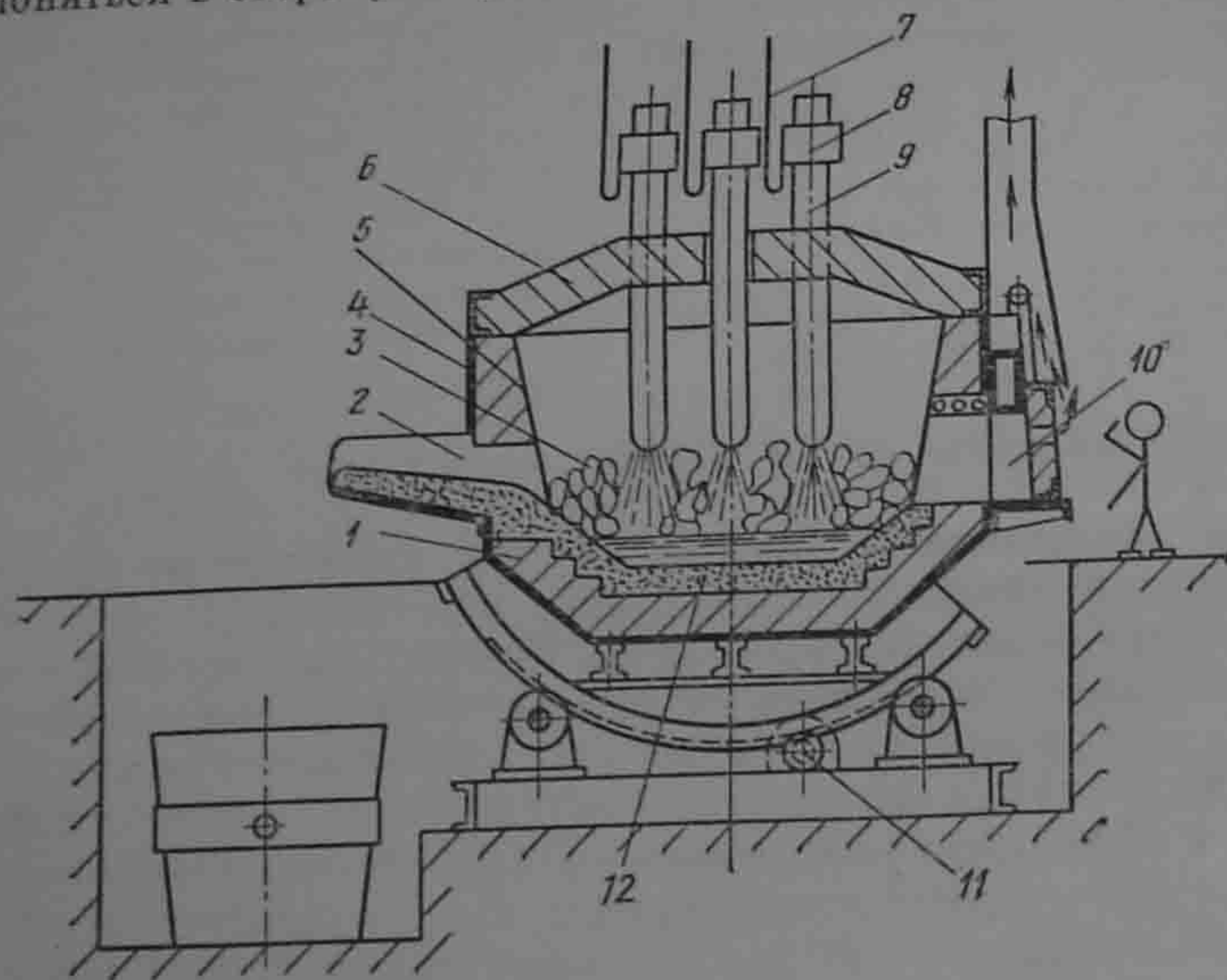


Рис. П.7. Схема дуговой электрической плавильной печи

вых электропечей 0,5—400 т. В металлургических цехах обычно используют дуговые электропечи с основной футеровкой, а в литейных цехах — с кислой.

Основная дуговая печь. Применяют два вида технологии плавки в дуговой основной печи: на шихте из легированных отходов (методом переплава) и на углеродистой шихте (с окислением примесей).

Плавку на шихте из легированных отходов с низким содержанием фосфора проводят без окисления примесей. Шихта для такой плавки, кроме пониженного содержания фосфора, должна иметь меньшее, чем в выплавляемой стали, количество марганца и кремния. По сути это переплав. Однако в процессе плавки за счет кислорода некоторые примеси (алюминия, титана, кремния, марганца, хрома) окисляются. Кроме того, шихта может содержать окислы. Поэтому после расплавления шихты металл раскисляют,

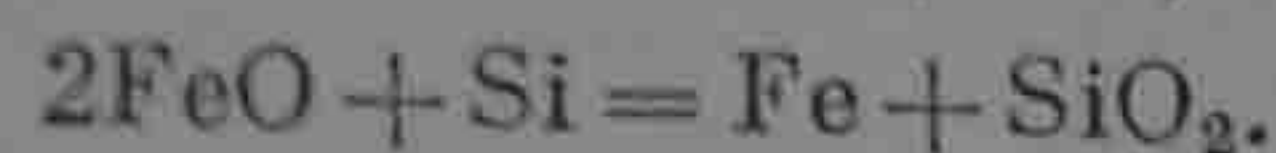
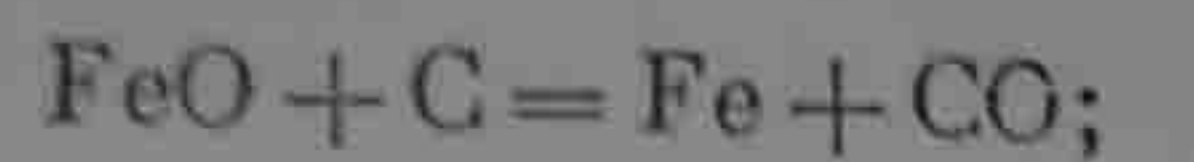
удаляют серу, наводят основной шлак, при необходимости науглероживают и доводят металл до заданного химического состава. Раскисляют ферросилицием, алюминием, молотым коксом. При этом окислы легирующих элементов восстанавливаются и переходят из шлака в металл. Таким способом плавки получают легированные стали из отходов машиностроительных заводов.

Плавку на углеродистой шихте чаще применяют для производства конструкционных углеродистых сталей. Эту плавку проводят за два периода: окислительный и восстановительный. После заправки печи, удаления остатков металла и шлака предыдущей плавки, исправления поврежденных мест футеровки в печь загружают шихту: стальной лом (до 90%), чушковый передельный чугун (до 10%), электродный бой или кокс для науглероживания металла и 2—3% извести. По окончании завалки шихты электроды опускают вниз и включают ток; шихта под электродами плавится, металл накапливается на подине печи. Во время плавления шихты начинается *окислительный период плавки*: за счет кислорода воздуха, окислов шихты и окалина окисляется кремний, марганец, углерод, железо. Вместе с окисью кальция, содержащейся в извести, окислы этих элементов образуют основной железистый шлак, способствующий удалению фосфора из металла.

После нагрева металла и шлака до 1500—1540° С в печь загружают руду и известь. Содержащийся в руде кислород интенсивно окисляет углерод и вызывает кипение ванны жидкого металла за счет выделяющихся пузырьков окиси углерода. Шлак вспенивается, уровень его повышается; для выпуска шлака печь наклоняют в сторону рабочего окна и он стекает в шлаковую чашу. Кипение металла ускоряет нагрев ванны, удаление из металла газов, неметаллических включений, способствует удалению фосфора. Шлак удаляют, руду и известь добавляют 2—3 раза. В результате содержание фосфора в металле снижается до 0,01% и одновременно за счет образования окиси углерода при кипении уменьшается и содержание углерода. Когда содержание углерода становится меньше заданного на 0,1%, кипение прекращают и полностью удаляют из печи шлак. Этим заканчивается окислительный период плавки.

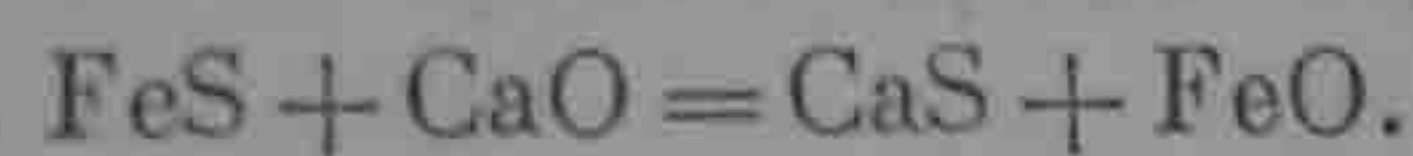
Восстановительный период плавки включает раскисление металла, удаление серы и доведение химического состава до заданного. После удаления окислительного шлака в печь подают ферромарганец в количестве, обеспечивающем заданное содержание марганца в стали, а также производят науглероживание, если выплавляют высокоуглеродистые стали (до 1,5% С). Затем в печь загружают флюс, состоящий из извести, плавикового шпата и шамотного боя. После расплавления флюсов и образования шлака в печь вводят раскислительную смесь, состоящую из извести, плавикового шпата, молотого кокса и ферросилиция. Молотый кокс и ферросилиций вводят в порошкообразном виде. Они очень медленно проникают через слой шлака. В шлаке вос-

становляется закись железа:



При этом содержание закиси железа в шлаке снижается и она из металла согласно закону распределения начинает переходить в шлак. Этот процесс называют *диффузионным раскислением* стали. Раскислительную смесь вводят в печь несколько раз. По мере раскисления и понижения содержания FeO цвет шлака изменяется и он становится почти белым. Раскисление под белым шлаком длится 30—60 мин.

Во время восстановительного периода сера удаляется из металла, что объясняется высоким (до 55—60%) содержанием CaO в белом шлаке и низким (менее 0,5%) содержанием FeO. Это способствует интенсивному удалению серы из металла:



По ходу восстановительного периода берут пробы для определения химического состава металла. При необходимости в печь вводят ферросплавы для достижения заданного химического состава металла. Когда достигнуты заданные состав металла и температура, выполняют *конечное раскисление* стали алюминием и силикокальцием. После этого следует выпуск металла из печи в ковш.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов. Порядок ввода определяется сродством легирующих элементов к кислороду. Никель, молибден обладают меньшим сродством к кислороду, чем железо, и их вводят в период плавления или в окислительный период. Хром легко окисляется и его вводят в восстановительный период; кремний, ванадий, титан — перед выпуском металла из печи в ковш, так как они легко окисляются.

Технико-экономические показатели. Эти показатели плавки в дуговых печах зависят от емкости печи и технологии плавки. Расход электроэнергии на 1 т стали зависит от емкости печи. С увеличением емкости печи расход электроэнергии на 1 т выплавленной стали уменьшается. Например, для печи емкостью 25 т он составляет 750 кВт·ч, а для печи емкостью 100 т — 575 кВт·ч. Расход графитированных электродов составляет 6—9 кг/т выплавленной стали.

Технико-экономические показатели работы дуговых печей и качество металла повышаются за счет интенсификации плавки, увеличения емкости печи, мощности трансформаторов, механизации загрузки шихты, применения электромагнитного перемешивания металла. Значительной эффективности можно достигнуть при выплавке легированных сталей, применяя *дуплекс-процесс*: выплавка стали в основном кислородном конвертере, а рафинирование и доводка по химическому составу в электропечи. Эффективным является применение кислорода для продувки ванны стали в окислительный период,

что интенсифицирует процесс плавки, увеличивает на 15—20% производительность печи, снижает расход электроэнергии и экономит легирующие добавки.

Электроиндукционные печи. Индукционная тигельная сталеплавильная печь (рис. II.8) состоит из водоохлаждаемого индуктора 3, внутри которого находится тигель 4 с металлической шихтой. Через индуктор проходит однофазный переменный ток повышенной частоты (500—1000 кГц). Ток создает переменный магнитный поток, пронизывая куски металла в тигле, наводит в них мощные вихревые токи (Фуко), нагревающие металл 1 до расплавления и необходимых температур перегрева. Тигель может

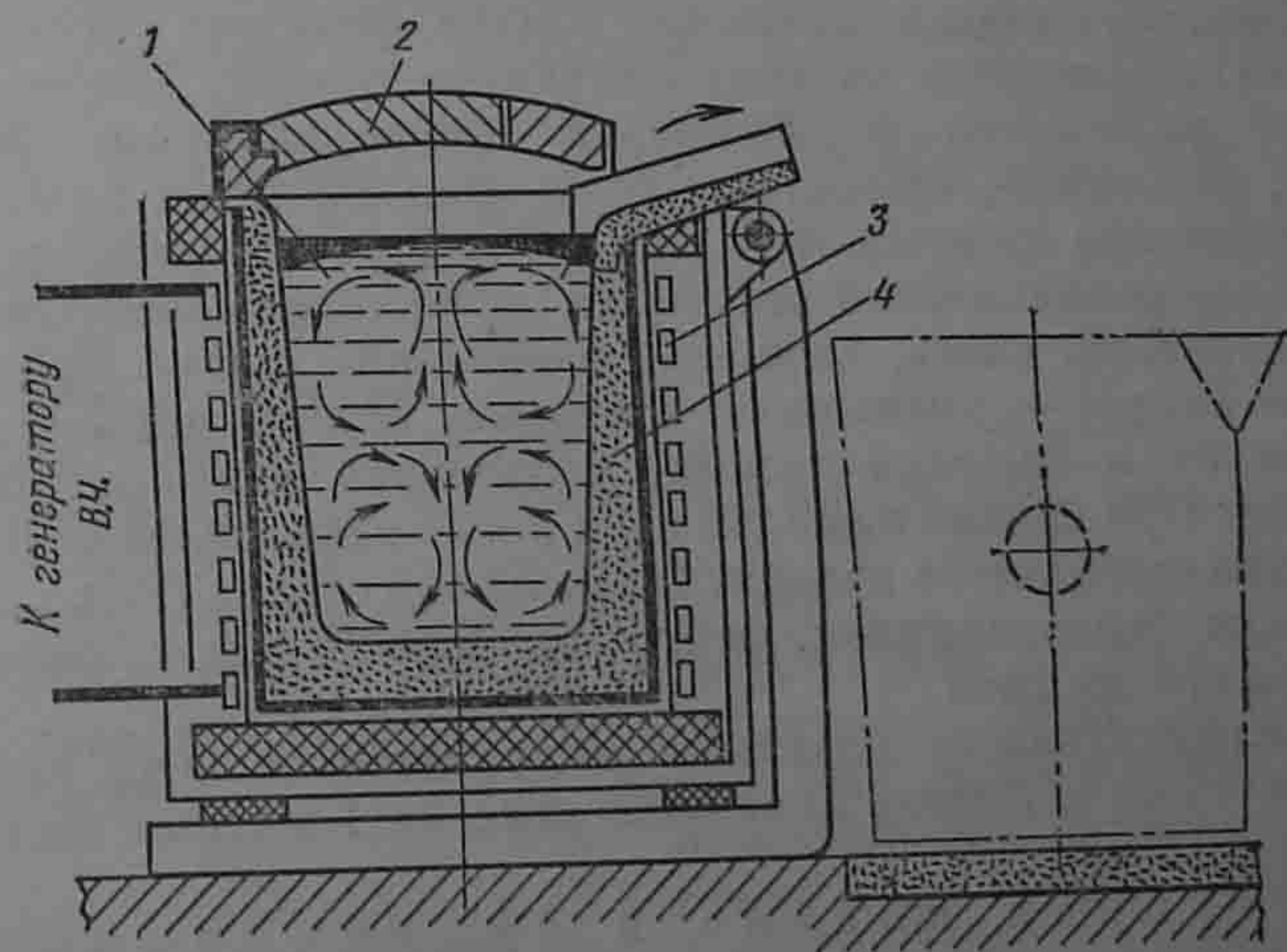


Рис. II.8. Схема индукционной тигельной электрической плавильной печи

быть изготовлен из кислых (кварцит) или основных (магнезитовый порошок) огнеупорных материалов. Емкость тигля от 60 до 25 т. Ток к индуктору подводится от генератора высокой частоты — лампового (лабораторные печи) или машинного. Для уменьшения потерь теплоты при плавке можно применить съемный свод 2. Индукционные печи имеют преимущества перед дуговыми: 1) в них отсутствует электрическая дуга, что позволяет выплавлять металлы с низким содержанием углерода, газов и малым угаром элементов, это особенно важно при выплавке высококачественных сталей и сплавов; 2) при плавке в металле возникают электродинамические силы, которые перемешивают металл в печи и способствуют выравниванию химического состава, всплыванию неметаллических включений; 3) индукционные печи имеют небольшие габаритные размеры, что позволяет помещать их в закрытые камеры, в которых можно создавать любую атмосферу, а также вакуум. Однако эти печи имеют малую стойкость футеровки,

шлак в них нагревается теплотой металла и температура его недостаточна для интенсивного протекания металлургических процессов между металлом и шлаком.

Обычно в индукционных печах выплавляют сталь и сплавы или из легированных отходов *методом переплава*, или из чистого шихтового железа и скрапа с добавкой ферросплавов *методом сплавления*. В большинстве случаев печи имеют кислую футеровку. Основную футеровку используют для выплавки сталей и сплавов с высоким содержанием марганца, никеля, титана и алюминия.

При загрузке тщательно подбирают химический состав шихты в соответствии с заданным, так как плавка протекает быстро, и полного анализа металла по ходу плавки не делают. Поэтому необходимое количество ферросплавов (ферровольфрам, ферромolibден, феррохром, никель) для получения заданного химического состава металла загружают на дно тигля вместе с остальной шихтой. После расплавления шихты на поверхность металла загружают шлаковую смесь. Основное назначение шлака при индукционной плавке — уменьшить тепловые потери металла, защитить его от насыщения газами, уменьшить угар легирующих элементов. При плавке в кислой печи после расплавления и удаления плавильного шлака наводят шлак из боя стекла (SiO_2). Металл раскисляют ферросилицием, ферромарганцем и алюминием перед выпуском его из печи.

Продолжительность плавки в индукционной печи емкостью 1 т около 45 мин. Расход электроэнергии на 1 т стали составляет 600—700 кВт·ч.

Вакуумная плавка в индукционных печах позволяет получать сталь и сплавы с очень малым содержанием газов, неметаллических включений, легировать сталь и сплавы любыми элементами. При вакуумной индукционной плавке индуктор с тиглем, дозатор шихты и изложницы помещают в вакуумные камеры. Здесь плавят металл, вводят легирующие добавки, раскислители с помощью специальных механизмов без нарушения вакуума в камере. Металл в изложницы разливают в вакууме или инертных газах под избыточным давлением. Заливку под давлением инертного газа производят для повышения плотности слитков.

5. Разливка стали

Выплавленную сталь выпускают из плавильной печи в разливочный ковш, из которого ее разливают в изложницы или кристаллизаторы установок для непрерывной разливки стали.

В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает и получают слитки, которые затем подвергают обработке давлением — прокатке, ковке.

Сталеразливочный ковш (рис. II.9) имеет стальной сварной кожух 1, выложенный изнутри огнеупорным кирпичом 2. В дне стали. Отверстие в стакане закрывается и открывается стопорным устройством. Стопорное устройство имеет стальную штангу 6, на конце которой укреплен пробка 5 из огнеупорного материала. На штангу надеты трубки 7 из огнеупора, предохраняющие ее от расплавления жидкой сталью. Стопор поднимают и опускают рычажным механизмом 11 вручную или с помощью гидравлического привода с дистанционным управлением. Ковш за две цапфы 8 поднимается краном. Емкость ковша выбирают в зависимости от емкости плавильной печи с учетом слоя шлака 9 (100—200 мм), предохраняющего зеркало металла 10 в ковше от охлаждения при разливке. Обычно емкость ковшей 5—260 т. Для крупных плавильных агрегатов применяют ковши емкостью 350—480 т.

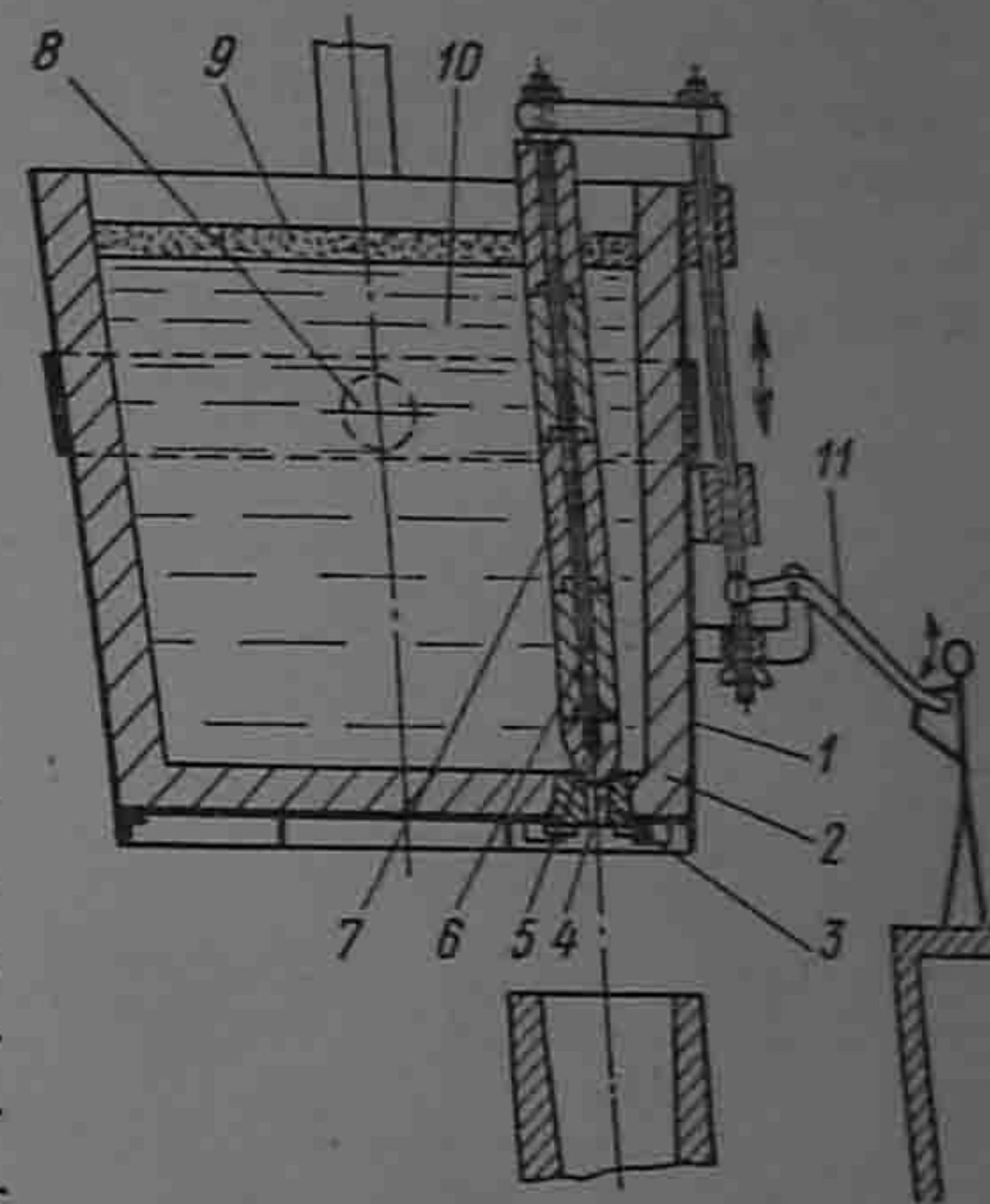


Рис. II.9. Схема ковша для разливки стали

Изложницы — чугунные формы для изготовления слитков.

Конфигурация изложниц характеризуется формой поперечного и продольного сечений и зависит от сорта заливаемой стали и назначения слитка.

Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями (рис. II. 10). Слитки квадратного сечения (рис. II. 10, а) прокатывают на сортовой прокат (двутавровые балки, швеллеры, уголки и т. д.); слитки прямоугольного сечения (рис. II. 10, б) с отношением ширины к толщине 1,5—3,0 — на лист; из слитков круглого сечения (рис. II. 10, в) изготавливают трубы, колеса. Многогранные слитки (рис. II. 10, г) используют для поковок.

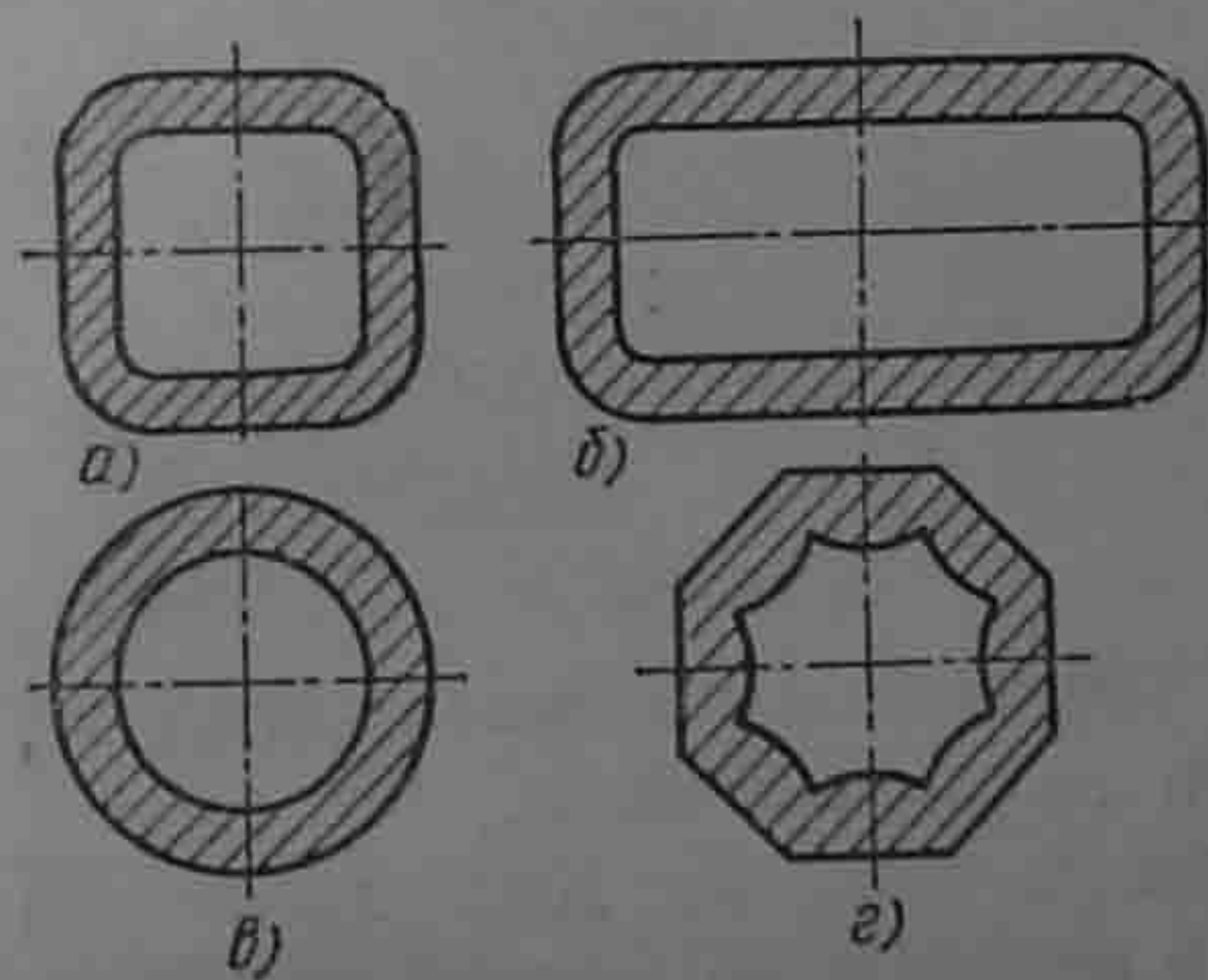


Рис. II.10. Поперечные сечения изложниц для разливки стали в слитки:

а — квадратное; б — прямоугольное; в — круглое; г — многогранное

Для разливки спокойной стали применяют изложницы, расширяющиеся кверху (рис. II. 11, б), для разливки кипящей стали — изложницы, расширяющиеся книзу (рис. II. 11, а).

ницы, расширяющиеся кверху, обычно имеют дно, а расширяющиеся книзу делают сквозными, без дна. Для предупреждения трансформации дно квадратных и прямоугольных изложниц закруглено. Изложницы для разлива спокойной стали имеют прибыльные надставки 8 (рис. II. 11, б), футерованные изнутри огнеупорной массой 9 с малой теплопроводностью. Сталь в прибыльной надставке дольше находится в жидком состоянии и питает затвердевающий слиток металлом, благодаря чему умень-

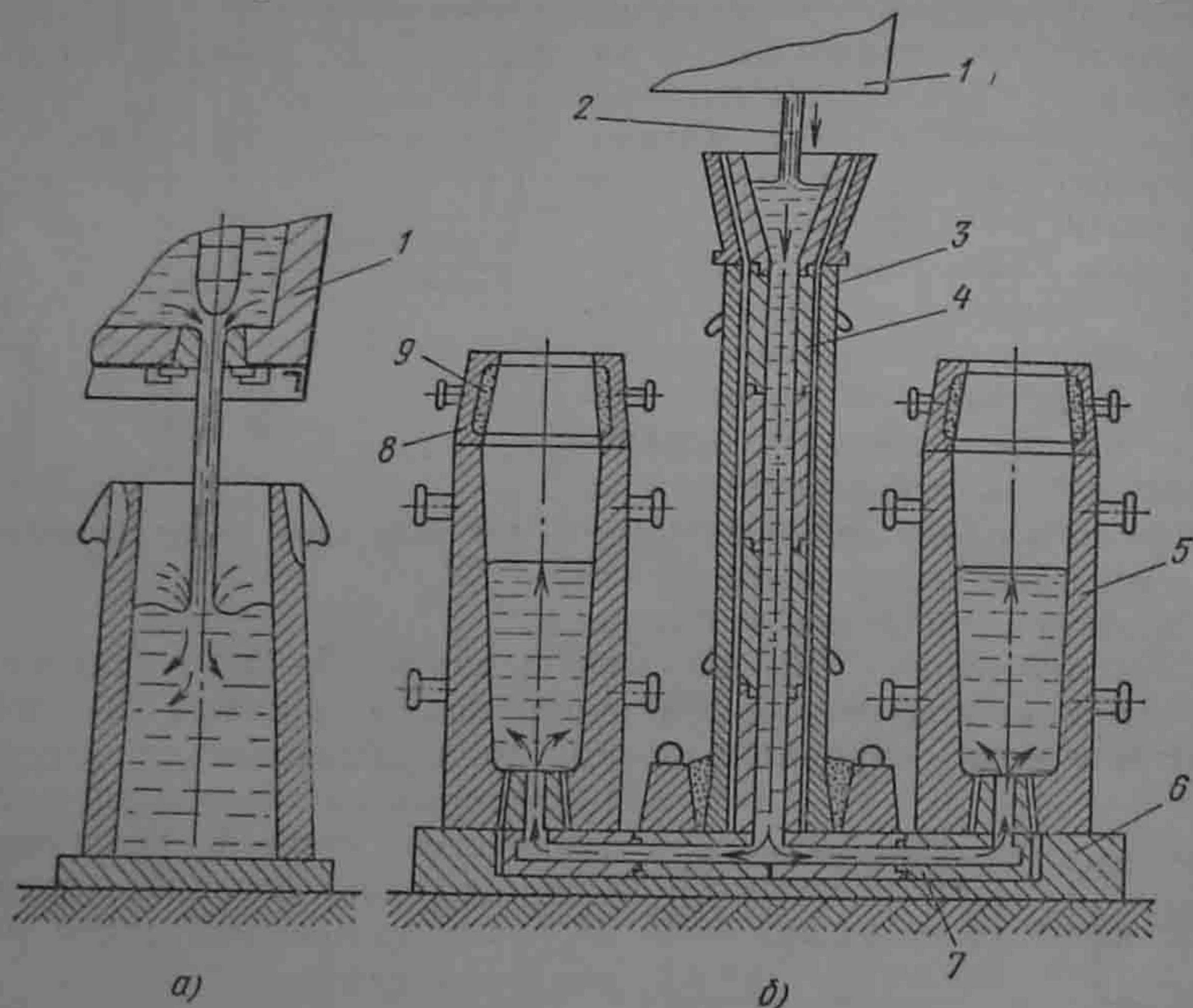


Рис. II.11. Разливка стали в изложницы:

а — сверху; б — сифоном

шается глубина усадочной раковины, улучшается качество слитка, уменьшаются отходы при обрезке его головной части.

Размеры изложниц зависят от массы слитка. Для прокатки отливают слитки от 200 кг до 25 т; для поковок — массой до 250 т.

Экономически более целесообразна разливка стали в крупные слитки, так как при этом сокращаются затраты труда, на огнеупоры, потери металла, уменьшается продолжительность разливки. Однако масса слитка ограничивается мощностью прокатного оборудования и ухудшением качества слитка из-за неравномерности химического состава в различных его местах. Обычно углеродистые спокойные и кипящие стали разливают в слитки массой до 25 т, легированные и высококачественные стали — в слитки от 500 кг до 7 т, а некоторые сорта высоколегированных сталей в слитки массой несколько сот килограммов.

Способы разлива стали. Применяют три основных способа разлива стали: в изложницы сверху; в изложницы сифоном; на установках непрерывной разлива стали (УНРС).

В изложницы сверху (рис. II. 11, а) сталь заливают непосредственно из ковша 1. При разливе сверху исключается расход металла на литники, проста подготовка оборудования к разливу, температура заливаемой стали может быть ниже, падает в изложницу с большой высоты, брызги металла застывают на стенках изложницы и ухудшают поверхность слитка, образуя окисные пленки. Окисные пленки не свариваются с телом слитка даже при прокатке, после которой необходимо зачищать поверхность заготовки для улучшения ее качества, что является очень трудоемкой операцией.

При сифонной разливе (рис. II. 11, б) сталью заполняют одновременно несколько изложниц (от 4 до 60). Изложницы устанавливают на поддоне 6, в центре которого находится центровой литник 3, футерованный огнеупорными трубками 4, соединенный каналами, выполненными из огнеупорных пустотелых кирпичей 7, с нижними частями изложниц. Сифонная разливка основана на принципе сообщающихся сосудов: жидкая сталь 2 из ковша 1 поступает в центровой литник и через каналы заполняет изложницы 5 снизу. Этот способ разлива обеспечивает плавное, без разбрызгивания заполнение изложниц, поверхность слитка получается чистой, сокращается продолжительность разлива, можно разливать большую массу металла одновременно на несколько мелких слитков. Однако при сифонной разливе повышается трудоемкость подготовки оборудования, увеличивается расход огнеупоров, появляется необходимость в расходовании металла на литники (до 1,5% от массы заливаемой стали), в перегреве металла в печи до более высокой температуры, так как при течении по каналам он охлаждается.

Оба способа разлива широко применяют. Для обычных углеродистых сталей используют разливу сверху; для легированных и высококачественных сталей — разливу сифоном.

Непрерывная разлива стали (рис. II. 12) состоит в том, что жидкую сталь из ковша 1 через промежуточное разливочное устройство 2 непрерывно подают в водоохлаждаемую изложницу без дна — кристаллизатор 3, из нижней части которого вытягивается затвердевающий слиток 4. Перед заливкой металла в кристаллизатор вводят затравку, образующую его дно. Затравка имеет головку в форме ласточкина хвоста. Жидкий металл, попадая в кристаллизатор и на затравку, охлаждается, затвердевает, образуя корку. Затравка тянущими валками 5 вытягивается из кристаллизатора вместе с затвердевающим слитком, сердцевина которого находится в жидком состоянии. Скорость вытягивания слитка из кристаллизатора зависит от сечения слитка. Например, скорость вытягивания прямоугольных слит-

ков сечением 150×500 мм и 300×2000 мм ~ 1 м/мин. На выходе из кристаллизатора слиток охлаждается водой, подаваемой через форсунки в зоне 6 вторичного охлаждения. Из зоны вторичного охлаждения слиток выходит полностью затвердевшим и попадает в зону 7 резки, где его разрезают газовым резаком 8 на куски заданной длины. Для предотвращения приваривания слитка к стенкам кристаллизатора последний совершает возвратно-поступательное движение с шагом 10—50 мм и частотой 10—100 циклов в минуту, а рабочая поверхность кристаллизатора смазывается специальными смазками. Высота кристаллизатора 500—1500 мм. В них получают слитки прямоугольного поперечного сечения с габаритными размерами от 150×500 до 300×2000 мм, квадратного от 150×150 до 400×400 мм, круглые в виде толстостенных труб. Вследствие направленного затвердевания и непрерывного питания при усадке в слитках непрерывной разливки отсутствуют усадочные раковины, они имеют плотное строение и мелкозернистую структуру. Поверхность слитка получается хорошего качества. Выход годных заготовок может достигать 96—98% от массы разливаемой стали.

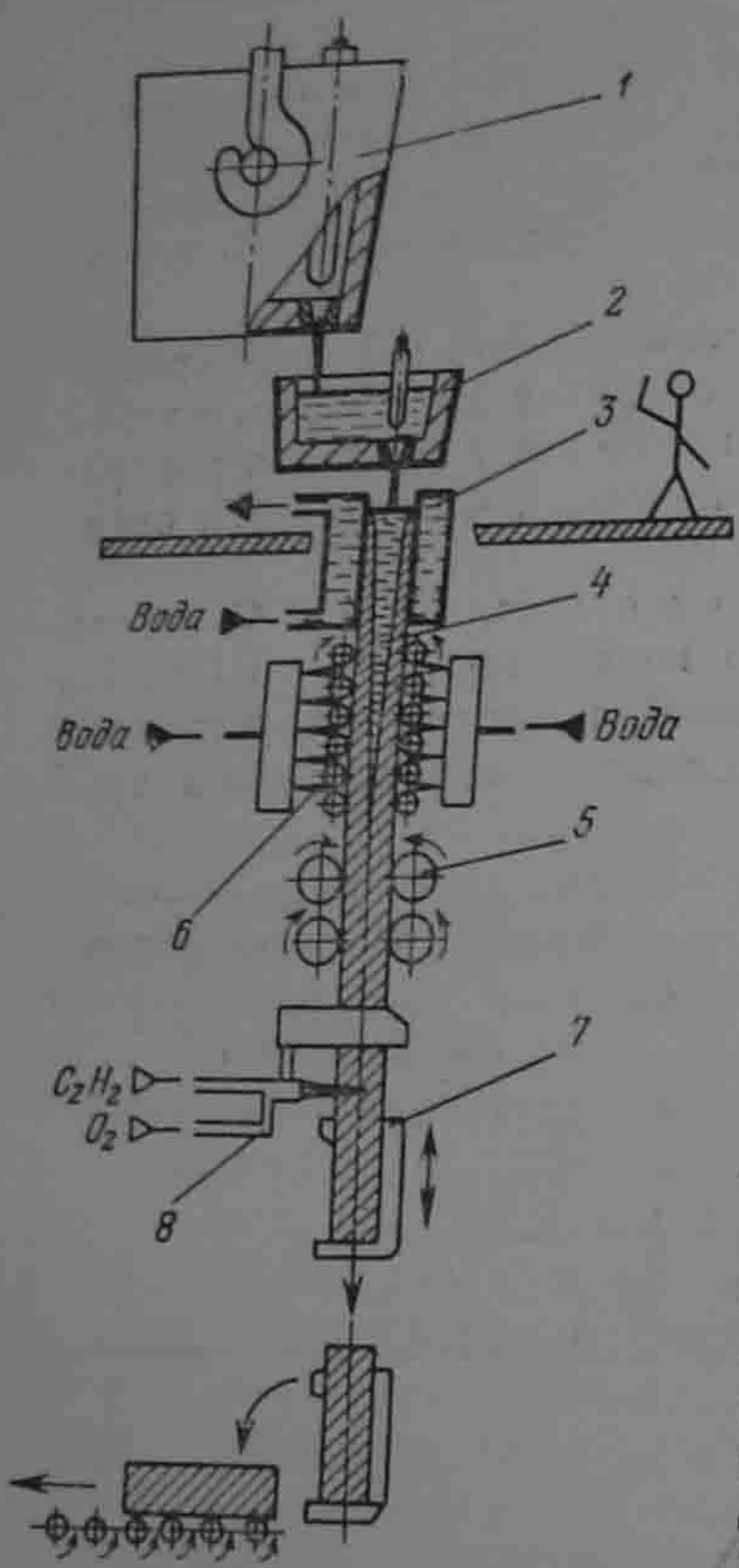


Рис. П.12. Схема установки для непрерывной разливки стали (УНРС)

УНРС имеют один, два, три, четыре и более кристаллизаторов (до восьми), что делает возможным одновременную заливку нескольких слитков.

Слитки, отлитые на УНРС, могут быть прокатаны на сортовых станах, минуя блюминги и слябинги.

6. Кристаллизация и строение стальных слитков

Залитая в изложницу сталь отдает теплоту ее стенкам, поэтому затвердевание стали начинается у стенок изложницы. Толщина твердой, закристаллизовавшейся корочки непрерывно увеличивается, при этом между жидкой сердцевиной слитка и твердой коркой металла располагается зона двухфазного состояния, в ко-

торой одновременно имеются растущие твердые кристаллы и жидкий металл между ними. Кристаллизация слитка заканчивается в объемах, близких к его продольной оси.

Сталь затвердевает в виде кристаллов древовидной формы — дендритов. Размеры и форма кристаллов зависят от условий кристаллизации. На кристаллическое строение стального слитка влияет степень раскисленности стали. По степени раскисленности стали подразделяют на спокойные, кипящие и полуспокойные.

Спокойная сталь. Эту сталь получают при полном раскислении в печи и ковше (рис. П. 13, а, г). Она затвердевает без выделения газов и образует плотный слиток, в верхней части которого расположена усадочная раковина 2, а в средней части — усадочная осевая рыхлость 1. Для устранения усадочных дефектов слитки спокойной стали отливают с прибыльной частью, которая образуется прибыльной надставкой со стенками, футерованными огнеупорной массой малой теплопроводности. Вследствие этого сталь долгое время остается в жидком состоянии и питает усадку слитка, а усадочная раковина образуется в его прибыльной части. Структура слитка спокойной стали, выявленная травлением его продольного осевого разреза (рис. П. 13, а), имеет следующее строение: тонкую наружную корку А из мелких равноосных кристаллов; зону В крупных столбчатых кристаллов (дендритов); зону С крупных неориентированных кристаллитов; конус осаднения Г — мелкокристаллическую зону у донной части слитка. Стальные слитки неоднородны и по химическому составу. Химическая неоднородность, или ликвация, возникает при затвердевании слитка вследствие уменьшения растворимости примесей железа при его переходе из жидкого состояния в твердое. Ликвация бывает двух видов — дендритная и зональная.

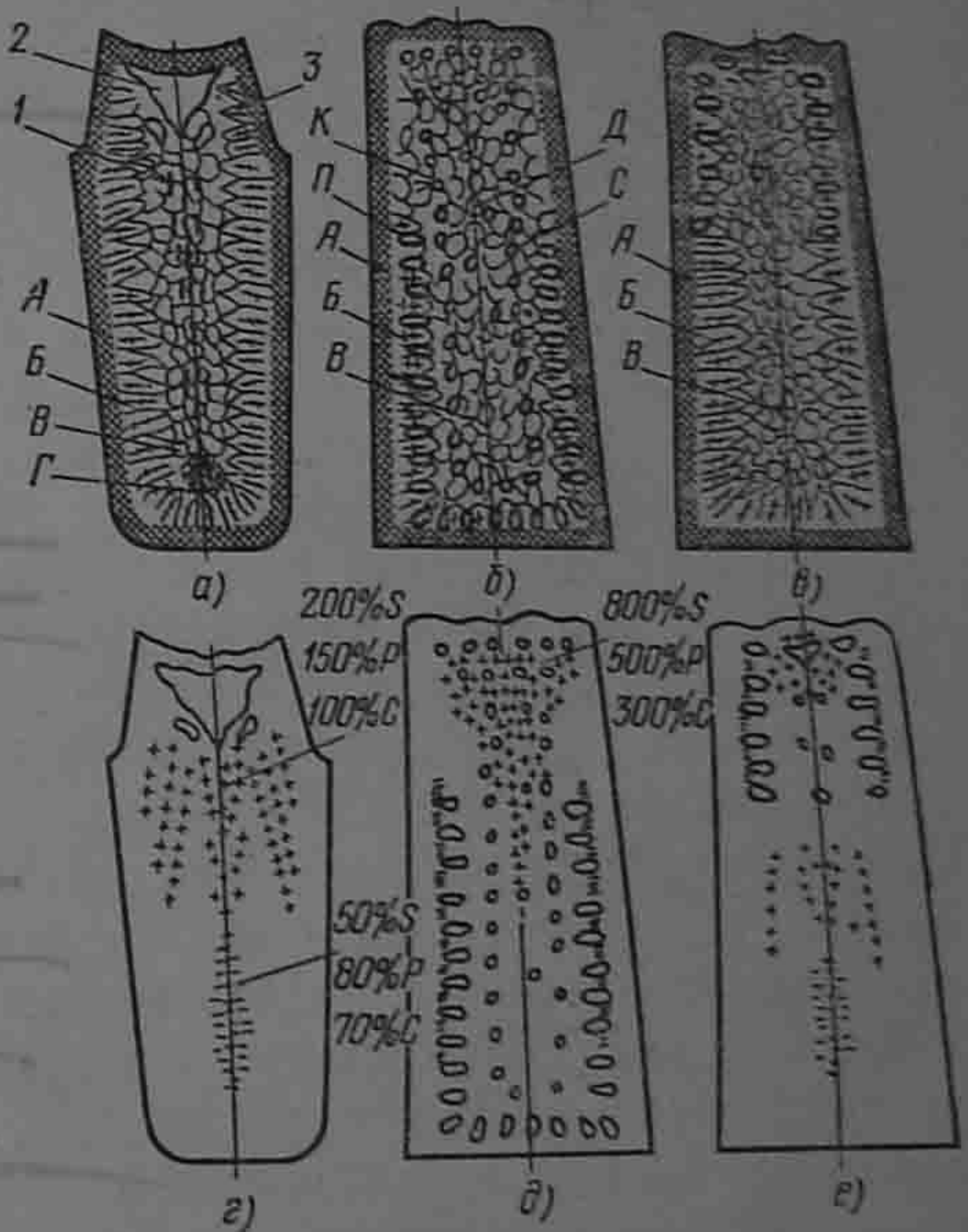


Рис. П.13. Схемы строения стальных слитков: а, г — спокойная, б, д — кипящая, е, е — полуспокойная сталь

Дендритная ликвация — неоднородность стали в пределах одного кристалла (дендрита). Наибольшей склонностью к дендритной ликвации обладают сера, фосфор, углерод, которые при кристаллизации скапливаются в межосных пространствах дендритов. При этом содержание серы на границах дендритов

При этом содержание серы на границах дендритов

но сравнению с ее содержанием в центре дендрита увеличивается в 2 раза, фосфора в 1,2 раза, а содержание углерода уменьшается приблизительно на 50%. Этот вид ликвации приводит к появлению в стали полосчатой структуры при прокатке, что вызывает анизотропию механических свойств стали: пластические свойства в направлении, поперечном прокатке, значительно ниже, чем в продольном.

Зональная ликвация — неоднородность состава стали в различных частях слитка. Наибольшей склонностью к зональной ликвации обладают сера, фосфор и углерод. В верхней части слитка за счет конвекции жидкого металла содержание этих элементов увеличивается в несколько раз (рис. II. 13, з), а в нижней уменьшается. Зональная ликвация ухудшает качество слитка и может привести к отбраковке металла вследствие отклонения его свойства от заданного.

Кипящая сталь раскислена в печи не полностью. Ее раскисление продолжается в изложнице при разливке и затвердевании за счет взаимодействия FeO и углерода, содержащихся в металле. Образующаяся при реакции $FeO + C = Fe + CO$ окись углерода выделяется из стали, способствуя удалению растворенных в стали азота и водорода. Газы бурно выделяются из стали в виде пузырьков, вызывая ее «кипение». Кипение металла в изложнице перемешивает сталь, выравнивает ее температуру в разных местах слитка, что уменьшает образование усадочных дефектов. Одновременно это влияет на появление химической неоднородности металла в различных частях слитка. Для уменьшения неоднородности состава слитка кипение вскоре после заполнения изложницы прекращают, накрывая слиток металлической массивной крышкой («механическое закупоривание»), или раскисляют металл алюминием или ферросилицием в верхней части слитка («химическое закупоривание»). Процесс выделения газов происходит и при затвердевании слитка, поэтому в нем образуется большое количество газовых раковин (пузырей), которые завариваются при прокатке слитка.

Слиток кипящей стали имеет следующие структурные зоны (рис. II. 13, б, д): плотная наружная корочка А без пузырей, состоящая из мелких кристаллов; зона продолговатых сотовых пузырей В, вытянутых к оси слитка и располагающихся между вытянутыми кристаллами В; промежуточная плотная зона С; зона вторичных круглых пузырей К; средняя зона Д с отдельными пузырями, количество которых увеличивается в верхней части слитка.

В слитках кипящей стали не образуется концентрированной усадочной раковины: усадка рассредоточена по полостям газовых пузырей.

Интенсивное движение металла при кипении способствует развитию в слитках кипящей стали зональной ликвации (рис. II. 13, д): углерод, сера и фосфор скапливаются в головной части, от чего

кой сталью 4 помещается в камеру 2, закрывающуюся герметичной крышкой 1. Вакуумными насосами в камере создается разрежение до остаточного давления 267—667 Н/м². Продолжительность вакуумирования 12—15 мин. При понижении давления из жидкой стали выделяются водород и азот, а при большой окисленности металла уменьшается и содержание кислорода вследствие его взаимодействия с углеродом стали. Всплывающие пузырьки газа захватывают неметаллические включения, в результате чего содержание их в стали снижается. При снижении содержания газов и неметаллических включений улучшаются прочностные и пластические характеристики стали.

Электрошлаковый переплав. Способ разработан в Институте электросварки им. Е. О. Патона для переплава стали с целью повышения качества металла. Электрошлаковому переплаву подвергают выплавленный в электродуговой печи и прокатанный на круглые прутки металл. Источником тепла при ЭШП является шлаковая ванна, нагреваемая за счет прохождения через нее электрического тока (рис. II. 15). Электрический ток подводится к переплавляемому электроду, погруженному в шлаковую ванну, и к поддону, установленному внизу в водоохлаждаемой металлической изложнице (кристаллизаторе), в которой находится шлак. Выделяющаяся в шлаковой ванне теплота нагревает ее до 1700° С и более и вызывает оплавление конца электрода. Капли жидкого металла проходят через шлак, собираются, образуя под шлаковым слоем металлическую ванну.

Перенос капель металла через шлак, интенсивное перемешивание их со шлаком способствуют их активному взаимодействию, в результате чего происходит удаление из металла неметаллических включений и растворенных газов. Металлическая ванна, непрерывно пополняемая за счет расплавления электрода, под воздействием водоохлаждаемого кристаллизатора постепенно формируется в слиток. Кристаллизация металла, последовательная и направленная снизу вверх, происходит за счет теплоотвода через поддон кристаллизатора. Последовательная и направленная кристаллизация способствует удалению из ме-

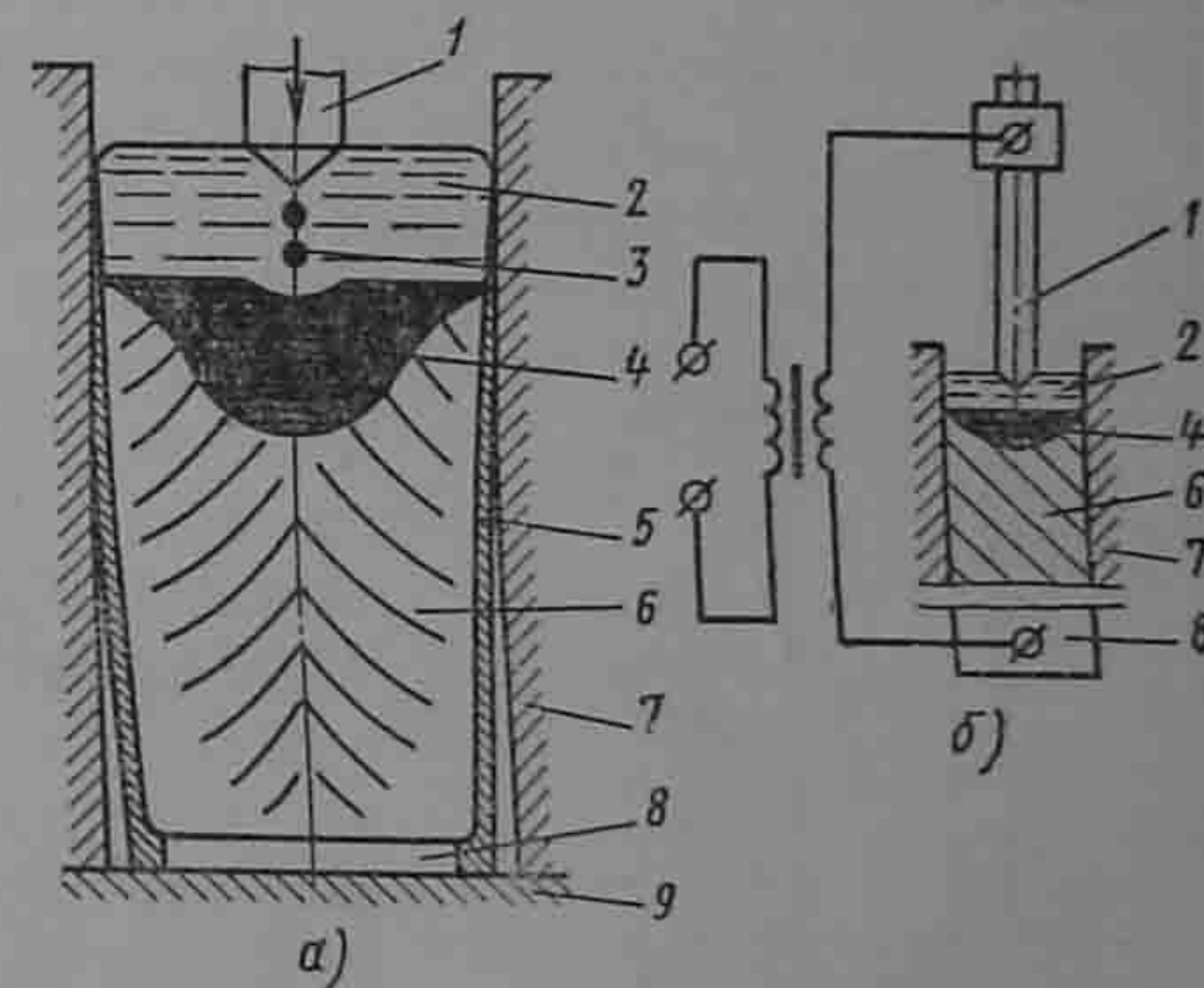


Рис. II.15. Схема электрошлакового переплава расходуемого электрода:

а — кристаллизатор; б — включение установки; 1 — расходуемый электрод; 2 — шлаковая ванна; 3 — капли электродного металла; 4 — металлическая ванна; 5 — шлаковый гарниссаж; 6 — слиток; 7 — стенка кристаллизатора; 8 — затравка; 9 — поддон

талла неметаллических включений и пузырьков газа, получению плотного однородного слитка. После полного застывания слитка опускают поддон и извлекают его из кристаллизатора.

В результате электрошлакового переплава содержание кислорода в металле снижается в 1,5—2 раза, понижается концентрация серы и соответственно уменьшается в 2—3 раза загрязненность металла неметаллическими включениями, причем они становятся мельче и равномерно распределяются в объеме слитка.

Слиток отличается большой плотностью, однородностью, его поверхность — хорошим качеством. Все это обуславливает высокие механические и эксплуатационные свойства сталей и сплавов электрошлакового переплава.

Слитки выплавляют круглого, квадратного, прямоугольного сечений массой до 40 т.

Вакуумно-дуговой переплав. Такой переплав применяют для удаления из металла газов и неметаллических включений. Сущность процесса заключается в снижении растворимости газов в стали при снижении давления и устранении взаимодействия ее с огнеупорными материалами футеровки печи, так как процесс ВДП осуществляется в водоохлаждаемых медных изложницах. Для осуществления процесса используют вакуумные дуговые печи с расходуемым электродом (рис. II. 16). В зависимости от требований, предъявляемых к металлу, расходуемый электрод может быть получен механической обработкой слитка, выплавленного

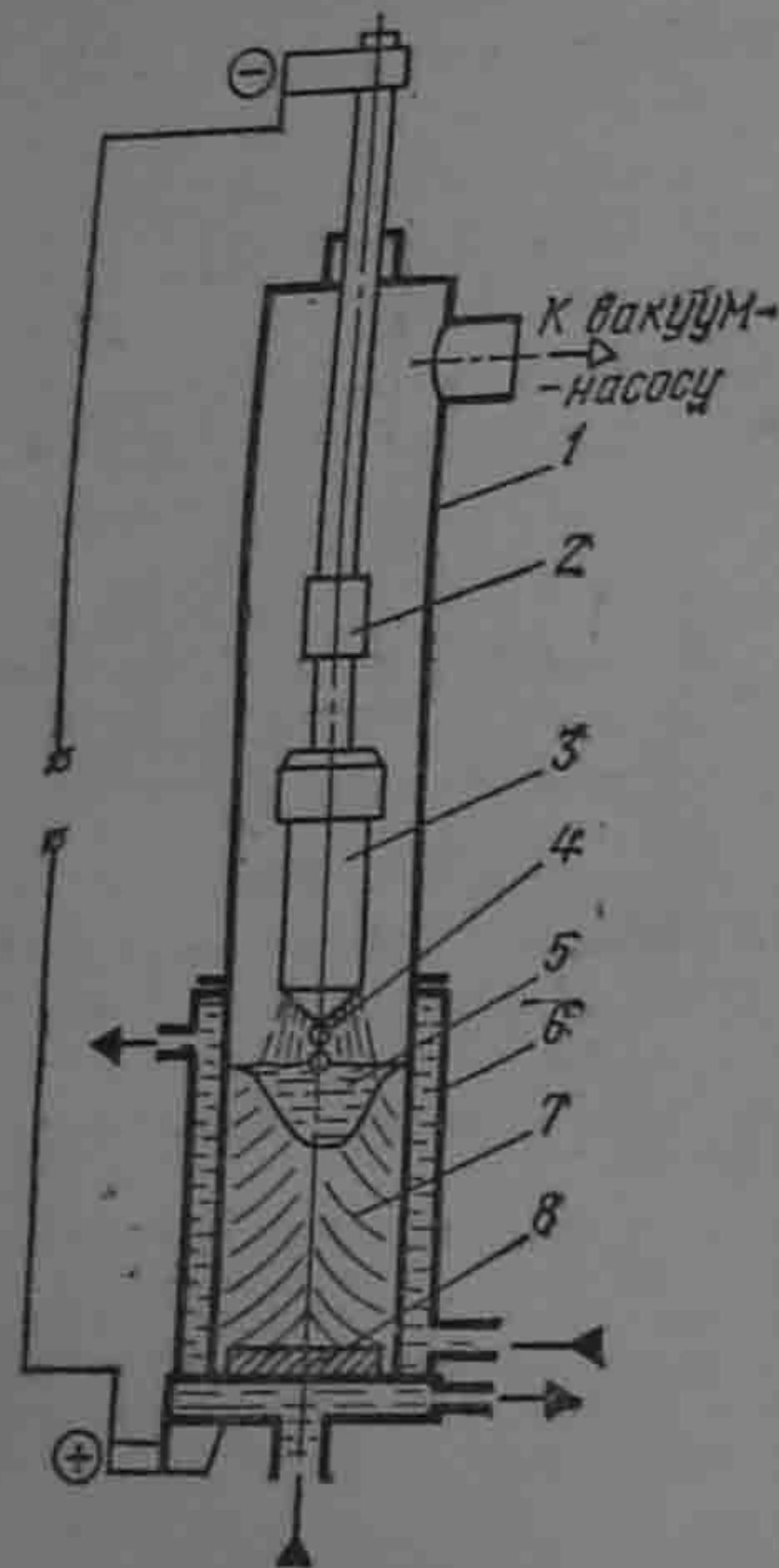


Рис. II. 16. Схема вакуумно-дугового переплава

ного в электропечах. Расходуемый электрод 3 закрепляют на водоохлаждаемом штоке 2 и помещают в корпус 1 печи и далее в медную водоохлаждаемую изложницу 6. Из корпуса печи вакуум-насосами откачивают воздух до остаточного давления $1,33 \text{ Н/м}^2$. При подаче напряжения между расходуемым электродом-катодом и затравкой-анодом 8, помещенной на дно изложницы, возникает дуговой разряд. Теплотой, выделяющейся в зоне разряда, расплавляется конец электрода; капли 4 жидкого металла, проходя зону дугового разряда, дегазируются, постепенно заполняют изложницу и затвердевают, образуя слиток 7. Дуга горит между расходуемым электродом и ванной 5 жидкого металла, находящейся в верхней части слитка, на протяжении всей плавки. Благодаря сильному охлаждению нижней части слитка и разогреву дугой ванны жидкого металла в верхней его части созда-

ются условия для направленного затвердевания слитка. В результате направленного затвердевания неметаллические включения сосредоточиваются в верхней части слитка, а усадочная раковина в слитке мала. Слитки, полученные в вакуумных дуговых печах, содержат очень небольшое количество газов, неметаллических включений, отличаются высокой равномерностью химического состава, имеют хорошую макроструктуру. Поэтому металл, полученный ВДП, отличается повышенными механическими свойствами и пластичностью. Из слитков ВДП изготавливают ответственные детали турбин, двигателей, авиационных конструкций. Емкость дуговых вакуумных печей — до 50 т.

Плавка в электронно-лучевых печах. Таким способом выплавляют чистые тугоплавкие металлы (молибден, ниобий, цирконий и др.), а также жаропрочные сплавы и специальные стали. Нагрев, плавление и перегрев металла в этих печах происходят за счет энергии, выделяющейся при резком торможении свободных электронов, пучок которых направлен на металл. Получение электронов, их разгон и концентрация в луч, направление луча в зону плавления осуществляются электронной пушкой. Плавка происходит в вакуумных камерах при остаточном давлении $0,00133 \text{ Н/м}^2$, плавление металла и его затвердевание — в водоохлаждаемых кристаллизаторах. Низкие остаточные давления воздуха внутри печи, большой перегрев и высокие скорости охлаждения слитка способствуют удалению газов и примесей, получению металла высокого качества. Однако процесс электронно-лучевой плавки требует дорогостоящего и сложного оборудования. Кроме того, при переплаве шихты, содержащей легкоиспаряющиеся элементы, изменяется химический состав металла. Обычно электронно-лучевые печи имеют небольшую емкость, однако имеются печи для выплавки слитков массой до 15 т.

1. Цветные металлы и их значение в народном хозяйстве

Разделение металлов на черные и цветные условно. Цветные металлы разделяют на четыре группы:

- 1) тяжелые металлы — медь, никель, цинк, свинец, олово;
- 2) легкие металлы — алюминий, магний, кальций, калий, натрий, барий, бериллий, литий;
- 3) благородные металлы — золото, серебро, платина с ее природными спутниками (родием, иридием, палладием, осмием);
- 4) редкие металлы; эту группу подразделяют на тугоплавкие — молибден, вольфрам, ванадий, титан, ниобий, тантал и цирконий; легкие — стронций, скандий, рубидий, цезий; радиоактивные — уран, радий, торий, актиний, протактиний; рассеянные и редкоземельные — германий, галлий, гафний, индий, лантан, таллий, церий, рений.

Наиболее широко в машиностроении применяют медь, алюминий, магний, титан, цинк, никель, свинец и олово, которые используют в чистом виде и в составе многих сплавов.

Цветные металлы имеют решающее значение для развития современного машиностроения и приборостроения, обеспечивают прогресс в развитии новой техники. Наша страна имеет запасы руд цветных металлов, их перерабатывают и производят важнейшие цветные металлы — медь, алюминий, магний, титан.

2. Производство меди

Медные руды и их подготовка к плавке. Для производства меди применяют медные руды, содержащие 1—6% Cu, а также отходы меди и ее сплавов. В рудах медь обычно находится в виде сернистых соединений (CuFeS_2 , Cu_2S , CuS), окислов (Cu_2O , CuO) или гидрокарбонатов [$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, $2\text{CuO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$]. Пустая порода руд состоит из пирита FeS_2 , кварца SiO_2 , карбонатов магния и кальция, а также силикатов, содержащих Al_2O_3 , CaO , MgO и окислы железа.

Медные руды подразделяют на сульфидные, окисленные и смешанные.

Сульфидные руды содержат 1—6% Cu, 9—46% S, а остальная часть состоит из SiO_2 (до 55%) и Al_2O_3 (до 12%) с небольшими количествами цинка, CaO и MgO. Окисленные руды содержат около 2% Cu, 0,1—0,2% S, а остальная часть состоит из SiO_2 (до 68%) и Al_2O_3 (до 16%). Перед плавкой медные руды обогащают и получают концентрат.

Окислительным обжигом концентрата медных руд снижают содержание в нем серы. В процессе нагрева концен-

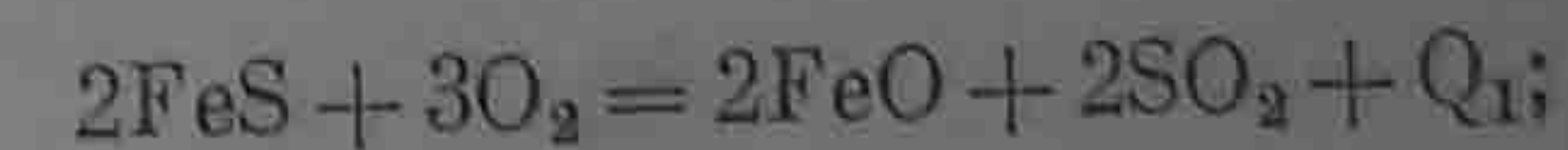
трата до 750—800° С в присутствии кислорода воздуха сульфиды окисляются и содержание серы в концентрате снижается почти вдвое против исходного. Отходящие из печи газы, богатые серой, используют для производства серной кислоты. Обжигают лишь бедные (8—25% Cu) концентраты, а богатые (25—35% Cu) плавят без обжига.

Пирометаллургический способ производства меди. Этот способ применяют при переработке всех медных руд, так как он позволяет извлекать из руд попутно с медью другие металлы, в том числе и драгоценные. Упрощенная схема этого процесса изображена на рис. II.17. Основа процесса — плавка концентрата на штейн, при которой расплавленная масса разделяется на две части — штейн, состоящий из сульфидов, и шлак, состоящий из окислов.

Медный штейн из концентрата выплавляют в отражательных или электропечах. При нагревании концентрата в печи до 1250—1300° С протекают реакции восстановления окиси меди (CuO) и высших окислов железа. Образующаяся закись меди (Cu_2O), реагируя с FeS , дает Cu_2S . Сульфиды меди и железа сплавляются и образуют первичный штейн, а расплавленные силикаты железа растворяют другие окислы и образуют шлак. Штейн и шлак выпускают по мере их накопления через специальные отверстия в печи.

Медный штейн конвертируют для окисления сульфидов и железа, перевода образующихся окислов в шлак, а серы в SO_2 и получения черновой меди. Конвертируют штейн в горизонтальных конвертерах с боковым дутьем. Для этого через штейн пропускают сжатый воздух. Конвертирование разделяют на два периода.

В первом периоде, длящемся 6—25 ч, сульфиды железа и меди окисляются:



Образующаяся закись железа связывается SiO_2 и удаляется в шлак:

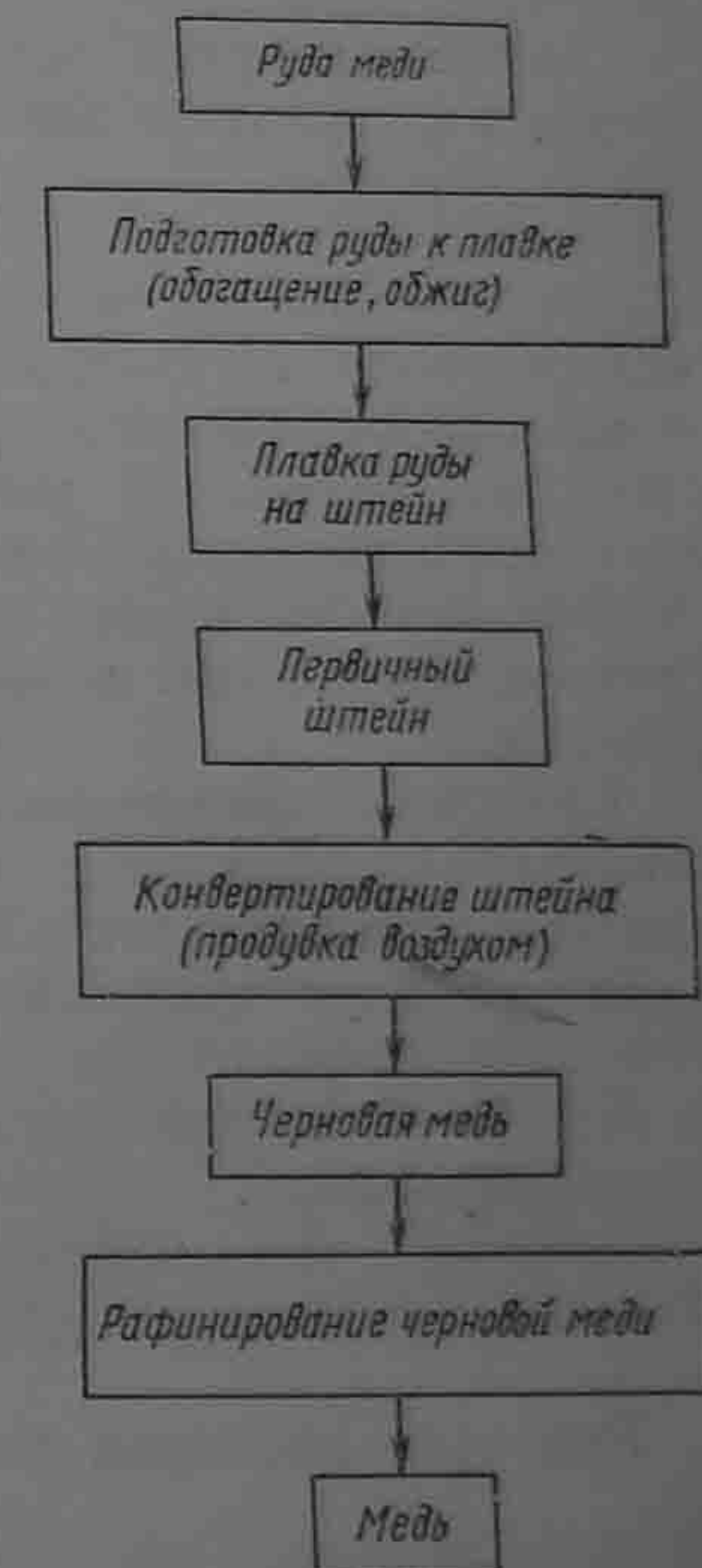
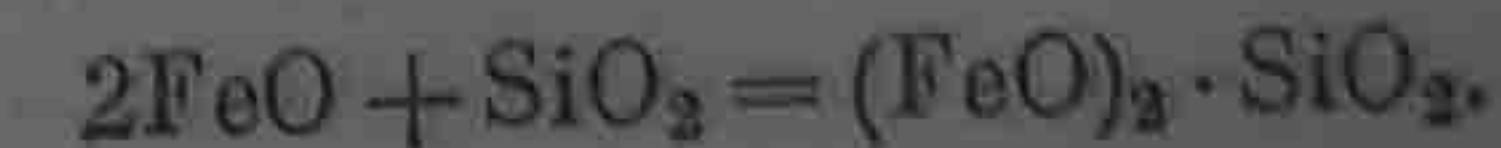
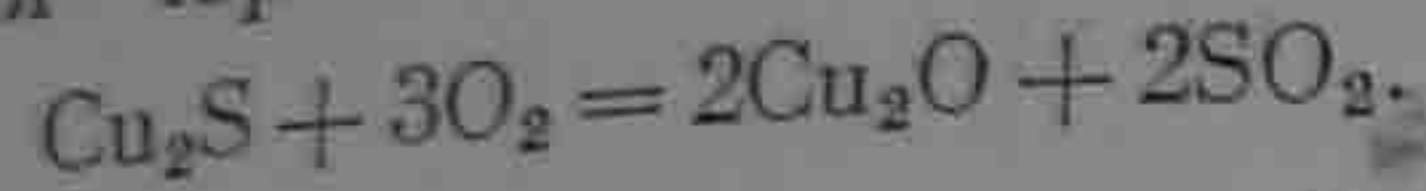


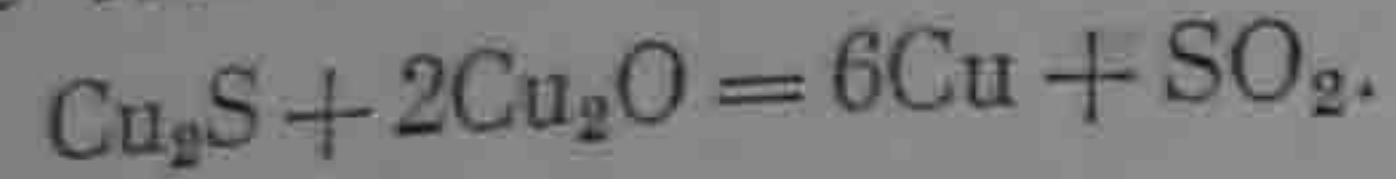
Рис. II.17. Упрощенная схема пирометаллургического способа производства меди

В результате этих экзотермиче-ских реакций выделяющаяся теплота Q_1 и Q_2 разогревает расплав с 1100—1200 до 1250—1300° С, что нежелательно, поэтому в ванну добавляют охладители — твердый штейн и отходы меди. В результате за первый период в конвертере получают *белый штейн*, состоящий в основном из сульфидов меди.

Во втором периоде продолжительностью 2—3 ч из белого штейна образуется черновая медь окислением сульфида меди:



Образовавшаяся закись меди взаимодействует с сульфидом меди; в результате этого выделяется медь:



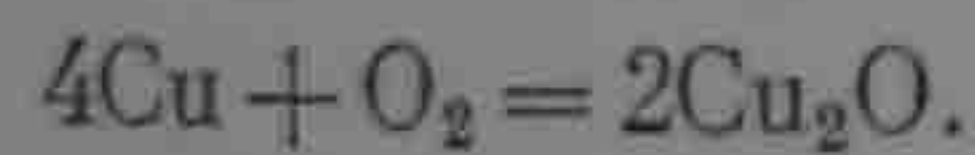
Таким образом, в конвертере получают *черновую медь* МК1, содержащую 98,4—99,4% Cu, 0,01—0,04% Fe, 0,02—0,1% S и небольшое количество никеля, олова, сурьмы, серебра, золота. Эту медь сливают в ковш и разливают в стальные изложницы или на разливочной машине.

Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей: сначала производят огневое, а затем электролитическое рафинирование.

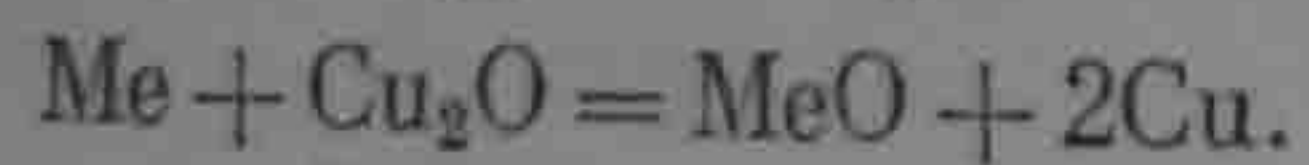
Сущность огневого рафинирования черновой меди заключается в окислении примесей, имеющих большее сродство к кислороду, чем медь, удалении их с газами и переводе в шлак. Для огневого рафинирования применяют отражательные печи. Огневое рафинирование длится ~ 20 ч при использовании твердой черновой меди и 12—14 ч при использовании жидкой черновой меди после конвертирования.

Примеси окисляются кислородом воздуха, подаваемым по стальным трубкам, погруженным в ванну расплавленной черновой меди.

При этом кислород соединяется с медью по реакции

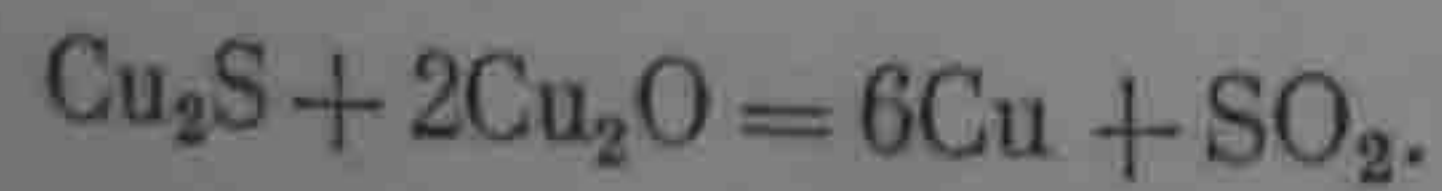


Закись меди далее реагирует с примесями по реакции



По этой реакции окисляются такие примеси, как примеси алюминия, железа, никеля, цинка, сурьмы, мышьяка.

Сера окисляется по реакции



Период окисления примесей длится около 3 ч. Затем удаляются газы («дразнение» на плотность). Для этого с расплавленной меди снимают шлак и погружают в нее сырое дерево. Бурное выделение паров воды перемешивает медь и способствует завершению удаления серы, SO_2 и других газов. При этом медь окисляется, и для осво-

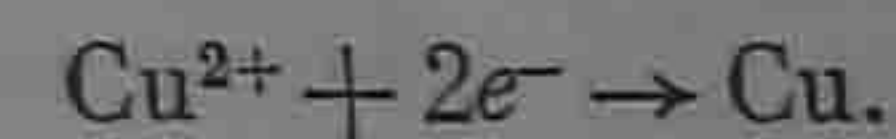
бождения ее от Cu_2O проводят «дразнение» на ковкость. Для этого ванну жидкой меди покрывают слоем древесного угля и погружают в нее деревянные жерди. Вследствие сухой перегонки древесины, погруженной в медь, образуются углеводороды, которые, взаимодействуя с Cu_2O , восстанавливают ее:



Содержание Cu_2O в меди снижается с 10—12 до 0,3—0,5%.

После огневого рафинирования получают медь чистотой 99—99,5%. Ее разливают в изложницы и получают чушки для дальнейшей выплавки сплавов меди или слитки в виде плит для последующего электролитического рафинирования.

Электролитическое рафинирование меди проводят для получения чистой от примесей меди (99,95% Cu). Электролиз проводят в ваннах, покрытых изнутри винипластом или свинцом. Аноды изготовляют из меди огневого рафинирования, а катоды — из тонких листов чистой меди. Электролитом служит водный раствор CuSO_4 (10—16%) и H_2SO_4 (10—16%). При пропускании постоянного тока анод растворяется, медь переходит в раствор, а на катодах разряжаются ионы меди, осаждаясь на них слоем чистой меди:



Примеси (мышьяк, сурьма, висмут, селен, теллур) вместе с драгоценными металлами осаждаются на дно ванны в виде шлама, который затем удаляют через отверстие в дне ванны и перерабатывают для извлечения этих металлов. Катоды выгружают через 5—12 дней, когда их масса достигает 60—90 кг. Их тщательно промывают, а затем переплавляют в электропечах.

Медь по чистоте подразделяют на марки: М0 (99,95% Cu), М1 (99,9% Cu), М2 (99,7% Cu), М3 (99,5% Cu), М4 (99% Cu).

3. Производство алюминия

Основной способ производства алюминия — электролитический. Электролиз ведут не из водного раствора, а из расплава. Это связано с тем, что из водного раствора алюминий выделить не удастся, так как на катоде осаждается прежде всего водород, который обладает большим положительным потенциалом, чем алюминий. При этом образуется не чистый алюминий, а гидрат окиси алюминия. Электролиз алюминия ведут в среде, основой которой является расплав криолита (Na_3AlF_6) с добавленным фтористого алюминия и натрия. На рис. II. 18 дана упрощенная схема современного технологического процесса производства алюминия.

Основное сырье для производства алюминия — *алюминиевые руды*: бокситы, нефелины, алуниты и каолины. Наибольшее значение имеют *бокситы*. Алюминий в них содержится в виде гидро-

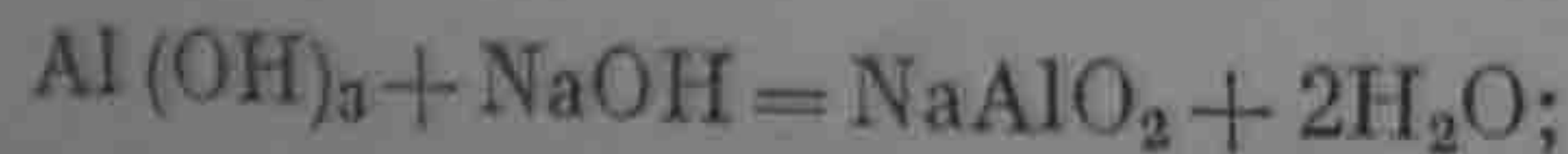
окисей $Al(OH)_3$, $AlOOH$, корунда Al_2O_3 и каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \times 2H_2O$. Химический состав бокситов сложен: 28—70% глинозема; 0,5—20% кремнезема; 2—50% окиси железа; 0,1—10% окиси титана.

Для получения электролита — расплава криолита используют плавиковый шпат. Природный плавиковый шпат CaF_2 загрязнен кремнеземом, карбонатами, окислами железа и алюминия. Поэтому его обогащают. В результате получают концентрат, содержащий не менее 95% CaF_2 , который и используют для производства криолита.

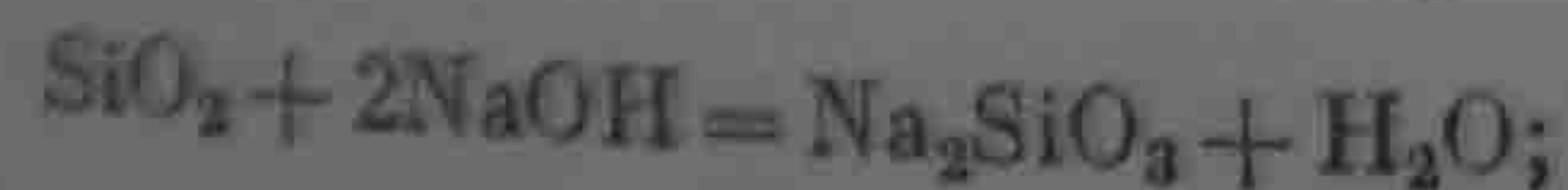
Глинозем Al_2O_3 получают различными способами в зависимости от состава и свойств алюминиевых руд. Наиболее распространен щелочной способ извлечения глинозема из руд. Сущность способа состоит в том, что алюминиевые растворы быстро разлагаются при введении в них гидроокиси алюминия, а оставшийся от разложения раствор после его выпаривания в условиях интенсивного перемешивания при 160—170° С может вновь растворять глинозем, содержащийся в бокситах. Этот способ состоит из следующих основных операций:

1) подготовки боксита, заключающейся в его дроблении и измельчении в мельницах; в мельницы подают боксит, едкую щелочь и небольшое количество извести, которая улучшает выделение Al_2O_3 ; полученную пульпу подают на выщелачивание;

2) выщелачивания боксита, заключающегося в химическом его разложении от взаимодействия с водным раствором щелочи; гидраты окиси алюминия при взаимодействии со щелочью переходят в раствор в виде алюмината натрия:



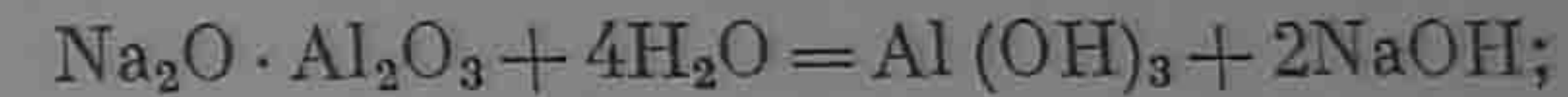
содержащийся в боксите кремнезем взаимодействует со щелочью и переходит в раствор в виде силиката натрия:



в растворе алюминат натрия и силикат натрия образуют нерастворимый натриевый алюмосиликат; в нерастворимый остаток переходят окислы титана и железа, придающие остатку красный цвет; этот остаток называют красным шламом;

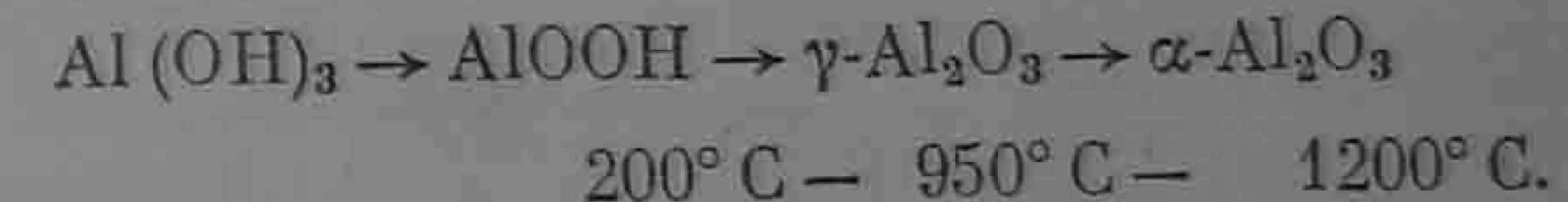
3) отделения алюминатного раствора от красного шлама, обычно осуществляемого путем промывки в специальных ступицелях; в результате этого красный шлам оседает, а алюминатный раствор сливают и затем фильтруют (осветляют);

4) разложения алюминатного раствора (декомпозиции или выкручивания); происходит самопроизвольно с выделением кристаллической гидроокиси алюминия:



5) выделения гидроокиси алюминия и ее классификации; это происходит в гидроциклонах и вакуум-фильтрах, где от алюминатного раствора выделяют осадок, содержащий 50—60% частиц $Al(OH)_3$;

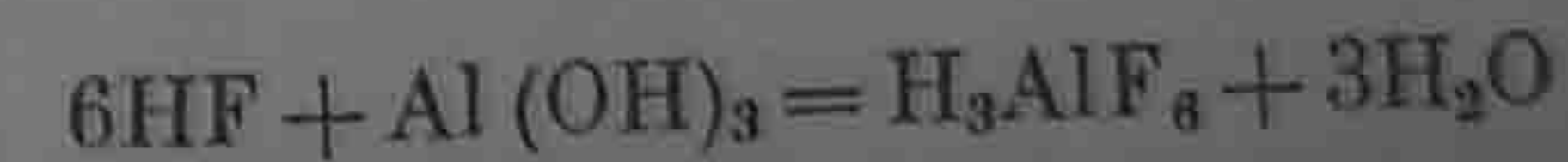
6) обезвоживания гидроокиси алюминия (кальцинации); это завершающая операция производства глинозема; ее осуществляют в трубчатых вращающихся печах при температуре 1150—1200° С; сырая гидроокись алюминия, проходя через вращающуюся печь, высушивается и обезвоживается; при нагреве происходят последовательно следующие структурные превращения:



В окончательно прокаленном глиноземе содержится 30—50% $\alpha-Al_2O_3$, остальное $\gamma-Al_2O_3$. Сырьем для производства криолита (Na_3AlF_6) являются обогащенный плавиковый шпат (95% CaF_2), серная кислота, гидрат окиси алюминия и кальцинированная сода. Процесс протекает в две стадии.

Первая стадия — получение из плавикового шпата фтористого водорода, а затем плавиковой кислоты. Для этого тонкоизмельченный концентрат плавикового шпата смешивают с серной кислотой и нагревают до 200° С. Образующийся газообразный фтористый и кремнефтористый водород поглощается водой в специальных башнях, в результате получается раствор плавиковой кислоты с добавкой кремнефтористой кислоты. Для очистки плавиковой кислоты от кремнефтористой в раствор добавляют соду; в результате кремнефтористый натрий выпадает в виде осадка и получается очищенная плавиковая кислота.

Вторая стадия — получение солей плавиковой кислоты (криолита). В раствор плавиковой кислоты вводят $Al(OH)_3$. В результате реакции



образуется фторалюминиевая кислота, которую нейтрализуют

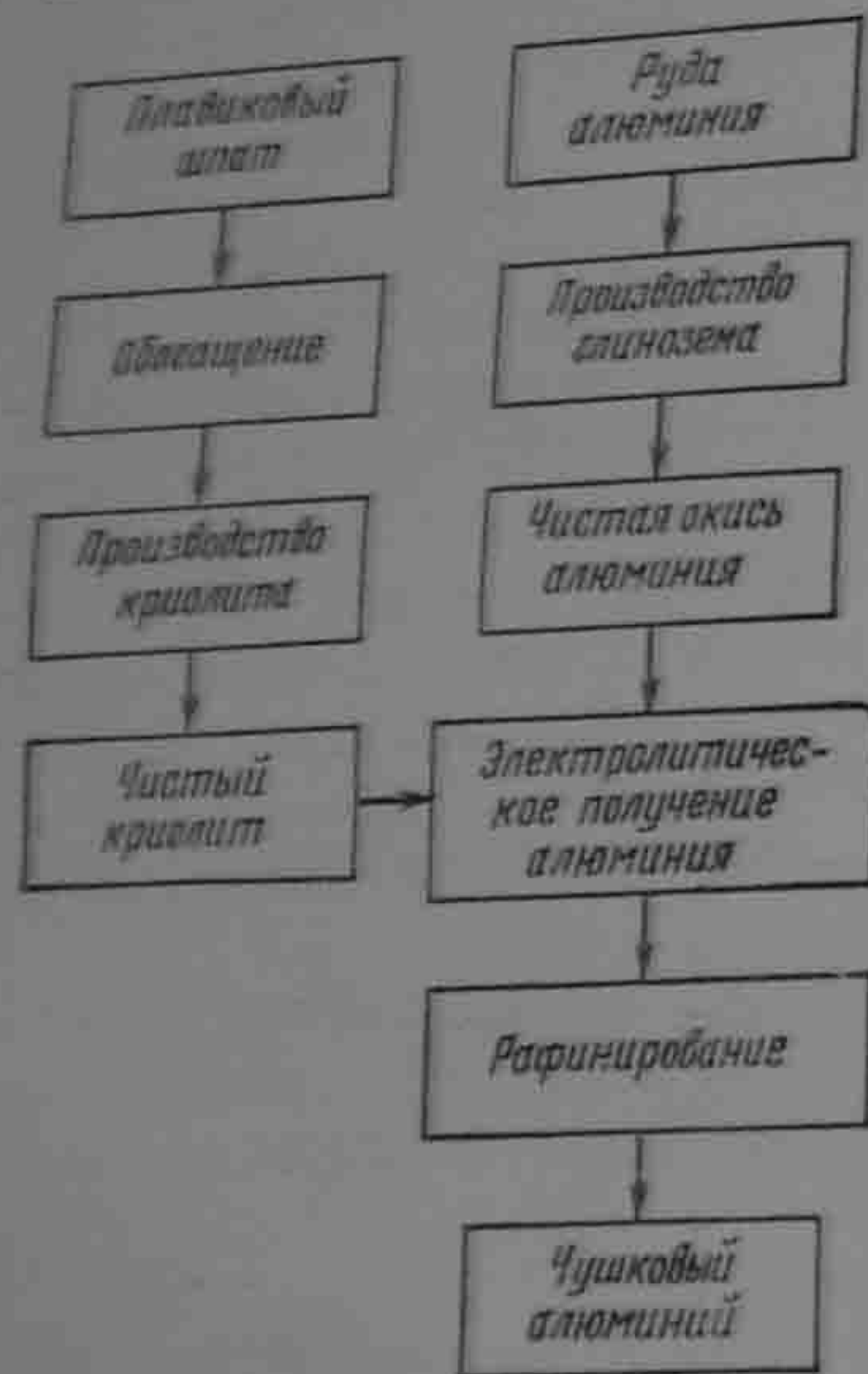
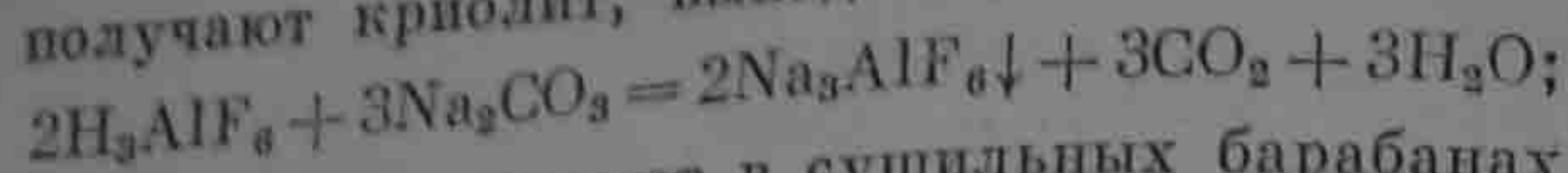


Рис. П.18. Упрощенная схема электролитического способа производства алюминия.

содой и получают криолит, выпадающий в осадок:



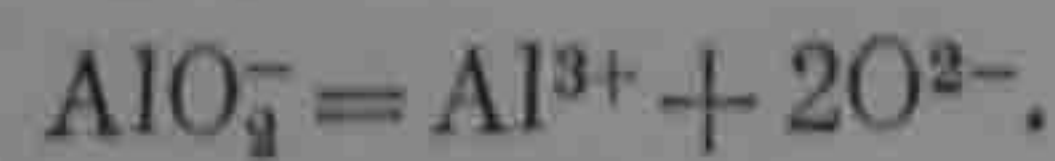
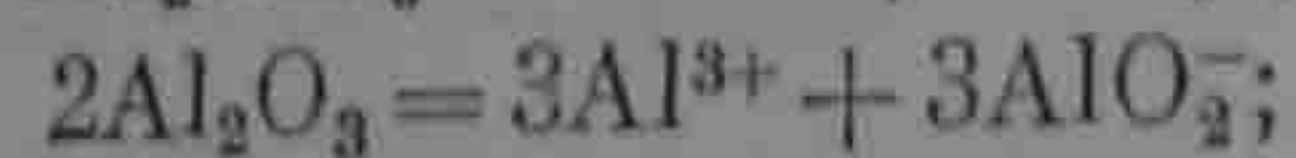
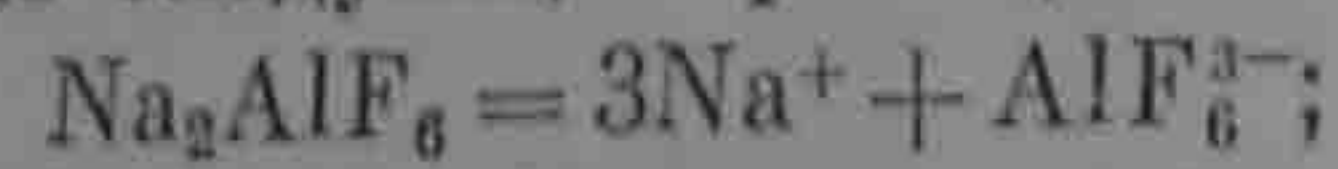
его фильтруют и просушивают в сушильных барабанах. Электролитическое получение алюминия. Алюминий получают путем электролиза раствора глинозема в расплавленном криолите. Процесс электролиза проводят в электролизере, называемом также алюминиевой ванной. Электролизер имеет катодное и анодное устройства.

Катодное устройство представляет собой ванну из огнеупорного углеродистого материала (блоков) глубиной 400—600 мм. Для подвода тока служат стальные стержни и шинопроводы. В ванне слоем 250—300 мм находится расплавленный алюминий, служащий катодом, и жидкий криолит.

Анодное устройство состоит из угольного анода, погруженного в электролит. Постоянный ток силой 70—75 кА и напряжением 4,0—4,5 В подводится для электролиза и разогрева электролита за счет джоулевой теплоты, выделяющейся в слое электролита между анодом и катодом.

Электролит состоит из криолита, 8—10% глинозема, а также AlF_3 и NaF .

При работе электролизера в его ванну загружают фтористые и хлористые соли, а затем расплавленный электролит при температуре около 1000°C . Диссоциация криолита и глинозема в электролите протекает по следующим реакциям:



Таким образом, на катоде будет разряжаться ион Al^{3+} и образовываться металлический алюминий, а на аноде — ион O^{2-} , который будет окислять углерод анода до CO и CO_2 , удаляющихся из ванны через вентиляционную систему. Алюминий, образующийся в результате электролиза, собирается на дне ванны электролизера под слоем электролита. Алюминий из ванны извлекают через 2—4 суток, используя вакуум-ковш с трубой, один конец которой погружают в ванну, а другой опускают в ковш. В трубе создают разрежение ($26,6—33,3 \cdot 10^3 \text{Н/м}^2$), и жидкий металл из ванны засасывается в ковш. Для нормальной работы ванны на дне ее оставляют немного алюминия.

Рафинирование алюминия. Алюминий, полученный электролизом, называют *алюминием-сырцом*. В нем содержатся металлические (Fe, Si, Cu, Zn и др.) и неметаллические (C, Al_2O_3 и др.) примеси, а также газы — кислород, водород, окись и двуокись углерода и др. Примеси удаляют различными способами очистки (рафинирования).

При рафинировании хлором его продувают через расплав. При этом образуется парообразный хлористый алюминий AlCl_3 ,

который, проходя через расплавленный металл, адсорбируется на частичках глинозема, фтористых солей, угля. Эти частички, обволакиваясь пузырьками хлористого алюминия, всплывают на поверхность в виде серого рыхлого порошка и удаляются. Одновременно хлор разлагает химические соединения с натрием, кальцием, магнием и образует хлориды этих металлов, которые также всплывают на поверхность ванны алюминия и удаляются. Хлорирование алюминия способствует также выделению газов, растворенных в алюминии.

Отстаивание жидкого алюминия в ковше или электропечи в течение 30—45 мин при температуре $690—730^\circ\text{C}$ способствует всплыванию неметаллических включений и выделению газов из металла. После рафинирования хлором и отстаивания чистота первичного алюминия составляет 99,5—99,85%. Алюминий отливают в слитки и направляют потребителям.

4. Производство магния

Современный способ производства магния — электролитический. Аналогично алюминию, электролитическое получение магния из водных растворов невозможно, так как электрохимический потенциал магния значительно более отрицательный, чем потенциал разряда ионов водорода на катоде. Поэтому электролиз магния ведут из его расплавленных солей. Основная составляющая электролита — хлористый магний MgCl_2 , а для снижения температуры плавления электролита и повышения его электропроводности в него вводят NaCl , CaCl_2 , KCl и небольшие количества NaF и CaF_2 . На рис. II. 19 дана упрощенная схема современного технологического процесса производства магния.

Основным сырьем для получения магния являются карналлит ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), магнезит (MgCO_3), доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), бисшофит ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Наибольшее количество магния получают из карналлита.

Обогащение карналлита является первой стадией его переработки (рис. II. 19). Сущность процесса обогащения сводится к отделению KCl и нерастворимых примесей путем перевода в водный раствор MgCl_2 и KCl . При охлаждении полученного раствора в вакуум-кристаллизаторах выпадают кристаллы искусственного карналлита $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, которые отделяют фильтрованием.

Карналлит (рис. II. 19) обезвоживают в две стадии. Первую стадию проводят в трубчатых печах или печах кипящего слоя и

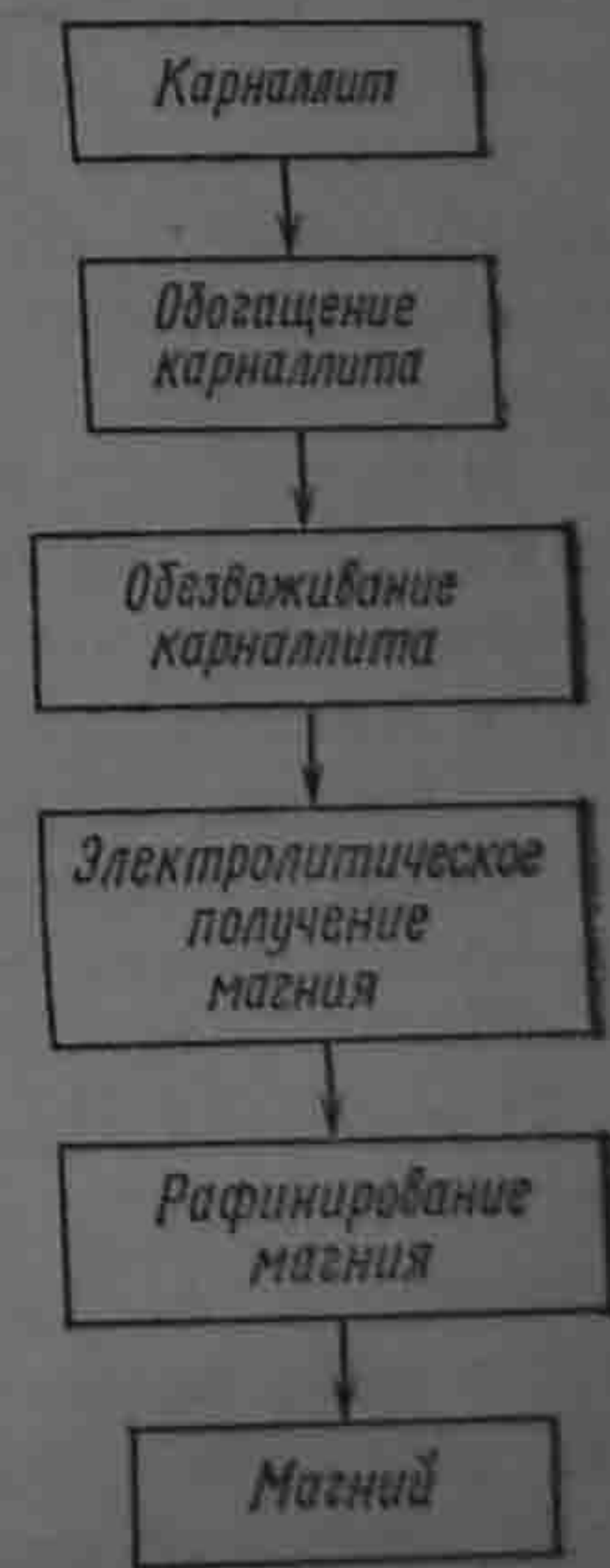


Рис. II.19. Упрощенная схема электролитического способа производства магния

550—600° С. Под действием теплоты нагретых газов карналлит обезвоживается и после такой обработки содержит 3—4% влаги.

Вторую стадию обезвоживания осуществляют либо плавкой полученного после первой стадии карналлита в электропечах с последующим отстаиванием окиси магния, либо хлорированием карналлита в расплавленном состоянии.

Электролитическое получение магния. Для этой цели применяют электролизер, который изнутри футерован шамотным кирпичом. Анодами служат графитовые пластины, а катодами — стальные пластины, расположенные по обе стороны анода. В верхней части электролизера находятся диафрагмы для предотвращения взаимодействия хлора и магния, выделяющихся при электролизе. Ванна электролизера заполняется расплавленным электролитом обычно следующего состава: 10% $MgCl_2$, 45% $CaCl_2$, 30% $NaCl$, 15% KCl и небольшие добавки NaF и CaF_2 . Такой сложный состав электролита необходим для понижения его температуры плавления. В процессе электролиза температуру электролита поддерживают в пределах $720 \pm 10^\circ C$. Для электролитического разложения хлористого магния через электролит пропускают ток под напряжением 2,7—2,8 В. Это напряжение соответствует требуемому для разложения $MgCl_2$ при температуре электролита. Для разложения других соединений, содержащихся в электролите, требуется большее напряжение, чем для хлористого магния. Поэтому в процессе электролиза расходуется в основном хлористый магний, который периодически и добавляют в электролит.

В результате электролитического разложения хлористого магния образуются ионы хлора, которые движутся к аноду и после разряда создают пузырьки хлора, выходящие из электролита. Ионы магния движутся к катоду и после разряда выделяются на поверхности, образуя капельки жидкого магния. Магний имеет меньшую плотность, чем электролит, поэтому он всплывает на его поверхность в катодном пространстве, откуда периодически удаляется с помощью вакуумного ковша.

В процессе электролиза в электролите повышается концентрация других хлоридов за счет расходования $MgCl_2$. Поэтому периодически часть отработанного электролита удаляют из ванны и вместо него заливают расплав $MgCl_2$ или карналлита. В результате частичного разложения примесей на дне ванны образуется шлам, который регулярно удаляют из ванны.

Рафинирование магния. В электролизных ваннах получают *черновой магний*, который содержит 5% примесей: металлические примеси (Fe, Na, K, Al, Ca) и неметаллические примеси ($MgCl_2$, KCl , $NaCl$, $CaCl_2$, MgO). Магний очищают (рафинируют) переплавкой с флюсами.

Для рафинирования магния переплавкой с флюсами черновой магний и флюс, в состав которого входят $MgCl_2$, KCl , $BaCl_2$, CaF_2 , $NaCl$, $CaCl_2$, загружают в электропечь и нагревают до 700—

750° С. При этой температуре в течение 0,5—1,0 ч магний перемешивают с флюсом. В процессе плавки и перемешивания примеси (неметаллические) переходят в шлак. После этого печь охлаждают до 670° С и магний разливают в изложницы на чушки. Чистота магния МГ-1 по ГОСТу составляет 99,92%, а МГ-2 — 99,82%.

5. Производство титана

Наиболее распространенным сырьем для получения титана являются ильменит $FeO \cdot TiO_2$, рутил TiO_2 , титаномагнетит $FeTiO_3 \cdot Fe_3O_4$ и другие руды. Содержание двуокиси титана (TiO_2) в рудах составляет 10—60%. Титановые руды обычно обогащают. Концентраты титановых руд содержат 42—65% TiO_2 . Сущность получения металлического титана заключается в восстановлении четыреххлористого титана или окислов титана магниетермическим или натриетермическим способом. Магний и натрий практически нерастворимы в титане, что дает возможность отделять эти металлы и их хлориды от титана. Наиболее широко применяют магниетермический способ. Титан и магний обычно производят на одном заводе, так как хлористый магний — побочный продукт при получении титана служит сырьем для получения магния. При производстве же титана используют магний и хлор, который получают как побочный продукт при производстве магния.

Основные этапы магниетермического способа приведены на схеме рис. П.20.

Производство титанового шлака. Концентраты ильменитовых руд содержат более 40% окислов железа (FeO и Fe_2O_3). Эти окислы от двуокиси титана — основного компонента руды отделяют плавкой концентрата титановой руды в смеси с восстановителем — древесным углем, антрацитом. В процессе плавки в рудотермических печах окислы железа и титана восстанавливаются. Образующееся железо науглероживается, и получается чугун, а низшие окислы титана переходят в шлак. Чугун и шлак из-за разности плотностей

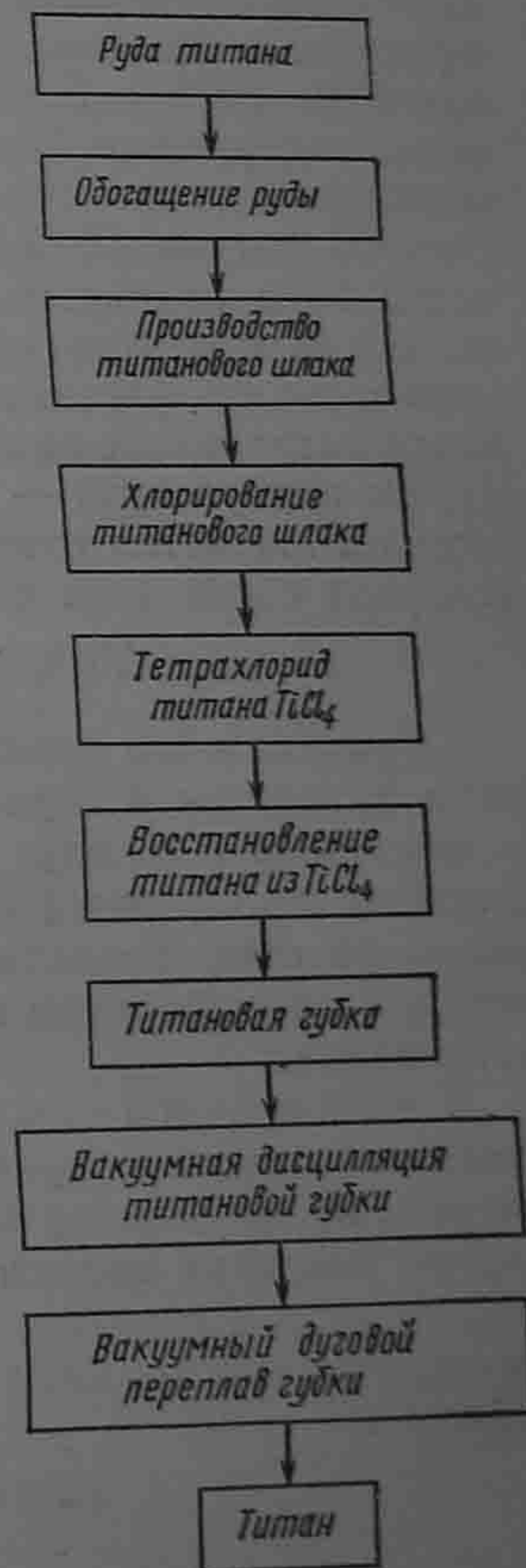
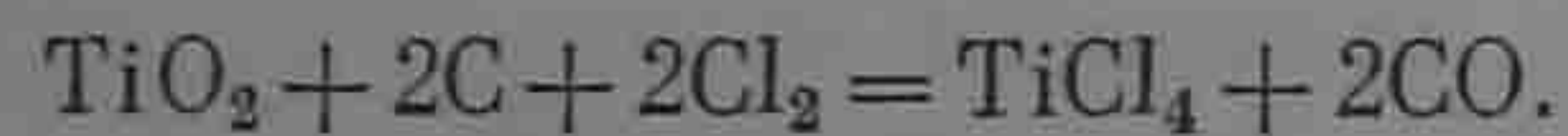


Рис. П.20. Упрощенная схема магниетермического способа производства титана

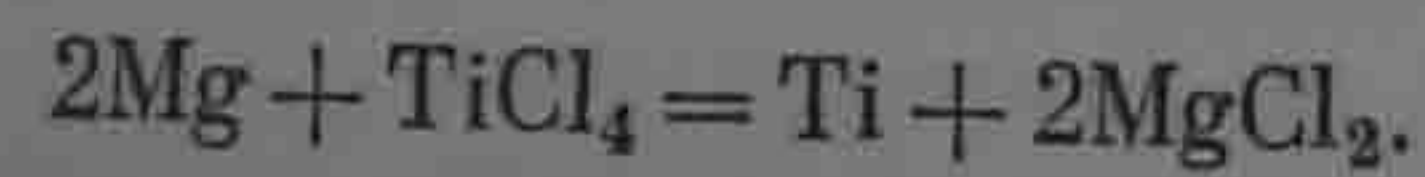
разделяются: чугун располагается на подине печи, а шлак — поверх чугуна. Полученные таким образом чугун и шлак разливают отдельно в изложницы. В процессе выпуска шлака, его хранения и переработки низшие окислы титана переходят в двуокись титана. Основной продукт этого процесса — титановый шлак содержит 80—90% TiO_2 , 2—5% FeO и примеси — SiO_2 , CaO , MgO , MnO , Al_2O_3 , Cr_2O_3 и др. Побочный продукт этого процесса — чугун используют в металлургическом производстве.

Хлорирование титанового шлака. Полученный титановый шлак хлорируют. Для этого его измельчают, смешивают с углеродосодержащими продуктами (углем, коксом) и связующим. Эту смесь прессуют в брикеты, которые прокалывают без доступа воздуха при 650—800° С. В результате получают прочные пористые брикеты, содержащие 20—25% углерода. Присутствие углерода необходимо для интенсификации реакции образования четыреххлористого титана ($TiCl_4$). Брикеты хлорируют в печи. В нижней части печи находится угольная насадка, служащая сопротивлением при пропускании через нее электрического тока, подаваемого через графитовые электроды. Через герметически закрывающееся загрузочное окно подают брикеты титанового шлака, через фурмы внутрь печи — хлор. Брикеты опускаются вниз, а навстречу им движется поток хлора. При 800—1250° С в присутствии углерода образуется четыреххлористый титан по реакции



Образующийся четыреххлористый титан ($TiCl_4$) и другие хлориды находятся в парообразном состоянии, а некоторые из хлоридов также и в виде расплава. Четыреххлористый титан отделяется и очищается от остальных побочных продуктов — хлоридов за счет различной температуры кипения этих хлоридов методом ректификации в конденсационных и фильтрационных установках.

Титан из четыреххлористого титана восстанавливают в реакторах. В реактор загружают чушковый магний; после откачки воздуха и заполнения его полости аргоном внутрь реактора подают парообразный четыреххлористый титан. Температура в реакторе поддерживается в пределах 950—1000° С. Между жидким магнием и четыреххлористым титаном происходит реакция:



Твердые частицы восстановленного титана спекаются в пористую массу — губку, а жидкий $MgCl_2$ выпускают через летку реактора. Губка титана пропитана магнием и хлористым магнием; общее содержание этих примесей составляет 35—45%.

Вакуумная дисцилиция титановой губки. Для удаления из титановой губки хлористого магния и других примесей ее нагревают до 900—950° С в вакууме. При этом часть примесей уда-

ляется из нее в виде расплава, а оставшая часть хлористого магния и магний в виде паров конденсируются в специальных конденсаторах реактора.

Титановые губки на слитки плавят в вакуумных дуговых печах. Тигель печи медный, водоохлаждаемый; одним полюсом дуги постоянного тока является дно тигля, другим — электрод, изготовленный из прессованной титановой губки. В процессе горения дуги электрод оплачивается, и жидкий титан затвердевает в медной изложнице, образуя слиток. Вакуум в печи предохраняет титан от окисления и способствует очистке его от примесей — водорода, магния, хлористого магния. Полученные слитки титана могут иметь дефекты (раковины, поры), поэтому их вторично переплавляют, используя как расходные электроды. Чистота титана в этом случае составляет 99,6—99,7%. Слитки, полученные после вторичного переплава, используют для прокатки на лист, профильный материал,ковки, штамповки заготовок деталей.

Для получения сплавов титана с другими металлами (алюминием, марганцем, ванадием и др.) эти металлы примешивают к губке, поступающей на первую плавку. После второго переплава указанные металлы равномерно распределяются в объеме слитка.

Глава 1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

1. Сущность обработки металлов давлением

Из-за ограниченности объема данный раздел не может охватить с исчерпывающей полнотой всего многообразия технологических процессов обработки металлов давлением, методов их расчета, применяемых машин-орудий и производственной оснастки.

Обработка металлов давлением основана на способности металлов (и ряда неметаллических материалов) в определенных условиях получать пластические (остаточные) деформации в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил.

Если при упругих деформациях деформируемое тело полностью восстанавливает исходные форму и размеры после снятия внешних сил, то при пластических деформациях изменение формы и размеров, вызванное действием внешних сил, сохраняется и после прекращения действия этих сил. Упругая деформация характеризуется смещением атомов относительно друг друга на величину, меньшую межатомных расстояний, и после снятия внешних сил атомы возвращаются в исходные положения. При пластических деформациях атомы смещаются относительно друг друга на величины, большие межатомных расстояний, и после снятия внешних сил остаются смещенными (не возвращаются в свое исходное положение).

Так как остаточное изменение формы и размеров тела происходит без нарушения его сплошности (без образования трещин, разрывов), то атомы должны смещаться в новые положения в условиях, при которых не исчезает силовое взаимодействие между ними.

Металлы являются кристаллическими телами, характеризующимися упорядоченным взаимным расположением атомов, соответствующим равенству сил притяжения и отталкивания (соответствующим минимуму потенциальной энергии атомов), причем атомы располагаются в параллельных плоскостях на определенных расстояниях друг от друга. Атомы в новые положения равновесия могут переходить в результате смещения атомов, расположенных в одной плоскости, без существенного изменения расстояний между этими плоскостями. В таких условиях атомы не выходят

из зоны силового взаимодействия, и деформация происходит без нарушения сплошности.

При упругих деформациях величина смещения атомов из положений равновесия возрастает пропорционально увеличению деформирующих сил (деформация пропорциональна напряжению). Для начала перехода атомов в новые положения равновесия необходима определенная величина действующих напряжений, зависящая от величин межатомных сил и характера взаимного расположения атомов (типа кристаллической решетки, наличия и расположения примесей, формы и размеров зерен поликристалла и т. п.).

Так как сопротивление смещению атомов в новые положения равновесия изменяется не пропорционально величинам смещений, то при пластических деформациях линейная связь между напряжениями и деформациями обычно отсутствует.

Переход атомов в новые положения равновесия не приводит к изменению межатомных расстояний, и, как следствие, пластическая деформация не изменяет плотности или удельного объема деформируемого тела.

Напряжения, вызывающие смещение атомов в новые положения равновесия, могут уравниваться только силами межатомных взаимодействий. Отсюда следует, что даже при пластическом деформировании деформация под нагрузкой состоит из упругой и пластической составляющих, причем упругая составляющая исчезает при разгрузке (при снятии деформирующих сил), а пластическая составляющая приводит к остаточному изменению формы и размеров тела.

Таким образом, при обработке металлов давлением заготовка в изделие превращается за счет пластического деформирования твердой заготовки или ее отдельных частей, что составляет ее коренное отличие от обработки резанием, при которой форма изделия получается путем удаления (срезания) части заготовки в стружку, и от литейных процессов, в которых изделие получается при затвердевании жидкого, расплавленного металла, залитого в форму.

Одним из существенных достоинств обработки металлов давлением является возможность значительного уменьшения отхода металла по сравнению с обработкой резанием. Другим достоинством является возможность повышения производительности труда, так как в результате однократного приложения усилия можно значительно изменить форму и размеры деформируемой заготовки. Кроме того, пластическая деформация сопровождается изменением физико-механических свойств металла заготовки, которое можно использовать для получения деталей с наилучшими служебными свойствами (прочностью, жесткостью, сопротивлением износу и т. д.) при наименьшей их массе. Эти и другие достоинства обработки металлов давлением (которые отмечены ниже) приводят к тому, что удельный вес ее в металлообработке неуклонно воз-

растает. Совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением, а также применяемого для этих целей оборудования приводит к расширению номенклатуры деталей, изготавливаемых обработкой давлением, к увеличению диапазона характеристик деталей по массе и размерам, а также к повышению точности размеров полуфабриката, получаемого в результате обработки металлов давлением.

2. Виды обработки металлов давлением

Процессы обработки металлов давлением по назначению подразделяют на два вида:

1) для получения заготовок постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), используемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления из них деталей только обработкой резанием или с использованием предварительной обработки металлов давлением; основными разновидностями таких процессов являются прокатка, прессование и волочение;

2) для получения деталей или заготовок (полуфабрикатов), имеющих приблизительно формы и размеры готовых деталей и требующих обработки резанием лишь для придания им окончательных размеров и получения поверхности заданного качества; основными разновидностями таких процессов являются ковка и штамповка.

Прокатка заключается в обжатии заготовки между вращающимися валками. Силами трения $P_{тр}$ заготовка втягивается между валками, а силы P , нормальные к поверхности валков, уменьшают поперечные размеры заготовки (рис. III.1, а).

Прессование (рис. III.1, б) заключается в продавливании заготовки 2, находящейся в замкнутой форме 3, через отверстие матрицы 1, причем форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствуют форме и размерам отверстия матрицы, а длина ее пропорциональна отношению площадей поперечного сечения исходной заготовки и выдавленной части и перемещению давящего инструмента 4.

Волочение (рис. III.1, в) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1; площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

Ковкой (рис. III.1, г) изменяют форму и размеры заготовки 1 путем последовательного воздействия универсальным инструментом 2 на отдельные участки заготовки.

Штамповкой изменяют форму и размеры заготовки с помощью специализированного инструмента — штампа (для каждой детали изготавливают свой штамп).

Различают листовую и объемную штамповку. Листовой штамповкой (рис. III.1, д) получают плоские и пространственные по-

лые детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (листа, ленты, полосы). Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона 1 и матрицы 2. При объемной

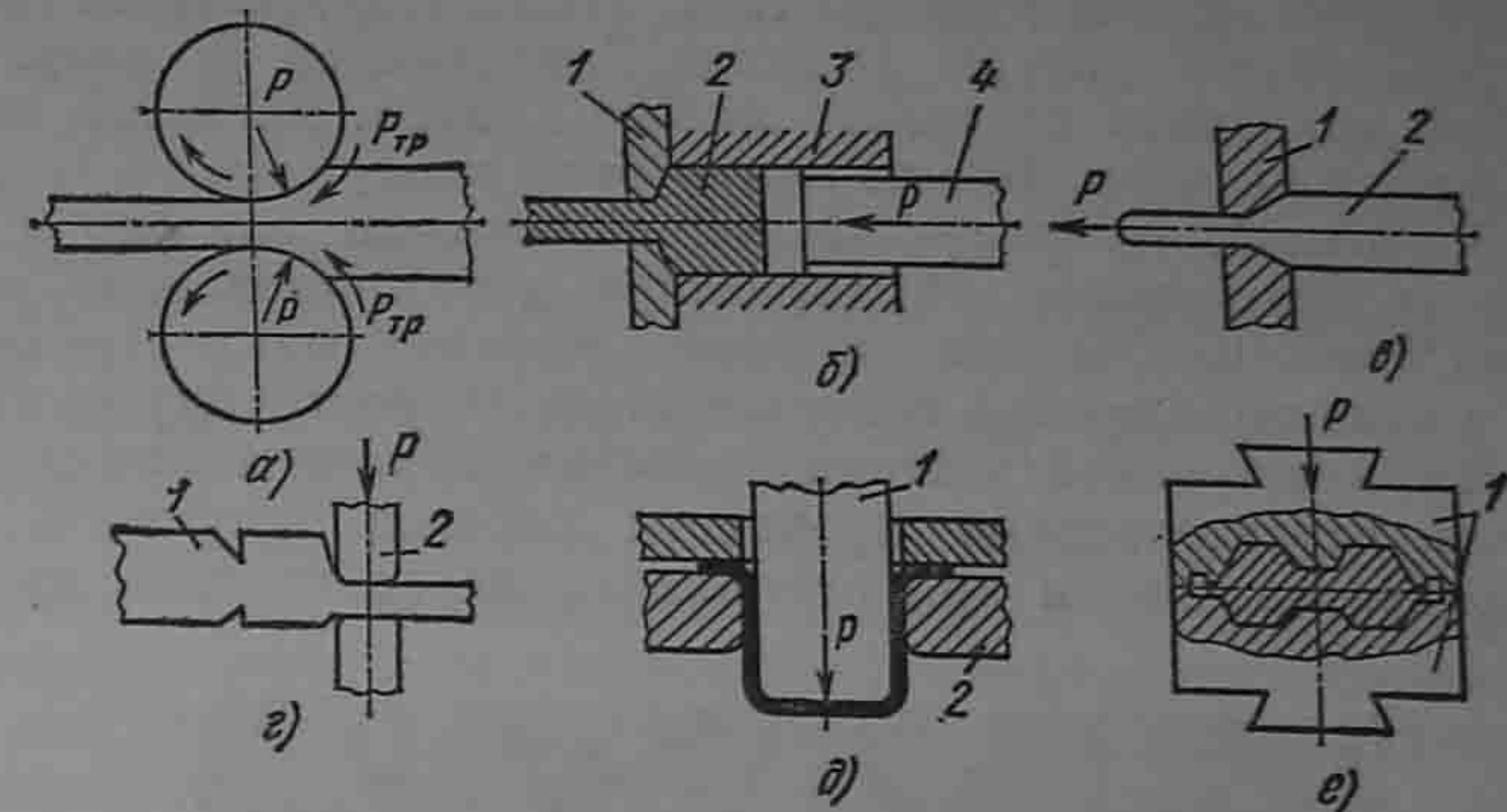


Рис. III.1. Схемы основных видов обработки металлов давлением: а — прокатки; б — прессования; в — волочения; г —ковки; д — одного из процессов листовой штамповки; е — одного из процессов объемной штамповки

штамповке сортового металла (рис. III.1, е) на заготовку, являющуюся обычно отрезком прутка, воздействуют специализированным инструментом — штампом 1, причем металл заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры.

3. Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла

Исходной заготовкой для начальных процессов обработки металлов давлением (прокатки, прессования) обычно является слиток. Кристаллическое строение слитка неоднородно (кристаллиты различных величин и форм). Кроме того, в нем имеется пористость, газовые пузыри и т. д. Обработка давлением слитка при нагреве его до достаточно высоких температур приводит к дроблению кристаллитов и частичной заварке пористости и раковин. Таким образом, при обработке давлением слитка может увеличиться и плотность металла.

В результате дробления кристаллитов металл получает так называемое мелкозернистое строение, т. е. размеры обломков кристаллитов исчисляются в сотых или десятых долях миллиметра, причем эти размеры примерно одинаковы по всем направлениям (равноосная структура).

Если слиток загрязнен неметаллическими включениями, обычно располагающимися по границам кристаллитов, то в результате обработки давлением неметаллические включения вытягиваются в виде прядей (волокон) по направлению наиболее интенсивного

течения металла. Такие пряди легко выявляются травлением и видны невооруженным глазом (макроструктура). Определенная направленность прядей неметаллических включений называется *полосчатостью* макроструктуры (рис. III.2). Полосчатость (волоконистость) макроструктуры металла, полученная в результате обработки давлением исходного литого слитка, является вполне стойким образованием. Она не может быть разрушена ни термической обработкой, ни последующей обработкой давлением. Последняя (в зависимости от характера деформирования) может изменить лишь направление и форму волокон макроструктуры. Металл с явно выраженной полосчатостью макроструктуры характеризуется анизотропией (векториальностью) механических свойств. При этом характеристики прочности (предел текучести, временное сопротивление и др.) отличаются незначительно друг от друга по разным направлениям, а характеристики пластичности (относительное удлинение, ударная вязкость и др.) вдоль волокон выше, чем поперек их.

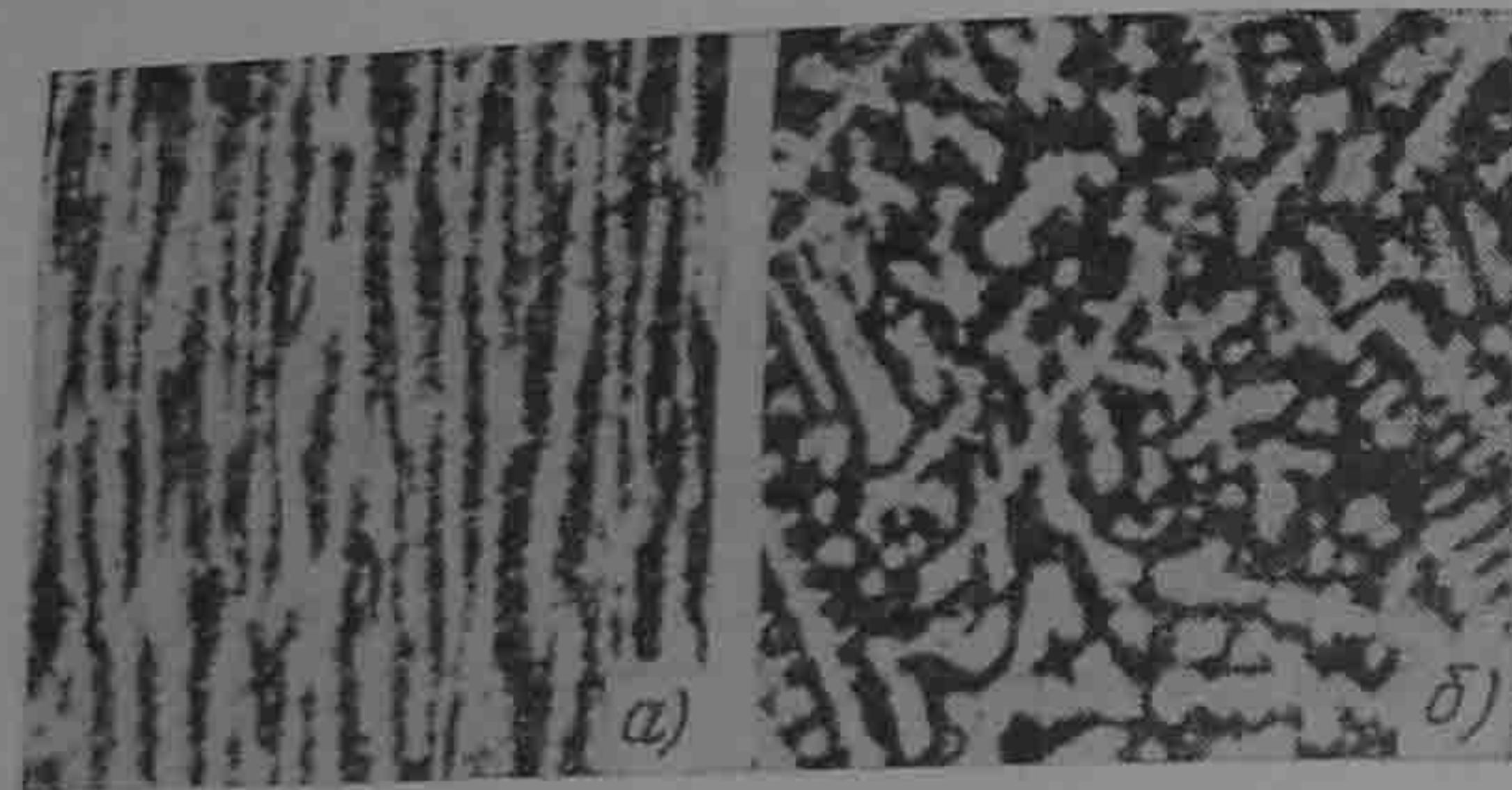


Рис. III.2. Макроструктуры металла:
а — после обработки давлением; б — исходного литого

друга по разным направлениям, а характеристики пластичности (относительное удлинение, ударная вязкость и др.) вдоль волокон выше, чем поперек их.

Так как направление волокон зависит от характера деформирования заготовки, желательно в готовой детали получить такое расположение волокон, при котором она имела бы наилучшие служебные свойства. При этом общими рекомендациями являются следующие: необходимо, чтобы наибольшие растягивающие напряжения, возникающие в деталях, в процессе работы были направлены вдоль волокон, а если какой-либо элемент этой детали работает на срез, то желательно, чтобы перерезывающие силы действовали поперек волокон; необходимо, чтобы волокна подходили к наружным поверхностям детали по касательной и не перерезались наружными поверхностями детали, повторяли бы их форму.

Выполнение этих требований не только повышает прочность детали (в том числе и при динамическом нагружении), но и улучшает другие служебные характеристики, например сопротивление истиранию.

Возможность воздействия обработкой давлением на расположение волокон, а следовательно, и на служебные свойства деталей можно иллюстрировать следующим примером.

В зубчатом колесе, изготовленном резанием из прутка (рис. III.3, а), растягивающие напряжения, возникающие при изгибе зуба действием сопряженного колеса, направлены поперек волокон, а следовательно, прочность зубьев будет пониженной. При горячей штамповке зубчатого колеса из полосы (рис. III.3, б) волокна по-разному ориентированы в различных зубьях относительно наибольших растягивающих напряжений: в зубе 1 — вдоль волокон, а в зубе 2 — поперек. Следовательно, зубья оказываются неравнопрочными.

При изготовлении зубчатого колеса осадкой (рис. III.3, в) из отрезка прутка круглого сечения волокна получают почти радиальное направление. В этом случае все зубья равнопрочны, а наибольшие растягивающие напряжения, возникающие при изгибе, направлены почти вдоль волокон. При такой технологии не только возрастает прочность зубьев по сравнению с их прочностью, полученной в первом случае (рис. III.3, а), но может увеличиться их износостойкость.

В зависимости от температурно-скоростных условий деформирования различают холодную и горячую деформации.

Холодная деформация. Эта деформация характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла (образуется полосчатая микроструктура). При холодной деформации формоизменение сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла.

Явление это называют *упрочнением* (наклепом). Изменение механических свойств состоит в том, что при холодной пластической деформации по мере ее увеличения возрастают характеристики прочности, в то время как характеристики пластичности снижаются. Металл становится более твердым, но менее пластичным. Изменения, внесенные холодной деформацией в структуру и свойства металла, не необратимы. Они могут быть устранены, например, с помощью термической обработки (отжигом). В этом случае происходит внутренняя перестройка, при которой в твердом металле без фазовых превращений из множества центров растут новые зерна, поглощающие в конечном итоге вытянутые, деформированные зерна. Так как в равномерном температурном поле скорость роста зерен по всем направлениям одинакова, то новые зерна, появившиеся взамен деформированных, имеют примерно одинаковые размеры по всем направлениям.

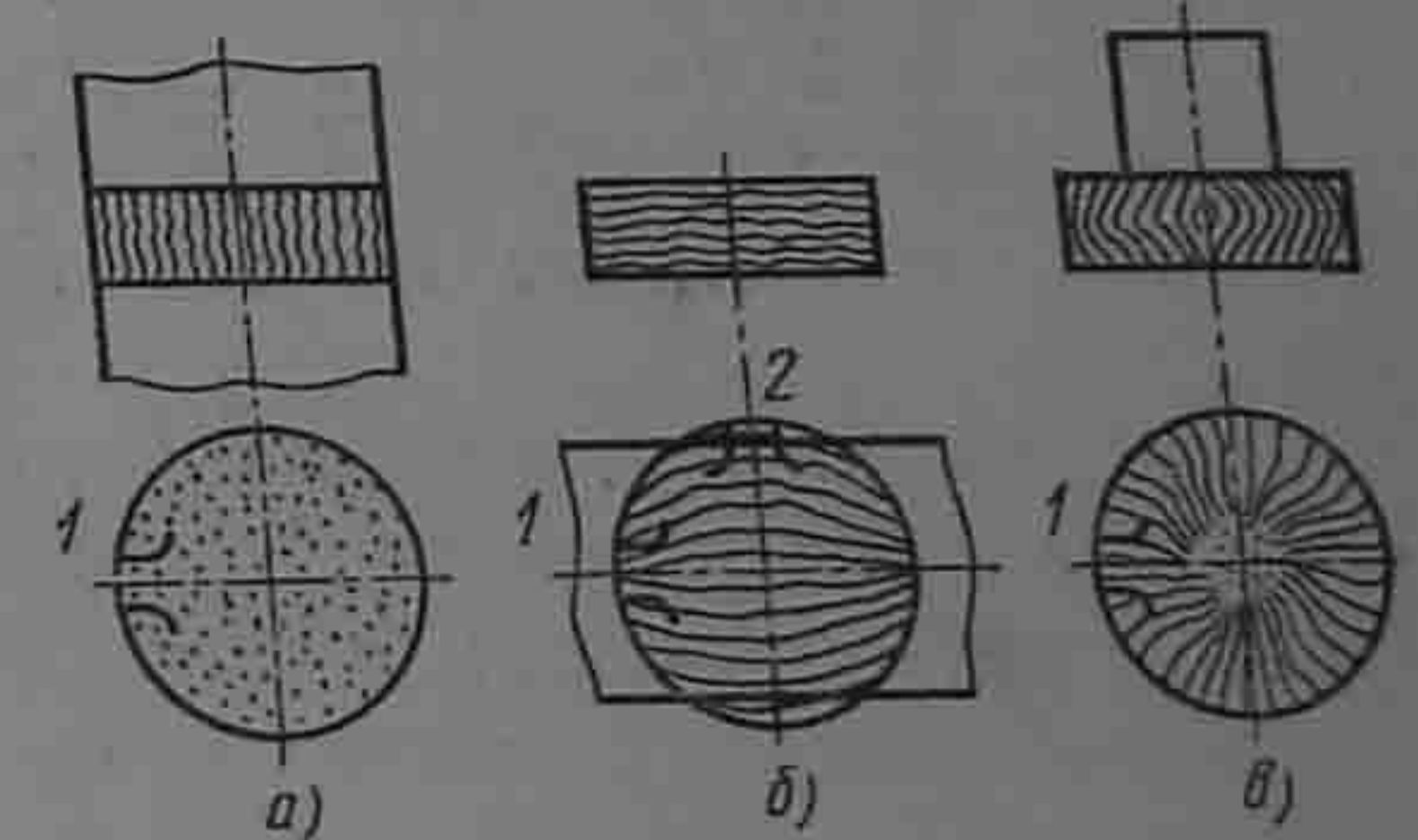


Рис. III.3. Схема макроструктуры зубчатых колес, изготовленных различными способами

Явление замены деформированных, вытянутых зерен новыми, равноосными, происходящее при определенных температурах, называется *рекристаллизацией*. По А. А. Бочвару для чистых металлов рекристаллизация начинается при абсолютной температуре, равной 0,4 абсолютной температуры плавления металла. Рекристаллизация протекает с определенной скоростью, причем время, потребное для рекристаллизации, тем меньше, чем больше температура нагрева деформированной заготовки.

При температурах, меньших температуры начала рекристаллизации, наблюдается явление, называемое *возвратом*. При возврате (отдыхе) форма и размеры деформированных, вытянутых зерен не изменяются, но в значительной степени снимаются остаточные напряжения. Эти напряжения возникают из-за неоднородного нагрева или охлаждения (при литье и обработке давлением), неоднородности распределения деформаций при пластическом деформировании и т. д. Остаточные напряжения создают системы взаимно уравновешивающихся сил и находятся в заготовке, не нагруженной внешними силами. Частичное снятие остаточных напряжений при возврате почти не изменяет механических свойств металла, но влияет на некоторые его физико-химические свойства.

Так, например, в результате возврата значительно повышается сопротивление коррозии холоднодеформированного металла (уменьшается растворимость в химических реагентах).

Формоизменение заготовки при температуре выше температуры рекристаллизации характеризуется тем, что в процессе деформирования одновременно происходит вытягивание зерен (упрочнение) и рекристаллизация (разупрочнение).

Горячая деформация. Эта деформация характеризуется таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает произойти во всем объеме заготовки и микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной, без следов упрочнения.

Чтобы обеспечить условия протекания горячей деформации, приходится с увеличением ее скорости повышать температуру нагрева заготовки (для увеличения скорости рекристаллизации).

Если металл по окончании деформации имеет структуру, но полностью рекристаллизованную, со следами упрочнения, то такая деформация называется *неполной горячей деформацией*. Неполная горячая деформация приводит к получению неоднородной структуры, к снижению механических свойств и пластичности, поэтому обычно является нежелательной.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, а отсутствие упрочнения приводит к тому, что сопротивление деформированию (предел текучести) незначительно изменяется в процессе обработки давлением. Этим обстоятельством объясняется в основном то, что горячую обработку применяют для изготовления

крупных деталей, так как здесь требуются меньшие усилия деформирования (менее мощное оборудование).

Следует учитывать, что при обработке давлением заготовок малых размеров (малой толщины) трудно выдержать необходимые температурные условия из-за быстрого их охлаждения на воздухе и под действием инструмента.

При горячей деформации пластичность металла выше, чем при холодной деформации. Поэтому горячую деформацию целесообразно применять при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла (слитков). В то же время при горячей деформации окисление заготовки более интенсивно (на поверхности образуется слой окислины), что ухудшает качество поверхности и точность получаемых размеров. Холодная деформация без нагрева заготовки позволяет получать большую точность размеров и лучшее качество поверхности по сравнению с обработкой давлением при достаточно высоких температурах. Отметим, что обработка давлением без специального нагрева заготовки позволяет сократить продолжительность технологического цикла, облегчает использование средств механизации и автоматизации и повышает производительность труда.

Влияние холодной деформации на свойства металла можно использовать для получения наилучших служебных свойств деталей, а управление изменением свойств в нужном направлении и на желаемую величину может быть достигнуто выбором рационального сочетания холодной и горячей деформации, а также числа и режимов термических обработок в процессе изготовления детали.

Возможность пластического деформирования не безгранична, при определенных деформациях может начаться разрушение металла.

На величину пластической деформации, которой можно достичь без разрушения (*предельная деформация*), оказывают влияние многие факторы, основными из которых являются механические характеристики металла (сплава), температурно-скоростные условия деформирования и схема напряженного состояния. Последний фактор может оказывать большое влияние на величину предельной деформации: чем больше растягивающие напряжения, тем меньше предельная деформация. Наибольшую предельную деформацию можно получить, если растягивающие напряжения отсутствуют, а сжимающие напряжения достаточно велики. В этих условиях (схема всестороннего сжатия) даже хрупкие материалы типа мрамора могут получать пластические деформации. Схемы напряженного состояния в различных процессах и операциях обработки давлением различны, вследствие чего для каждой операции, металла и температурно-скоростных условий имеются свои предельные деформации.

1. Термический режим

Нагрев вызывает изменение механических свойств металла. Как видно из графика (рис. III.4), предел прочности углеродистых сталей с повышением температуры (примерно с 300° С) непрерывно уменьшается, а относительное удлинение увеличивается. Следовательно, при деформировании стали, нагретой, например, до температуры 1200° С, можно достичь большего формоизменения при меньшем приложенном усилии, чем при деформировании ненагретой стали. Все металлы и сплавы имеют тенденцию к увеличению пластичности и уменьшению сопротивления деформированию при повышении температуры в случае выполнения определенных требований, предъявляемых к процессу нагрева.

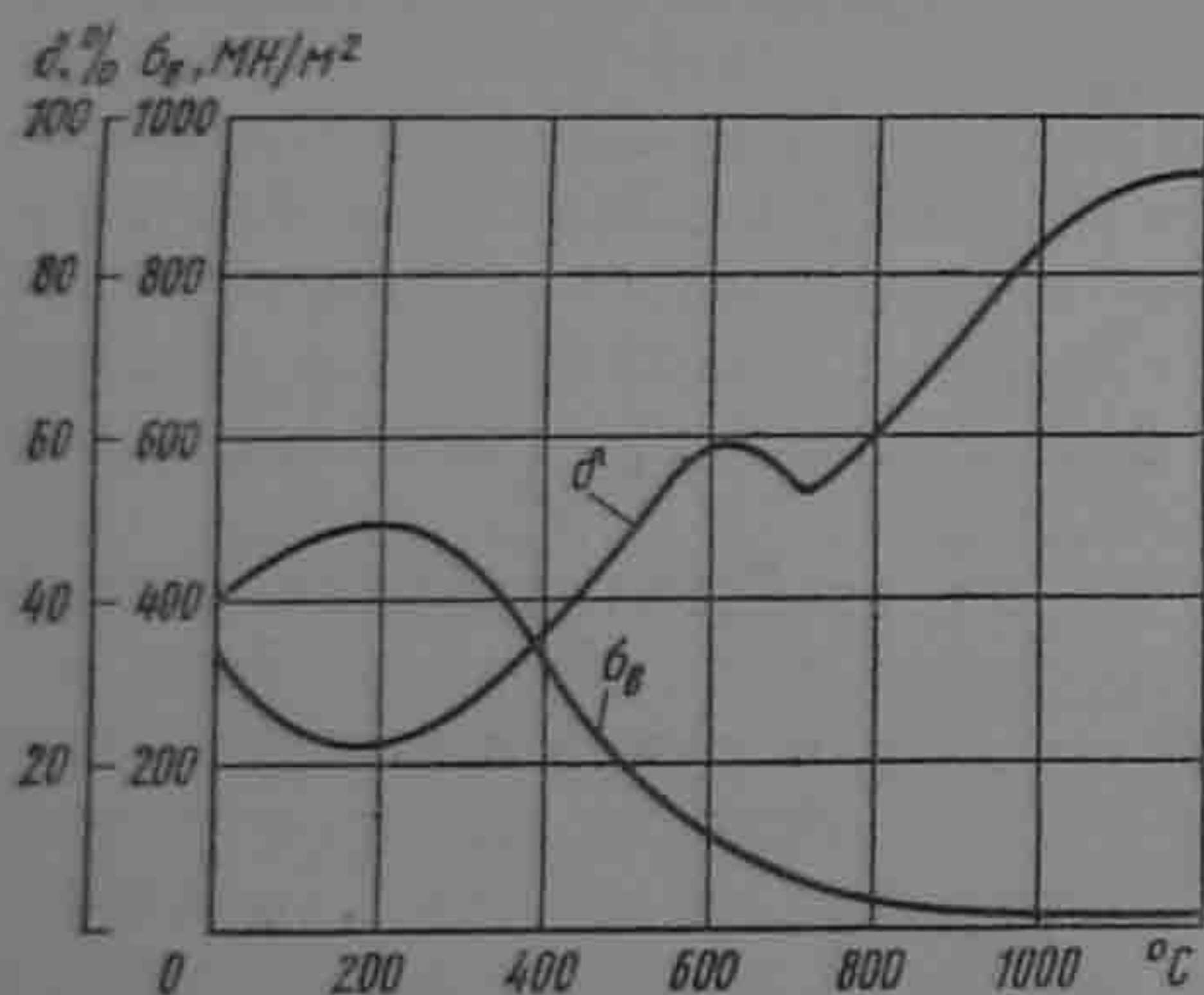


Рис. III.4. Изменение δ и $\sigma_{в}$ стали, содержащей 0,15% С, в зависимости от температуры

Прежде всего каждый металл и сплав должен быть нагрет до вполне определенной температуры. Если нагреть сталь до температуры, близкой к температуре плавления (линия АЕ на диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов), наступает пережог, выражающийся

в появлении хрупкой пленки между зернами металла вследствие окисления их границ. При пережоге происходит полная потеря пластичности. Пережженный металл представляет собой неисправимый брак и может быть отправлен только на переплавку. Ниже температуры пережога лежит зона перегрева. Явление перегрева заключается в резком росте размеров зерен. Вследствие того, что крупнозернистой первичной кристаллизации (аустенит), как правило, соответствует крупнозернистая вторичная кристаллизация (феррит + перлит или перлит + цементит), механические свойства изделия, полученного обработкой давлением из перегретой заготовки, оказываются низкими. Брак по перегреву в большинстве случаев можно исправить отжигом. Однако для некоторых сталей (например, хромоникелевых) исправление перегретого металла сопряжено со значительными трудностями, и простой отжиг оказывается недостаточным.

Таким образом, максимальную температуру нагрева, т. е. температуру начала горячей обработки давлением, следует назначать такой, чтобы не было ни пережога, ни перегрева.

В процессе горячей обработки (прокатки, ковки, штамповки и т. д.) металл обычно остывает, соприкасаясь с более холодным инструментом и окружающей средой. Заканчивать горячую обработку давлением следует также при вполне определенной температуре. Если продолжать деформирование при более низких температурах, металл упрочнится (рекристаллизация не успевает произойти), и вследствие падения пластичности в изделии могут образоваться трещины. Однако заканчивать обработку давлением при высоких температурах нецелесообразно (особенно для сплавов, не имеющих фазовых превращений, например для аустенитных сталей). В этом случае в процессе остывания зерна успевают вырасти, и получается крупнозернистая структура, а следовательно, низкие механические свойства изделия.

Таким образом, каждый металл и сплав имеет свой строго определенный температурный интервал горячей обработки давлением. В таблице приведены температурные интервалы обработки для некоторых сплавов. Для углеродистых сталей верхний предел температурного интервала практически расположен на 100—200° ниже линии солидуса АЕ на диаграмме состояния. У доэвтектоидных углеродистых сталей оптимальной температурой окончания обработки является $A_3 + (25 \div 50^\circ)$. Для заэвтектоидной стали нижний предел интервала температур обработки

Температурный интервал горячей обработки сплавов давлением

Сплав	Температурный интервал		Сплав	Температурный интервал	
	Начало	Конец		Начало	Конец
Углеродистые стали: 10 45	1280 1200	750 800	Магниевого сплавы: МА1, МА2 МА5	420 390	300 280
Легированные стали: ШХ15 12Х18Н9Т 30ХГСА	1130 1150 1140	850 900 830	Медные сплавы: Бр. АЖМц 10-3-1.5 ЛС 60-1	900 820	750 700
Алюминиевые сплавы: Д1, АК8 АК4	470—440 470—420	400 350	Титановый сплав BT8	1100	900

расположен между линиями $A_{ст}$ и A_1 . При окончании деформирования в этой области температур цементит, выделившийся ниже линии $A_{ст}$, имеет форму мелких раздробленных включений. Это улучшает служебные свойства заэвтектоидной стали.

Заготовка должна быть равномерно нагрета по всему объему до требуемой температуры. Разница температур по сечению заготовки приводит к тому, что из-за теплового расширения между более нагретыми (поверхностными) слоями металла и менее нагретыми (внутренними) слоями возникают напряжения. Последние тем больше, чем больше разность температур по сечению заготовки, и могут возрасти настолько, что будет нарушена целостность металла — образуются внутренние микро- и макротрещины. Разность температур по сечению увеличивается с увеличением скорости нагрева, поэтому существует максимально допустимая скорость нагрева. Эта скорость ориентировочно может быть определена по эмпирической формуле Н. Н. Доброхотова:

$$T = kD\sqrt{D},$$

где T — время нагрева, ч; D — диаметр заготовки, м; k — коэффициент, равный для углеродистой и низколегированной сталей 12,5, для высоколегированной 25.

Очевидно, что наибольшее время требуется для нагрева крупных заготовок из высоколегированных сталей из-за их низкой теплопроводности. Например, время нагрева слитка массой ~ 40 т из легированной стали составляет более 24 ч.

С увеличением времени нагрева, однако, увеличивается окисление поверхности металла, так как при высоких температурах происходит активное химическое взаимодействие металла с окружающими газами. В результате на поверхности, например, стальной заготовки образуется окисленный слой — окалина, состоящая из окислов железа в виде соединений Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO . Кроме безвозвратных потерь металла с окалиной, последняя, вдавливаясь в поверхность металла при деформации, вызывает необходимость увеличения припусков на механическую обработку. Окалина ускоряет в 1,5—2,0 раза износ деформирующего инструмента, так как ее твердость значительно больше твердости горячего металла. Кроме температуры и продолжительности нагрева, на окалинообразование влияет химический состав атмосферы, окружающей заготовку. Для уменьшения окисления заготовки нагревают в нейтральной или восстановительной атмосфере.

При высоких температурах в стали интенсивно окисляется не только железо, но и углерод: происходит так называемое обезуглероживание. Толщина обезуглероженного слоя в отдельных случаях достигает 1,5—2,0 мм.

Для качества изделий, получаемых горячей обработкой давлением, имеет существенное значение не только режим нагрева, но и режим охлаждения. Слишком быстрое и неравномерное охлаждение может привести к образованию трещин или к короблению вследствие термических напряжений. Чем меньше теплопроводность стали и чем массивнее и сложнее конфигурация изделия, тем медленнее должно быть охлаждение,

2. Нагревательные устройства

Нагревательные устройства, в которых нагревают металл перед обработкой давлением, можно подразделить на нагревательные печи и электронагревательные устройства. В печах теплота к заготовке поступает из окружающего ее рабочего пространства нагретой печи; в электронагревательных устройствах теплота выделяется в самой заготовке.

Всякая печь имеет нагревательную камеру, выложенную огнеупорным материалом. Нижняя часть камеры, на которую укладывают нагреваемые заготовки, называется *подом* печи. Передача теплоты металлу заготовок происходит *конвекцией* и *излучением*. При высоких температурах, существующих в печах для нагрева металла перед обработкой давлением, основным видом передачи теплоты является излучение от нагретых стен печи.

Печи, в свою очередь, разделяют на пламенные, в которых теплота получается за счет сжигания топлива, и электрические, в которых источником нагрева рабочего пространства печи является электрическая энергия. *Пламенные печи* работают в основном на жидком и газообразном топливе. Жидкое топливо (мазут) сжигают с помощью форсунок, распыляющих топливо и обеспечивающих его хорошее смешивание с воздухом. Для сжигания газа применяют газовые горелки, которые служат для подачи газа и воздуха в печь и смешивания их в необходимой пропорции. По характеру распределения температур в рабочем пространстве печи могут быть разделены на две группы: печи с одинаковой температурой по всему рабочему пространству (камерные) и печи, у которых температура в рабочем пространстве повышается в направлении от места загрузки заготовок к месту их выдачи (методические печи).

Камерная печь. В печи (рис. III.5, а) заготовки 2 укладывают на поду 1 печи (причем способ укладки влияет на скорость нагрева) и после их прогрева до заданной температуры извлекают, как правило, через окно 4, через которое их загружали в печь. Рабочее пространство печи нагревается за счет сжигания топлива с помощью форсунок или горелок 3. Продукты сгорания отводятся через дымоход 5. При нагреве крупных заготовок из легированной или высоколегированной стали для уменьшения температурных напряжений температура печи при загрузке заготовок должна быть значительно ниже необходимой конечной температуры нагрева. Затем температуру постепенно повышают. Для облегчения загрузки и выгрузки крупных заготовок применяют различные загрузочные машины, а также печи с выдвижным подом.

Камерные печи имеют ряд разновидностей. Для нагрева под прокатку крупных слитков применяют нагревательные колодцы, которые загружают сверху, и слитки в них располагают вертикально. Для нагрева только концов прутков загрузочное окно делают в виде щели (щелевые печи) или круглых отверстий (очковые печи).

Для нагрева некоторых специальных сплавов применяют муфельные печи, в которых заготовку помещают в ящик из огнеупорного материала (муфель) для изоляции ее от продуктов горения топлива в рабочей камере печи.

Камерные печи широко распространены главным образом в мелкосерийном производстве ввиду наибольшей (по сравнению с другими нагревательными устройствами) универсальности и для нагрева очень крупных заготовок (например, слитков массой до 300 т).

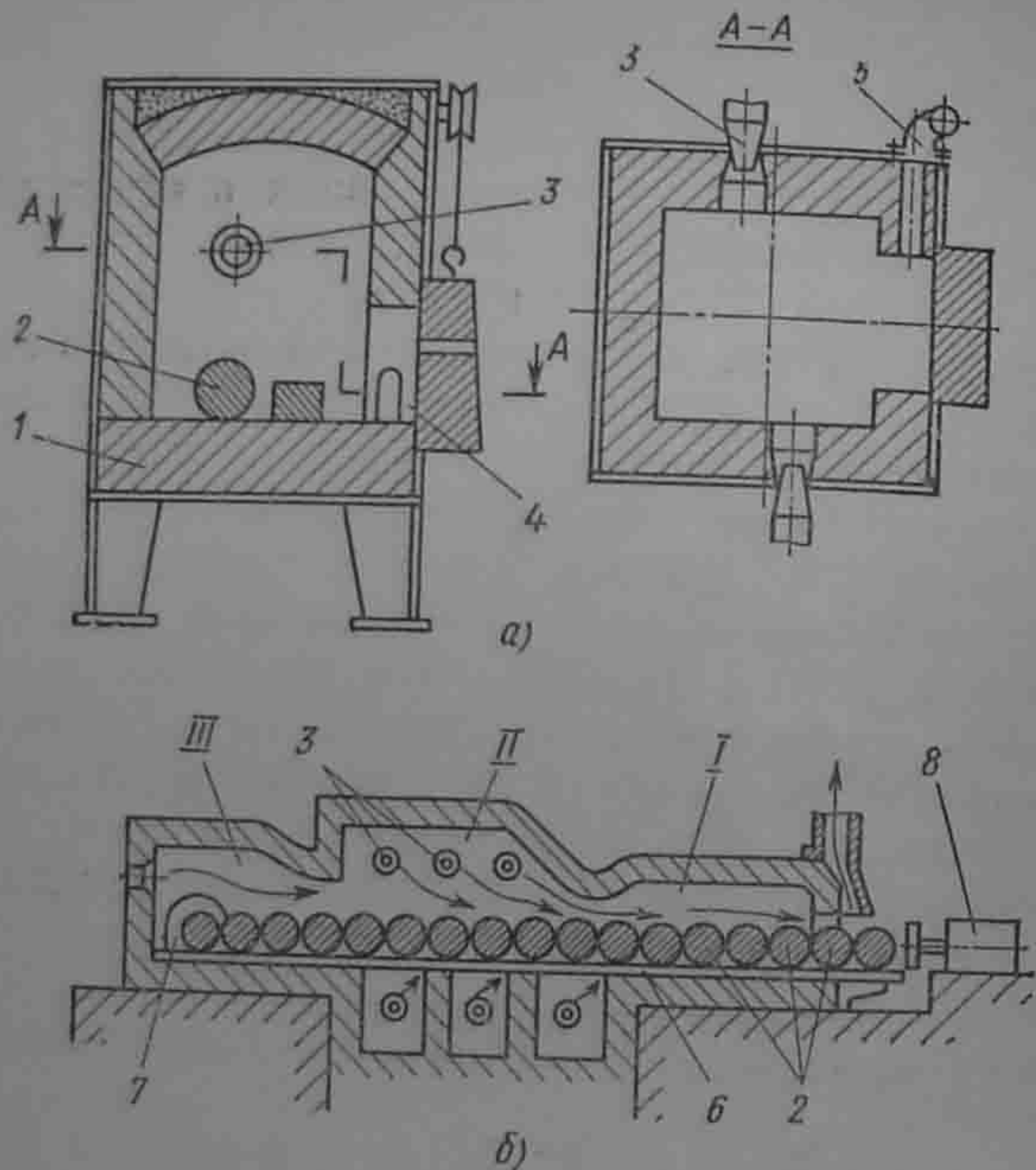


Рис. III.5. Нагревательные печи:
а — камерная; б — методическая

Методическая печь (рис. III.5, б). Рабочее пространство печи имеет вытянутую форму и разделено на две (или три) зоны с различной температурой. Заготовки 2 проталкиваются с помощью толкателя 8 и, перемещаясь по поду 6 печи, попадают сначала в первую подогревательную зону I ($600-800^{\circ}\text{C}$), затем в зону максимального нагрева II ($1250-1350^{\circ}\text{C}$), где установлены горелки 3. Зона III является зоной выдержки, в которой происходит выравнивание температуры по сечению заготовки.

Горячие газы движутся навстречу перемещающимся заготовкам, которые выдаются из печи через окно 7. Методические печи применяют в прокатном производстве и крупносерийном штамповочном.

В пламенных печах основные потери теплоты происходят с уходящими газами, имеющими высокую температуру. Чем выше

температура уходящих газов, тем больше потери теплоты и ниже к. п. д. печи (поэтому в методических печах к. п. д. выше, чем в обычных камерных, и достигает 40—60%). В регенеративных и рекуперативных печах теплоту уходящих газов используют для подогрева топлива и воздуха, поступающего в печь. Регенеративные нагревательные печи снабжают регенераторами, принцип действия и конструкция которых у пламенных нагревательных печей такие же, как и у мартеновских печей для плавки стали. В рекуператорах холодный воздух пропускается по трубам, омываемым снаружи уходящими горячими газами. Рекуператоры бывают керамические и металлические. Наиболее распространены металлические рекуператоры, имеющие меньшие габаритные размеры и лучшую герметичность; в них воздух подогревается до $200-300^{\circ}\text{C}$. Применение регенераторов и рекуператоров повышает к. п. д. пламенных печей.

Электронепечи сопротивления. Эти печи конструктивно выполняют так же, как и пламенные печи, но вместо форсунок или горелок в стенах монтируют металлические или карборундовые (силитовые) элементы сопротивления, подключающиеся к силовой

электрической сети. Сопротивления, нагреваясь, излучают теплоту, которая передается стенкам печи и заготовкам, находящимся на поду. Большим преимуществом электронепечей сопротивления является возможность точного регулирования температуры рабочего пространства. Однако используют их в основном для нагрева под обработку давлением цветных сплавов, имеющих относительно небольшую по сравнению со сталью температуру началаковки. Для стали этот нагрев является дорогостоящим; при температурах, необходимых для нагрева стали, стойкость элементов сопротивления низка.

Электронагревательные устройства разделяют на индукционные и контактные.

Индукционное электронагревательное устройство (рис. III.6, а). Заготовку 1 помещают внутрь многовиткового соленоида (индуктора) 2, выполненного из медной трубки прямоугольного сечения.

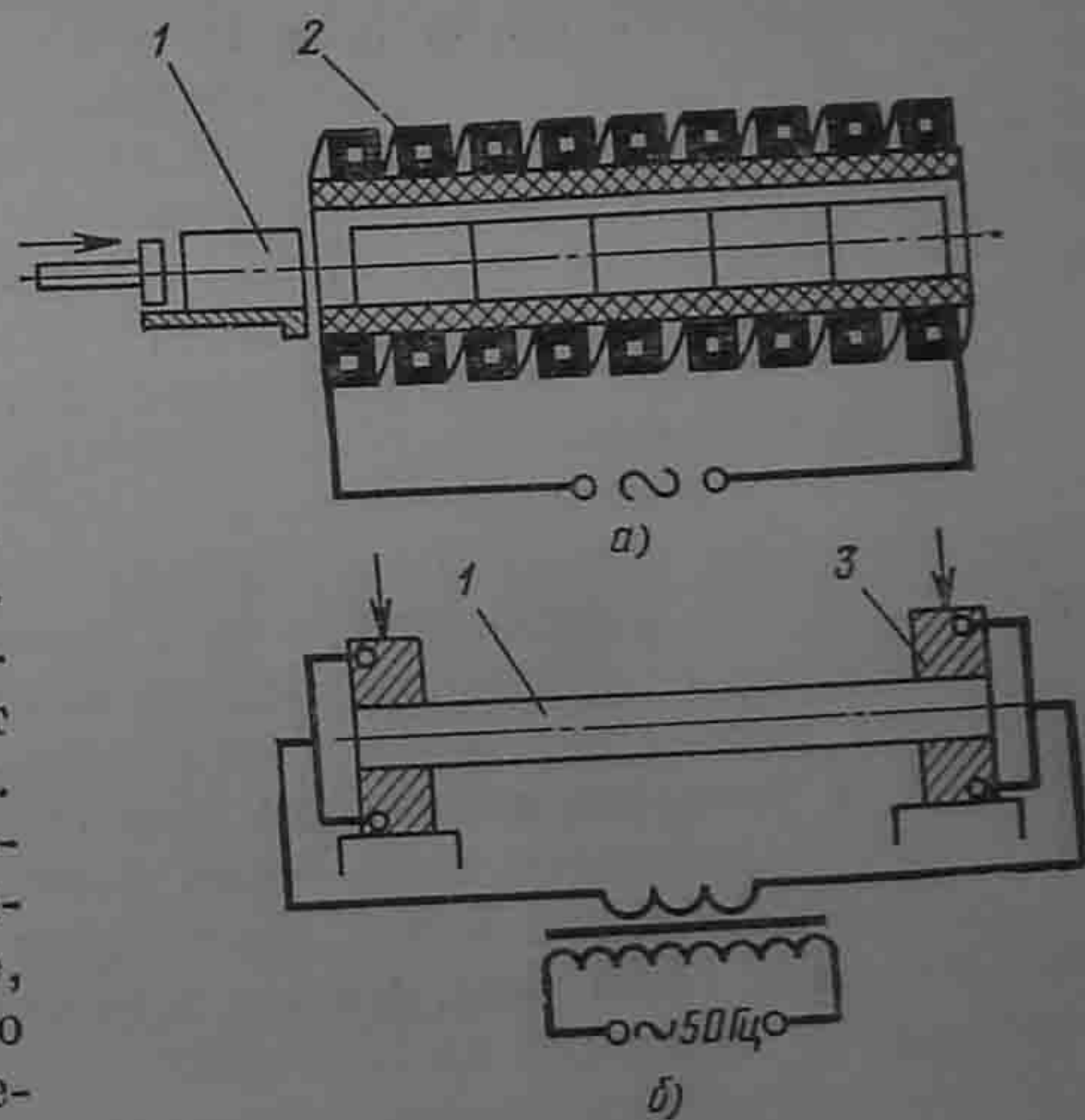


Рис. III.6. Схемы электронагревательных устройств:
а — индукционного; б — контактного

1. Общие положения

Прокатное производство имеет огромное значение в народном хозяйстве; прокатке подвергают до 90% всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов.

Прокатка — один из видов обработки металлов давлением, при котором металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. Выделяют три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую.

При *продольной прокатке* (рис. III.7, а) заготовка 2 деформируется между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков.

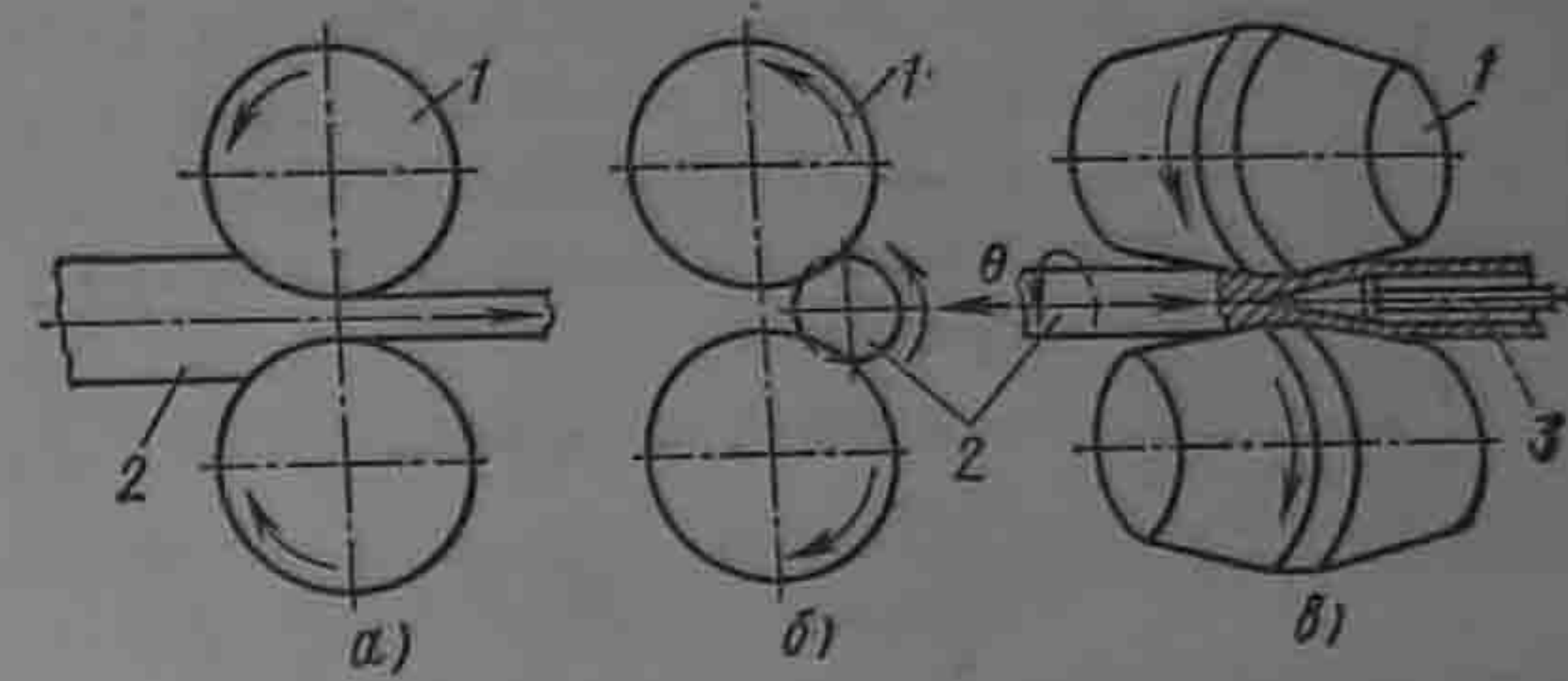


Рис. III.7. Основные виды прокатки:
1 — валки; 2 — заготовка; 3 — оправка

При *поперечной прокатке* (рис. III.7, б) валки 1, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке 2, которая, перемещаясь вдоль оси валков, деформируется.

При *поперечно-винтовой прокатке* (рис. III.7, в) валки 1 расположены под углом и сообщают заготовке 2 при деформировании вращательное и поступательное движения.

Рассмотрим подробнее схему деформирования металла при наиболее распространенной продольной прокатке. При всех схемах прокатки металл подвергается деформации только на некотором участке, который по мере вращения валков и движения заготовки вперед как бы перемещается по прокатываемому металлу. В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Площадь поперечного сечения заготовки в результате прокатки всегда уменьшается. Отношение полученной длины l к первоначальной l_0 (равное отношению первоначальной площади поперечного сечения F_0 к полученной F) называется *вытяжкой*:

$$\mu = \frac{l}{l_0} = \frac{F_0}{F}$$

По индуктору пропускается переменный ток, и в заготовке, оказывающейся в переменном электромагнитном поле, возникают вихревые токи (токи Фуко). Теплота в нагреваемом металле выделяется в основном вследствие действия вихревых токов. Толщина слоя, в котором возникают токи Фуко, уменьшается с ростом частоты тока в индукторе (скин-эффект). Поэтому для достижения равномерного по сечению нагрева заготовки с увеличением ее диаметра частота тока должна быть ниже. При нагреве заготовок диаметром до 150 мм применяют ток повышенной частоты (500—8000 Гц); при нагреве заготовок большего диаметра — ток промышленной частоты (50 Гц).

Преимущества индукционного нагрева: высокая скорость, в несколько раз превышающая скорость нагрева в печах; почти полное отсутствие окалины; возможность повышения температуры начала обработки без появления перегрева, удобство автоматизации подачи и выдачи заготовок, улучшение условий труда.

Однако индукционное нагревательное устройство обладает меньшей универсальностью, поскольку рассчитано на нагрев заготовки определенного диаметра. Силовая электроустановка стоит сравнительно дорого. Поэтому индукционный нагрев применяют лишь в цехах крупносерийного производства поковок.

Устройства электроконтактного нагрева (рис. III.6, б). В устройствах концы заготовки 1 зажимают между медными контактами 3, к которым подводится ток большой силы.

При прохождении тока через заготовку ввиду ее электрического сопротивления в ней выделяется теплота, пропорциональная квадрату силы тока. Концы заготовки, находящиеся под контактами, нагреваются на 200—300° С меньше остальной ее части. Электроконтактный нагрев рационально применять для удлиненных заготовок (длиной $l > 1,5 D^2$; l и D — в см). Диаметр заготовок не превышает 75 мм, так как при больших размерах очень сильно возрастают размеры силовых трансформаторов. Контакты из красной меди имеют низкую стойкость, выдерживая до зачистки около 1000 нагревов.

Контактный нагрев обладает теми же основными достоинствами, что и индукционный. Кроме того, электроконтактные установки дешевле индукционных и позволяют легче осуществлять переход с нагрева заготовок одного диаметра на нагрев заготовок другого диаметра.

Эта величина является одной из основных количественных характеристик деформации при прокатке и составляет обычно 1,1—1,6 за проход, но может быть и больше.

Для прокатки обязательным является наличие контактного трения между валками и деформируемым металлом. В частности, в начальной стадии прокатки должно быть выполнено так называемое *условие захвата металла валками*. Заготовка подается в валки с некоторой начальной силой (рис. III.8), которая вызывает со стороны валков нормальные реакции N и силу трения T . Спроектировав эти силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками (по отношению к одному валку, так как система симметрична):

$$N \sin \alpha < T \cos \alpha.$$

Угол α называется *углом захвата*. Выразив силу трения через $T = fN$ (f — коэффициент трения) и подставив это выражение в условие захвата, получим

$$\sin \alpha < f \cos \alpha, \text{ или } f > \operatorname{tg} \alpha.$$

Таким образом, условие захвата требует, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен 15—24°.

Отметим, что скорость выхода прокатанного металла из валков всегда больше, чем скорость входа заготовки в валки. Это необходимо учитывать при прокатке заготовки одновременно несколькими парами валков.

2. Продукция прокатного производства

Область применения прокатанного металла огромна: непосредственно в конструкциях (мостах, зданиях, железобетонных конструкциях, железнодорожных путях, станинах машин и т. д.), в качестве заготовки для изготовления деталей в механических цехах и заготовки для последующейковки и штамповки.

Форма поперечного сечения прокатанного изделия называется его *профилем*. Совокупность различных профилей разных размеров называется *сортаментом*. Сортамент прокатываемых профилей разделяют на четыре основные группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды проката.

Профили *сортового проката* (рис. III.9, а) подразделяют на две группы: простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник) и сложной — фасонной формы (швеллеры, двутавровые балки, рельсы, уголки и т. д.).

Цветные металлы и их сплавы прокатывают преимущественно на простые профили — круглый, квадратный, прямоугольный.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь, например, делят на электротехническую, судостроительную, котельную, автолист (для изготовления деталей в автомобильной и тракторной промышленности), жечь для консервной промышленности и т. д. Кроме того, листовую сталь разделяют на толстолистовую (толщиной 4—160 мм) и тонколистовую (толщиной 4—0,2 мм). Листы толщиной менее 0,2 мм называют *фольгой*. Броневые плиты имеют толщину до 550 мм. Цветные металлы и сплавы прокатывают в виде листов и лент различных размеров и толщиной 0,2—25 мм.

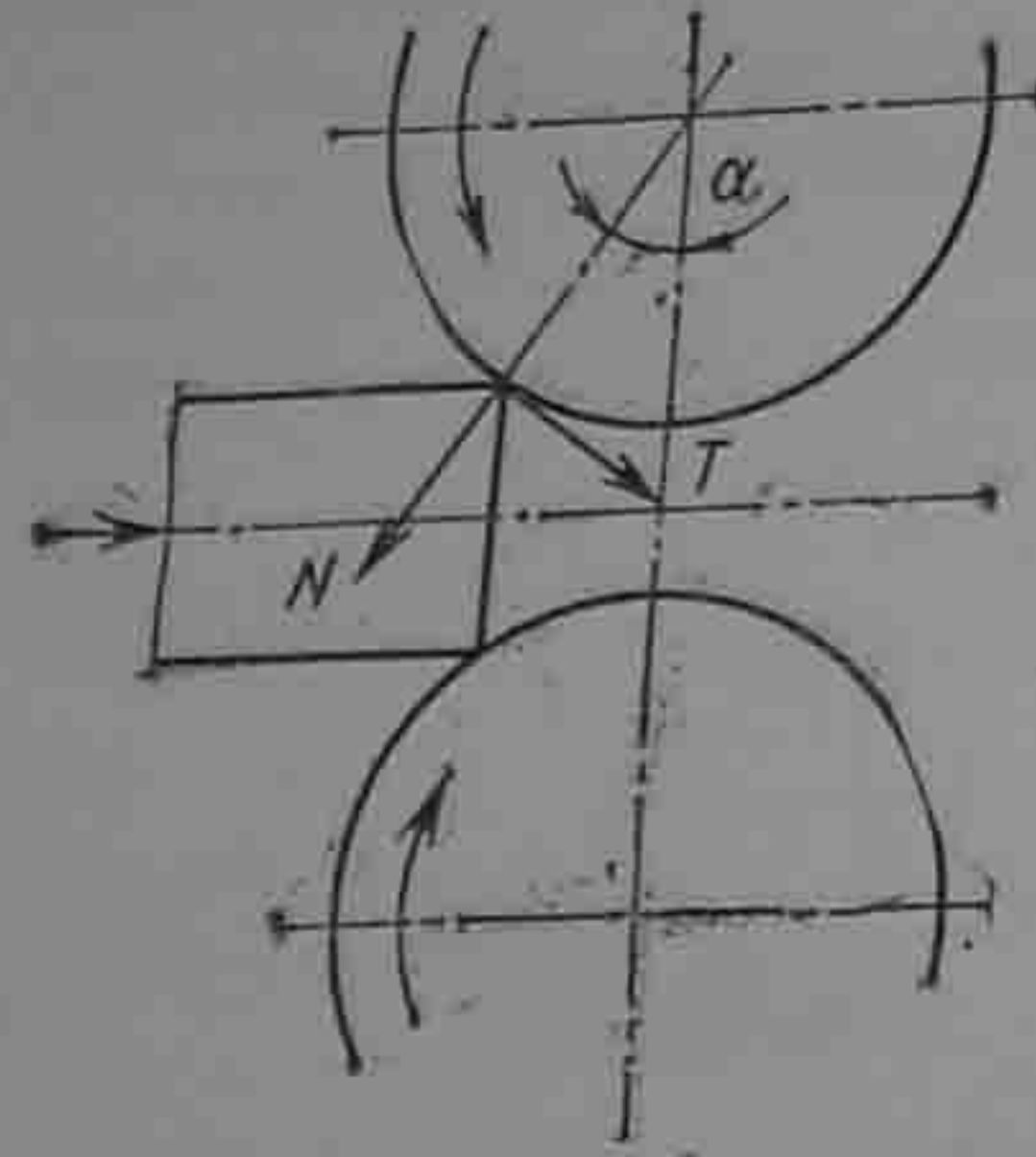


Рис. III.8. Схема действия сил в момент захвата металла валками

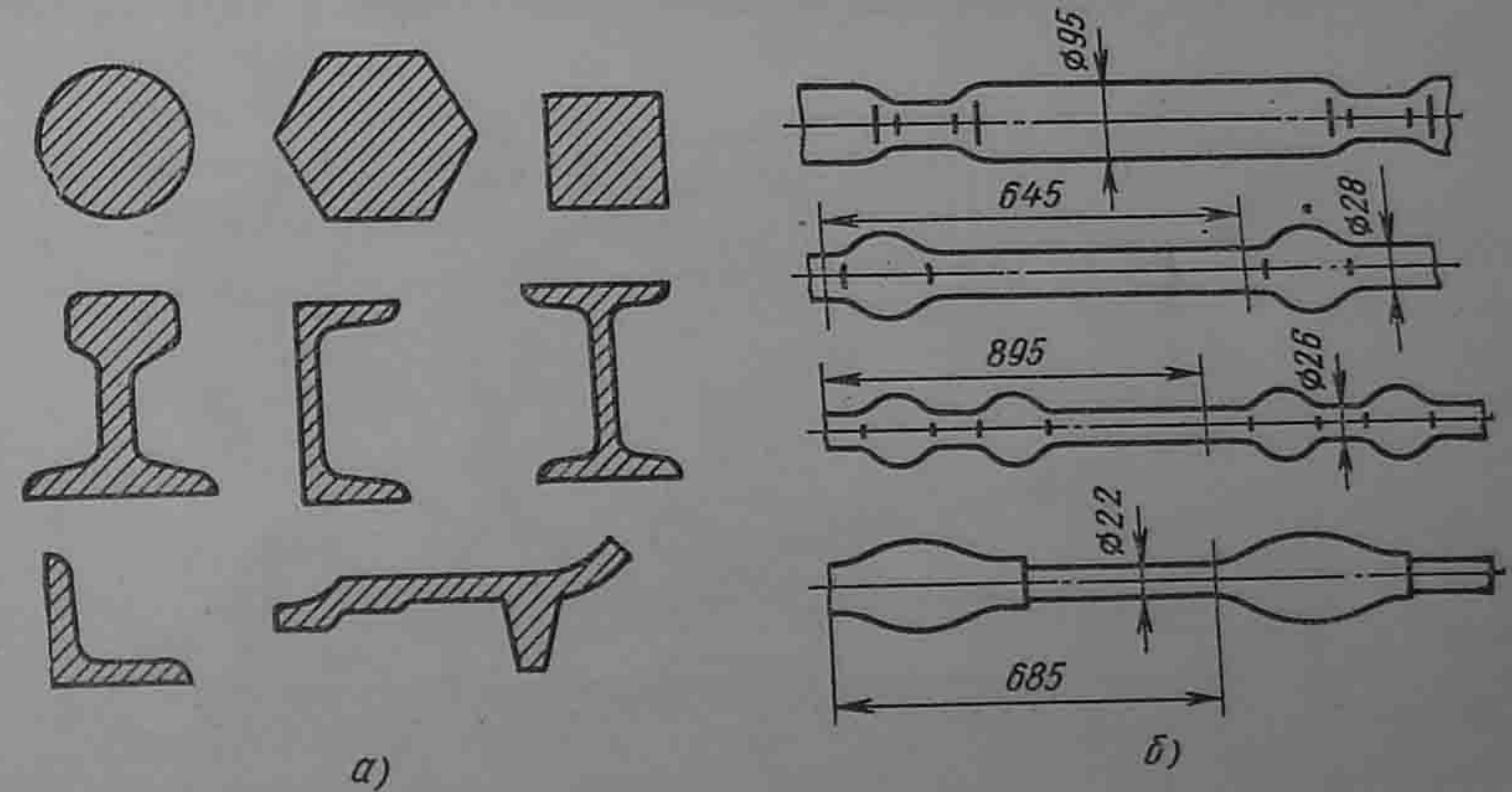


Рис. III.9. Профили сортового проката (а) и примеры периодического проката (б)

Трубы стальные разделяют в основном на бесшовные диаметром 30—650 мм и сварные диаметром 10 — 1420 мм. Кроме того, стальные трубы различают по назначению.

В качестве примера *специальных видов проката* можно указать на колеса, кольца, зубчатые колеса, периодические профили и т. п. Периодические профили представляют собой заготовку, форма и площадь (рис. III.9, б) поперечного сечения которой периодически изменяется вдоль оси.

3. Инструмент и оборудование для прокатки

Инструментом прокатки являются *валки*, которые в зависимости от прокатываемого профиля могут быть гладкими (рис. III.10, а), применяемыми для прокатки листов, лент и т. п.; ступенчатыми, например, для прокатки полосовой стали, и ручьевыми (рис. III.10, б) для получения сортового проката. Ручьем

называют вырез на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьев пары валков образует калибр. Калибры различают открытые и закрытые (рис. III.10, в). У открытых калибров линия разреза валков находится в пределах калибра, а у закрытых — вне его пределов. На каждой паре ручьевых валков обычно размещают несколько калибров.

Валки состоят из бочки 1 (рабочая часть валка), шеек 2 (цапф) и трефы 3. Шейки валков вращаются в подшипниках, устанавли-

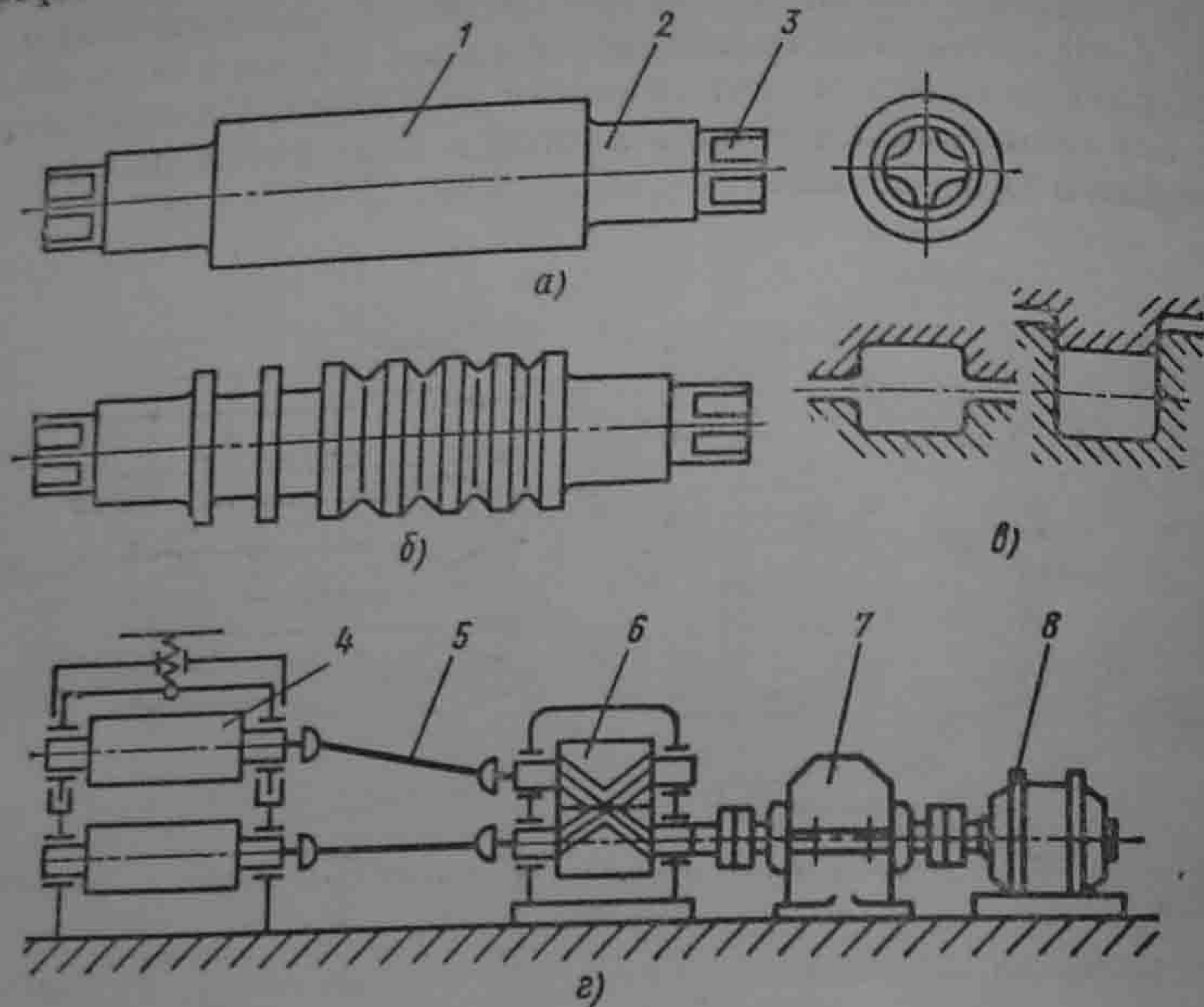


Рис. III.10. Инструмент и оборудование прокатки:

а — гладкий валок; б — ручьевого валок; в — открытый и закрытый калибры; г — схема прокатного стана

ваемых в станинах. В станине имеются нажимные механизмы для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения их осей. Комплект прокатных валков со станинами носит название *рабочей клетки* 4 (рис. III.10, г). Крутящий момент от электродвигателя 8 через понижающий редуктор 7 передается шестеренной клетки 6, от зубчатых колес которой с помощью шпинделей 5 и муфт вращение передается на валки. Вследствие наличия шестеренной клетки все валки рабочей клетки являются ведущими.

Совокупность привода, шестеренной клетки, одной или нескольких рабочих клеток образует *прокатный стан*. Прокатные станы классифицируют по трем основным признакам: по числу и расположению валков в рабочих клетях; по числу и расположению рабочих клеток; по их назначению.

По числу и расположению валков в рабочих клетях станы подразделяют на станы дуо, многовалковые и универсальные.

Стан дуо имеет два валка (рис. III.11, а), которые вращаются либо в одном направлении (нереверсивные станы), либо в разных (реверсивные станы). Последнее позволяет пропускать обрабатываемый металл в обе стороны.

Стан кварто (рис. III.11, б) имеет два рабочих и два опорных валка, расположенных один над другим. Приводными являются рабочие валки. Многовалковые станы: двенадцативалковые (рис. III.11, в) и двадцативалковые имеют также только два рабочих валка, а все остальные являются опорными. Валки приводятся через промежуточные опорные валки. Такие конструкции станков позволяют применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижается давление металла на валки.

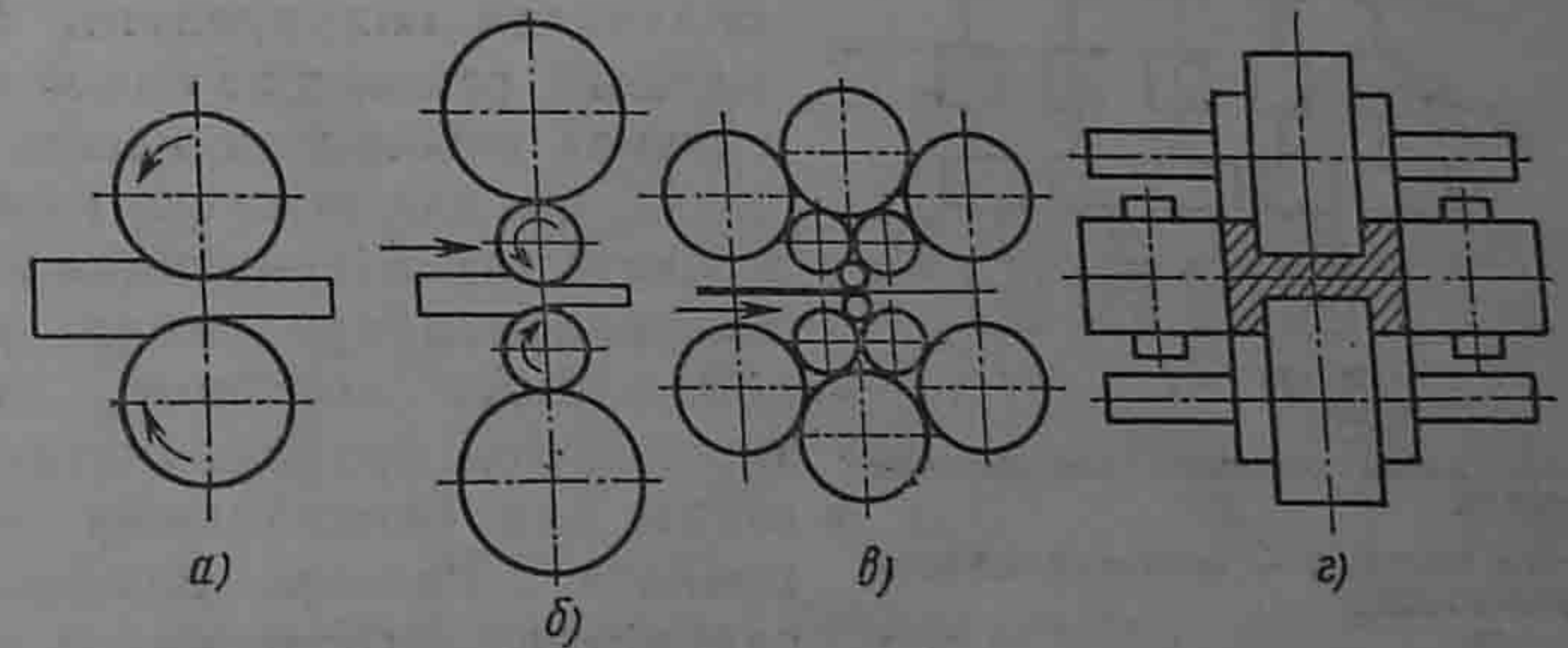


Рис. III.11. Варианты расположения валков в рабочей клет

Универсальные станы, кроме горизонтальных валков, имеют также и вертикальные, расположенные с одной или обеих сторон горизонтальных валков (рис. III.11, г).

По расположению рабочих клеток *станы* могут быть *одно-клетьевыми* и *многоклетьевыми* с линейным или последовательным расположением клеток. У *линейных станков* клетки расположены в одну или несколько линий (рис. III.12, а); в каждой линии все валки связаны между собой и вращаются с одной скоростью. Последнее является существенным недостатком этих станков, так как препятствует значительному увеличению скорости прокатки по мере увеличения длины прокатываемой полосы. Поэтому в некоторых случаях для повышения производительности станков клетки располагают в несколько линий с разной скоростью прокатки.

Производительность прокатки можно повысить последовательным расположением клеток в *непрерывных станах* (рис. III.12, б). Привод рабочих клеток непрерывных станков может быть групповым, когда несколько клеток приводятся в движение от одного двигателя, или индивидуальным, когда каждая клетка имеет свой двигатель. В обоих случаях окружная скорость каждой послед-

дующей пары валков должна быть больше скорости предыдущей на строго определенную величину. На непрерывных станах можно прокатывать полосу с натяжением, что позволяет увеличить обжатия. Внедрение непрерывности всего процесса прокатки — одно из основных направлений технического прогресса в прокатном производстве.

Прокатные станы по назначению подразделяют на станы для производства полупродукта и станы для выпуска готового проката. К первым станам относятся обжимные станы (блюминги и слябинги) для прокатки слитков в полупродукт крупного сечения для последующей прокатки на сортовой или листовой металл и заготовочные для получения полупродукта более мелкого сечения из блюмов или слитков небольшой массы.

Станы для выпуска готового проката характеризуются видом выпускаемой продукции: рельсобалочные, сортовые, листопрокатные, трубoproкатные и станы для специальных видов проката. Размер блюмингов, слябингов, заготовочных, рельсобалочных и сортовых станов обуславливается диаметром бочки валков; размер листовых станов — длиной бочки, а размер трубoproкатных станов — наружным диаметром прокатываемых труб.

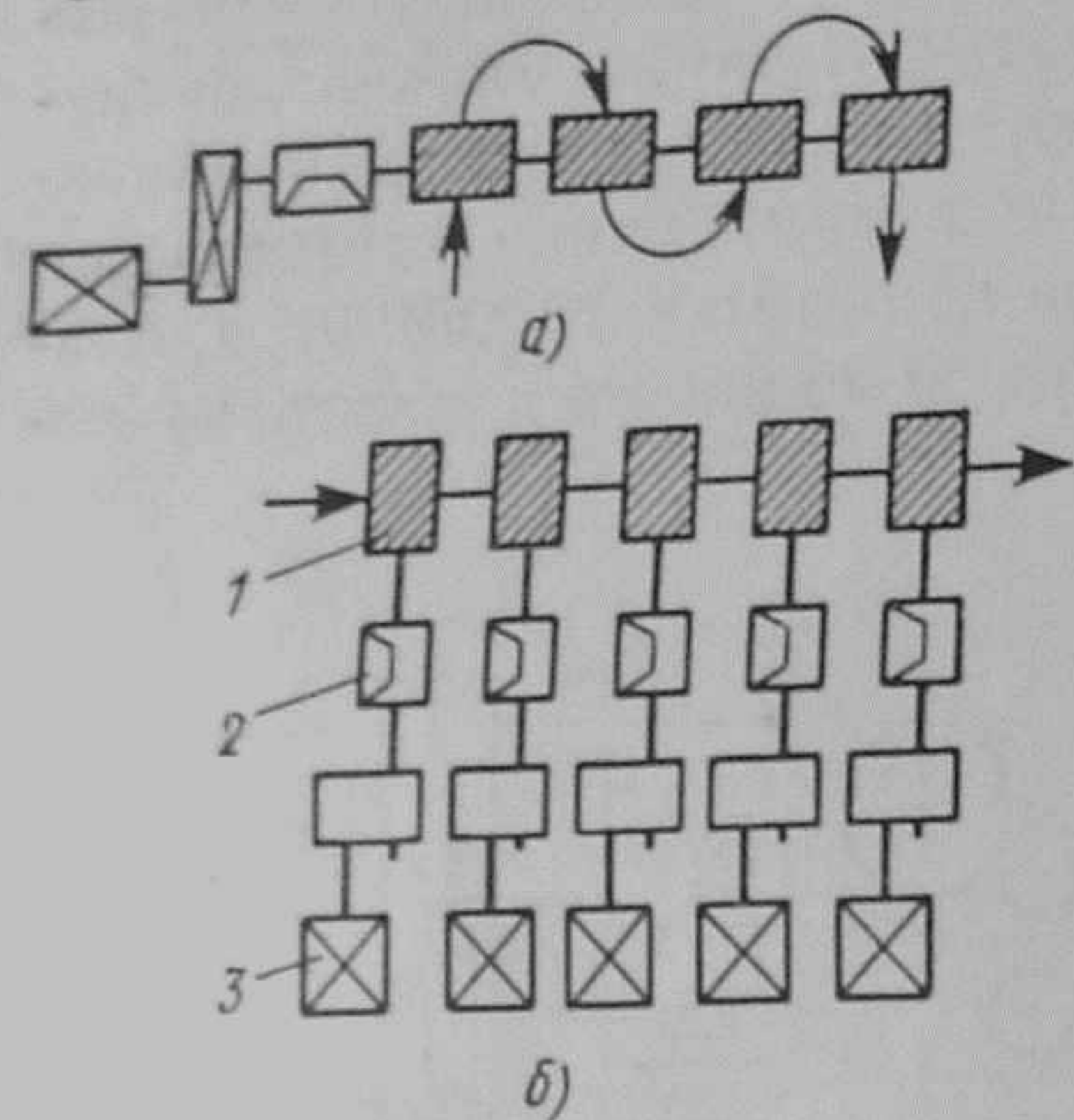


Рис. III.12. Схемы расположения рабочих клеток станов:

1 — рабочие клетки; 2 — шестеренные клетки; 3 — двигатели

4. Технология производства основных видов проката

Исходной заготовкой при прокатке являются слитки: стальные массой до 60 т, из цветных металлов и их сплавов обычно массой до 10 т. При прокатке *сортовых профилей* стальной слиток массой до 12 т в горячем состоянии прокатывается на крупных обжимных дуо-станах — блюмингах. Получающиеся после прокатки на блюмингах заготовки, чаще квадратного сечения, называются *блюмами*; они являются полуфабрикатом для дальнейшей прокатки сортовых профилей. Размеры блюмов от 450 × 450 до 150 × 150 мм. Блюмы затем прокатывают на сортовых станах, в которых заготовка последовательно проходит через ряд калибров. Разработку системы последовательных калибров, необходимых для получения того или иного профиля, называют *калибровкой*. Калибровка является сложным и ответственным процессом. Неправильная калибровка может привести не только к снижению производительности, но и к браку изделий. Чем больше

разница в размерах поперечных сечений исходной заготовки и конечного изделия и чем сложнее профиль последнего, тем большее количество калибров требуется для его получения. В зависимости от стадии процесса прокатки различают *калибры обжимные* (уменьшающие сечение заготовки), *черновые* (приближающие сечение заготовки к заданному профилю) и *чистовые* (дающие окончательный профиль). В качестве примера на рис. III.13 показана система из девяти калибров для получения рельсов. Число калибров для получения балок может быть 9—13, для получения проволоки 15—19. После прокатки прутки отрезают на необходимые длины и правят в холодном состоянии.

При прокатке *толстых листов* стальной слиток массой до 45 т в горячем состоянии прокатывают на крупном обжимном универсальном стане — слябинге или на блюминге. Получаемый полуфабрикат — *сляб* имеет приблизительно прямоугольное сечение тол-

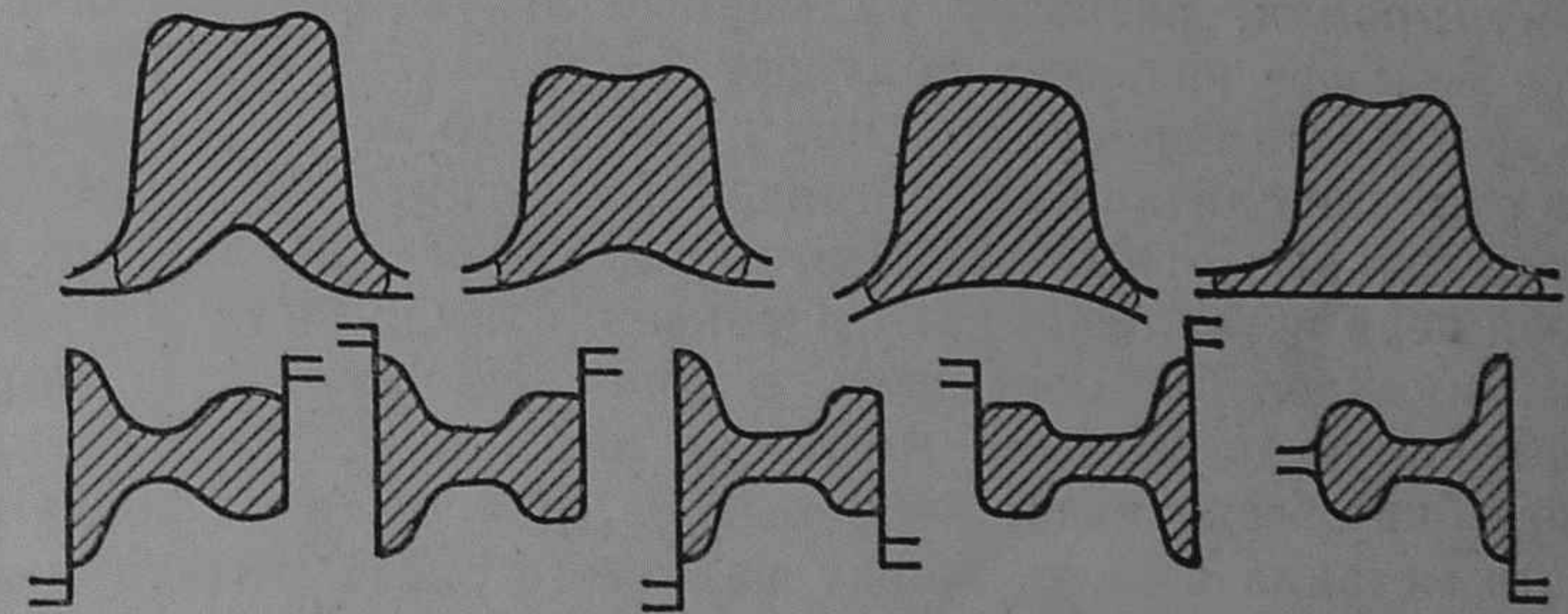


Рис. III.13. Схема калибров при прокатке рельсов

щиной 65—300 мм и шириной 600—1600 мм. Сляб прокатывают (после второго нагрева) в толстый лист большей частью на станах с двумя рабочими клетями (черновой и чистовой), расположенными друг за другом. Перед черновой клетью сбивают окалину. Чистовая клеть кварто имеет рабочие валки меньшего диаметра, чем черновая. После прокатки листы правят и обрезают на заданные размеры.

Тонкие листы прокатывают в горячем и холодном состояниях. Современными станами для горячей прокатки тонколистовой стали являются *непрерывные станы*, состоящие из двух групп рабочих клеток — черновой и чистовой. Нагретые слябы подают по рольгангу к окалиноломателю, в котором окалина дробится при деформировании в валках с небольшими обжатиями, а затем сбивается водой под давлением до 12 МН/м². В черновых клетях листы прокатывают с максимальными обжатиями до толщины 15—35 мм. Для получения точного по толщине листа важно соблюдать постоянство температуры прокатки в чистовых клетях. Поэтому после черновых клеток устанавливают воздушное охлаждающее устройство, понижающее при необходимости температуру листа. Затем лист проходит через чистовой окалиноломатель и поступает в чистовую группу клеток, где может прокатываться до минималь-

ной толщины (1,2 мм). Выходящий из чистовых клеток лист сматывается в рулоны.

Горячекатаные тонкие листы в рулонах поступают на дальнейшую холодную прокатку или передаются на отделочные операции (правку, разрезку и др.), если дальнейшей холодной прокатки не требуется.

Листы тоньше 2 мм в горячем состоянии прокатывать сложно из-за их быстрого остывания: такие листы, как правило, получают холодной прокаткой, которая обеспечивает высокое качество их поверхности и большую точность по толщине. Чаще всего холодную прокатку ведут рулонным способом. Предварительно горячекатаный лист очищают от окалины травлением в кислотах с последующей промывкой. Прокатывают на непрерывных станах кварто и на многовалковых станах; после холодной прокатки материал проходит отделочные операции: отжиг в защитных газах, обрезку кромок, разрезку на мерные листы, полирование и др.

Все большее развитие получает *бесслитковая прокатка* — получение проката непосредственно из жидкого металла, минуя операции отливки слитков и их горячей прокатки, а также целый ряд вспомогательных операций. В этом случае расплавленный в плавильной печи металл заливают в миксер, откуда он по наклонному закрытому желобу поступает в распределительную коробку, установленную перед валками прокатной клетки. Распределительная коробка обеспечивает непрерывное, равномерное поступление жидкого металла в щель между валками-кристаллизаторами, где он кристаллизуется, обжимается и выходит в виде заданного профиля. Таким способом получают, например, алюминиевую ленту толщиной 8—12 мм.

При *прокатке бесшовных труб* первой операцией является прошивка — образование отверстия в слитке или круглой заготовке. Эту операцию выполняют в горячем состоянии на прошивных станах. Наибольшее применение получили прошивные станы с двумя бочкообразными валками, оси которых расположены под небольшим углом (4—14°) друг к другу (см. рис. III.7, в). Оба валка 1 вращаются в одном и том же направлении, т. е. в данном случае используется принцип поперечно-винтовой прокатки. Благодаря такому расположению валков заготовка 2 получает одновременно вращательное и поступательное движения. При этом в металле возникают радиальные растягивающие напряжения, которые вызывают течение металла от центра в радиальном направлении и облегчают прошивку отверстия оправкой 3, устанавливаемой на пути движения заготовки. Во входном конусе прошивают заготовку, а в выходном конусе раскатывают металл между оправкой и валками и формируют окончательный размер гильзы.

Последующую прокатку гильзы в трубу требуемых диаметра и толщины стенки производят на *раскатных станах* различной конструкции.

Рассмотрим два наиболее распространенных способа раскатки труб: на автоматических и пилигримовых (периодических) станах. На *автоматическом стане* прошивную гильзу раскатывают между двумя валками 1 с последовательно расположенными круглыми калибрами и оправкой 2 (рис. III.14, а). Оправку 2 закрепляют на длинном стержне таким образом, что зазор между оправкой и калибром валка определяет толщину стенки трубы. Для получения равномерной деформации стенки прокатку ведут с поворотом трубы на 90° после каждого прохода.

На *пилигримовом стане* два валка 1 имеют круглый калибр переменного сечения (рис. III.14, б). Гильза на оправке 2 подается в валки навстречу их вращению. В процессе прокатки непрерывно чередуются прямой и обратный ходы с поворотом гильзы вокруг своей оси. При прямом ходе происходит подача гильзы в момент

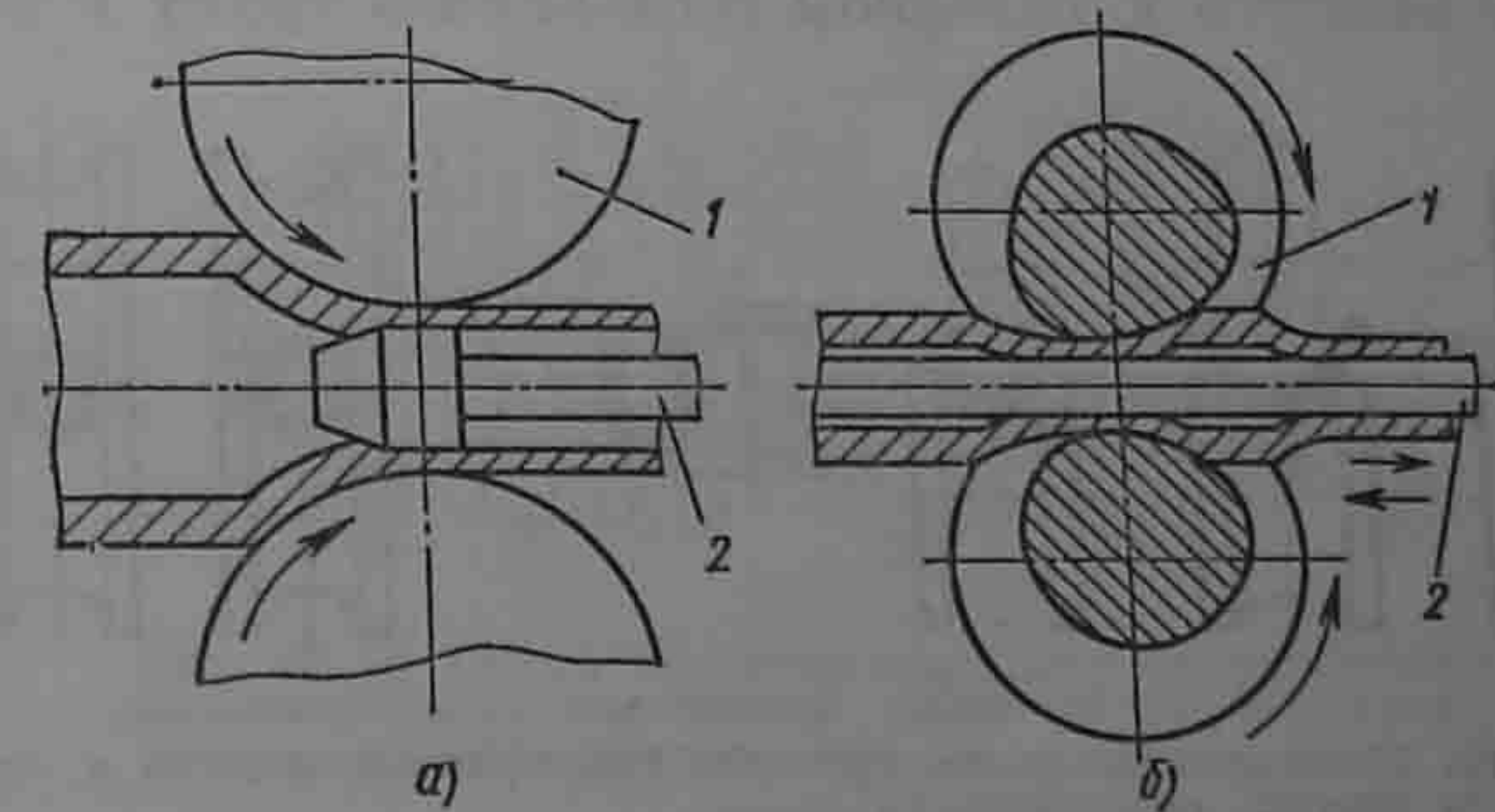


Рис. III.14. Схемы прокатки труб на автоматическом (а) и пилигримовом (б) станах

наибольшего зазора между валками; процесс обжатия трубы — на обратном ходе. Вытяжка при раскатке на пилигримовых станах составляет 10—14, в то время, как на автоматических станах вытяжка не превышает 4,5. После раскатки трубы окончательно отделывают: правят, отрезают концы, термически обрабатывают и т. д.

Трубы с высокими качеством поверхности и точностью размеров получают на станах холодной прокатки труб (ХПТ), которые по схеме деформирования сходны с пилигримовыми. На этих станах труба помещается на конической оправке, а рабочая клетка с двумя сегментными валками переменного радиуса совершает возвратно-поступательное движение.

Сварные трубы получают из плоской заготовки — ленты (называемой штрипсом) или из листов, ширина которых соответствует длине окружности трубы. Трубу изготовляют по следующей технологии: формовка плоской заготовки в трубу, сварка трубы, отделка и правка. Для сварки труб применяют в основном следующие способы: печную сварку, электросварку сопротивлением и электродуговую под слоем флюса. При производстве труб печ-

ной сваркой ленту, размотанную с рулона, правят, нагревают в узкой длинной (до 40 м) газовой печи до температуры 1300—1350° С и формируют в трубу в непрерывном прокатном стане. Стан состоит из 6—12 рабочих клеток, в которых валки имеют круглые калибры. При прокатке в калибрах прижимаемые одна к другой кромки, дополнительно нагретые до высокой температуры обдувкой, кислородом свариваются. Выходящую из стана трубу разрезают специальной пилой на куски требуемой длины и далее калибруют на калибровочном стане. Этим способом изготовляют трубы самой низкой стоимости из низкоуглеродистой стали (Ст2кп) диаметром 10—114 мм.

Электросваркой можно получать трубы большого диаметра (до 2500 мм), с тонкой стенкой (до 0,5 мм) из легированных сталей.

При производстве труб сваркой сопротивлением ленты или полосы свертываются в холодном состоянии в трубу в формовоч-

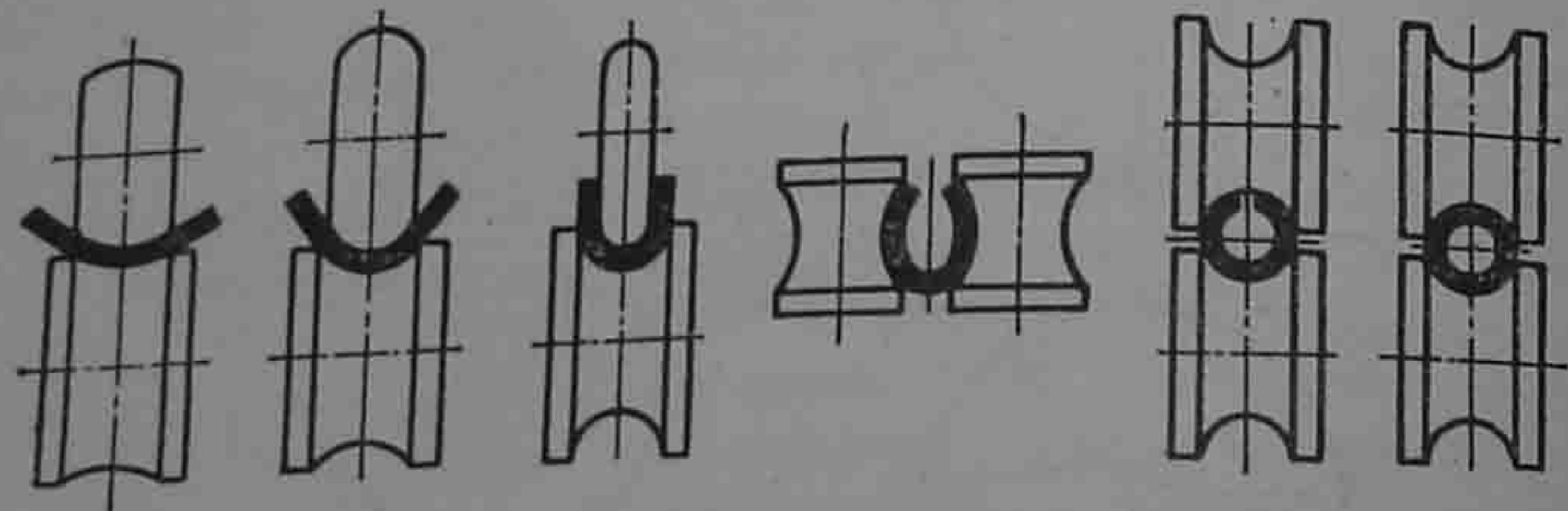


Рис. III.15. Последовательность процесса свертывания полосы в трубу в шести клетях непрерывного стана

ных непрерывных станах дуо с числом клеток 5—12 (рис. III.15). При выходе из последней клетки стана трубная заготовка поступает в электросварочный агрегат, где кромки трубы вертикальными валками прижимаются друг к другу и свариваются роликовыми электродами. После сварки трубы проходят правку, калибровку и другие отделочные операции.

Электродуговой сваркой под слоем флюса изготовляют трубы с прямыми и спиральными швами. В первом случае подготовленный лист формируют на листогибочных валковых станах или на прессах, затем сваривают, причем швы накладывают снаружи и внутри трубы. При получении труб со спиральным швом лента, разматываемая с рулона, сворачивается по спирали в трубу, а затем сваривается по кромкам.

Процессы получения специальных видов проката отличаются большим разнообразием. Причем некоторые из них осуществляют на металлургических предприятиях, а другие — на машиностроительных. Особенно большое значение имеет прокатка периодических профилей, которые применяют как фасонную заготовку для последующей штамповки и как заготовку под окончательную механическую обработку. Периодические профили в основном изготовляют поперечной и поперечно-винтовой прокаткой. На

рис. III.16, а показана схема стана поперечной прокатки. Шуп 4 скользит по копирующей линейке 3, жестко связанной с ка-

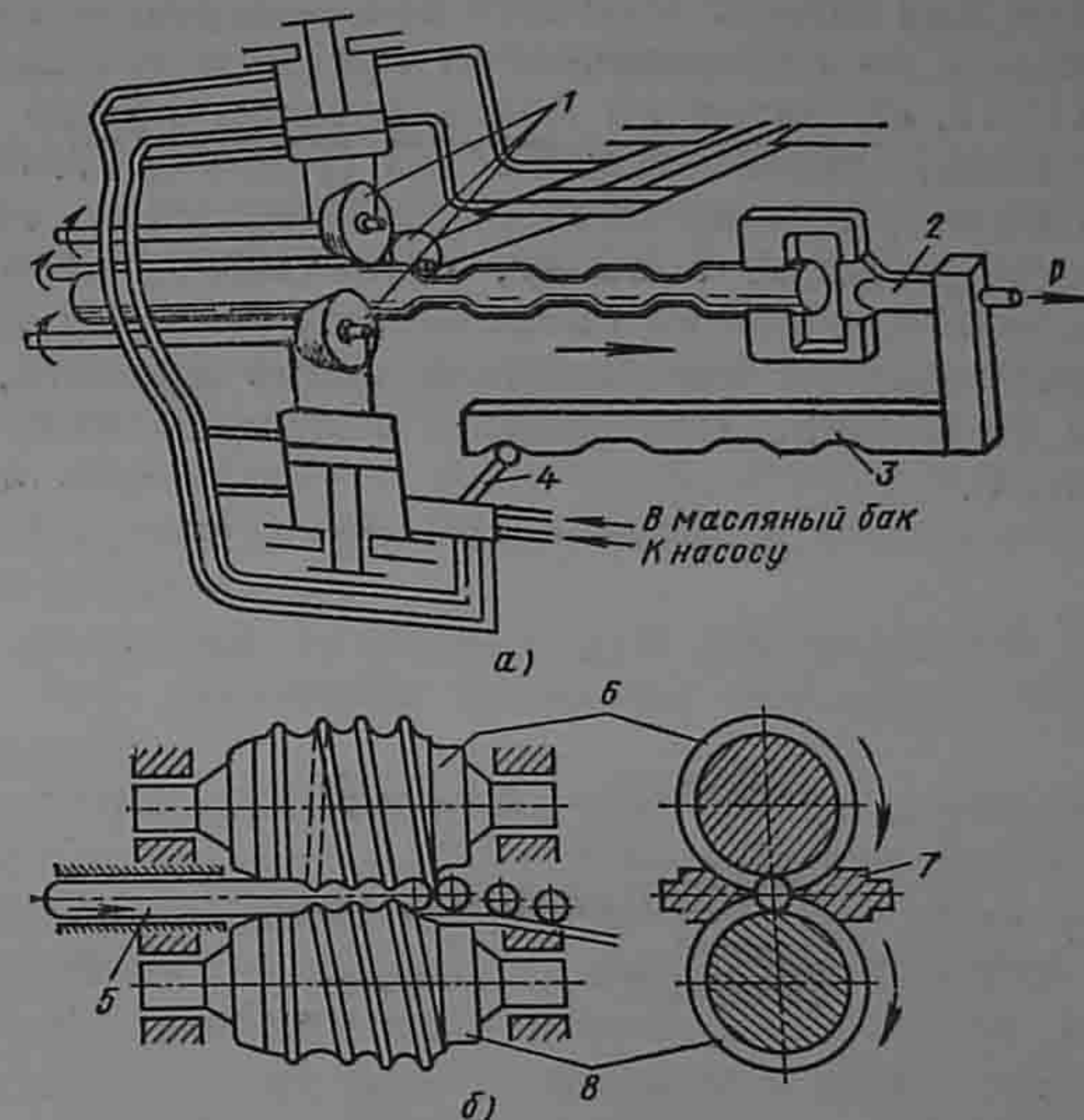


Рис. III.16. Схемы прокатки периодических профилей в трехвалковом стане поперечной прокатки (а) и в стане поперечно-винтовой прокатки (б)

реткой 2 натяжного устройства. В зависимости от профиля копирующей линейки 3 рабочие валки 1 по мере ее движения сближаются или расходятся, изменяя соответственно диаметр прокатываемого профиля.

На рис. III.16, б дана схема стана поперечно-винтовой прокатки. Здесь валки 6 и 8 вращаются в одну и ту же сторону. Ручьи валков соответствующей формы сделаны по винтовой линии. Заготовка 5 при прокатке получает вращательное и поступательное движения; от вылета из валков она предохраняется центрирующими упорами 7. Такие станы получили распространение для прокатки заготовок шаров и сферических роликов подшипников качения.

Большую группу специальных видов проката составляют заготовки деталей типа колес, бандажей и колец различной формы

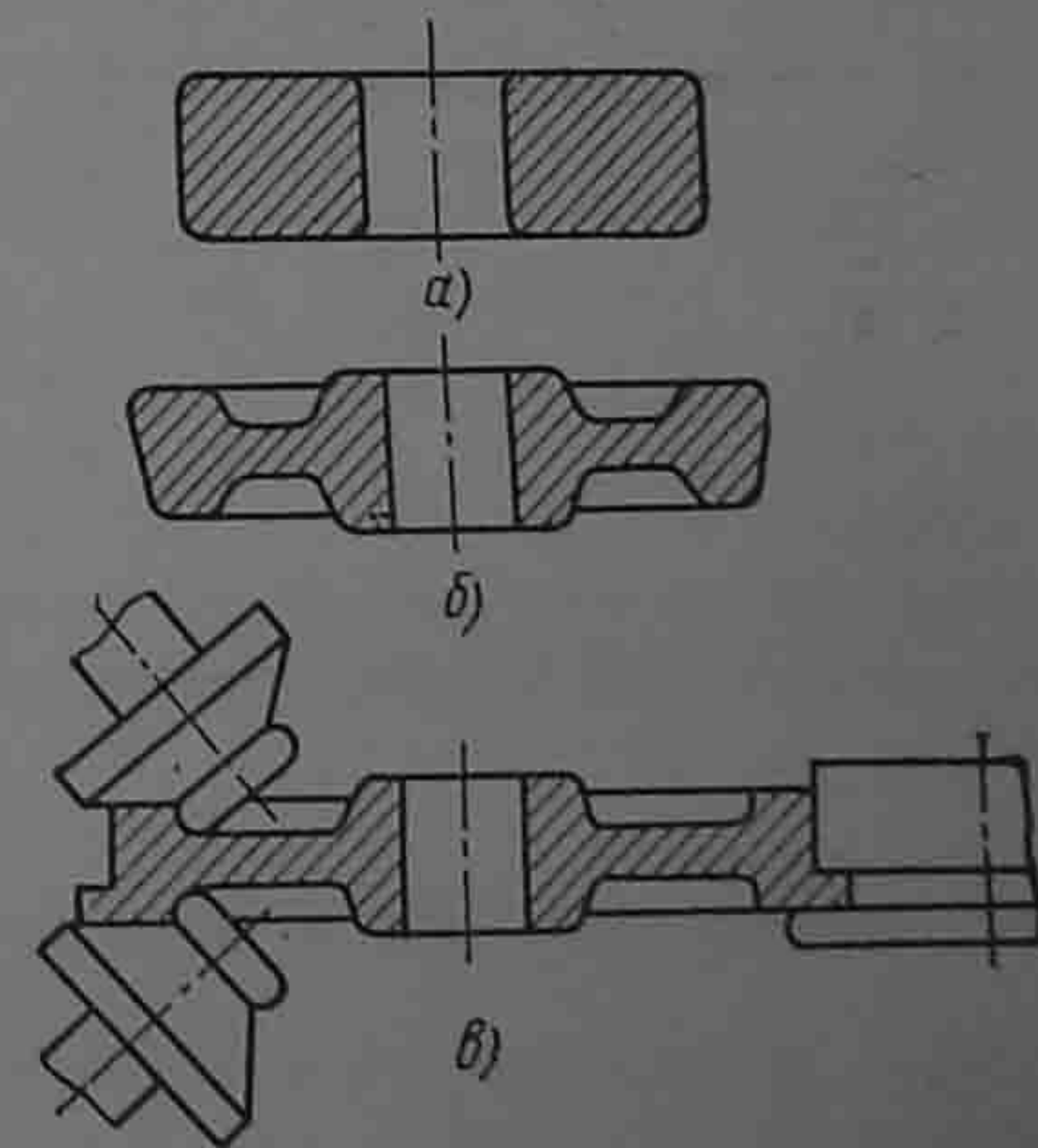


Рис. III.17. Последовательность изготовления железнодорожного колеса

и размеров. Рассмотрим, например, изготовление цельнокатаных железнодорожных колес (рис. III.17). Исходной заготовкой являются слитки или прокат круглого сечения. После нагрева заготовку осаживают на гидравлическом прессе и прошивают отверстие (рис. III.17, а); затем на более мощном прессе формируют в штампе ступицу, диск и контур обода (рис. III.17, б). Полученная заготовка поступает на колесопрокатный стан, где раскатывают диск, прилегающий к ободу, раскатывают обод и окончательно оформляют гребень на ободу колеса (рис. III.17, в).

Производство других специальных видов проката, осуществляемых чаще на машиностроительных предприятиях, будет рассмотрено в гл. 5.

Глава 4. КОВКА

1. Общие положения

Ковка — вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента. Нагретую заготовку 1 (рис. III.1, з) укладывают на нижний боек и универсальным инструментом — верхним бойком 2 последовательно деформируют на отдельных участках заготовки. Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные (вырезные) бойки, а также различный подкладной инструмент.

Ковкой получают заготовки для последующей механической обработки. Эти заготовки называют *коваными поковками*, или просто *поковками*.

Ковка является единственно возможным способом изготовления тяжелых поковок (до 250 т и более) типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станов и т. д. Поковки меньшей массы (десятки и сотни килограммов) можно изготавливать и ковкой, и штамповкой. Хотя штамповка имеет ряд преимуществ перед ковкой, в единичном и мелкосерийном производстве ковка обычно экономически более целесообразна. Объясняется это тем, что при ковке используют универсальный (годный для изготовления различных поковок) инструмент, а изготовление специального инструмента (штампа) при небольшой партии одинаковых поковок экономически невыгодно. Исходными заготовками дляковки тяжелых, крупных поковок являются слитки массой до 320 т. Слитки дляковки имеют различную форму: удлиненные, малоприбыльные, полые; многогранного, круглого или квадратного поперечного сечений. Поковки средней и малой массы изготавливают преимущественно из проката в виде блюмов и сортового: квадратного, круглого или прямоугольного сечений. Ковку подразделяют на *ручную* и *машинную*. Ручной ковкой получают мелкие поковки в единичном производстве и при ремонтных работах с помощью наковальни и кувалды. Ниже рассмотрена машинная ковка на молотах и гидравлических прессах.

2. Основные операцииковки и применяемый инструмент

Процессковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. К основным операциямковки относятся: *осадка, протяжка, прошивка, отрубка, гибка, скручивание*.

Каждая основная кузнечная операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом.

Осадка — операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения (рис. III.18, а). Осадку применяют:

— для получения поковок с большими поперечными размерами при относительно малой высоте (зубчатые колеса, диски и т. п.);

— как предварительную операцию перед прошивкой при изготовлении пустотелых поковок (колец, барабанов);

— как предварительную операцию для уничтожения литой дендритной структуры слитка и улучшения механических свойств изделия.

Деформация при осадке может быть выражена величиной уковки

$$y = \frac{F_1}{F_2},$$

где F_1 — большая площадь поперечного сечения; F_2 — меньшая площадь поперечного сечения.

Очевидно, чем больше уковка, тем лучше прокован металл, тем выше его механические свойства.

Осадкой не рекомендуется деформировать заготовки, у которых отношение высоты $h_{заг}$ к диаметру $d_{заг}$ больше 2,5, так как в этом случае может произойти продольное искривление заготовки. Осаживают заготовки между бойками или подкладными плитами.

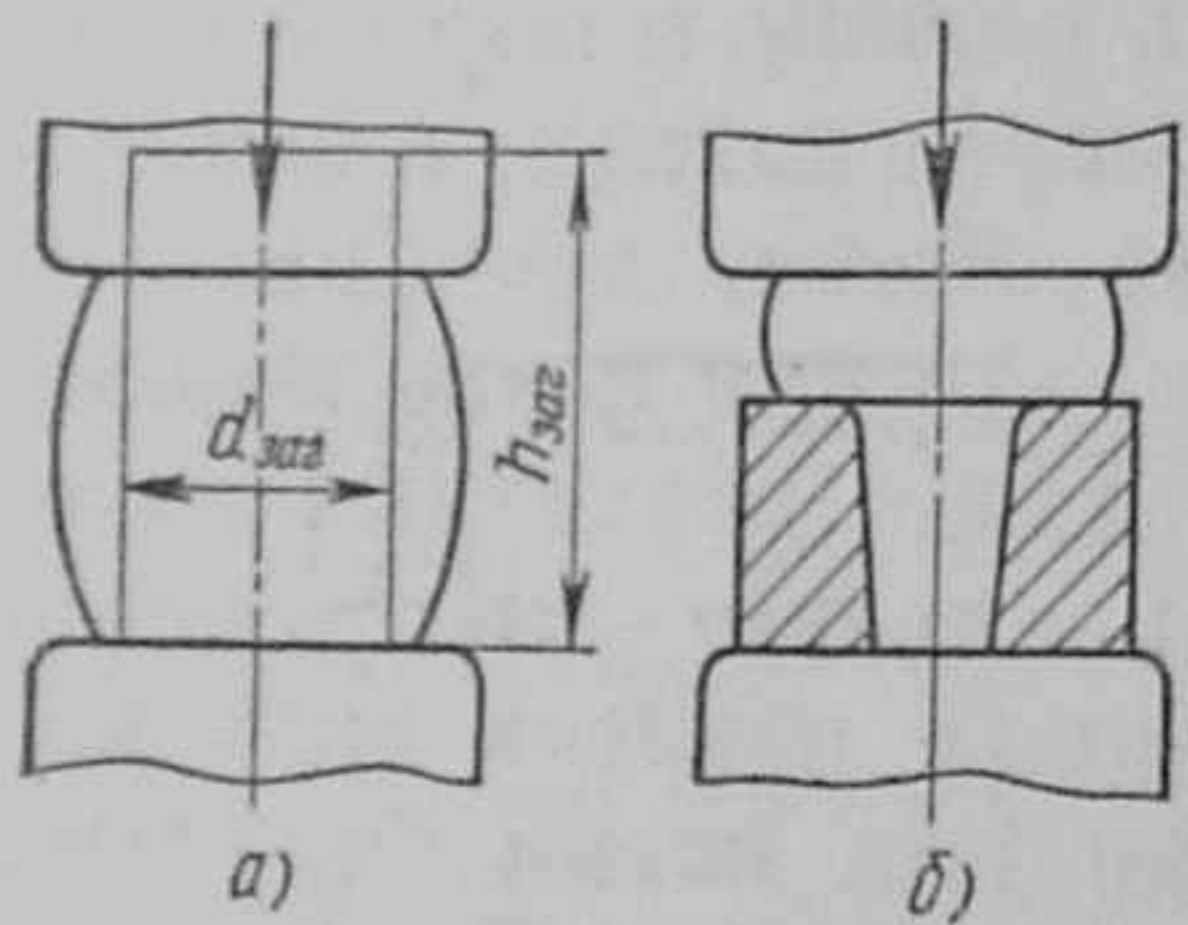


Рис. III.18. Схемы осадки (а) и высадки (б)

Разновидностью осадки является *высадка* (рис. III.18, б), при которой металл осаживается лишь на части длины заготовки.

Протяжка — операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения (рис.

III.19, а). Протяжку производят последовательными ударами или нажатиями на отдельные участки заготовки, примыкающие один к другому, с подачей заготовки вдоль оси протяжки и поворотах ее на 90° вокруг этой оси. При каждом нажатии уменьшается высота сечения, увеличиваются ширина и длина заготовки. Общее увеличение длины равно сумме приращений длин за каждое нажатие, а уширение по всей длине одинаково. Если заготовку повернуть на 90° вокруг горизонтальной оси и повторить протяжку, то уширение, полученное в предыдущем проходе, устраняется, а длина заготовки снова увеличивается. Чем меньше подача при каждом нажатии, тем интенсивнее удлинение. Однако при слишком малой подаче могут получиться зажимы (рис. III.19, б).

Протягивать можно плоскими (рис. III.19, а) и вырезными (рис. III.19, в) бойками. При протяжке на плоских бойках в центре изделия могут возникнуть (особенно при протяжке круглого сечения) значительные растягивающие напряжения, которые при-

водят к образованию осевых трещин. При протяжке с круга на круг в вырезных бойках силы, направленные с четырех сторон к осевой линии заготовки, способствуют более равномерному течению металла и устранению возможности образования осевых трещин.

Величина деформации при протяжке, как и при осадке, может быть выражена уковкой. Протяжкой получают поковки с удлинен-

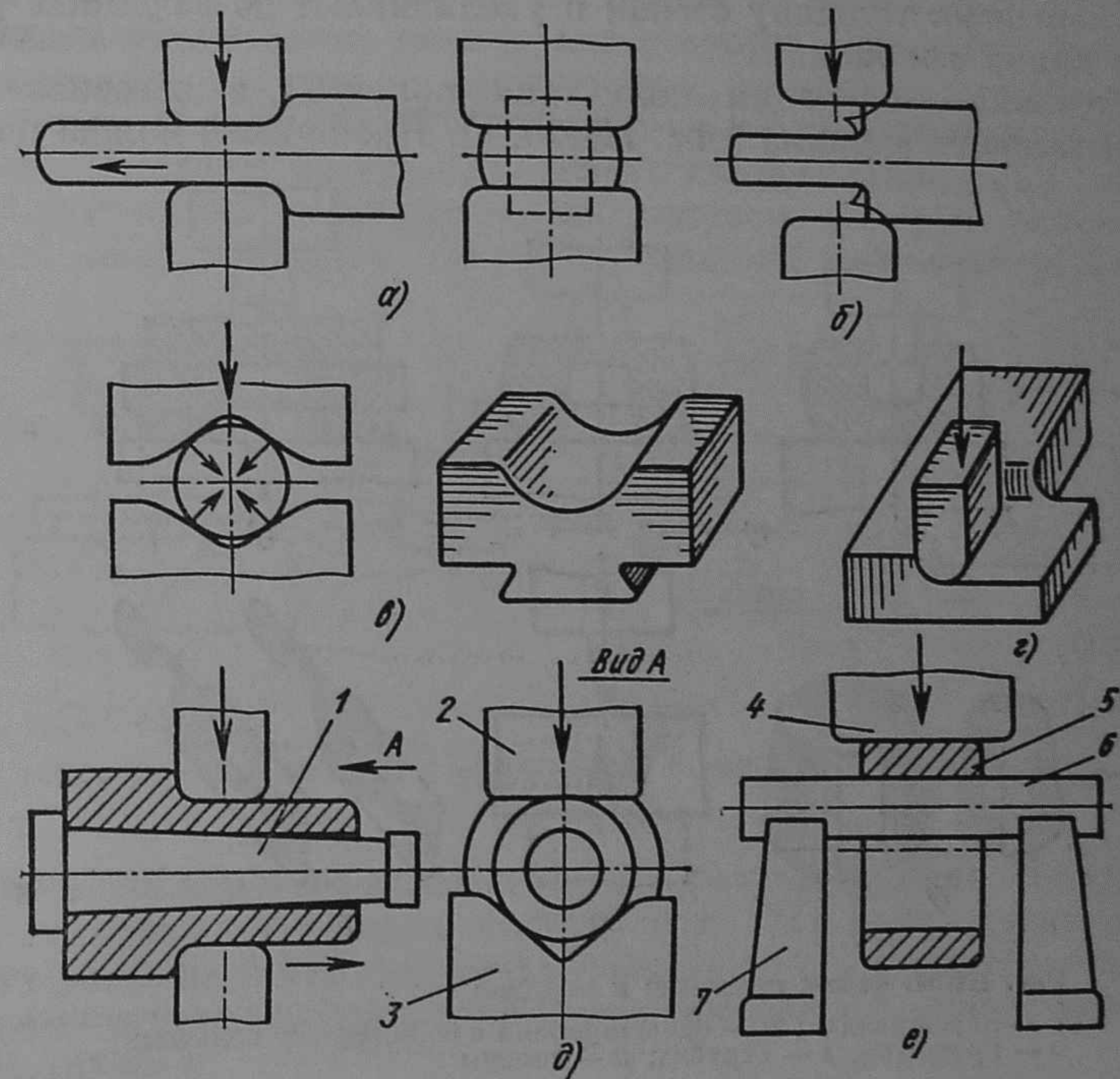


Рис. III.19. Схема протяжки и ее разновидностей

ной осью (валы, рычаги, тяги и т. п.). Ниже приведены основные разновидности операции протяжки.

Разгонка — операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рис. III.19, в).

Протяжка с оправкой — операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. III.19, д). Протяжку выполняют в вырезных бойках (или нижнем вырезном 3 и верхнем плоском 2) на слегка конической оправке 1. Протягивают в одном направлении — к расширяющемуся концу оправки, что облегчает ее удаление из поковки.

Раскатка на оправке — операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (рис. 19, е). Заготовка 5 опирается внутренней поверхностью на цилиндрическую оправку 6,

покупателя. Металл деформируется за счет энергии, накопленной в упругих (падающих) частях молота к моменту их соударения с заготовкой. Поэтому при выборе молотов руководствуются массой их падающих частей. Энергия, накопленная падающими частями, не вся расходуется на деформирование заготовки. Часть ее тратится на упругие деформации инструмента и колебания шабота — детали молота, на которую устанавливается нижний боек. Чем больше масса шабота, тем больше к. п. д. Практически масса шабота бывает в 15 раз больше массы падающих частей, что обеспечивает к. п. д. удара $\eta_{уд} = 0,8 - 0,9$.

Основными типами молотов дляковки являются приводные — пневматические и паровоздушные.

Пневматический молот. Наиболее распространенная конструкция такого молота дана на рис. III.22. В литой станине 10 расположены два цилиндра — компрессорный 9 и рабочий 5, полости которых сообщаются через золотники 7 и 6.

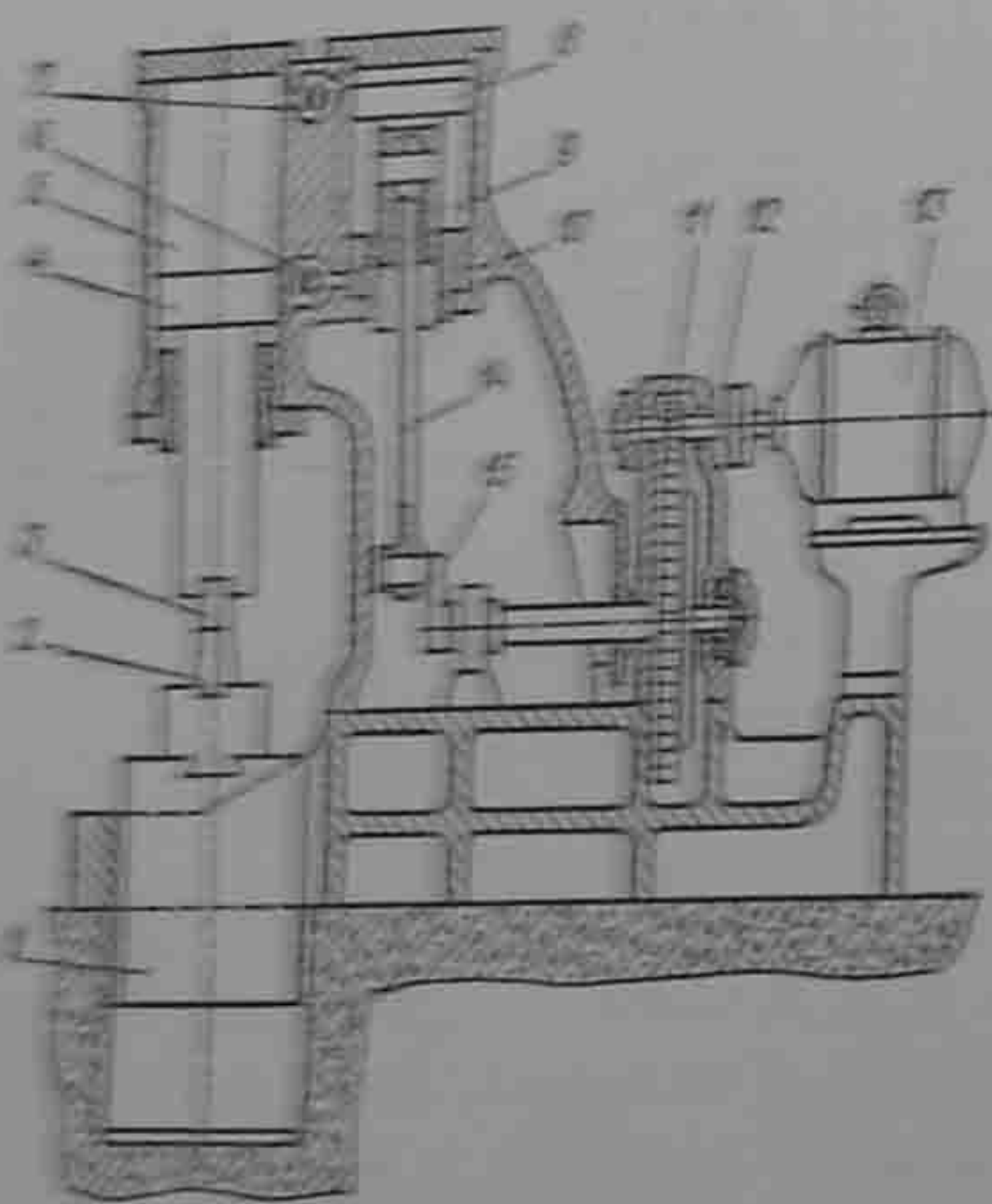


Рис. III.22. Схема пневматического молота

Поршень 4 рабочего цилиндра. Поршень 4, выполненный за одно целое с массивным штоком, является одновременно бабой молота, в которой крепят верхний боек 3. В результате падающие части 3 и 4 периодически перемещаются вниз — вверх и наносят удары по заготовке, уложенной на нижний боек 2, который неподвижно закреплен на массивном шаботе 1. В зависимости от положения органов управления молот может наносить единичные и автоматические удары регулируемой энергией, работать на холостом ходу (бабы свободно лежат на нижнем бойке), осуществлять силовой прижим поковки к нижнему бойку (например, для операций гибки и скручивания) и дергать бабу на весу.

Пневматические молоты применяют дляковки мелких поволоков (примерно до 20 кг) и изготавливают с массой падающих частей 50—1000 кг.

Поршень 8 компрессорного цилиндра перемещается штоком 14 от кривошипа 15, вращаемого электродвигателем 13 через шестерни 11 и 12 (редуктор). При перемещении поршня в компрессорном цилиндре воздух поочередно сжимается в верхней и нижней его полостях. Воздух, сжатый до 0,2—0,3 МН/м², при нажатии на педаль или рукоятку, открывающую золотники 7 или 6, поступает через них в рабочий цилиндр 5. Здесь он воздействует на поршень 4 рабочего цилиндра.

Поршень 4, выполненный за одно целое с массивным штоком, является одновременно бабой молота, в которой крепят верхний боек 3. В результате падающие части 3 и 4 периодически перемещаются вниз — вверх и наносят удары по заготовке, уложенной на нижний боек 2, который неподвижно закреплен на массивном шаботе 1. В зависимости от положения органов управления молот может наносить единичные и автоматические удары регулируемой энергией, работать на холостом ходу (бабы свободно лежат на нижнем бойке), осуществлять силовой прижим поковки к нижнему бойку (например, для операций гибки и скручивания) и дергать бабу на весу.

Пневматические молоты применяют дляковки мелких поволоков (примерно до 20 кг) и изготавливают с массой падающих частей 50—1000 кг.

Паровоздушные молоты. Такие молоты приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 0,7—0,9 МН/м². В зависимости от конструкции станины паровоздушные ковочные молоты бывают арочные, мостовые и одно-стоечные. На рис. III.23 изображена схема арочного молота. На станине 4 молота смонтирован рабочий цилиндр 1 с парораспределительным устройством 11. При нажатии педали или рукоятки управления сжатый пар или воздух по каналу 12 поступает в верхнюю полость цилиндра 1 и давит на поршень 2, соединенный штоком 3 с бабой 5, к которой крепят верхний боек 6. В результате падающие части 2, 3, 5 и 6 перемещаются вниз и наносят удар по заготовке, уложенной на нижний боек 7, неподвижно закрепленный на массивном шаботе 8. При подаче сжатого пара по каналу 10 в нижнюю полость цилиндра 1 падающие части поднимаются в верхнее положение. Перемещения бабы 5 происходят в направляющих 9. В ковочных молотах станина 4 и шабот 8 закреплены на фундаменте по отдельности, так как для того, чтобы манипулировать с заготовками и кузнечным инструментом, необходимо иметь доступ к бойкам со всех сторон.

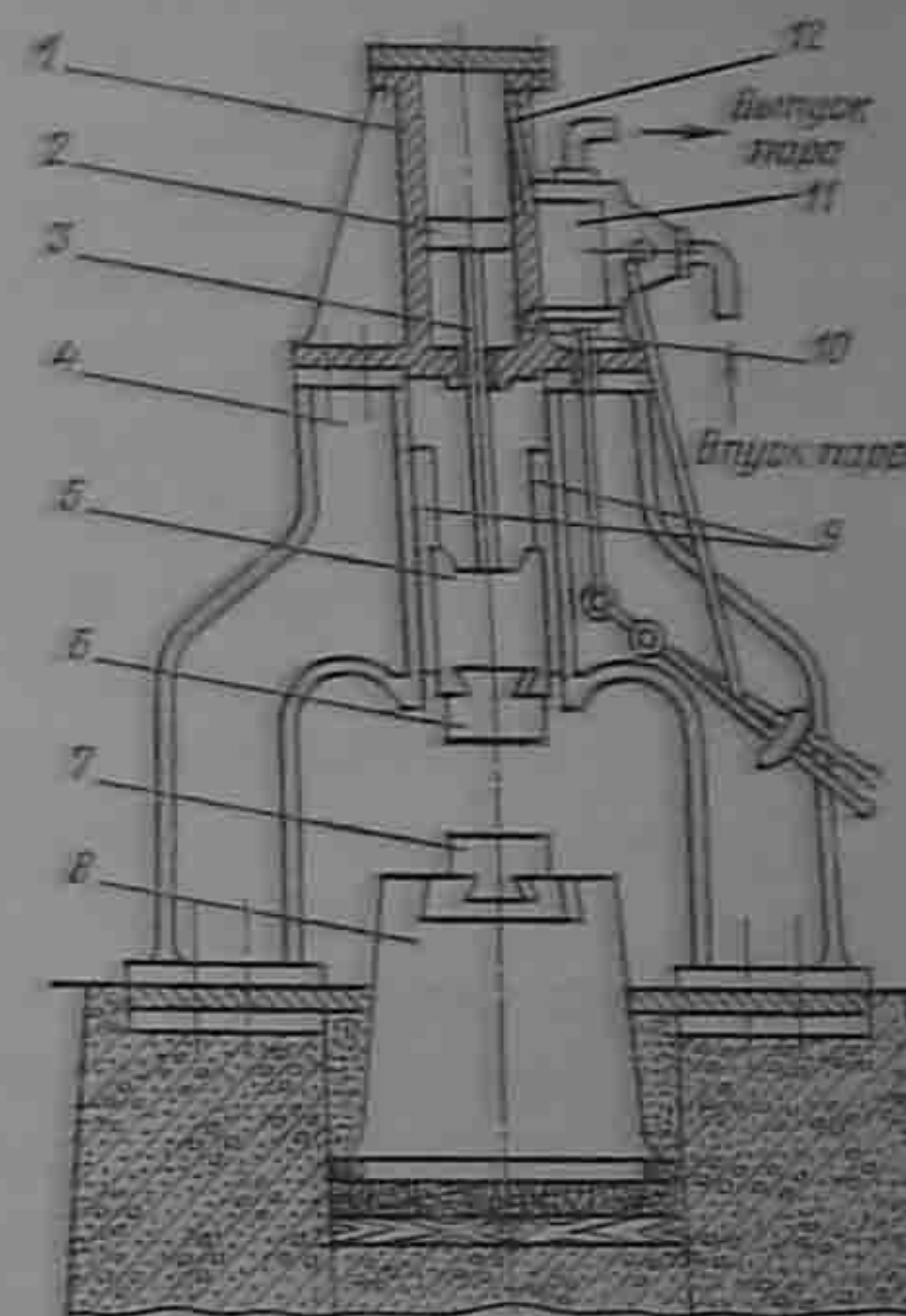


Рис. III.23. Схема паровоздушного молота арочного типа

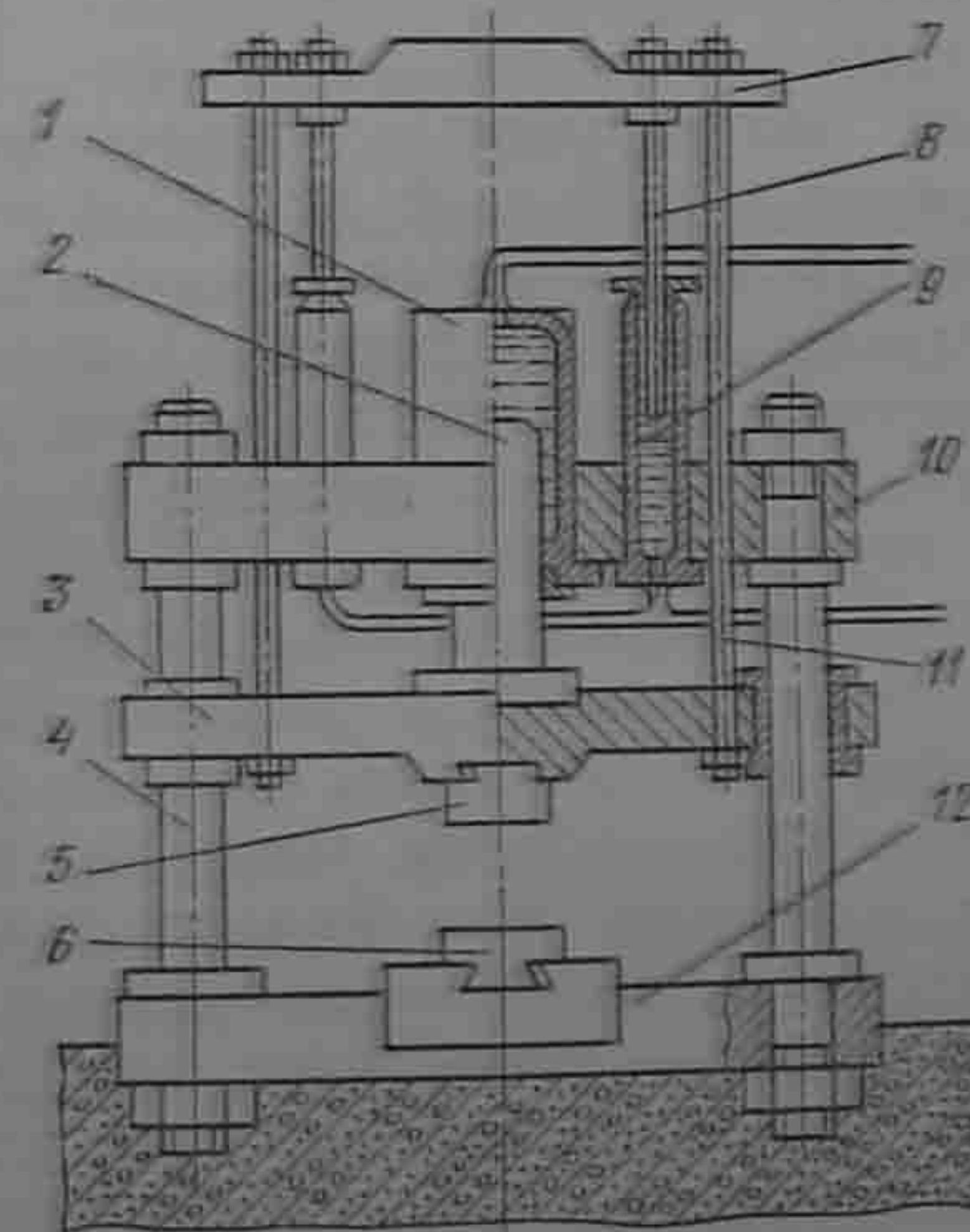


Рис. III.24. Принципиальная схема гидравлического пресса

Молоты могут совершать удары полной и неполной силы, прижимать поковки между бойками и удерживать бабу навесу. Ковочные паровоздушные молоты строят с массой падающих частей 1000—8000 кг. На этих молотах изготавливают поковки средней массы (20—350 кг) преимущественно из прокатанных заготовок.

Гидравлические прессы. Эти машины — статического действия, продолжительность деформации у них может составлять от единиц до десятков секунд. В гидравлическом прессе усилие создается с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального

масла) высокого давления (20—30 МН/м²), подаваемой в рабочий цилиндр 1 (рис. III.24). Жидкость давит на плунжер 2, который передает усилие перемещающейся по колоннам 4 подвижной поперечине 3. Верхний боек 5 крепят к подвижной поперечине 12. Верхний боек 6 устанавливают на нижней неподвижной поперечине 12. Верхняя неподвижная поперечина 10, в которой находится рабочий цилиндр 1, и нижняя поперечина 12 жестко соединены четырьмя колоннами 4. При опускании поперечины 3 жидкость из возвратных цилиндров 9 вытесняется плунжерами 8, связанными верхней поперечиной 7 и тягами 11 с поперечиной 3. Для подъема последней в исходное положение после рабочего хода жидкость под давлением подается в возвратные цилиндры 9, а из рабочего цилиндра вытесняется плунжером 2 в сливной резервуар.

Кроме указанных частей, гидравлические прессы имеют устройства, питающие пресс жидкостью высокого давления, наполняющие всю гидравлическую систему прессы жидкостью и управляющие прессом (распределители).

В СССР ковочные гидравлические прессы строят усилием 5—100 МН для изготовления крупных поковок в основном из слитков.

4. Технологическая разработка процессаковки

Чертеж поковки составляют на основании разработанного конструктором чертежа готовой детали с учетом припусков, допусков и напусков. Припуск — поверхностный слой металла в поковке, подлежащий удалению механической обработкой для получения требуемых размеров и качества поверхности готовой детали. Размеры детали увеличивают на величину припусков в местах, которые подлежат механической обработке (рис. III.25). Величина припуска зависит от размеров поковки, ее конфигурации, типа оборудования, применяемого для изготовления поковки, и других факторов. Чем больше размеры поковки, тем больше припуск.

Д о п у с к — допустимое отклонение от номинального размера поковки, проставленного на ее чертеже, т. е. разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами

Рис. III.25. Схема размеров поковки с напуском, припуском и допуском

поковки (рис. III.25). Допуск назначают на все размеры поковки. Конфигурацию поковки иногда упрощают за счет напусков — объема металла, добавляемого к поковке сверх при-

пуска для упрощения ее формы и, следовательно, процессаковки. Напуски удаляют последующей механической обработкой. Припуски, допуски и напуски назначают в строгом соответствии с ГОСТом.

Выбор заготовки. Заготовку выбирают по ее массе:

$$m_{заг} = m_{пок} + m_{пр} + m_{дн} + m_{уг} + m_{от},$$

где $m_{заг}$ — масса исходной заготовки; $m_{пок}$ — масса поковки, которую подсчитывают как произведение объема поковки на плотность металла; $m_{пр}$ — масса отхода с прибыльной части слитка; $m_{дн}$ — масса отхода с донной части слитка; $m_{уг}$ — масса отхода на угар (окалинообразование) при нагреве; $m_{от}$ — масса технологических отходов.

Отходы с прибыльной частью составляют 14—30%, а с донной 4—7%; на угар — в среднем 2—2,5% от массы нагреваемого металла при нагреве холодной заготовки и около 1,5% при каждом подогреве. Технологические отходы (обрубки, выдры и т. п.) зависят от формы поковки и принятой последовательностиковки. При ковке из прокатанной заготовки $m_{пр}$ и $m_{дн}$ отсутствуют. Размеры поперечного сечения заготовки выбирают с учетом обеспечения необходимой уковки. Достаточной уковкой для слитков считается 2,5—3,0, а для проката 1,3—1,5.

Выбор оборудования. Дляковки оборудование выбирают в зависимости от режимаковки данного металла или сплава, массы поковки и ее конфигурации. Аналитический расчет необходимой мощности оборудования во многих случаях представляет сложный вопрос, поэтому часто используют приближенные формулы или таблицы справочников.

Последовательность операцийковки. Последовательность устанавливают в зависимости от конфигурации поковки и технических требований на нее, от вида заготовки (слиток или прокат). В качестве примера на рис. III.26 приведена последовательностьковки двух поковок: полого массивного цилиндра из слитка на прессе и рычага с вилкой на молоте.

Цилиндр куют из стального слитка (сталь 40) массой 18 т с пяти нагревов. После первого нагрева протягивают прибыльную часть под патрон, слиток на диаметр 1000 мм, отрубают донную и прибыльную части слитка (рис. III.26, а). После второго нагрева выполняют осадку, прошивку отверстия и раскатку на оправке (рис. III.26, б). После третьего нагрева — посадку на оправку и протяжку на длину 1100 мм (рис. III.26, в). После четвертого — посадку на оправку и протяжку средней части на диаметр 900 мм (рис. III.26, г). После пятого нагрева (нагревают только конец А) заковывают конец А.

Ковка рычага с вилкой из стального проката квадратного сечения показана на рис. III.26, д — з. Нагретую заготовку протягивают на прямоугольник и пережимают металл для щек (рис. III.26, д). Затем отковывают щеки (рис. III.26, е) и загибают

в приспособлении (рис. III.26, ж), пережимают металл для стержня и протягивают до нужного диаметра (рис. III.26, з). Конец стержня отрубают на заданную длину.

Технологические требования к деталям. Требования к деталям, получаемым из кованных поковок, сводятся главным образом к тому,

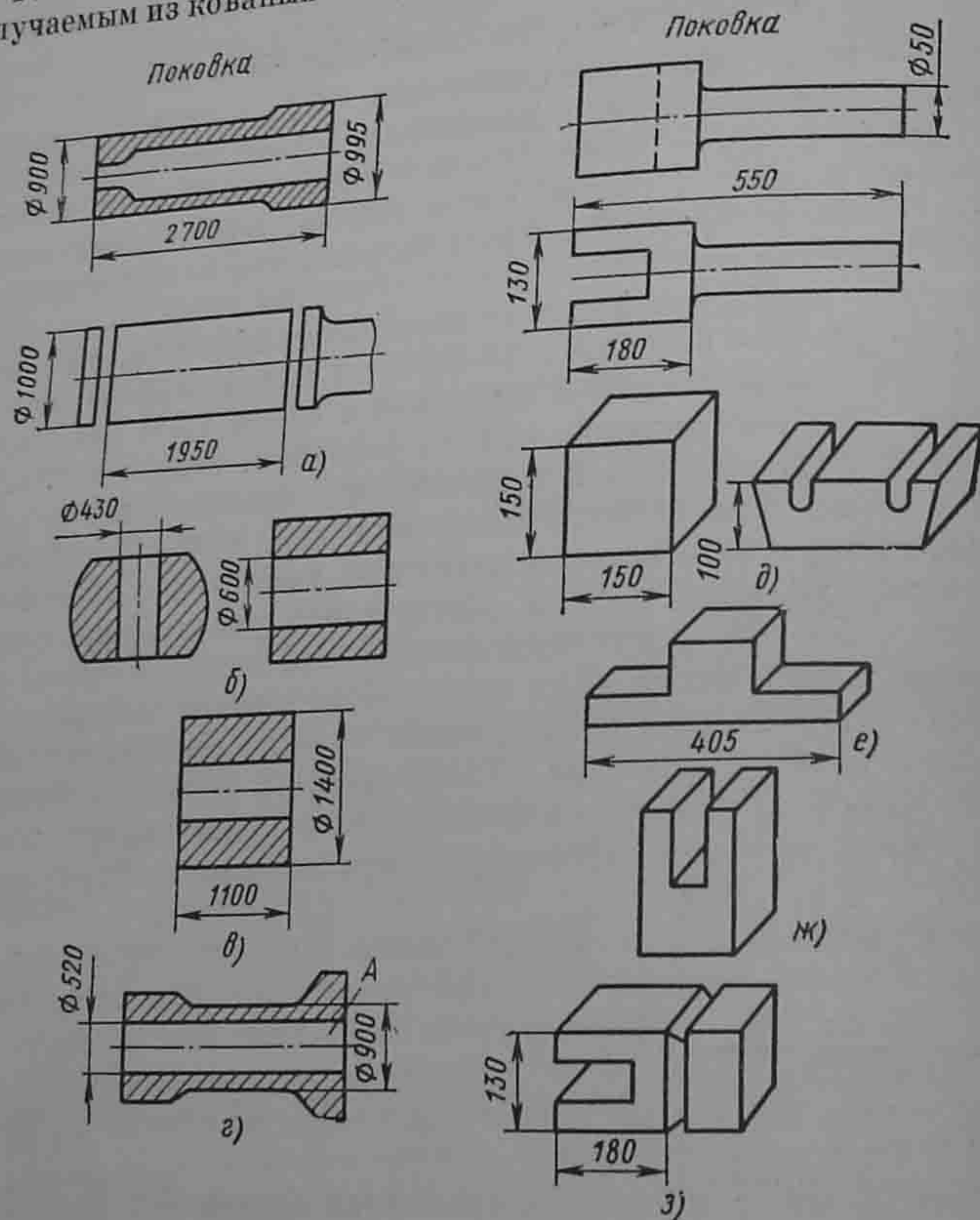


Рис. III.26. Последовательность операцийковки полого цилиндра и рычага с вилкой

что поковки должны быть наиболее простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями (рис. III.27, 1—4). Следует избегать в поковках конических (рис. III.27, 5) и клиновидных (рис. III.27, 6) форм. Надо учитывать трудность выполнения ковкой участков пересечений цилиндрических поверхностей между собой (рис. III.27, 7) и с призматическими поверхностями (рис. III.27, 8). В поковках необходимо избегать ребристых сечений, бобышек, выступов и т. п., учитывая, что эти элементы в большинстве случаев изготовить ковкой невозможно. В местах сложной конфигурации приходится прибегать к напускам в целях

упрощения конфигурации поковки, что вызывает удорожание детали. Кроме того, следует стремиться, чтобы конфигурация детали позволяла получить при ковке наиболее благоприятное расположение волокон (см. гл. 1 настоящего раздела).

Технологические особенностиковки высоколегированных сталей и цветных металлов обусловлены отличием их технологических свойств от свойств углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Высоколегированные стали склонны к интенсивному упрочнению, поэтому дляковки этих сталей чаще целесообразнее использовать пресс, а не молот. Ввиду малой скорости деформирования на прессах разупрочняющие процессы, возврат и рекристаллизация успевают произойти полнее, и упрочнение снимается. В противном случае деформация не будет полностью горячей, и пластичность может резко понизиться.

Для каждой марки стали необходимо выбирать определенную общую уковку, чтобы получить хорошее качество поковки. Ввиду того что высоколегированные стали имеют пониженную технологическую пластичность, нужно выбирать такие приемыковки, при которых значительно снижаются растягивающие напряжения. Например, протяжку этих сплавов целесообразно выполнять в вырезных бойках. Особенно осторожно следует ковать литую заготовку, так как литая структура менее пластична, чем деформированная. Последнее относится и ко всем *алюминиевым сплавам*. Например, предварительно деформированные прутки из сплавов АК5 и АК6 можно подвергать ковке, тогда как слитки этих сплавов при ковке разрушаются. *Алюминиевые сплавы*, которые имеют хорошую пластичность (АЛ1, Д1, АК2 и др.), коуют на молотах и гидравлических прессах без особых ограничений. Малопластичные *алюминиевые сплавы* (АК3, В93 и др.) предпочтительнее ковать на гидравлических прессах в вырезных бойках, так же как малопластичные *магниеые сплавы* (МА3). На гидравлических прессах с невысокой скоростью деформирования можно ковать и *магниеые сплавы*, обладающие хорошей пластичностью (МА1; МА2).

Медные сплавы (латуни и бронзы) имеют невысокий запас пластичности, поэтому ковку необходимо вести с минимальными растягивающими напряжениями.

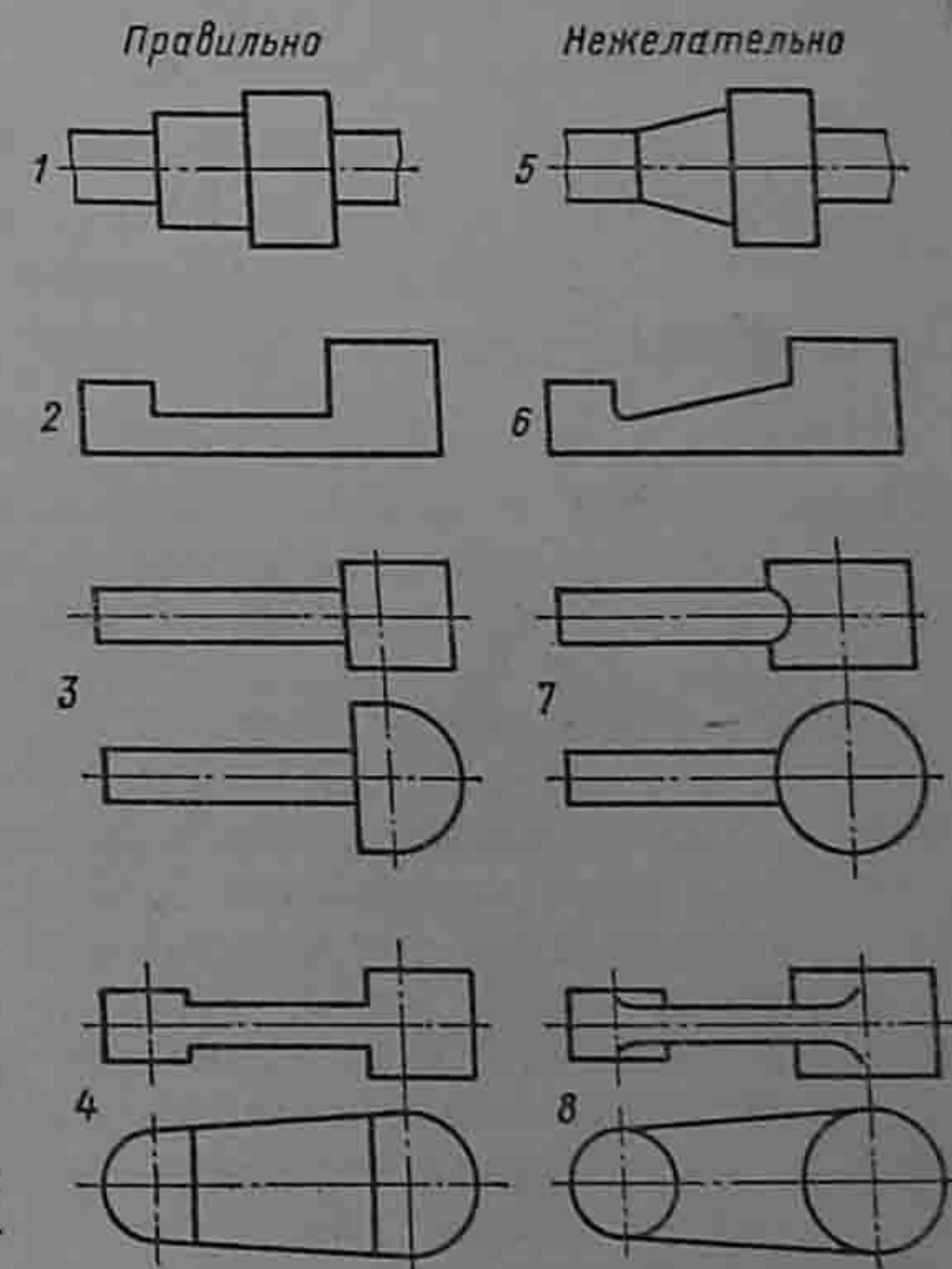


Рис. III.27. Правильные и нежелательные формы поковки

Титан и титановые сплавы имеют достаточно высокую пластичность и обрабатываются ковкой всеми применяемыми методами. Но в случае динамического деформирования под молотом пластичность титановых сплавов снижается. Труднодеформируемые титановые сплавы протягивают в вырезных бойках.

Механизацияковки. Ковка является трудоемким и малопродуктивным процессом, поэтому ее механизация является важной задачей, улучшающей условия труда и повышающей производительность. При ковке массивных поковок (особенно на гидравлических прессах) многие операции вообще не могут быть осуществлены вручную.

Для посадки заготовок (слитков) в печь и выдачи их из печи кроме мостовых и консольно-поворотных кранов применяют специальные посадочные машины напольного или подвешенного типов. Ковку на прессах и молотах можно механизировать с помощью различных кранов, кантователей и манипуляторов.

Молоты обслуживают обычно консольно-поворотные краны, прессы — мостовые. Кантователь — механизм, подвешиваемый к крюку крана и позволяющий поворачивать слиток вокруг его продольной оси (дополнительно к тем движениям, которые обеспечивает сам кран).

Манипулятор представляет собой тележку, либо перемещающуюся по железнодорожным рельсам (рельсовый манипулятор), либо автомобильного типа (безрельсовый манипулятор). На тележке устанавливают электрические или гидравлические приводы, осуществляющие перемещение самой тележки и движения хобота. Хобот зажимает заготовку, производит кантовку вокруг продольной оси и перемещает ее вверх-вниз. Имеются манипуляторы, у которых, кроме этого, хобот поворачивается вокруг вертикальной оси. Грузоподъемность манипуляторов достигает 120 т. Начинают применять автоматизированные процессыковки, при которых работа прессы и манипулятора управляется электронными устройствами по заданной программе.

Для повышения точности поковок находят применение устройства (фотоэлементы, датчики с радиоактивными изотопами), регламентирующие положение рабочего инструмента в заключительный моментковки.

1. Общие положения

Горячая объемная штамповка — это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента — штампа (см. рис. III.1, е). Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей) по конфигурации поковки.

В качестве заготовок для горячей штамповки в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический. При этом прутки разрезают на отдельные (мерные) заготовки, хотя иногда штамную и от прутка с последующим отделением поковки непосредственно на штамповочной машине. Мерные заготовки отрезают от прутка различными способами: на кривошипных пресс-ножницах, механическими пилами, газовой резкой и т. д.

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд преимуществ. Горячей объемной штамповкой можно получать без напусков поковки сложной конфигурации, которые ковкой изготовить без напусков нельзя. При этом допуски на штампованную поковку в 3—4 раза меньше, чем на кованую. Вследствие этого значительно сокращается объем последующей механической обработки; штампованные поковки обрабатывают только в местах сопряжения с другими деталями, и эта обработка может сводиться только к шлифованию.

Производительность штамповки значительно выше — составляет десятки и сотни поковок в час.

В то же время штамповочный инструмент — штамп — дорогостоящий инструмент и является пригодным только для изготовления какой-то одной, конкретной поковки. В связи с этим штамповка экономически целесообразна лишь при изготовлении достаточно больших партий одинаковых поковок.

Кроме того, для объемной штамповки поковок требуются гораздо большие усилия деформирования, чем дляковки таких же поковок. Поковки массой в несколько сот килограммов для штамповки считаются крупными. В основном штампуют поковки массой 20—30 кг. Но благодаря созданию мощных машин в отдельных случаях штампуют поковки массой до 3 т.

Горячей объемной штамповкой изготавливают заготовки для ответственных деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, самолетов, железнодорожных вагонов, станков и т. д.

Конфигурация поковок чрезвычайно разнообразна, в зависимости от нее поковки обычно подразделяют на группы. Например,

штампованные поковки, показанные на рис. III.28, можно разделить на две группы: удлиненной формы, характеризующиеся боль-

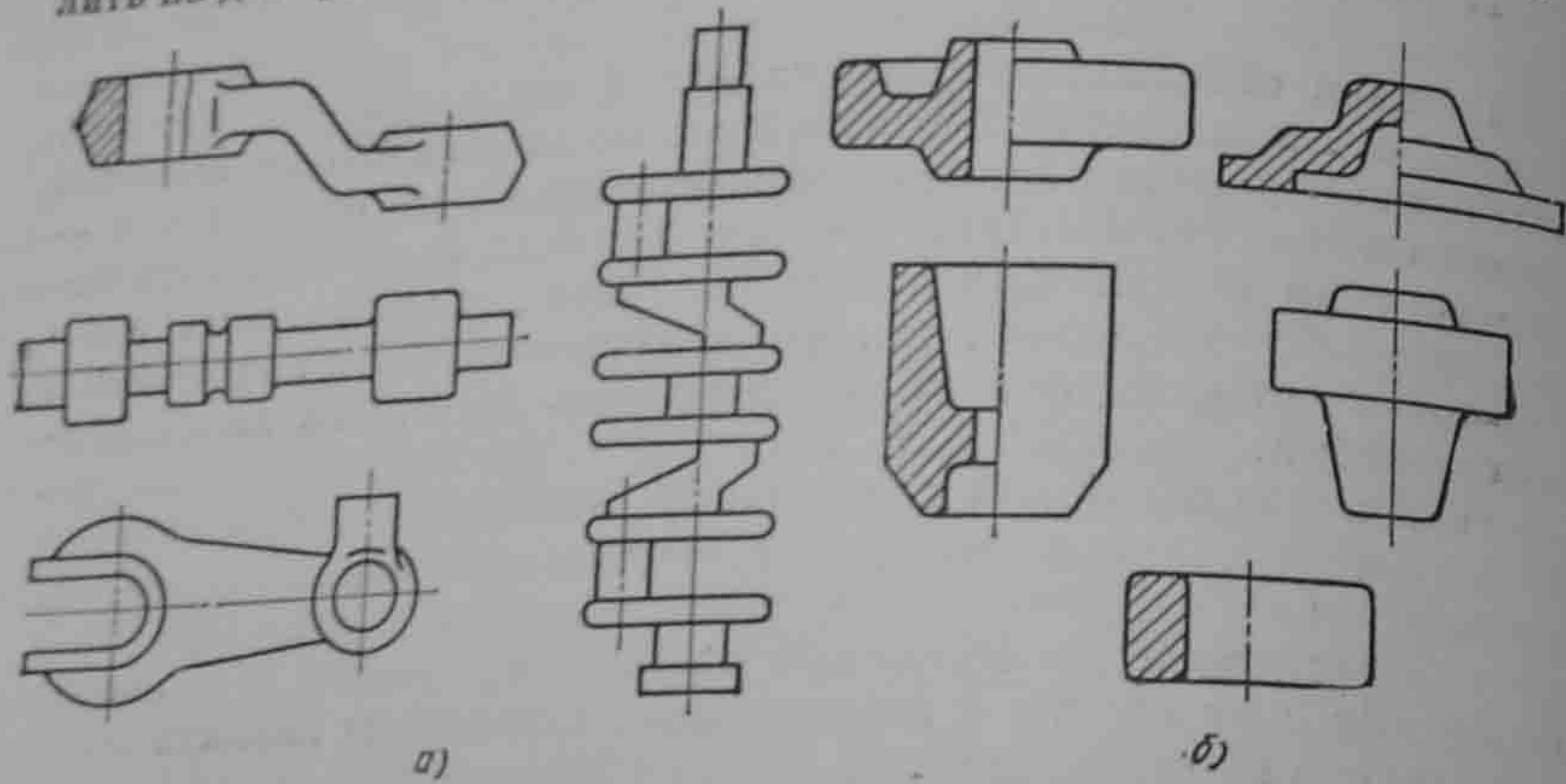


Рис. III.28. Штампованные поковки

шим отношением длины к ширине (рис. III.28, а), и круглые или квадратные в плане (рис. III.28, б).

2. Способы горячей объемной штамповки

Наличие большого разнообразия форм и размеров штампованных поковок, а также сплавов, из которых их штампуют, обуславливает существование различных способов штамповки.

Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно признать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых штампах и в закрытых.

Штамповка в открытых штампах (рис. III. 29, а). Эта штамповка характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает заусенец (облой), который закрывает выход из полости штампа и заставляет металл целиком заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в заусенец выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять особо высоких требований к точности заготовок по массе. Заусенец затем обрезается в специальных штампах. Штамповкой в открытых штампах получают поковки всех типов (см. рис. III.28, а, б).

Штамповка в закрытых штампах (рис. III. 29, б, в). Эта штамповка характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа при этом постоянный и небольшой, так что образование заусенца в нем не предусматривается. Устройство

таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя — выступ (на прессах), или наоборот (на молотах). Закрытый штамп может иметь не одну, а две взаимно перпендикулярные плоскости разъема, т. е. состоять из трех частей (рис. III.29, в). При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполняются углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше нужного. Следовательно, в этом случае процесс получения заготовки усложняется, поскольку отрезка заготовок должна сопровождаться высокой точностью. Как правило, штамповкой в закрытых штампах получают поковки, показанные на рис. III.28, б.

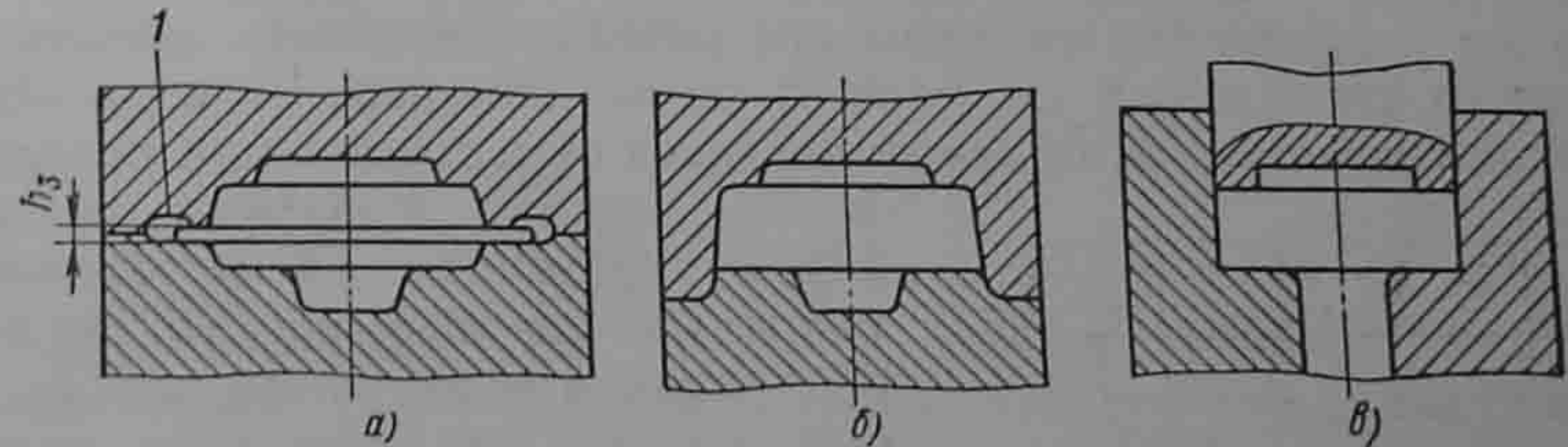


Рис. III.29. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах:

1 — заусенечная канавка

Существенным преимуществом штамповки в закрытых штампах является уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в заусенец. Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную макроструктуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в заусенец. При штамповке в закрытых штампах металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, чем в открытых штампах. Это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

К закрытой штамповке можно отнести штамповку выдавливанием и прошивкой, так как штамп в этих случаях выполняют по типу закрытого и отхода в заусенец не предусматривают. Деформирование металла при горячей штамповке выдавливанием и прошивкой происходит так же, как при холодном прямом и обратном выдавливании (гл. 6).

3. Проектирование поковок

Схема технологического процесса штамповки в основном определяется конфигурацией и размером детали, которую нужно получить. По чертежу детали составляют чертеж поковки.

При получении поковки в открытом штампе прежде всего необходимо правильно выбрать поверхность разъема, т. е. поверхность, по которой соприкасаются между собой верхняя и нижняя половины штампа. Обычно эта поверхность является плоскостью или сочетанием плоскостей. Плоскость разъема должна быть выбрана такой, чтобы поковка свободно вынималась из штампа. С целью облегчения заполнения полости штампа желательно выбрать плоскость разъема таким образом, чтобы пожелательно выбрать плоскость разъема наименьшую глубину. При штамповке воз- может сдвиг одной половины штампа относительно другой. Для того чтобы такой сдвиг можно было легко контролировать, плоскость разъема должна пересекать вертикальную поверхность поковки (рис. III.30).

Припуски на механическую обработку назначают главным образом на сопрягаемые поверхности детали. Величина припуска зависит от габаритных размеров и массы поковки, от вида оборудования штамповки, от шероховатости обрабатываемой поверхности детали: выбирают ее по ГОСТу. Допуски на штамповку назначают по тому же ГОСТу; необходимость назначения допусков обусловлена возможностью недо- штамповки по высоте, сдвига штампов, их износом и т. п.

Для облегчения заполнения полости штампа и обеспечения легкого извлечения из нее поковки боковые поверхности последней должны иметь штамповочный уклон. Штамповочные уклоны назначают сверху припуска; они повы-

шают отход металла при механической обработке и утяжеляют поковку. Величина уклона зависит от глубины и сложности полости, применяемого для штамповки оборудования и составляет для стальных поковок $3-10^\circ$.

Для наружных поверхностей поковки (вследствие усадки) штамповочные уклоны α принимают меньшими, чем для внутренних β (рис. III.31).

Все пересекающиеся поверхности поковки сопрягаются по радиусам. Это необходимо для лучшего заполнения полости штампа и предохранения его от преждевременного износа и поломки. Радиусы закругления зависят от глубины полости. Внутренние радиусы R закругления в 3-4 раза больше, чем наружные радиусы r (рис. III.31). Наружные радиусы закругления r составляют обычно 1-6 мм.

При штамповке в штампах с одной плоскостью разъема нельзя получить сквозное отверстие в поковке, поэтому делают только наметку отверстия с перемычкой-пленкой, удаляемой впослед-

ствии в специальных штампах. Штамповкой не всегда можно получить полностью требуемую конфигурацию поковки. Поэтому на отдельных участках поковок могут быть сделаны напуски, упрощающие форму. В частности, при диаметрах отверстий менее 30 мм наметки в поковках не делаются.

Изменив все размеры спроектированной поковки на величину усадки, получают чертеж горячей поковки, по которому изготовляют полость штампа.

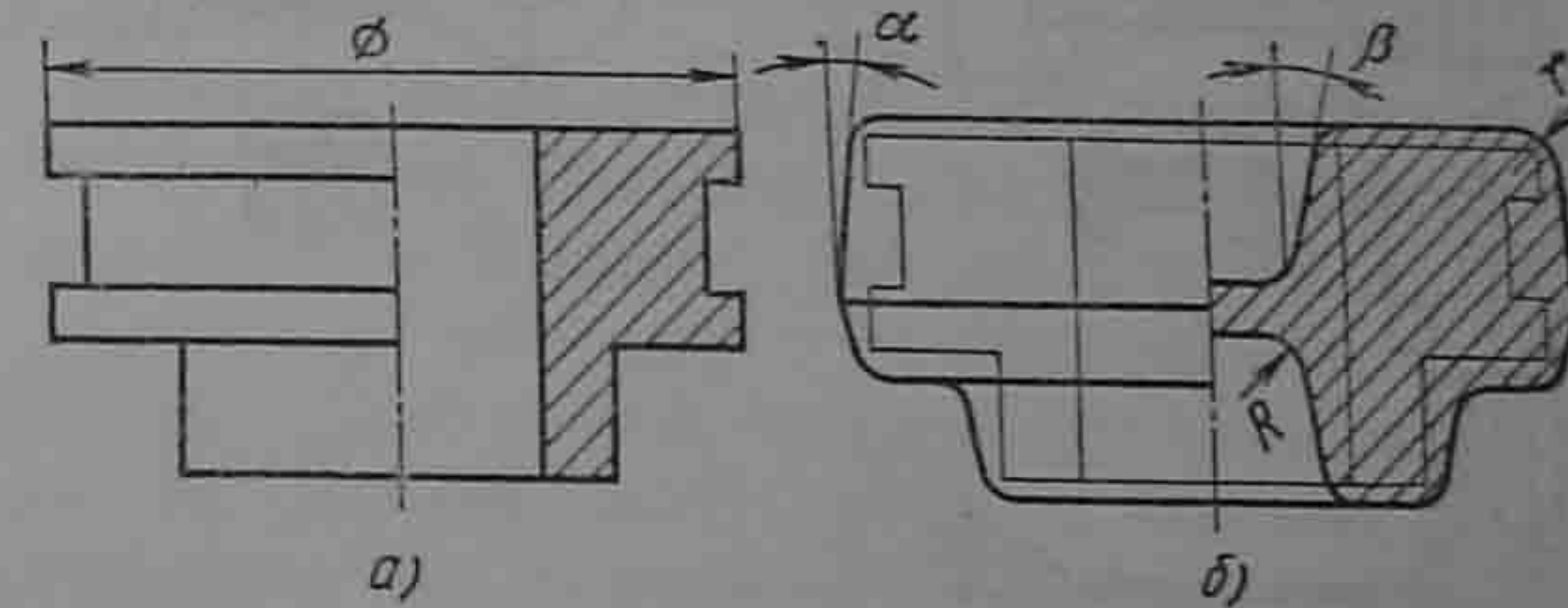


Рис. III.31. Пример составления чертежа поковки: а — деталь; б — поковка

При штамповке в открытых штампах вдоль внешнего контура полости выполняют специальную заусенечную (облойную) канавку (см. рис. III.29, а). Для обеспечения хорошего заполнения металлом полости штампа и повышения его стойкости особенно большое значение имеет толщина заусенца h_3 , которую, как и другие размеры заусенечной канавки, подсчитывают по формулам в зависимости от конфигурации поковки.

Чертеж поковки при штамповке в закрытых штампах с одной плоскостью разъема составляют так же, как при штамповке в от-

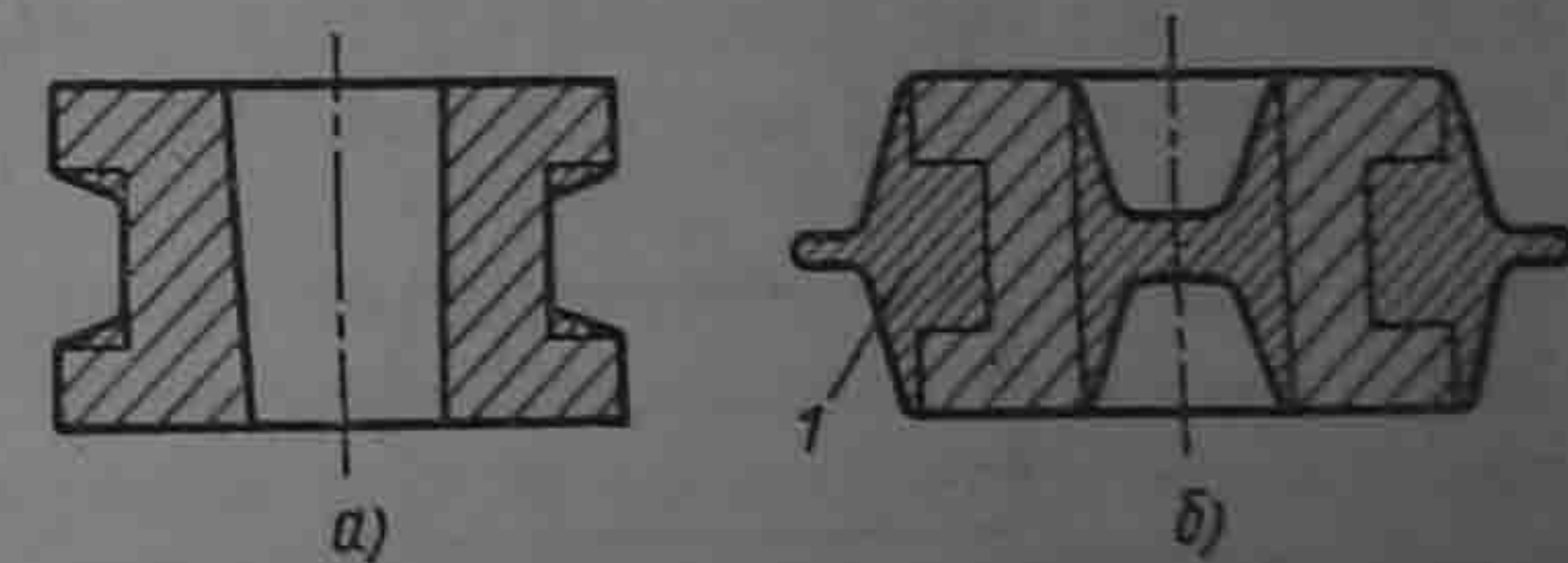


Рис. III.32. Примеры поковок одной и той же детали, изготовляемых в штампах с двумя (а) и одной (б) плоскостями разъема:

1 — напуск

крытых. Но плоскость разъема выбирают по торцовой наибольшей поверхности детали (см. рис. III.29, б). Составление чертежа поковки при штамповке в закрытых штампах с двумя взаимно перпендикулярными плоскостями разъема имеет свои специфические особенности. Прежде всего наличие двух плоскостей разъема позволяет не предусматривать на поковках напусков там, где потребовалось бы делать их в штампах с одной плоскостью разъема (рис. III.32). Штамповочные уклоны назначают или значительно меньшей величины, или их можно совсем не предусматривать.

Поскольку штампованные поковки, как правило, обрабатывают только по сопрягаемым поверхностям, а большинство по-

верхностей остается необработанными, то уже при проектировании самой детали конструктору необходимо учитывать особенности процесса штамповки. Прежде всего необходимо представить, как будет происходить разъем штампа. Например, деталь, показанную на рис. III.33, нельзя штамповать, так как выбрать разъем

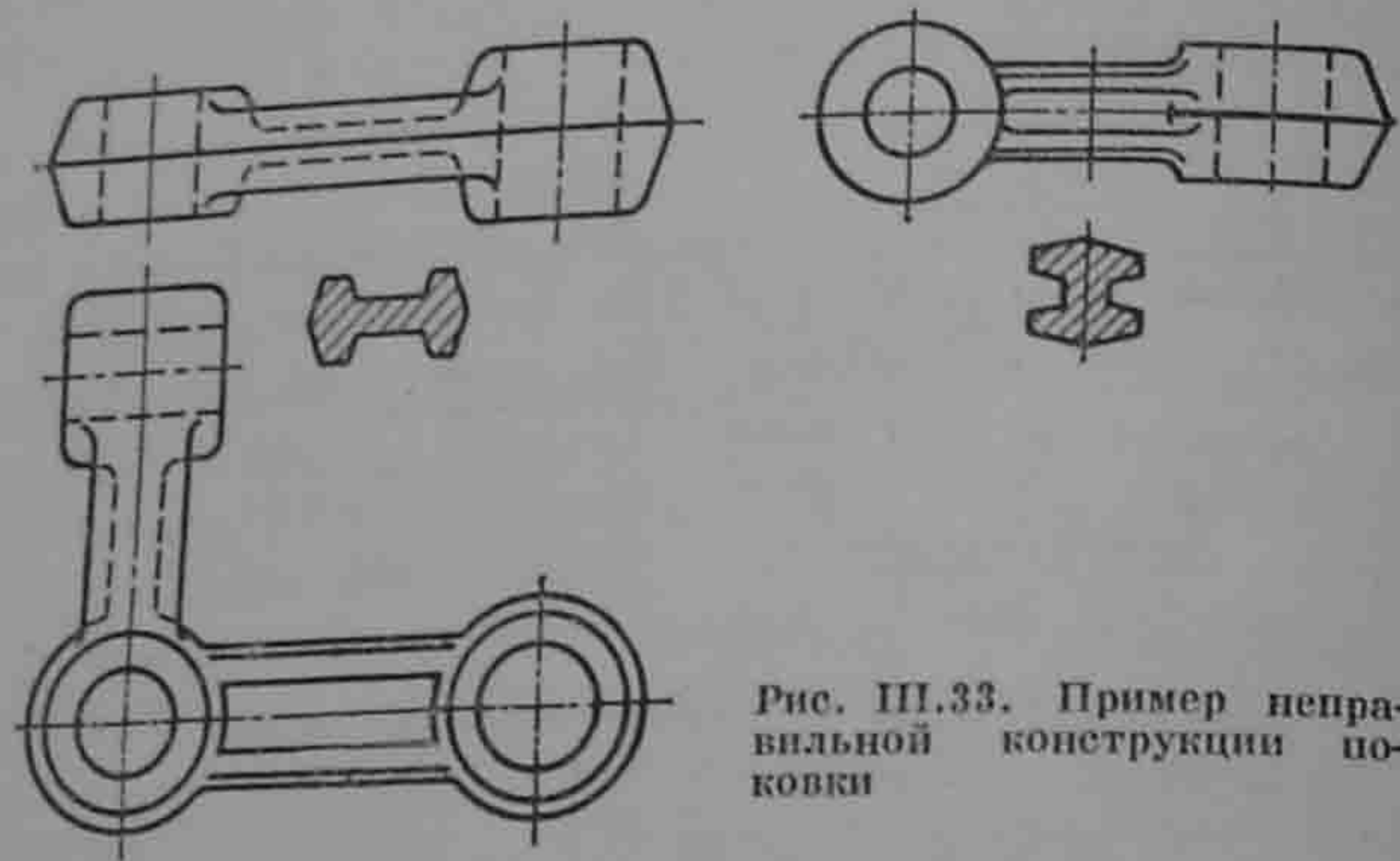


Рис. III.33. Пример неправильной конструкции поковки

штампа, допускающий извлечение поковки, невозможно. В таком случае надо или изменить конструкцию детали, или на чертеже поковки предусматривать очень большие напуски, удорожающие изготовление детали. Заранее установить плоскость разъема нужно еще и потому, что от этого зависят другие элементы конструкции детали (углы наклона стенок, радиусы закруглений и др.).

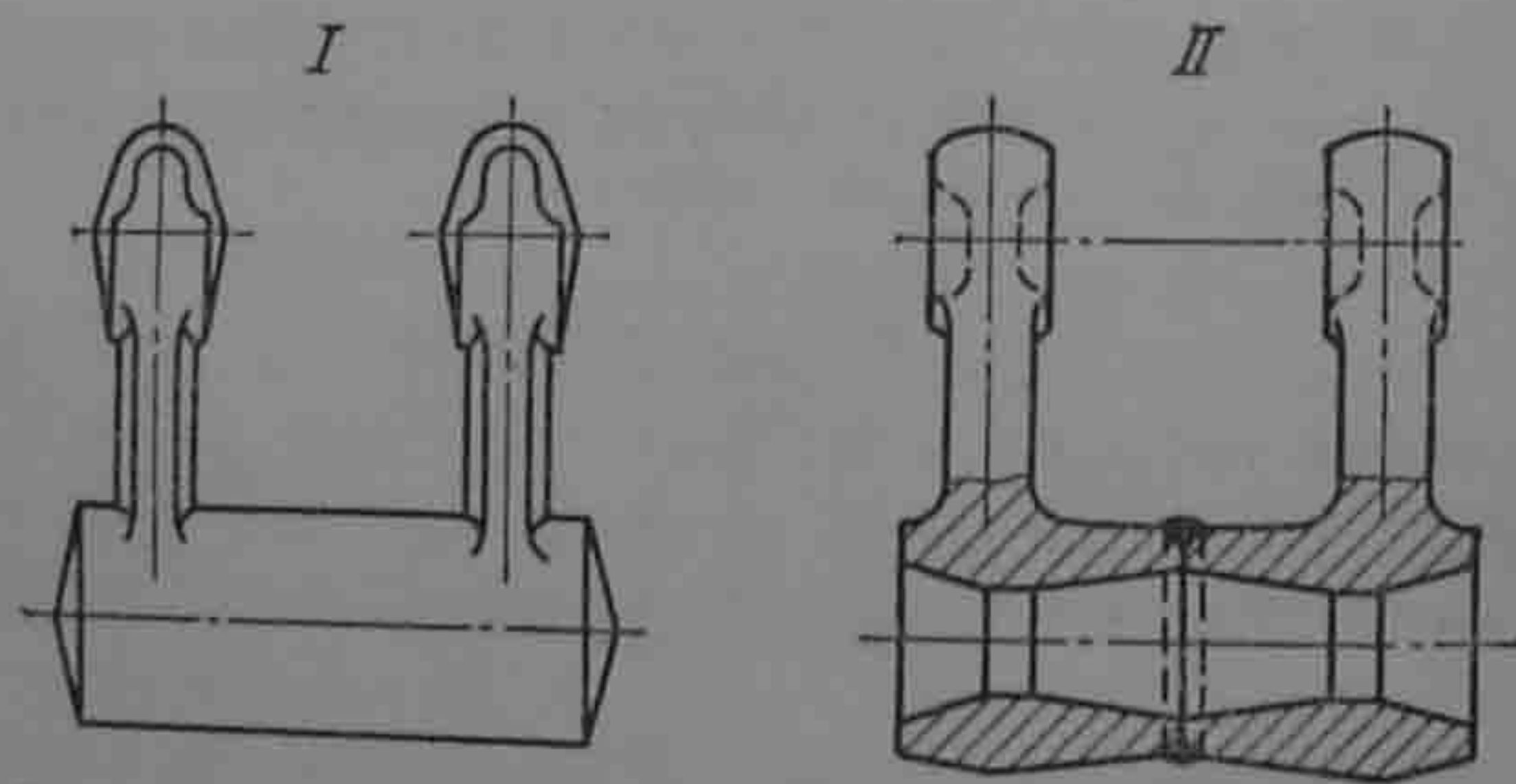


Рис. III.34. Упрощение способа штамповки путем последующей сварки отдельных частей поковки

При проектировании детали следует стремиться к возможно меньшей разнице в площадях поперечных сечений на различных участках длины детали, избегать тонких стенок, высоких ребер, фланцев, длинных отростков и тонких приливов, примыкающих к плоскости разъема.

Необходимо проверять в каждом отдельном случае целесообразность изготовления деталей из двух или нескольких частей с последующей сваркой и, наоборот, целесообразность объединения в одной поковке смежных деталей. Например, при штамповке за одно целое детали I (рис. III.34) приходится предусматривать

большие напуски; отход металла при последующей механической обработке составляет более 50% от массы поковки. Та же деталь II сварной конструкции значительно проще для штамповки по частям; здесь можно получить наметки отверстий, отход металла снижается.

4. Способы получения фасонной заготовки.

Многоручьева штамповка. Определение размеров заготовки

Поковки простой конфигурации, не имеющие большой разницы сечений по длине (высоте), обычно штампуют в штампах с одной полостью, т. е. в одноручьевых штампах. Поковки сложной конфигурации с резкими изменениями сечений по длине, с изогнутой осью, штамповать в одноручьевом штампе из прокатанных заготовок постоянного профиля невозможно (или штамповка сопровождается недопустимо большим отходом в заусенец).

В этом случае необходимо форму заготовки приблизить к форме поковки, прежде чем производить окончательное формообразование в штамповочном ручье, т. е. необходимо получить профилированную или фасонную заготовку.

При штамповке небольшой партии поволок фасонную заготовку можно получить ковкой, однако производительность такого способа низка.

При изготовлении очень большого числа одинаковых поволок (в автотракторной, авиационной промышленности и др.) значительного экономического эффекта достигают применением фасонных заготовок из периодического проката. В этом случае прутки с периодически повторяющимся профилем сечения состоят из элементов однотипных конфигураций, каждый из которых представляет подготовленную заготовку для штамповки. На рис. III.9, б показаны примеры периодического проката для штамповки в автомобильной промышленности.

Получить фасонную заготовку из проката круглого или квадратного профиля можно и вальцовкой на ковочных вальцах непосредственно перед штамповкой (с одного нагрева). Вальцовка является по существу продольной прокаткой, осуществляемой между двумя валками с закрепленными на них секторными штампами (см. рис. III.43, а).

Чаще всего в настоящее время фасонную заготовку получают в заготовительных ручьях штампов. Этот способ в зависимости от характера производства осуществляется либо в одном многоручьевом штампе, либо в нескольких одноручьевых, установленных на отдельных штамповочных машинах. В первом случае в одном блоке располагаются полости (ручьи) для получения фасонной заготовки и для окончательного формообразования поковки, образуя в целом многоручьевый штамп (рис. III.35).

Ручьи в многоручьевых штампах подразделяют на заготовительные и штамповочные. К заготовительным ручьям, служащим

для получения фасонной заготовки, относятся протяжной, подкатной, пережимной, формовочный, гибочный, площадка для осадки и отрубной нож.

Протяжной ручей 2 (рис. III.35) служит для увеличения длины отдельных участков заготовки за счет уменьшения площади их поперечного сечения. Ручей выполняют в форме бойков, образующих порог протяжного ручья; деформация заготовок в нем аналогична операции протяжки на плоских бойках при

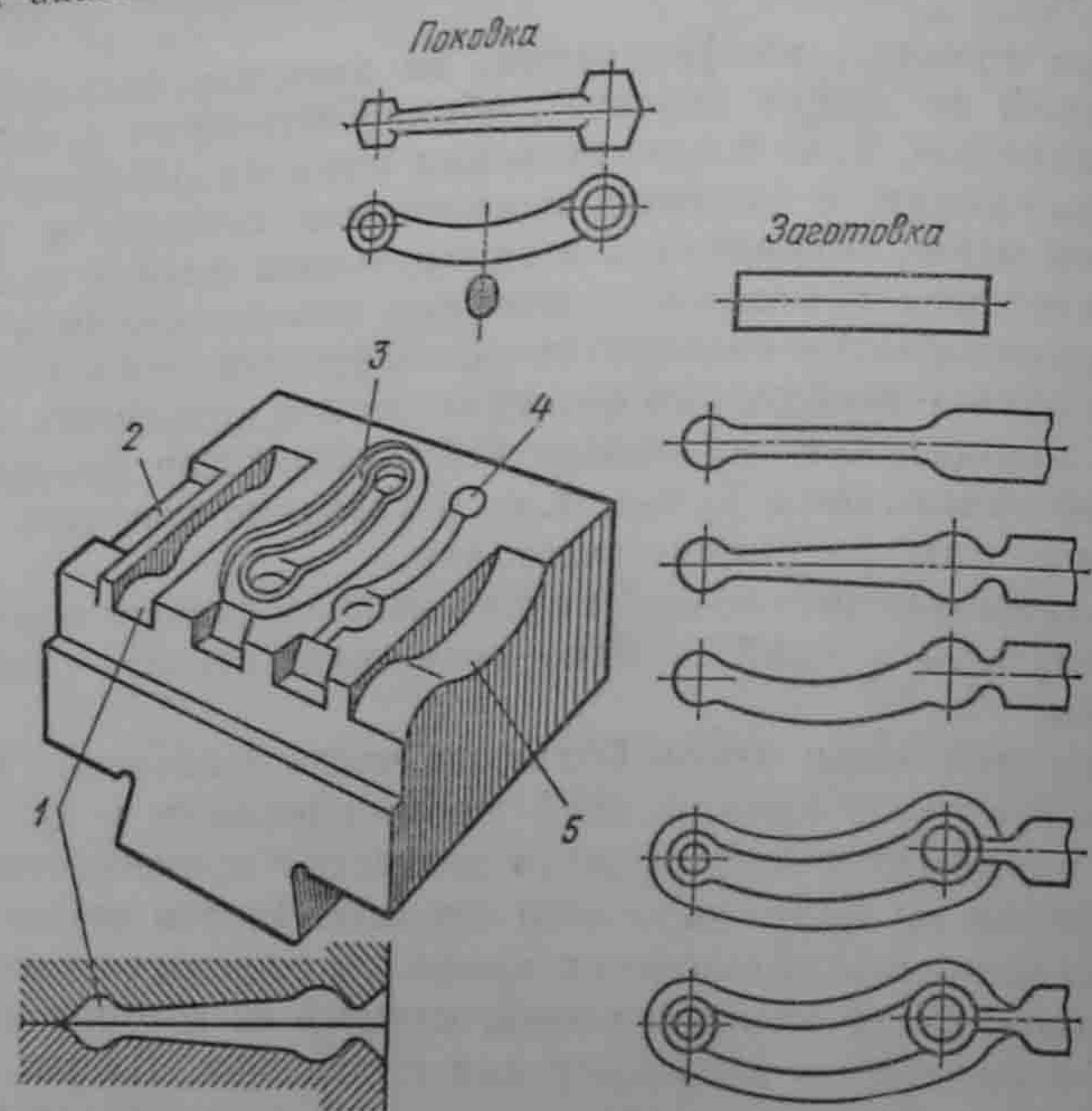


Рис. III.35. Многоручьевого штампа

Формовочный ручей (рис. III.36, б) сходен с пережимным, его применяют для придания заготовке формы поковки, которую она имеет в плоскости разъема штампов. Заготовку из формовочного ручья всегда помещают в штамповочный ручей с поворотом ее вокруг оси на 90° .

Гибочный ручей 5 (см. рис. III.35) применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось; он служит для придания заготовке формы, соответствующей форме поковки в плоскости разъема. Из гибочного ручья в следующий ручей заготовку передают с поворотом на 90° .

При штамповке поковок, имеющих в плане форму окружности или близкую к ней, часто применяют осадку исходной заготовки

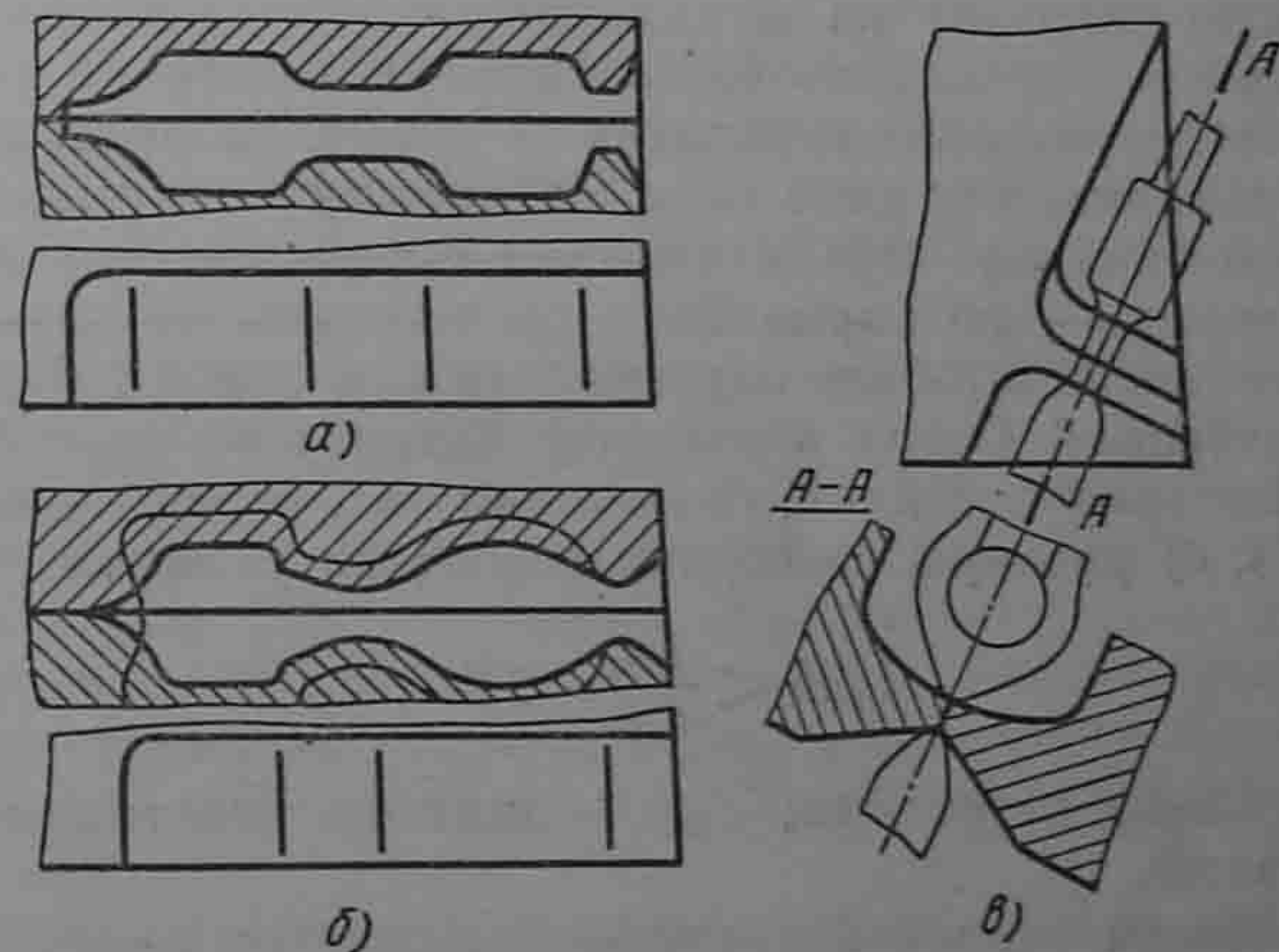


Рис. III.36. Пережимной (а), формовочный (б) и отрубной (в) ручьи

до требуемых размеров по высоте и диаметру. Для этой цели на плоскости штампа предусматривают площадку для осадки.

В тех случаях, когда штампуют не из штучной заготовки, а от прутка, в штампе выполняют отрубной ручей (рис. III.36, в) для отрубки от прутка готовой поковки.

К штамповочным ручьям относят окончательный (чистовой) ручей и предварительный (черновой). Чистовой ручей служит для получения готовой поковки и по конфигурации точно соответствует горячей поковке. Назначение чернового ручья 4 (см. рис. III.35) заключается в основном в снижении износа чистового. При наличии чернового ручья в нем происходит основное формообразование, в чистовом же ручье получают требуемые размеры поковки. Черновой ручей применяют при штамповке поковок сложной конфигурации. За отдельными исключениями форму полости чернового ручья делают такой же, как у чистового, но радиусы закруглений и уклоны увеличивают, а поперечные размеры в плоскости разъема делают немного меньше

ковке. Из протяжного ручья в зависимости от конфигурации поковки заготовка может поступать в штамповочный ручей или в другие заготовительные ручьи.

Подкатной ручей 1 служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счет уменьшения сечения рядом лежащих участков, т. е. для распределения объема металла вдоль оси заготовки в соответствии с распределением его в поковке. При обработке в подкатном ручье заготовку вращают вокруг оси после каждого удара.

Пережимной ручей (рис. III.36, а) служит для уширения заготовки поперек ее оси, а также для придания заготовке в продольном сечении формы, облегчающей заполнение полости последующего ручья. В пережимной ручей заготовка чаще всего поступает непосредственно, реже — после обработки в протяжном ручье.

размеров полости чистового ручья. При штамповке в открытых штампах черновой ручей заусенечной канавки не имеет. Вопрос о применении тех или иных ручьев и различных их комбинаций решают при разработке технологического процесса поковки, а также от особых требований в отношении направления волокна макроструктуры.

Пример многоручьевого штампа и формообразование заготовки после каждого ручья даны на рис. III.35. Чистовой ручей 3 расположен в центре штампа, так как при штамповке наибольшее усилие возникает в нем. По краям штампа располагают ручьи, в которых усилие штамповки наименьшее, чтобы уменьшить эксцентричную нагрузку на штамповочное оборудование.

Размеры исходной заготовки. Размеры заготовки можно определить, предварительно подсчитав ее объем, который равен сумме объемов поковки, заусенца (при штамповке в открытых штампах) и отхода в окалину. Объем поковки определяют по ее чертежу; объем заусенца — по нормам в зависимости от размера и конфигурации поковки (объем заусенечной канавки в 1,4—1,5 больше объема заусенца). Отход в окалину зависит от способа нагрева. При штамповке осадкой заготовки в торец (поковки на рис. III.28, б) размеры ее подсчитывают из условия

$$1,25 < \frac{l_{\text{заг}}}{d_{\text{заг}}} < 2,5,$$

где $l_{\text{заг}}$ — длина заготовки; $d_{\text{заг}}$ — диаметр заготовки (или сторона квадрата).

При меньшем отношении длины к диаметру затрудняется отрезка заготовок, при большем возможен продольный изгиб при осадке.

При штамповке заготовки плашмя (поковки на рис. III.28, а) ее размеры определяют в зависимости от конфигурации поковки. Если площади сечений по длине поковки различаются незначительно, длину заготовки принимают равной длине поковки или несколько большей. Для поковок, у которых площади поперечных сечений резко различаются, исходную заготовку обрабатывают в протяжном и подкатном ручьях. В этом случае поперечное сечение заготовки принимают равным максимальному поперечному сечению поковки или несколько меньшим.

5. Оборудование для горячей объемной штамповки и его технологические особенности

Для горячей объемной штамповки применяют молоты, кривошипные горячештамповочные прессы, горизонтально-ковочные машины, гидравлические прессы, винтовые прессы и машины для специализированных процессов штамповки. Процесс штамповки

на машинах этого типа имеет свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

Основным видом штамповочных молотов являются паровоздушные штамповочные молоты.

Паровоздушные молоты. Принцип их действия тот же, что и паровоздушных ковочных молотов, но конструкция другая.

У штамповочных молотов стойки станины устанавливают непосредственно на шаботе и соединяют с последним с помощью болтов с пружинами (при отсутствии пружин при ударах происходили бы поломки болтов). Штамповочные молоты всегда имеют усиленные регулируемые направляющие для движения бабы. Масса шабота у штамповочных молотов в 20—30 раз больше массы падающих частей. Все эти конструктивные особенности обеспечивают необходимую при штамповке точность соударения штампов.

Штамповочные молоты имеют автоматизированное управление от педали, на которую штамповщик нажимает для нанесения удара. Если педаль отпустить, то баба молота автоматически возвращается в исходное положение. Паровоздушные штамповочные молоты строят с массой падающих частей 630—25 000 кг.

Кроме паровоздушных молотов двойного действия, для горячей штамповки применяют фрикционные молоты с доской и бесшабетные молоты. У фрикционных молотов с доской в бабе закрепляют деревянную доску, зажатую между вращающимися роликами, которые при вращении поднимают падающие части вверх. В верхнем положении доски с бабой ролики расходятся, и происходит свободное падение бабы. Эти молоты имеют массу падающих частей 500—1500 кг, их применяют для штамповки мелких поковок.

У бесшаботных паровоздушных молотов шабот заменен подвижной бабой, соединенной с верхней бабой механической или гидравлической связью. При соударении верхней и нижней баб развивается значительная энергия (до 1,0 МДж), что позволяет штамповать на этих молотах крупные поковки преимущественно в одноручьевых штампах (ввиду подвижности обоих штампов многоручьева штамповка на них затруднена).

Все большее распространение находят гидравлические молоты, подвижные части которых приводятся в действие жидкостью под давлением.

На штамповочных молотах штампы закрепляют: верхнюю часть с помощью «ласточкина хвоста» и клиньев в бабе молота, а нижнюю — в подштамповой плите, в свою очередь, закрепленной тем же способом в шаботе молота.

На молотах штампуют поковки разнообразных форм преимущественно в многоручьевых открытых штампах. Так как ход молота нежесткий, штамп конструируют так, чтобы при последнем ударе его половинки сомкнулись по плоскости соударения. На молоте обычно штампуют за несколько (3—5) ударов. После каждого удара баба молота уходит вверх, и в процессе деформирования наступает перерыв. Это приводит к тому, что часть поковки, де-

формируемая в верхнем штампе, охлаждается менее интенсивно, чем нижняя часть поковки. Поэтому на молотах верхняя полость штампа заполняется металлом лучше, чем нижняя. Течение металла облегчается также за счет того, что после каждого удара окалина отваливается от поверхности заготовки и выдувается сжатым воздухом из штампа.

В закрытых штампах на молотах штампуют реже; при этом в основном штампуют поковки, круглые в плане.

Массу падающих частей молота, необходимую для штамповки, определяют практически в зависимости от массы и конфигурации

поковки по упрощенным эмпирическим формулам или на основании справочных данных. Ориентировочно можно принять, например, что на молоте с массой падающих частей 10 т можно штамповать поковки массой 40—100 кг. Если энергия удара молота оказывается недостаточной, штампуют за большее число ударов.

Кривошипные горячештамповочные прессы. Эти прессы строят усилием 6,3—100 МН. Такие прессы успешно заменяют паровоздушные штамповочные молоты с массой падающих частей 0,63—10 т. Кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы приведена на рис. III.37.

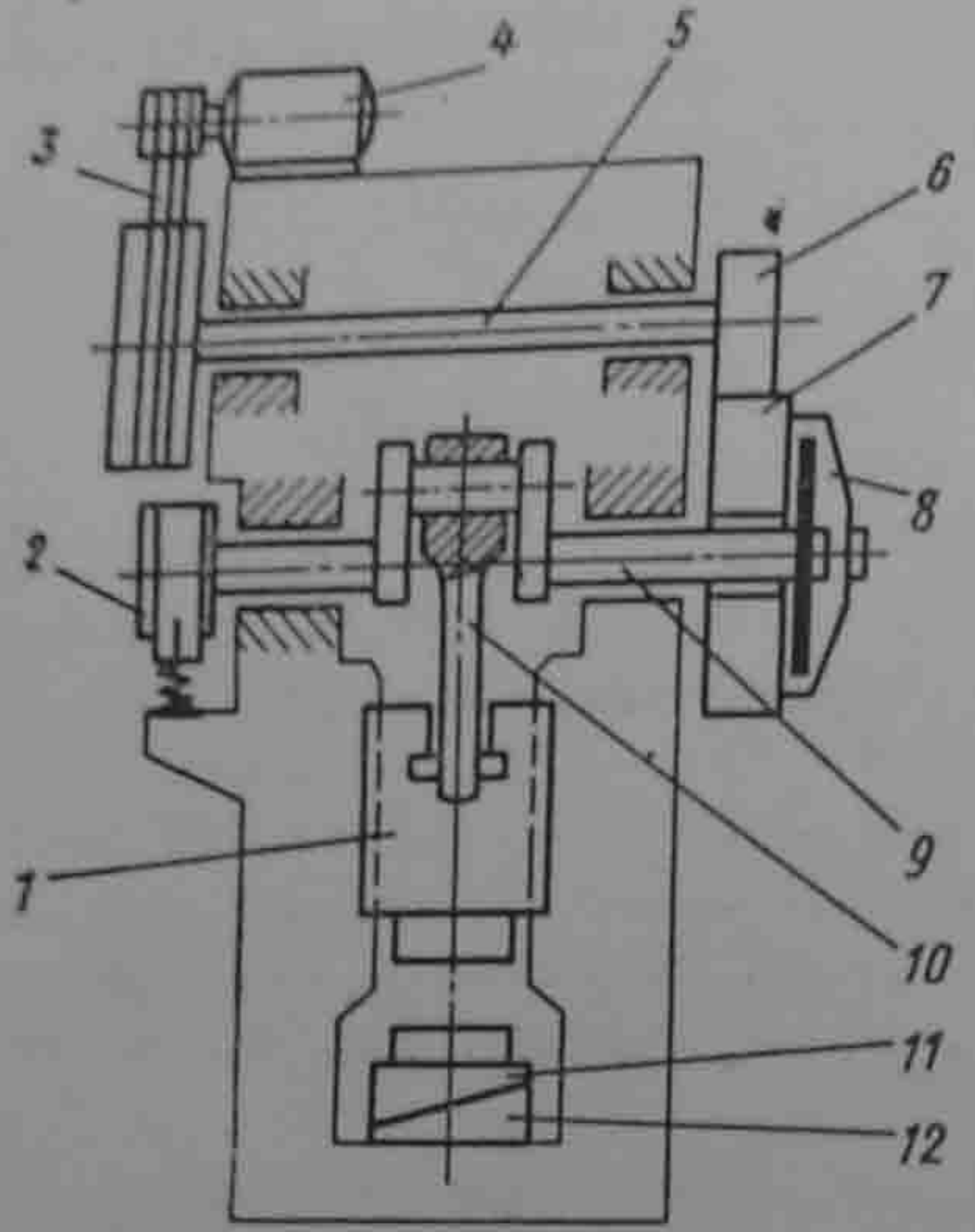


Рис. III.37. Кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы

Электродвигатель 4 передает движение клиновыми ремнями на шкив 3, сидящий на приемном (промежуточном) валу 5, на другом конце которого закреплено малое зубчатое колесо 6. Это колесо находится в зацеплении с большим зубчатым колесом 7, свободно вращающимся на кривошипном валу 9. При помощи пневматической фрикционной дисковой муфты 8 зубчатое колесо 7 может быть сцеплено с кривошипным валом 9; тогда последний придет во вращение. Посредством шатуна 10 вращение кривошипного вала преобразуется в возвратно-поступательное движение ползуна 1.

Для остановки вращения кривошипного вала после выключения муфты служит тормоз 2. Стол прессы 11, установленный на наклонной поверхности, может перемещаться клином 12 и тем самым в незначительных пределах регулировать высоту штамповочного пространства. Для облегчения удаления поковки из штампа прессы имеют выталкиватели в столе и ползуне. Выталкиватели срабатывают при ходе ползуна вверх.

Кривошипные прессы имеют постоянный ход, равный удвоенному радиусу кривошипа. Поэтому в каждом ручье штампуют за один ход прессы, и производительность штамповки на прессах выше, чем на молотах. Наличие хода постоянной величины приводит к большей точности попок по высоте, а высокая жесткость конструкции прессы, отсутствие ударов и сотрясений делают возможным применение направляющих колонок у штампов, что практически исключает их сдвиг. Штамповочные уклоны у попок также меньше, так как на прессах предусмотрены выталкиватели. При штамповке на кривошипных прессах имеются большие возможности для механизации и автоматизации процесса, чем при штамповке на молотах.

Наряду с перечисленными преимуществами штамповка на кривошипных прессах имеет и недостатки. Ввиду жесткого хода ползуна на прессах при многоручьева штамповке нельзя применять такие ручьи, как протяжной, подкатной и отрезной.

Заготовка перед штамповкой на прессы должна быть полностью очищена от окалины, так как деформация происходит за один ход прессы; при наличии окалины она заштамповывается в поверхность поковки. Стоимость кривошипного горячештамповочного прессы в 3—4 раза выше стоимости эквивалентного по мощности молота.

На кривошипных прессах возможна штамповка всех видов попок, штампующихся на молотах. Однако при штамповке попок с удлиненной осью и большой разницей площадей поперечных сечений по длине требуется применение предварительно профилированных заготовок.

Течение металла при штамповке на прессах отличается от течения в молотовом штампе, что необходимо иметь в виду при проектировании технологического процесса. Поскольку скорость деформирования на прессах ниже, время контакта металла с инструментом больше, чем на молотах. Это приводит к переохлаждению поверхности заготовки и худшему заполнению полости штампа. С другой стороны, если при штамповке на молоте заусенец остывает и препятствует течению металла в стороны, то на прессы при деформировании за один ход в заусенец поступает наиболее нагретый металл. В результате течение его в горизонтальном направлении происходит легче, чем в вертикальном. Поэтому для хорошего заполнения прессового штампа плоскость разъема выбирают вблизи торца поковки, так что полость в одной из частей штампа получается значительно глубже другой.

Ввиду худшего заполнения полостей при штамповке сложных попок на прессах увеличивают число ручьев по сравнению с молотовыми штампами. Штампы на прессах не должны смыкаться на величину, равную толщине заусенца, поэтому полость для него делается открытой, в отличие от молотовых штампов.

Определение усилия, потребного для штамповки на кривошипном горячештамповочном прессы, имеет важное значение, так

как если усилие пресса окажется недостаточным, может произойти его поломка. Существуют аналитические, экспериментально проверенные формулы для определения усилия штамповки с достаточной степенью точности.

Отсутствие ударных нагрузок при работе кривошипного пресса позволяет применять на нем сборные штампы. Сборный штамп состоит из отдельных вставок с соответствующими ручьями; вставки закрепляют в специальных обоймах (башмаках) с направляющими колонками и втулками.

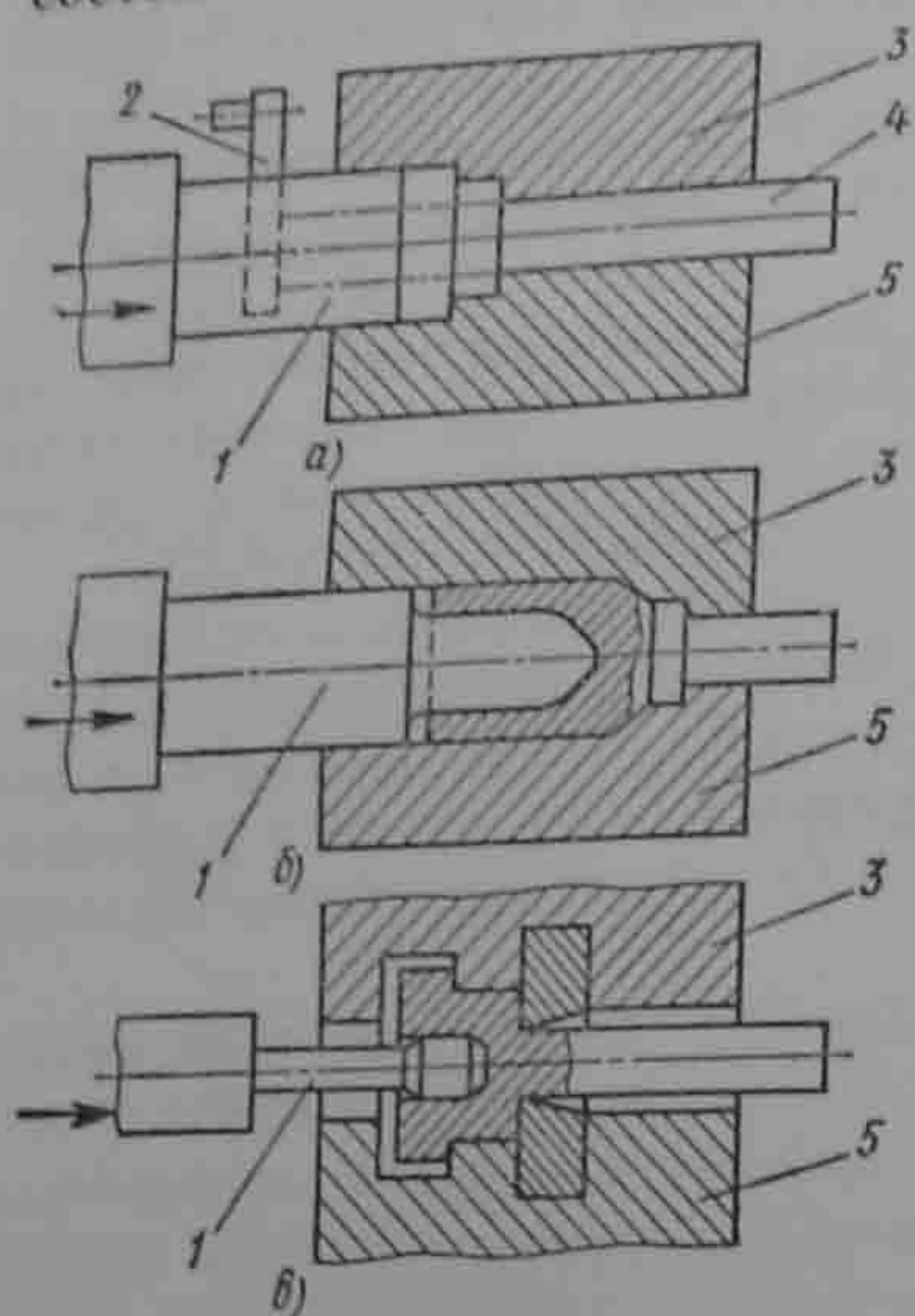


Рис. III.38. Схемы основных операций при штамповке на горизонтально-ковочной машине

Благодаря наличию выталкивателей на прессах удобно штамповать в закрытых штампах, выдавливанием и прошивкой.

Горизонтально-ковочные машины. Эти машины имеют штампы, состоящие из трех частей (рис. III.38): неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1, размыкающихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Пруток 4 с нагретым участком на конце его закладывают в неподвижную матрицу 3. Положение конца прутка определяется упором 2. При включении машины подвижная матрица 5 прижимает пруток к неподвижной матрице, упор 2 автоматически отходит в сторону, и только после этого пуансон 1 соприкасается с выступающей частью прутка и деформирует ее. Металл при этом заполняет формирующую полость в матрицах, расположенную впереди зажимной части. Формирующая полость может находиться не только в матрицах, но и совместно в матрице и пуансоне, а также только в одном пуансоне.

После окончания деформирования пуансон движется в обратном направлении, выходя из полости матриц; матрицы разжимаются, и деформированную заготовку вынимают или она выпадает из них. Штамповку на горизонтально-ковочной машине можно выполнять за несколько переходов в отдельных ручьях, оси которых расположены горизонтально одна над другой. Каждый переход осуществляется за один рабочий ход машины.

Кинематическая схема горизонтально-ковочной машины дана на рис. III.39. Главный ползун 7, несущий пуансон, приводится в движение от кривошипного вала 6 с помощью шатуна 5. Подвижная щека 1 приводится от бокового ползуна 3 системой рычагов 2;

боковой ползун, в свою очередь, — кулачками 4, сидящими на конце кривошипного вала машины. Горизонтально-ковочные машины строят усилием на главном ползуне до 31,5 МН.

На горизонтально-ковочных машинах в основном штампуют поковки типа стержня с фланцем, кольца или стакана (рис. III.40, а). Причем некоторые поковки, например типа стержня с фланцем на другом оборудовании рационально изготовить нельзя. Так как штамп состоит из трех частей, напуски на поковках и штамповочные уклоны малы или отсутствуют.

Точность поковок и производительность штамповки не ниже, чем у кривошипных горячештамповочных прессов. Наряду с указанными преимуществами, горизонтально-ковочные машины имеют такие недостатки, как меньшую универсальность (по сравнению с молотами и прессами), высокую стоимость (в 1,5 раза выше, чем стоимость кривошипных горячештамповочных прессов).

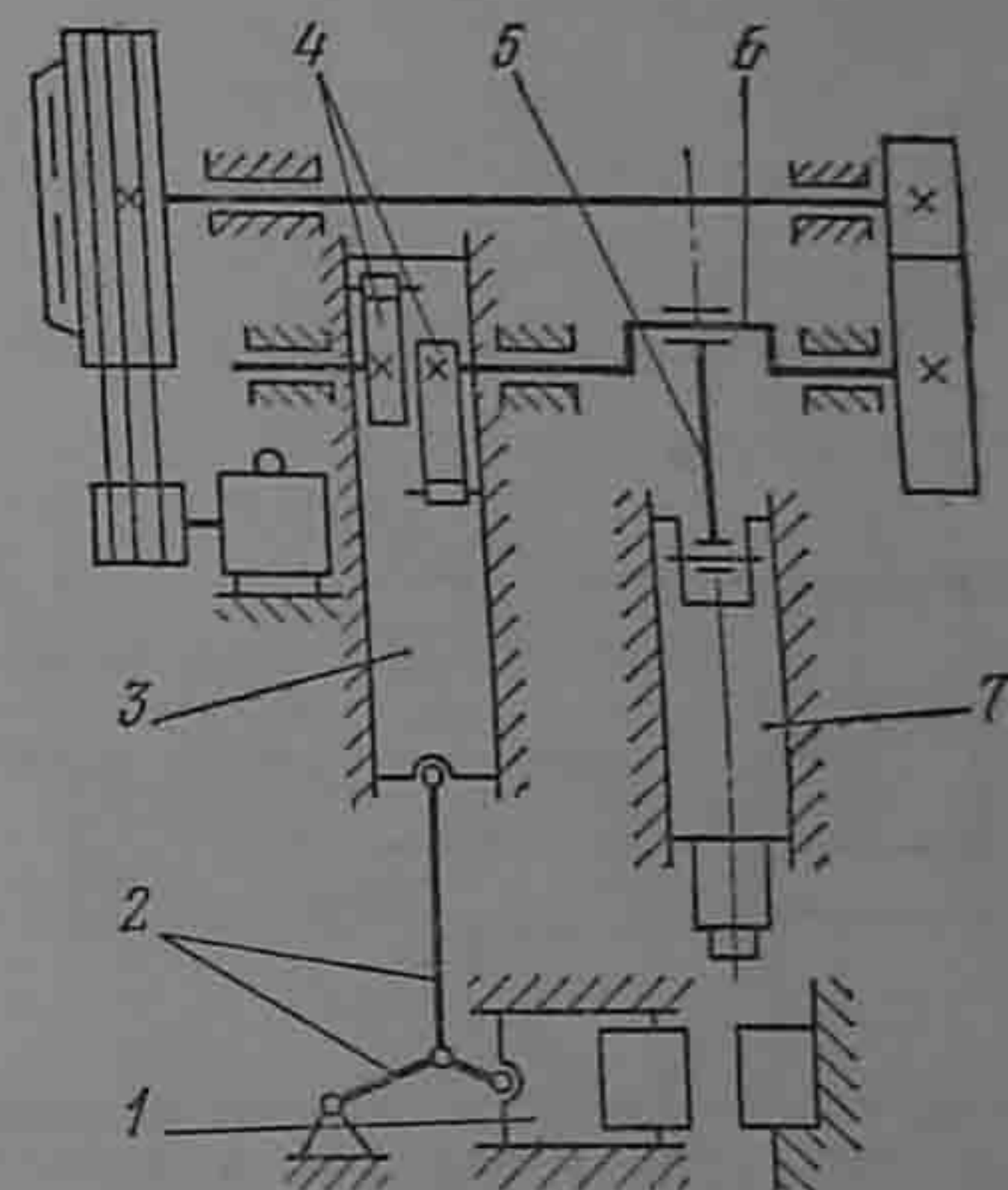


Рис. III.39. Кинематическая схема горизонтально-ковочной машины

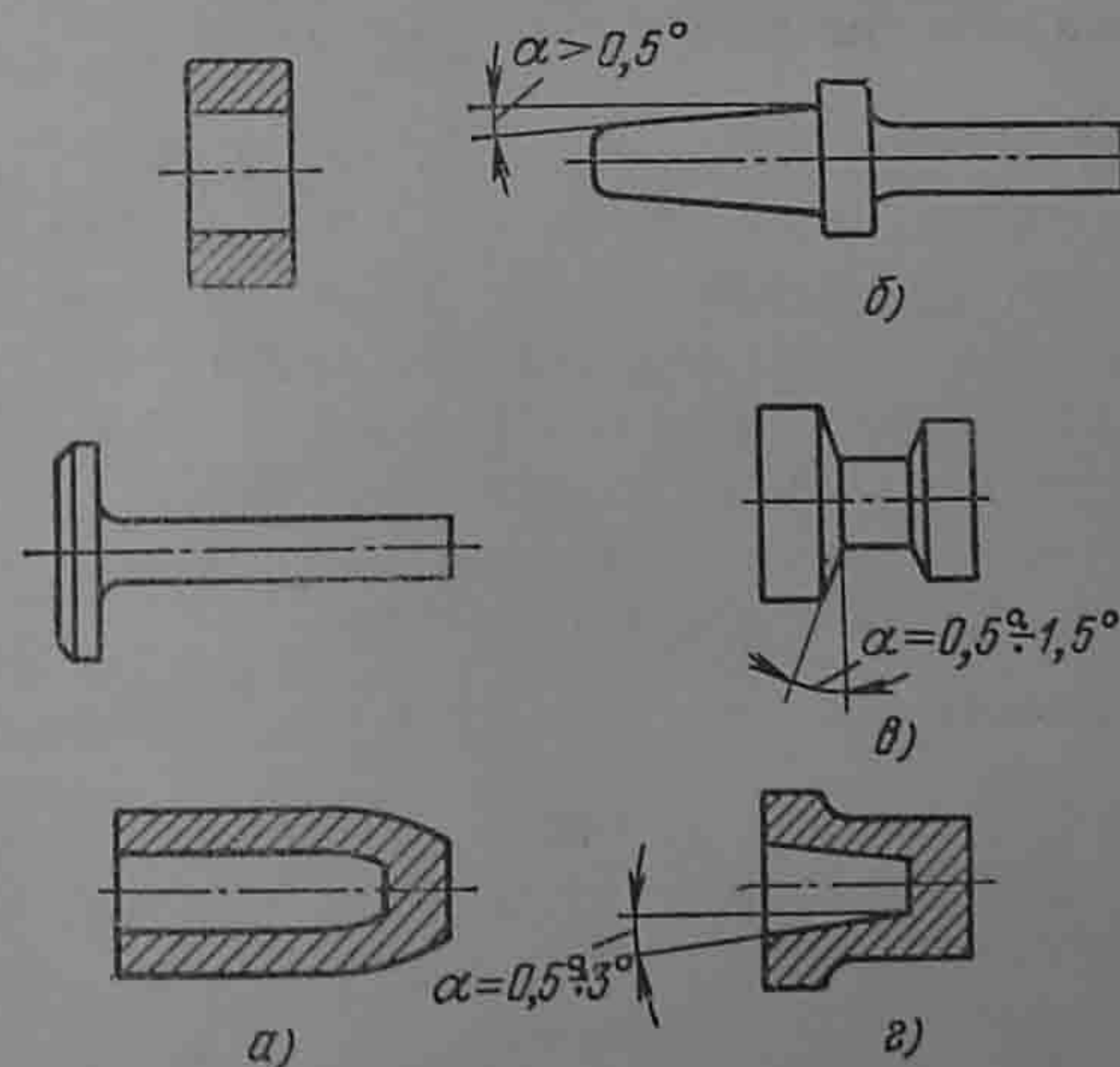


Рис. III.40. Поковки, штампуемые на горизонтально-ковочных машинах

Основными операциями при штамповке на горизонтально-ковочных машинах являются высадка (см. рис. III.38, а), прошивка (см. рис. III.38, б) и пробивка (см. рис. III.38, в). Чертеж поковки составляют с учетом специфических особенностей штамповки на горизонтально-ковочной машине.

Штамповочные уклоны предусматривают: на цилиндрических участках длиной более половины диаметра, высаживаемых в полости пуансона, не менее 0,5° (рис. III.40, б); на буртиках (рис. III.40, в), формируемых в глубоких круговых впадинах матриц, 0,5—1,5°; в глубоких сквозных полостях, прошиваемых пуансоном, 0,5—3° (рис. III.40, г).

как если усилие прессы окажется недостаточным, может произойти его поломка. Существуют аналитические, экспериментально проверенные формулы для определения усилия штамповки с достаточной степенью точности.

Отсутствие ударных нагрузок при работе кривошипного прессы позволяет применять на нем сборные штампы. Сборный штамп состоит из отдельных вставок с соответствующими ручьями; вставки закрепляют в специальных обоймах (башмаках) с направляющими колонками и втулками.

Благодаря наличию выталкивателей на прессах удобно штамповать в закрытых штампах, выдавливанием и прошивкой.

Горизонтально-ковочные машины. Эти машины имеют штампы, состоящие из трех частей (рис. III.38): неподвижной матрицы 3, подвижной матрицы 5 и пуансона 1, размыкающихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Пруток 4 с нагретым участком на конце его закладывают в неподвижную матрицу 3. Положение конца прутка определяется упором 2. При включении машины подвижная матрица 5 прижимает пруток к неподвижной

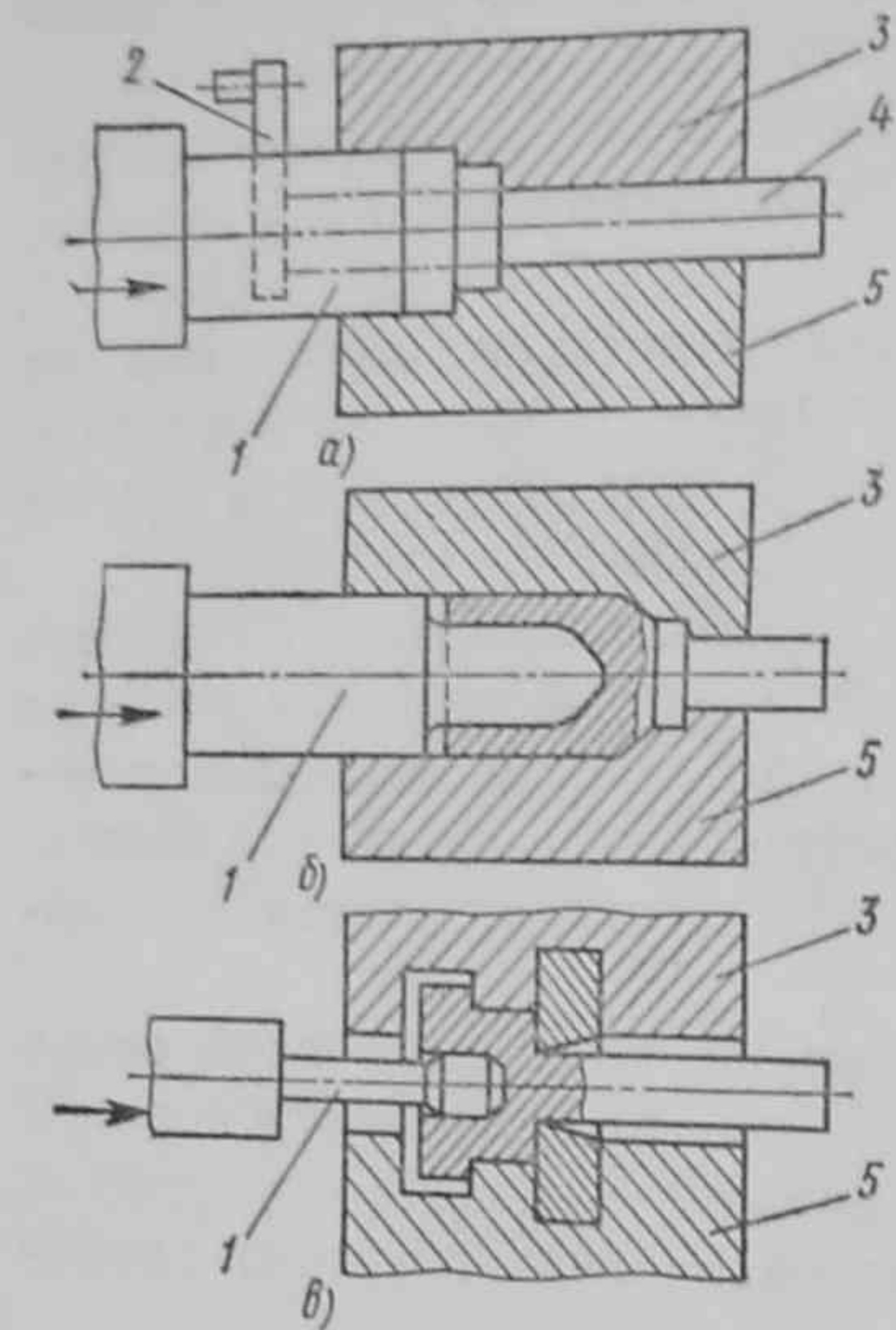


Рис. III.38. Схемы основных операций при штамповке на горизонтально-ковочной машине

матрице, упор 2 автоматически отходит в сторону, и только после этого пуансон 1 соприкасается с выступающей частью прутка и деформирует ее. Металл при этом заполняет формующую полость в матрицах, расположенную впереди зажимной части. Формующая полость может находиться не только в одной матрице, но и совместно в матрице и пуансоне, а также только в одном пуансоне.

После окончания деформирования пуансон движется в обратном направлении, выходя из полости матриц; матрицы разжимаются, и деформированную заготовку вынимают или она выпадает из них. Штамповку на горизонтально-ковочной машине можно выполнять за несколько переходов в отдельных ручьях, оси которых расположены горизонтально одна над другой. Каждый переход осуществляется за один рабочий ход машины.

Кинематическая схема горизонтально-ковочной машины дана на рис. III.39. Главный ползун 7, несущий пуансон, приводится в движение от кривошипного вала 6 с помощью шатуна 5. Подвижная щека 1 приводится от бокового ползуна 3 системой рычагов 2;

боковой ползун, в свою очередь, — кулачками 4, сидящими на конце кривошипного вала машины. Горизонтально-ковочные машины строят усилием на главном ползуне до 31,5 МН.

На горизонтально-ковочных машинах в основном штампуют поковки типа стержня с фланцем, кольца или стакана (рис. III.40, а). Причем некоторые поковки, например типа стержня с фланцем на другом оборудовании рационально изготовить нельзя. Так как штамп состоит из трех частей, напуски на поковках и штамповочные уклоны малы или отсутствуют.

Точность поковок и производительность штамповки не ниже, чем у кривошипных горячештамповочных прессы. Наряду с указанными преимуществами, горизонтально-ковочные машины имеют такие недостатки, как меньшую универсальность (по сравнению с молотами и прессами), высокую стоимость (в 1,5 раза выше, чем стоимость кривошипных горячештамповочных прессы).

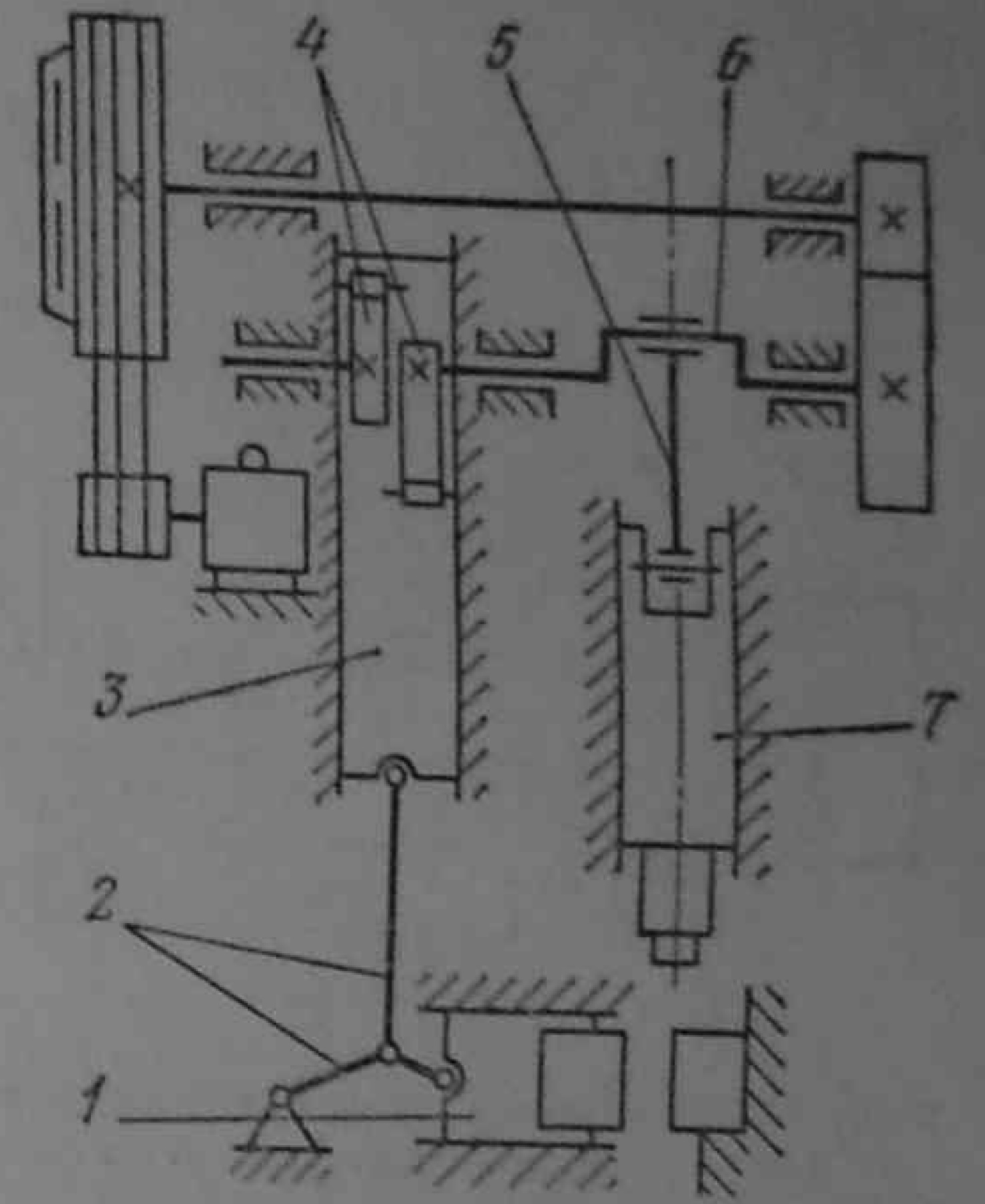


Рис. III.39. Кинематическая схема горизонтально-ковочной машины

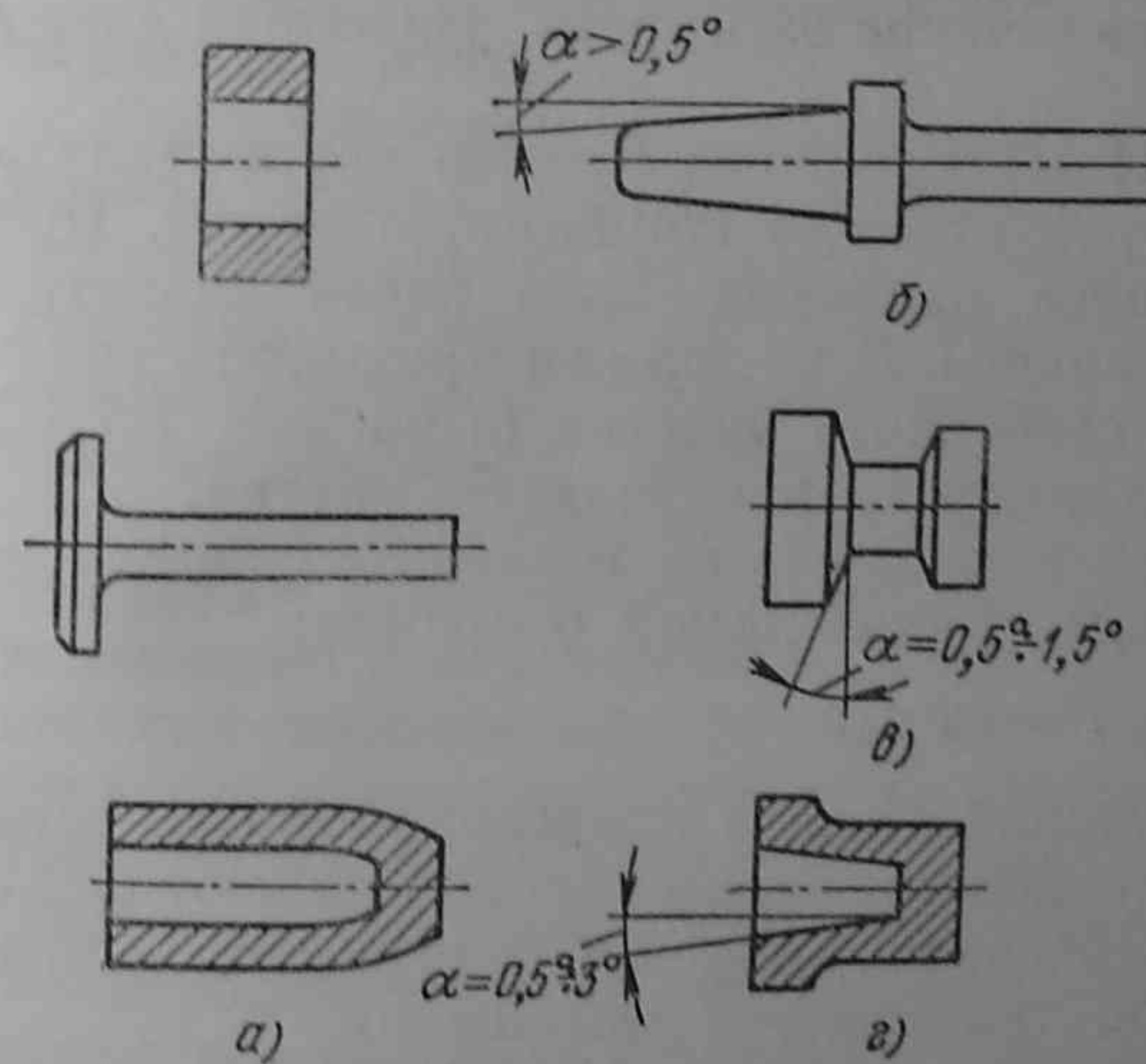


Рис. III.40. Поковки, штампуемые на горизонтально-ковочных машинах

менее $0,5^\circ$ (рис. III.40, б); на буртиках (рис. III.40, в), формируемых в глубоких круговых впадинах матриц, $0,5-1,5^\circ$; в глубоких сквозных полостях, прошиваемых пуансоном, $0,5-3^\circ$ (рис. III.40, г).

Основными операциями при штамповке на горизонтально-ковочных машинах являются высадка (см. рис. III.38, а), прошивка (см. рис. III.38, б) и пробивка (см. рис. III.38, в).

Чертеж поковки составляют с учетом специфических особенностей штамповки на горизонтально-ковочной машине.

Штамповочные уклоны предусматривают: на цилиндрических участках длиной более половины диаметра, высаживаемых в полости пуансона, не

разупрочняющих процессов во время деформации. Температура нагрева рабочей зоны установки и штампов, изготавливаемых из жаропрочного сплава (ЖСБ-К), может достигать 900 °С. Нагревают индукторами, встроенными в установку.

Изотермическая штамповка значительно повышает пластичность деформируемого сплава и снижает усилия деформирования.

6. Специализированные процессы получения поковок и заготовок

Штамповка на ковочных вальцах (вальцовка). Эта штамповка напоминает продольную прокатку в одной рабочей клети, на двух валках которой закрепляют секторные штампы, имеющие соответствующие ручки (рис. III.43, а).

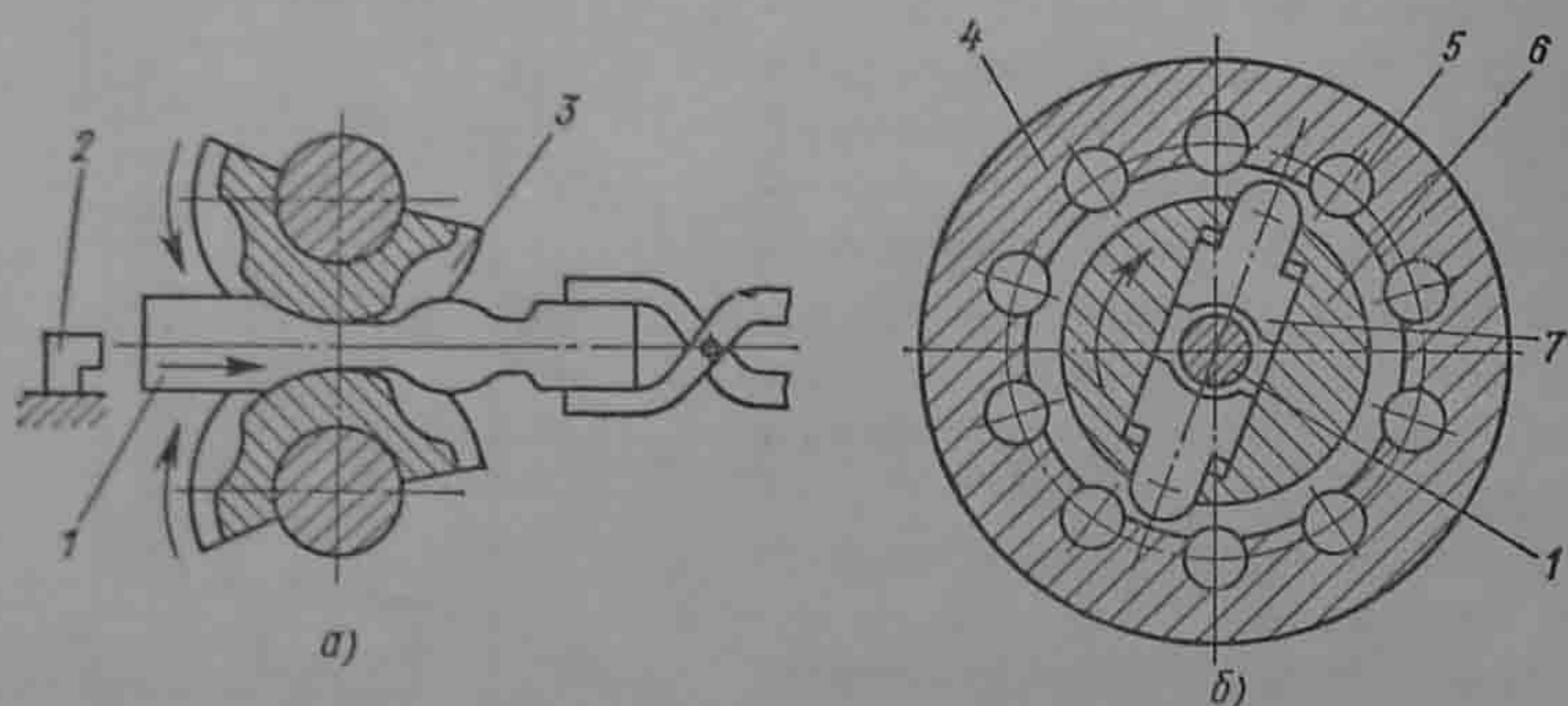


Рис. III.43. Схемы действия ковочных вальцов (а) и ротационно-ковочной машины (б)

Нагретую заготовку 1 подают до упора 2 в тот момент, когда секторные штампы 3 расходятся. При повороте валков происходит захват заготовки и обжатие ее по форме полости; одновременно с обжатием заготовка выталкивается в сторону подачи.

На вальцах изготавливают поковки сравнительно несложной конфигурации, типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т. п. Кроме того, на вальцах фасонируют заготовки для последующей штамповки, чаще всего на кривошипных горячештамповочных прессах.

Профилируют и штампуют на вальцах в одном или нескольких ручьях. Исходное сечение заготовки принимают равным максимальному сечению поковки, так как при вальцовке происходит главным образом протяжка.

Штамповка на ротационно-ковочных машинах. На этих машинах происходит деформирование (радиальное обжатие), подобное операции протяжки и заключающееся в местном обжатии заготовки по ее периметру. Заготовку 1 (рис. III.43, б) в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками 7 машины, находящимися в шпинделе 6. Бойки могут свободно скользить в ра-

диально расположенных пазах шпинделя. При вращении шпинделя ролики 5, помещенные в обойме 4, будут толкать бойки 7, которые наносят удары по заготовке. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. Существуют машины, у которых вместо шпинделя с бойками вращается обойма с роликами; в этом случае для возвратного движения ползунов служат пружины.

В машинах первого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения, в машинах второго — квадратного, прямоугольного и других сечений.

Типовыми поковками, изготавливаемыми радиальным обжатием, являются различного рода ступенчатые цилиндрические или конические валики, трубы с оттянутыми на конус концами и т. п.

Штамповка на горизонтально-гибочных машинах. На этих машинах изготавливают поковки гибкой в горячем и холодном состоянии, иногда с дополнительными операциями в виде пробивки отверстий. Горизонтально-гибочная машина представляет собой кривошипный горизонтальный пресс со штамповым пространством больших размеров и со значительным ходом ползуна.

Заготовка может быть в виде прутка, трубы и профильного проката. В зависимости от конфигурации поковки гибку можно осуществлять в один или несколько переходов.

Высадка на электровысадочных машинах. Высаживают с одно-

временным контактным электронагревом прутка и постепенной подачей его в зону деформации. При свободной высадке (рис. III.44) прутковая заготовка 2 упирается в торцовый опорный контакт 1 и зажимается радиальными контактами 3. За счет электросопротивления проходящему току участок заготовки между торцовым и радиальными контактами нагревается и под действием осевого усилия, приложенного к свободному концу прутка, осаживается. На радиальные контакты действует сжимающая сила, обеспечивающая надежный электрический контакт, но позволяющая перемещаться заготовке в контактах. Кроме свободной высадки, применяют высадку в матрицу, которую электрически изолируют от торцового контакта.

Электровысадкой получают головки из прутка длиной 15—20 и более его диаметров. Производительность машины ограничивается необходимостью совмещения нагрева и высадки.

Раскатка кольцевых заготовок на раскаточных машинах. Раскатка получила в промышленности особенно большое распространение при производстве колец подшипников. Схема процесса показана на рис. III.45, а. Заготовка 1 представляет собой кольцо

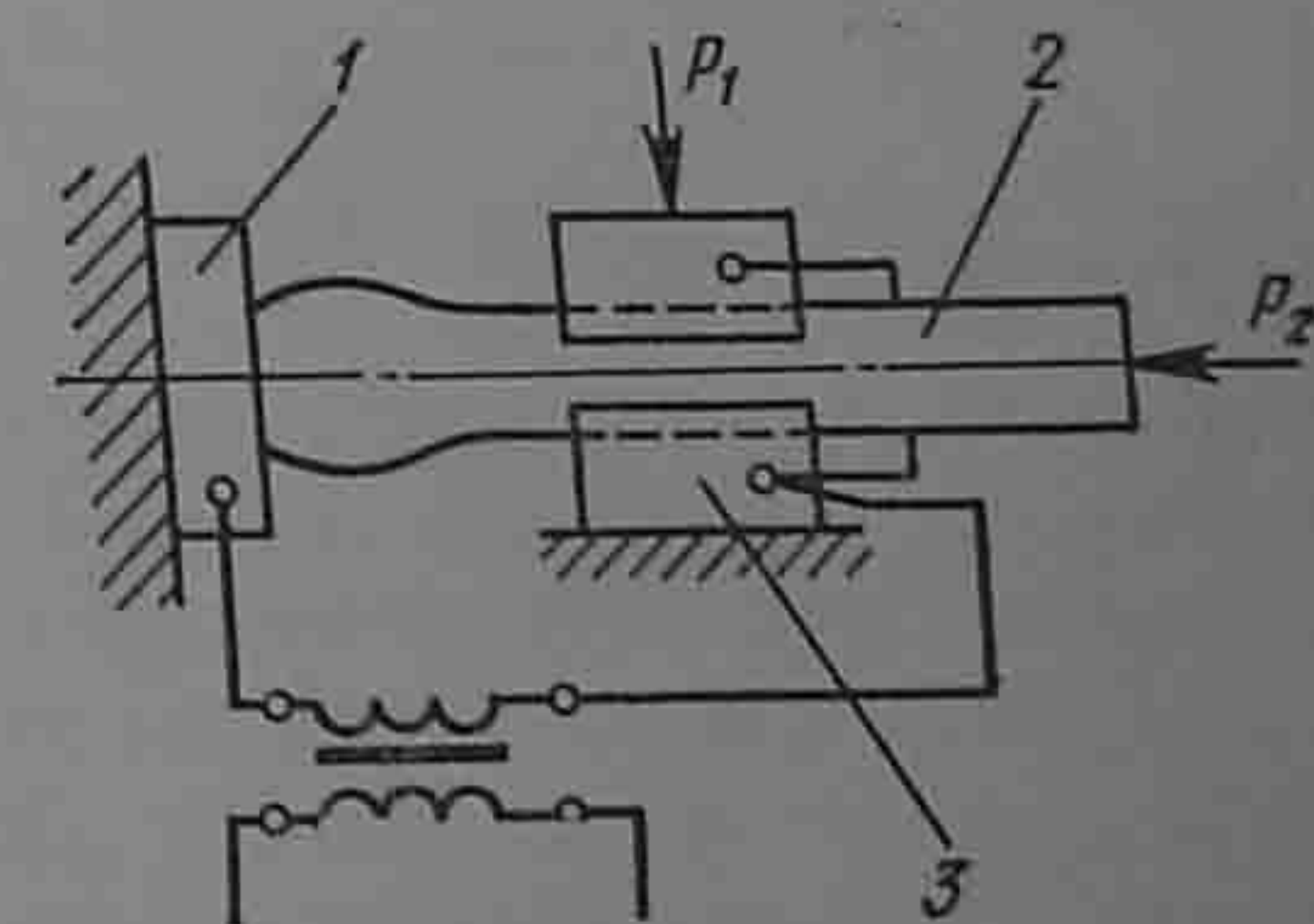


Рис. III.44. Схема высадки на электровысадочной машине

с меньшим диаметром и большей толщиной стенки, чем у поковки. При подведении к заготовке 1, надетой на валок 2, быстро вращающегося валка 3, заготовка и валок 2 начинают вращаться. При дальнейшем сближении валков 2 и 3 увеличивается наружный диаметр заготовки за счет уменьшения толщины и происходит ее контакт с направляющим роликом 4, обеспечивающим получение поковки правильной кольцевой формы. После касания поковкой контрольного ролика 5 раскатка прекращается.

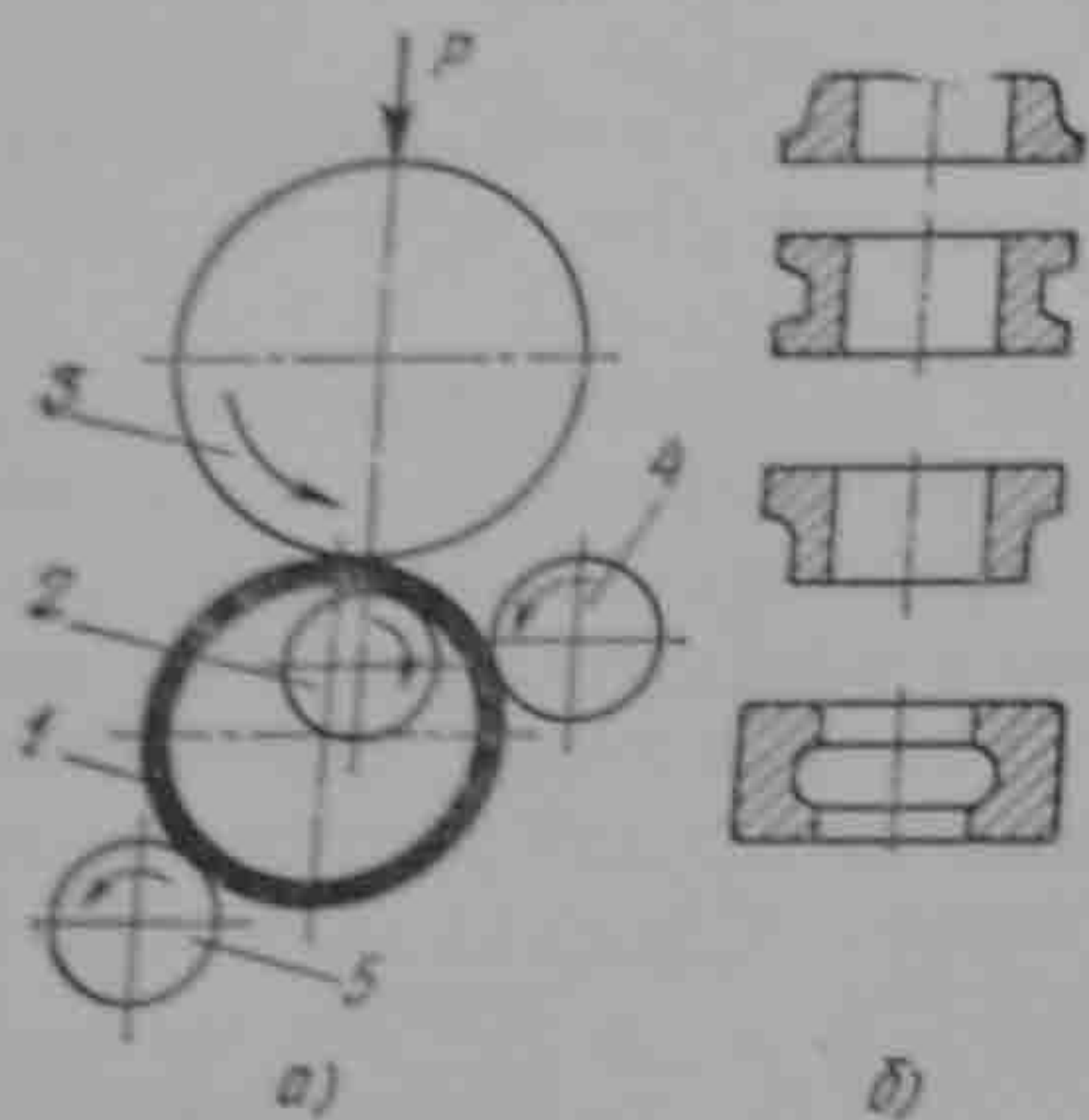


Рис. III.45. Схема раскатки (а) и раскатанные поковки (б)

Раскаткой получают поковки колец с поперечными сечениями различной формы (зависящими от профиля валков), наружным диаметром 70—700 мм и шириной 20—180 мм (рис. III.45, б). Заготовки под раскатку штампуют на горизонтально-ковочных машинах или на молотах.

Процесс горячей накатки зубчатых колес находит значительное применение, в частности, в автомобильной и тракторной промышленности. Сущность процесса заключается в обкатке нагретой штучной или прутковой заготовки в зубчатых валках.

Принципиальная схема одного из способов горячей накатки показана на рис. III.46. Поверхностный слой цилиндрической заготовки 1 нагревается током повышенной частоты с помощью индукторов 2. Зубчатый валок 4 получает принудительное вращение и радиальное перемещение под действием силы со стороны гидравлического цилиндра. Благодаря радиальному усилию зубчатый валок 4, постепенно вдавливаясь в заготовку 1, формирует на ней зубья. Ролик 3, свободно вращаясь на валу, обкатывает зубья по наружной поверхности. После прокатки прутковой заготовки ее разрезают на отдельные шестерни. Процесс осуществляют на полуавтоматических установках, например на полуавтомате для горячего накатывания зубьев конических колес диаметром 175—350 мм и модулем до 10 мм.

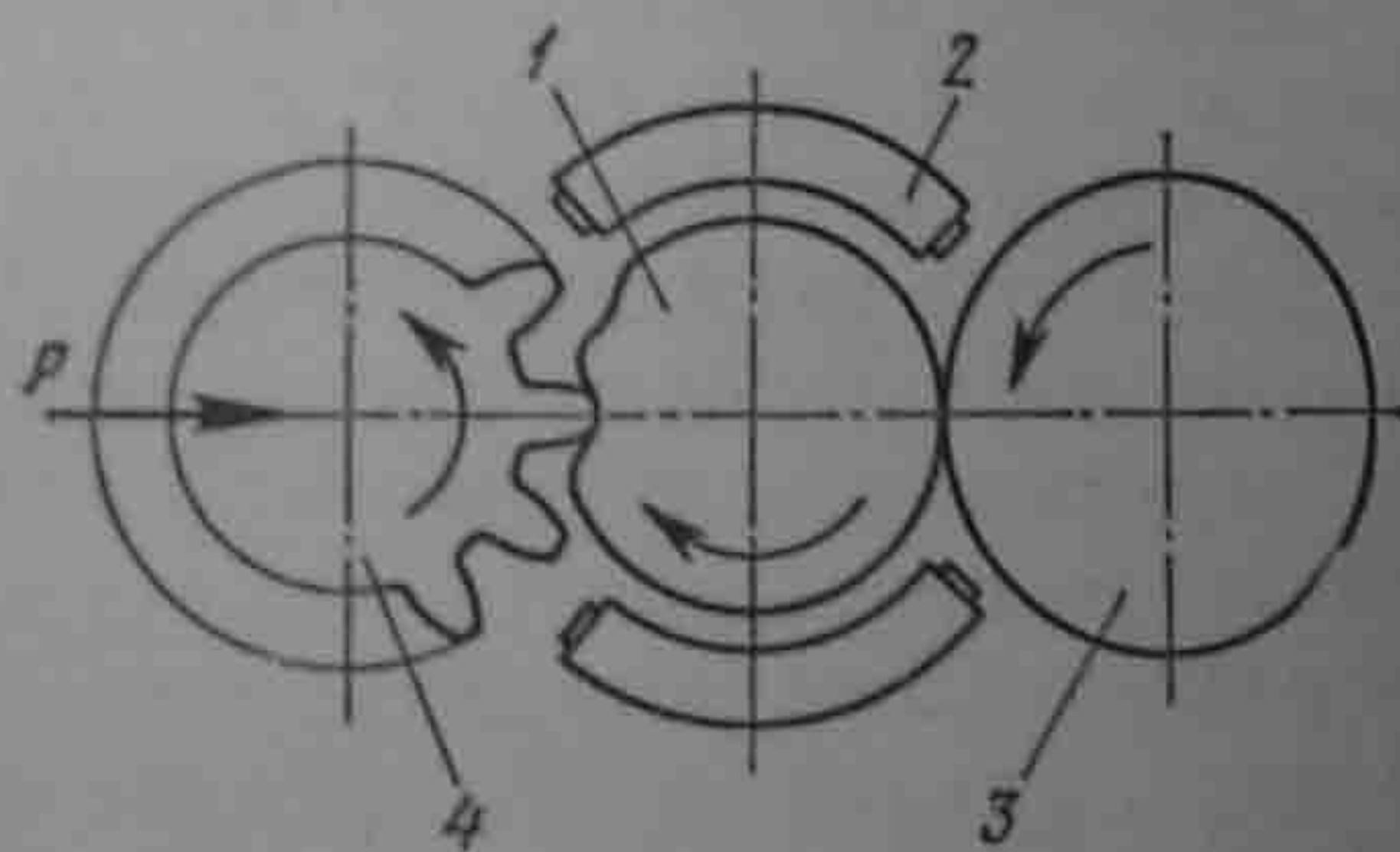


Рис. III.46. Схема горячей накатки зубьев шестерен

Изготовление зубчатых колес методом горячего накатывания повышает износостойкость и усталостную прочность зубьев на 30—50%. Это объясняется, в частности, благоприятной макроструктурой, при которой волокна обтекают контуры зубьев. Рас-

ход металла на 18—40% меньше, чем при получении зубьев на зубонарезных станках, а производительность полуавтомата для накатки выше производительности зубонарезного оборудования.

7. Вспомогательные операции горячей объемной штамповки

Общий технологический процесс изготовления поковок горячей объемной штамповкой состоит обычно из следующих этапов: отрезки проката на мерные заготовки; нагрева; штамповки; обрезки заусенца и пробивки пленок; правки; термической обработки; очистки поковок от окалины; калибровки; контроля готовых поковок. Для осуществления всех этих этапов штамповочные цехи имеют соответствующие отделения, участки и службы.

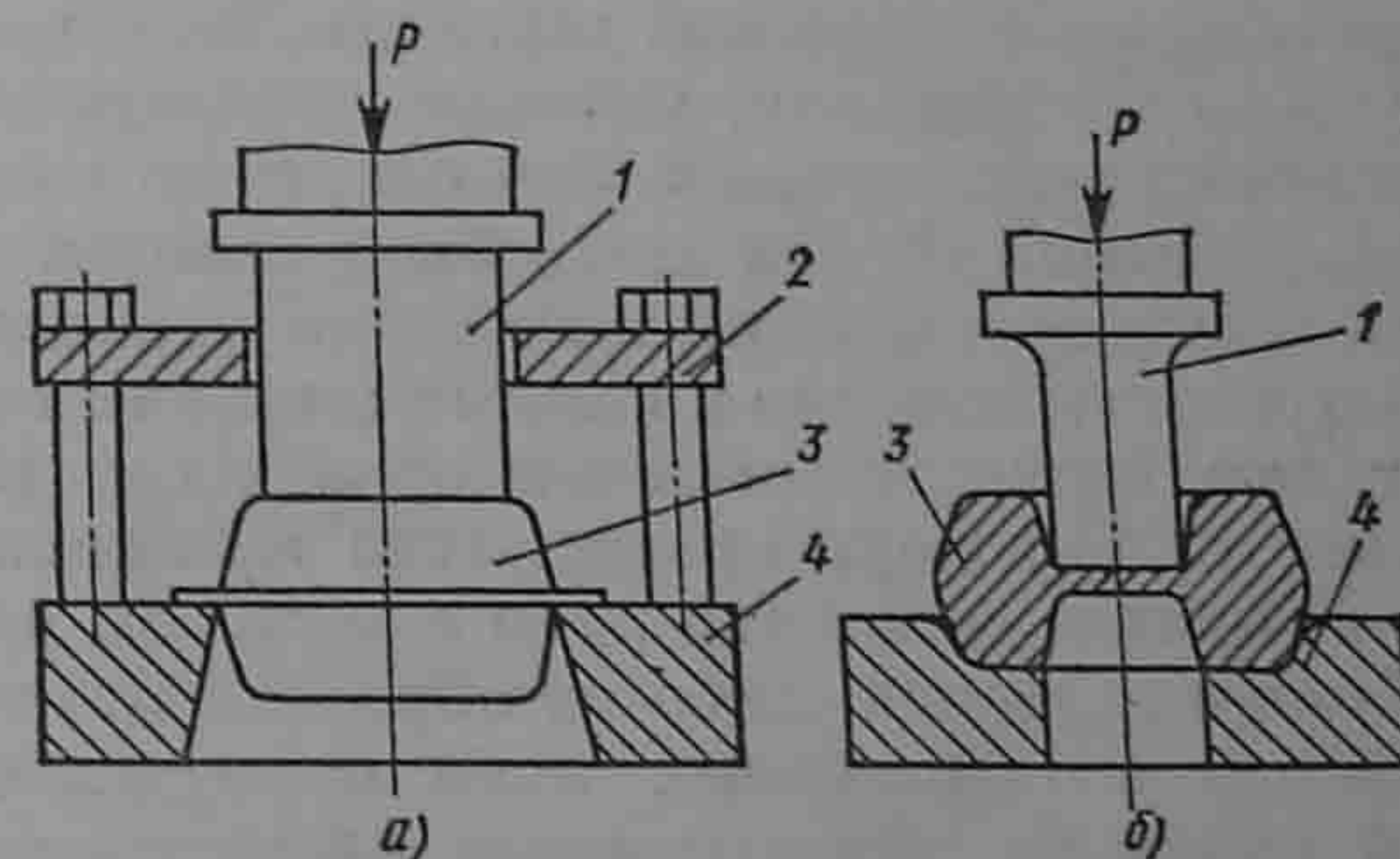


Рис. III.47. Схемы обрезки заусенца (а) и пробивки пленки (б)

Операции, которые производят с поковкой после ее штамповки, называют отделочными.

Все поковки, штампуемые в открытых штампах, имеют заусенец в плоскости разъема, а в поковках с внутренними отверстиями остаются пленки между наметками (исключая поковки, штампуемые на горизонтально-ковочных машинах).

Обрезка заусенца и пробивка пленок. Эти операции выполняют с помощью штампов, устанавливаемых на кривошипных прессах, по принципу действия аналогичных кривошипным штамповочным прессам.

На рис. III.47, а изображена схема обрезки заусенца. Поковку 3 укладывают в матрицу 4 так, что она своим заусенцем ложится на режущие кромки матрицы. При нажатии пуансоном 1 на поковку 3 режущие кромки матрицы срезают заусенец по всему периметру поковки, которая после этого проваливается вниз. Заусенец остается на матрице, а для того чтобы он не застревал на пуансоне, применяют съемник 2.

На рис. III.47, б изображена схема пробивки пленки. Поковку 3 укладывают в матрицу 4 и с помощью пуансона 1 пробивают; отход проваливается в отверстие матрицы и собирается в тору,

установленную под столом пресса. Существуют штампы совмещенного действия, в которых обрезают заусенец и пробивают пленки за один ход пресса одновременно.

Обрезку и пробивку поковок можно выполнять в холодном и в горячем состоянии: для мелких поковок из низкоуглеродистой и низколегированной сталей — в холодном состоянии. В остальных случаях обрезают заусенец и пробивают пленку сразу же после штамповки на обрезном прессе, установленном непосредственно около штамповочной машины.

Усилие пресса, необходимое для обрезки заусенца, определяют аналогично усилию вырубки при листовой штамповке (см. гл. 6 раз. III). Обычно усилие обрезного пресса не превышает 0,5 МН. Неровности среза после удаления заусенца на обрезном штампе, а также незначительные торцовые заусенцы, получающиеся при штамповке в закрытых штампах, удаляют на наждачных станках.

Правка штампованных поковок. Эту операцию выполняют для устранения искривлений осей и искажения поперечных сечений, получающихся при затрудненном извлечении поковок из штампа (вследствие застревания поковки в полости штампа), после обрезки заусенца, а также после термической обработки. Крупные поковки и поковки из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей правят в горячем состоянии либо в чистовом ручье штампа сразу после обрезки заусенца, либо на обрезном прессе (обрезной штамп совмещается с правочным), либо на отдельной машине (установленной рядом со штамповочным оборудованием).

Мелкие поковки можно править в холодном состоянии после термической обработки на специальном оборудовании (обычно на фрикционных молотах с доской) в правочных штампах, ручки которых изготовляют по чертежу холодной поковки.

Очистка поковок от окалины. Очистка облегчает условия работы режущего инструмента при последующей механической обработке, а также контроль поверхности поковок. Очистку производят несколькими способами: в барабанах, дробью, травлением.

В барабанах очищают поковки следующим образом. Поковки загружают в барабан с наклонной осью вращения, в котором находятся стальные звездочки. При вращении барабана поковки трутся и ударяются друг о друга и со звездочками, благодаря чему и происходит сбивание окалины. При очистке тяжелых поковок на их поверхности образуются забоины, поэтому таким способом их не очищают.

Дробеструйная очистка заключается в том, что дробь размером 1—3 мм с большой скоростью ударяет о поверхность поковок и сбивает с них окалину. Скорость дроби сообщает сжатый воздух в специальных аппаратах. Этим способом очищают мелко- и среднегабаритные поковки.

Травлением в водных растворах кислот, нагретых до 40—60 °С, очищают крупногабаритные поковки сложных конфигураций.

Калибровка поковок. Калибровка повышает точность размеров всей поковки или ее отдельных участков. Таким образом, последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объемную калибровку.

Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки, ограниченных горизонтальными плоскостями (рис. III.48, б). При плоскостной калибровке поковку правят в холодном состоянии на кривошипно-коленных прессах, кинематическая схема которых дана на рис. III.48, а. Механизм криво-

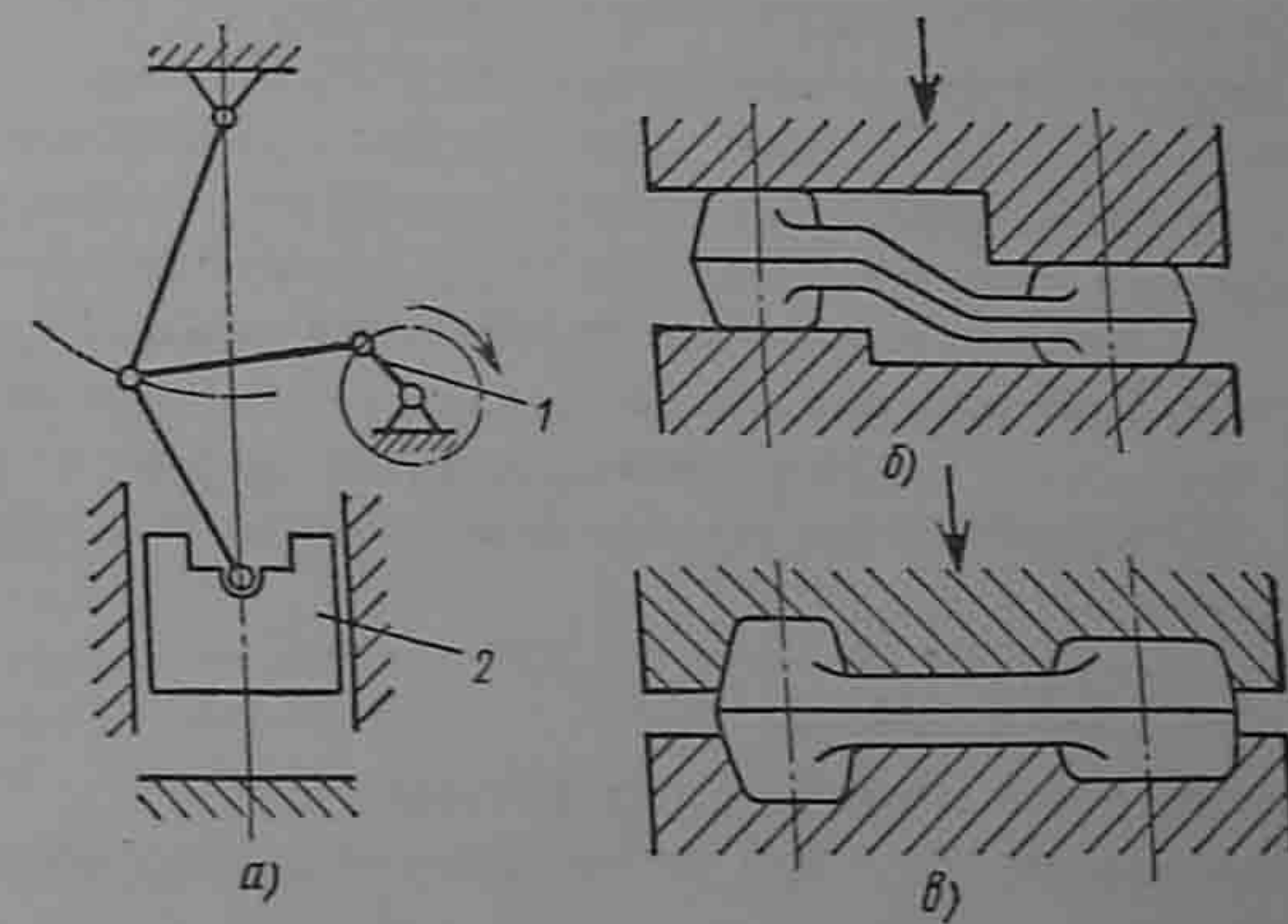


Рис. III.48. Кинематическая схема кривошипно-коленного пресса (а) и схемы плоскостной (б) и объемной (в) калибровок

шипно-коленного пресса обеспечивает получение больших усилий на ползуне 2 при сравнительно малом крутящем моменте на валу 1.

Поскольку калибруют с небольшой степенью деформации (менее 5—10%), необходимо заранее предусматривать припуск на калибровку. Причем, с увеличением припуска точность размеров после калибровки уменьшается, а качество поверхности улучшается. Обычная точность после калибровки составляет от $\pm 0,1$ до $\pm 0,25$ мм, а допуск при калибровке с повышенной точностью в 2 раза меньше.

Объемной калибровкой (рис. III.48, в) повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество ее поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки. При объемной калибровке возможно образование небольшого заусенца, который удаляют на наждачном станке. В этом случае калибровка повышает и точность массы поковки. Объемную калибровку проводят в холодном и в горячем состояниях. Холодную калибровку производят на кривошипно-коленных прессах для мелких поковок, так как уси-

лие при объемной калибровке примерно в 2 раза больше, чем при плоскостной; горячую калибровку производят при температурах более низких, чем температура конца штамповки, на штамповочном оборудовании (предпочтительнее на кривошипном горячештамповочном прессе). Точность объемной калибровки сочетают, ниже, чем плоскостной. Иногда эти виды калибровки сочетают, т. е. производят комбинированную калибровку (вначале объемную, а затем плоскостную).

Контроль качества. Контролируют не только готовые поковки, но и изготовление их на всех этапах, начиная от контроля исходных заготовок.

При контроле готовых поковок производят их внешний осмотр, выборочно измеряют геометрические размеры, твердость по Бриггсу. Размеры контролируют универсальными измерительными инструментами (штангенциркулями, штангенвысотомерами, штангенглубиномерами и др.) и специальными инструментами (скобами, шаблонами и контрольными приспособлениями). Несколько поковок из партии иногда подвергают металлографическому анализу и механическим испытаниям. Внутренние дефекты в поковках определяют ультразвуковым методом контроля и просвечиванием лучами Рентгена.

8. Технологические особенности штамповки высоколегированных сталей и труднодеформируемых сплавов

Общие особенности деформирования высоколегированных сталей и труднодеформируемых сплавов были рассмотрены в гл. 4 данного раздела. Следует иметь в виду, что при штамповке в качестве заготовок, как правило, применяют уже деформированный металл (прокатанные или прессованные прутки), имеющий более высокую пластичность, чем литой.

Заготовки от прутка из высоколегированных сталей во избежание трещин отрезают с подогревом до 400—700 °С.

Ввиду пониженной технологической пластичности высоколегированных сталей и труднодеформируемых сплавов их предпочтительнее штамповать в закрытых штампах. В этом случае схема неравномерного всестороннего сжатия проявляется полнее и в большей степени способствует повышению пластичности, чем при штамповке в открытых штампах. По этой же причине наиболее предпочтительна штамповка выдавливанием. Сплавы, у которых пластичность понижается при высоких скоростях деформирования (титановые, магниевые и др.), штампуют на гидравлических и кривошипных прессах. При этом для уменьшения остывания металла и повышения равномерности деформации штампы подогревают до 200—400 °С. Поковки из некоторых труднодеформируемых сплавов получают изотермической штамповкой.

9. Автоматизация и механизация горячей объемной штамповки

В цехах горячей объемной штамповки в значительной степени механизированы и автоматизированы операции подачи и загрузки заготовок в нагревательные устройства, их нагрева, подачи нагретых заготовок к кузнечно-прессовым машинам. Широко применяют средства механизации для перемещения заготовок, поковок и технологических отходов в виде монорельсов, поворотных столов, различных транспортеров и др.

Наиболее трудными операциями для механизации являются операции подачи и укладки заготовки в штамп, переноса ее из ручья в ручей, удаление поковки из штампа. Для некоторых из этих операций при штамповке на молотах применяют механические кантователи, поворачивающие заготовку вокруг оси в подкатных и протяжных ручьях; механические укладыватели заготовок в ручей штампа; механические съемники поковок и заусенца у обрезающих прессов. Для автоматизации штамповки на молотах создаются установки программного управления, обеспечивающие штамповку по заданному технологическому режиму.

Такие особенности кривошипных горячештамповочных прессов, как постоянство хода ползуна, безударный характер нагрузки, наличие боковых окон в станине пресса, облегчают механизацию и автоматизацию штамповки. Существуют устройства (перекладчики) для передачи поковки из чернового в чистовой ручей и удаления ее из штампа и более сложные механизмы (манипуляторы) для подачи заготовки на штамп, их последовательного перемещения из ручья в ручей и удаления поковки из штампа. Эти устройства могут приводиться в действие от коленчатого вала пресса или от его ползуна. При штамповке на горизонтально-ковочных машинах применяют различные подъемные столы и противовесы, механизующие передачу заготовки из ручья в ручей.

В цехах горячей штамповки работают комплексные автоматические линии, на которых все этапы изготовления поковки автоматизированы (например, автоматические линии по изготовлению поковок и лапанов автомобиля, подшипниковых колец, зубчатых колес с накатанными зубьями и т. п.).

1. Холодное выдавливание

Обычно под холодной штамповкой понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки, при комнатной температуре.

Для металлов и сплавов, применяемых при штамповке, такой процесс деформирования соответствует условиям холодной деформации.

Холодную штамповку можно подразделить на объемную штамповку (сортового металла) и листовую штамповку (листового металла). Такое подразделение целесообразно потому, что характер деформирования, применяемые операции и конструкции штампов для объемной и листовой штамповки довольно значительно различаются между собой. Основными разновидностями холодной объемной штамповки являются холодное выдавливание, холодная высадка и холодная объемная формовка.

Схема деформирования холодного выдавливания сходна со схемой прессования. Как и при прессовании, при холодном выдавливании заготовку помещают в полость, из которой металл может выдавливаться в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте.

В отличие от прессования заготовкой при выдавливании является обычно не слиток, а заготовка, отрезанная от прутка (реже из листового металла). Кроме того, если прессованием в основном получают профильный материал постоянного сечения по длине, то выдавливанием — детали или полуфабрикат, требующий для окончательного формирования детали дополнительных операций резания или обработки давлением. Выдавливание обычно выполняют на кривошипных или гидравлических прессах в штампах, в которых рабочими инструментами являются пуансон и матрица. Различают прямое, обратное, боковое и комбинированное выдавливание.

При прямом выдавливании (рис. III.49, а) металл вытекает в отверстие, расположенное в нижней части матрицы 2, в направлении, совпадающем с направлением движения пуансона 1 относительно матрицы. Так можно получать детали типа стержней с утолщениями (болты, тарельчатые клапаны и т. п.). При этом зазор между пуансоном и цилиндрической частью матрицы, в которой размещается исходная заготовка, берется небольшой, с тем чтобы металл не вытекал в этот зазор, образуя торцовый заусенец, требующий для удаления дополнительных операций.

Если на торце пуансона (рис. III.49, б) имеется стержень, перекрывающий отверстие матрицы до начала выдавливания, то металл выдавливается в кольцевую щель между стержнем и отверстием матрицы. В этом случае прямым выдавливанием можно получать детали типа трубки с фланцем, а если исходная заготовка

имела форму толстостенной чашечки, — то и детали в виде цоколя стакана с фланцем.

При обратном выдавливании направление течения металла противоположно направлению движения пуансона относительно матрицы. Наиболее часто встречающейся схемой обратного выдавливания является схема, при которой металл может вытекать в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей (рис. III.49, в). По такой схеме изготавливают полые детали с дном типа труб (корпуса тубиков), экранов радиоламп и т. п.

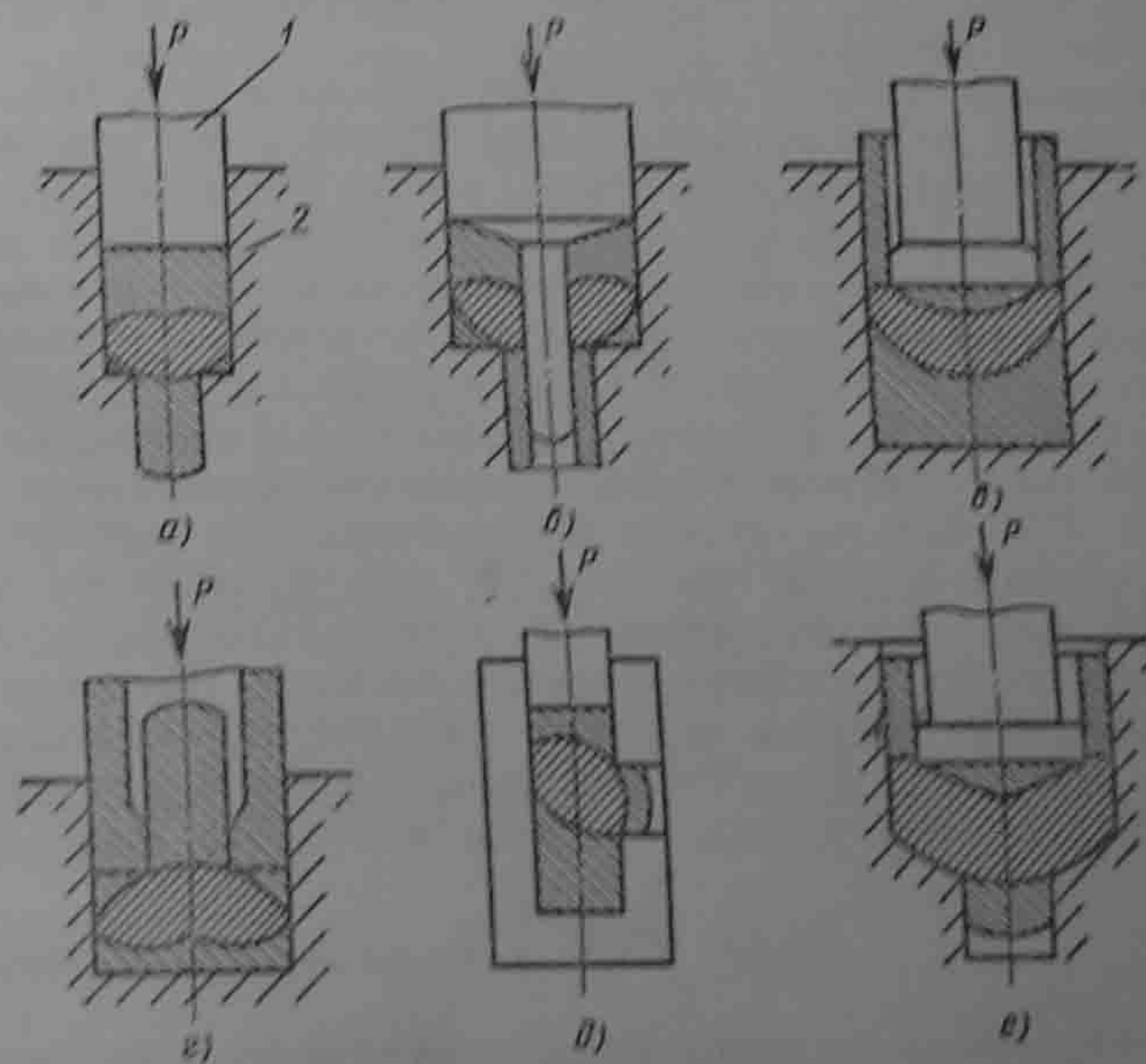


Рис. III.49. Схемы выдавливания

Реже применяют схему обратного выдавливания, при которой металл выдавливается в отверстие в пуансоне, для получения деталей типа стержня с фланцем (рис. III.49, г).

При боковом выдавливании металл вытекает в отверстие в боковой части матрицы в направлении, не совпадающем с направлением движения пуансона (рис. III.49, д). Таким способом можно получить детали типа тройников, крестовин и т. п. В этом случае, чтобы обеспечить удаление заготовки после штамповки, матрицу выполняют состоящей из двух половинок с плоскостью разреза, совпадающей с плоскостью, в которой расположены осевые линии заготовки и получаемого отрогства.

Комбинированное выдавливание характеризуется одновременным течением металла по нескольким направлениям и может быть осуществлено по нескольким из рассмотренных ранее схем холодного выдавливания. На рис. III.49, е дана схема комбинирован-

ного выдавливания, совмещающая схемы, показанные на рис. III.49, а, в, по которой обратным выдавливанием изготавливают полую, чашеобразную часть детали, а прямым — стержень, отходящий от ее донной части.

Основной положительной особенностью холодного выдавливания является возможность получения без разрушения заготовки весьма больших степеней деформации, которые можно характеризовать показателем $k = \frac{F_0}{F_1}$ (F_0 — площадь поперечного сечения исходной заготовки; F_1 — площадь поперечного сечения выдавленной части детали).

Для весьма мягких, пластичных металлов $k > 100$ (алюминиевые трубы со стенкой толщиной 0,1—0,2 мм при диаметре трубы 20—40 мм). Возможность получения столь больших степеней деформации обеспечивается тем, что пластическое деформирование при холодном выдавливании происходит в условиях всестороннего неравномерного сжатия, при котором скользящие относительно друг друга атомные слои дополнительно прижимаются один к другому, что затрудняет образование и развитие трещин. Однако то же всестороннее сжатие приводит и к отрицательным явлениям. Чем больше степень деформации, тем больше усилие деформирования, и удельные усилия, действующие на пуансон и матрицу, могут достичь значений, в несколько раз превышающих предел текучести деформируемого металла. При этом удельные усилия могут достигать величин, превышающих значения, допустимые для инструмента по условиям его прочности или стойкости. Приблизительно удельное усилие холодного выдавливания

$$q = a\sigma_B \ln \frac{F_0}{F_1},$$

где a — коэффициент, учитывающий влияние условий деформирования, условий трения и свойств металла, равный 3—5; σ_B — предел прочности.

Усилие деформирования определяют как произведение удельного усилия на площадь поперечного сечения пуансона.

Высокие удельные усилия выдавливания обычно являются тем фактором, который ограничивает допустимые степени деформации и сдерживает широкое применение этого процесса в производстве. Удельные усилия выдавливания обычно изменяются в ходе деформирования и зависят от высоты подвергающейся деформации части заготовки. При выдавливании пластическая деформация обычно охватывает не весь объем заготовки, а лишь часть его, как это схематично показано на рис. III.49. До тех пор, пока высота очага деформации меньше, чем высота деформируемой заготовки, удельные усилия по ходу пуансона обычно изменяются незначительно. Однако, когда высота деформируемой части заготовки становится меньше высоты естественного очага деформации, удельные усилия начинают интенсивно возрастать. Это

обстоятельство, в свою очередь, ограничивает допустимую (по условиям достаточной стойкости инструмента) толщину фланца или донышка штампуемой детали.

Повысить стойкость пуансонов можно, устранив резкие переходы сечений, повысив качество поверхности (все это уменьшает концентраторы напряжений), а также совершенствуя термическую обработку и, в частности, применяя термомеханическую обработку.

Для повышения стойкости, кроме указанных мероприятий, положительные результаты получают от выполнения матриц в виде центральной вставки с полостью, посаженной с натягом в обойму (бандажированные матрицы).

Однако по-прежнему актуальными являются мероприятия по уменьшению удельных усилий для выдавливания. С этой целью необходимо подбирать конфигурацию рабочих частей матриц, по возможности устраняющую образование застойных зон под торцом пуансона (рис. III.49, в) или у рабочей поверхности матрицы (рис. III.49, б). Также важно по возможности уменьшать силы трения, которые в обычных условиях выдавливания препятствуют вытеканию металла и увеличивают усилие деформирования. С этой целью для каждого типа металла (сплава) подбирают оптимальные смазки, хорошо противостоящие высоким удельным усилиям и дающие малый коэффициент трения. В частности, для холодного выдавливания стали рекомендуется предварительное фосфатирование (контактное осаждение солей фосфорной кислоты) с последующим омыливанием или нанесением тонкого слоя дисульфата молибдена на поверхность заготовки.

Для снижения удельных усилий выдавливания проводятся работы по созданию условий изменения направления сил трения, с тем чтобы они способствовали вытеканию металла из очага деформации. При обратном выдавливании этого можно достичь применением составной матрицы, состоящей из опорного стержня и подвижной обоймы, перемещающейся в направлении течения металла (обратно направлению движения пуансона) со скоростью, примерно равной скорости движения образующихся стенок относительно пуансона.

2. Холодная высадка

Холодную высадку выполняют на специальных холодновысадочных автоматах. Штампуют от прутка или проволоки. Пруток подается до упора, поперечным движением ножа отрезается заготовка нужной длины и последовательно переносится с помощью специального механизма в позиции штамповки, на которых из заготовки получают деталь.

На холодновысадочных автоматах штампуют заготовки диаметром 0,5—40 мм из черных и цветных металлов, а также детали с местными утолщениями сплошные и с отверстиями (заклепки, болты, винты, гвозди, шарики, ролики, гайки, звездочки, накидные гайки и т. п.). На рис. III.50 даны примеры деталей, получаемых на холодновысадочных автоматах, с указанием последовательности переходов. Название этих автоматов связано с тем, что основной выполняемой на них операцией является высадка (уменьшение длины части заготовки с получением местного увеличения поперечных размеров). Однако при штамповке на холодновысадочных автоматах все шире используют другие операции штамповки сортового металла, в частности операцию холодного вы-

давливания. Это расширяет номенклатуру деталей, изготавливаемых на холодновысадочных автоматах.

Штамповкой на холодновысадочных автоматах обеспечивается достаточно высокая точность размеров и хорошее качество поверхности, вследствие чего некоторые детали не требуют последующей обработки резанием. Так, в частности, изготавливают метизные изделия (винты, болты, шпильки), причем и резьбу получают на автоматах обработкой давлением: накаткой.



Рис. III.50. Последовательность переходов изготовления деталей на холодновысадочных автоматах:

а — винта; б — шайба; в — оси

Штамповка на холодновысадочных автоматах высокопроизводительна: 20—400 деталей в минуту (большая производительность для деталей меньших размеров). Штамповка на холодновысадочных автоматах характеризуется высоким коэффициентом использования металла (малыми отходами). Средний коэффициент использования металла $\sim 95\%$ (только 5% металла идет в отход).

3. Холодная формовка

Холодная формовка (холодная штамповка в открытых штампах) заключается в придании заготовке формы детали путем заполнения полости штампа металлом заготовки. Схема холодной формовки аналогична схеме горячей объемной штамповки, показанной на рис. III.29, а.

Объем образующегося заусенца возрастает с увеличением различия в конфигурациях заготовки и полостей штампа. После штамповки в открытом штампе заусенец обрезают в специальном штампе.

Холодная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе

деформирования. Упрочнение способствует также уменьшению пластичности. При холодной формовке оформление детали обычно расчленяют на переходы, последовательно изменяющие форму заготовки.

Для уменьшения вредного влияния упрочнения между отдельными переходами заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Отжиг снижает удельные усилия при штамповке на последующих переходах и повышает пластичность металла, что уменьшает опасность разрушения заготовки в процессе деформирования и увеличивает допустимую степень деформации.

Обычно каждый последующий переход осуществляют в специальном штампе, хотя в отдельных случаях несколько переходов выполняют в одном штампе. В последнем случае между переходами обрезают заусенец, что уменьшает усилия деформирования и повышает точность размеров штампованных деталей. Холодную формовку обычно осуществляют в открытых штампах, так как в этом случае удельные усилия меньше, чем при штамповке в закрытых штампах (возможность вытекания металла в заусенец облегчает деформирование). В закрытых штампах в условиях холодной деформации штампуют реже и главным образом детали из цветных металлов.

Холодной формовкой можно изготавливать пространственные детали сложных форм (сплошные и с отверстиями). Холодная формовка обеспечивает также получение деталей со сравнительно высокими точностью размеров и качеством поверхности. Это уменьшает объем обработки резанием или даже исключает ее. Так как в открытых штампах штампуют обычно однократным деформированием (за один ход ползуна пресса), то холодная формовка (даже при использовании нескольких переходов со своими штампами) характеризуется большей производительностью труда по сравнению с обработкой резанием. Однако, учитывая, что изготовление штампов трудоемко и дороже изготовления инструмента, используемого при обработке резанием, холодную формовку следует применять лишь при достаточно большой серийности производства.

Силы трения при холодной формовке обычно затрудняют деформирование, увеличивают удельные усилия деформирования. Поэтому холодную формовку обычно ведут со смазкой.

Рекомендации по конструированию деталей применительно к изготовлению их холодной формовкой сходны с рекомендациями, приведенными для ранее рассмотренной объемной штамповки. Отметим, что допустимые углы наклона и радиусы скруглений обычно меньше, чем углы наклона и радиусы скруглений при горячей штамповке.

4. Холодная листовая штамповка

Общие положения. В качестве заготовки при листовой штамповке используют полученные прокаткой лист, полосу или ленту, свернутую в рулон. Толщина заготовки при холодной штамповке

обычно не более 10 мм и лишь в отдельных случаях — более 20 мм. Обычно штампуют детали из заготовок толщиной более 20 мм с нагревом до ковочных температур (горячая листовая штамповка), что позволяет значительно уменьшить усилие деформирования по сравнению с холодной штамповкой. Штампы и применяемые операции при горячей и холодной листовой штамповке сходны, но не аналогичны. Холодная листовая штамповка получила более широкое применение, чем горячая.

Листовой штамповкой изготавливают самые разнообразные плоские и пространственные детали массой от долей грамма и размерами, исчисляемыми долями миллиметра (например, секундная стрелка ручных часов), и детали массой в десятки килограммов и размерами, составляющими несколько метров (облицовка автомобиля, самолета, ракеты).

Для деталей, получаемых листовой штамповкой, характерно то, что толщина их стенок обычно незначительно отличается от толщины исходной заготовки. При изготовлении листовой штамповкой пространственных деталей заготовка обычно испытывает значительные пластические деформации. Это обстоятельство вынуждает предъявлять к материалу заготовки достаточно высокие требования по пластичности.

Способность металла пластически деформироваться в условиях листовой штамповки определяют специальными испытаниями. Наиболее распространенными испытаниями листового металла являются испытания на растяжение (определение предела прочности, предела текучести, относительного удлинения до появления шейки, относительного уменьшения площади поперечного сечения и степени анизотропии), на вдавливание (определение глубины лунки, выдавленной скругленным пуансоном в части заготовки, противостоящей отверстию матрицы, до появления трещины), технологические испытания на изгиб с перегибом (определение числа изгибов до разрушения заготовки) и на вытяжку (определение наибольшего диаметра кружка, который можно протянуть через матрицу определенного диаметра без разрушения заготовки).

Наиболее распространенными металлами и сплавами при листовой штамповке являются низкоуглеродистая сталь, пластичные легированные стали, медь, латунь, содержащая свыше 60% Cu, алюминий и его сплавы, магниевые сплавы, титан и др.

Листовой штамповкой получают плоские и пространственные детали из листовых неметаллических материалов, таких как кожа, целлулоид, органическое стекло, фетр, текстолит, гетинакс и др. Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно в таких как авто- и тракторостроение, самолетостроение и ракетостроение, приборостроение, электротехническая промышленность и др.

К достоинствам листовой штамповки относятся следующие: возможность получения деталей минимальной массы при заданной их прочности и жесткости; достаточно высокая точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить отделочные операции обработки резанием;

сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность: 30—40 тыс. деталей в смену с одной машины;

хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически целесообразной и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Как правило, при листовой штамповке пластические деформации получает лишь часть заготовки. Условимся называть очагом деформации ту часть заготовки, которая в данный момент пластически деформируется. Для получения деталей самых разнообразных форм требуется поочередно деформировать различные участки заготовки. Операцией листовой штамповки называется процесс пластической деформации, обеспечивающий характерное изменение формы определенного участка заготовки. Различают формо-

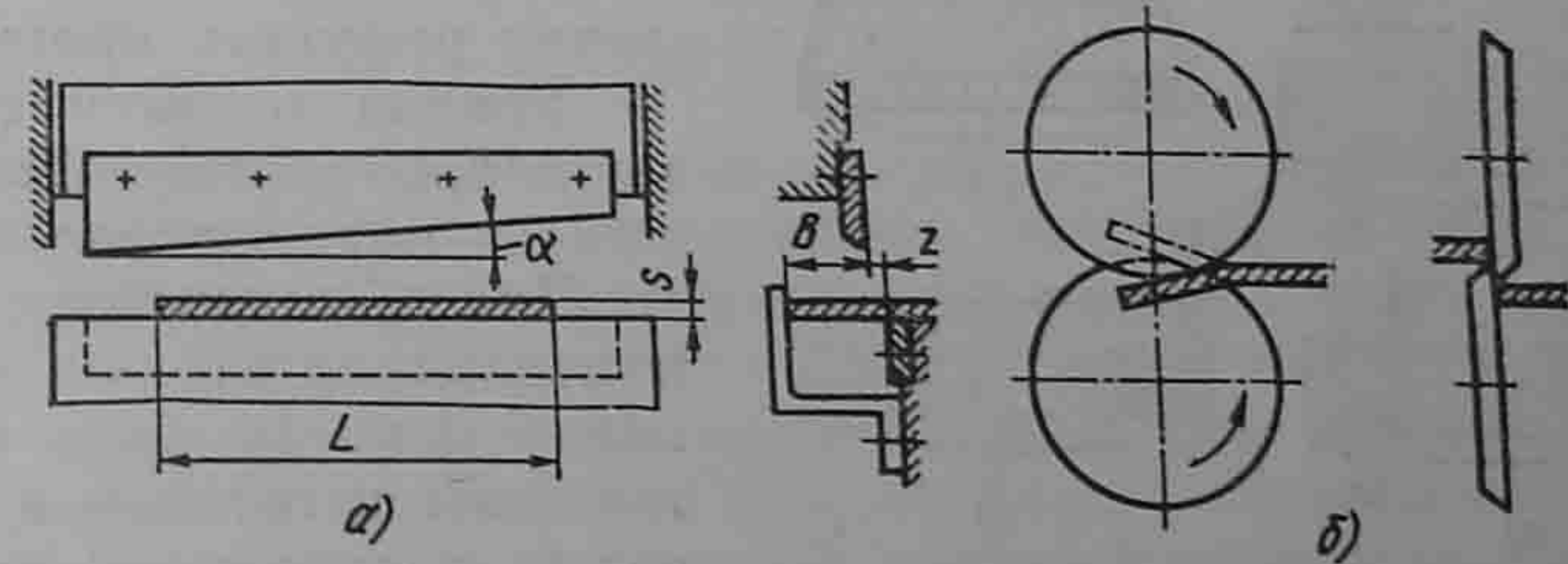


Рис. III.51. Схемы действия ножниц:
а — гильотинных; б — дисковых

изменяющие операции, в которых заготовка не должна разрушаться в процессе деформирования, и разделительные операции, в которых этап пластического деформирования обязательно завершается разрушением.

При проектировании технологического процесса изготовления деталей листовой штамповкой основной задачей является выбор наиболее рациональных операций и последовательности их применения, позволяющих получить детали с заданными служебными свойствами при минимальной себестоимости и хороших условиях труда.

Операции листовой штамповки. Рассмотрим основные разделительные операции листовой штамповки: отрезку, вырубку, пробивку и другие операции.

Отрезка — отделение части заготовки по незамкнутому контуру на специальных машинах — ножницах и в штампах. Отрезку чаще применяют как заготовительную операцию, дающую разделение листа на полосы заданной ширины. Основными типами ножниц являются ножницы с поступательным движением режущих кромок ножа (рис. III.51, а) и с вращательным движением режущих кромок — дисковые ножницы (рис. III.51, б). Для уменьшения усилия резания режущие кромки в ножницах с поступатель-

ным движением ножа обычно наклонены друг к другу под углом $1-5^\circ$ (гильотинные ножницы). Лист подают до упора, определяющего ширину отрезаемой полосы B . Длина отрезаемой полосы L не должна превышать длины ножей.

При отрезке на дисковых ножницах длина отрезаемой полосы не ограничивается инструментом, а вращение дисковых ножей обычно обеспечивает не только разделение, но и подачу заготовки действием сил трения. Прямолинейность линии отрезки на дисковых ножницах обеспечивается соприкосновением разделяемых частей заготовки с плоскими поверхностями ножа и тем, что режущие кромки ножей заходят одна за другую.

Качество поверхности среза зависит от правильного выбора и установки зазора z между режущими кромками [$z = (0,03 \div 0,05) s$, где s — толщина листа] и отсутствия притупления режущих кромок.

Усилие отрезки пропорционально срезаемой в данный момент площади заготовки.

Для обеспечения захвата и подачи заготовки диаметр ножей должен быть больше толщины заготовки в 30—70 раз (в зависимости от коэффициента трения, с уменьшением которого диаметр ножей следует увеличивать).

В ы р у б к а и п р о б и в к а. Характер деформирования заготовки для этих операций одинаков, отличаются они только назначением. Вырубкой оформляют наружный контур детали (или заготовки для последующего деформирования), а пробивкой — внутренний контур (изготовление отверстий).

Вырубку и пробивку обычно осуществляют металлическими пуансоном и матрицей. Пуансон выдавливает часть заготовки в отверстие матрицы. В начальной стадии деформирования происходит врезание режущих кромок в заготовку и смещение одной части заготовки относительно другой без видимого разрушения (рис. III.52, а).

При определенной глубине внедрения режущих кромок в заготовку (возрастающей с увеличением пластичности металла) у режущих кромок зарождаются трещины, быстро развивающиеся в толщину заготовки. Трещины эти наклонены к оси инструмента под углом $4-6^\circ$; если эти трещины встречаются, то поверхность среза получается сравнительно гладкой (рис. III.52, б), состоящей из блестящего пояска, соответствующего внедрению режущих кромок до появления трещин, и наклонной шероховатой поверхности разрушения в зоне прохождения трещин.

Возможность совпадения трещин, идущих от режущих кромок пуансона и матрицы, зависит от правильного выбора зазора между пуансоном и матрицей. Зазор z назначается в зависимости от толщины и механических свойств заготовки и приблизительно составляет $(0,05 \div 0,1) s$.

При малом зазоре трещины не встречаются, и на поверхности среза появляются пояски вторичного среза (рис. III.52, в), ухудшающие ее качество и способствующие разрушению заготовки при последующем деформировании и при работе детали.

При вырубке размеры отверстия матрицы равны размерам изделия, а размеры пуансона на $2z$ меньше их. При пробивке размеры пуансона равны размерам отверстия, а размеры матрицы на $2z$ больше их.

Усилие вырубki и пробивки при параллельных плоских рабочих торцах пуансона и матрицы

$$P = Ls\sigma_B,$$

где L — периметр изделия или отверстия.

В отдельных случаях желательно получить гладкую поверхность среза, перпендикулярную к плоскости заготовки; для этого необходимо увеличить высоту блестящего пояска. Частично этого можно достичь, притупляя одну из режущих кромок (матрицы при вырубке и пуансона — при пробивке). В этом случае развивается одна трещина от острой режущей кромки, а инструмент с притупленной кромкой сглаживает поверхность среза, уменьшая высоту шероховатого пояска.

Более качественную поверхность среза получают вырубкой со сжатием, при которой заготовка со значительным усилием прижимается к торцу пуансона и к рабочей плоскости матрицы. Увеличение сжимающих напряжений в зоне резания повышает пластичность и уменьшает возможность образования трещин, дающих шероховатую поверхность среза.

Качество поверхности среза улучшают также зачисткой, которая заключается в срезании стружки небольшой толщины ($0,1-0,3$ мм) по контуру детали или отверстия (матрицей или пуансоном).

Кроме рассмотренных разделительных операций, в технологии листовой штамповки применяют и другие, такие как надрезка (частичное отделение части заготовки по незамкнутому контуру, причем разделяемые части не теряют связи между собой) и обреза (отделение краевой части полого изделия для обеспечения заданной, постоянной по периметру высоты детали или отделение краевой части плоского фланца для получения заданной формы и размеров).

Характер деформирования заготовки для этих операций аналогичен рассмотренному ранее.

Г и б к а — операция, изменяющая кривизну заготовки практически без изменения ее линейных размеров. Схема формоиз-

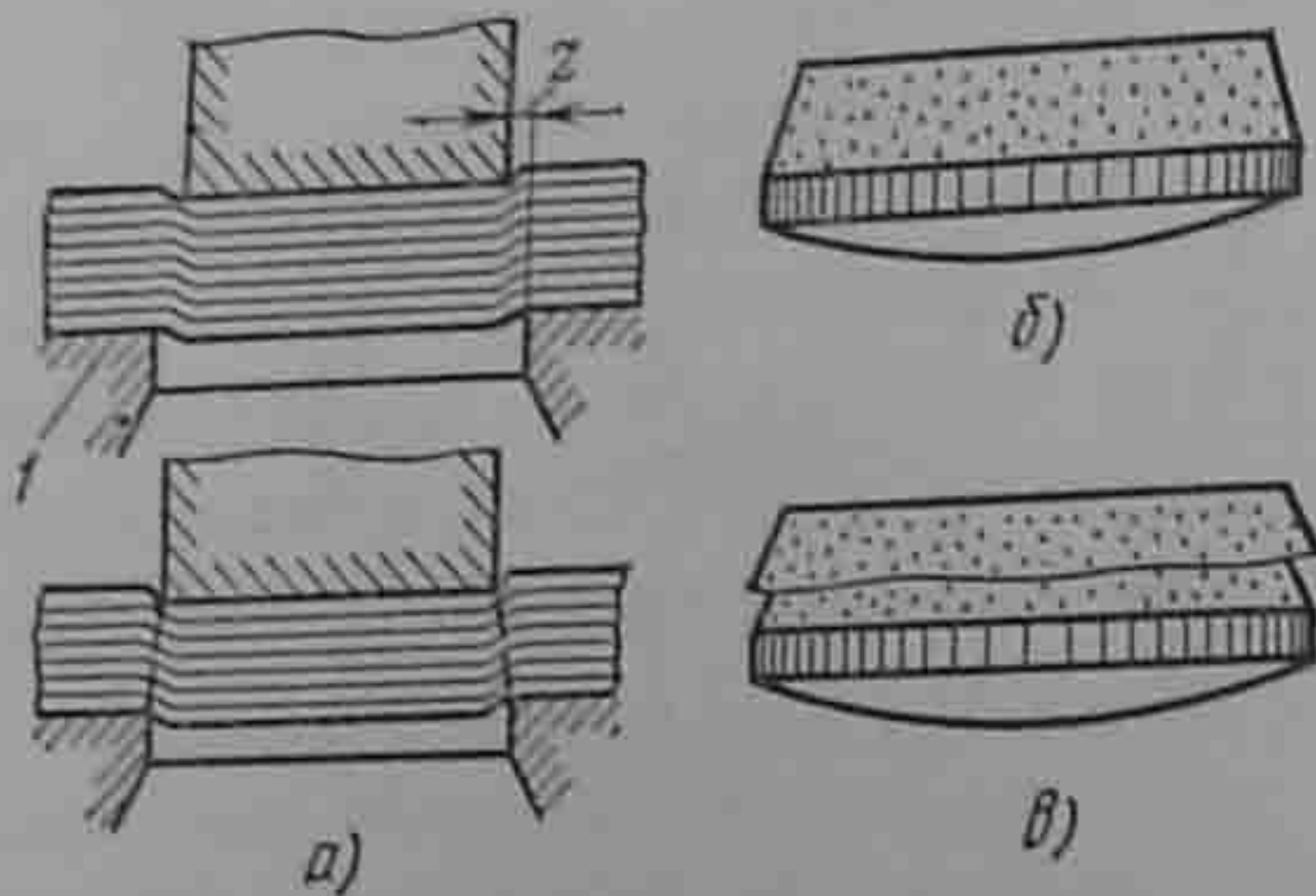


Рис. III.52. Последовательность деформирования при вырубке (а) и характер среза при нормальном (б) и при малом (в) зазорах:

1 — матрица; 2 — пуансон

нения заготовки при гибке приведена на рис. III.53, а. В процессе гибки пластическая деформация сосредоточивается на узком участке, контактирующем с пуансоном, в то время как участки, образующие полки детали, деформируются упруго. В зоне пластических деформаций наружные слои растягиваются, а внутренние (обращенные к пуансону) сжимаются. У середины заготовки (по толщине) находятся слои, деформация которых равна нулю. Из сказанного следует, что с достаточной степенью точности размеры заготовки для детали, получаемой гибкой, можно определять по условию равенства длин заготовки и детали по средней линии. Деформация растяжения наружного слоя и сжатия внутреннего увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца

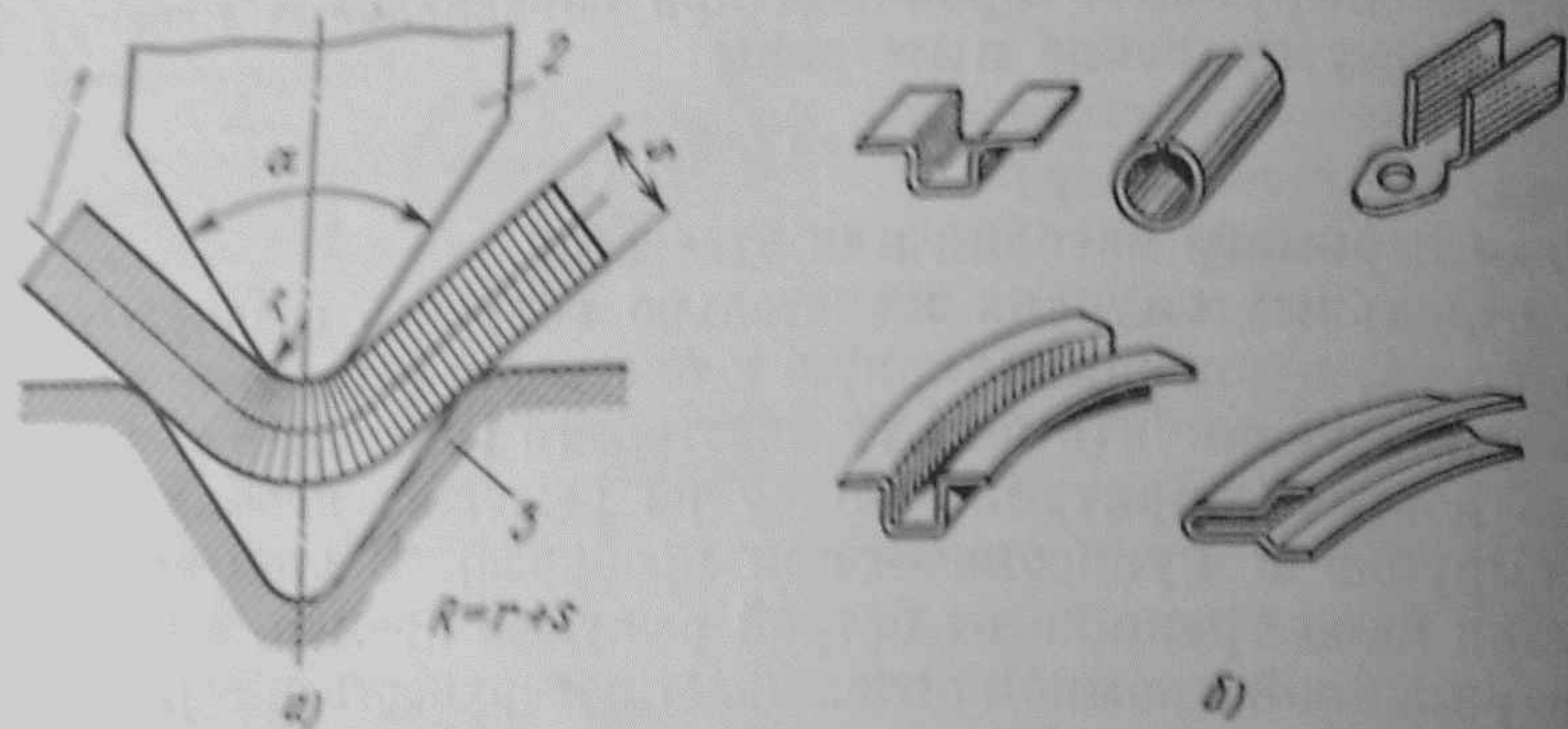


Рис. III.53. Схема гибки (а) и изделия, получаемые с ее использованием (б):
1 — нейтральный слой; 2 — пуансон; 3 — матрица

пуансона. Деформация растяжения наружного слоя не беспредельна, и при определенной ее величине может начаться разрушение заготовки с образованием трещин, идущих от наружной поверхности в толщину заготовки. Это обстоятельство ограничивает минимальные радиусы r , исключающие разрушение заготовки. В зависимости от пластичности материала заготовки $r_{\min} = (0,1 \div 2) s$.

На величину минимального радиуса r_{\min} оказывают влияние расположение линий изгиба относительно направления прокатки (полосчатости макроструктуры), наличие и величина заусенцев.

Желательно располагать линию изгиба так, чтобы растяжение, имеющее место при гибке, происходило в направлении волокон макроструктуры и чтобы заусенцы, образующиеся при вырубке, были минимальными и по возможности располагались в зоне сжатия, а не в зоне растяжения. При снятии внешних сил, вызывающих изгиб заготовки, растянутые слои стремятся сжаться, а сжатые слои — удлиниться. Благодаря этому при разгрузке изменяются углы между полками (пружинение при гибке). Угол между полками при разгрузке изменяется в зависимости от механических

свойств (отношения предела текучести к модулю упругости), от $\frac{r}{s}$ и от угла α , и увеличивается с увеличением этих параметров.

Углы пружинения уменьшаются при гибке с подчеканкой (когда полки заготовки с определенным усилием сжимаются между соответствующими плоскостями пуансона и матрицы), а также при приложении сжимающих или растягивающих сил, действующих вдоль оси заготовки. В последнем случае можно устранить зону растяжения или сжатия в очаге пластических деформаций, и при разгрузке все слои заготовки будут или растягиваться или только сжиматься, что и уменьшает угловые деформации при разгрузке.

Усилие одноугловой гибки (по рис. III.75) может быть приближенно определено по формуле

$$P \approx 0,7 \frac{Bs^2\sigma_n}{r+s},$$

где B — ширина заготовки.

При гибке в штампах можно одновременно изменять кривизну на нескольких участках по длине заготовки, оставляя другие участки прямолинейными, в некоторых случаях (получение втулок) пластические деформации при гибке могут охватывать всю заготовку.

На рис. III.53, б показаны примеры деталей, полученных гибкой. Детали, изогнутые в нескольких плоскостях, обычно изготавливают последовательным деформированием заготовки в нескольких штампах. В этих случаях гибке может подвергаться пространственная заготовка, полученная на предыдущих переходах.

При гибке пространственных (не плоских, профильных) заготовок минимальный радиус изгиба определяется не только возможностью разрушения заготовки, но и образованием складок в отдельных участках изгибаемой заготовки (потеря устойчивости).

Вытяжка без утонения стенки. Эта операция превращает плоскую заготовку в полое пространственное изделие при уменьшении периметра вытягиваемой заготовки.

Схема первого перехода вытяжки приведена на рис. III.54.

Исходную вырубленную заготовку укладывают на плоскость матрицы. Пуансон надавливает на центральную часть заготовки и смещает ее в отверстие матрицы. Центральная часть заготовки тянет за собой периферийную часть (фланец) заготовки, и последняя, смещаясь в матрицу, образует стенки вытянутого изделия.

Во фланце в радиальном направлении действуют растягивающие напряжения σ_r , стягивающие фланец в отверстие матрицы, и сжимающие напряжения σ_θ , действующие в тангенциальном направлении и уменьшающие диаметральные размеры заготовки. При определенных размерах фланец заготовки может потерять устойчивость под действием сжимающих напряжений σ_θ , что при

ведет к образованию складок *b* (рис. III.54). Складки могут появиться, если $D - d > (18 + 20) s$.

Для предотвращения появления складок применяют прижим (рис. III.54), с определенной силой прижимающий фланец заготовки к плоскости матрицы.

Растягивающие напряжения $\sigma_p = 0$ на наружной кромке заготовки и возрастают до максимальной величины на входе в матрицу (с увеличением ширины вытягиваемой части фланца). Если растягивающие напряжения σ_p , действующие на входе в матрицу, равны пределу прочности материала заготовки, то заготовка у доннышка может разрушаться, и вытяжка окажется невозможной. Отсюда следует, что без разрушения можно вытягивать заготовку с определенной, ограниченной шириной фланца. Формоизменение при вытяжке оценивают коэффициентом вытяжки

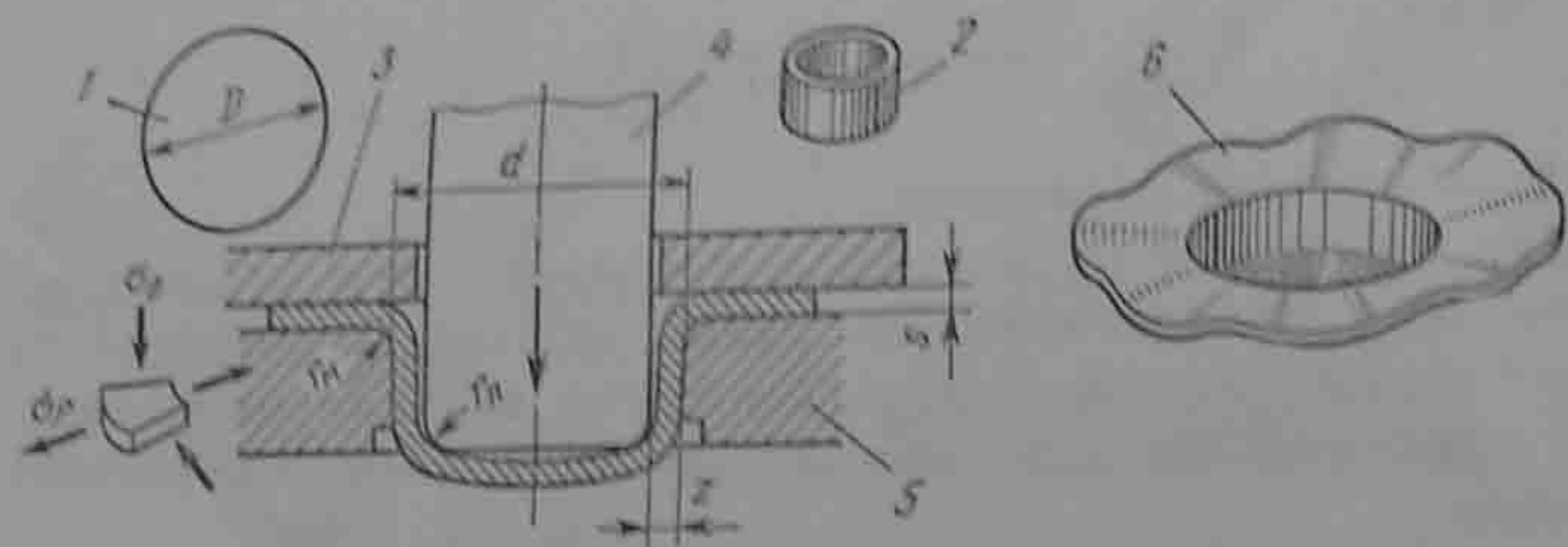


Рис. III.54. Схема вытяжки:

1 — заготовка; 2 — изделие; 3 — пуансон; 4 — прижим; 5 — матрица; 6 — изделие со складками, образующимися при вытяжке без прижима

$K_v = \frac{D}{d}$. В зависимости от механических свойств металла и условий вытяжки допустимые значения коэффициента вытяжки составляют 1,8—2,1.

Кроме ширины фланца, на величину растягивающего напряжения σ_p , действующего в опасном сечении заготовки (у входа в матрицу, где может начаться разрушение заготовки), влияют радиусы скругления кромок матрицы r_m и пуансона r_n , а также силы трения, возникающие при перемещении заготовки относительно матрицы и прижима.

Для уменьшения концентрации напряжений и соответственно опасности разрушения заготовки кромки пуансона и матрицы скругляют по радиусу, равному 5—10 толщин заготовки. Для уменьшения сил трения вытяжку обычно ведут со смазкой заготовки, причем состав смазки подбирают с учетом характеристик материала заготовки, коэффициента вытяжки и формы вытягиваемых деталей. В некоторых случаях (вытяжка деталей с криволинейной образующей, когда донная часть тоже деформируется) целесообразно смазывать только фланец заготовки, оставляя центральную, обращенную к пуансону часть заготовки не смазанной. Увеличение сил трения между заготовкой и пуансоном затрудняет

утопление центральной части заготовки и уменьшает опасность разрушения. Иногда для увеличения сил трения, действующих в центральной части заготовки, поверхность пуансона делают шероховатой (обдувкой дробью, травлением).

Толщина фланцевой части заготовки при вытяжке изменяется: краевая часть (где сжимающие напряжения $|\sigma_\theta| > |\sigma_p|$) утолщается, а участки вблизи доннышка — утончаются.

Это обстоятельство приводит к тому, что поверхность заготовки при вытяжке изменяется незначительно и размеры заготовки можно определять из условия равенства поверхности детали (по средней линии) и площади плоской заготовки. Для осесимметричных деталей заготовка обычно имеет форму круга.

При вытяжке неосесимметричных деталей площадь заготовки определяют из условия равенства поверхностей детали и заготовки,

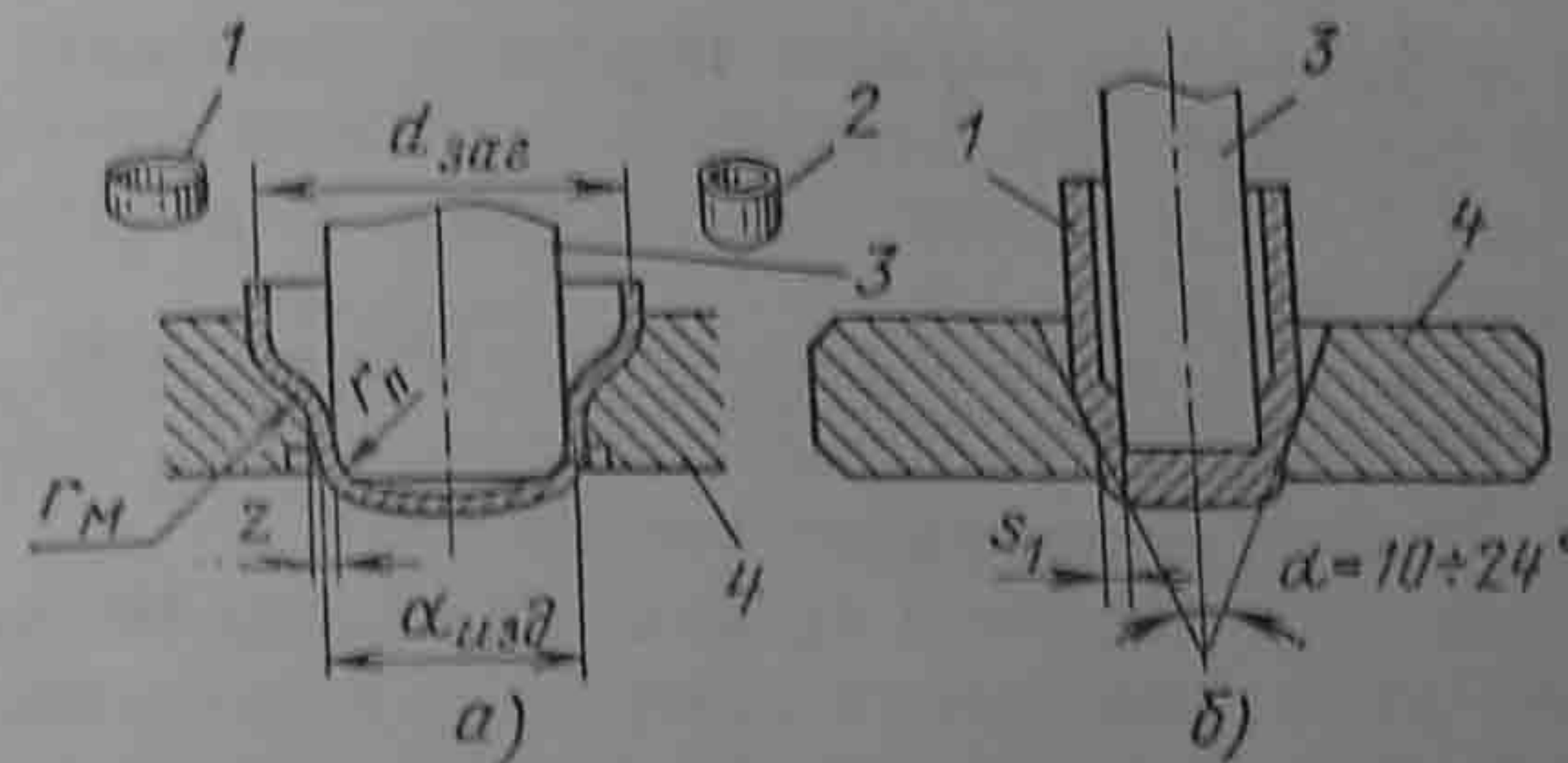


Рис. III.55. Схемы последующей вытяжки (а) и вытяжки с утончением стенки (б):

1 — заготовка; 2 — изделие; 3 — пуансон; 4 — матрица

а форму заготовки — в зависимости от формы детали по приведенным в справочниках рекомендациям.

При вытяжке без утончения стенки зазор $z = (1,1 + 1,3) s$ берут из условия, при котором утолщенный край заготовки не должен утоняться сжатием между поверхностями пуансона и матрицы (это способствует повышению стойкости инструмента).

Если при допустимом для первого перехода коэффициенте вытяжки невозможно получить деталь с заданным отношением высоты к диаметру, ее вытягивают за несколько переходов. В последующих переходах заготовкой является полый полуфабрикат, полученный на предыдущем переходе вытяжки. Схема вытяжки на последующем переходе показана на рис. III.55, а. Как видно, на последующем переходе уменьшается диаметр полой заготовки и (по условию равенства поверхностей) увеличивается ее высота. Опасное сечение, как и прежде, находится у доннышка, и напряжение σ_p не должно превышать предела прочности металла в этом месте заготовки. При холодной деформации металл упрочняется и, следовательно, предел текучести металла стенок заготовки больше, чем у доннышка (наиболее упрочнена краевая часть полой

заготовки, у которой в наибольшей степени уменьшился диаметр на первом переходе вытяжки). Это обстоятельство приводит к тому, что допустимый коэффициент вытяжки на последующих переходах значительно меньше допустимого коэффициента вытяжки на первом переходе ($K_v = 1,2 \div 1,4$). Некоторое увеличение допустимого коэффициента вытяжки ($K_v = 1,4 \div 1,6$) можно получить, если заготовку перед последующим переходом вытяжки подвергнуть рекристаллизационному отжигу, устраняющему изменение свойств, вызванное упрочнением.

Для тонкостенных заготовок с целью предотвращения появления складок последующие переходы вытяжки можно выполнять с прижимом.

Усилие вытяжки

$$P = \pi s \sigma_v (D - d) b,$$

где $b = 1,1 \div 1,2$ — для первого перехода вытяжки; $b = 1,6 \div 1,9$ — для последующих переходов вытяжки отожженной заготовки; $b = 2,3 \div 2,7$ — для последующих переходов без межоперационного отжига.

Вытяжка с утонением стенки. Эта операция увеличивает длину полой заготовки в основном за счет уменьшения толщины стенок исходной заготовки.

Схема вытяжки с утонением стенки приведена на рис. III.55, б. При вытяжке с утонением стенки зазор между пуансоном и матрицей должен быть меньше толщины стенки, которая, сжимаясь между поверхностями пуансона и матрицы, утоняется и одновременно удлиняется. Вытяжку с утонением стенки применяют для получения деталей, у которых толщина доньшка больше толщины стенок, деталей со стенкой, толщина которой уменьшается к краю (в этом случае пуансон выполняют коническим), а также тонкостенных деталей, получение которых вытяжкой без утонения стенки затруднительно из-за опасности складкообразования.

Удельные усилия на контактных поверхностях при вытяжке с утонением стенки значительно больше, чем при вытяжке без утонения стенки. Так как при вытяжке с утонением стенки заготовка скользит по матрице в направлении движения пуансона и по пуансону в обратном направлении (от торца пуансона), то и силы трения на наружной и внутренней поверхностях заготовки направлены в противоположные стороны. Это обстоятельство увеличивает допустимую степень деформации (силы трения по матрице увеличивают растягивающие напряжения в стенках протянутой части заготовки, а по пуансону — уменьшают).

При вытяжке с утонением стенки ее толщина за один переход может быть уменьшена в 1,5—2 раза.

Для уменьшения сил трения (износа инструмента) при вытяжке с утонением применяют смазку, которая не должна выдавливаться при высоких контактных давлениях. Состав смазки подбирают в зависимости от материала заготовки (для низкоуглеродистой

стали рекомендуется омеднение или фосфатирование заготовки с подачей в зону вытяжки мыльной эмульсии).

Размеры заготовки для получения деталей вытяжкой с утонением стенки определяют из условия равенства объемов заготовки и детали, принимая при этом, что толщина доньшка не изменяется.

Отбортовка — получение бортов (горловин) путем выдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием в матрицу. Схема отбортовки показана на рис. III.56, а. При отбортовке кольцевые элементы в очаге деформации растягиваются, причем больше всего увеличивается диаметр кольцевого элемента, граничащего с отверстием. Допустимое без разрушения (с образованием продольных трещин) увеличение диаметра отверстия при отбортовке составляет $\frac{d_0}{d_0} = 1,2 \div 1,8$,

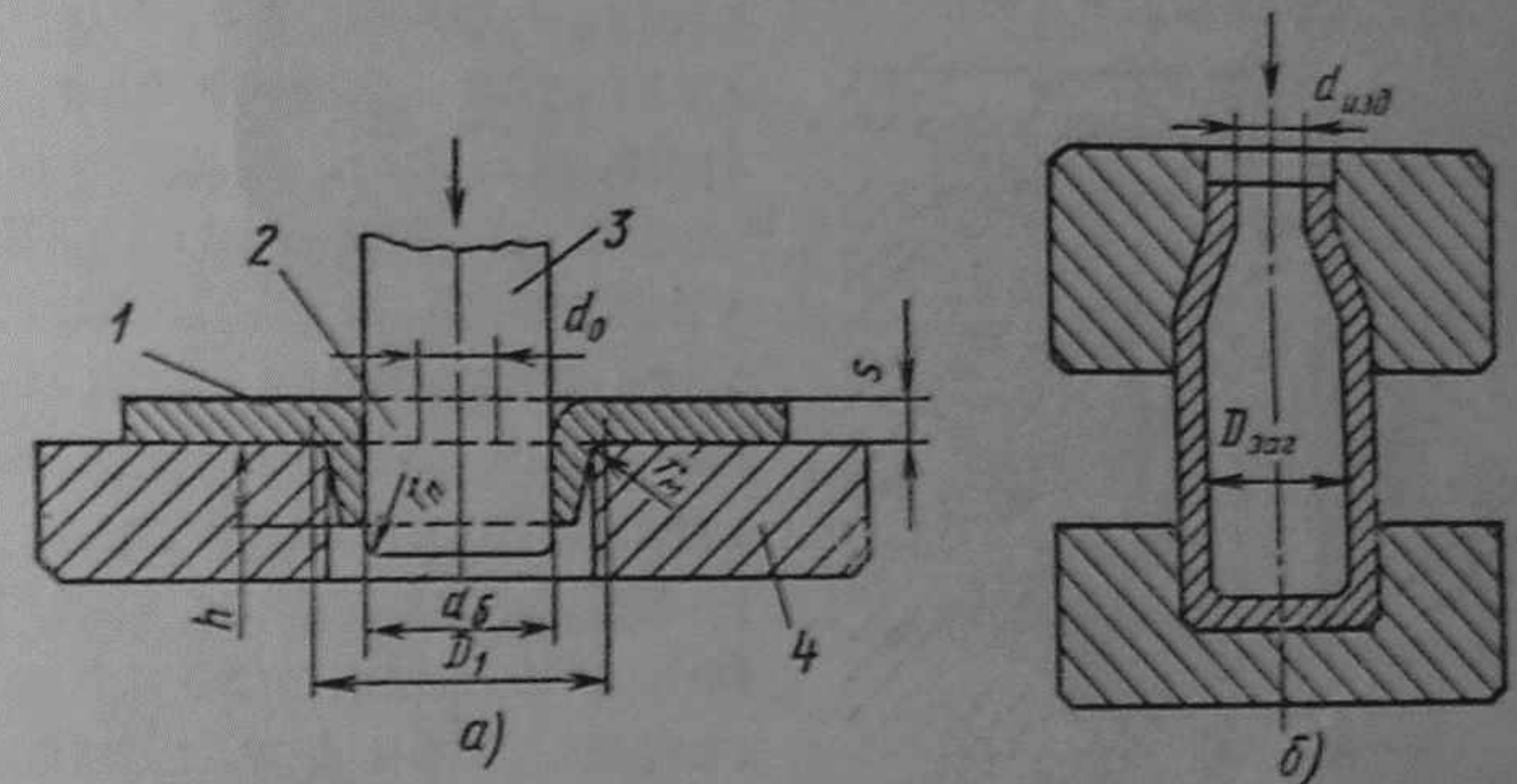


Рис. III.56. Схемы отбортовки (а) и обжима (б):

1 — изделие; 2 — заготовка; 3 — пуансон; 4 — матрица

в зависимости от механических свойств материала заготовки, а также от ее относительной толщины $\frac{s}{d_0}$. Способствует разрушению заготовки наклепанный слой у кромки отверстия, образующийся при пробивке. Больше увеличение диаметра можно получить, если заготовку отжечь перед отбортовкой или изготовить отверстие обработкой резанием (сверление с развертыванием), создающим меньшее упрочнение у края отверстия.

При отбортовке заготовка в очаге деформации утоняется, и размеры отверстия по заданным размерам борта следует определять из условия равенства длины развертки борта по средней линии и ширины отбортовываемой части. Из этого допущения может быть получена формула (обозначения см. на рис. III.56, а)

$$d_0 = D_1 - \pi \left(r_m + \frac{s}{2} \right) - 2h.$$

Обжим — операция, при которой уменьшается диаметр краевой части полой заготовки в результате заталкивания ее в сужающуюся полость матрицы (рис. III.56, б). Обжимаемая заготовка получает форму рабочей полости матрицы.

Допустимое уменьшение диаметра при обжиме ограничивается появлением продольных складок в обжимаемой части заготовки или поперечных кольцевых складок в ее недеформируемой части. Обычно за один переход можно получить $d_{изд} = (0,7 \div 0,8) D_{заг}$. Если необходимо диаметр краевой части уменьшить на большую величину, заготовку обжимают за несколько переходов. Толщина заготовки в очаге пластических деформаций увеличивается, причем больше утолщается краевая часть заготовки.

Формовка — операция, при которой изменяется форма заготовки в результате растяжения отдельных ее участков. Толщина заготовки в этих участках уменьшается. Формовкой получают местные выступы на заготовке, ребра жесткости и т. п.; деформирование осуществляется металлическими пуансонами и матрицами, а в отдельных случаях одним из инструментов является резиновая подушка (рис. III.57). Размеры средней части полой заготовки можно увеличить с помощью резинового вкладыша или жидкости, которые легко удаляются из штампованной детали, а в процессе штамповки обеспечивают боковое давление на стенки заготовки при воздействии на них осевого давления пуансона.

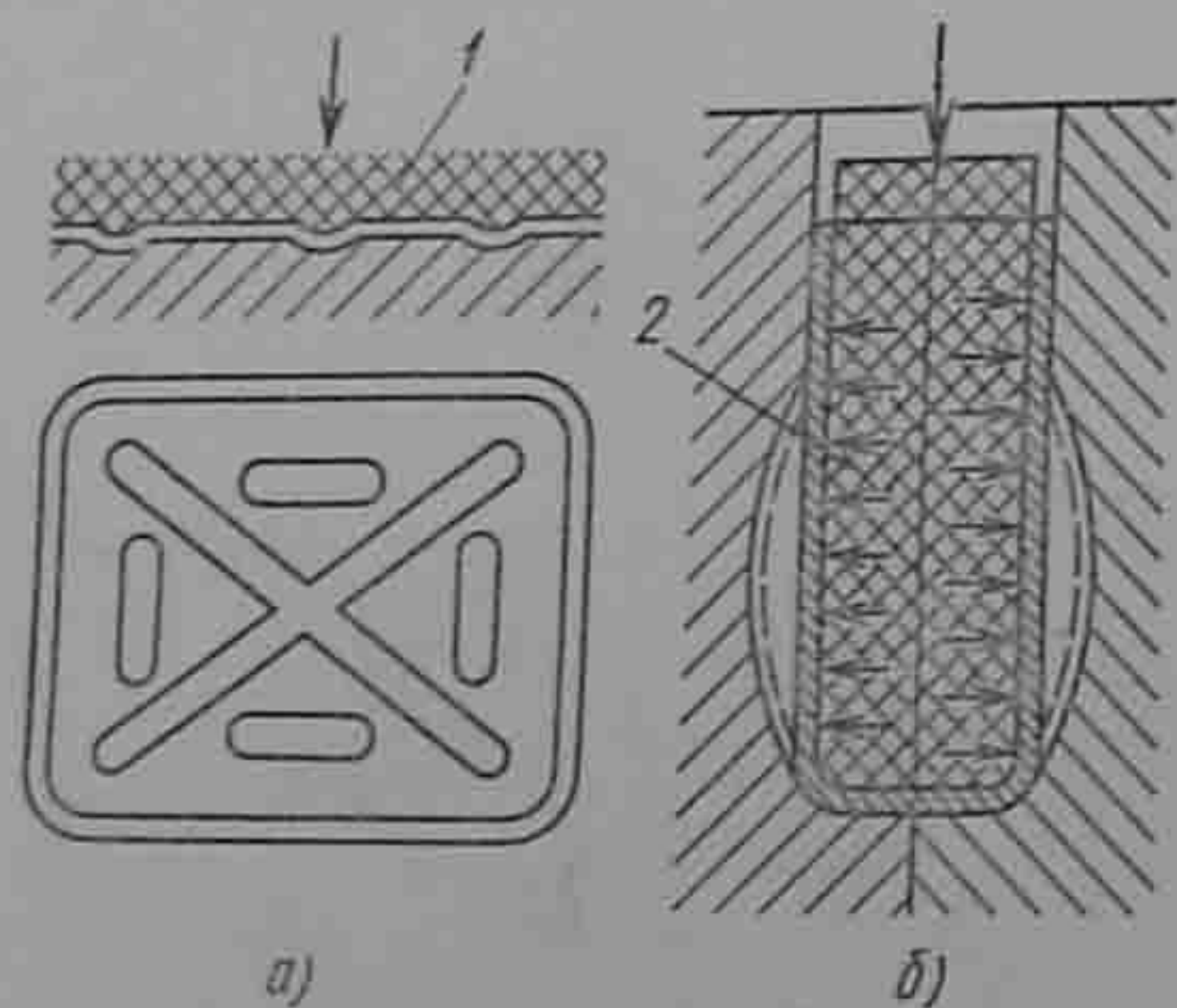


Рис. III.57. Схемы формовки ребер жесткости (а) и сосуда переменного сечения по высоте (б):

1 — резиновая подушка; 2 — резина

При формовке с раздачей средней части полой заготовки матрица должна быть разъемной. Используя в определенной последовательности рассмотренные и другие операции, из листового металла можно изготавливать разнообразные плоские и пространственные детали. При разработке технологического процесса изготовления деталей следует стремиться к уменьшению потерь металла в процессе листовой штамповки. Основным отходом при листовой штамповке является так называемая высечка, т. е. часть листовой заготовки после ее вырубки. Формы и размеры вырубной заготовки определяются формой и размерами детали, а также применяемыми в процессе штамповки формоизменяющими операциями.

При штамповке мало- и среднегабаритных деталей обычно из одной листовой заготовки вырезают несколько плоских заготовок для штамповки. Между смежными контурами вырубных заготовок обычно оставляют перемычки шириной, примерно равной толщине заготовки, хотя в отдельных случаях смежные заготовки вырезают без перемычек (экономия металла при ухудшении качества среза и снижении стойкости инструмента). Расположение контуров смежных вырубных заготовок на листовом металле

называется **раскром**. Тип раскроа следует выбирать из условия уменьшения отхода металла в высечку. Примеры раскроа металла приведены на рис. III.58.

Штампы для листовой штамповки. В крупносерийном производстве (при изготовлении большого числа одинаковых деталей) применяют сравнительно сложные штампы, состоящие из значительного числа деталей и обеспечивающие хорошее качество изделий при высокой стойкости инструмента и достаточно высокую производительность.

На рис. III.59 приведена схема штампа для вырубki кружков. Пуансон 7 и матрицу 4 с помощью пуансонодержателя 8 и матрицедержателя 5 прикрепляют соответственно к верхней 10 и нижней 6 плитам штампа. Точное направление пуансона относительно матрицы обеспечивается направляющими втулками 11 и колонками 12, запрессованными в верхнюю и нижнюю плиты штампа. Полоса или лента подается между направляющими линейками 2 до упора 3, ограничивающего шаг подачи. Высечка снимается с пуансона съемником 1. Нижнюю плиту штампа прикрепляют к столу пресса болтами или скобами, а верхнюю плиту в штампах сравнительно небольшой массы — к ползуну пресса с помощью хвостовика 9; верхнюю плиту в штампах большой массы крепят к ползуну болтами или скобами. Конструктивное оформление отдельных деталей штампа разнообразно.

В штампах для листовой штамповки можно выполнять не одну (как показано на рис. III.59), а несколько операций листовой штамповки. В зависимости от расположения позиций, в которых выполняют операции, различают штампы последовательного действия и совмещенного. В штампах последовательного действия (рис. III.60) операции выполняют в раз-

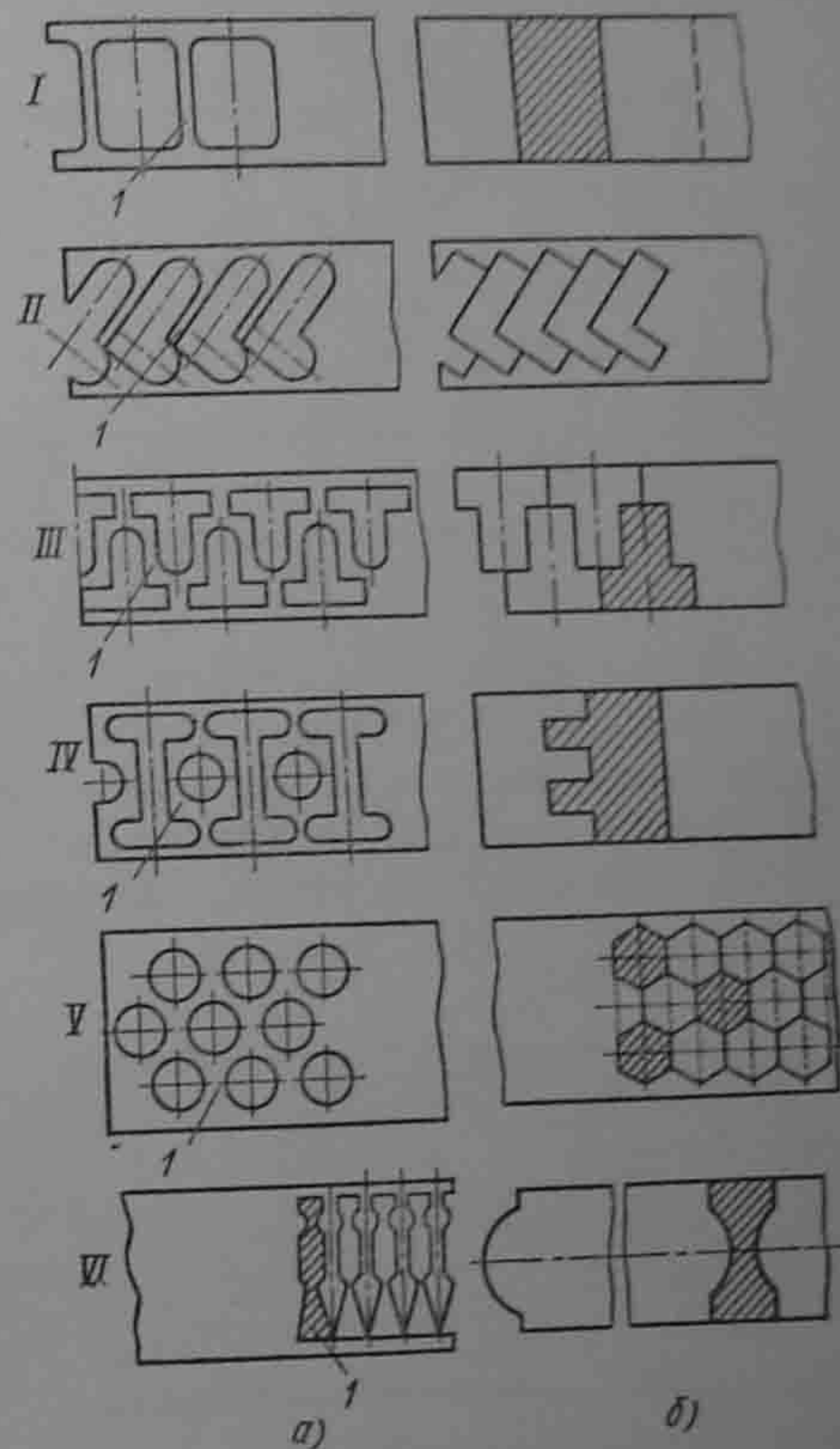


Рис. III.58. Примеры раскроа материала с перемычками (а) и без перемычек (б):

I — прямого; II — наклонного; III — встречного; IV — комбинированного; V — многорядного; VI — с вырезкой перемычки; 1 — перемычка

личных позициях по направлению подачи, так что для очередной операции заготовка перемещается на шаг подачи. На рис. III.60 показано, что в позиции I происходит пробивка, а после перемещения полосы на шаг подачи (позиция II) — вырубка, в результате чего получают изделие в виде шайбы. В штампах последовательного действия можно выполнять различные разделительные и формоизменяющие операции, причем последней операцией обычно бывает вырубка.

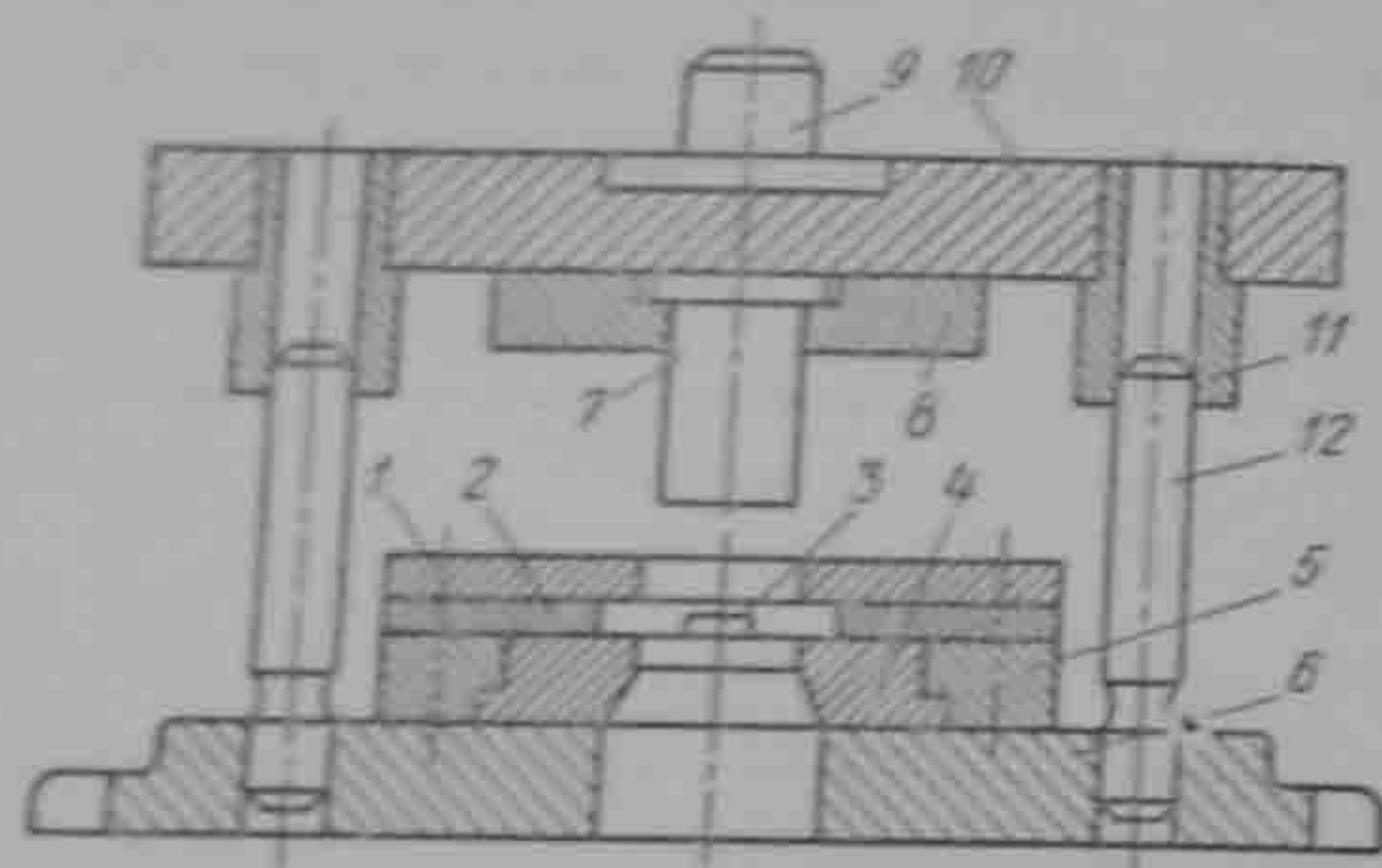


Рис. III.59. Вырубной штампи простого действия

В штампах совмещенного действия изготавливают детали с мерами бóльшей точности, но возможности совмещения операций в них более ограничены, чем в штампах последовательного действия. Многооперационные штампы обычно дороже однооперационных, но позволяют повысить производительность труда и уменьшить

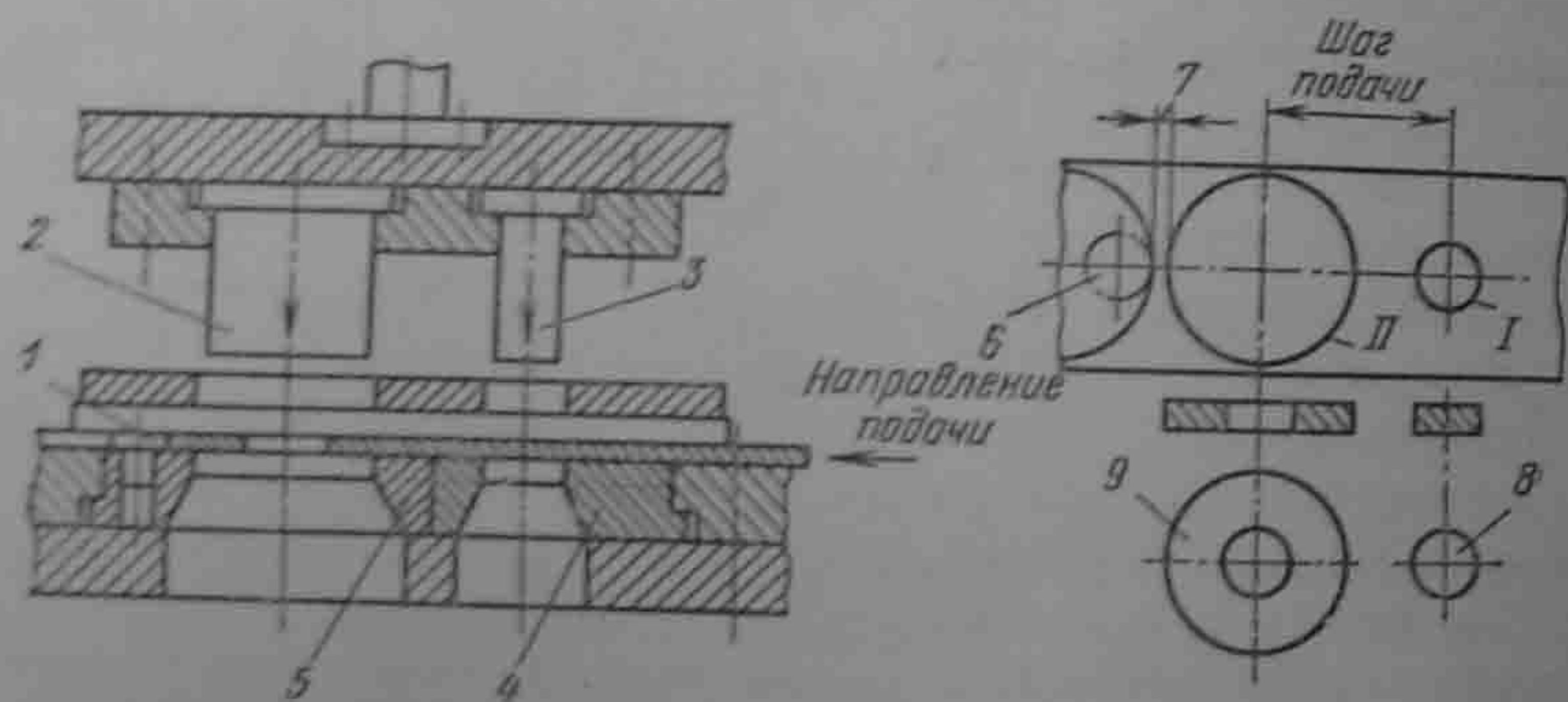


Рис. III.60. Схема штампа последовательного действия для пробивки и вырубки:

1 — упор; 2 — пуансон вырубки; 3 — пуансон пробивки; 4 — матрица пробивки; 5 — матрица вырубки; 6 — упор; 7 — перемычка; 8 — отход; 9 — изделие

число используемого для штамповки оборудования. Материалы для деталей штампов выбирают с учетом их служебных свойств и стоимости применительно к масштабам производства. Обычно пуансоны и матрицы изготавливают из инструментальных сталей с последующей закалкой.

При необходимости изготовления небольшого числа одинаковых деталей (мелкосерийное производство) сложные и дорого-

стоящие штампы применять нерационально. В этом случае стремятся уменьшить стоимость штампа за счет создания упрощенных конструкций, применения менее дорогих материалов для деталей штампов и т. п. В упрощенных штампах обычно не применяют устройств для направления верхней плиты относительно нижней (колонок, втулок, направляющих плит и т. п.), упрощают направление полосы (не делают упоров, направляющих линеек и т. п.) и широко применяют детали из эластичных сред (резину, полиуретан) в качестве съемников, выталкивателей и т. п. Материалом для пуансонов и матриц иногда служат сплавы цветных металлов. В отдельных случаях рабочий инструмент изготавливают из дерева, облицовывая его листовым металлом.

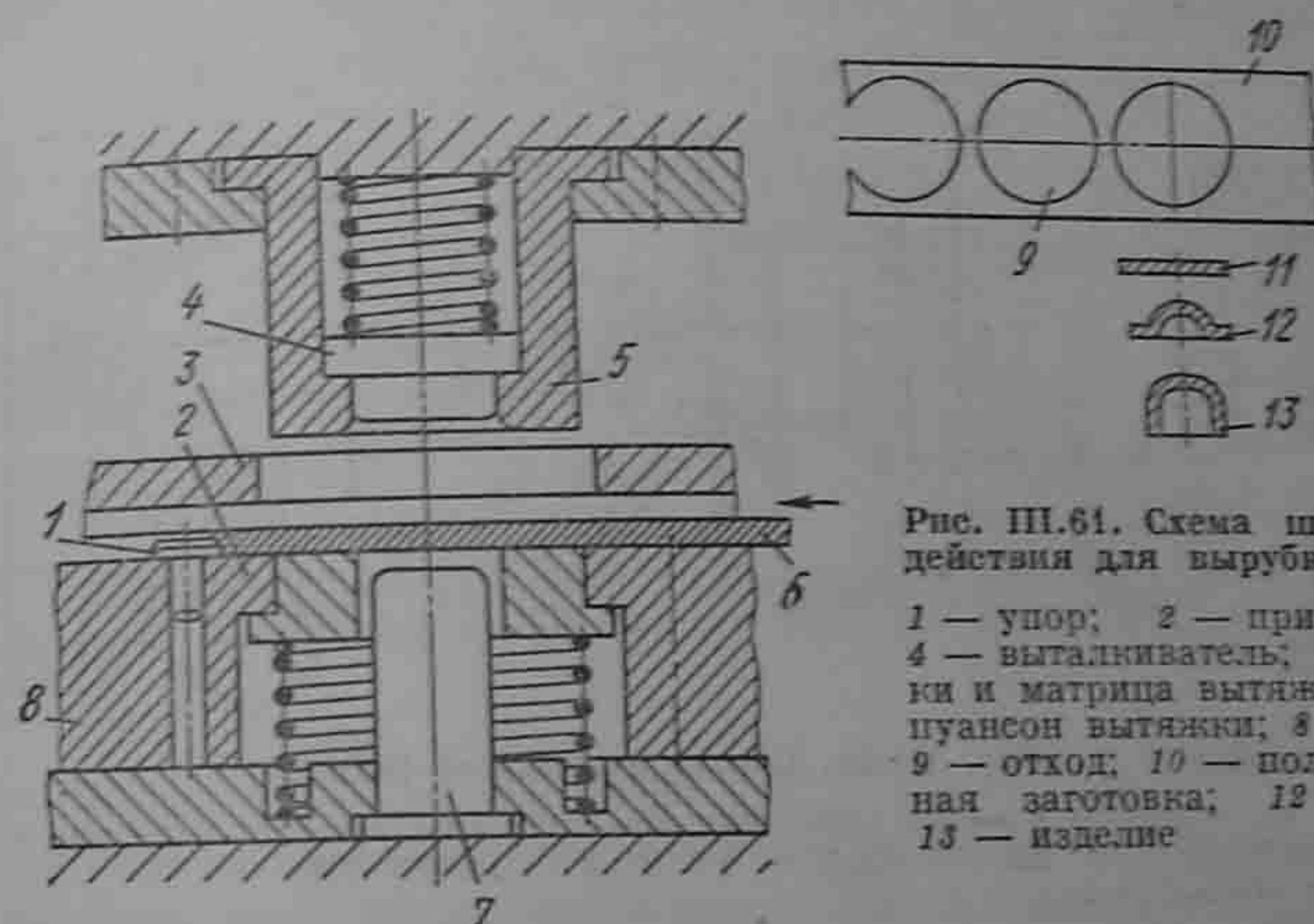


Рис. III.61. Схема штампа совмещенного действия для вырубки и вытяжки:

1 — упор; 2 — прижим; 3 — съемник; 4 — выталкиватель; 5 — пуансон вырубки и матрица вытяжки; 6 — полоса; 7 — пуансон вытяжки; 8 — матрица вырубки; 9 — отход; 10 — полоса; 11 — вырубленная заготовка; 12 — начало вытяжки; 13 — изделие

Применение упрощенных конструкций штампов не только удешевляет штамповую оснастку, но и сокращает сроки подготовки производства.

В мелкосерийном производстве наряду с упрощенными конструкциями штампов применяют универсальные и быстро перенастраиваемые штампы, в которых, заменяя только пуансон и матрицу, можно изготавливать различные детали.

Упрощенные способы обработки листового металла. В мелкосерийном производстве достаточно широко применяют упрощенные способы обработки давлением листовых заготовок: штамповку эластичными средами, давальные работы, импульсную штамповку и т. п.

При штамповке эластичными средами только один рабочий элемент (пуансон или матрицу) изготавливают из металла, роль другого инструмента (матрицы или пуансона) выполняет эластичная среда: резина, пластмассы (полиуретан) и жидкость. На рис. III.62 приведена схема штамповки резиной.

Металлическим инструментом является шаблон, на который укладывают заготовку. Резиновая подушка в ползуне прессы при-

жимает заготовку к шаблону. Если шаблон имеет острые режущие кромки, то давлением резины вначале отгибают свободные края заготовки, а затем ее обрывают по режущей кромке. Так выполняют вырубку и пробивку (рис. III.62). Если кромки притуплены, а высота шаблона больше ширины отгибаемой части заготовки, то можно выполнить гибку и неглубокую вытяжку. Подобным способом можно осуществить отбортовку и формовку. Давление, потребное для выполнения этих операций, в зависимости от материала и толщины заготовки составляет 7—20 МН/м², хотя в отдельных случаях оно достигает 60 МН/м². Обычно штампуют заготовки толщиной не более 3 мм.

При изготовлении деталей небольших габаритных размеров большую точность размеров получают при применении полиуре-

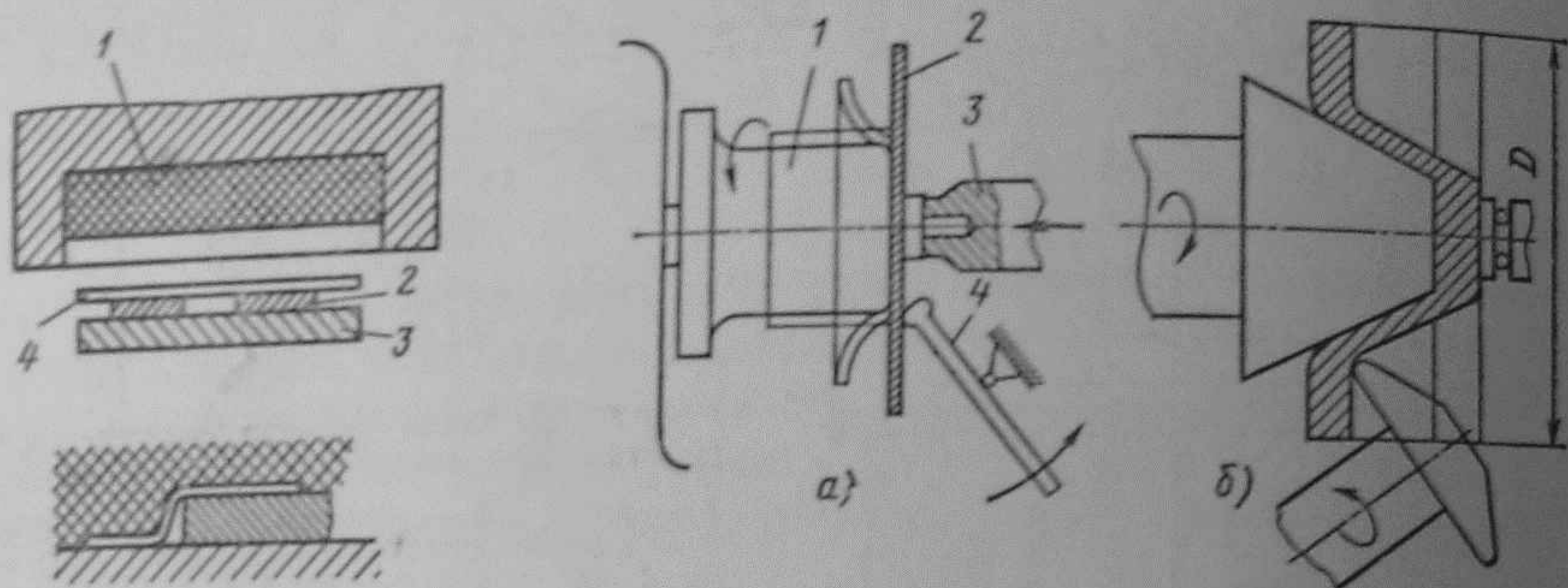


Рис. III.62. Схемы вырубки и пробивки резиной:
1 — резиновая подушка;
2 — шаблон; 3 — стол прес-са; 4 — заготовка (лист)

Рис. III.63. Схемы давящих работ:
а — без утонения; б — с утонением; 1 — форма, 2 — заготовка; 3 — упор; 4 — давяльник

тана вместо резины. Усилие штамповки определяется произведе-нием давления на площадь резиновой подушки.

Давильные работы предназначены для получения деталей, имеющих форму тел вращения.

Различают давящие работы без утонения и с утонением стенки. Схема давящих работ без утонения стенки показана на рис. III.63, а. Предварительно вырубленную заготовку движением продольного суппорта прижимают к торцу формы-пуансона (обычно деревянной), укрепленной на вращающейся плашайбе токарно-давяльного станка. На наружной поверхности заготовки создают давление торцом давяльника (рычага). Заготовка проскальзывает под давяльником, который вызывает местную деформацию. Постепенное деформирование заготовки по всей поверхности позволяет придать заготовке форму пуансона.

При давящих работах без утонения стенки диаметральные размеры заготовки значительно уменьшаются при незначительном изменении ее толщины. Усилие, необходимое для давящих работ при небольшой толщине заготовки (до 3 мм), можно создавать

вручную. Давильные работы требуют высокой квалификации рабочего. Однако все шире применяют токарно-давяльные станки с программным управлением, обеспечивающим заданные усилия и перемещение давяльника.

Давильные работы с утонением (рис. III.63) изменяют форму заготовки главным образом за счет уменьшения ее толщины без изменения диаметральных размеров. Это надо для предотвращения увеличения растягивающих напряжений до величин, способных вызвать разрушение заготовки, и для осуществления деформации в основном сдвигом отдельных участков заготовки относительно друг друга.

Давильные работы с утонением требуют значительно бóльших усилий по сравнению с давящими работами без утонения. Давильные работы с утонением выполняют на специальных станках с механизированным перемещением давяльника и используют

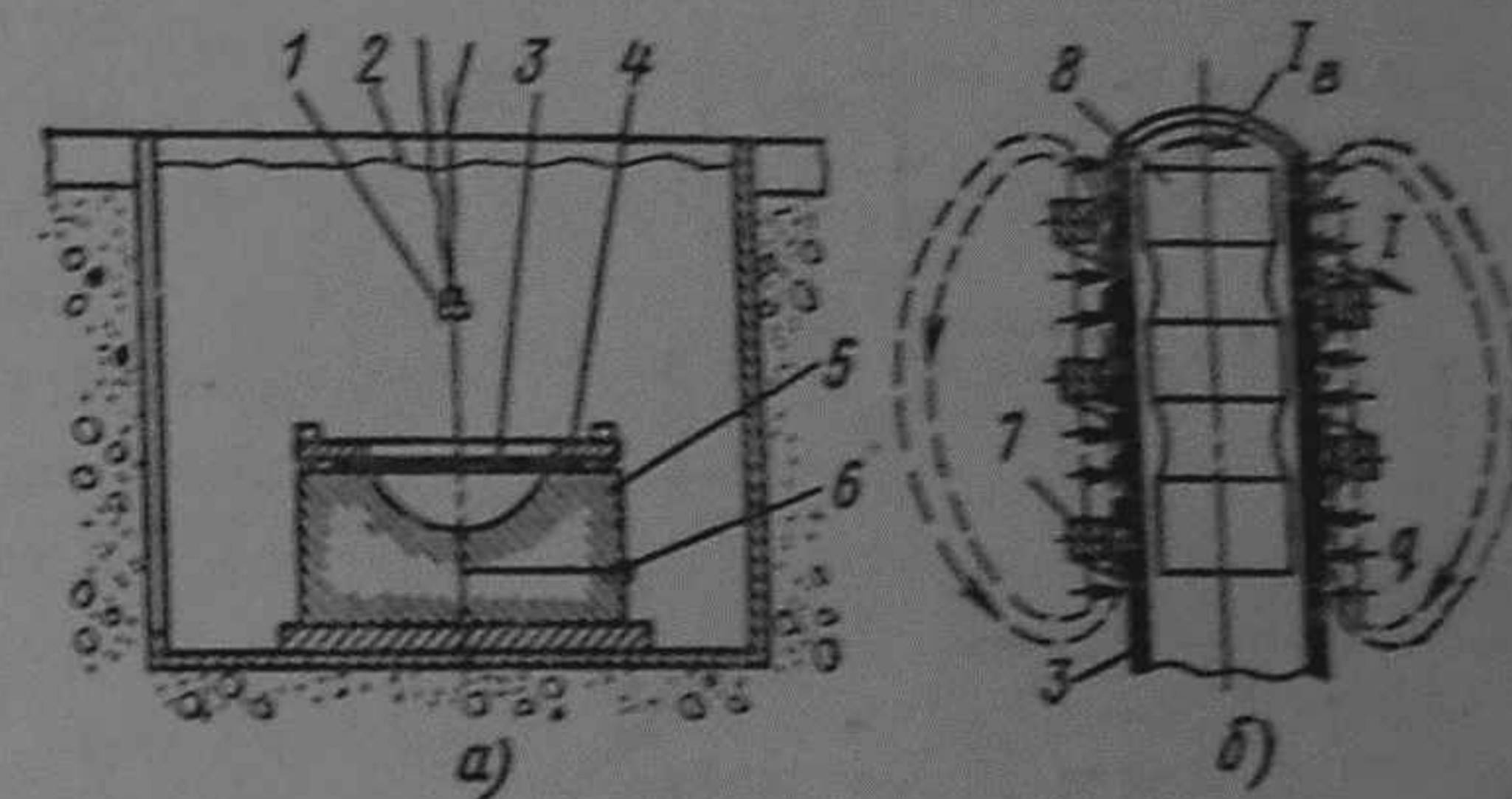


Рис. III.64. Схемы импульсных способов листовой штамповки:
а — штамповка взрывом; б — электромагнитная штамповка;
1 — заряд; 2 — уровень воды;
3 — заготовка; 4 — прижим;
5 — матрица; 6 — вакуумная линия; 7 — соленоид; 8 — пуансон

взамен вытяжки с утонением, при этом исходную полуо цилиндрическую заготовку надевают на цилиндрический вращающийся пуансон. При этом давяльник, перемещаясь параллельно оси заготовки, утоняет ее.

Высокоскоростная штамповка характеризуется тем, что кратковременное приложение больших усилий «разгоняет» заготовку до скоростей, достигающих 150 м/с; последующее ее деформирование происходит за счет накопленной в период разгона кинетической энергии. Основными разновидностями высокоскоростной листовой штамповки являются штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная.

Взрывом штампуют обычно в бассейне, наполненном водой (рис. III.64, а). Заготовку, зажатую между матрицей и прижимом, опускают в бассейн. Полость матрицы под заготовкой вакуумируют, чтобы воздух не препятствовал плотному ее прилеганию к матрице. Заряд с детонатором подвешивают в воде над заготовкой. Взрыв образует ударную волну высокого давления, которая, достигая заготовки, вызывает ее разгон. Процесс штамповки длится тысячные доли секунды, а скорости перемещения заготовки соизмеримы со скоростями распространения пластических деформаций в металле.

Взрывной штамповкой с успехом получают пространственные детали, которые при штамповке в металлических штампах изготовляют вытяжкой и формовкой.

При штамповке взрывом не требуется дорогостоящего прессового оборудования, конструкция штампа крайне проста.

Электрогидравлическую штамповку также осуществляют в бассейне с водой. Ударная волна, разгоняющая заготовку, возникает при кратковременном электрическом разряде в жидкости. Мощный искровой разряд подобен взрыву. В результате разряда в жидкости возникает ударная волна, которая, дойдя до заготовки, оказывает на нее силовое воздействие и деформирует ее по матрице. Если для полного деформирования заготовки одного импульса недостаточно, рабочий цикл может быть повторен.

Электромагнитная штамповка по принципу создания импульсно-воздействующих на заготовку сил отличается от ранее рассмотренных. Схема электромагнитной штамповки приведена на рис. III.64, б.

Электрическая энергия преобразуется в механическую за счет импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид 7, вокруг которого при этом возникает мгновенное магнитное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи в трубчатой токопроводящей заготовке 3. Взаимодействие вихревых токов I_v с магнитным полем создает механические силы q , которые деформируют заготовку по пуансону или матрице. Для

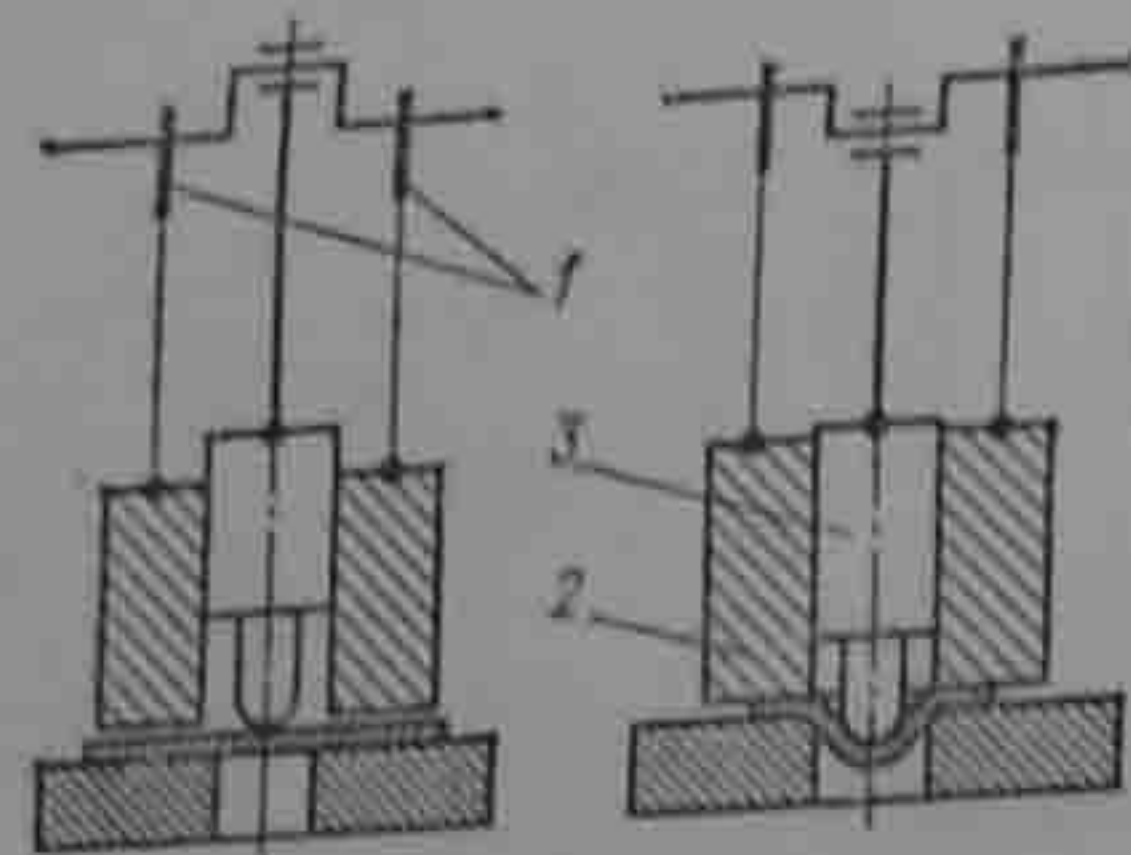


Рис. III.65. Схема пресса двойного действия:

1 — кулачки; 2 — наружный ползун (для прижима); 3 — внутренний ползун

электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы специальные установки, на которых можно производить раздачу, обжим, формовку и операции по получению неразъемных соединений деталей. К сборочным операциям, выполняемым за счет пластического деформирования одной детали по контуру другой, относятся: соединения концов труб, запрессовка в трубах колец, соединение втулки со стержнем.

Оборудование листовой штамповки. Наиболее распространенным при листовой штамповке оборудованием являются кривошипные прессы, которые разделяются на прессы простого и двойного действия.

Кинематическая схема кривошипного прессы простого действия аналогична схеме кривошипного прессы для объемной штамповки (см. рис. III.37).

Схема прессы двойного действия для вытяжки деталей средне- и крупногабаритных размеров дана на рис. III.65. Пресс двойного действия имеет два ползуна: к внутреннему прикреплен вытяжной пуансон, к наружному — прижим. Внутренний ползун, как у обычного кривошипного прессы, получает возвратно-

поступательное движение от кривошипно-шатунного механизма. Наружный ползун получает движение от кулачков, закрепленных на коленчатом валу, или от системы рычагов, связанных с коленчатым валом. Кинематическая схема прессы такова, что наружный ползун обгоняет внутренний, прижимает фланец заготовки к матрице и остается неподвижным в процессе вытяжки пуансоном, перемещающимся с внутренним ползуном. После окончания вытяжки оба ползуна поднимаются.

Кроме кривошипных прессы, для листовой штамповки применяют гидравлические прессы (штамповка резиной, штамповка крупногабаритных толстостенных деталей).

Для повышения производительности труда прессы для листовой штамповки оснащают устройствами, механизмирующими подачу заготовки к рабочему инструменту и удаление отштампованных деталей из прессы. Устройства механизации можно подразделить на две группы: механизмирующие подачу листового материала в штамп и механизмирующие подачу штучной заготовки в штамп.

Наиболее просто поддается механизации подача полосы (ленты) в штамп. Для этого применяют механизмы периодического действия, которые подают полосу при обратном ходе ползуна и оставляют полосу неподвижной в процессе штамповки.

Механизация подачи листового металла при штамповке крупногабаритных деталей более сложна. Механизмы подачи штучной заготовки весьма разнообразны и в общем случае имеют устройства для захвата и ориентации заготовки в пространстве и устройства для подачи ориентированной заготовки в штамп.

Подобные устройства резко увеличивают производительность труда, делают труд рабочего более безопасным, исключают манипулирование заготовкой в опасной зоне штампа. В штамповочных цехах начинают применять работы, которые по программе осуществляют движения, аналогичные движению руки человека при манипулировании заготовкой в процессе штамповки.

1. Прессование

В машиностроении применяют профили самого разнообразного сортамента, которые получают не только прокаткой, рассмотренной в гл. 3 настоящего раздела, но и другими видами обработки металлов давлением: прессованием, волочением, профилированием листового металла.

При прессовании металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие, соответствующее сечению прессуемого профиля (см. рис. III.1, б). Этим процессом изготовляют не только сплошные профили, но и полые (рис. III.66, а). В этом случае в заготовке необходимо предварительно получить сквозное отверстие. Часто отверстие прошивают на том же прессе. В процессе прессования

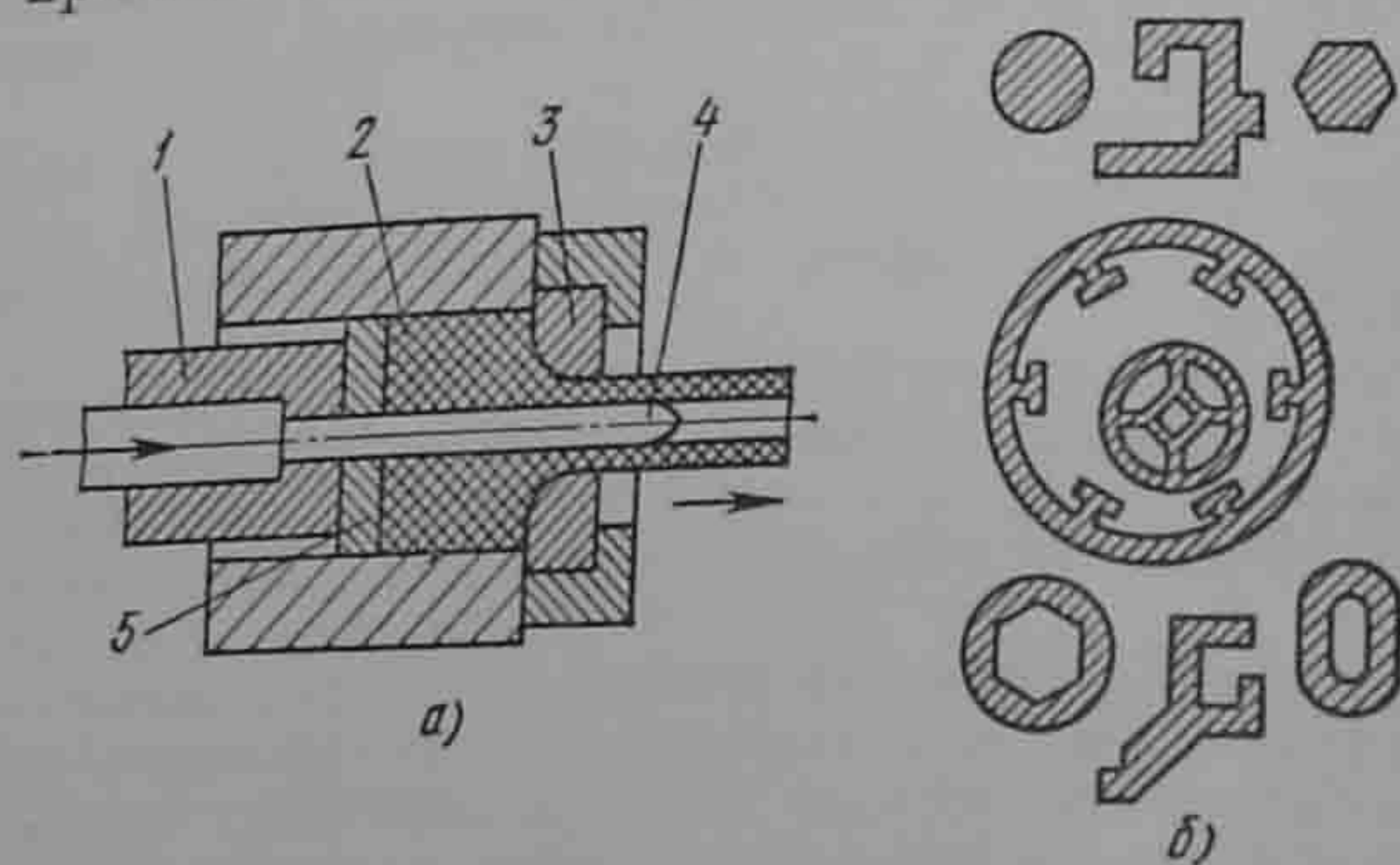


Рис. III.66. Схема прессования полого профиля (а) и примеры прессованных профилей (б)

при движении пуансона 1 с пресс-шайбой 5 металл заготовки 2 выдавливается в зазор между матрицей 3 и иглой 4. Прессование по рассмотренным схемам называется прямым. Значительно реже применяют обратное прессование, схема деформирования которого сходна со схемой обратного выдавливания.

Исходной заготовкой при прессовании является слиток или прокат. Состояние поверхности заготовок оказывает значительное влияние на качество поверхности и точность прессованных профилей. Поэтому во многих случаях заготовку предварительно обтачивают на станке; после нагрева поверхность заготовки тщательно очищают от окалины.

Прессованием изготовляют изделия разнообразного сортамента из цветных металлов и сплавов, в том числе прутки диаметром 3—250 мм, трубы диаметром 20—400 мм со стенкой толщиной 1,5—12 мм и другие профили (рис. III.66, б). Из углеродистых сталей 20, 35, 45, 50, конструкционных 30ХГСА, 40ХН, коррозионно-стойких (нержавеющих) X18H10T и других высоколегированных

сталей прессуют трубы с внутренним диаметром 30—160 мм со стенкой толщиной 2—10 мм, профили с полкой толщиной 2,0—2,5 мм с линейными размерами поперечных сечений до 200 мм.

При прессовании, так же как и при холодном выдавливании (схемы деформирования металла в этих процессах аналогичны), металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет весьма высокую пластичность. Коэффициент, характеризующий степень деформации и определяемый как отношение площади сечения заготовки к площади сечения прессуемого профиля, при прессовании составляет 10—50.

Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые ввиду их низкой пластичности (особенно в литом состоянии) другими видами обработки давлением деформировать невозможно или очень затруднительно.

Прессованием получают профили сложных форм, которые не могут быть получены другими видами обработки металлов давлением (в частности, прокаткой), и простые профили. Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

К недостаткам прессования надо отнести большие отходы металла: весь металл не может быть выдавлен из контейнера и в нем остается так называемый пресс-остаток, который после окончания прессования отрезается от полученного профиля. Масса пресс-остатка может достигать 40% от массы исходной заготовки (при прессовании труб большого диаметра).

Схема всестороннего сжатия металла при прессовании приводит к значительным удельным усилиям, действующим на инструмент. Поэтому инструмент для прессования работает в исключительно тяжелых условиях, испытывая, кроме действия больших давлений, и действие высоких температур. Износ инструмента особенно велик при прессовании сталей и других труднодеформируемых сплавов из-за высокого сопротивления деформированию и температуры горячей обработки. Инструмент для прессования изготовляют из высококачественных инструментальных сталей и жаропрочных сплавов. Износ инструмента уменьшают применением специальных смазок; например, при прессовании труднодеформируемых сталей и сплавов используют жидкое стекло со специальными свойствами! Основным оборудованием для прессования являются вертикальные или горизонтальные гидравлические прессы. По принципу действия они аналогичны описанным гидравлическим ковочным прессам.

2. Волочение

При волочении заготовку протягивают через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом *волокой* (см. рис. III.1, в). Волочение, как правило, осуществляют в холодном состоянии. Исходными заготовками служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов.

Волочение труб можно выполнять без оправки (для уменьшения внешнего диаметра) и с оправкой (для уменьшения внешнего диаметра и толщины стенки). На рис. III.67, а показана схема волочения трубы 1 на длинной закрепленной оправке 3. В этом случае профиль полученной трубы определяется зазором между волокой 2 и оправкой 3.

При волочении сплошного и полого профилей площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а следовательно, длина (из условия постоянства объема при пластической деформации) увеличивается. Количественно деформацию, так же как и при прокатке, можно характеризовать отношением полученной длины к исходной, т. е. вытяжкой μ .

Вследствие того что к заготовке при волочении приложено тянущее усилие, в отверстии волоки (очаге деформации) и после

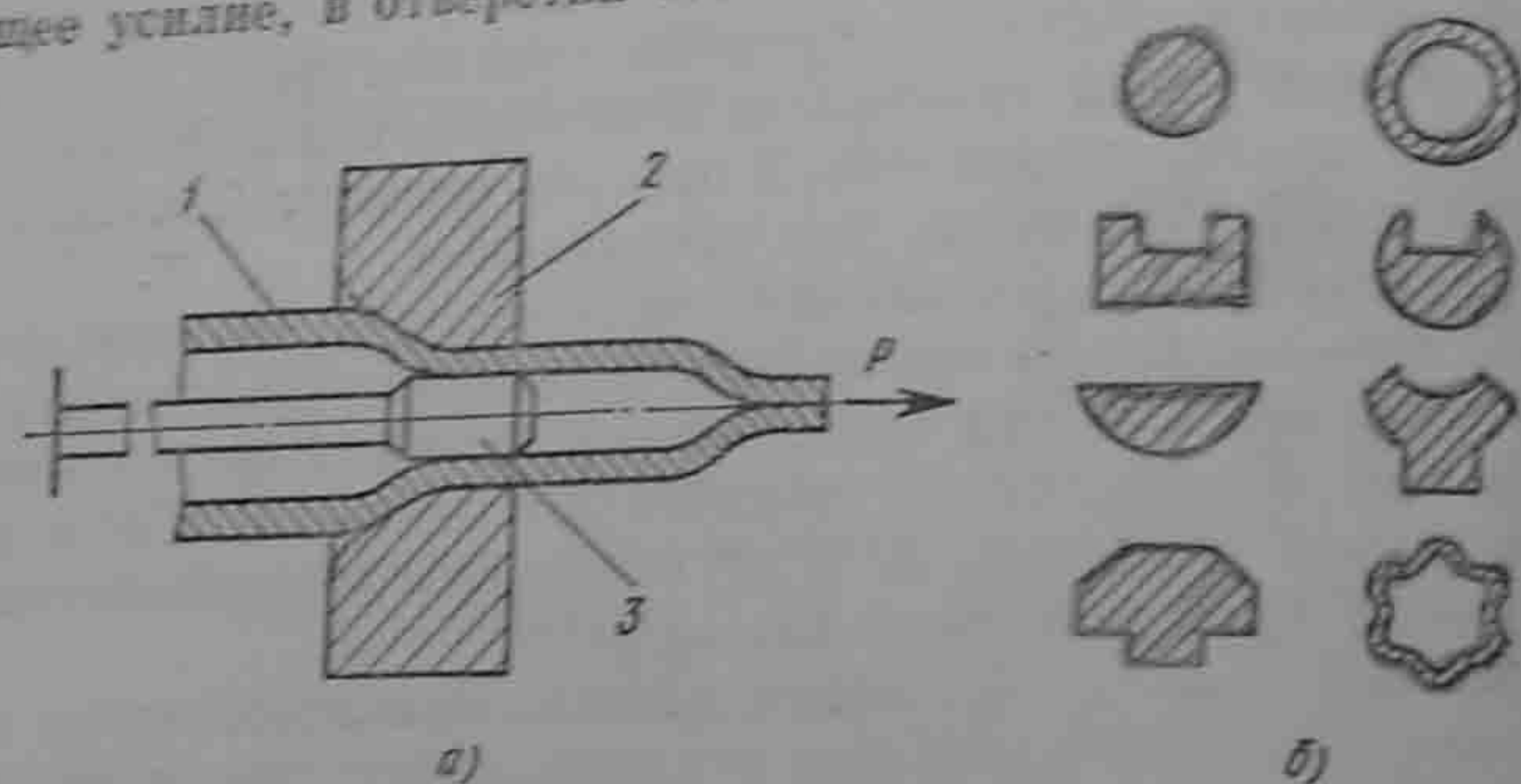


Рис. III.67. Схема волочения трубы (а) и примеры профилей, получаемых волочением (б)

выхода из нее металл испытывает растягивающие напряжения. Но если в очаге деформации, в котором действуют и сжимающие напряжения со стороны инструмента, металл пластически деформируется, то на выходящем из волоки конце прутка пластическая деформация недопустима. В противном случае прутки искажаются или рвутся. Поэтому величина деформации за один проход ограничена и вытяжка $\mu = 1,25 \div 1,45$. Поскольку тянущее усилие, приложенное к заготовке, необходимо не только для деформирования металла, но и для преодоления сил трения металла об инструмент, эти силы трения стараются уменьшить применением смазки и полированием отверстия в волоке.

Обычно для получения необходимых профилей требуется деформация, превышающая допустимую за один проход, поэтому применяют волочение за несколько переходов протягиванием через ряд постепенно уменьшающихся по величине отверстий. Но поскольку волочение, как отмечалось, осуществляют в условиях холодной деформации, металл упрочняется. Для восстановления пластичности упрочненный волочением металл подвергают промежуточному отжигу.

Волочением обрабатывают различные сорта стали и цветные металлы: медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др. Сортамент изделий, изготовляемых волочением, очень разнообразен: проволока диаметром 0,002—10 мм и фасонные профили, примеры которых показаны на рис. III.67, б (призматические и фасонные направляющие; сегментные, призматические и фасонные шпонки; шлицевые валики; опорные призмы и ножи и т. д.). Волочением калибруют стальные трубы диаметрами от капиллярных до 500 мм, стальные прутки диаметром 3—150 мм.

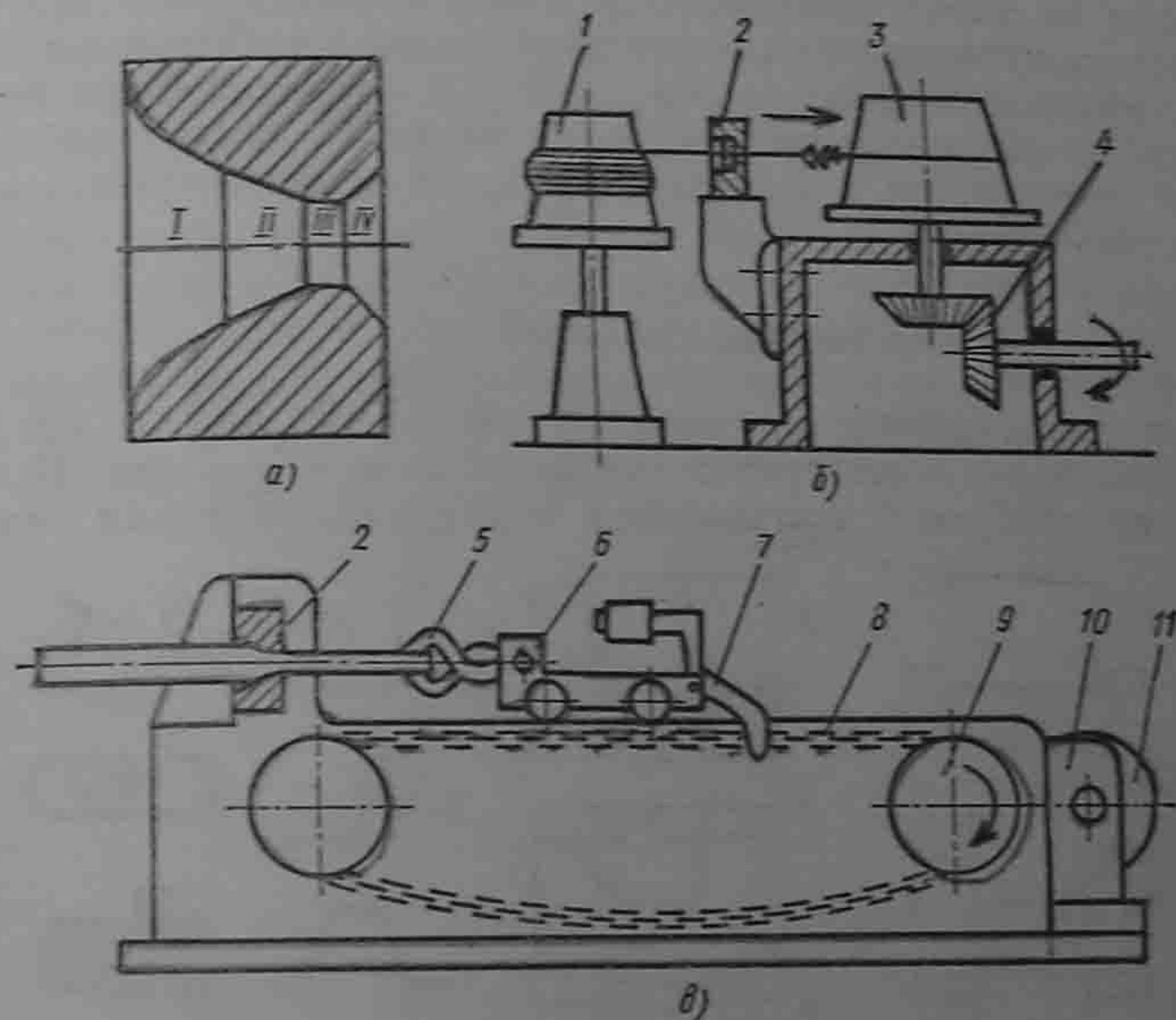


Рис. III.68. Продольный разрез волоки (а) и схемы барабанного (б) и цепного (в) волочильных станков

Волочение обеспечивает точность размеров (стальная проволока диаметром 1,0—1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), высокое качество поверхности, получение очень тонких профилей.

Инструмент волочения. Волока (рис. III.68, а) представляет собой кольцо, рабочее отверстие которого состоит из входной (или смазочной) зоны I, деформирующей зоны II, калибрующей цилиндрического пояса III и выходного конуса IV. Материалом для ее изготовления служат инструментальная сталь, металлокерамические сплавы и технические алмазы (для волочения проволоки диаметром менее 0,2 мм).

Оборудование для волочения. Волочильные станы в основном подразделяют на барабанные и цепные. Барабанные станы (рис. III.68, б) служат для волочения проволоки, труб небольшого диаметра, наматываемых в бунты. Исходную заготовку в виде

бунта укладывают на вертушку 7. Предварительно заостренный конец проволоки пропускается через отверстие волокна 2 и закрепляется на барабане 3, который приводится во вращение от электродвигателя через редуктор и зубчатую передачу 4. Кроме станов для однократного волочения, один из которых приведен на рис. III.68, б, существуют станы для многократного волочения. Последние имеют до 20 барабанов с установленными перед каждым из них волокнами.

Цепные станы с прямолинейным движением тянущего устройства (рис. III.68, в) применяют для волочения прутков и труб, которые не могут наматываться в бунты. На этом стане конец прутка пропускают через отверстие волокна 2 и захватывают клещами 5, которые закреплены на каретке 6. Каретка через тяговый крюк 7 перемещается пластинчатой цепью 8, приводимой в движение от звездочки 9, которая вращается от электродвигателя 11 через редуктор 10.

3. Производство гнутых профилей

При изготовлении горячей прокаткой фасонных профилей невозможно получить стенки толщиной менее 2—3 мм. В то же время по требуемой прочности в конструкциях такая толщина

практически не изменяются, т. е. происходит только последовательная гибка полосы или ленты в поперечном сечении.

На рис. III.69, а показано последовательное изменение плоской заготовки до требуемого профиля на профилегибочном стане. Число пар роликов, необходимое для изготовления того или иного профиля, зависит от сложности его конфигурации. Станы для получения гнутых профилей имеют несколько клетей (6—20 и более), установленных на одной металлической раме. Заготовкой при изготовлении гнутых профилей может быть лента и полоса из стали или цветных металлов толщиной 0,3—10 мм.

Форма гнутых профилей (рис. III.69, б) может быть и относительно простой (профиль открытого типа), и весьма сложной (профили полузакрытого и закрытого типа, профили с наполнителем).

Указанным способом получают большое число изделий для машиностроения, автомобильной и авиационной промышленности, строительных конструкций. Расширяющееся применение гнутых профилей обуславливается главным образом тем, что при одних и тех же прочностных свойствах они на 25—30% легче горячекатаных фасонных профилей.

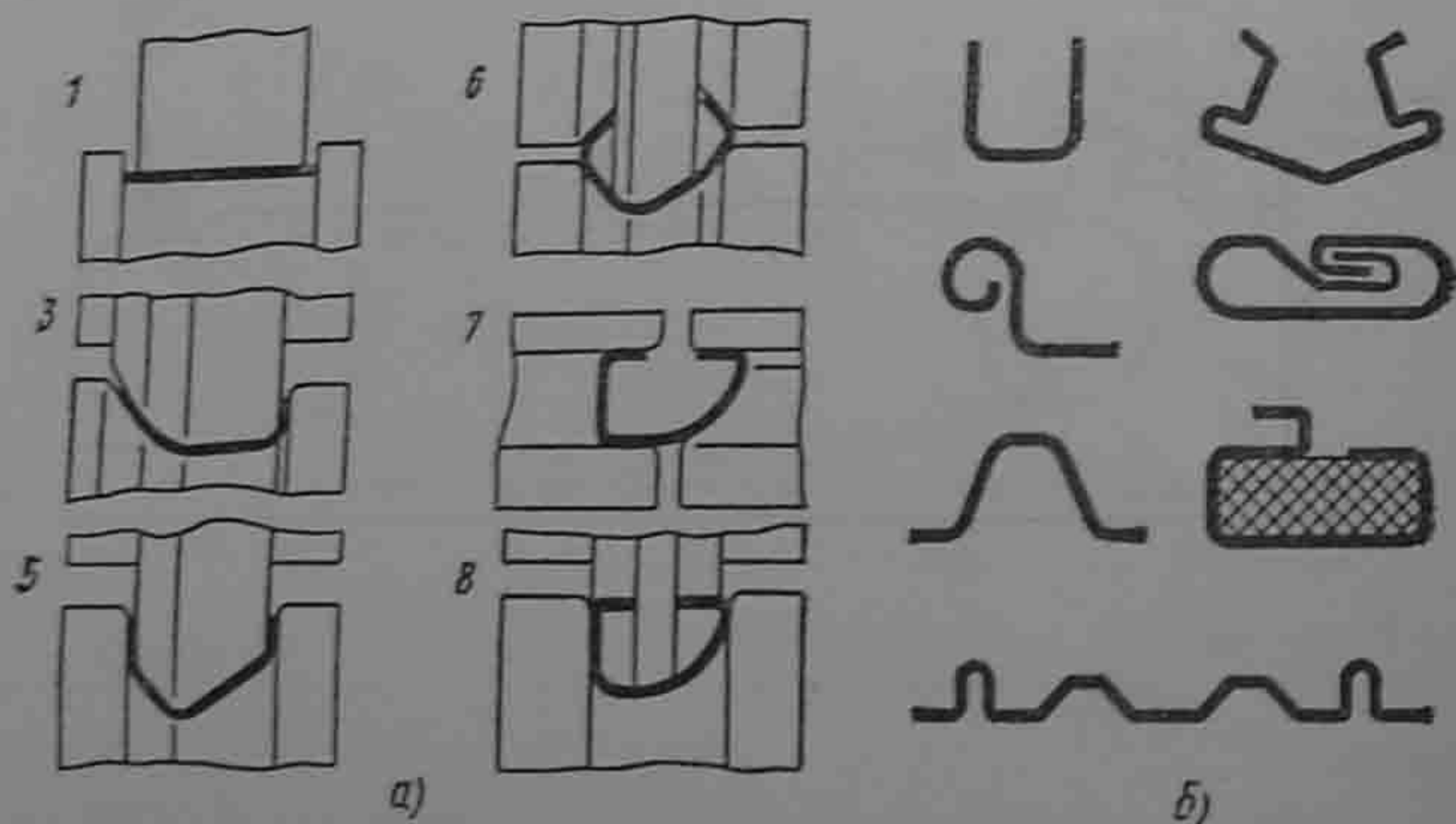


Рис. III.69. Последовательность профилирования на профилегибочном стане (а) и примеры гнутых профилей (б):

1, 3 и 5—8 — номера пар роликов (пары роликов 4 и 2 на рисунке не показаны)

нередко излишне большая. Фасонные тонкостенные профили, легкие, но жесткие, весьма сложной конфигурации и большой длины можно получать методом профилирования листового материала в холодном состоянии. Процесс профилирования прокаткой на профилегибочных станах заключается в постепенном изменении формы сечения плоской заготовки до требуемого профиля при последовательном прохождении полосы или ленты через несколько пар вращающихся фигурных роликов. При данном методе площадь поперечного сечения и толщина исходной полосы или ленты

Раздел IV ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Основные этапы процесса изготовления отливки

Литейным производством называется отрасль машиностроения, занимающаяся изготовлением фасонных деталей или заготовок путем заливки расплавленного металла в форму, полость которой имеет конфигурацию детали. После затвердевания металла в форме получается отливка (литая деталь или заготовка). Заготовки подвергаются в дальнейшем механической обработке. В машинах и промышленном оборудовании около 50% всех деталей изготавливают литьем. Например, доля литых деталей в молоте составляет 95%, в металлорежущих станках 80%, в текстильных машинах 72%, в автомобилях и тракторах 55%.

Общий выпуск отливок в России в 1913 г. составлял 0,5 млн. т, в 1975 г. в СССР — 25 млн. т.

Литьем можно изготавливать изделия очень сложной конфигурации, которые другими видами обработки — ковкой, штамповкой, сваркой — получить затруднительно или невозможно. Стоимость литой детали в большинстве случаев ниже стоимости аналогичной детали, изготовленной другими методами. Масса отливки может быть самой различной — от нескольких граммов (детали приборов) до сотен тонн (станины станков).

Литьем изготавливают такие ответственные детали, как детали двигателей внутреннего сгорания (блоки цилиндров, поршни), рабочие колеса насосов, лопасти газовых турбин, станины станков и т. д.

Литейные формы готовят чаще из формовочной смеси. Такие формы служат только один раз и разрушаются после извлечения из них отливки.

Из общего выпуска отливок в 1975 г. 75% получено в песчаных формах, 20% — в металлических и 5% другими способами литья. Литые детали изготавливают из чугуна, стали, медных, алюминиевых, магниевых и других сплавов.

По мере роста технических достижений в области литейного производства непрерывно повышается качество получаемых отливок, их прочность, а также точность и шероховатость поверхности. Совсем недавно предел прочности лучших (углеродистых) сталей для отливок не превышал 343—490 МН/м², а серого чугуна 98—117 МН/м² при удлинении 0,1%. Для литых деталей сейчас разработаны качественные и специальные стали, которые после надлежащей термической обработки имеют предел прочности при растяжении свыше 1900 МН/м², а высокопрочные чугуны с пределом прочности свыше

980 МН/м² при удлинении 11%. Разработаны новые дешевые марки сталей более простого состава, заменяющие дорогостоящие стали.

Перед литейным производством стоит задача получения отливок с максимальным приближением их формы и размеров к форме и размерам готовой детали или изделия, при этом наиболее трудоемкая операция механической обработки должна быть ограничена лишь чистовой обработкой и шлифованием. Этого можно достичь усовершенствованием и внедрением специальных, более точных способов литья (в кокиль, литье под давлением, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы и др.), описанных в гл. V.

Отливки изготавливают в литейном цехе. Последовательность технологического процесса их изготовления дана на рис. IV.1 и 2.

Отливки получают в литейной форме¹, полость которой соответствует конфигурации отливки. Форму изготавливают из формовочной смеси², состоящей из формовочных материалов³ (песка, глины и добавок воды, связующих материалов и т. д.). Формовочную смесь засыпают в литейные опоки⁴ и выполняют в них отпечаток модели. Модель имеет конфигурацию внешней поверхности отливки; ее изготавливают из древесины или металла. Внутренняя поверхность отливки образуется с помощью литейного стержня⁵, который устанавливают в форму. Литейные стержни выполняют из стержневой смеси, состоящей из песка и связующих материалов. Между полостью формы и стержнем образуется пространство, заливаемое жидким металлом. После его затвердевания образуется отливка.

Модели и стержни изготавливают со стержневыми знаками I (рис. IV.2, б) и 5 (рис. IV.2, г). Знаки на модели образуют в форме полости, в которые помещают знаковые части стержня. С помощью знаков стержень укрепляют и фиксируют в форме.

Рассмотрим последовательность изготовления отливки в песчаной форме.

В технологическом бюро по чертежу детали разрабатывают чертеж отливки. В модельном цехе по чертежу отливки (рис. IV.2, а) изготавливают деревянные или металлические модели (рис. IV.2, б)

¹ Литейная форма — элемент, образующий рабочую полость, при заливке которой расплавленный металл формирует отливку.

² Формовочная смесь — многокомпонентная смесь формовочных материалов, состав которой соответствует условиям технологического процесса изготовления неметаллических литейных форм.

³ Формовочный материал — совокупность природных и искусственных материалов, используемых для приготовления формовочных и стержневых смесей.

⁴ Литейная опока — приспособление для удержания формовочной смеси при изготовлении литейной формы, ее транспортировке и заливке жидким металлом.

⁵ Литейный стержень — элемент литейной формы для образования отверстия, полости или иного сложного контура в отливке.

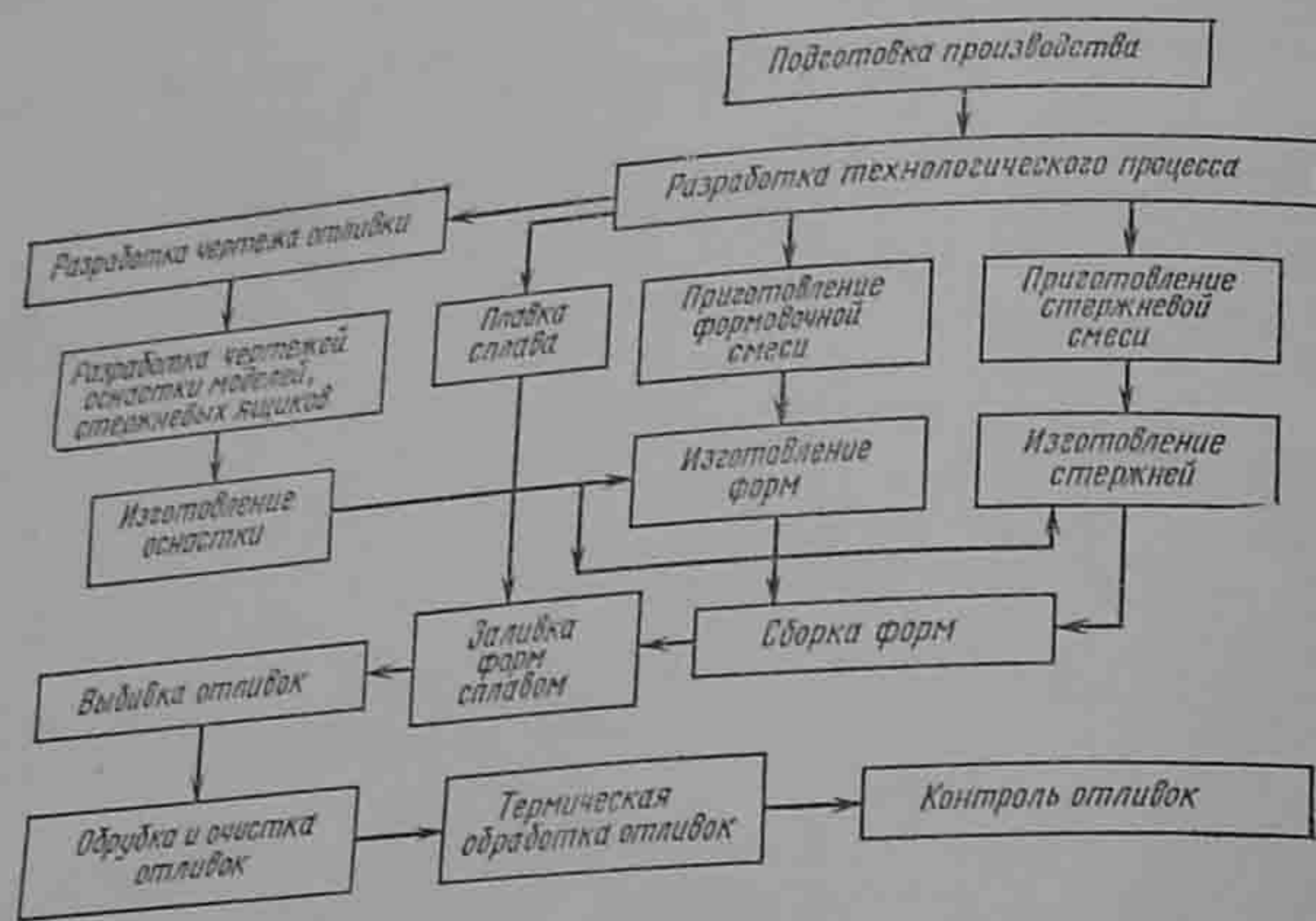


Рис. IV.1. Последовательность изготовления отливки

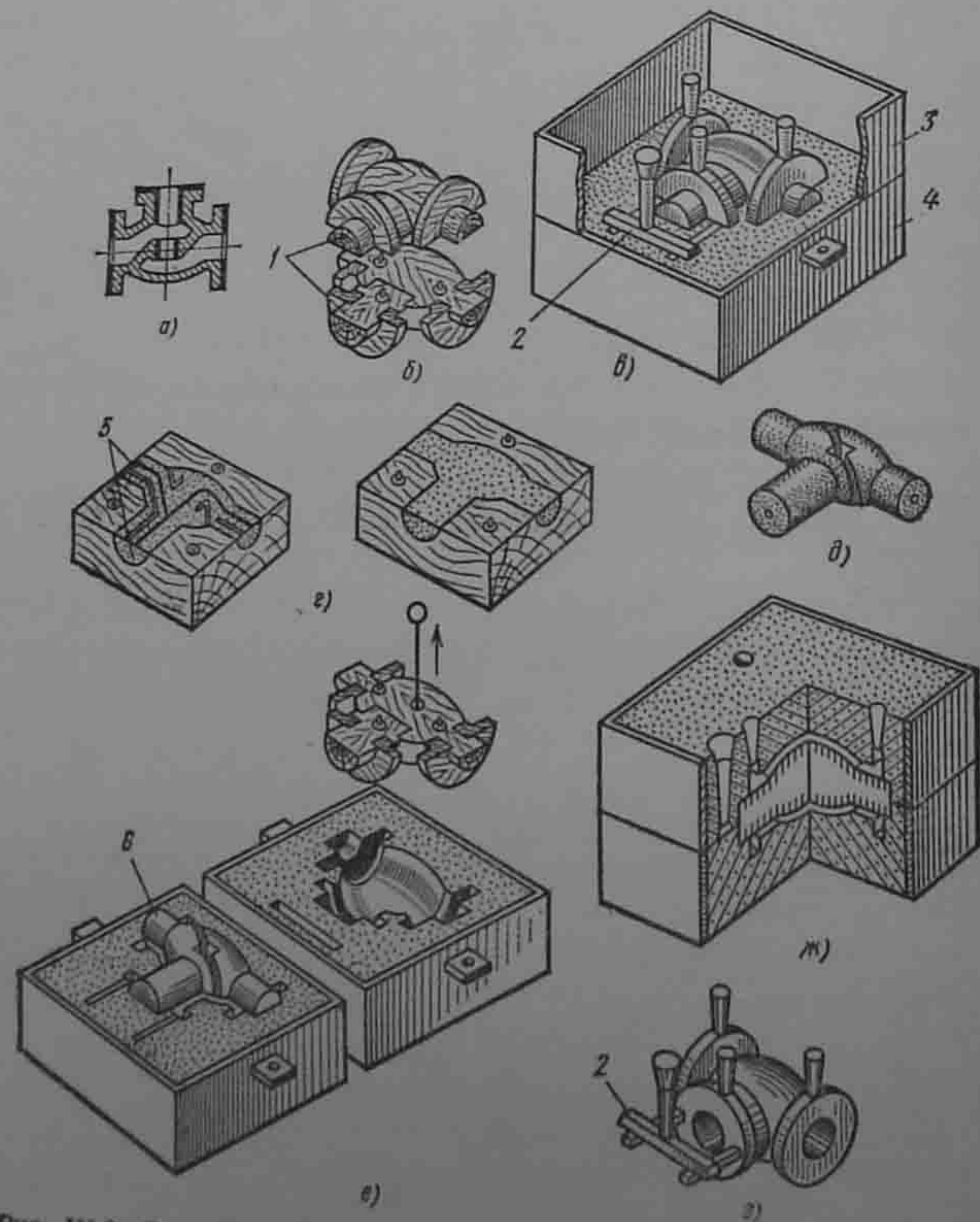


Рис. IV.2. Схема последовательности изготовления отливки

и стержневые ящики¹ (рис. IV.2, з). Для облегчения изготовления формы и стержня модель и стержневой ящик делают разъемными.

В формовочном отделении из формовочной смеси по модели изготавливают литейную форму. Для этого на плиту устанавливают половину модели, засыпают смесь в опоку 4 и уплотняют ее. Опоку переворачивают на 180°, на заформованную половину модели помещают вторую ее половину (рис. IV.2, в) и модель литниковой системы 2 (литники)². Затем устанавливают вторую опоку 3, засыпают в нее формовочную смесь и уплотняют. Далее поднимают верхнюю полуформу, извлекают из обеих полуформ половину модели (рис. IV.2, е) и модель литниковой системы, устанавливают в форму стержень 6 и накрывают нижнюю полуформу верхней (рис. IV.2, ж).

В стержневом отделении по стержневому ящику (рис. IV.2, з) из стержневой смеси изготавливают стержень (рис. IV.2, д). Для получения стержней необходимой прочности их сушат в сушилах или непосредственно в стержневом ящике.

В плавильном отделении в специальных плавильных печах расплавляют металл и заливают им формы. После затвердевания металла образуется отливка (рис. IV.2, з), которую извлекают, разрушая форму.

В очистном отделении из отливки выбивают стержни, отбивают или отрезают литники 2 (рис. IV.2, з), очищают отливку от пригоревшей формовочной смеси, зачищают остатки литников и при необходимости подвергают термической обработке. После очистки и контроля отливки направляют в механический цех для обработки или на склад готовой продукции.

2. Основы конструирования отливки

При конструировании конструктор должен выбрать конфигурацию детали с учетом условий работы машины, для которой она предназначена, материал, толщину стенок и размеры ее элементов с учетом технологии изготовления (литьем, ковкой, штамповкой, сваркой и др.).

Конструкция детали, удовлетворяющая требованиям технологии ее изготовления, является технологичной. Технологичная отливка должна отвечать наиболее рациональным технологии ее изготовления и эксплуатации. Рациональная конструкция обеспечивает значительный экономический эффект, снижает трудоемкость изготовления и повышает качество отливки.

¹ Стержневой ящик — приспособление, имеющее рабочую полость для получения в ней стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси.

² Литниковая система — система каналов и элементов литниковой формы для подвода в ее полость расплавленного металла, обеспечивающая заполнение и питание отливки при затвердевании.

1. Механические свойства литейных сплавов

Литейные сплавы обладают широким диапазоном механических и физических свойств, особенно железоуглеродистые сплавы — чугуны (серый, высокопрочный, ковкий) и стали (углеродистая и легированная).

При проектировании детали в первую очередь учитывают механические свойства сплава. Основными механическими свойствами сплава являются предел его прочности при растяжении и удлинение, определяющее пластичность сплава. Сплавы по этим свойствам можно выбрать с помощью графика на рис. IV.3. Из графика видно, что углеродистая сталь обладает большой пластичностью и в то же время достаточно высокой прочностью. Максимальную прочность имеет легированная сталь и высокопрочный чугун, но они характеризуются удлинением 5—10%. Плохой пластичностью обладает серый чугун (удлинение до 0,25%), однако он имеет другие ценные свойства, о которых сказано ниже. Меньше

прочность магниевых и алюминиевых сплавов, но у них небольшая плотность. Медные сплавы имеют довольно высокую прочность, пластичность и коррозионную стойкость, но являются дорогостоящими. Кроме пластичности и прочности, при выборе сплава учитывают и другие их свойства. Для изготовления одних деталей основным свойством является плотность, для других — жаропрочность, коррозионная стойкость, износостойкость и т. д.

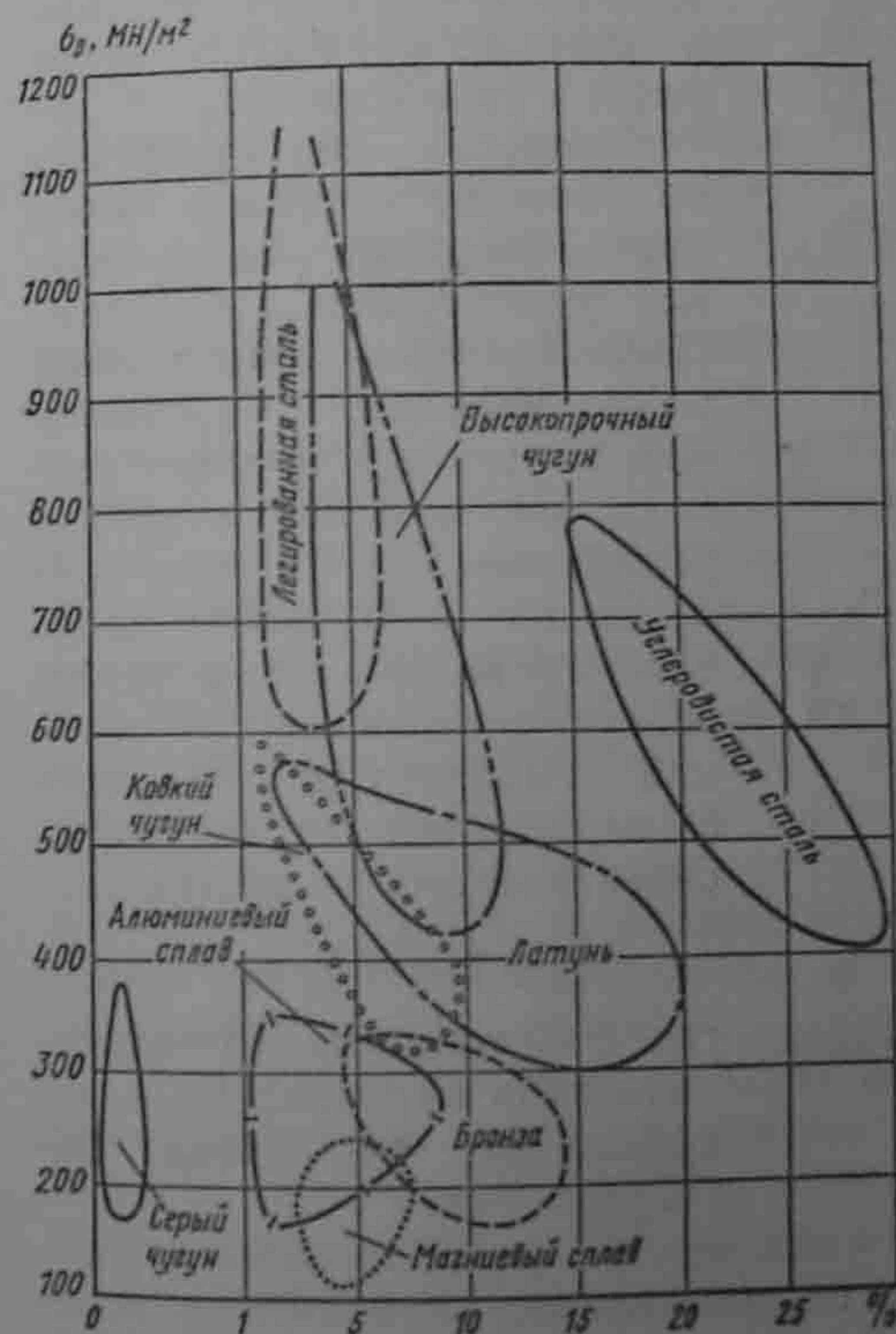


Рис. IV.3. Прочность и пластичность различных сплавов

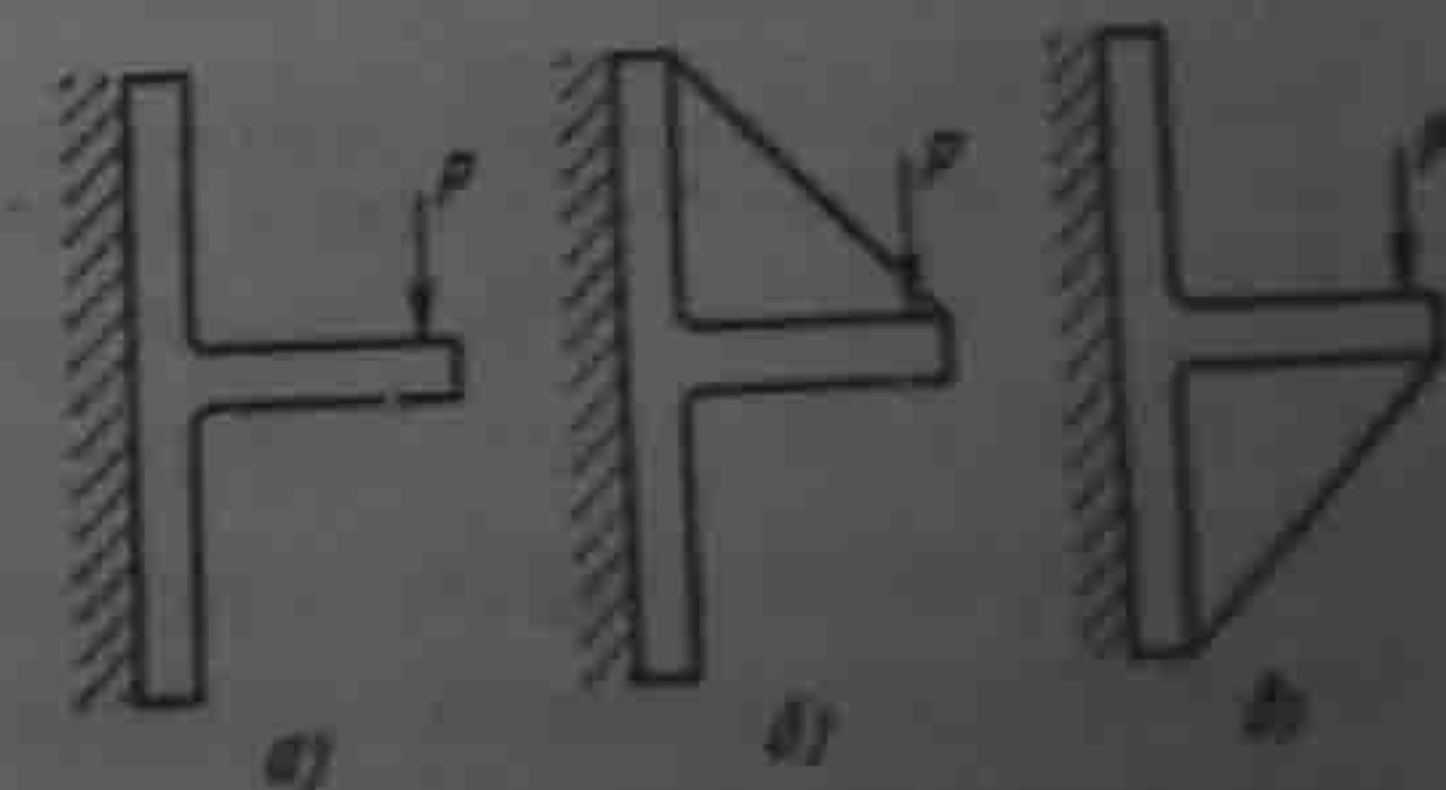


Рис. IV.4. Влияние различных форм ребер жесткости на прочность титановых конструкций

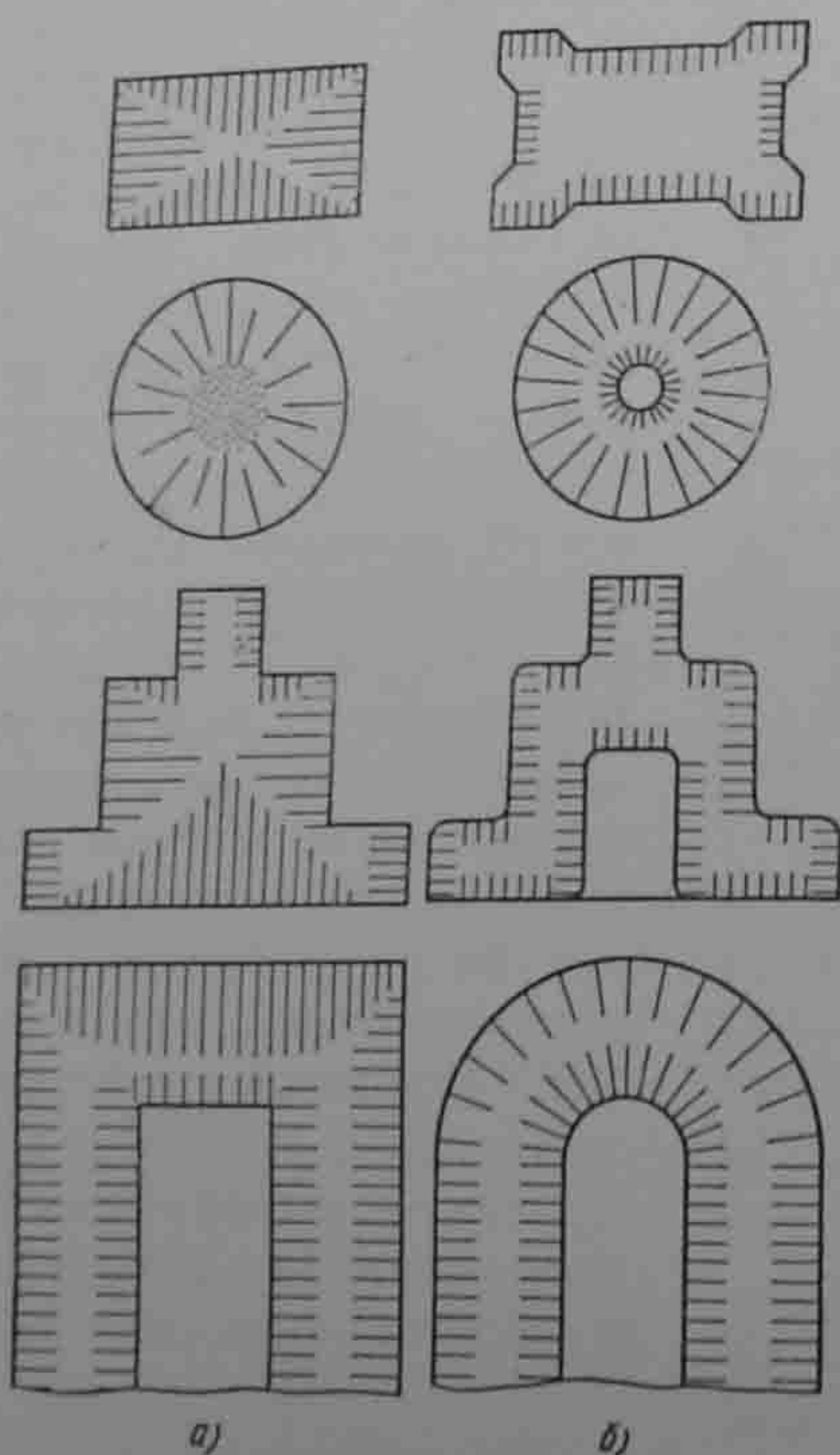
При конструировании литой детали учитывают свойства металла, технологию изготовления модели, формы, стержня, сборки формы и обрубку отливок. При массовом производстве изделия конструктор учитывает возможность максимальной механизации и автоматизации производства. При конструировании детали, изготовляемой в единичном и мелкосерийном производствах, принимают во внимание имеющееся в наличии оборудование цеха, в котором отливают эту деталь (опроки, плавильные печи, подъемные краны), а также наличие квалифицированных рабочих и т. п. Кроме того, при конструировании надо предусматривать возможность транспортировки изделия и механическую обработку отливки.

Новые отливки быстро осваивают в поточном производстве, если при конструировании предусмотрена правильная технология их изготовления.

Конструктор может заложить в свою конструкцию максимальные механические свойства, которыми обладает тот или иной сплав. Например, литая траверса может работать только на растяжение (рис. IV.4, б), на изгиб (рис. IV.4, а) или на сжатие (рис. IV.4, в) перестановкой ребра жесткости. Если ребро жесткости поставить внизу (рис. IV.4, в), то такую отливку можно изготовить из дешевого сплава — чугуна, который хорошо работает на сжатие.

2. Образование отливки в литейной форме

В жидком металле при высоких температурах атомы движутся беспорядочно. После заливки металл в форме охлаждается и затвердевает около центров кристаллизации с образованием кристаллических решеток твердых фаз.



Вокруг центров кристаллизации происходит рост кристаллов металла: вначале у стенок формы, а затем внутри тела отливки.

Скорость затвердевания по сечению стенки отливки неравномерная: максимальная у поверхности отливки. После затвердевания тонкой корки количество передаваемой в единицу времени теплоты от металла к форме уменьшается, так как прилегающие к отливке малотеплопроводные слои формы успевают нагреться до высокой температуры. Скорость затвердевания последующих слоев металла замедляется:

$$\delta = K \sqrt{\tau},$$

где δ — толщина затвердевшего слоя металла; K — коэффициент; τ — время затвердевания.

С увеличением скорости охлаждения увеличивается число зародышей кристаллизации, а следовательно, уменьшается величина зерна металла и повышаются его механические свойства. Поэтому у поверхности отливки металл имеет максимальную, а в средней части стенки минимальную прочность.

Процесс кристаллизации. Кристаллизация металла происходит от поверхности формы в глубь отливки. При неправильно выбранной конструкции отливки (рис. IV.5, а) возможно снижение ее механических свойств из-за неудачно расположенных кристаллов и образования пористости. Изменением конструкции отливки (рис. IV.5, б) повышают ее механические свойства.

При конструировании литой детали следует учитывать ход процесса затвердевания отливки. В отливках из сплавов, имеющих большую усадку и ликвацию, необходимо, чтобы затвердевание происходило снизу вверх, вследствие чего усадочная раковина, а также ликвирующие включения перемещаются в верхнюю часть отливки, где устанавливается прибыль 2 (рис. IV.6) *.

Проследим процесс образования усадочной раковины 1 в прибыли 2. После заливки металла затвердевает послойно, начиная от стенок формы. При затвердевании и охлаждении уменьшается объем металла, поэтому уровень жидкого металла в прибыли опускается и последующие слои в ней затвердевают на более низких уровнях. Так как в прибыли металл затвердевает в последнюю очередь, именно в ней и образуется усадочная раковина 1. В зоне 3 металл охлаждается медленно, вследствие чего в этой зоне образуется усадочная пористость.

Толщина стенок стальных отливок имеет критическую величину, после достижения которой прочность отливок увеличивается непропорционально этой толщине. Для стали, содержащей 0,1% С, критическая толщина стенок составляет 11 мм, для стали с 0,2% С — 13 мм, для стали с 0,3% С — 18,5 мм, для стали с 0,4% С — 39 мм. С увеличением толщины стенок отливок из серого чугуна прочность металла, отнесенная к единице площади сечения (удельная прочность металла), всегда снижается.

Повышение прочности детали при минимальном расходе металла возможно при правильном подборе геометрических форм сечения отливки. Например, момент сопротивления прямоугольного сечения спиц зубчатых колес в 3 раза меньше, чем момент для таврового сечения такой же площади.

* Прибыль — элемент литниковой системы для питания отливок в период затвердевания с целью предупреждения образования усадочных раковин.

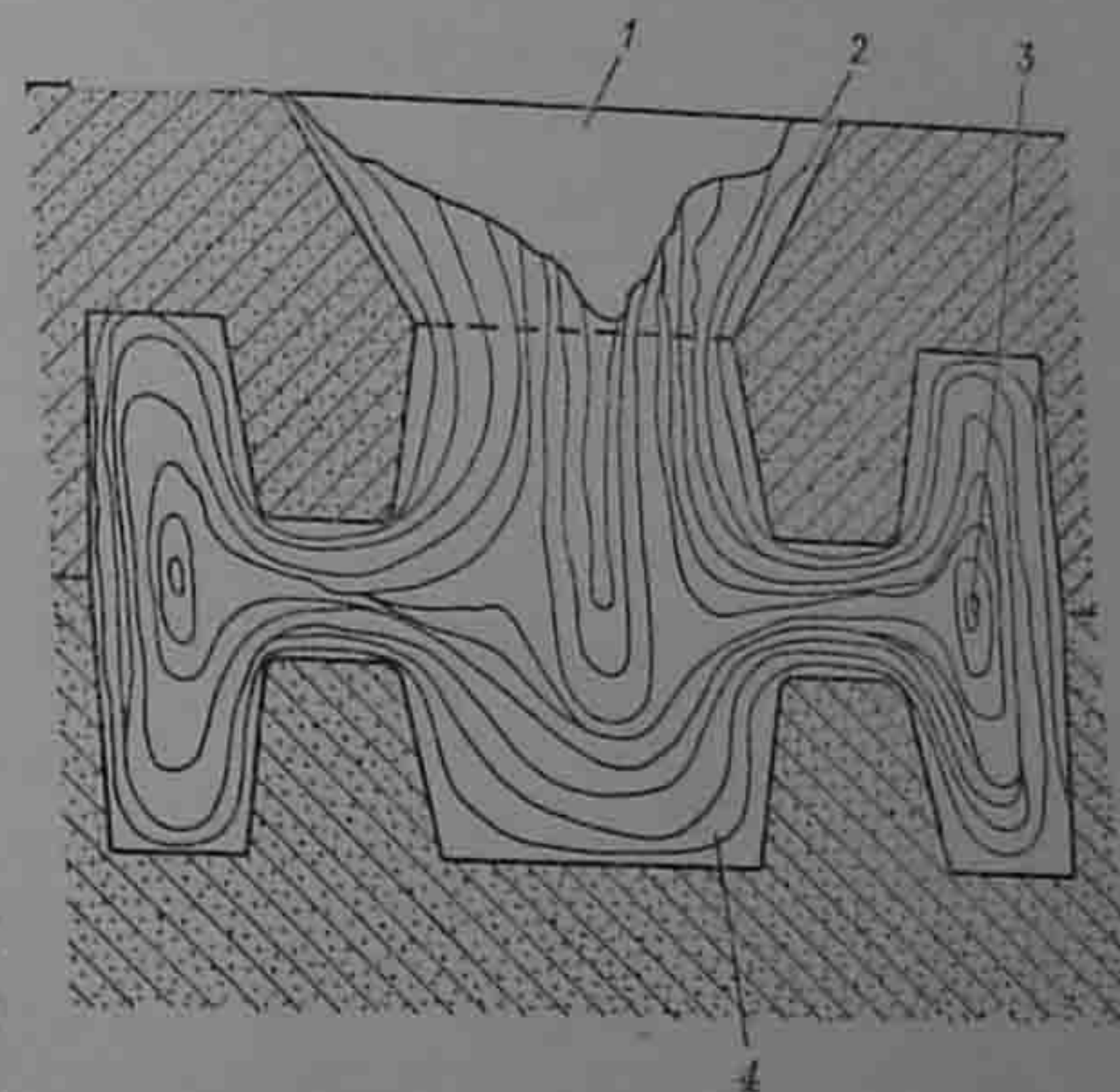


Рис. IV.6. Образование усадочной раковины в отливке:

1 — усадочная раковина; 2 — прибыль; 3 — усадочная пористость; 4 — отливка

3. Литейные свойства сплава

При конструировании литой детали необходимо учитывать литейные свойства сплава: жидкотекучесть, усадку и склонность к ликвации.

Жидкотекучесть. Это способность сплава при заливке воспроизводить рельеф полости формы. При недостаточной толщине стенок отливки или низкой жидкотекучести сплава форма заполняется им не полностью, деталь получается с «недоливом» и бракуется.

Жидкотекучесть сплава измеряют с помощью особой технологической пробы — спирали, имеющей трапецевидное поперечное сечение площадью $0,56 \text{ см}^2$. Модель спирали формируют в песчаной форме и заливают испытуемым сплавом. Чем больше жидкотекучесть сплава, тем длиннее участок спирали, заливаемый металлом.

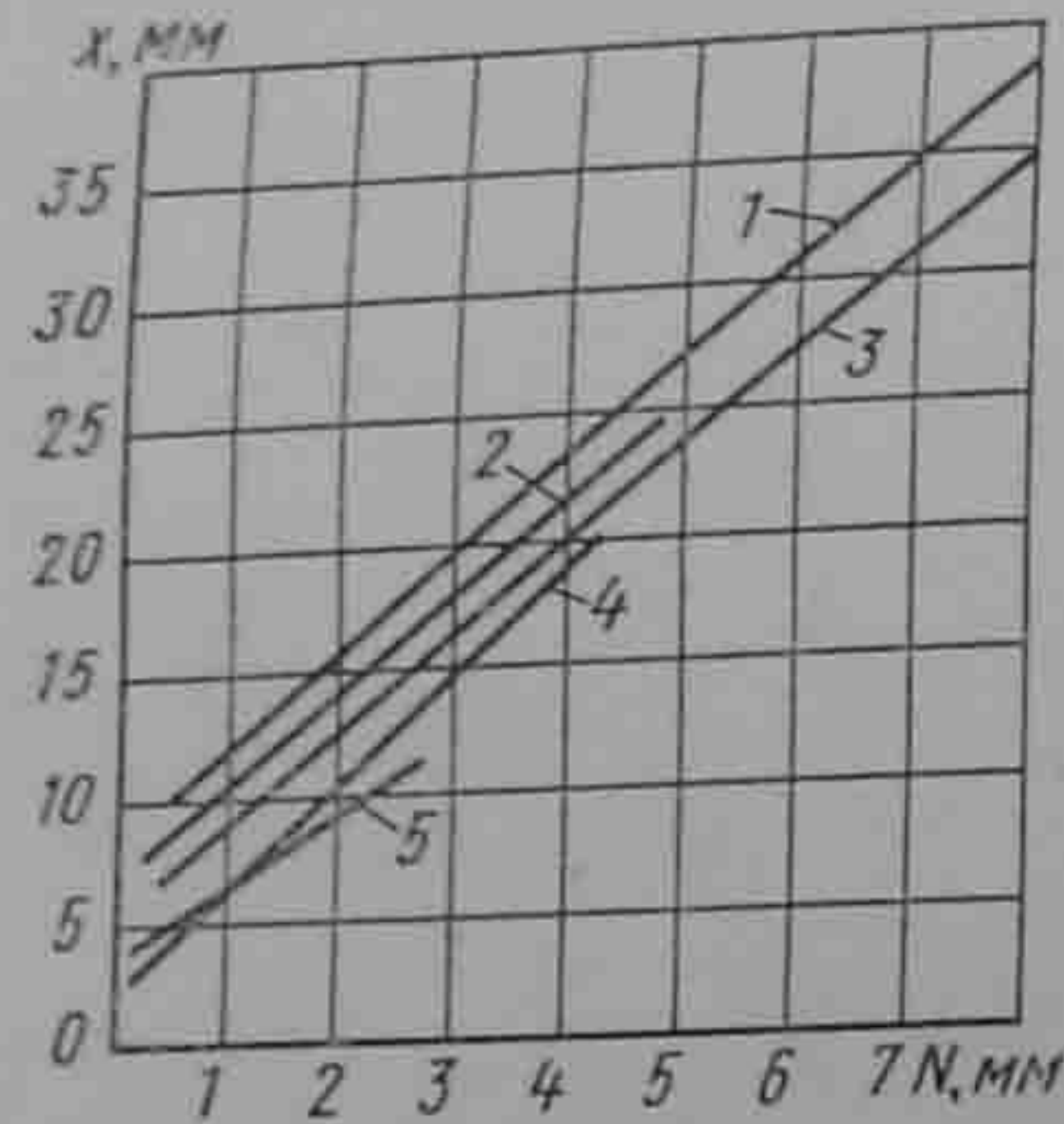


Рис. IV.7. Диаграмма для определения минимальных толщин стенок отливок из:

1 — стали; 2 — безоловянных медных сплавов; 3 — серого чугуна; 4 — оловянных медных сплавов; 5 — алюминиевых сплавов

Жидкотекучесть сплава зависит от его физико-химических свойств и температуры в момент заливки. Оловянная бронза, сплав алюминия и кремния (силумин) и чугун обладают хорошей жидкотекучестью. С повышением температуры заливаемого сплава жидкотекучесть увеличивается.

Рассчитывая при проектировании толщину стенок отливки, обеспечивающую требуемую прочность и экономию металла, необходимо учитывать жидкотекучесть сплава при оптимальной

температуре его заливки. Минимальные толщины x необрабатываемых стенок и габаритные размеры N отливки, обеспечивающие заполнение песчаной формы жидким металлом при нормальных условиях, даны на рис. IV.7. Указанные толщины зависят от состава сплава и габаритных размеров N . Габаритные размеры отливки (в мм)

$$N = \frac{2l + b + h}{3};$$

для коробчатых отливок

$$N = \frac{2l + b + h}{4},$$

где l — длина; b — ширина; h — высота.

Усадка. Это свойство сплава уменьшаться в объеме и линейных размерах при затвердевании и охлаждении. Линейная и

объемная усадки обычно выражаются в процентах. На величину усадки оказывают влияние химический состав и температура заливки сплава. С повышением температуры заливаемого сплава усадка отливки увеличивается.

Л и н е й н а я у с а д к а. Отливки из серого чугуна имеют в среднем линейную усадку, равную 1%, из стали — 2%, из большинства сплавов цветных металлов — 1,5%. С усадкой сплава связаны многие затруднения в производстве отливок. При затормаживании усадки (выступами формы, стержнями) в отливке возникают напряжения, вызывающие ее коробление, а иногда и образование трещин.

Трещины могут быть горячими и холодными в зависимости от того, в какой период охлаждения они образовались. Горячие трещины появляются при температуре, близкой к температуре затвердевания сплавов, когда они имеют очень низкую прочность.

При затвердевании и последующем охлаждении внешние, более остывшие слои отливки затрудняют усадку внутренних горячих слоев. В результате внутренние слои, находящиеся в пластическом состоянии, будут пластически растянуты, а наружные слои упруго сжаты, что приводит к образованию внутренних напряжений.

Если величина напряжений превысит величину предела прочности материала, то происходит разрушение и появляются трещины; если величина напряжений превышает лишь предел текучести, то возможно искривление отливки.

Трещины, возникающие в затвердевшей отливке в результате внутренних напряжений, называют холодными. Они образуются чаще всего в тонкостенных отливках сложной конфигурации и неравномерного сечения, изготовляемых из сплавов с большой линейной усадкой. При конструировании литой детали необходимо учитывать вредные последствия линейной усадки. В острых внутренних углах при затвердевании отливки образуется стык кристаллов, который при усадке создает узел концентрации напряжений. Поэтому при сопряжении стенок отливки под углом необходимо предусматривать галтели (закругления).

Для предупреждения образования трещин в отливке следует обеспечить свободную ее усадку в форме, не допускать большого числа выступающих частей, затрудняющих усадку. В шкивах, маховиках спицы выполняют под углом к ободу (рис. IV.8, а) или искривленными (рис. IV.8, б); в последнем случае уменьшаются внутренние напряжения в спицах, так как они при затвердевании немного выпрямляются.

Для уменьшения коробления отливок необходимо предусматривать равномерное охлаждение их по сечению. На рис. IV.9, б—г показаны профили литого бруска с разной толщиной ребер и характер их коробления в результате термических напряжений при усадке отливки. Отливки, имеющие жесткую конструкцию (рис. IV.9, а, д, е), не коробятся.

В резких переходах от толстой стенки к тонкой создаются усадочные напряжения, вследствие чего (рис. IV.10, а—г) в отливке при затвердевании образуются трещины. Для предупреждения этого дефекта необходимо предусмотреть плавный переход от одной стенки к другой (рис. IV.10, б). Плавный переход по длине L от толстой стенки A к тонкой a должен соответствовать соотноше-

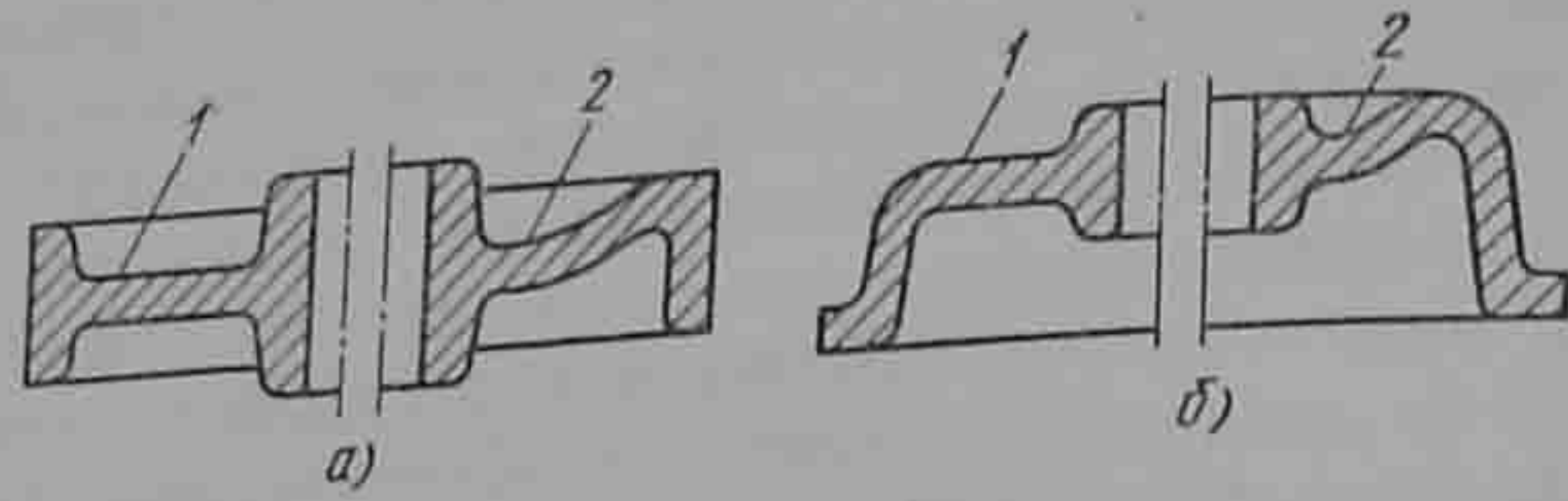


Рис. IV.8. Изменение конструкции отливки для предупреждения образования в ней трещин: 1 — неправильная и 2 — правильная конструкции

нию $c = 3\sqrt{A-a}$. Если разница толщин стенок (рис. IV.10, в) соответствует соотношению $c = 3\sqrt{A-a}$ и $a + c = A$, то $h > 4c$; если $c = 1,5\sqrt{A-a}$ и $a + 2c \leq A$, то $h > 8c$.

Для увеличения жесткости конструкции литой детали и уменьшения склонности ее к образованию коробления отдельные элементы детали выполняют с ребрами жесткости (рис. IV.10, г).

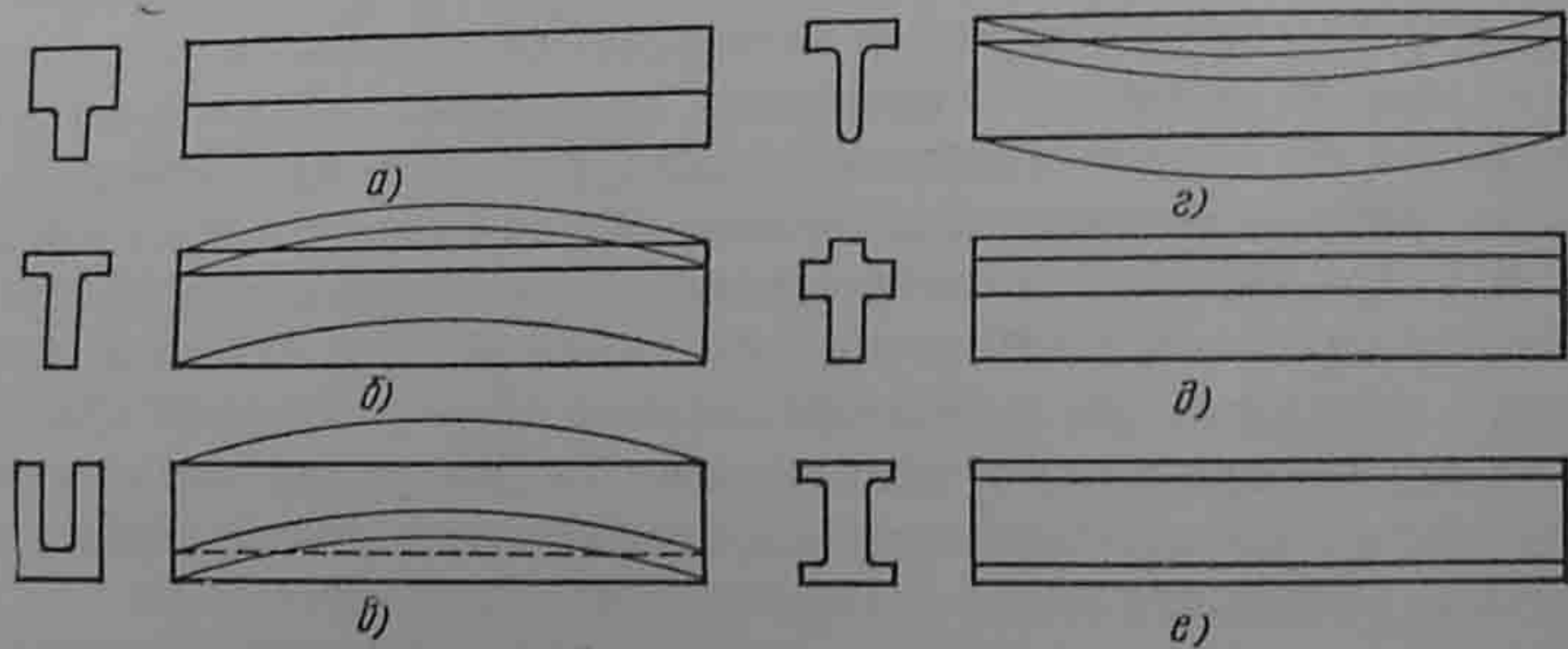


Рис. IV.9. Влияние конструкции профиля бруска на характер его коробления (коробление отливки показано тонкой линией)

Толщина ребра должна составлять не более 80% наименьшей толщины отливки, к которой оно примыкает. Толщина ребер, расположенных внутри отливки, вследствие более медленного их охлаждения должна быть уменьшена до 60% толщины примыкающей стенки.

По тем же соображениям целесообразно кромки стенок с большой поверхностью утолщать буртиком (рис. IV.10, д). Ориентировочно толщина буртика b должна составлять 0,5—0,8 толщины отливки a , а ширина h составлять $(1 \div 2)a$. При изготовлении

модели необходимо учитывать величину усадки сплава, и поэтому ее размеры увеличивают по сравнению с размерами чертежа отливки на величину усадки данного сплава.

Объемная усадка. Затвердевание отливки происходит послойно, начиная от стенок формы, и постепенно передвигается

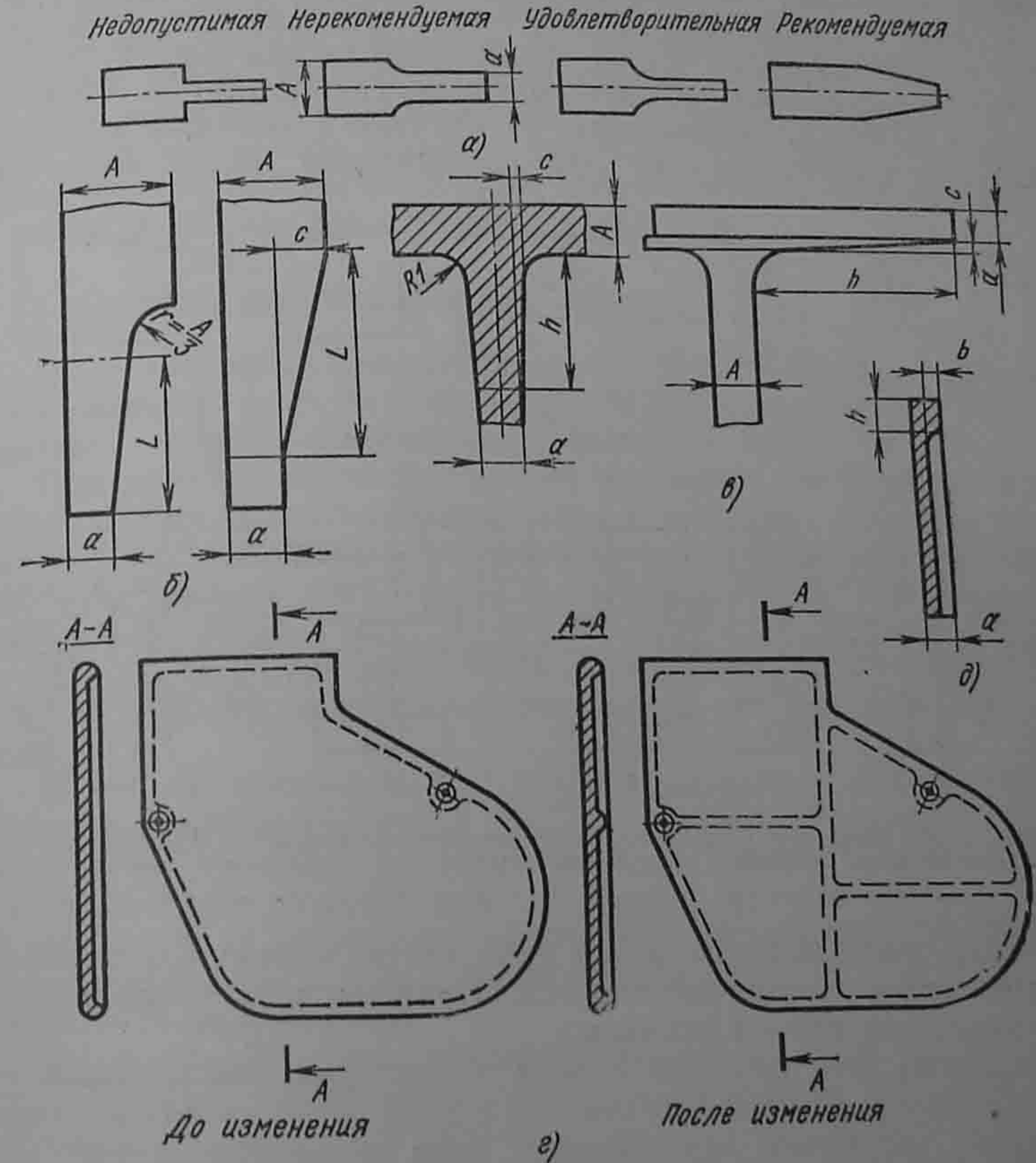


Рис. IV.10. Конструктивные меры для предупреждения образования в отливке трещин и ее коробления

в глубь тела отливки. Усадка затвердевшей части отливки выполняется за счет еще не затвердевшей части. В результате этого в местах, в которых металл затвердевает в последнюю очередь, образуются усадочные раковины (см. рис. IV.6). В отдельных частях литой детали не должно быть большого скопления металла, так как это может привести к образованию усадочной раковины.

Равномерность толщины стенок отливки и размеры скопления металла можно определить диаметром вписанной в сечение от-

ливки окружности (рис. IV.11). Желательно, чтобы соотношение диаметров вписанных окружностей в близко расположенных сечениях не превышало 1,5. Это можно обеспечить уменьшением радиуса галтели (рис. IV.11, а, б). Однако слишком малый радиус галтели может привести к образованию трещин в этом месте отливки. Избежать указанного можно с помощью углублений с, д, е в стенках отливки (рис. IV.11, в—д); при сопряжении четырех стенок отливки (рис. IV.11, е) — смещением одной стенки (рис. IV.11, ж), а если это невозможно, то предусматривают отверстие (рис. IV.11, з).

Для отливок, получаемых из сплавов с большой объемной усадкой, предусматривают при изготовлении формы место для

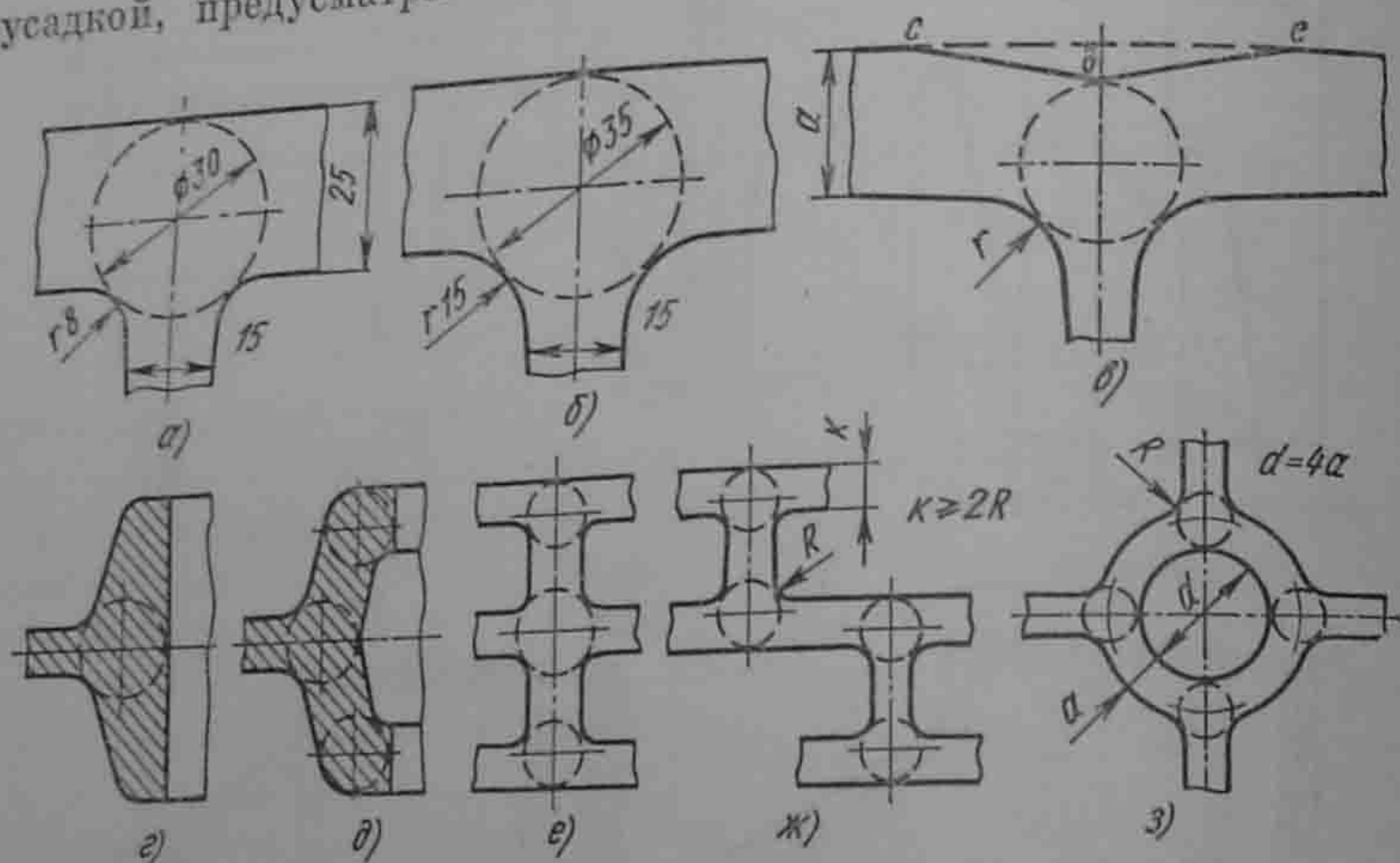


Рис. IV.11. Меры для устранения большого скопления металла в стенке отливки. Правило вписанной окружности

прибыли. Прибыли располагают в тех местах отливки, где металл затвердевает в последнюю очередь. Прибыль изготовляют более массивной, чем стенки отливки.

Ликвация. Это свойство сплава характеризуется появлением неоднородности химического состава в различных частях отливки. В сплавах различают два основных вида ликвации: внутрикристаллическую, характеризующуюся неоднородностью зерна металла, и зональную, когда различные зоны отливки имеют различный химический состав.

На ликвацию оказывают значительное влияние химический состав сплава и скорость охлаждения отливки. Чем крупнее отливка, тем медленнее она охлаждается и тем больше развивается зональная ликвация. В тонкостенных отливках зональная ликвация развита меньше. Ликвационные включения концентрируются в толстых частях отливки. Поэтому при конструировании необходимо предусматривать равномерную толщину стенки литых деталей или конструировать их по принципу направленного за-

твердевания так, чтобы отливка затвердевала по направлению установленной прибыли. В этом случае большая часть ликвирующих примесей скапливается в прибыли, затвердевающей в последнюю очередь.

Газовые раковины. В период затвердевания отливки из металла выделяются газы, которые растворены в жидком металле. Если газовый пузырь не успевает всплыть на поверхность находящегося в форме металла или в прибыль, то в отливке образуется газовая раковина. Источником газовых раковин может быть и форма при недостаточной ее газопроницаемости или при выделении ею большого количества газа. Газовые раковины чаще всего образуются около поверхности горизонтально расположенных стенок отливки, а также в местах, где затруднен отвод газа.

4. Сплавы, применяемые для отливок

В отечественном машиностроении 74% всех отливок изготовляют из серого чугуна, 21% из стали, 3% из ковкого чугуна и 2% из цветных сплавов (алюминиевых, медных и др.).

При выборе сплава необходимо учитывать его свойства и стоимость. Если принять среднюю стоимость отливки из серого чугуна за 100%, то стоимость отливок из других сплавов составляет 130% из ковкого чугуна, 150% из стали, 300—600% из цветных сплавов.

Чугун. Чугуном называется сплав железа, углерода (более 2%) и других элементов (кремния, марганца, фосфора, серы и др.).

В чугуне углерод может находиться в химически связанном состоянии в виде цементита (Fe_3C) и в свободном состоянии в виде включений графита. В зависимости от количества связанного углерода чугун подразделяют на серый, половинчатый и белый. В сером чугуне химически связанного углерода менее 0,8%, в половинчатом более 0,8%, в белом чугуне почти весь углерод находится в состоянии Fe_3C .

Серый чугун является самым дешевым из литейных сплавов. Его механические свойства зависят от величины зерна металла, от размеров и характера распределения включений графита, а также от соотношения между общим, связанным и свободным углеродом (графитом). В обычном сером чугуне графит кристаллизуется в виде пластинок, которые расчленяют основную металлическую массу и действуют как внутренние трещины. По этой причине серый чугун с пластинчатым графитом обладает низкой прочностью и малой пластичностью (до 0,3%). Однако наличие графита в чугуне придает ему меньшую чувствительность к внешним надразам. Вследствие этого конструктивную прочность чугуновой отливки незначительно снижает наличие острых углов, резких переходов, неметаллических включений, небольших газовых раковин и пор.

Серый чугун обладает способностью рассеивать вибрационные колебания при переменных нагрузках. Это свойство называют циклической вязкостью. Благодаря высокой демпфирующей способности серый чугун является хорошим конструкционным материалом, которым во многих случаях можно заменить более дорогостоящую сталь, например при изготовлении коленчатых валов. Серый чугун имеет хорошие литейные свойства. Кроме того, отдельные марки серого чугуна обладают достаточно высокой прочностью и износостойкостью. Все это обуславливает широкое применение серого чугуна для изготовления разнообразных машиностроительных деталей.

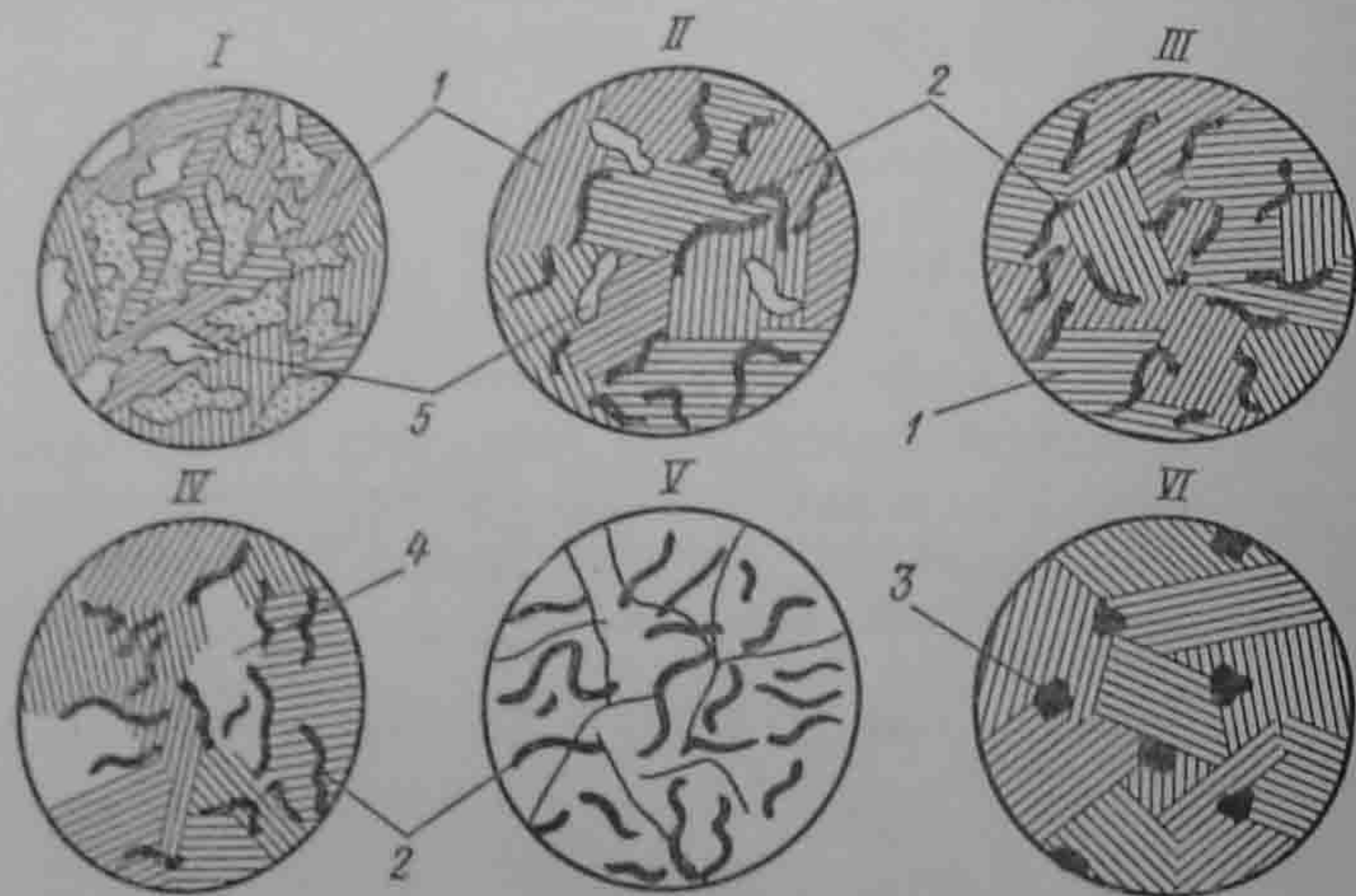


Рис. IV.12. Схемы микроструктур чугуна:

1 — перлит; 2 — графит; 3 — шаровидный графит; 4 — феррит; 5 — цементит

Те или иные свойства отливки или отдельных ее частей зависят от структуры чугуна.

Микроструктура чугуна. Чугунные отливки могут иметь следующие структурные составляющие: феррит, перлит, ледебурит, фосфидную эвтектику и графит.

По микроструктуре чугуны подразделяют на белый (рис. IV.12, I), в котором имеется ледебуритный цементит и перлит; серый перлитный чугун с перлитом и графитом (рис. IV.12, III); серый ферритный чугун с ферритом и графитом (рис. IV.12, V). Кроме основных видов чугуна, применяют чугуны с промежуточными микроструктурами: половинчатый, в котором содержится перлит, ледебурит и графит (рис. IV.12, II); перлитно-ферритный с ферритом, перлитом и графитом (рис. IV.12, IV).

В обычном сером чугуне графит имеет пластинчатое строение (рис. IV.12, V), а в высокопрочном чугуне — шаровидную форму (рис. IV.12, IV).

Механические свойства чугуна обусловлены его микроструктурой. По общесоюзному стандарту имеется 11 марок серого чугуна: СЧ 00, СЧ 12-28, СЧ 15-32, СЧ 18-36, СЧ 21-40, СЧ 24-44, СЧ 28-48, СЧ 32-52, СЧ 36-56, СЧ 40-60, СЧ 44-64 (буквы СЧ означают серый чугун, первое число — минимальный предел прочности при растяжении, второе число — минимальный предел прочности при изгибе).

Чугуны СЧ 00 и СЧ 12-28 имеют ферритную структуру; начиная с СЧ 24-44 до СЧ 44-64 — перлитную структуру, а остальные — ферритно-перлитную структуру.

На образование той или иной микроструктуры оказывает влияние химический состав чугуна и скорость охлаждения отливки.

В сером чугуне обычно содержится 2,9—3,6% С; 1,5—3,5% Si; 0,4—1% Mn; 0,2—0,6% P; 0,03—0,12% S; в легированном чугуне содержатся и другие элементы. Углерод и кремний способствуют выделению графита; хром, сера и частично марганец — образованию цементита.

Скорость охлаждения отливки влияет на образование той или иной структуры чугуна. С увеличением скорости охлаждения отливки повышается содержание в чугуне цементита; с уменьшением скорости охлаждения отливки увеличивается содержание в чугуне графита ($Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$).

Поэтому отливки со стенками разной толщины и с различной скоростью охлаждения при одном и том же химическом составе имеют разную микроструктуру, а следовательно, и механическую прочность. В зонах отливки, где металл охлаждается с большей скоростью, например около поверхности, образуется более мелкое зерно и выделяется более мелкий графит, а следовательно, они имеют более высокие механические свойства, а в средней зоне, охлаждаемой с меньшей скоростью, образуется более крупное зерно.

Совместное влияние углерода, кремния и скорости охлаждения на структуру чугуна видно из диаграммы, показанной на рис. IV.13. На диаграмме по оси ординат дано содержание в чугуне суммы углерода и кремния, а на оси абсцисс толщина стенок отливки, характеризующая скорость охлаждения.

Диаграмма сплошными линиями делится на пять зон: I — белый чугун; II — половинчатый чугун; III — серый чугун со структурой перлит + графит; IV — серый со структурой перлит + феррит + графит; V — серый со структурой феррит + графит.

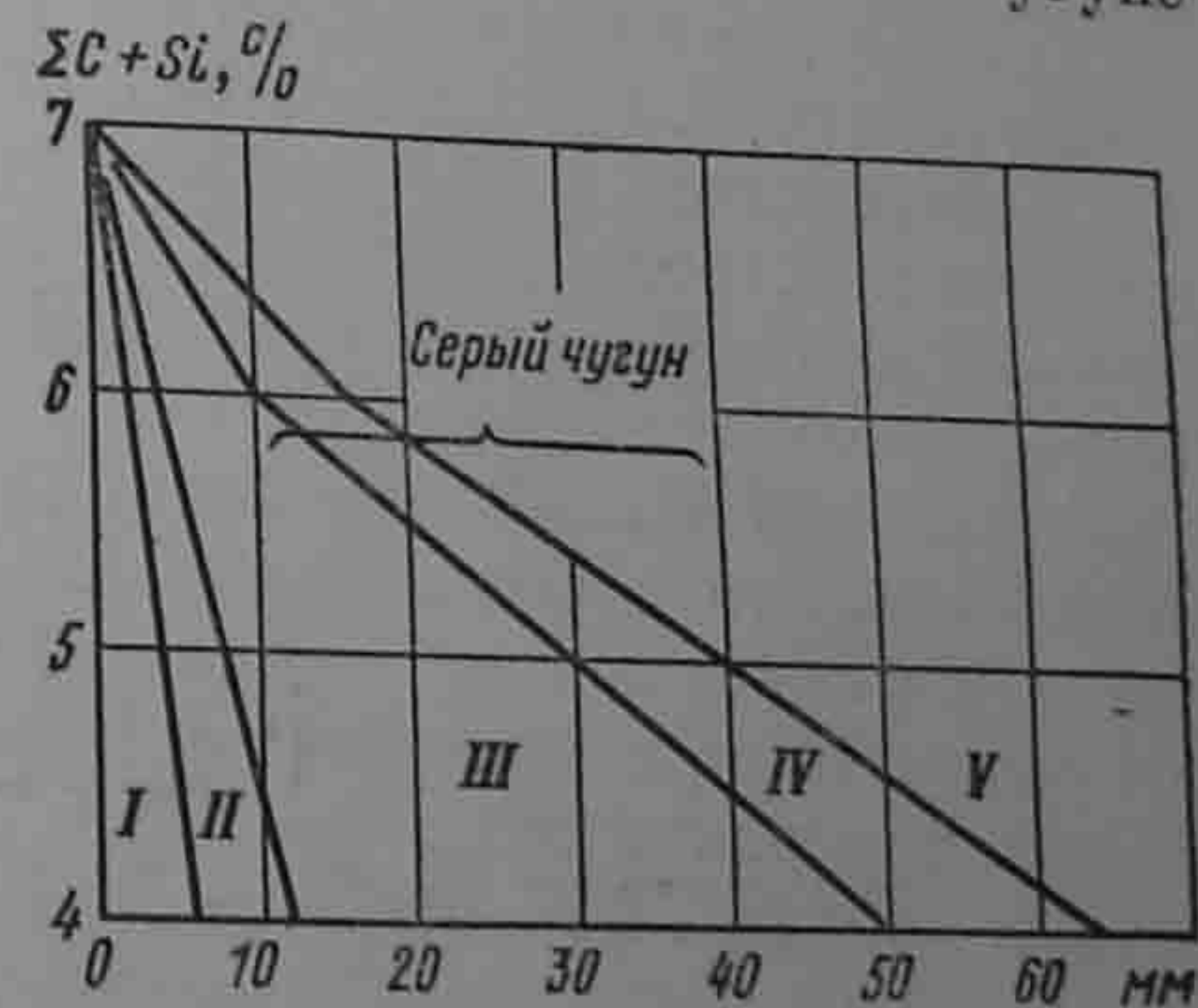


Рис. IV.13. График совместного влияния суммы углерода и кремния и толщины стенки отливки на микроструктуру чугуна

Эта диаграмма имеет большое практическое применение. Она показывает, что в отливках со стенками различной толщины, например в клинообразной отливке, образуются различные микро-структуры чугуна (в тонкой части может образоваться белый чугун, а в толстостенной части — ферритный чугун), а следовательно, отливка характеризуется различными механическими свойствами.

На механические свойства чугуна также оказывает влияние строение графита. Минимальную прочность имеет чугун с пластинчатым строением графита, максимальную — с шаровидным. Для повышения качества отливку иногда подвергают термической обработке: отжигу для удаления отбеленного слоя (структуры белого чугуна), отпуску для снятия внутренних напряжений. Повышение прочности серого чугуна возможно легированием и модифицированием.

Легированный чугун получают присадкой никеля, хрома, а в отдельных случаях титана или меди и других металлов, что обеспечивает более мелкое строение основной массы отливки и улучшает строение графита. Из этого чугуна изготавливают детали, работающие в условиях значительного износа и больших механических нагрузок.

Модифицирование обеспечивает более мелкую и завихренную форму графита и более однородное микростроение в сечении отливки, а следовательно, повышает прочность чугуна. К модифицированным, например, относятся чугуны СЧ 32-52 — СЧ 44-64. Модифицирование заключается в присадке в жидкий чугун различных добавок: ферросилиция, силикокальция и др. в количестве 0,1—0,3% от массы чугуна непосредственно во время заполнения им ковша. Модификаторы раскисляют чугун и создают дополнительные центры кристаллизации и графитизации.

Для получения модифицированного чугуна подбирают такой химический состав шихты, который при обычных условиях затвердевает с половинчатой структурой. После модифицирования этот чугун имеет структуру перлита.

Высокопрочный чугун имеет ферритную или перлитную структуру (рис. IV.12) и шаровидное строение графита. Из него изготавливают отливки со стенками большой толщины и высокой прочности (коленчатые валы, зубчатые колеса, детали турбин и др.). Высокопрочный чугун получают модифицированием жидкого чугуна магнием. Одновременно с ним или несколько позже в чугун вводят ферросилиций. В результате модифицирования в чугуне образуется графит шаровидной формы, что повышает его прочность.

Чугун с шаровидным графитом подразделяют на марки: ВЧ 60-2, ВЧ 42-12 и др., где ВЧ означает высокопрочный чугун; первые две цифры — минимальный предел прочности на растяжение, последующие цифры — минимальное относительное удлинение. В отличие от обычного серого чугуна этот чугун обладает повышенной пластичностью.

Получен чугун с шаровидным графитом, который после соответствующей термической обработки имеет предел прочности на растяжение более 1370 МН/м².

Чугун со специальными свойствами применяют в машиностроении в тех случаях, когда отливка (кроме прочности) должна обладать или износостойкостью, или определенными электромагнитными свойствами, или термостойкостью, или химической стойкостью. Приведем несколько марок чугуна со специальными свойствами.

Магнитный чугун применяют для различных корпусов электрических машин, щитов, рам и др. Наилучшими характеристиками обладает ферритный чугун с шаровидным графитом и др.

Из немагнитного чугуна изготавливают кожухи и бандажки электромашин. К таким чугунам относится никелемарганцовистый чугун, содержащий 7—10% Mn и 7—9% Ni; марганцово-медистый чугун, содержащий 9,8% Mn, 1,2—2,0% Cu и др.

К чугунам с большим электросопротивлением относится сплав, содержащий 4% Si, до 3% Ni и др.

В химическом машиностроении широко применяют высококремнистый чугун с 14—16% Si, имеющий высокую стойкость в среде серной кислоты. Еще большей стойкостью обладает кремнемолибденовый чугун, содержащий 14,5—16% Si, 3,4—4% Mo и др.

Аустенитный чугун обладает высокой кислотостойкостью, щелочестойкостью и жаропрочностью. К этим чугунам относится нирезит, содержащий 14% Ni, 2% Cr, 7% Cu, и никросилал с 5% Si, 18% Ni, 2% Cr и др.

К жаростойким чугунам относится чугуль, содержащий 20—25% Al и др.

Ковкий чугун. Ковким называется чугун, который получают путем длительного отжига отливок из белого чугуна. При отжиге чугуна цементит разлагается, образуя железо и углерод отжига (графит), имеющий компактную хлопьевидную форму (рис. IV.14). При такой форме графита чугун обладает повышенной прочностью, некоторой пластичностью и сопротивлением ударным нагрузкам.

Название «ковкий чугун» условно и указывает лишь на то, что этот материал по сравнению с серым чугуном является пластичным. В действительности же ковкий чугун никогда ковке не подвергают, из него, так же как и из серого чугуна, изготавливают лишь фасонные отливки для машиностроения. Для этого выплавляют чугун такого химического состава, чтобы при затвердевании в форме он получился белым (с перлитно-цементной структурой). Из белого чугуна обычным способом изготавливают отливки, кото-

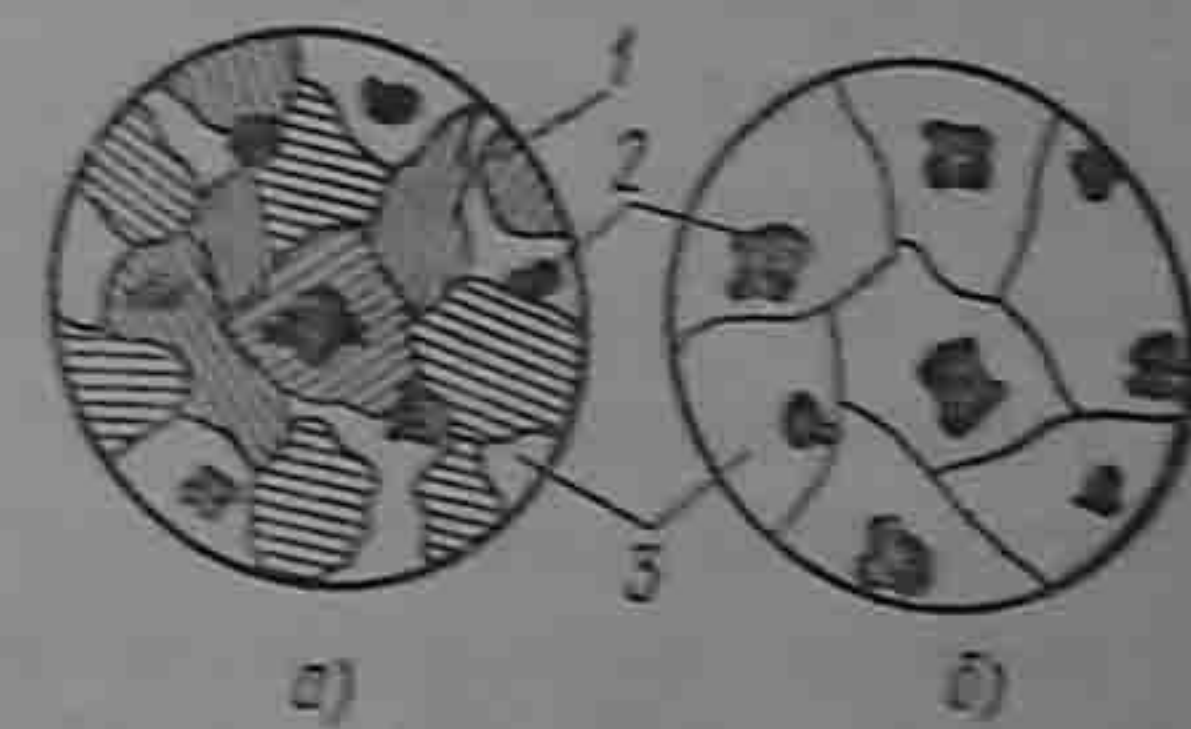


Рис. IV.14. Схемы микроструктур ковкого чугуна:

а — перлитного; б — ферритного; 1 — перлит; 2 — графит отжига; 3 — феррит

рые затем отжигают с целью разложения цементита и получения графита отжига в конечной структуре.

Ковкий чугун по механическим свойствам занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. По сравнению с углеродистой сталью характеризуется повышенной жидкотекучестью, демпфирующей способностью и большей износостойкостью. Он имеет достаточно высокие антикоррозионные свойства и хорошо работает в среде влажного воздуха, топочных газов и воды.

Толщина стенок отливки не должна превышать 40—50 мм, при большей толщине в процессе отжига образуется пластинчатый графит.

В зависимости от способа производства ковкого чугуна его подразделяют на две группы: ферритный и перлитный.

Ковкий чугун получают при отжиге отливок в нейтральной среде. Чугун имеет бархатистый черный излом с тонкой наружной серой кромкой и структурой, состоящей из феррита или перлита и графита отжига. Поэтому его часто называют «черносердечным». Химический состав чугуновых отливок до отжига: 2,5—2,9% С; 0,8—1,4% Si; 0,3—0,5% Mn; до 0,2% P, до 0,12% S; до 0,05% Cr. С уменьшением содержания углерода механическая прочность чугуна повышается, но ухудшаются его литейные свойства.

Марки ферритного ковкого чугуна: КЧ 37-12, КЧ 35-10, КЧ 33-8 и КЧ 30-6 (КЧ означает ковкий чугун, первое число — минимальный предел прочности при растяжении, второе число — минимальное относительное удлинение в %).

Из ферритного чугуна КЧ 37-12, КЧ 38-10 изготавливают детали для автомобилей и сельскохозяйственных машин, работающих при высокой динамической и статической нагрузках (задние мосты автомашины, крючки и др.). Для малоответственных деталей (гайки, фланцы и др.) применяют КЧ 30-6 и КЧ 35-8.

Прочность перлитного ковкого чугуна выше прочности ферритного чугуна, но первый менее пластичен.

Отливки из белого чугуна после очистки и браковки загружают в специальные чугунные ящики для отжига (150—300 кг отливок). Ящики, закрытые крышками после заделки щелей глиной, устанавливают в печь для отжига.

Отжиг для получения ферритного и перлитного ковкого чугуна выполняют по различному режиму. Для получения ферритного чугуна отжигают по режиму, приведенному на рис. IV.15, а. Процесс отжига состоит из двух стадий графитизации. Первая стадия заключается в медленном нагреве до 950—980° С (зона I) и в продолжительной выдержке при этой температуре (зона II). Во время нагрева и выдержки цементит белого чугуна распадается, выделяя углерод отжига.

После разложения цементита температуру печи понижают до 730° С (зона III); при этой температуре аустенит превращается в перлит. Вторая стадия графитизации заключается в выдержке отливок при температуре порядка 730—710° С (зона IV). Во время

выдержки при этой температуре цементит, входящий в состав перлита, разлагается, образуя феррит и углерод отжига. Зона V — зона охлаждения отливок.

Для получения перлитного чугуна отжигают по режиму, приведенному на рис. IV.15, б. Как видно из графика, отсутствует вторая стадия графитизации. Время отжига составляет 17—80 ч. Перлитный ковкий чугун (КЧ 50-5, КЧ 60-3, КЧ 63-2) имеет высокую прочность и износостойкость. Из него изготавливают вилки карданных валов, звенья цепей конвейера, муфты и др.

Для отжига применяют непрерывные отжигательные печи, в которых задают необходимые температурные зоны.

Литейные стали. Сталью считают сплав железа с углеродом (до 2% С). Детали сложной конфигурации, к которым предъявля-

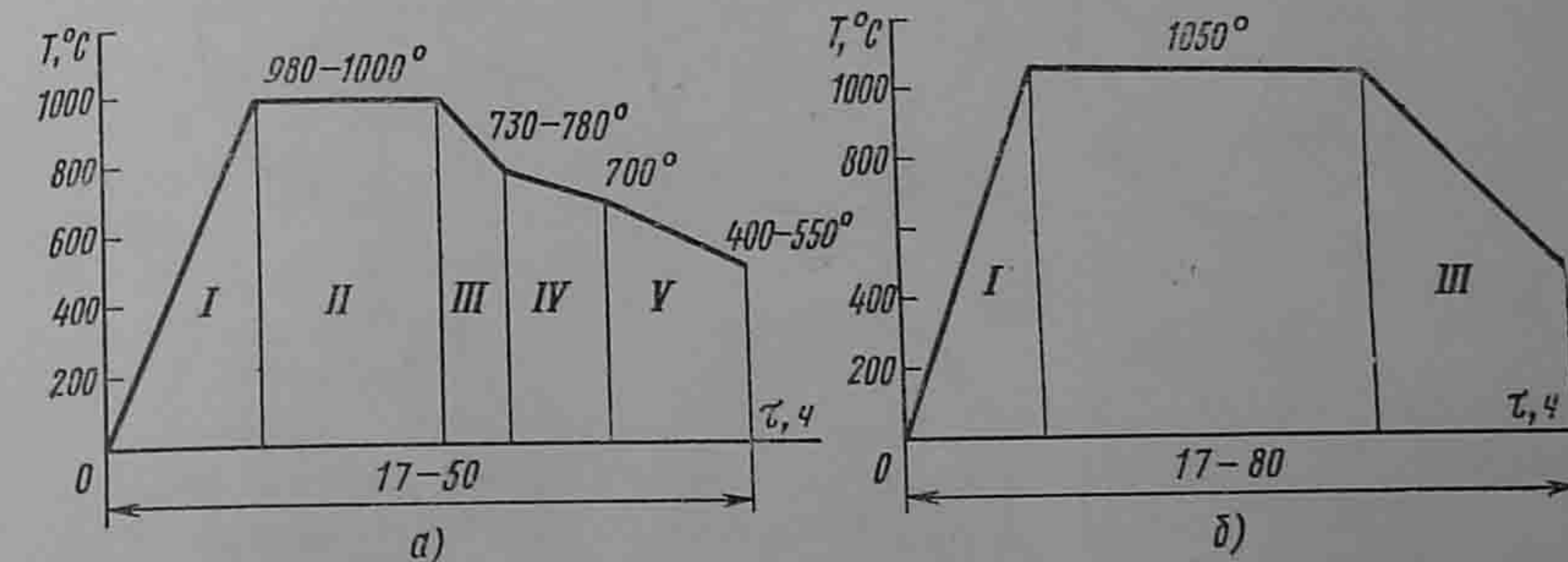


Рис. IV.15. Режимы отжига белого чугуна на ковкий: а — на ферритный ковкий; б — на перлитный ковкий

ют повышенные требования по прочности, ударной вязкости или другим свойствам, обычно изготавливают из стали. В машиностроении применяют три группы литейных сталей: конструкционные, инструментальные и со специальными свойствами.

Из конструкционных сталей изготавливают детали, несущие главным образом механические нагрузки (статические, динамические, вибрационные и др.). По химическому составу их подразделяют на углеродистые (низко- и среднеуглеродистые) и легированные, а по структуре на ферритно-перлитного и перлитного классов.

Из инструментальных сталей изготавливают литой инструмент (режущий, мерительный, штамповочный и т. п.). По химическому составу их подразделяют на средне-, высокоуглеродистые и легированные стали перлитного, мартенситного и карбидного классов.

Из сталей со специальными свойствами (коррозионно-стойкие, жаропрочные, кислотоупорные, износостойкие) выполняют литые изделия, подвергающиеся воздействию различных сред, высоких температур и нагрузок; их относят в основном к ферритному и аустенитному классам.

Марки углеродистых сталей обозначают числом и буквой Л (15Л, 25Л, 30Л, 35Л, 45Л, 50Л, 55Л). Буква Л означает, что сталь литейная, а число указывает среднее содержание углерода в сотых долях процента.

С увеличением количества углерода в стали повышается ее прочность, предел текучести и твердость, но уменьшается относительное удлинение. Прочность на растяжение сталей 15Л, 25Л, 35Л, 45Л, 55Л соответственно составляет 400, 450, 500, 550, 600 МН/м², предел текучести 200, 240, 280, 320, 350 МН/м² и относительное удлинение 22, 20, 18, 14, 11%.

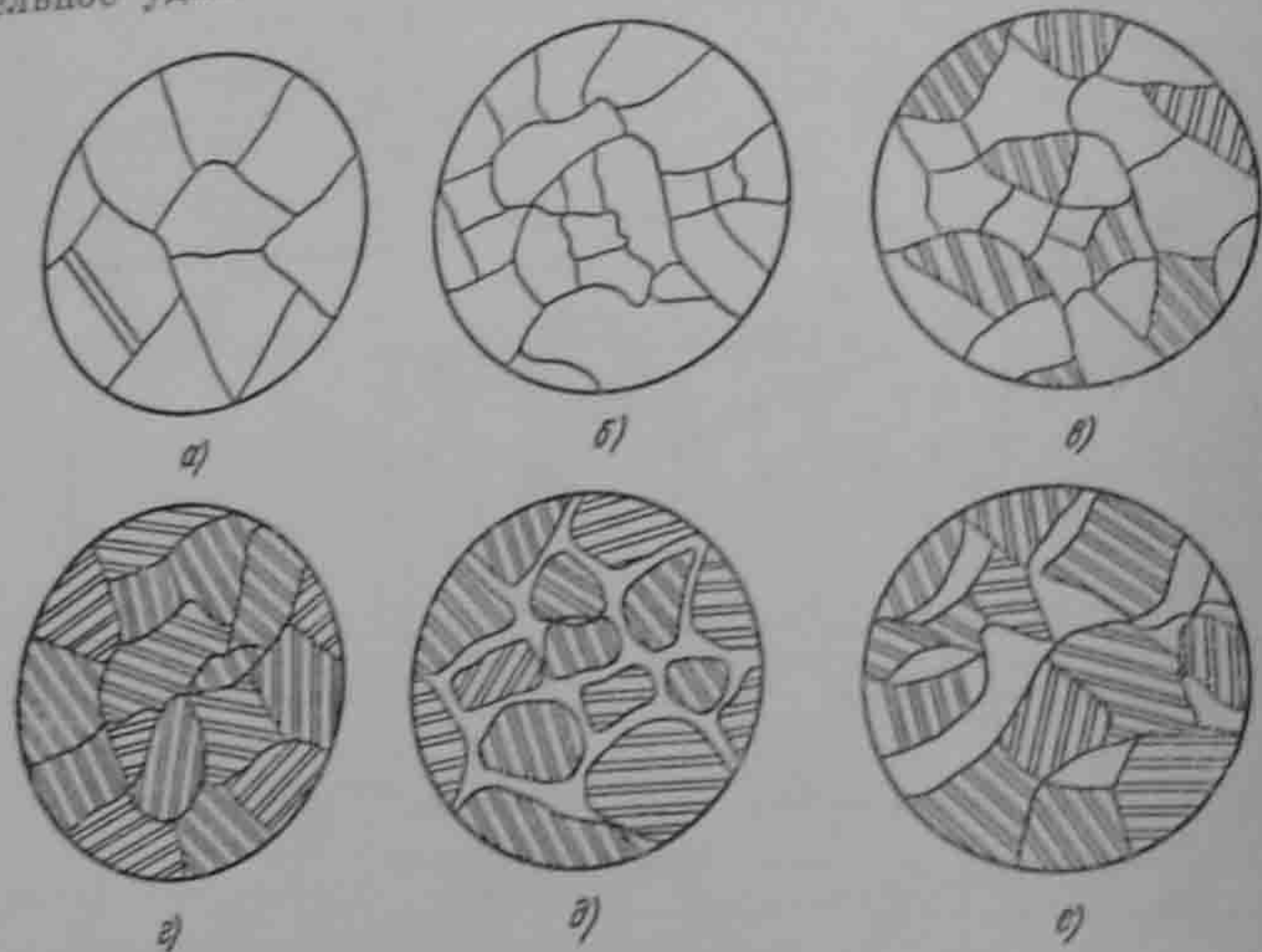


Рис. IV.16. Схемы микроструктур углеродистой стали в зависимости от содержания углерода:

а — 0,01% С; б — 0,1% С; в — 0,3% С; г — 0,8% С; д — 1% С; е — 1,3% С

Микроструктура углеродистых сталей зависит от содержания углерода. На рис. IV.16 изображена структура углеродистой стали с различным содержанием углерода. При содержании 0,1% С сталь имеет преимущественно ферритную структуру (рис. IV.16, б). С увеличением содержания углерода увеличивается количество перлита, и при 0,8% С сталь имеет перлитную структуру (рис. IV.16, г), при этом ее прочность и твердость увеличиваются, а пластичность, магнитная проницаемость уменьшаются. При увеличении содержания углерода свыше 0,8% из сплава выделяется цементит (рис. IV.16, д, е).

Для изготовления отливок применяют низколегированные (до 6% легирующих добавок), среднелегированные (5—10% легирующих добавок) и высоколегированные (свыше 10% легирующих добавок) стали.

Легируемые стали маркируют буквами и цифрами. Буквы обозначают химический элемент, а цифра — процентное содержа-

ние этого элемента в стали; буква Л указывает на то, что эта сталь литейная.

Химические элементы имеют следующие обозначения: С — У; Мп — Г; Si — С; Cr — X; Ni — Н; Мо — М; W — В; V — Ф; Al — Ю; Ti — Т; Cu — Д; Со — К. Приведем для примера обозначение одной марки жаропрочной стали 18Н12М3ТЛ, где 18% С, 12% Ni, 3% Мо, до 1% Ti, Л — литейная.

Стали высоколегированные со специальными свойствами подразделяют на следующие группы:

а) коррозионно-стойкие (нержавеющие), обладающие стойкостью против атмосферной коррозии (25Х18Л и др.);

б) кислотоупорные, обладающие сопротивляемостью агрессивным средам (кислотам) (15Х18Н9ТЛ и др.);

в) окалиностойкие (жаростойкие), обладающие стойкостью против окалинообразования (окисления при высоких температурах), например 15Х9С2Л и др.;

г) жаропрочные, сохраняющие достаточно высокую прочность при высоких температурах (15Х22Н15Л и др.);

д) износостойкие с высокой сопротивляемостью износу при абразивном и ударном воздействиях в разных условиях (110Г13Л, 15Х34Л и др.);

е) высокопрочные; к ним относятся низколегированные стали, подвергнутые сложной термической обработке и дополнительной деформации.

Стали, особенно легированные, обладают плохими литейными свойствами.

Литейные медные сплавы. Эти сплавы применяют для отливок, которые должны обладать износостойкостью, стойкостью в атмосфере, кислотах и щелочах, в пресной и морской водах при высоких механических свойствах.

Из сплавов меди наиболее широко применяют бронзу (сплавы меди с другими металлами и металлоидами, но с небольшим количеством цинка или без него) и латунь (сплав меди с большим количеством цинка и другими металлами).

Б р о н з ы, применяемые в литейном производстве, подразделяют на две группы: оловянные и безоловянные машиностроительные.

В качестве примера приведем обозначение по ГОСТу одной марки оловянной и одной безоловянной бронзы: Бр. ОЦСН 3-7-5-1 содержит 3% Sn (О), 7% Zn (Ц), 5% Pb (С) и 1% Ni (Н); Бр. АМц 9-2 содержит 9% Al (А) и 2% Mn (Мц), остальное медь.

Л а т у н и применяют для изготовления арматуры, деталей приборов в судостроении, червячных винтов, работающих в тяжелых коррозионных условиях, и т. д. Приведем пример обозначения латуни по ГОСТу: ЛАЖ Мц 66-6-3-2 содержит 66% Cu, 6% Al, 3% Fe, 2% Mn, остальное цинк.

Литейные износостойкие подшипниковые сплавы. Эти сплавы применяют для заливки подшипников с целью уменьшения трения

и износа трущихся частей. Они должны обладать высоким сопротивлением износу и малым коэффициентом трения между подшипником и валом.

После затвердевания подшипниковый сплав состоит из двух частей: мягкой, которая должна хорошо прирабатываться к валу, и твердой, способной выдерживать высокие давления. Твердые частицы сплава во время приработки внедряются в мягкую составляющую, а мягкая часть притирается, вследствие чего смазка хорошо распределяется и удерживается на поверхности вкладыша.

Подшипниковые сплавы (баббиты), применяемые в нашей промышленности, имеют следующие обозначения: Б83, Б16, БК и др. Эти сплавы состоят из мягкого пластичного металла (свинца и олова) с добавками твердых составляющих (сурьмы, кадмия, никеля, теллура, кальция и др.). Температура плавления баббитов $350-480^{\circ}\text{C}$. Для сильно нагруженных подшипников применяют бронзу, латунь и другие сплавы.

Литейные алюминиевые сплавы. В машиностроении применяют алюминиевые сплавы с другими металлами и металлоидами. Они имеют малую плотность при высокой прочности (см. рис. IV.2). Механические свойства алюминиевых сплавов зависят от химического состава и методов термической обработки отливок.

По ГОСТу алюминиевые сплавы обозначают: АЛ1, АЛ2, ..., АЛ27 (числа — порядковый номер). Эти сплавы используют в автомобильной, авиационной промышленности и др. для изготовления поршней, корпусов двигателей, деталей приборов и т. д.

Высокими литейными свойствами обладают сплавы, в структуре которых содержится эвтектика. К ним относятся сплавы алюминия и кремния, называемые силуминами (АЛ2, АЛ3, АЛ5). Кремний при затвердевании эвтектики выделяется в виде грубых кристаллов игольчатой формы. Сплав с такой структурой имеет низкие механические свойства.

Сплавы алюминия и меди (АЛ7, АЛ19) после термической обработки имеют высокие механические свойства, хорошую обрабатываемость, но низкие литейные свойства.

Сплавы алюминия и магния имеют низкие литейные свойства, так как не содержат эвтектики, но имеют высокую коррозионную стойкость, хорошие механические свойства и обрабатываемость резанием. К ним относятся сплавы АЛ8, АЛ13, АЛ27, предназначенные для отливок, работающих во влажной атмосфере. Из жароустойчивых сплавов АЛ1, АЛ20 изготавливают поршни, головки цилиндров и др. Сплав АЛ20 имеет хорошие литейные свойства. Антифрикционные сплавы алюминия с сурьмой, железом, медью и кремнием образуют мягкие эвтектики и химические соединения высокой твердости.

Литейные магниевые сплавы. Магний имеет малую плотность ($1,73\text{ г/см}^3$). Отливки из чистого магния не получают, так как он обладает плохими литейными и низкими механическими свойствами. Для отливок наибольшее применение нашли сплавы магния

с алюминием, цинком, марганцем, кремнием и др. Наиболее широко сплавы магния используют в приборостроении и авиационной промышленности.

Высокие механические свойства имеют магниевые литейные сплавы с 4% Al. При повышении содержания алюминия до 8—10% снижаются предел прочности на растяжение и вязкость, а твердость увеличивается. Сплавы магния с алюминием можно термически обрабатывать для повышения их механических свойств.

Цинк вводят в сплавы магния с алюминием в количестве 0,2—0,5% для повышения их механических свойств. Для уменьшения окисляемости магниевых сплавов добавляют до 0,03% Be. Эти сплавы не загораются на воздухе и в литейной форме, но бериллий укрупняет размер зерна металла и снижает механические свойства сплава.

В машиностроении применяют магниевые литейные сплавы следующих марок: МЛ1, МЛ2, МЛ4, ..., МЛ27 (МЛ — магниевый сплав, число — порядковый номер). Из магниевых сплавов изготавливают корпуса приборов, детали двигателей, инструменты, корпуса фотоаппаратов, пишущих машинок и пр.

Литейные тугоплавкие сплавы. В машиностроении и других отраслях промышленности возникла потребность в сплавах с высокой температурой плавления и повышенной прочностью при высоких температурах. К таким тугоплавким сплавам относятся сплавы на основе титана, ниобия, молибдена, вольфрама, ванадия. Эти тугоплавкие сплавы имеют высокую химическую активность. При плавлении они обогащаются из атмосферы огнеупорной футеровки печи примесями и взаимодействуют с кислородом, азотом и водородом.

Титановые сплавы имеют небольшую плотность (до $4,5\text{ г/см}^3$), высокую прочность (на растяжение до 1470 МН/м^2 при 600°C). При температуре свыше 600°C титан поглощает азот, водород, кислород и становится хрупким. Другие тугоплавкие металлы имеют еще более высокую температуру плавления. Например, ванадий 1670°C , ниобий 2415°C , молибден 2610°C , тантал 2996°C , вольфрам 3410°C .

Все тугоплавкие сплавы при повышенной температуре имеют большую реактивную способность и большое сродство с кислородом.

1. Печи для плавки сплавов

В литейных цехах наибольшее применение для плавки сплавов нашли дуговые электропечи, индукционные электропечи с сердечником и без сердечника, печи сопротивления и вагранки.

Дуговые электропечи. В этих печах плавят сталь и чугун. Конструкция печей и процесс плавки в них описаны в разделе металлургии стали.

Индукционные электропечи с сердечником (низкой частоты). В таких печах плавят черные и цветные сплавы. Печь состоит (рис. IV.17, а) из шахты и каналов (одного или трех), которые охватывают сердечник 1 и первичную обмотку трансформатора. К первичной обмотке (индуктору) подводится ток промышленной частоты. Жидкий металл, предварительно залитый в канал 2, создает короткозамкнутый вторичный виток, в котором индуцируется (возбуждается) электрический ток большой силы. Возникающая в этом кольце электроэнергия превращается в тепловую; металл, залитый в канал, быстро нагревается и передает теплоту твердой шихте (загружаемой сверху в шахту) в результате циркуляции металла. Плавка в этих печах экономичнее, чем в высокочастотных, но требует предварительной заливки жидкого металла в каналы печи и чистки этих каналов от расплава предыдущей плавки.

Индукционные электропечи без сердечника (рис. IV.17, б). Эти печи представляют собой воздушный трансформатор, первичной обмоткой которых является медный полый водоохлаждаемый индуктор 4, а вторичной — загружаемая в тигель металлическая шихта 5. Принцип работы печи основан на поглощении электромагнитной энергии материалом металлической шихты, загружаемой в тигель, который установлен в переменном электромагнитном поле; при этом происходит нагрев и расплавление шихты. Применяют графитные или набивные тигли 3 из огнеупорных материалов. В зависимости от частоты переменного тока, питающего индуктор, эти печи подразделяют на печи промышленной частоты (50 Гц) и высокой частоты (более 500 Гц). В них плавят сталь, чугун и цветные сплавы.

Электропечи сопротивления. В этих печах плавят алюминиевые, магниевые и цинковые сплавы. Основным источником теплоты для нагрева, распределения и перегрева металла в таких печах являются ленточные электронагреватели из нихрома (80% Ni, 70% Cr). Конструкции этих печей разнообразны. На рис. IV.17, в приведена одна из них. Шихту в печь загружают через два загрузочных окна 8. По мере плавления шихты жидкий металл стекает в металлотворник 7 для жидкого металла. Электронагревательные элементы 6 расположены под сводом печи. С помощью роликов

печи покачиваются и наклоняются для слива металла через сливную лопатку 9.

Электронно-лучевая печь. Такую печь применяют для плавки тугоплавких сплавов. Электронно-лучевая печь показана на рис. IV.17, г.

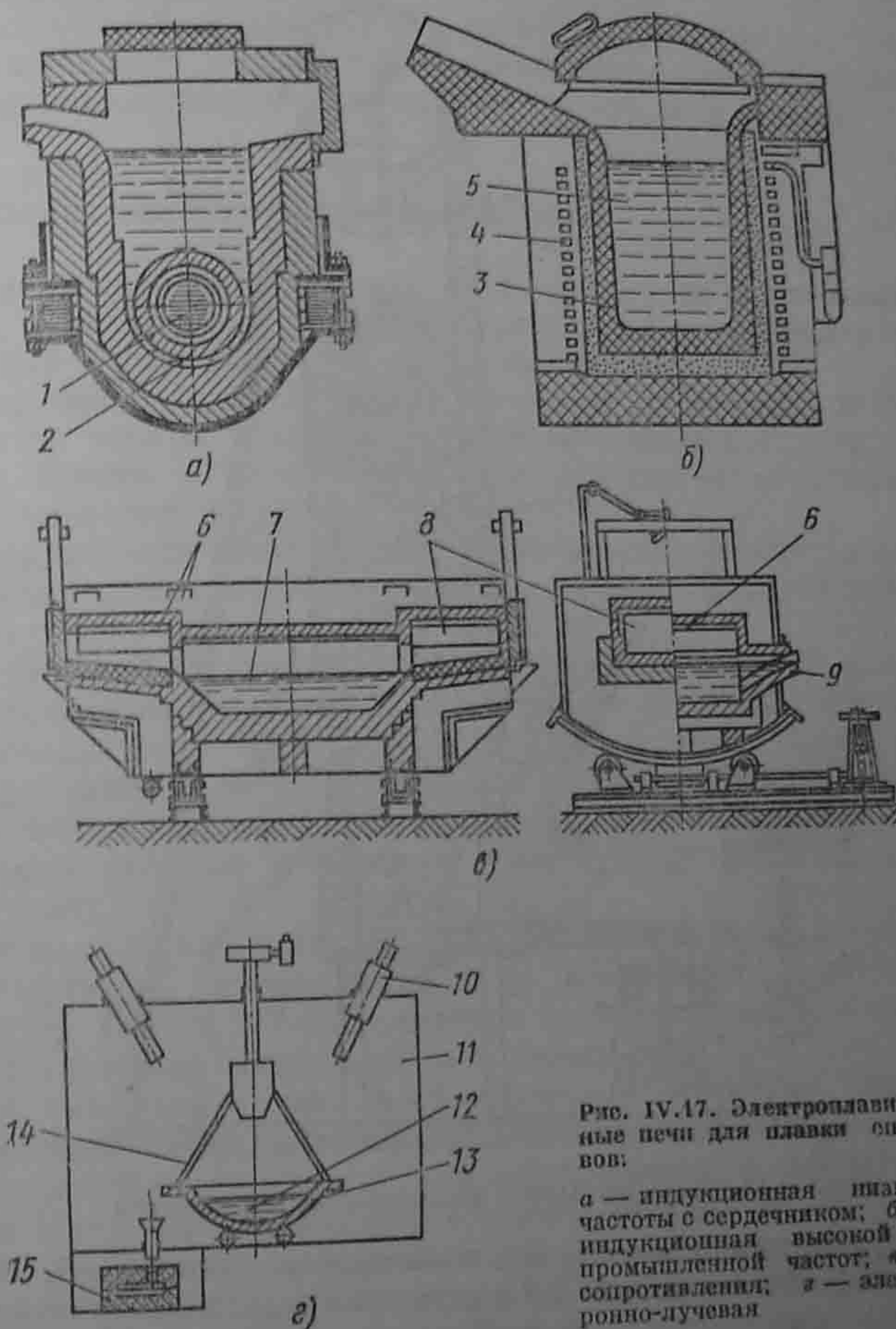


Рис. IV.17. Электроплавильные печи для плавки сплавов:

а — индукционная шахтной частоты с сердечником; б — индукционная высокой и промышленной частоты; в — сопротивления; г — электронно-лучевая

Металл в электронно-лучевых печах плавят за счет тепловой энергии, выделяющейся при резком торможении электронов, разогнанных до большой скорости, при встрече с кусками шихты. Источником электронов служит электронная пушка (рис. IV.17, г) с катодом из вольфрама, нагретого до 2000—2500° С в вакууме. Печь состоит из вакуумной камеры 11, электронной пушки 10,

металла 12, экрана 14, тигля 13, формы 15, вакуумного насоса.

Вагранка. В старых чугунолитейных цехах вагранка является основным плавильным агрегатом (рис. IV. 18). Она представляет собой шахтную печь.

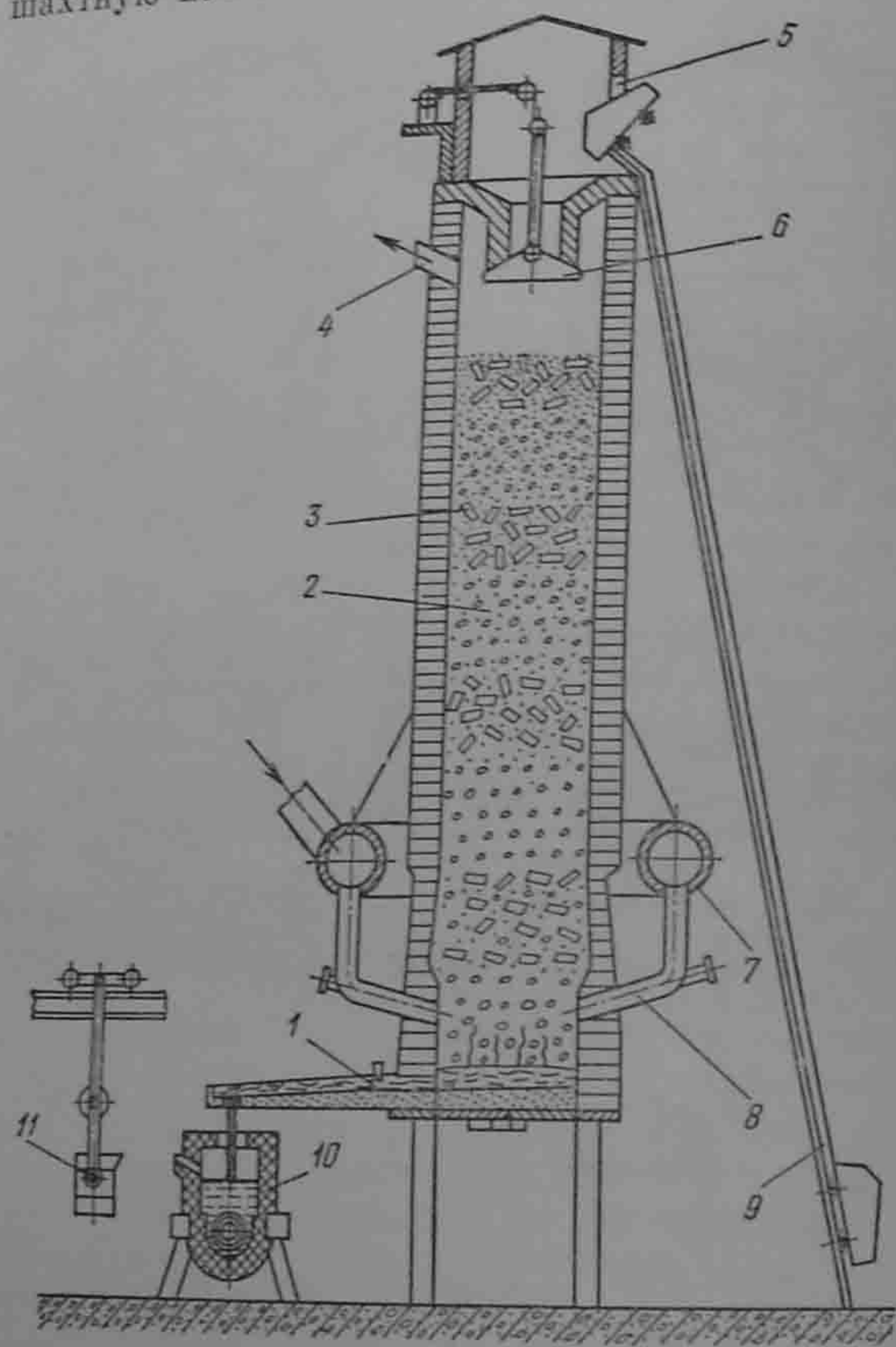


Рис. IV.18. Схема вагранки с индукционным копильником

Шихту загружают в окно 5 с помощью подъемника 9. Под ее тяжестью опускается колокол 6 и шихта определенными порциями (колошами) загружается в шахту 2 в течение всей плавки. В начале плавки на нижнюю часть шахты загружают в печь кокс, затем флюсы и металлическую шихту 3, состоящую из доменного чугуна, металлолома и отходов производства. Так повторяют загрузку до верхней части шахты. В нижнюю часть шахты подают подогретый воздух через коллектор 7 и фурмы 8, необходимый для горения кокса. Отходящие газы отсасываются через отверстия 4 в особое устройства, где сжигаются для подогрева воздуха; предваритель-

но газ очищают от пыли. За счет сгорания кокса расплавляется металлическая шихта. Расплавленный чугун стекает по желобу 1 в индукционный копильник 10, в котором дополнительно подогревается, после чего выливается в ковш 11, а затем в нем поступает на участок разливки чугуна в формы. Шлак счищается с чугуна на желобах и стекает в ковш.

Белый чугун для ковкого чугуна часто плавят в двух печах: вначале в вагранке, затем в электроплавильных печах, где доводят чугун до определенного химического состава и перегрева.

2. Плавка сплавов в плавильных печах

Механические и физические свойства сплава в значительной степени зависят от содержания в нем газов и неметаллических включений и распределения их в теле отливки.

Содержание газов и неметаллических включений в сплаве зависит от выбора плавильных печей и процесса плавки.

При плавке в плавильные печи загружают металлическую шихту, лигатуру и флюсы.

Металлическая шихта. Чаще всего шихта состоит из слитков технически чистых металлов, машинного лома, отходов производства (литников и бракованных отливок).

Лигатуры. Это вспомогательный сплав, служащий для ввода в расплавленный металл (или сплав) необходимых химических элементов, с учетом их угара в процессе плавки. Как правило, лигатура имеет более низкую температуру плавления, чем температура плавления наиболее тугоплавких составляющих сплава; применяют двойные и тройные лигатуры (с двумя или тремя элементами).

Для выплавки чугуна и стали лигатурой являются ферросплавы (ферромарганец, ферросилиций и др.). Например, при выплавке бронзы Бр. ОЦСН 3-7-6-1 лигатура состоит из меди, олова и никеля, а также из меди, свинца и цинка.

Для выплавки сплава АЛЗ применяют лигатуру, состоящую из алюминия, марганца, кремния и алюминия, меди и магния.

Флюсы. Их применяют для образования и регулирования состава шлаков в соответствии с требованиями к их физико-химическим свойствам. Плотность шлака чаще меньше плотности расплавленного сплава, поэтому шлак всплывает на его поверхность. Шлак предохраняет металл от окисления в процессе плавки и служит для удаления неметаллических примесей, попадающих в металл вместе с шихтой, от футеровки печи и образующихся при химических реакциях, протекающих в процессе плавки.

В качестве флюсов при плавке чугуна и стали используют известняк; при плавке латуни — стекло, поваренную соль, платниковый шпат, буру и др.; при плавке алюминиевых сплавов — хлористый натрий, фтористый натрий, криолит и др.

Для каждого сплава выбирают флюсы исходя из того, чтобы они образовывали жидкотекучие шлаки, не вступали бы в реакцию с футеровкой печи и создавали в металле нерастворимые соединения с вредными примесями, удаляемыми из сплава.

Последовательность плавки. В печь загружают металлическую шихту, на нее насыпают флюсы, затем расплавляется металл. После этого жидкий сплав рафинируют, раскисляют и загружают лигатуру. Перегретый сплав выливают в ковш, из которого его разливают в формы.

Раскислением сплава и металла удаляют кислород или окислы металла в процессе плавки. Оставшиеся в металле окислы чаще всего располагаются по границам зерен, ухудшая его свойства.

Для раскисления применяют металлы и металлоиды, имеющие большее сродство с кислородом, чем расплавляемый металл, и создающие нерастворимые в нем окислы или соединения. Например, хорошими раскислителями стали и чугуна являются алюминий, кремний, марганец и углерод. Медные сплавы раскисляют фосфористой бронзой; алюминиевые сплавы — хлором (с пузырьками хлора всплывают в шлак неметаллические включения Al_2O_3).

Для предупреждения окисления магния в процессе плавки в флюсы добавляют карнолит ($KCl, MgCl_2$), хромистый бор и серу.

Рафинирование. Сплавы рафинированием освобождают от вредных и вредных примесей. Для удаления вредных примесей (серы и фосфора) из чугуна и стали металл рафинируют марганцем и известняком. Рафинирование и дегазацию выполняют продувкой алюминиевых сплавов активными газами (хлором), инертными газами (азотом, аргонном). Рафинируют и другими способами, например обработкой сплавов хлористыми солями или вакуумированием.

Магниево-алюминиевые сплавы рафинируют флюсами, которые создают шлаки, имеющие большую плотность, чем сплавы. При этом шлак вместе с неметаллическими вредными примесями осаждается на дно печи.

Модифицирование. В жидкий сплав добавляют небольшое количество металлов или их сплавов, которые создают в расплаве дополнительные центры кристаллизации, что обеспечивает получение более мелкозернистого строения сплава, а следовательно, и более высокие его механические свойства.

При модифицировании чугуна и стали в жидкий металл вводят небольшое количество силикокальция, ферросилиция и др.; при модифицировании силумина — натрий и др.

1. Модельный комплект

Одна из основных операций технологического процесса литейного производства — изготовление литейной формы и стержня.

При изготовлении моделей и стержневых ящиков учитывают технологию формовки и изготовления стержня, литейные свойства сплава и последующую механическую обработку отливки.

Последовательность изготовления модельного комплекта¹ начинается с разработки чертежа отливки, определения ее положе-

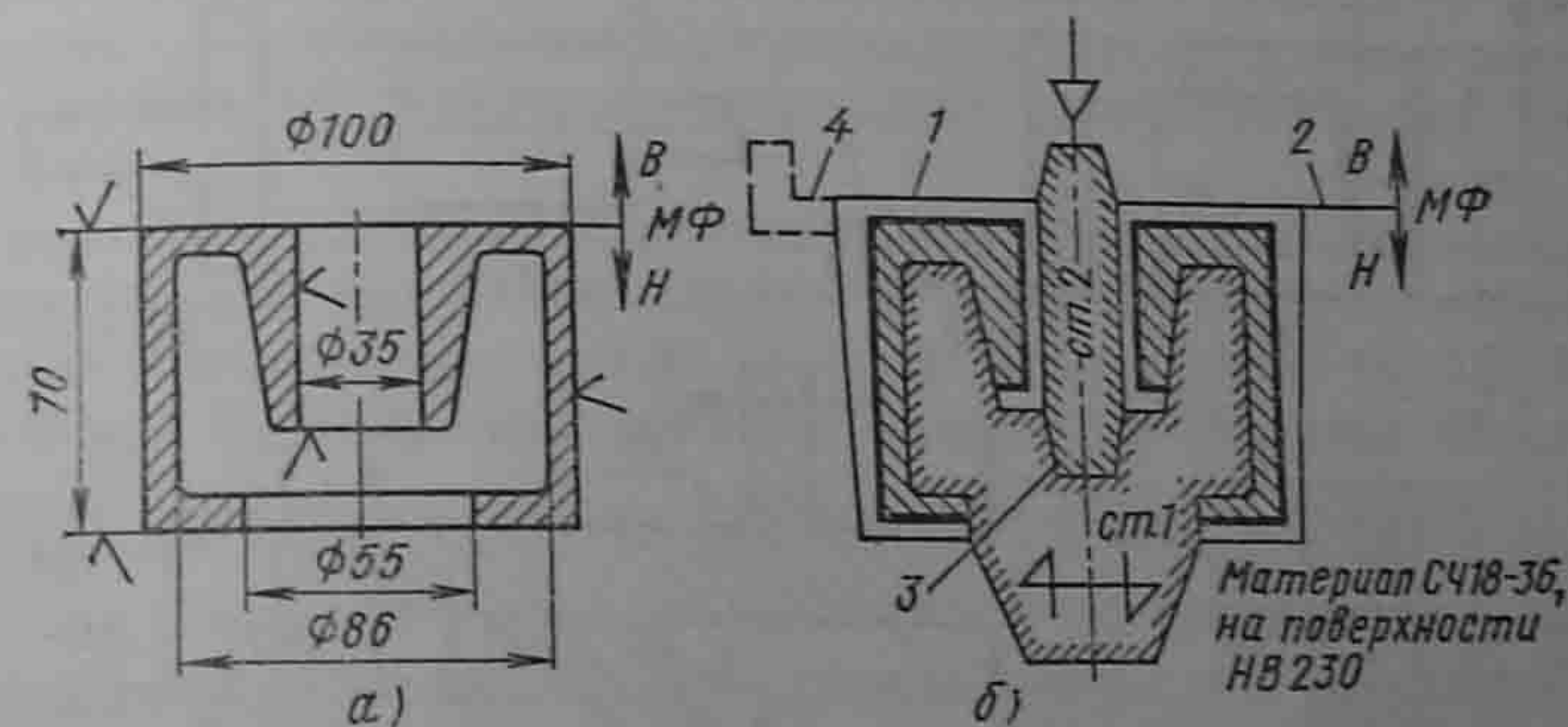


Рис. IV.19. Модельно-литейный чертеж отливки

ния в форме, а также линии разъема модели и формы, количества стержней, конфигурации их знаковых частей. После этого изготавливают модель и стержневой ящик.

Разработка чертежа отливки. Исходным документом для разработки чертежа отливки является чертеж детали (рис. IV.19, а), на который наносят следующие указания по изготовлению модели и отливки (рис. IV.19, б): припуск 1 на механическую обработку; технологический припуск; технологические указания по изготовлению отливки; опознавательные данные, специальные требования к отливке.

Припуск на механическую обработку — дополнительный слой металла (на сторону), который удаляют в процессе механической обработки отливки, чтобы обеспечить точность и высокое качество поверхности детали. Поверхности, подлежащие механической обработке, обозначают так, как показано на рис. IV.19, а. Припуск на механическую обработку назначают с учетом коробления отливки, а также неточности ее изготовления. Припуск

¹ Модельный комплект — комплект формовочных приспособлений, необходимых для образования при формовке рабочей полости литейной формы, включая литейную модель, стержневые ящики, модели литниковой системы, формовочные, контрольные и сборочные шаблоны для конкретной отливки.

на механическую обработку повышают для отливок из сплавов с большой линейной усадкой, кроме того, при увеличении габаритных размеров отливок. Припуск зависит от расположения отливки в форме. Величина припуска на механическую обработку регламентируется ГОСТами и составляет для чугунных отливок 0,7—5 мм на сторону, для алюминиевых отливок — 0,7—2 мм. На чертеже детали припуск на механическую обработку обозначают штриховкой или красным карандашом.

Технологически припуск упрощает и облегчает процесс изготовления отливки. К технологическим припускам

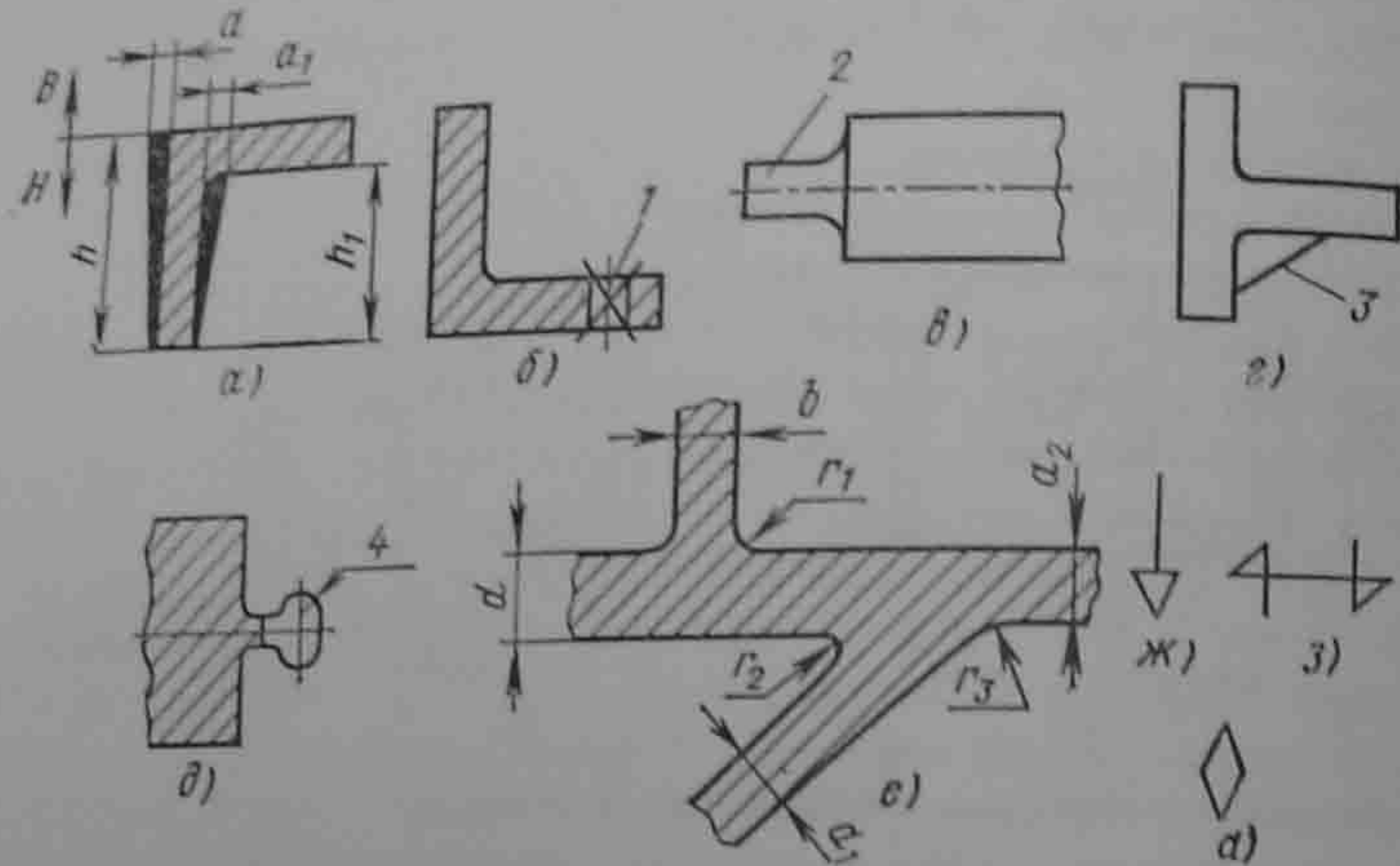


Рис. IV.20. Обозначения на чертеже отливки:

а — уклоны; б — напуск; в — приливы для удобства механической обработки; г — ребра; д — приливы для удобства транспортировки изделий; е — галтели; ж — направление набивки стержня; з — разъем стержневого ящика; и — базовая поверхность

относятся литейные уклоны, напуски, приливы, усадочные ребра или стяжки, галтели.

Литейные уклоны на отливке (рис. IV.20, а) служат для удобства извлечения моделей из формы без разрушения ее и для свободного удаления стержня из стержневого ящика. Уклоны выполняют в направлении извлечения модели из формы. Размеры уклонов обозначают буквой *a* (в миллиметрах или градусах). В зависимости от высоты *h* модели, извлекаемой из формы, уклон, регламентируемый ГОСТом, составляет 1—8 мм, или 3—0,5°.

Напуск служит для упрощения изготовления отливки. Например, отверстие 1 (рис. IV.20, б) в отливке диаметром 20—50 мм можно не делать, так как его целесообразнее просверлить в процессе механической обработки. Напук на верхней горизонтальной части отливки (повышенный припуск) служит для удаления при механической обработке дефектов — подкорковых газовых и шлаковых раковин, которые при заливке всплывают на верхнюю горизонтальную поверхность отливки.

Приливы 2 (рис. IV.20, в) предусматривают для удобства крепления отливки в приспособления при механической обработке. Их удаляют при механической обработке.

Приливы 4 на отливке (рис. IV.20, д) предусматривают для захвата детали или изделия во время транспортировки. Расположение прилива зависит от нахождения центра тяжести детали.

Ребра 3 (рис. IV.20, е) предусматривают для предохранения отливки от коробления во время затвердевания, охлаждения и термической обработки.

Стяжки имеют такое же назначение, что и ребра на отливке. Они удаляются при механической обработке отливки.

Галтели — закругления внутреннего угла отливки и модели для получения плавного перехода в сопрягаемых стенках (рис. IV.20, е).

С помощью галтелей исключается осыпание формовочной смеси в углах модели при ее извлечении из формы. ГОСТом установлены радиусы галтелей для литых деталей: 1; 2; 3; 5; 8; 10; 15; 20; 25; 30 и 40 мм. Радиусы галтелей составляют $\frac{1}{5}—\frac{1}{3}$ средней арифметической толщины сопряженных стенок отливки $\left(\frac{a+b}{2}\right)$.

К технологическим указаниям по изготовлению отливки относятся: линия разъема модели с указанием верха и низа по расположению ее в форме 2 (см. рис. IV.19, б); линия разъема стержня (рис. IV.20, ж); расположение и размеры стержневых знаков 3; место подвода питателя 4 в форме (см. рис. IV.19, б); расположение и конструкция прибыли; расположение базовой поверхности (рис. IV.20, и) для разметки; точность и шероховатость поверхности отливки, которые допускаются техническими условиями.

Линия разъема. Расположение линии разъема модели устанавливают исходя из следующего:

- 1) обрабатываемые поверхности отливки должны находиться внизу для получения чистой и плотной поверхности;
- 2) если не удастся получить ровной поверхности в верхней полуформе, то обычно более высокую часть модели следует устанавливать в нижней полуформе;
- 3) обеспечения более легкого удаления модели из формы без применения дополнительных стержней для образования выступающих частей модели (бобышек, выступов и др.), которые должны находиться в плоскости разъема модели или перпендикулярно плоскости разъема формы;
- 4) исключения криволинейных разрезов модели, затрудняющих ее изготовление и формовку;
- 5) обеспечения точности размеров отливки.

Базовые поверхности, по которым происходит разметка, должны пересекаться линией разъема; отливки, изготовляемые в одной полуформе, имеют большую точность.

При определении линии разъемов стержневого ящика исходят из следующего:

1) разделяют сложные стержни на отдельные части с учетом получения удобной плоскости для набивки стержня; если стержень сутат, то одна его поверхность должна быть несложной для удобства проставки на сушильную плиту.

2) предусматривают минимальное число вкладывшей (отъемных частей) в стержневом ящике, так как их установка и удаление снижают производительность стержневика.

3) предусматривают уклоны на стенках стержневого ящика, обеспечивающие легкое удаление из него стержня.

Отдельные части стержня должны легко собираться в стержневой узел.

Технологические указания на чертеже выполняют цветным карандашом или тушью.

На чертеже отливки проставляют данные, необходимые для изготовления, контроля и приемки отливки; вычерчивают в тонких линиях контуры отверстий, впадин, выточек, не выполняемых в отливке; проставляют припуски на механическую обработку; части оставшихся литателей, выпоров, прибылей и неотливаемых отверстий, попадающих в разрез, штрихуют. Наклон штриховки обрабатываемых отверстий должен совпадать с наклоном штриховки разрезов и сезней детали. Пример оформления чертежа отливки дан на рис. IV.19.

Стержень в форме надо расположить так, чтобы исключить разностенность отливки. Кроме того, должна быть обеспечена легкая его проставка и устойчивость в форме, что достигается конструкцией стержневого знака.

Конфигурация знака стержня и его регламентируемые ГОСТом размеры должны обеспечить установку песчаного стержня в гнезде; предохранить кромки гнезда от выкрашивания и от попадания под стержень зерен смеси, которые могут упасть в гнездо во время установки стержня.

Необходимо предусмотреть замки для крепления стержня. Высота знака зависит от размера стержня и составляет 20—100 мм.

О п о з н а в а т е л ь н ы е д а н н ы е (необходимые размеры, марка сплава, масса отливки, место клеймения и др.), которые наносят на чертеж отливки или около чертежа отливки, приведены на рис. IV.19.

С п е ц и а л ь н ы е д а н н ы е к отливке (технические условия на приемку, твердость и структура на отдельных участках, указания об испытаниях) также наносят на чертеж отливки (см. рис. IV.19).

Стержни в разрезе штрихуют по контуру. Для каждого стержня применяют свою, отличающуюся от других штриховку (см. рис. IV.19, б). Стержни нумеруют в той последовательности, в какой их устанавливают в форме (ст. 1, ст. 2) (см. рис. IV.19, б). Основные направления набивки стержня показывают тупой стрел-

кой (рис. IV.20, ж), разъем стержневого ящика — фигурной стрелкой (рис. IV.20, з).

Изготовление модельного комплекта. Поверхность модели должна быть гладкой, чистой, чтобы при выемке ее из формы она легко отделялась от формовочной смеси.

Модели и стержневые ящики в единичном и серийном производстве в большинстве случаев изготавливают из древесины, а в массовом производстве — из алюминиевых сплавов, чугуна, пластмассы.

При изготовлении моделей и стержневых ящиков учитывают технологию формовки и изготовления стержней, литейные свойст-

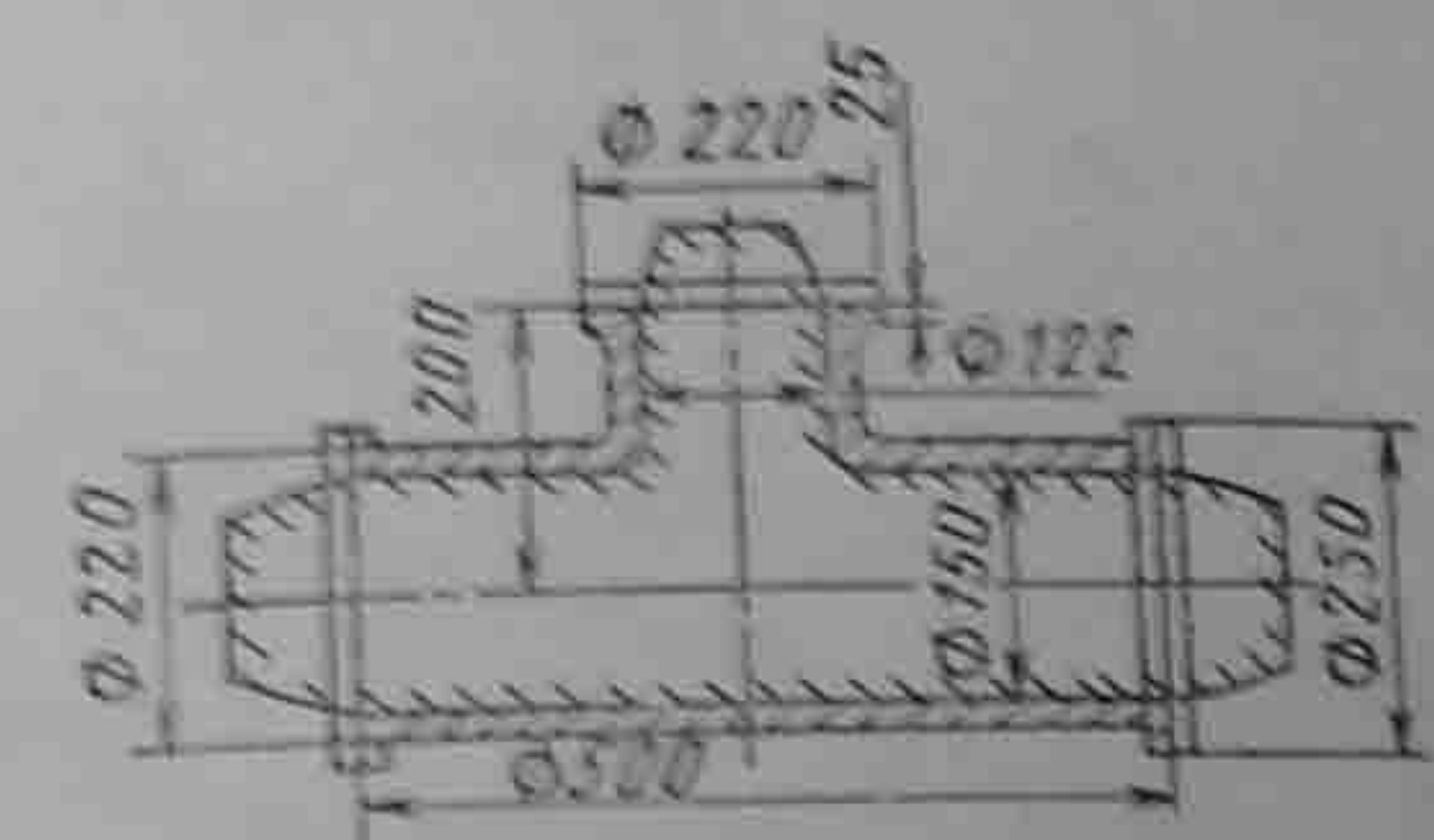
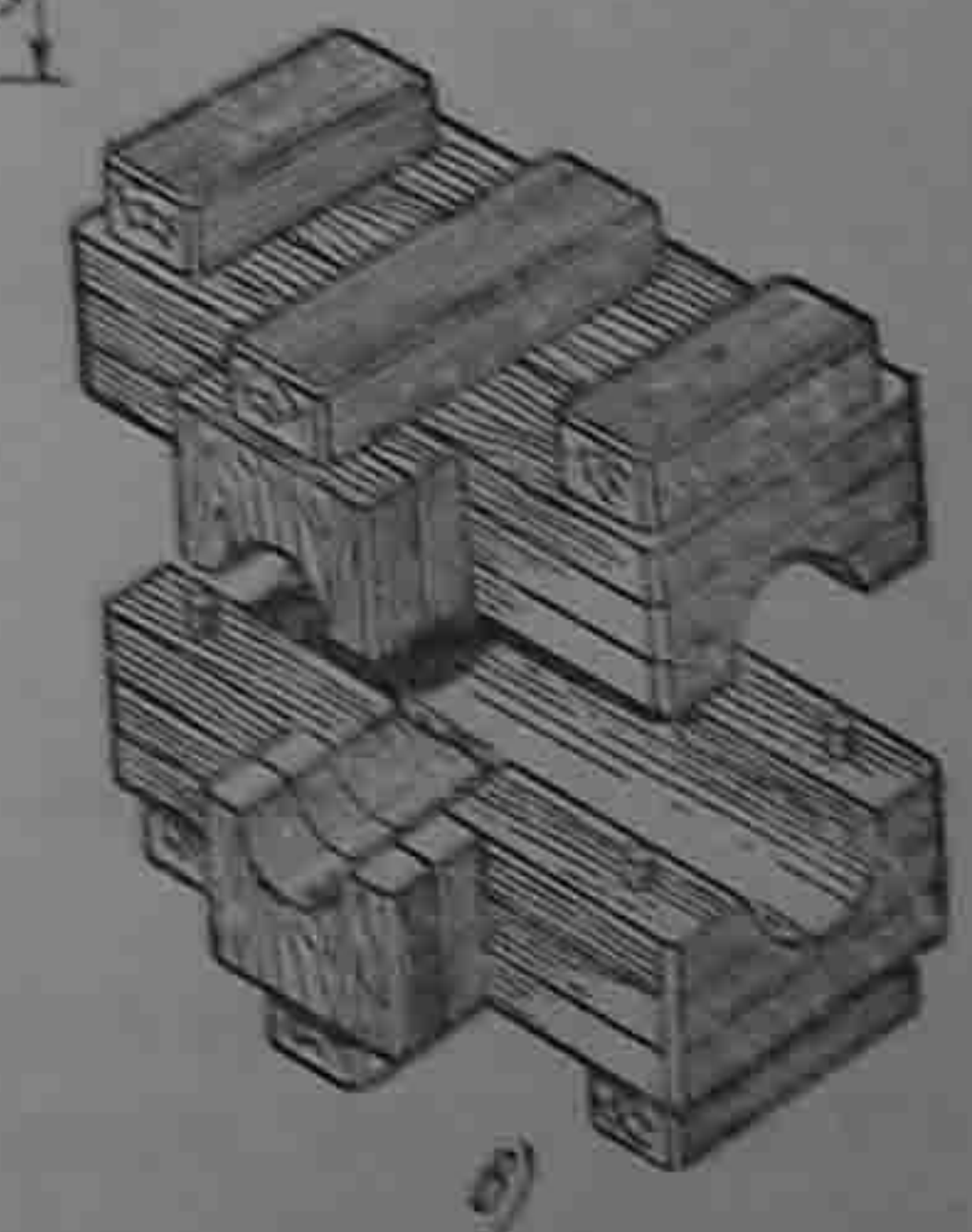
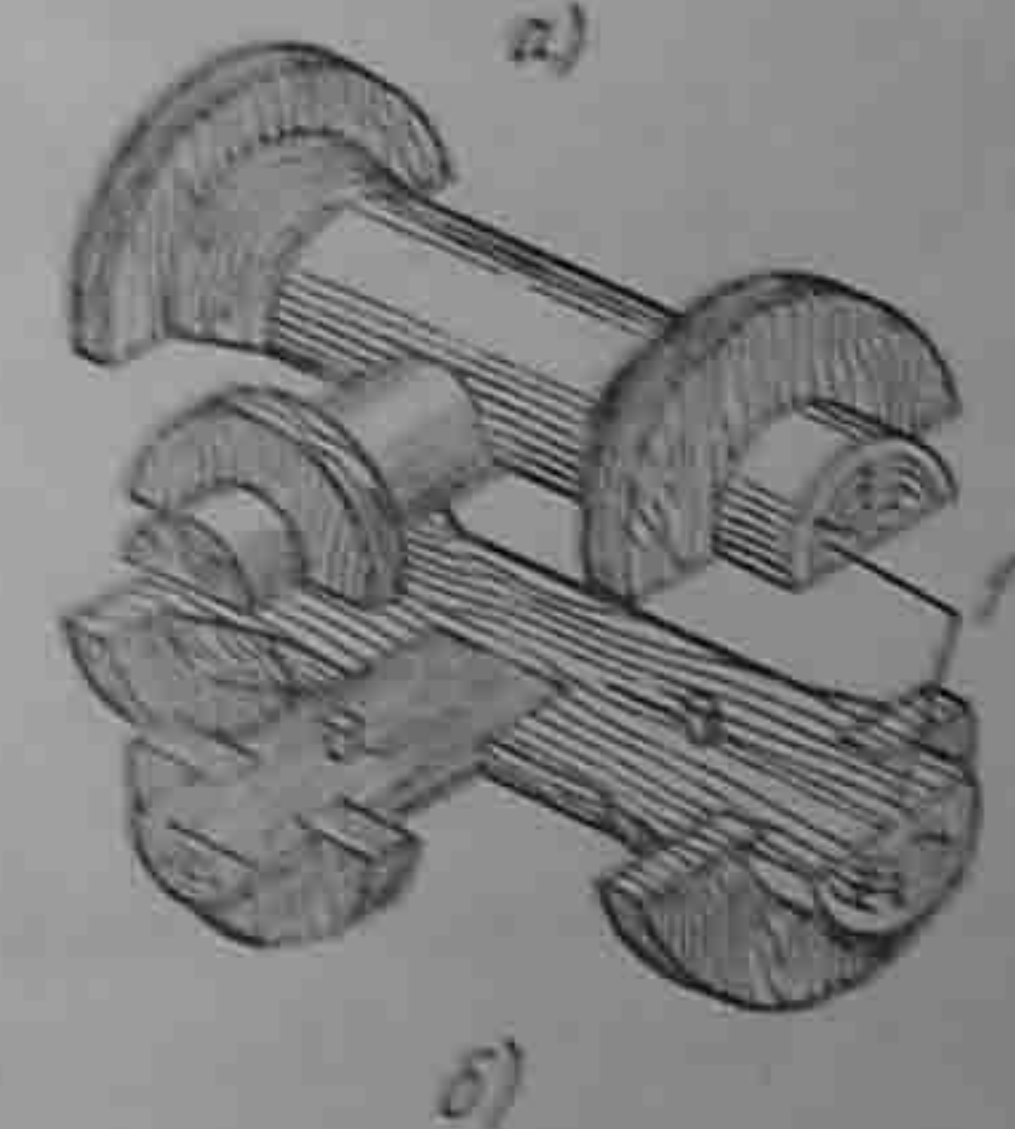


Рис. IV.21. Изготовление модели и стержневого ящика:

а — чертеж отливки; б — модель; в — стержневой ящик; г — стержневые знаки



ва сплава, заливаемого в форму, и последующую механическую обработку отливки.

По чертежу отливки (рис. IV.21, а) изготавливают деревянную модель (рис. IV.21, б) и стержневой ящик (рис. IV.21, в). Предварительно все размеры чертежа отливки увеличивают на величину линейной усадки сплава, из которого ее изготавливают.

Деревянные модели и стержневые ящики делают из отдельных заготовок. Заготовки склеивают из нескольких кусков (рис. IV.21, в), причем куски размещают так, чтобы долевые волокна древесины располагались в разных направлениях. Модели, изготовленные из таких заготовок, имеют большую прочность, более стабильные размеры и меньше коробятся.

Деревянные модели изготавливают на деревообрабатывающих станках: циркулярных и ленточных пилах, фуговальных и рейсмусовых (строгальных) станках, фрезерных, токарных и шлифовальных станках и др.

В единичном и мелкосерийном производствах применяют координатные модельные плиты¹ (рис. IV.22), устанавливаемые на стол формовочной машины. Координатная металлическая плита 3 (рис. IV.22, а) имеет большое число отверстий 4, размещенных в определенном порядке, что позволяет быстро устанавливать и закреплять деревянную модель 1 на плите 3 с помощью штырей 2.

Применяют также многопозиционные быстросменные модельные рамки (рис. IV.22, б). На металлической модельной рамке 11 устанавливают деревянные модели 5, 9 и 8, а также модели лит-

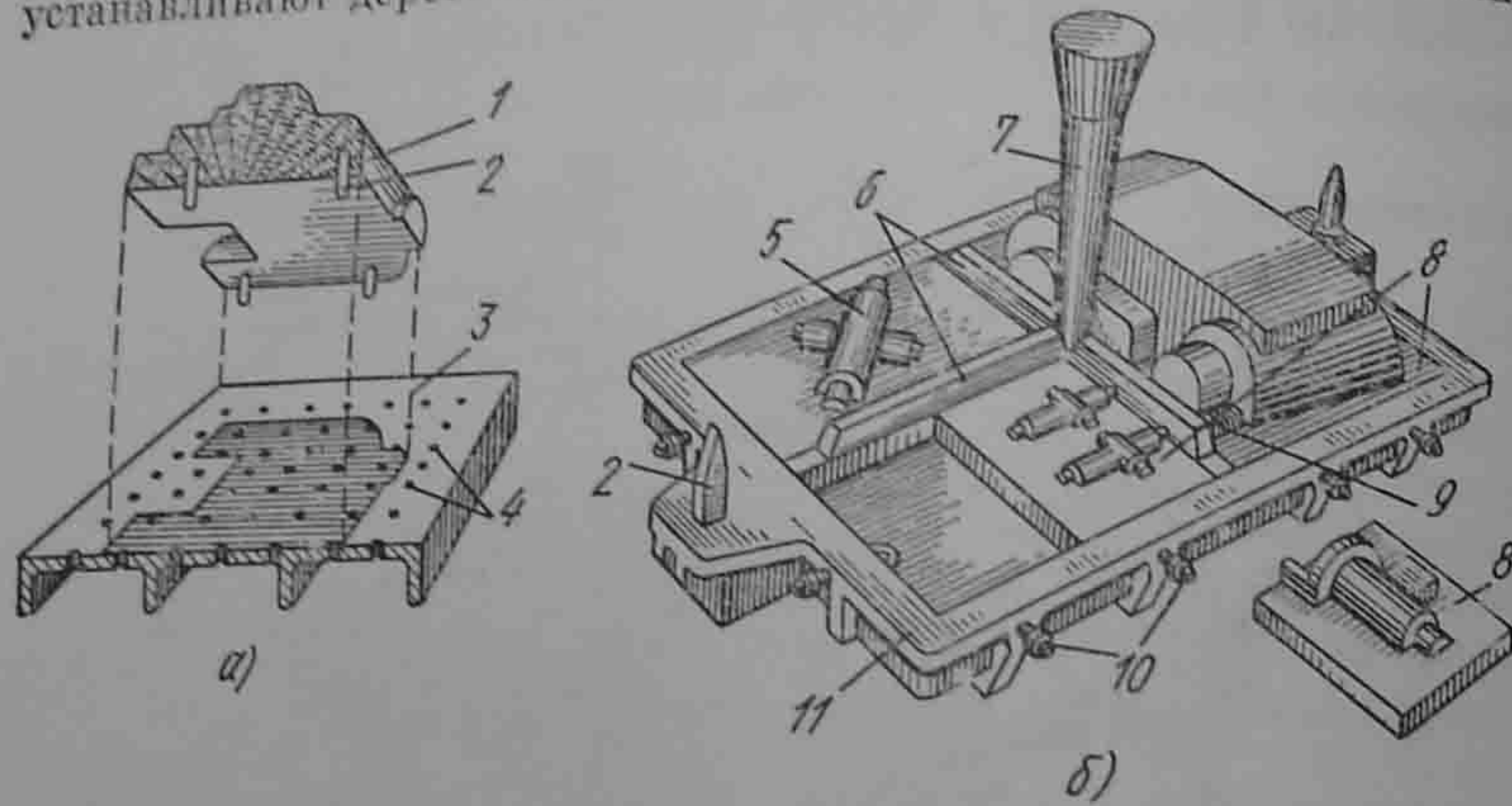


Рис. IV.22. Координатная модельная плита

никовой системы 7 и 6. Модели крепят упорными винтами 10 и болтами. На металлической модельной рамке 11 крепят также штыри 2 для центрирования опок.

В массовом производстве применяют металлические модельные плиты 1 (рис. IV. 23, а), которые изготовляют вместе с моделями 3 для отливки и литниками 2. На модельную плиту ставят опоку 4, по которой формуют только одну половину формы. Применяют также и двусторонние модельные плиты (рис. IV.23, б), по которым можно формовать верхнюю и нижнюю полуформы.

Формовка с применением модельных плит обеспечивает большую точность и хорошее качество поверхности отливки и является более производительной.

Расположение моделей на модельной плите зависит от размера и конфигурации отливки. На модельной плите можно расположить одну или несколько моделей. При этом следует располагать развитые поверхности отливки вниз, особенно базовые, обеспечивать направленное затвердевание отливки, спокойное запол-

¹ Модельная плита — плита, оформляющая разъем литейной формы и несущая на себе различные части модели, включая литниковую систему, а также служащая для набивки одной из парных опок при неразъемных моделях.

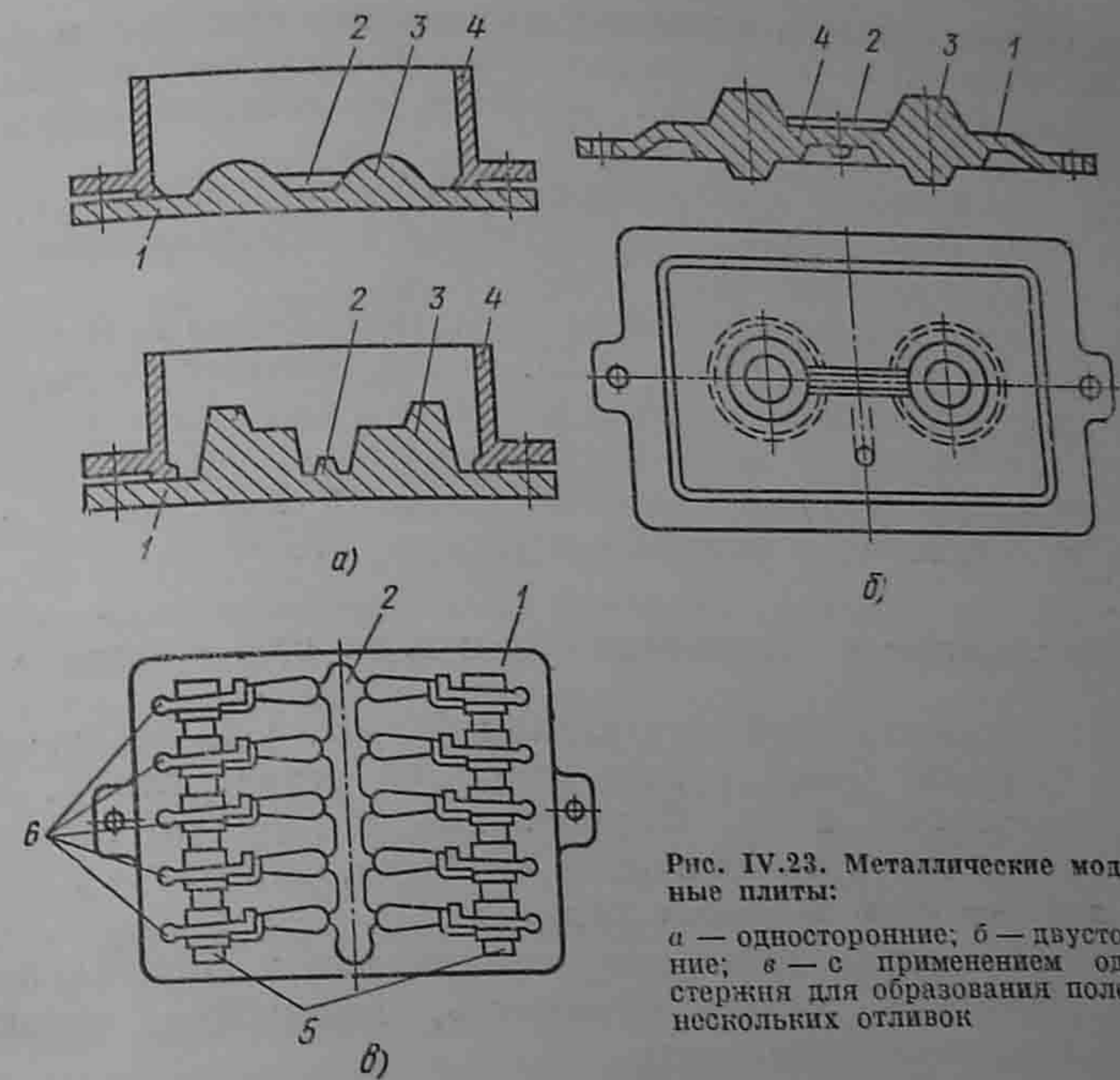


Рис. IV.23. Металлические модельные плиты:

а — односторонние; б — двусторонние; в — с применением одного стержня для образования полостей нескольких отливок

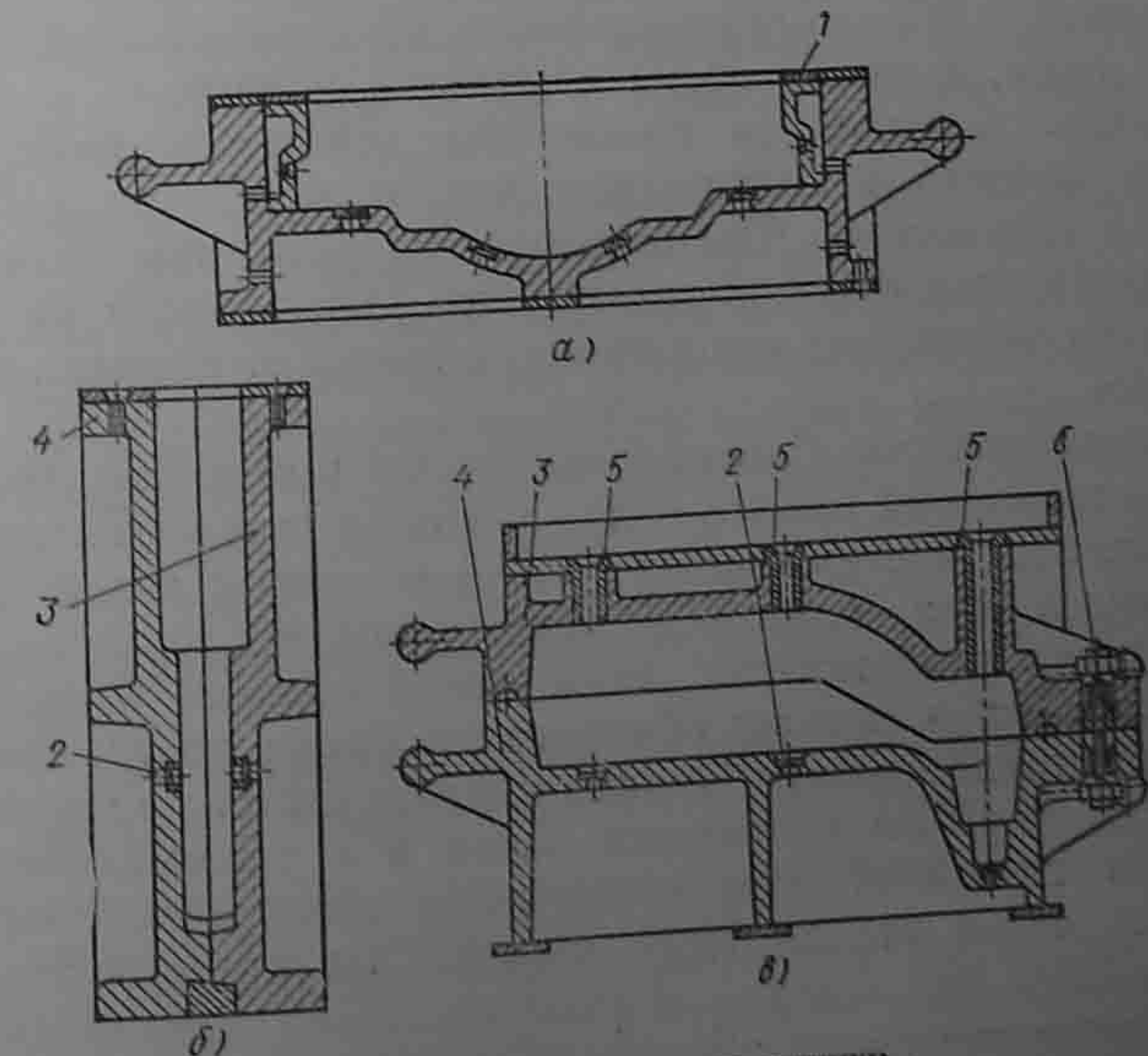


Рис. IV.24. Металлические стержневые ящики:
а — неразъемные; б — с вертикальным разъемом; в — с горизонтальным разъемом

ление формы сплавом, исключая разрушение стержня и формы струей металла, по возможности использовать один стержень 5 для образования внутренних полостей нескольких отливок 6 (рис. IV.23, а).

Стержневые ящики изготавливают из древесины (см. рис. IV.21, а) или металла (рис. IV.24). Они могут быть неразъемными (рис. IV.24, а) и разъемными (рис. IV.24, б, в).

В ящиках могут быть съемные части (вкладыши) 1. В разъемном стержневом ящике (рис. IV.24, в) изготавливают стержни на пескодувных машинах. В верхней половине 3 находятся втулки 5 для вдувания смеси. В нижней половине 4 запрессованы шайбы 2 с вентилями (отверстия для удаления воздуха). Верхнюю и нижнюю части соединяют с помощью втулок и штырей 6.

2. Формовочные и стержневые смеси и их приготовление

Из формовочных смесей изготавливают формы, а из стержневых смесей — стержни. Смеси готовят из песка, глины, связующих материалов и др. Формовочные материалы (песок и глина) должны иметь определенные свойства, поэтому их добывают из заранее исследованных карьеров.

Формовочные и стержневые смеси должны иметь хорошую пластичность, текучесть, газопроницаемость, достаточно высокую прочность и противопригарность.

Пластичность. Это свойство обеспечивает получение в форме отчетливого отпечатка модели. Пластичность смеси улучшается с повышением в ней (до определенного предела) связующих материалов и воды, а также песка с мелким зерном.

Текучесть. Способность смеси под действием внешних сил заполнять полость в стержневом ящике или обтекать модель называется текучестью. Чем больше текучесть, тем более равномерно уплотняется смесь около модели. Она зависит от природы и количества связующих материалов, а также от размера и формы зерен песка.

Газопроницаемость. Способность формы и стержня пропускать газы вследствие своей пористости называется газопроницаемостью. Из формовочных и стержневых смесей во время заливки формы сплавом выделяется большое количество газов. Если газопроницаемость смеси недостаточна, газы могут попасть в заливаемый в форму сплав, что вызовет образование брака по газовым раковинам. Газопроницаемость смеси увеличивается с применением песка с однородными размерами зерен и с уменьшением в ней содержания глины. Газопроницаемость определяют прибором, на котором через стандартный образец из формовочной смеси продувают 2000 см^3 воздуха и устанавливают время его прохождения и давление снизу образца. Газопроницаемость смеси составляет 30—150 единиц. Чем крупнее форма, тем больше должна быть газопроницаемость.

Прочность. Способность формы и смеси выдерживать внешние нагрузки без разрушения называется прочностью. Этим свойством форма должна обладать, чтобы не деформироваться и не разрушаться при изготовлении, транспортировке и воздействии на нее жидкого металла. Прочность формы и формовочной смеси возрастает, если в формовочной смеси увеличивается (до определенного предела) содержание глины, связующих материалов, песка с мелкими угловатыми зернами и воды. Для повышения прочности формовочной и стержневой смесей в них добавляют связующие материалы, жидкое стекло, синтетические смолы и др. Прочность образцов испытывают на сжатие. Для форм применяют формовочные смеси с прочностью в сыром состоянии $2,9—15,7 \text{ МН/м}^2$, а стержневой $49—196 \text{ МН/м}^2$.

Противопригарность — способность смесей и формы не спекаться и не сплавляться с расплавленным металлом. Формовочные смеси иногда пригорают к отливке и образуют на ее поверхности сплошную корку из смеси окислов металла и песка, которая затрудняет механическую обработку отливки.

В формовочную смесь добавляют противопригарные добавки: каменный уголь для чугуновых отливок, мазут для бронзы. Для этой же цели формы и стержни покрывают краской и припылами.

В состав краски обычно входят огнеупорная глина, графит, молотый кварцевый песок, а также связующие. В качестве припыла применяют порошковый графит, молотый древесный уголь и др.

Формовочные смеси готовят по определенному рецепту.

Основными материалами для изготовления формовочных смесей являются обратная смесь и свежие добавки (песок, глина, вода и др.).

Формовочные смеси по способу применения подразделяют на облицовочные¹, наполнительные² и единые³. Часто лицевой слой формы, непосредственно соприкасающийся с жидким металлом, выполняют из тщательно приготовленной смеси с большой прочностью и огнеупорностью. Такая смесь называется облицовочной. Остальную часть формы делают из более дешевой обратной⁴ смеси. Такая смесь называется еще наполнительной. При массовом производстве форм обычно изготавливают однородную смесь с повышенной прочностью и огнеупорностью, которую называют единой.

На заводах применяют *быстротвердеющие формовочные смеси* с добавками цемента или жидкого стекла. Форму из смеси с жид-

¹ Облицовочная смесь — формовочная или стержневая смесь для изготовления рабочего слоя формы или стержня.

² Наполнительная смесь — формовочная или стержневая смесь для наполнения формы или стержня после нанесения облицовочной смеси.

³ Единая смесь — формовочная или стержневая смесь, используемая одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смесей.

⁴ Обратная смесь — формовочная и стержневая смесь, используемая в технологическом процессе получения отливок.

ким стеклом высушивают пропускаемым через формовочную смесь углекислого газа. Форма становится прочной и достаточно газопроницаемой.

Нашли применение *самотвердеющие смеси*. В этом случае в смесь, кроме жидкого стекла, добавляют материалы, ускоряющие процесс твердения, например феррохромистый шлак. Смесь затвердевает на воздухе в течение 30 мин и становится прочной и газопроницаемой.

В нашей стране разработаны *текущие самотвердеющие смеси*, применение которых исключает операцию уплотнения смеси. При этом опоки и стержневые ящики заливают текучей формовочной смесью. Эти смеси состоят из песка с добавками жидкого стекла и других материалов, обеспечивающих их текучесть.

Для стальных отливок формовочные и стержневые смеси должны обладать большой противопригарностью, поэтому в них вместо обычной глины добавляют более огнеупорную глину. Для изготовления крупных отливок формовочную смесь готовят из хромистого железняка и др.

При выборе формовочных смесей для магниевых отливок необходимо учитывать взаимодействие магния с влагой смеси, при котором может образоваться водород, вызывающий взрыв. Добавка в формовочную смесь серы и борной кислоты исключает такое взаимодействие. При сушке форм и стержней и при нагреве форм во время заливки сплава борная кислота на поверхности форм и стержней образует с песком глазурь, которая изолирует сплав от соприкосновения с формовочной смесью, при этом сера стораит, образуя защитный слой сернистого газа, предохраняющий сплав от окисления.

Составы формовочных смесей для других сплавов отличаются только различными добавками, предохраняющими их от пригара к отливке.

Стержневые смеси состоят из кварцевого песка и связующих материалов.

Стержни во время заливки формы сплавом находятся в более тяжелых условиях, чем форма. В большинстве случаев стержни со всех сторон (за исключением знака) окружены расплавленным сплавом. Поэтому они должны обладать большой газопроницаемостью, прочностью, противопригарностью и легко выбиваться из затвердевшей отливки.

Для обеспечения этих свойств в стержневую смесь к кварцевому песку добавляют связующие материалы и другие добавки.

В качестве связующих материалов применяют синтетические смолы, естественные смолы (пек, сланцевую смолу, канифоль и др.), поливиниловый спирт, декстрин (продукты переработки крахмала), сульфитно-спиртовую барду (отходы спиртового производства) и др.

Применяют также стержневые смеси, затвердевающие в горячих стержневых ящиках. В таких смесях в качестве связующего

материала применяют быстротвердеющие органические и органоминеральные связующие материалы, которые затвердевают с помощью катализаторов.

Смеси, затвердевающие в стержневых ящиках в холодном состоянии, изготавливают из песка с добавками синтетических смол и катализатора. Они затвердевают в стержневом ящике за 5—10 с. Стержни, затвердевающие в стержневом ящике, имеют большую точность и не нуждаются в дополнительном просушивании в сушилах.

Формовочные и стержневые смеси на заводах готовят на полуавтоматических и автоматических установках. На них автоматизированы следующие операции приготовления смеси: просушка, дробление и просеивание формовочных материалов; отделение металлических примесей от старой (бывшей в производстве) смеси; подача в смесители составляющих материалов по рецепту лаборатории, перемешивание их, разрыхление и подача в бункера, расположенные над формовочными машинами.

3. Изготовление литейной формы

Форму готовят в следующей последовательности: устанавливают на модельную плиту 4 (рис. IV.25, г) опоку 3 и на нее

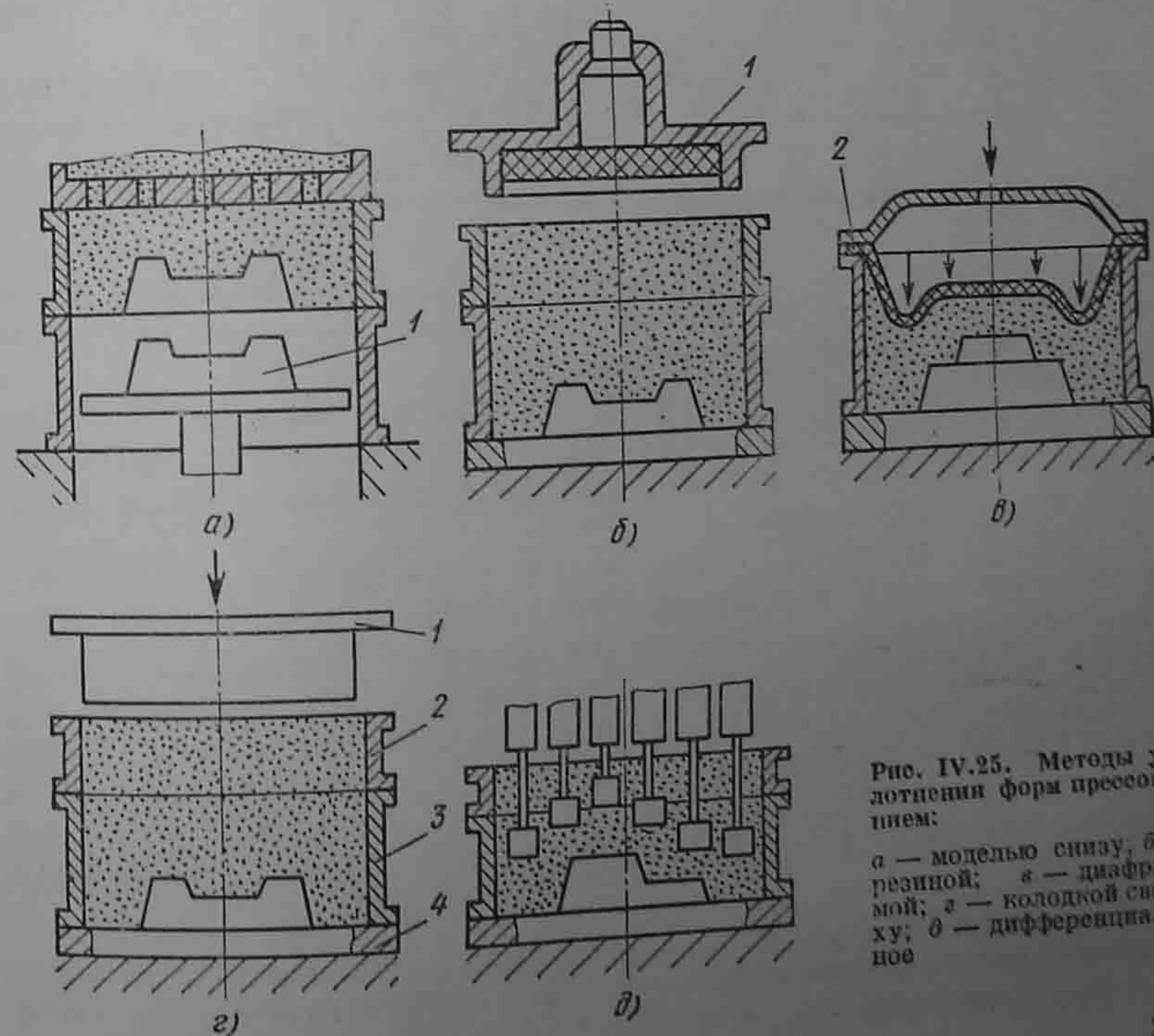


Рис. IV.25. Методы уплотнения формы прессованием:

а — моделью снизу; б — резиной; в — диафрагмой; г — колодкой сверху; д — дифференциальное

наполнительную¹ рамку 2, высота которой соответствует степени уплотнения формовочной смеси в форме. Из бункера засыпают формовочную смесь в опоку и рамку, уплотняют ее, затем модель извлекают из формовочной смеси. В результате образуется литейная форма.

Формовочную смесь в форме уплотняют различными способами: вручную с помощью трамбовки и машинами (прессованием, встряхиванием, сбрасыванием комков смеси с большой скоростью пескометом или пескострельной машиной). Кроме того, форму изготавливают заливкой текучей формовочной смеси в опоку с последующим ее затвердеванием.

Формовочную смесь прессованием уплотняют различными способами в зависимости от размера и сложности модели: нижним прессованием моделью (рис. IV.25, а); верхним прессованием колодкой 1 (рис. IV.25, б); диафрагменным прессованием; вдавливанием резины под действием сжатого воздуха (рис. IV.25, в); дифференциальным прессованием (вдавливанием большого числа колодок в смесь с различным усилием, рис. IV.25, д) и т. д.

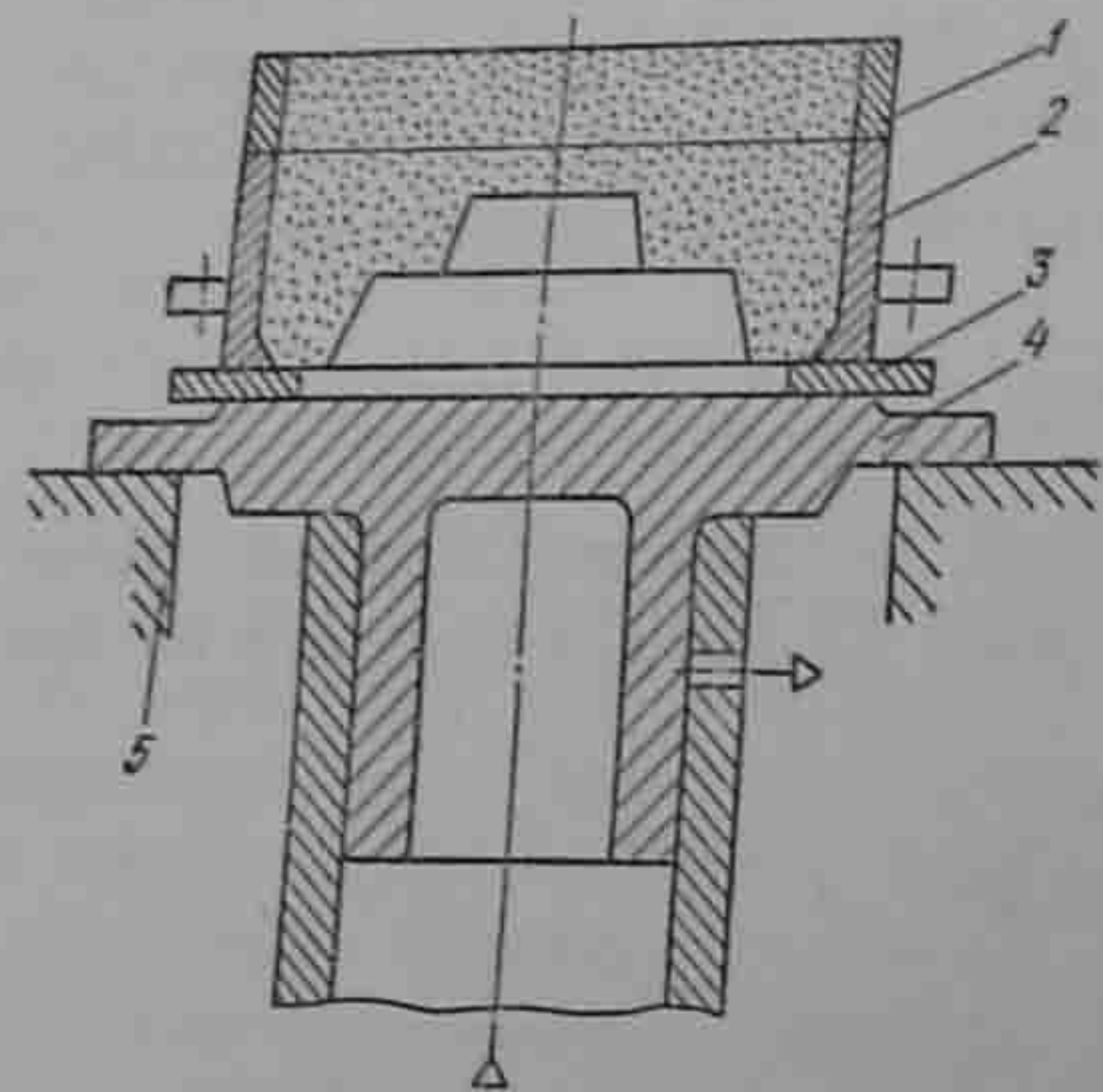


Рис. IV.26. Схема уплотнения форм встряхиванием

в невысоких опоках, так как при формовке высоких опок трудно обеспечить равномерное уплотнение.

Встряхиванием чаще уплотняют смеси в высоких формах. При этом способе уплотнения легче изготовить формы с высокими ребрами и впадинами, так как при встряхивании хорошо перемещаются частицы смеси.

Сущность уплотнения смеси состоит в следующем (рис. IV.26). Формовочный стол 4 поднимается сжатым воздухом. На него устанавливают модельную плиту 3 и опоку 2 с рамкой 1; засыпают формовочную смесь в опоку 2; отключают воздух, и стол падает вниз, ударяясь о станину 5 станка. Верхний слой смеси оказывает давление на нижние слои, вследствие чего формовочная смесь больше уплотняется около модели. Эта операция повторяется автоматически несколько раз. Верхняя часть формы уплотняется

недостаточно, поэтому часто применяют дополнительное ее уплотнение прессованием.

Пескометом уплотняют смеси в средних и крупных формах, так как этот способ обеспечивает одновременную засыпку опоки смесью и ее уплотнение. Процесс уплотнения смеси с помощью пескомета заключается в следующем. Формовочная смесь посту-

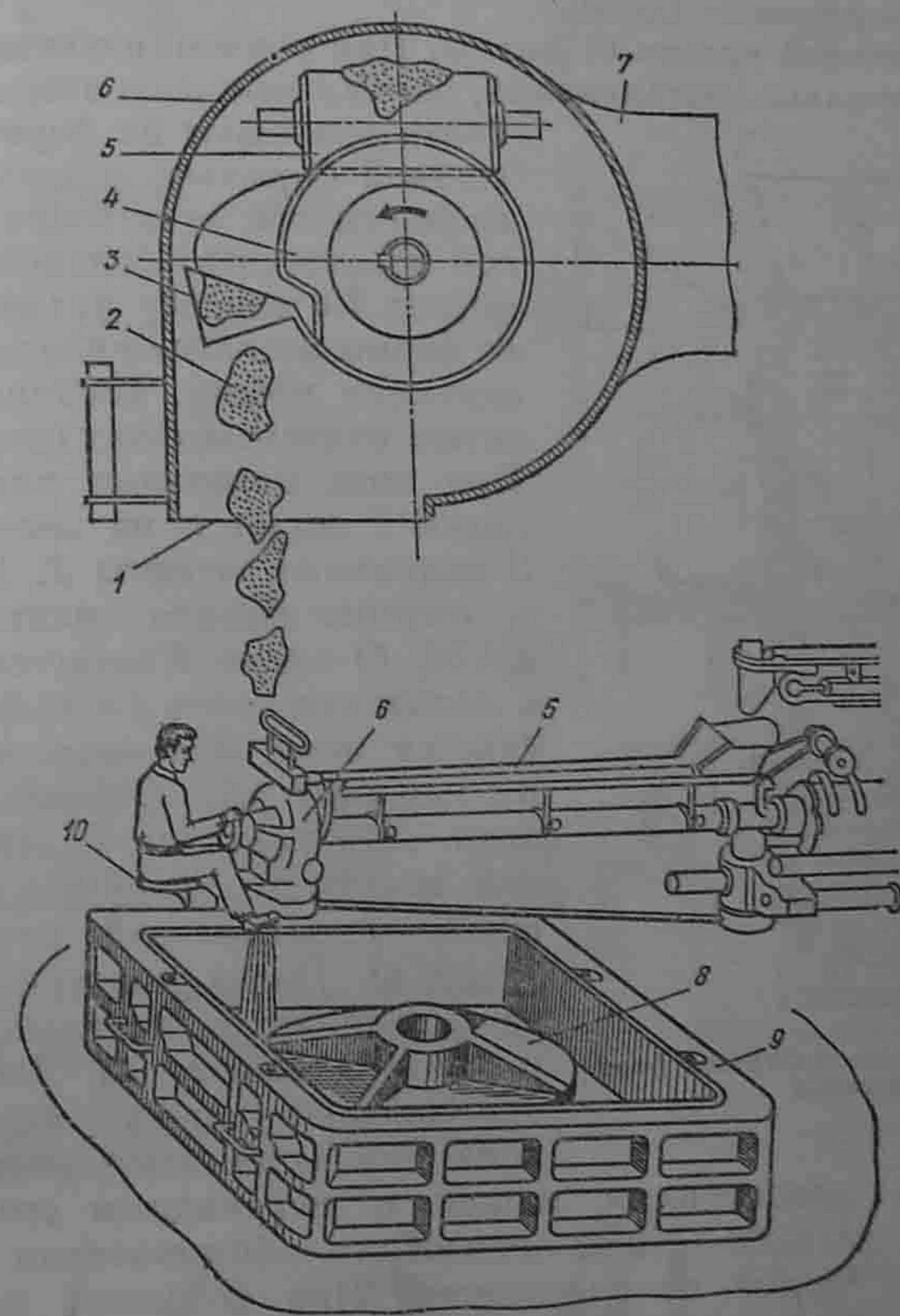


Рис. IV.27. Схема уплотнения форм пескометом

пает по транспортеру 5 (рис. IV.27) в головку пескомета 6, где подхватывается лопастью 3, закрепленной на вращающемся диске 4. Лопасть образует комок 2 и с силой выбрасывает его в опоку 9 через отверстие 1 в головке пескомета. Смесь около модели 8 по сечению опоки уплотняется равномерно.

Головка пескомета с помощью рукава 7 передвигается в зоне опоки 9.

Большим пескометом управляет рабочий, сидящий на сиденье 10 около головки пескомета. Формовочная смесь на транспортер поступает из бункера или смесеприготовительного отделения.

¹ Наполнительная рамка — приспособление, устанавливаемое на литейную опоку или по разьему стержневого ящика, для получения дополнительного количества смеси до уплотнения ее в опоке.

Пескодувные формовочные машины, применяемые для небольших форм, обеспечивают высокую производительность и равномерное уплотнение. В камеру 1 (рис. IV.28) засыпается из бункера 2 порция смеси, после чего камера закрывается заслонкой 3 и подается сжатый воздух. Смесь 4 «выстреливается» в опоку 5, установленную на модельной плите 6. Применяют также химически твердеющие формы¹.

Извлечение модели из формы. При ручном извлечении модель предварительно расталкивают, затем с помощью ввернутого в нее болта вынимают из формы. При машинной формовке модель извлекают из формы при ее вибрации. Этот способ обеспечивает большую точность формы. По способу удаления модели из формы различают следующие конструкции машин.

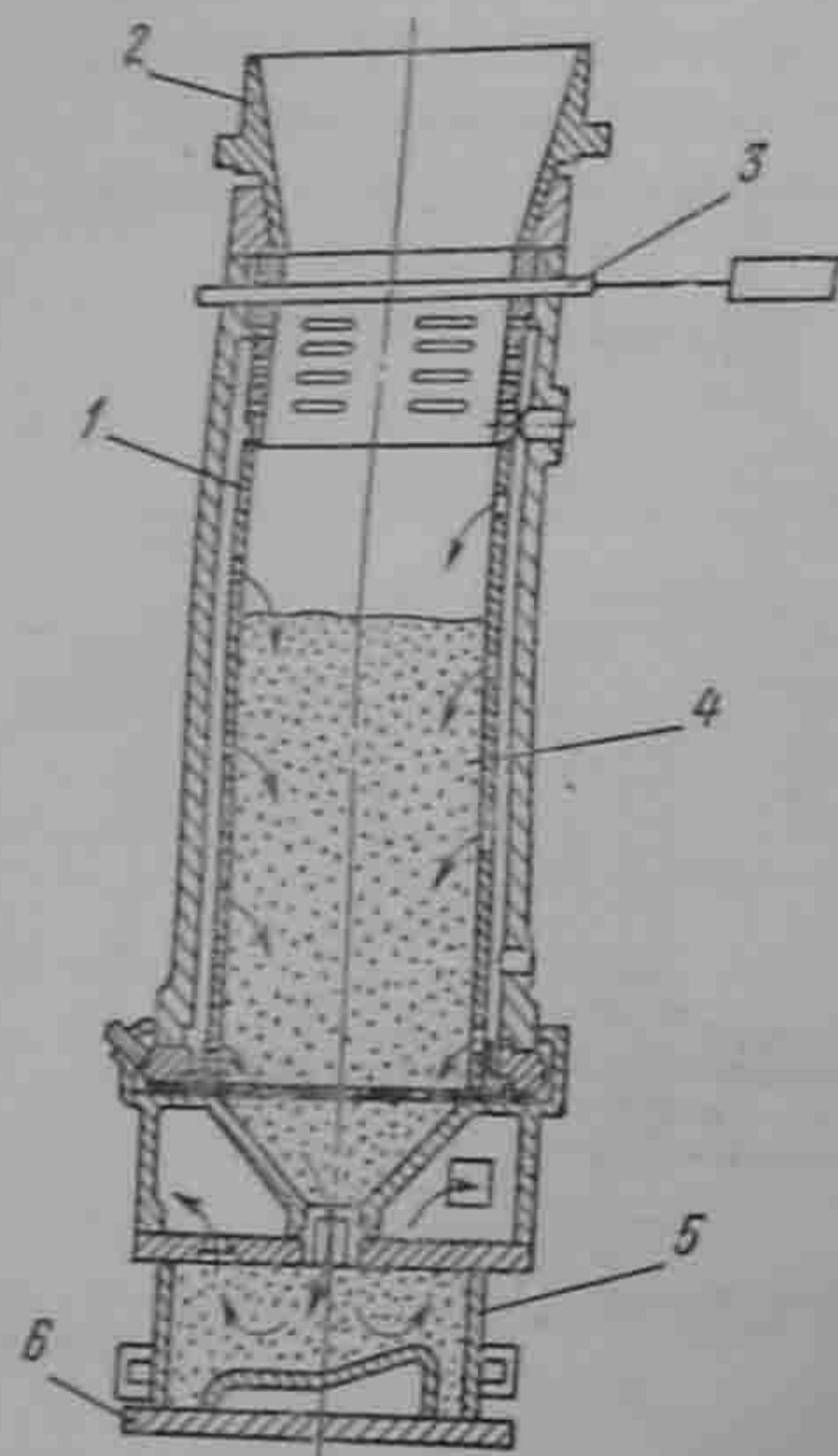


Рис. IV.28. Схема уплотнения форм пескодувным способом

Машины со штифтовым подъемом опоки (рис. IV.29, а). При этом модельная плита 4 с моделью 7 остается на месте, а опоку 2 поднимают штифты 3. В машинах с опускающимися плитами (рис. IV.29, б) опока 2 остается на месте, а модельная плита 4 с моделью 1 опускается вниз. Так модели удаляют на машинах для формовки верхних опок. Для удаления модели из нижней полуформы чаще применяют машины с поворотной плитой (рис. IV.29, в). После уплотнения формы ее скрепляют с модельной плитой и поворачивают на 180°. Затем освобождают опоку, опускают ее вниз или поднимают модель вверх.

Аналогична конструкция машин с перекидным столом. При извлечении модели этими способами формовочная смесь не осыпается и форма не засоряется. При формовке по моделям сложной конфигурации, имеющим ребра, применяют протяжные модельные плиты. Такие плиты удаляют поочередно, вначале модель ребер 1 (рис. IV.29, б). При извлечении модели ребер через плиту формовочная смесь не осыпается, так как модель протягивается через отверстие в плите 4, а опока 2 остается на месте.

Чаще форму изготавливают на двух формовочных машинах: на одной — нижнюю половину, на другой — верхнюю. В нижнюю

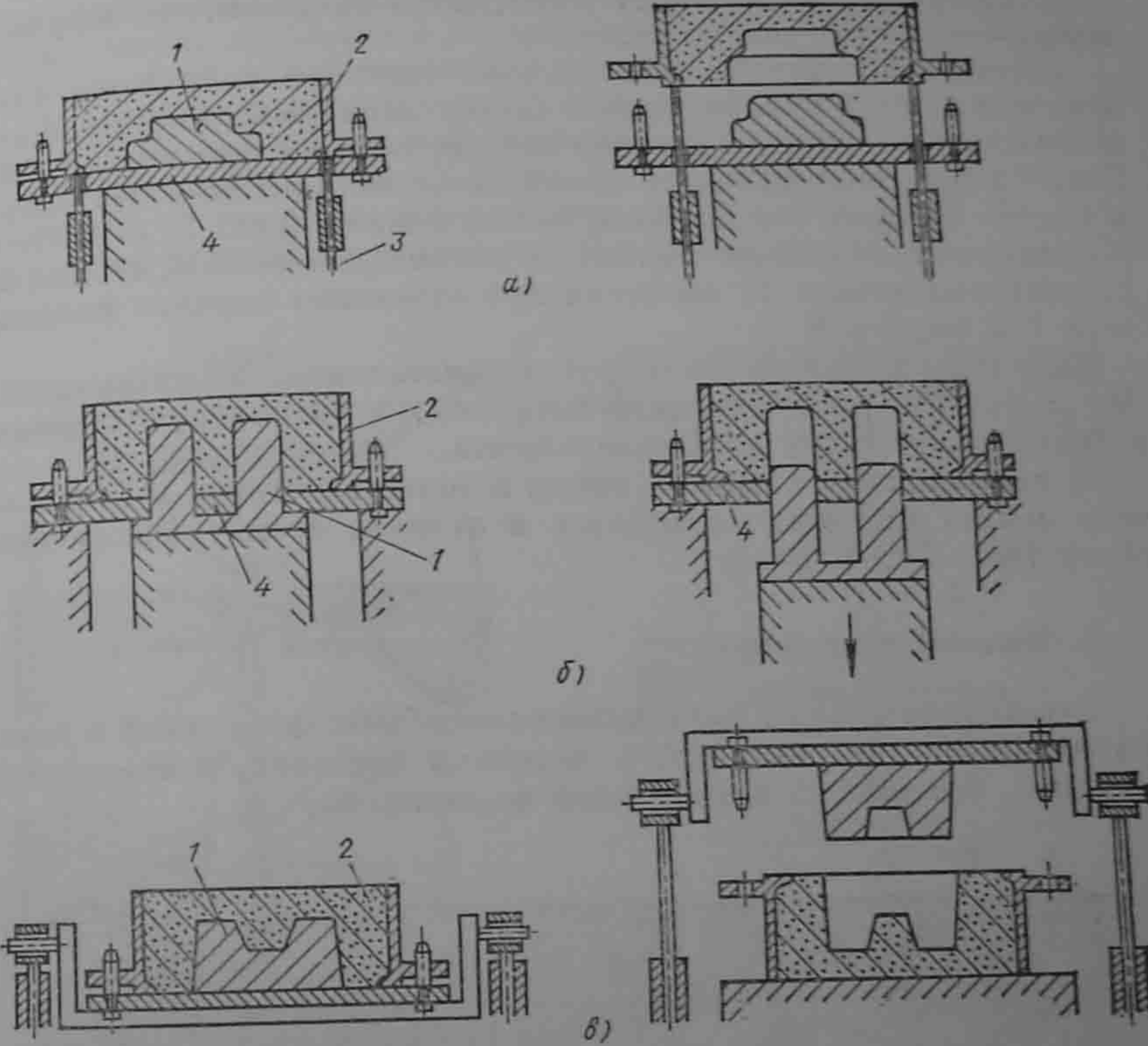


Рис. IV.29. Способы удаления модели из формы: а — штифтовым подъемом опоки; б — через протяжную плиту вниз; в — поворотной плитой

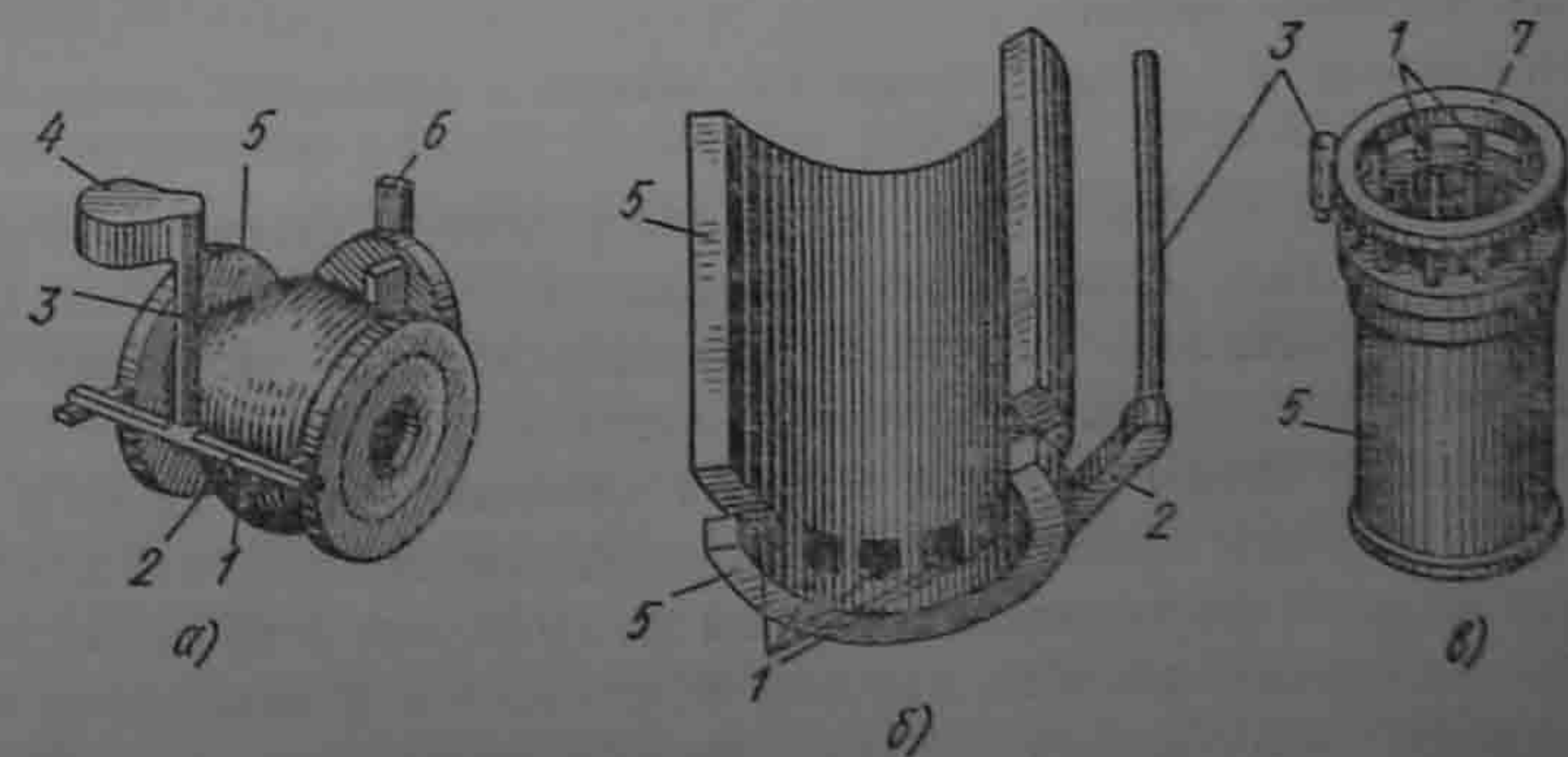


Рис. IV.30. Типовые литниковые системы: а — подвод металла сбоку; б — подвод металла снизу; в — подвод металла сверху

¹ Химически твердеющая форма — разовая литейная форма, упрочняемая за счет химического твердения смеси под воздействием дополнительных факторов или самопроизвольно. Такие формы еще называют самотвердеющими.

полуформу устанавливают стержни, затем накрывают ее верхней, после чего форму можно заливать.

Литниковая система. Литниковой системой называется система каналов для подведения в форму расплавленного металла. Назначение литниковой системы состоит также в том, чтобы улавливать шлак, попадающий вместе с металлом в литниковую чашу, и питать отливку 5 в процессе затвердевания (рис. IV.30). Литниковая система обычно состоит из литниковой чаши 4, стояка 3, шлакоулавливателя 2, питателя 1, в отдельных случаях коллектора 7 и выпора 6.

Для задержания шлака и других неметаллических материалов, попадающих с расплавленным металлом, в литниковую систему устанавливают сетку из стекловолокна.

В зависимости от конфигурации и толщины стенок и заливаемого сплава питатели подводятся к отливке сверху, снизу или сбоку (рис. IV.30, а—в).

4. Изготовление форм

Формы изготавливают различными способами: формовкой в двух и трех опоках, по шаблону, в литейных кессонах, в стержнях, в опоках, безопочной и машинной формовками.

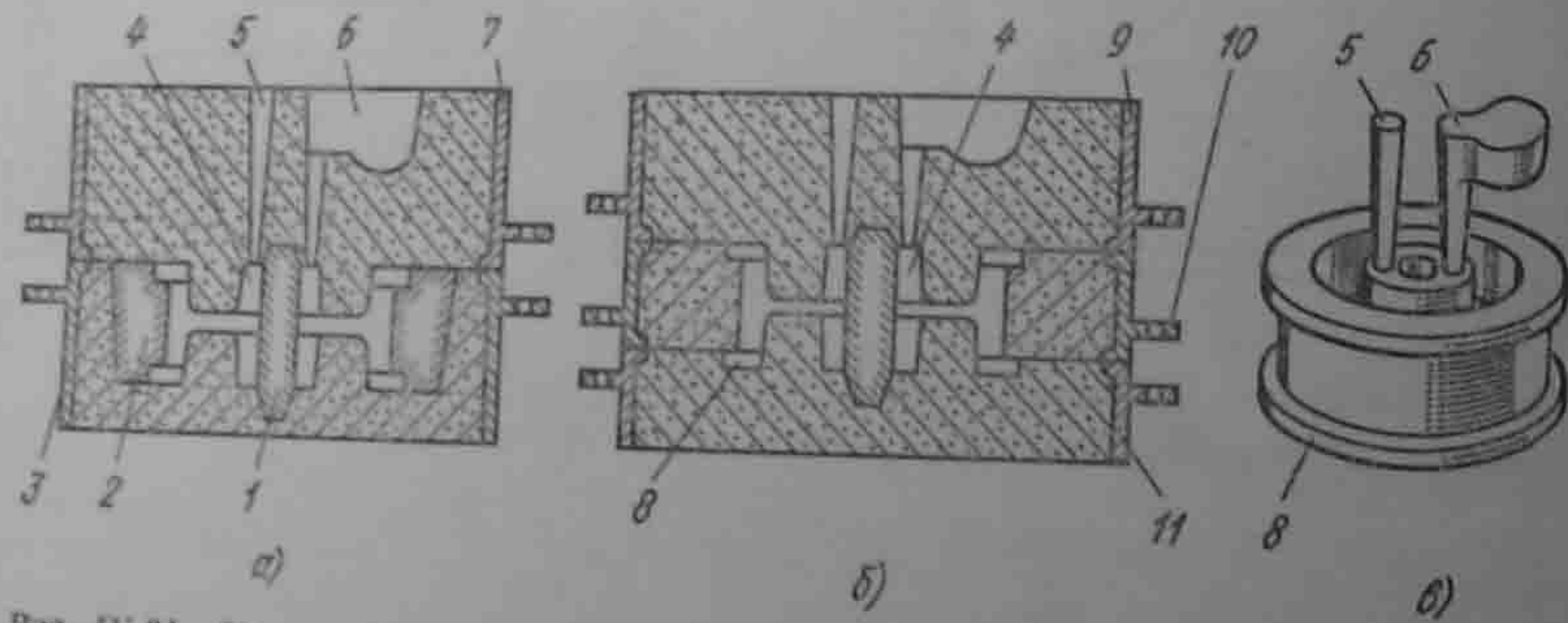


Рис. IV.31. Формовка шкива:

а — в двух опоках; б — в трех опоках; в — отливка с литниковой системой

Выбор способа формовки зависит от размера формы, от серийности производства, сложности модели, от конструкции и расположения литниковой системы, расположения прибыли и др. Рассмотрим основные способы изготовления форм.

Изготовление форм в двух и трех опоках (рис. IV.31). Формовка в двух опоках происходит в следующей последовательности: с помощью модели формируют нижнюю полуформу 3 (рис. IV.31, а), затем устанавливают модель втулки 4, стояка 6 и выпора 5 и формируют верхнюю полуформу 7. Поднимают верхнюю полуформу и удаляют из нее модели стояка и выпора, а из нижней полуформы — модель отливки. Полуформы готовят к сборке, устанавливают стержень 1 для образования центрального отверстия и стержень 2

для образования наружного углубления отливки. Верхнюю полуформу ставят на нижнюю и заливают чугуном. Готовая отливка шкива с литниковой системой приведена на рис. IV.31, в.

В единичном производстве, чтобы не изготавливать стержень 2 (рис. IV.31, а) и стержневой ящик для него, применяют формовку в трех опоках 9—11 (рис. IV.31, б). В этом случае в модели втулку 4 и фланец 8 выполняют отъемными. Средняя опока 10 образует наружное углубление в отливке. После изготовления формы под-

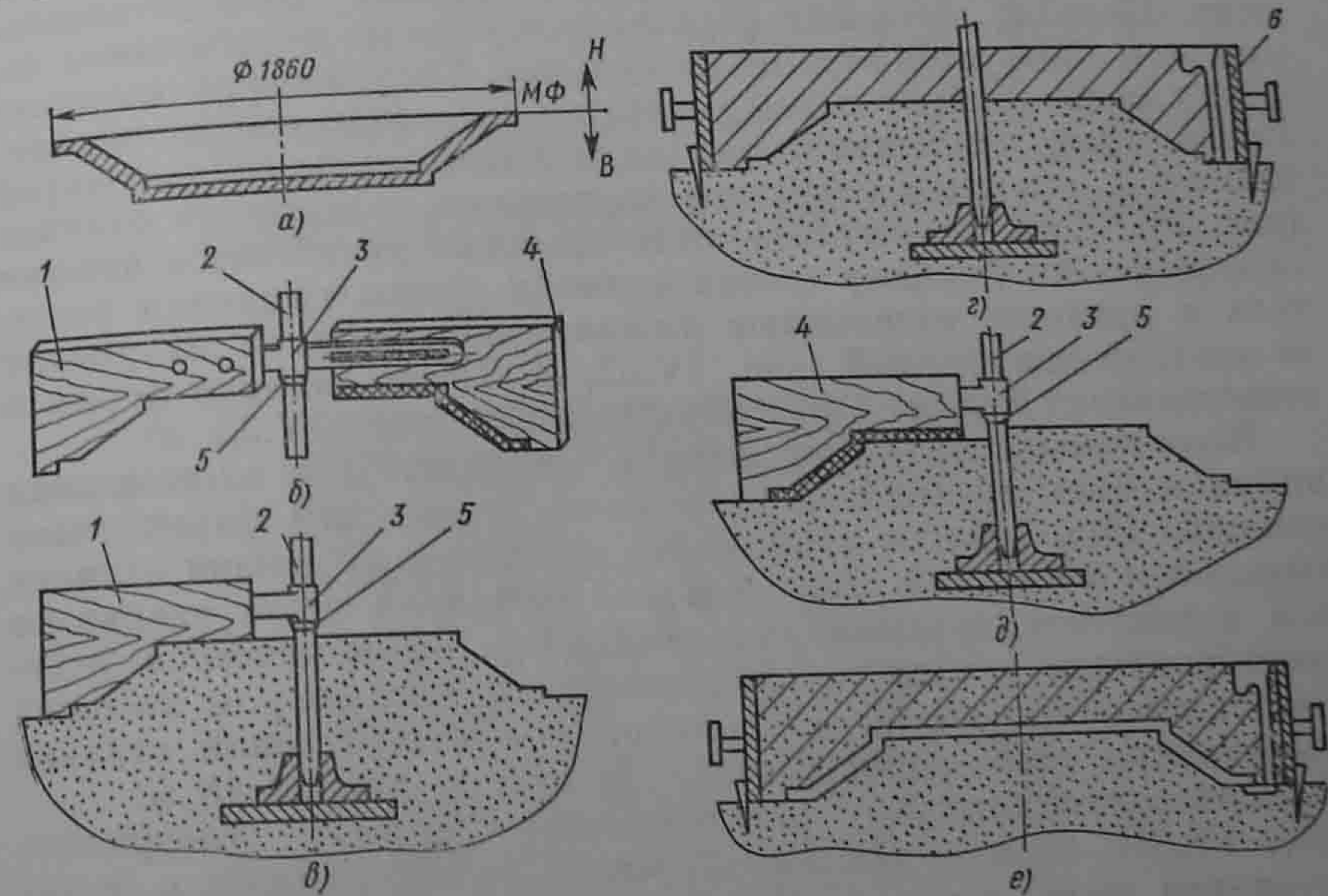


Рис. IV.32. Формовка с помощью шаблона:

а — отливка; б — шаблоны, модели и оснастка; в — изготовление модели из формовочной смеси; г — изготовление верхней полуформы; д — изготовление нижней полуформы; е — собранная форма

нимают верхнюю опоку 9, затем удаляют модель, снимают среднюю опоку 10, удаляют отъемный фланец-модель 8, ставят стержень и собирают форму.

Изготовление форм по шаблону. Такой способ применяют в единичном производстве крупных отливок с правильной геометрической формой, поверхность которых можно оформить вращением шаблона вокруг оси, и в случае, когда изготовление модели не экономично.

Шаблон называется профильная доска (рис. IV.32, б), имеющая очертание внутренней или внешней поверхности отливки. Шаблоны закрепляют на рукаве 3, который ставят на шпindel 2. Шаблоны закрепляют на рукаве 3, который ставят на шпindel 2, до упора с гайкой 5. Для примера рассмотрим формовку по шаблону чаши. Формуют с помощью двух шаблонов 1, 4. Последова-

тельность формовки по шаблону следующая. Уплотняют формовочную смесь вокруг шпинделя 2 (рис. IV.32, *e*). Прикрепляют к наружной поверхности отливки. Для изготовления верхней полуформы готовят модель из формовочной смеси. Для этого вращением шаблона в разные стороны срезается формовочная смесь по его профилю. После этого снимают рукав с шаблоном, форму засыпают разделительным сухим песком или прокладывают бумагой и устанавливают модель стояка. Затем устанавливают опоку 6, засыпают формовочной смесью и уплотняют ее, при этом образуется верхняя полуформа. Снимают верхнюю полуформу и заделывают в ней отверстие, образованное шпинделем. Вновь ставят шпиндель во втулку и к нему прикрепляют второй шаблон 4, имеющий очертание внутренней поверхности отливки (рис. IV.32, *d*). С помощью этого шаблона углубляется нижняя полуформа на толщину стенок отливки. Затем вынимают шпиндель с рукавом, отделяют нижнюю полуформу и накрывают ее верхней полуформой (рис. IV.32, *e*). После заливки формы и затвердевания сплава образуется отливка (рис. IV.32, *a*).

Изготовление литейных форм в кессонах. Для изготовления крупных форм трудно или невозможно применять формовочные машины. Поэтому для применения формовочных машин отливку выполняют составной. Впоследствии составные части сваривают или скрепляют другими методами. При экономической нецелесообразности такого метода применяют формовку в кессонах (бетонированных ямах). Например, при изготовлении отливки для станины поперечно-строгального станка длиной 18 м.

Последовательность изготовления формы следующая (рис. IV.33). Бетонируют яму 2, чтобы не просочилась в форму грунтовая вода, которая может привести к выплеску жидкого металла в период заливки формы. На дно бетонированной ямы укладывают двухтавровые балки 1. К балкам прикрепляют стальные полусоси 5, возвышающиеся над верхней опокой. Для более тяжелых отливок на балки укладывают плиты, на которых из обычного кирпича выкладывают форму (кирпич от модели должен быть на расстоянии 45—50 мм). С наружной стороны кирпичной кладки насыпают слой шлака для увеличения его газопроницаемости, к которому подводят газоотводящие трубы.

После постановки модели (модель часто изготавливают из отдельных частей) засыпают и уплотняют формовочную смесь с помощью пескомета. Затем формируют верхнюю полуформу 3, краном вынимают модель, отделяют форму и устанавливают стержни 4 для образования внутренней поверхности отливки. После этого устанавливают верхнюю полуформу, закрепляют болтом полусоси, что предохраняет от подъема верхние полуформы в период заливки формы металлом. Несколькими ковшами через литники заливают более 100 т чугуна. После затвердевания и охлаждения отливки форму разрушают и вынимают отливку.

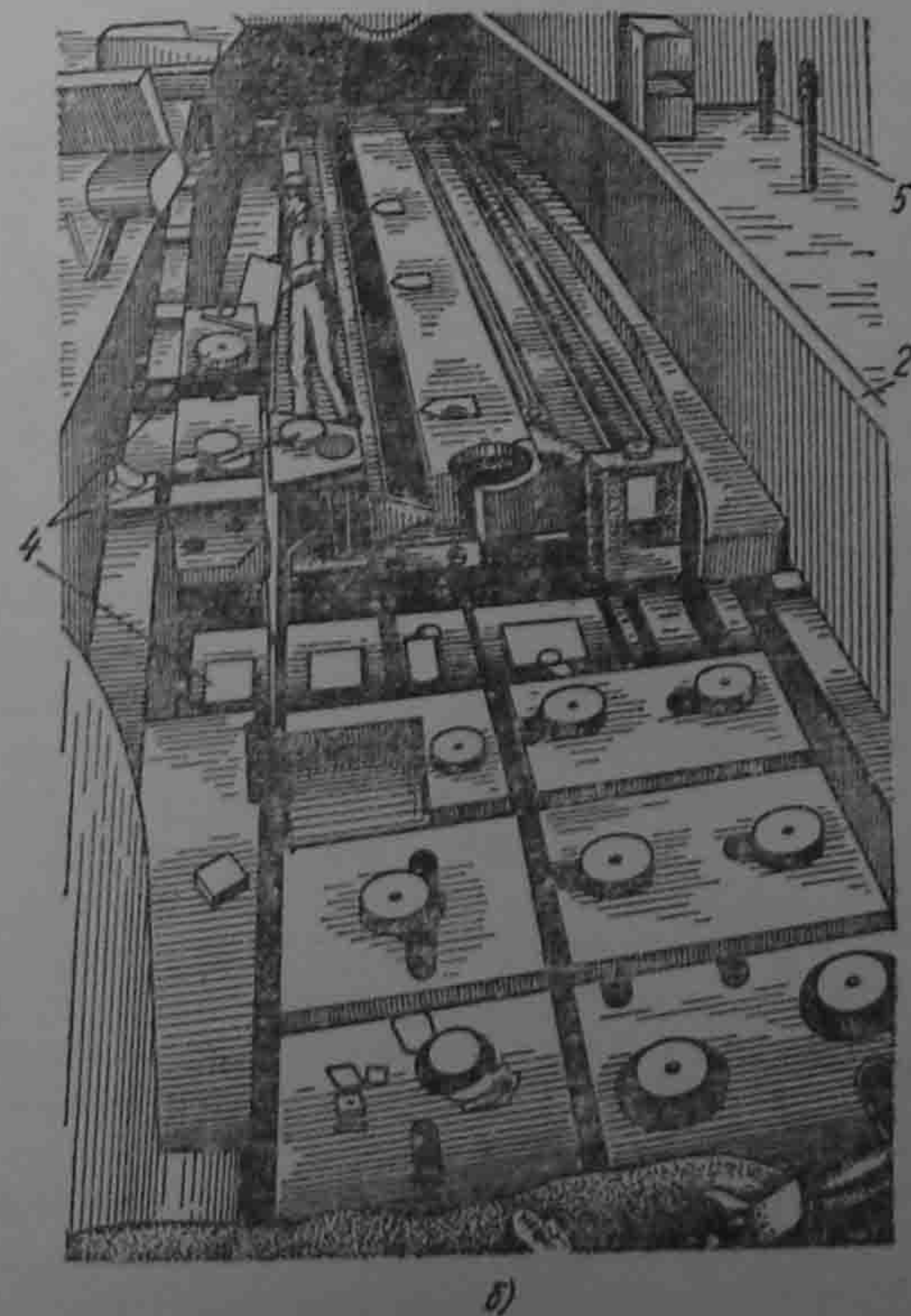
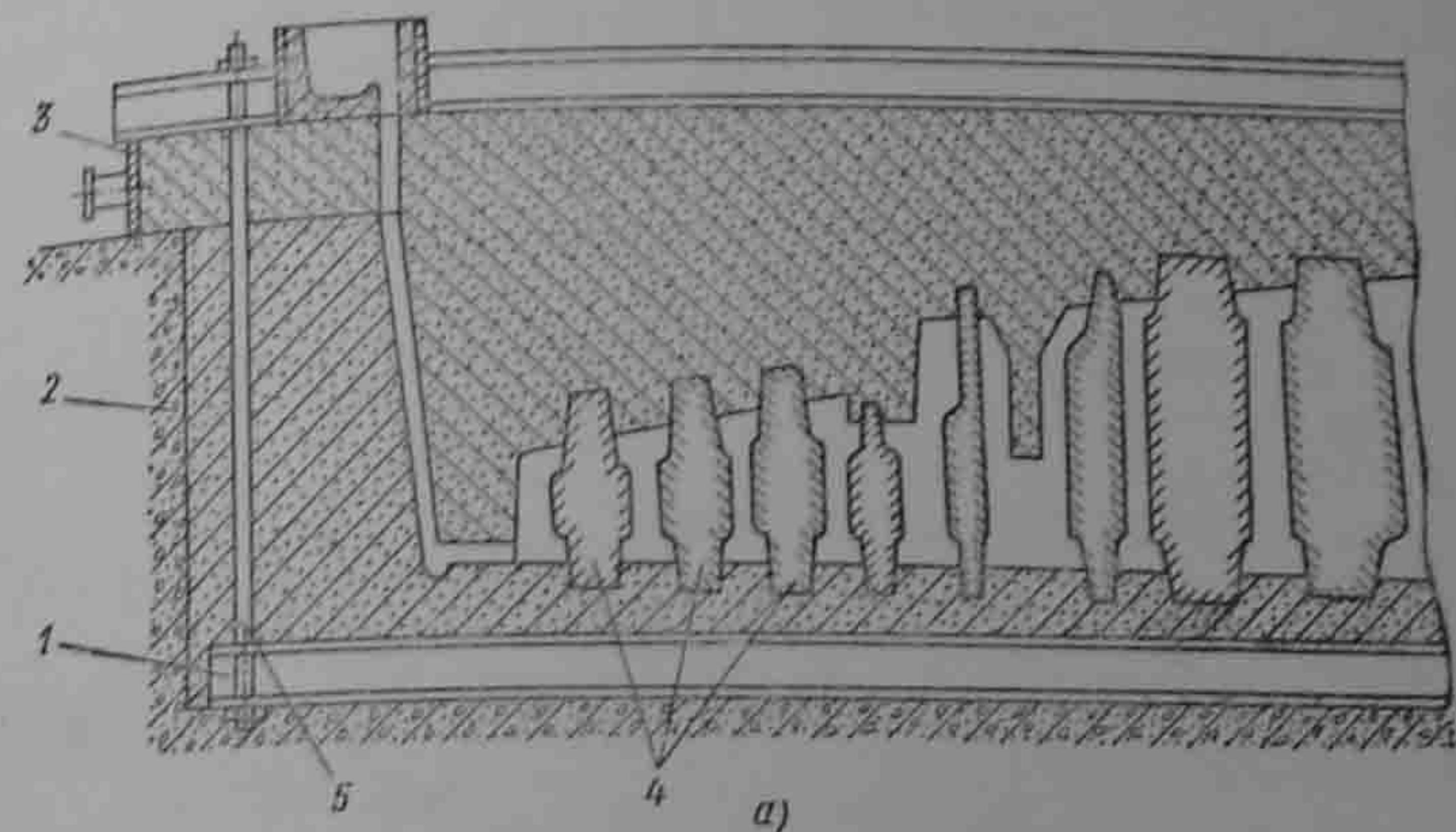


Рис. IV.33. Формовка в кессонах крупных форм:
a — часть формы с собранными стержнями; *b* — сборка стержней

Изготовление форм в стержнях. Этим способом получают тонкостенную отливку сложной конфигурации или с большим числом ребер. С помощью стержней (рис. IV.34) собирают форму для отливки наружной и внутренней частей отливки. В данном случае форма собрана из семи стержней.

Изготовление форм в опоках на машинах. Для удаления пыли модельную плиту 1 (рис. IV.35, а) обдувают воздухом, затем опрыскивают керосином или нефтью, чтобы к модели не прилипла формовочная смесь. После этого на плиту устанавливают нижнюю опоку 2. Опоку из бункера наполняют формовочной смесью, уплотняют смесь в форме. Излишек смеси после уплотнения срезают линейкой, на полуформу устанавливают щиток 7 (рис. IV.35, б). Полуформу вместе с щитком поворачивают на 180° и, подняв модельную плиту или опустив опоку, вынимают модель. Готовая полуформа показана на рис. IV.35, в.

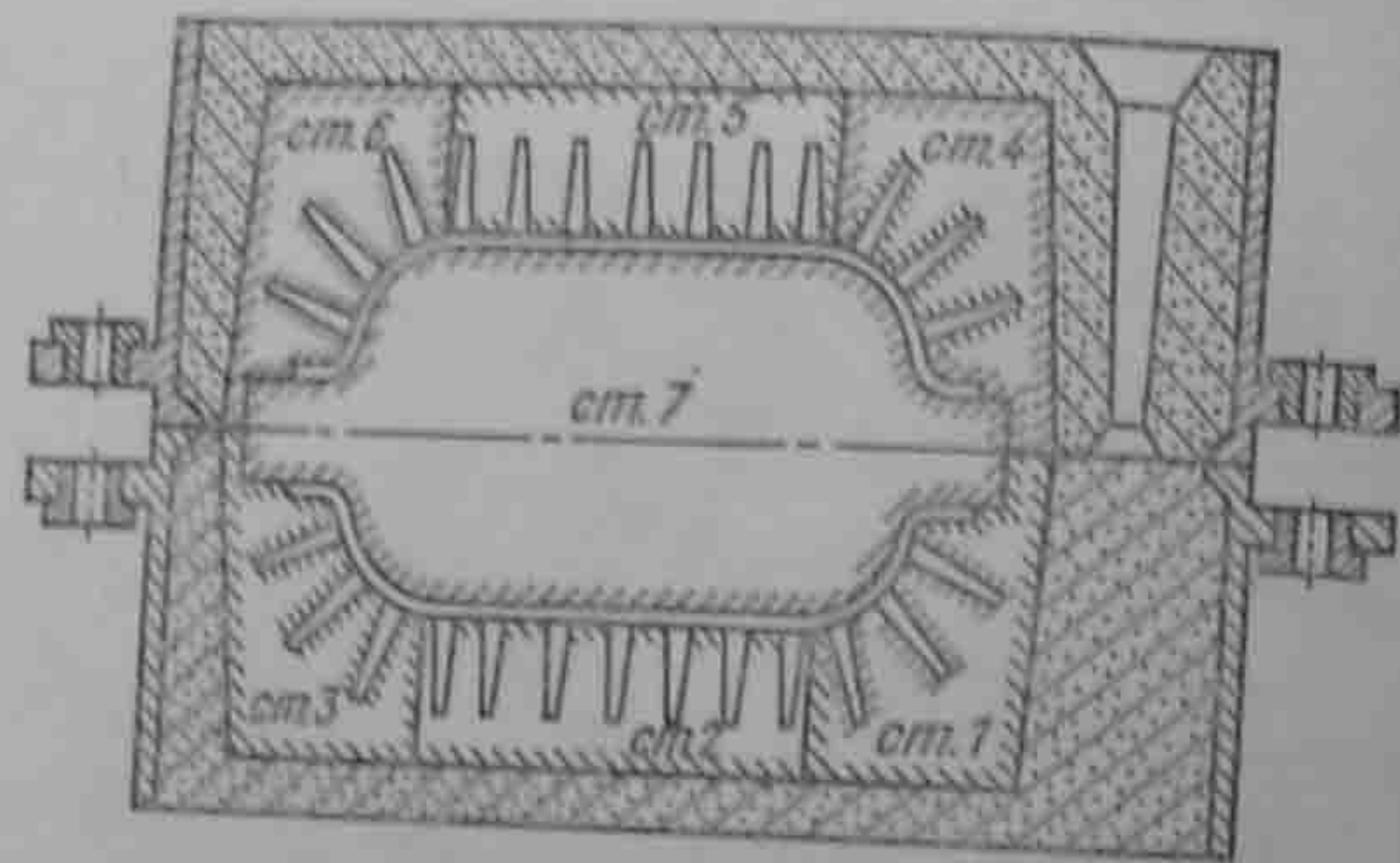


Рис. IV.34. Изготовление форм в стержнях

Верхнюю полуформу формируют с помощью модельной плиты 5 (рис. IV.35, в). На модельную плиту устанавливают верхнюю опоку 4 и модель стойка 3. Затем повторяют все операции формовки. Модели удаляют из формы, после чего подъемником снимают полуформу с машины. Готовая полуформа показана на рис. IV.35, г.

В нижнюю полуформу ставят стержень 6 (рис. IV.35, д). Форму обдувают сжатым воздухом для удаления из нее пыли и накрывают верхней полуформой (рис. IV.35, е). Обе половины формы закрепляют скобами 8 или на форму устанавливают груз, чтобы опока не поднималась в период заливки ее металлом. Форму устанавливают на конвейер и подают к месту заливки.

Безопасная формовка. Таковую формовку на полуавтоматических машинах широко применяют для изготовления небольших отливок (300 форм в час). Формовочную смесь готовят исходя из обеспечения высокой прочности и газопроницаемости форм.

Один из способов безопасной формовки приведен на рис. IV.36. Формовочную смесь засыпают в бункер 1 (рис. IV.36, а), из которого она высыпается сжатым воздухом в рабочий резервуар 2. С одной стороны резервуара находится подвижная модель-

ная плита 4, передвигаемая штоком 3 поршня цилиндра; с другой его стороны — поворотная модельная плита 5; боковые стенки плиты ограничены стенками кассеты. Формовочная смесь уплотняется при передвижении модельной плиты 4. После уплотнения формы рамка 6 вместе с поворотной плитой 5 (рис. IV.36, б) отодвигается, и модель извлекается из полуформы. Модельная

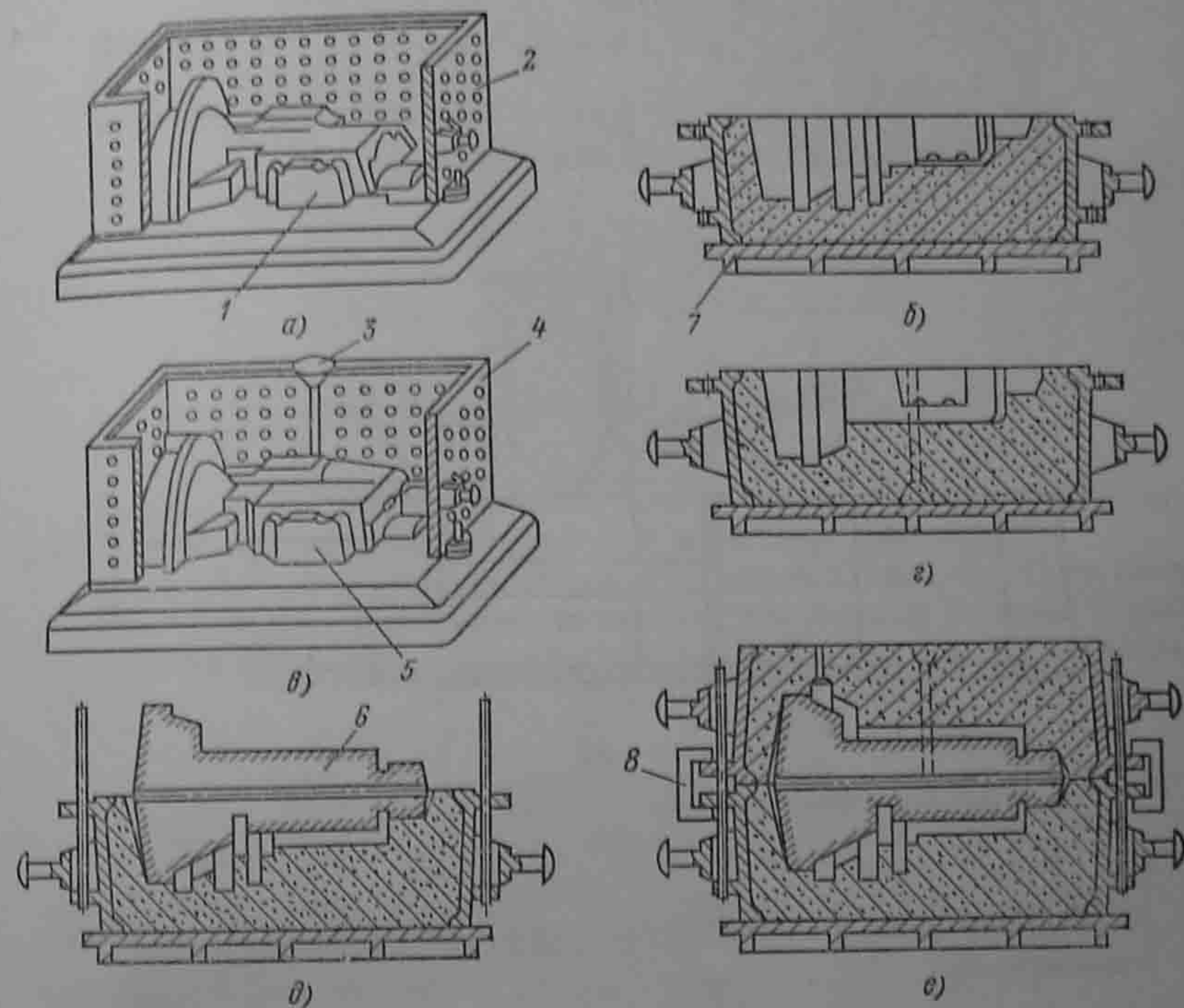


Рис. IV.35. Машинная формовка

плита 5 (рис. IV.36, б) поднимается вверх. Затем уплотненная полуформа 7 передвигается штоком 3, в результате чего образуется безопасная стопка 8, 9. Шток 3 вместе с подвижной плитой 4 возвращается в исходное положение и извлекается из полуформы. После этого все операции повторяются. Формы заливают жидким металлом, после затвердевания которого форма разрушается и отливка удаляется.

Для изготовления форм начали применять наливную формовку¹.

¹ При наливной формовке используют формовочные и стержневые жидкоподвижные самотвердеющие смеси.

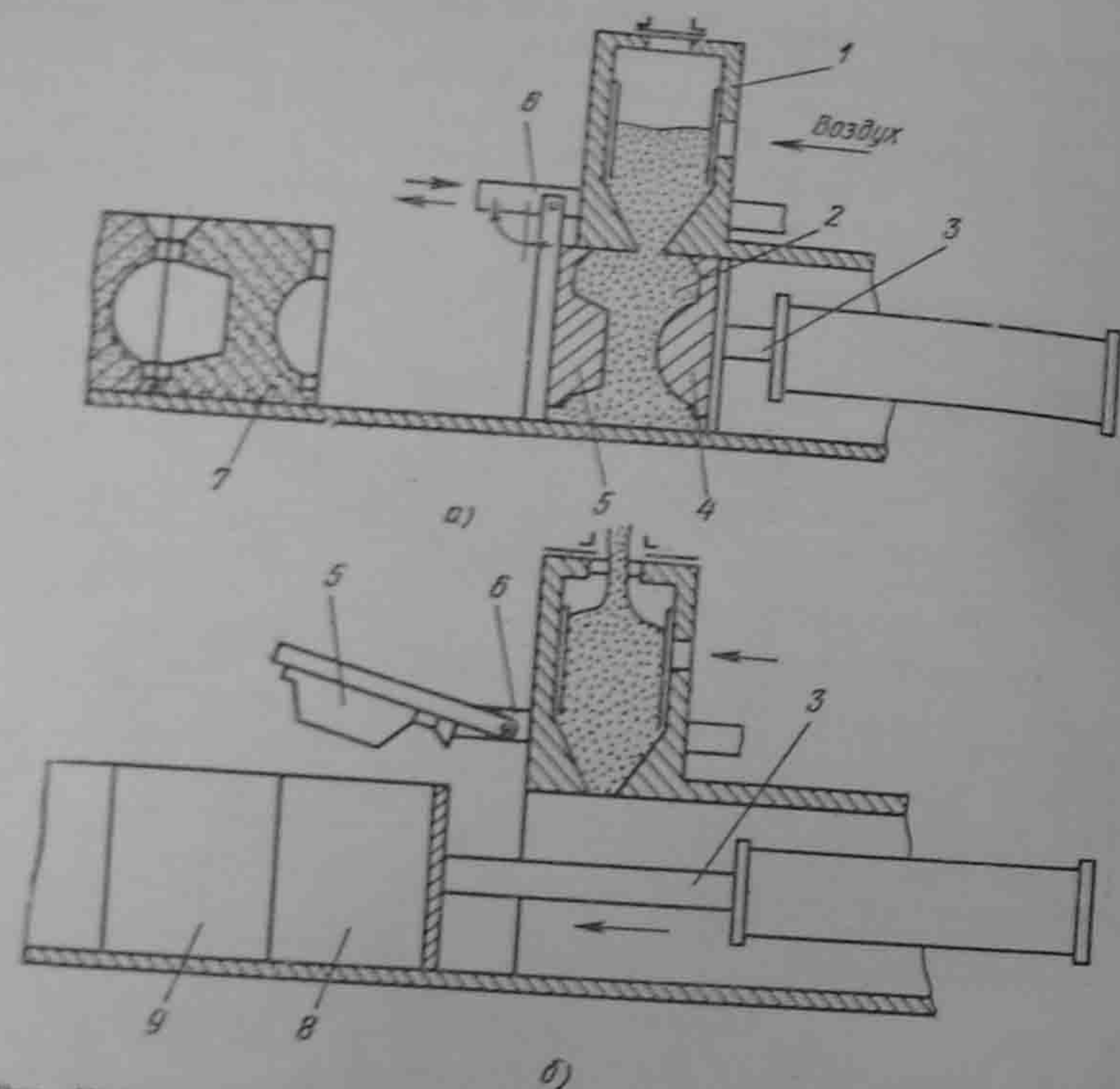


Рис. IV.36. Безопочная формовка

5. Особенности изготовления форм для отливок из разных сплавов

Большинство описанных способов изготовления форм применяются для отливок из различных сплавов. Эти формы отличаются только конструкцией литниковой системы, прибылей и составом формовочной смеси.

Изготовление форм для отливок из ковкого чугуна. Эти формы изготавливают с учетом свойств белого чугуна, который обладает большими линейной и объемной усадками (4,6%), вследствие чего склонен к образованию усадочных раковин и трещин. Для питания усадки в толстостенных местах 2 отливки 5 (рис. IV.37) предусматривают боковые прибыли — усадочные питатели 4, которые затвердевают в последнюю очередь и в них образуется усадочная раковина 1. Металл заливают через литник 3.

Изготовление форм для отливок из стали. Изготовление этих форм отличается применением прибылей для питания большой (6%) объемной усадки стали. При этом надо учитывать, что сталь

имеет пониженную жидкотекучесть и высокую температуру заливки. На рис. IV.38 показан пример изготовления такой формы для зубчатого сектора. Для питания усадки отливки предусмотрены пять прибылей 2 и массивный стояк 1.

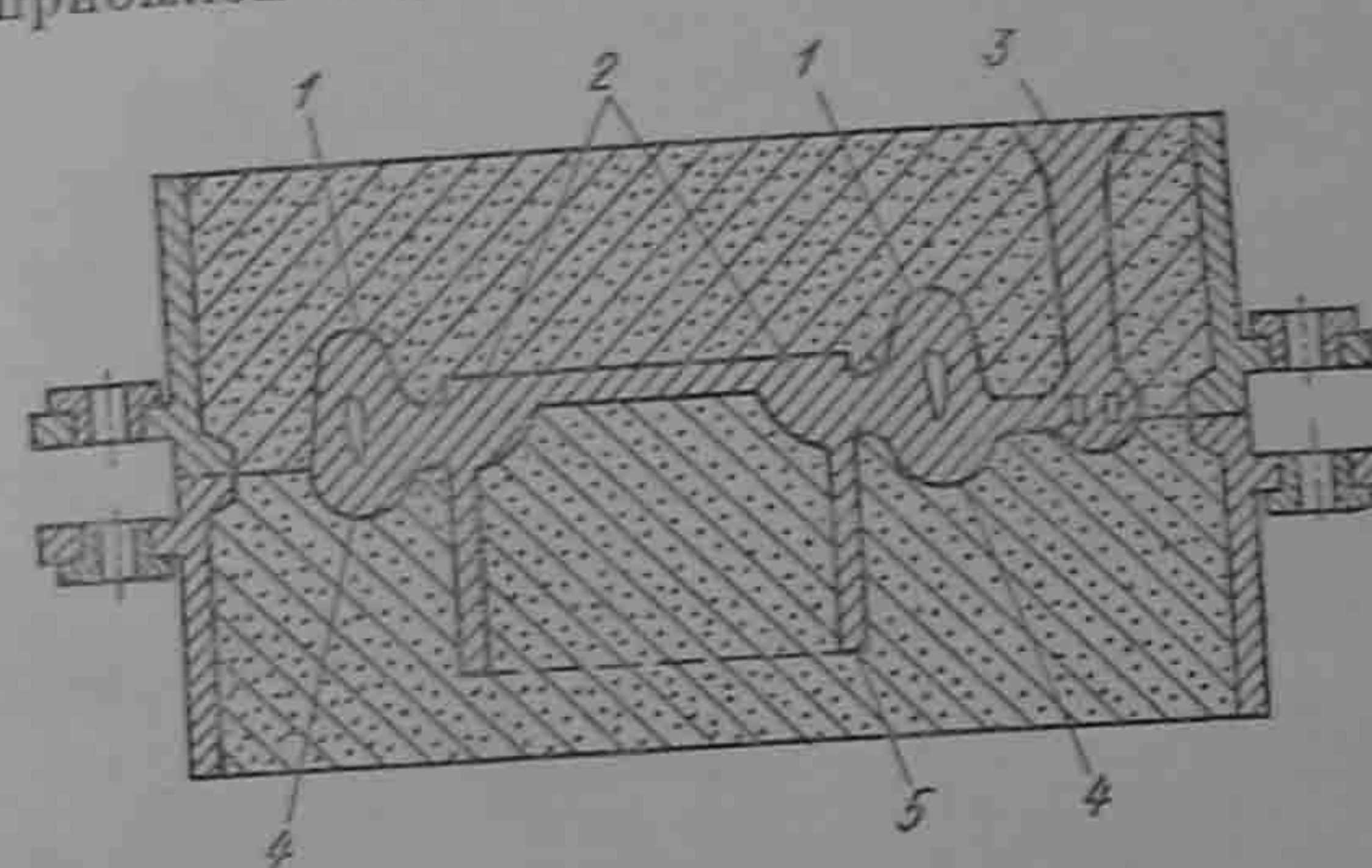


Рис. IV.37. Форма для отливок из ковкого чугуна

Часто масса прибыли приближается к массе отливки. В среднем масса прибыли составляет 0,6 от массы отливки.

Изготовление форм для отливок из медных сплавов. При изготовлении форм необходимо учитывать, что медные сплавы характеризуются большой усадкой, сравнительно легкой окисляемос-

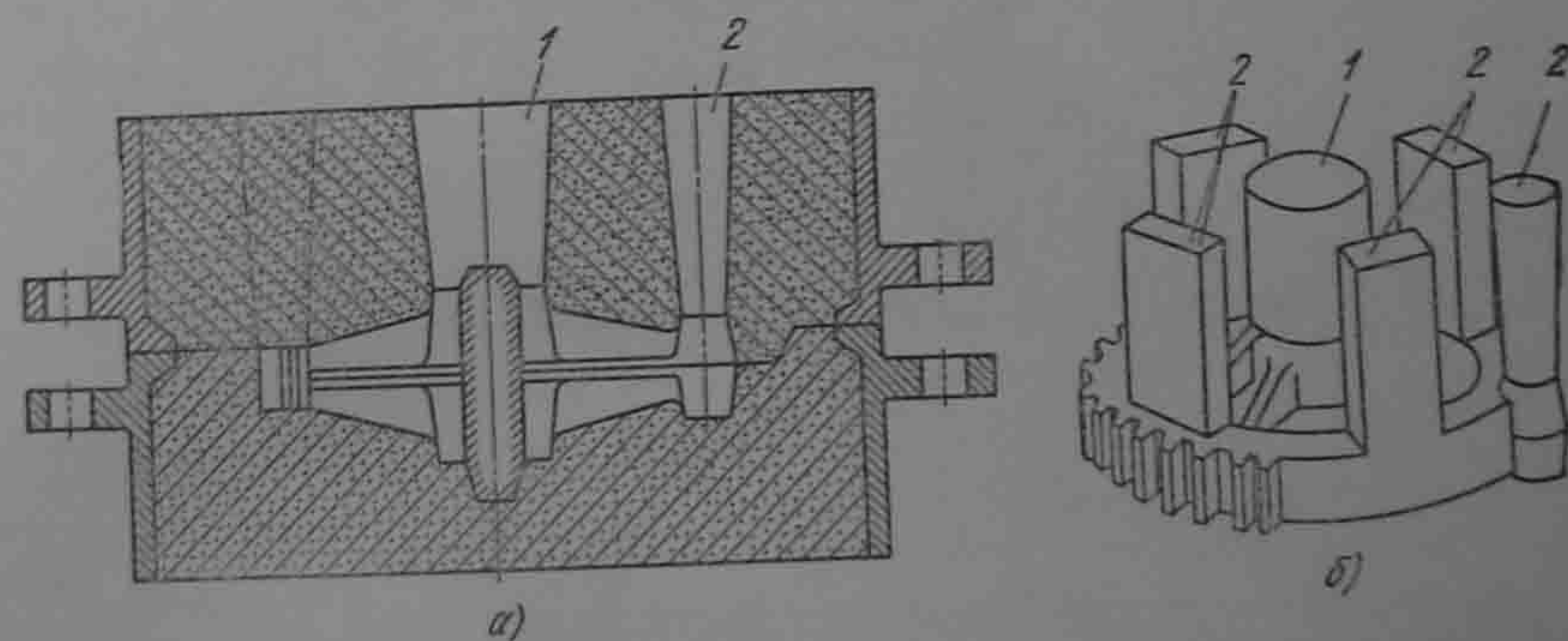


Рис. IV.38. Форма для отливок из углеродистой стали:
а — форма; б — отливка

тью при высокой температуре с образованием на поверхности пленки окислов. Бронза, например, имеет большую склонность к ликвации. Поэтому во избежание спаев и неслитин должно быть обеспечено плавное заполнение формы сплавом и равномерное охлаждение в ней отливки. Отливки должны быть плотными, свободными от усадочных пороков, раковин и усадочной пористости.

При изготовлении формы создают систему питания усадки отливки. Например, для алюминиевой бронзы предусматривают подвод металла в форму, исключая падение сплава с высоты, разбрызгивания и столкновения его потоков. Для примера рас-

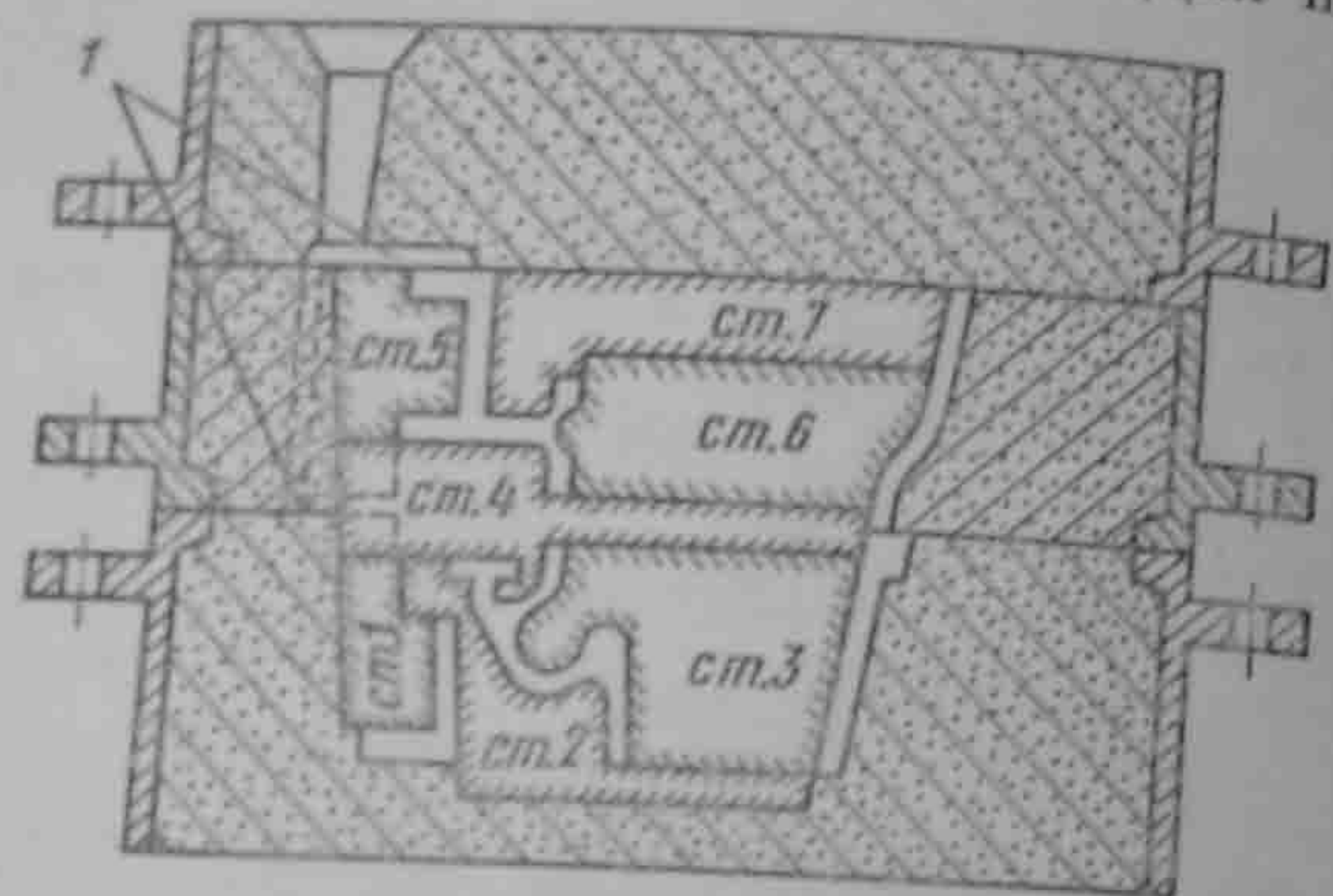


Рис. IV.39. Форма для отливок на медных сплавах

смотрим формовку модели корпуса насоса. Отливка сложной конфигурации; для ее формовки используется модель с двумя разъемными. Литниковая система подводится в два яруса 1, вследствие чего пришлось изготовлять форму в трех опоках. В форму

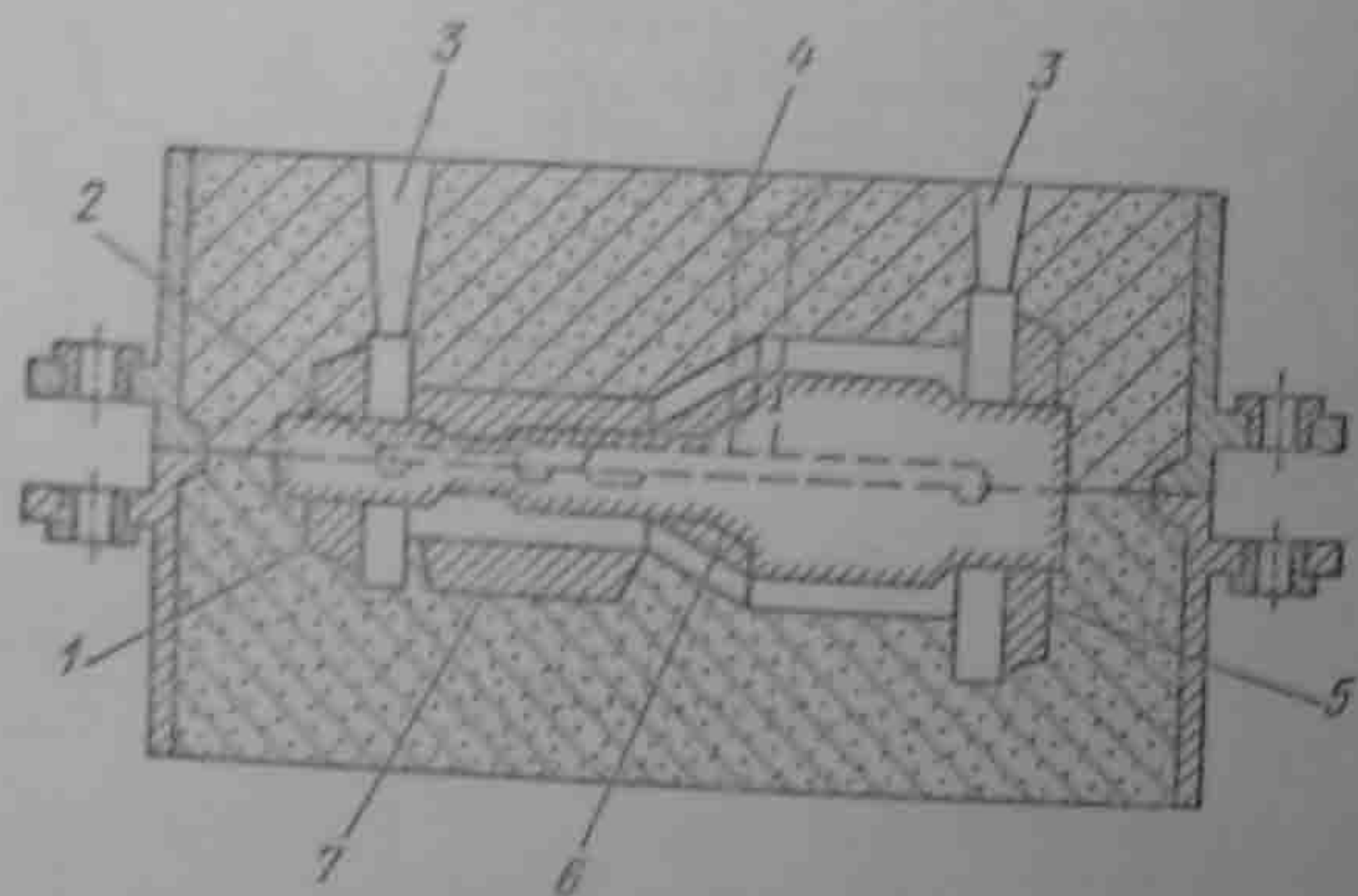


Рис. IV.40. Форма для отливок на алюминиевых сплавах

устанавливают семь стержней; на схеме (рис. IV.39) показан порядковый номер последовательности сборки стержней.

Изготовление форм для алюминиевых отливок. Формы изготавливают с учетом литейных свойств каждого сплава. Литейные свойства алюминиевых сплавов очень разнообразны: силумины имеют хорошие литейные свойства, а сплавы алюминия с магнием — плохие.

Для примера приведем изготовление формы для простой отливки из сплава АЛ24 (рис. IV.40). Для получения плотной отливки без пор предусматривают массивные прибыли 3 и холодильники 1, 5—7 (металлические вкладыши) во всех местах, в которых может образоваться усадочная пористость. Металлические холодильники ускоряют процесс кристаллизации массивных стенок отливки и обеспечивают ее плотность. Для равномерной подачи металла в форму применяют литниковую систему 4 с коллектором 2. Сплав, протекая по коллектору 2, подводится питателями к различным частям отливки.

Изготовление формы для магниевого литья. Формы изготавливают с учетом большой реакционной способности магния.

Формовочные материалы применяют с добавками серы и борной кислоты. Перед заливкой форму просушивают. При изготовлении литниковой системы предусматривают плавное, спокойное заполнение формы. Хорошие результаты дает заливка с применением змеевидного стояка 4 (рис. IV.41, б) с тормозящим движением металла элементами 5. Для ответственных отливок применяют сложную литниковую систему с тормозящими элементами 1—3, 5 (рис. IV.41, а). Для предохранения магниевых сплавов от загорания во время заливки форму струю металла опыливают серным порошком. Сера образует пары и сернистый газ, который предохраняет металл от соприкосновения с воздухом.

Изготовление формы для тугоплавких сплавов (титана, циркония, ниобия и др.). Формы изготавливают с учетом того, что эти сплавы разлагают окиси алюминия и кремния, которые чаще всего входят в формовочные материалы. Поэтому формы изготавливают из графита или меди, последние охлаждают водой. Литниковую систему изготавливают с учетом спокойного заполнения формы сплавом. Применяют прибыли и холодильники в местах наибольшего скопления металла. Чтобы сплав не окислялся, формы заливают в глубоком вакууме.

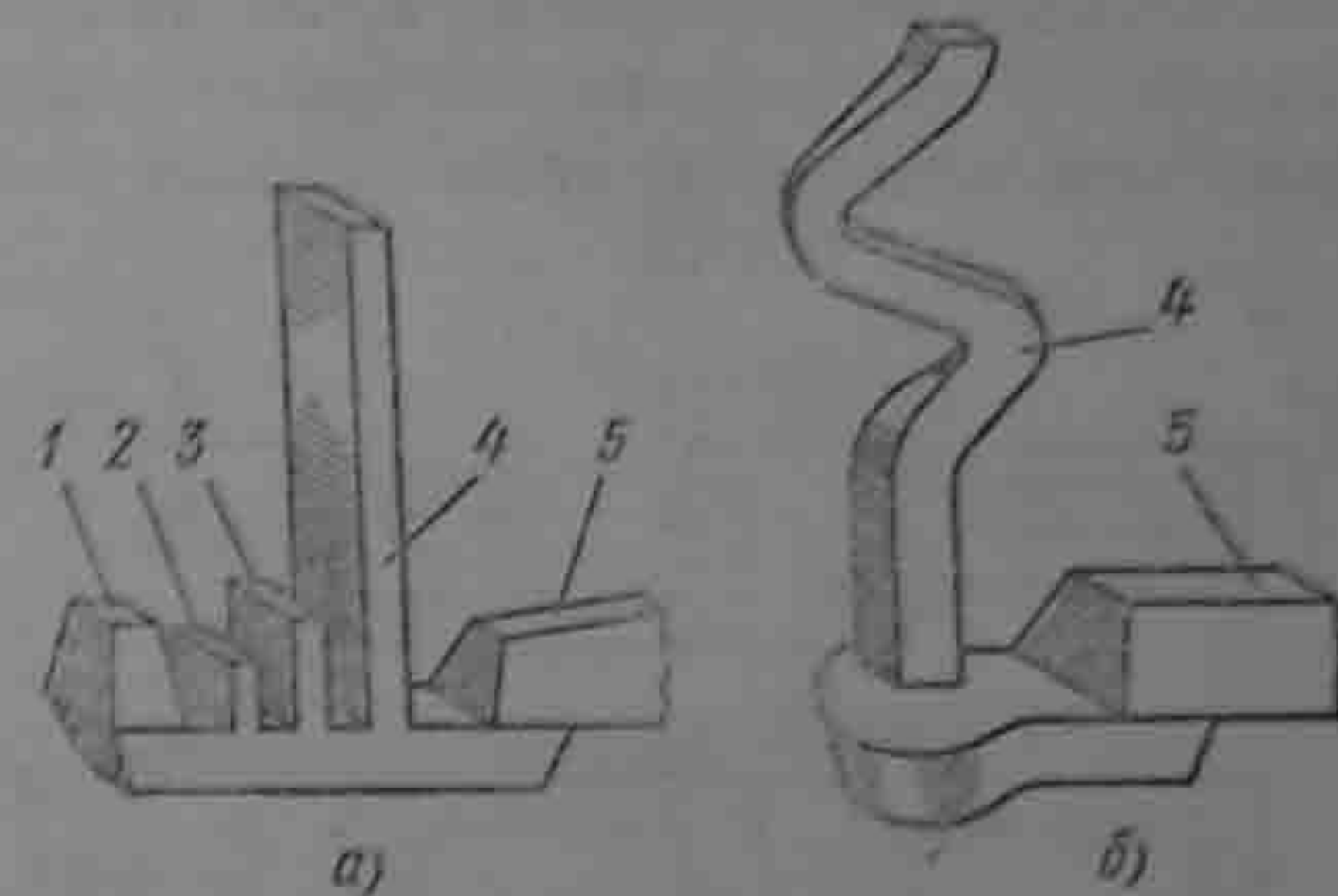


Рис. IV.41. Литниковая система для отливок из магниевых сплавов

6. Особенности конструирования внешней поверхности отливки

При конструировании необходимо предусматривать наиболее простую внешнюю конфигурацию отливки. Желательно, чтобы отливка имела равномерную толщину стенок.

Всякая конструкция литой детали должна иметь наиболее простой разъем (рис. IV.42, а). Большое число разъемов модели не гарантирует получения точных размеров отливки и затрудняет применение формовочных машин. Например, с изменением конструкции отливок (рис. IV.42, а) упростился разъем модели. Отливки должны иметь по возможности прямолинейные очертания (если нет опасности образования в отливке больших внутренних напряжений); модель такой отливки дешевле, чем модель с криволинейным очертанием. Если необходимы криволинейные поверхности, то по тем же соображениям их надо выполнять цилиндрическими или коническими, как наиболее простые в изготовлении.

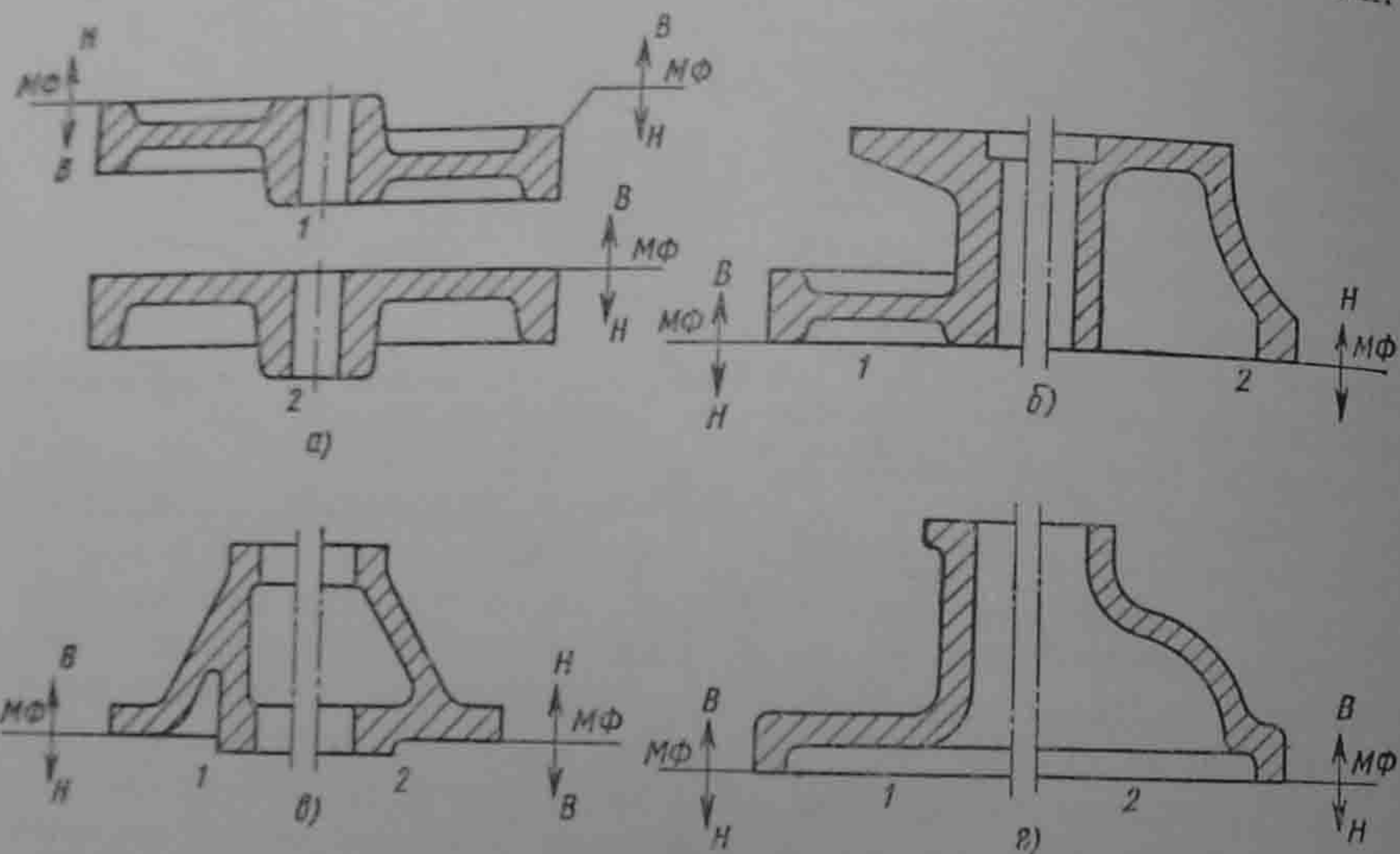


Рис. IV.42. Изменение конструкции детали для облегчения формовки и изготовления моделей:
1 — неправильно; 2 — правильно

Внешняя конфигурация детали должна способствовать максимальному упрощению формовки. На рис. IV.42, б—г показана деталь 1, при формовке которой требовались дополнительные стержни для извлечения модели из формы. После изменения конструкции детали 2 формовка упростилась.

Чтобы облегчить извлечение модели из формы, необходимо придать стенке детали уклон по высоте. Принимают следующие литейные уклоны: $1/6$ от высоты для малых размеров отливки (до 25 мм), $1/10$, $1/20$ для промежуточных размеров и $1/50$ для высоких отливок (от 500 мм и выше).

Приливы, бобышки, кронштейны и другие выступающие части детали надо конструировать так, чтобы облегчить извлечение модели из формы (рис. IV.43) без применения отъемных частей на модели, которые затрудняют формовку или требуют приме-

ния дополнительных наружных стержней, повышающих стоимость отливки.

При наличии в одной плоскости нескольких приливов в виде бобышек необходимо объединить их в один общий платик. Для деталей до 500 мм высота бобышек составляет до 55 мм, для деталей до 2000 мм — до 35 мм, для деталей свыше 2000 мм — до 25 мм.

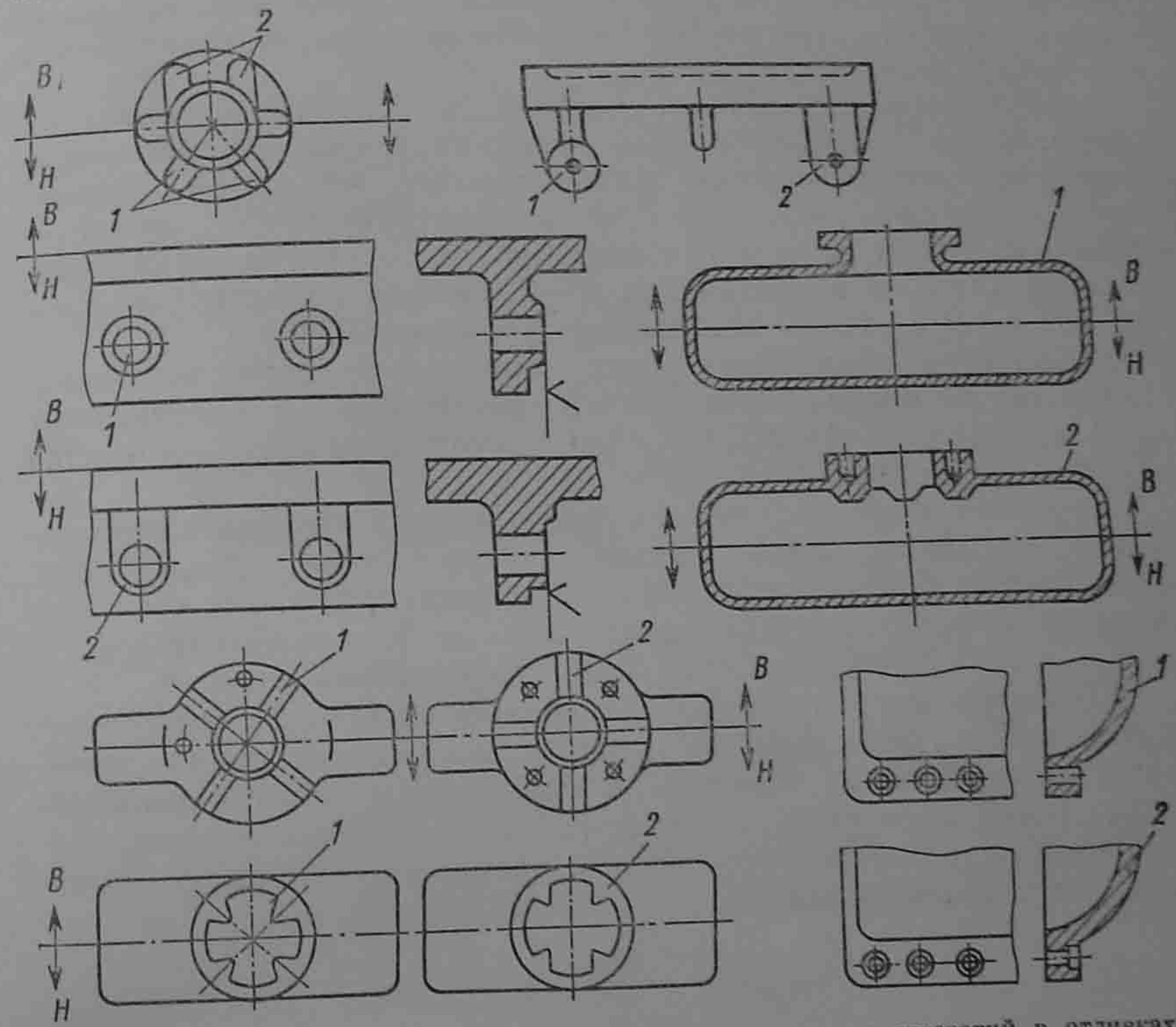


Рис. IV.43. Примеры оформления бобышек, ребер, фланцев и отверстий в отливках, обеспечивающих более легкое изготовление детали:
1 — правильно; 2 — неправильно

Во избежание излишних перестановок детали при механической обработке желательно приливы располагать в одной плоскости.

Для транспортировки средне- и крупногабаритных литых деталей конструктор должен предусмотреть специальные приливы или цапфы.

На отливках, подвергаемых механической обработке, имеются базовые поверхности (⊙), которые служат опорой для крепления отливки на станке при механической обработке. Эти же поверхности принимают за исходные при изготовлении моделей и при проверке размеров моделей и отливки. Базовые поверхности надо проектировать таким образом, чтобы на их расположение не влия-

ло ни смещение стержней, ни относительное смещение верхней и нижней опок при их формовке и сборке. Это достигается тем, что базовую и обрабатываемую поверхности располагают в одной и той же половине формы или в одном стержне, чтобы не допустить пересечения базовой поверхности плоскостью разъема формы. Если базовыми поверхностями при механической обработке являются бобышки, то их необходимо устанавливать возможно дальше друг от друга, чтобы обеспечить точность установки детали на металлорежущем станке.

Деформации деревянных моделей, неточности изготовления форм, неправильно выбранная величина усадки металла могут привести к отклонениям от заданных размеров и массы отливки, что необходимо учитывать при ее конструировании. Допустимые отклонения размеров отливок из серого чугуна регламентированы ГОСТом и составляют 1—2 мм для отливок размером до 100 мм и 5—10 мм для отливок размером 2000 мм.

Отклонения межосевых размеров отдельных отверстий (в одной и той же отливке) для деталей размером до 0,5 м составляют $\pm 1\%$, для деталей до 2,0 м — до $\pm 0,6\%$ и для деталей свыше 2,0 м — до $\pm 0,4\%$.

Сложные и громоздкие отливки во многих случаях целесообразно выполнять из отдельных составляющих, соединяемых впоследствии болтами или сваркой; например, длинные станины, отливки с резко выступающими частями (с кронштейнами), а также детали машин с быстро изнашивающимися частями.

Сборные конструкции требуют больше времени на механическую обработку, но стоимость изготовления отливок уменьшается, так как упрощаются формовка, сборка форм и изготовления модели. В тех случаях, когда монтаж литых деталей сопряжен со сложной механической обработкой, часто целесообразнее выполнять их цельнолитыми.

7. Способы изготовления стержней

Стержни изготавливают из стержневой смеси. Стержни в невысушенном виде имеют небольшую прочность. Извлечение стержня из стержневого ящика и его транспортировка без нарушения возможны только с помощью приспособлений (плиты или сушильного ящика).

После просушивания при температуре 150—300° С стержень становится достаточно прочным и его можно устанавливать в форму.

Стержневую смесь уплотняют в стержневом ящике вручную или машинным способом с помощью стержневых, встряхивающих и пескочувных пескометов и др. Конструкция этих машин мало отличается от конструкции машин для формовки.

В зависимости от сложности стержня изготавливают в неразъемных (рис. IV.44, е) и разъемных стержневых ящиках (рис. IV.44, а, б).

Рассмотрим процесс изготовления стержня в неразъемном стержневом ящике (рис. IV.44, е) при мелкосерийном производстве. Собранный стержневой ящик 1 заполняют в несколько приемов стержневой смесью (предварительно устанавливают стержневой

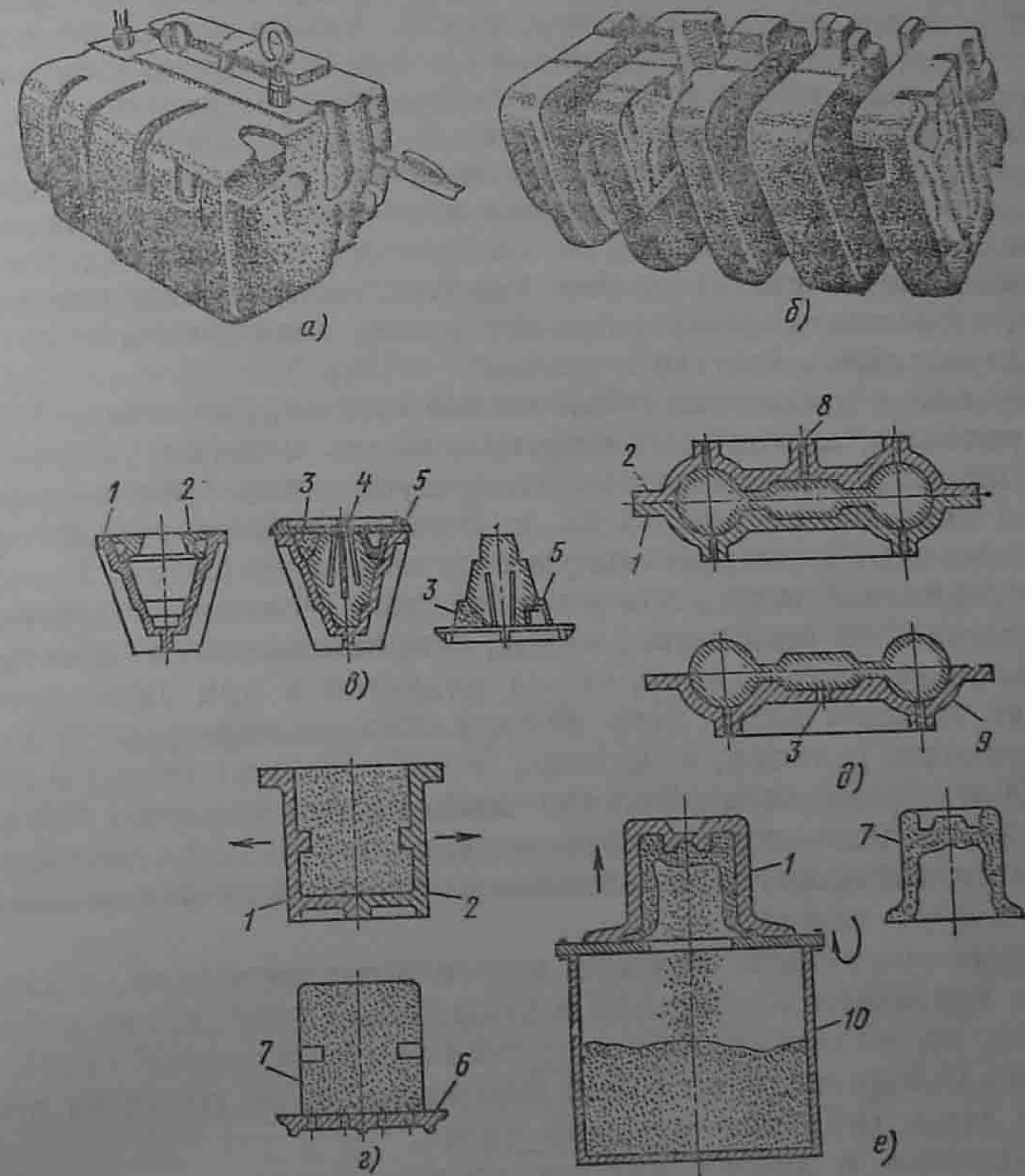


Рис. IV.44. Способы изготовления стержней:

а — стержень, собранный в узел; б — части стержня; в — в неразъемном стержневом ящике; г — в ящике с вертикальным разъемом; д — в ящике с горизонтальным разъемом; е — оболочкового

металлический каркас¹ 4 и прутки для образования газоотводящих каналов). Уплотняют стержневую смесь в ящике. После этого снимают вкладыши 2 и в образующуюся пустоту засыпают формовочную смесь 3, которую слегка уплотняют. Затем накладывают сушильную плиту 5 и поворачивают ящик на 180°. После этого

¹ Стержневой каркас — специальное приспособление (проволочное, трубчатое и литое разнообразных форм), прокладываемое в стержне для повышения его прочности.

ящик снимают со стержня, а готовый стержень, установленный на поддоне, помещают в сушило.

На рис. IV.44, *г* приведен пример изготовления стержня в разъемном стержневом ящике. В стержневые ящики 1 и 2 засыпают стержневую смесь, уплотняют ее, после чего линейкой очищают излишек смеси и ставят плиту 6. Вместе с ящиком плита поворачивается, стержневые ящики 1 и 2 разнимаются, и стержень 7 остается на плите 6, с которой и поступает в сушило.

На рис. IV.44, *д* приведен стержневой ящик для пескодувных машин. Две половины ящика подводят к головке пескодувной машины и через отверстия 8 стержневую смесь вдувают в полость ящика, заполняя и уплотняя ее. После этого стержневые ящики 1 и 2 раскрывают, ставят драйер 9 (сушильный ящик), половину стержневого ящика переворачивают и стержень вместе с драйером направляют в сушило.

Применяют пустотелые оболочковые стержни, имеющие высокую прочность, хорошую газопроницаемость и легко удаляемые из отливки. Процесс изготовления пустотелого оболочкового стержня приведен на рис. IV.44, *е*. В этом случае в стержневую смесь добавляют терморезистивную синтетическую смолу. В подогретый стержневой ящик 1 поворотом бункера 10 засыпается стержневая смесь. Слои стержневой смеси, соприкасающиеся со стержневым ящиком, нагреваются, смола плавится и при охлаждении склеивает частицы песка. При повышенных температурах в смолах происходит реакция, и частицы песка образуют твердую оболочку. При образовании оболочки необходимой толщины бункер со стержневым ящиком вновь поворачивают на 180° , остатки стержневой смеси высыпается, а оболочковый стержень 7 извлекают из стержневого ящика.

Сложные и крупные стержни изготавливают по частям, а затем эти части склеивают и собирают в узлы, после чего ставят в форму. Пример изготовления такого стержня приведен на рис. IV.44, *а*. Стержень для изготовления бабки токарного станка делят на пять частей, а затем собирают в общий узел.

В единичном и мелкосерийном производствах для крупных стержней применяют дешевые органические связующие материалы для стержневой смеси; в этом случае для увеличения прочности стержней внутрь их заделывают металлические каркасы, а для увеличения газопроницаемости выполняют газовые каналы.

Стержни сушат для увеличения их прочности и газопроницаемости. Связующие материалы, находящиеся в стержневой смеси во время сушки при определенной температуре ($150-300^\circ\text{C}$), спекаются, окисляются или в них происходят химические реакции, благодаря которым частицы песка склеиваются. Сушат стержни в сушилах непрерывного действия. Стержни устанавливают на подвесные плиты, которые продвигаются внутрь сушила; на другом его конце снимают прочные высушенные стержни. Сушка в стержневом ящике обеспечивает получение стержней

более точных размеров. Применяют несколько методов получения прочных стержней непосредственно в стержневом ящике. Стержневой ящик нагревают до $250-300^\circ\text{C}$, в стержневую смесь добавляют быстротвердеющие связующие материалы; через несколько секунд стержни становятся прочными и их извлекают из стержневого ящика. Продувают стержневую смесь горячим воздухом. Такой стержень также можно устанавливать в форму. Применяют и другие связующие материалы для смеси, при этом через стержневой ящик со смесью продувают горячий воздух, газы, катализаторы, которые через несколько секунд обеспечивают получение прочного стержня.

Отделка и контроль сухих стержней являются обязательными операциями перед постановкой их в форму. Часто стержни окрашивают противогрибковой краской, улучшающей поверхность отливки. Составные стержни перед склейкой или сборкой калибруют. Процесс калибровки заключается в обработке стержней по плоскости соприкосновения шлифовальным камнем или специальным ножом. В этом случае снимают припуск на обрабатываемой поверхности стержня, предусмотренный при его изготовлении. Калибруют стержень в специальных кондукторах (приспособлениях), собирают стержень также в кондукторах. При сборке тщательно контролируют размеры стержня.

8. Сборка форм

При сборке форм небольшие стержни устанавливают вручную, большие — с помощью крана. Если стержень по ряду причин не может быть устойчиво установлен в знаки формы, применяют

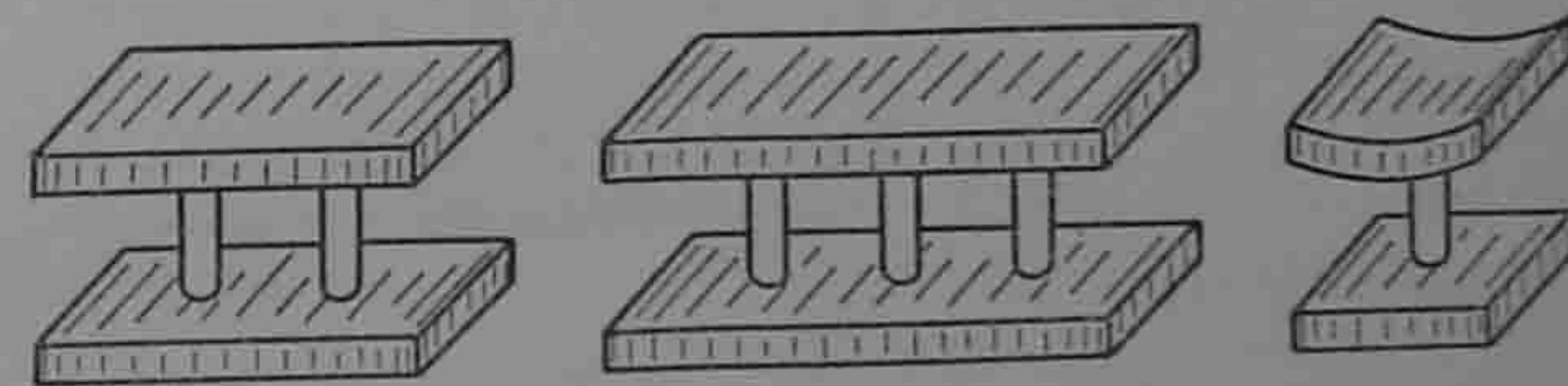


Рис. IV.45. Жеребейки

жеребейки (рис. IV.45) *. Они предохраняют стержни от провисания или всплывания при заполнении формы металлом. Эти жеребейки заваривают в стенки отливки. Высота жеребейки соответствует толщине стенки отливки.

Для примера приведем последовательность сборки формы для отливки (рис. IV.46, *а*) коробки скоростей револьверного станка. После удаления модели из формы приступают к ее сборке (рис.

* Жеребейка — специальное металлическое приспособление, применяемое при установке и закреплении в определенном положении стержня в литейной форме для получения нужной толщины тела отливки.

IV.46, б), которая в данном случае является наиболее ответственной операцией. Сборку начинают с установки в нижнюю полость формы ряда стержней для образования в полости отливки поднутрений 1—4. Эти стержни устанавливают на знаки 9—16. Затем устанавливают стержень 8, служащий для образования основной полости, и по мере необходимости его закрепляют жеребейками 7. Для получения в отливке сквозных отверстий устанавливают несколько боковых стержней. Очень важна для устранения разностенности отливки точная сборка стержней.

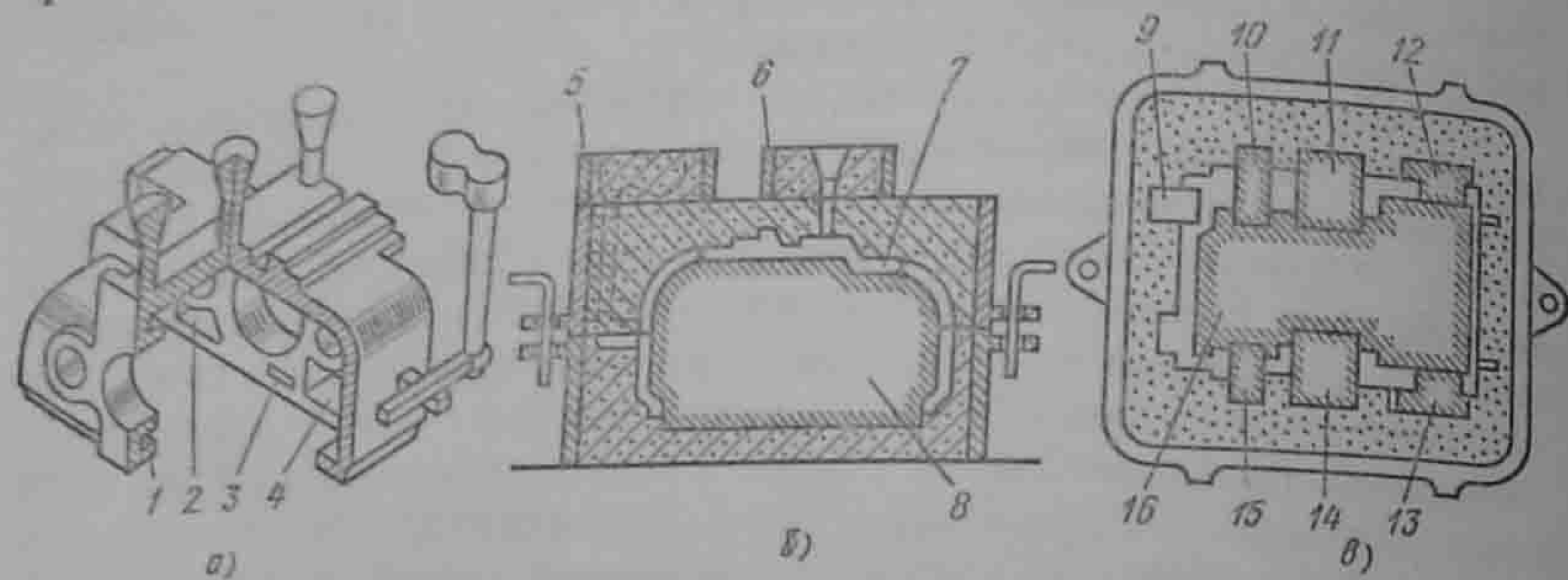


Рис. IV.46. Сборка форм для отливки коробки скоростей револьверного станка: а — отливка; б, в — форма

Правильность установки стержней проверяют щупами или шаблонами. Собранный форм перебивается верхней полуформой. Устанавливают надставки 5 и 6. Верхнюю опоку скрепляют с нижней (или накладывают на форму груз) и заливают форму металлом.

Полученная отливка с литником и выпорами показана на рис. IV.46, а.

9. Особенности конструирования полости отливки, образующейся стержнем

При изготовлении многих отливок на получение стержней затрачивается до 80% рабочего времени. Применение стержней удлиняет цикл изготовления отливки и повышает их стоимость, так как для стержневой смеси применяют дорогие связующие материалы. Поэтому при конструировании полости отливки необходимо предусматривать минимальное число стержней. Уменьшение числа стержней для образования полостей отливки является одним из факторов, удешевляющих отливку и повышающих ее точность. На рис. IV.47, а—в показаны изменения конструкций отливок, исключающие применение стержней. Использование ребер жесткости 1 устраняет применение стержня для образования полости 2 отливки. Изменение конструкции стенок 3, 6, 7 не потребовало применения дополнительных стержней для образования наружных поверхностей отливок 4 и 5.

Желательно, чтобы высота полости отливки не превышала ее ширины.

При конструировании полостей отливки необходимо предусмотреть надежное крепление стержня на знаках, что исключает перекося и всплывание стержня при заливке формы металлом, а следовательно, обеспечивает получение отливки с равномерной толщиной стенок. Для крепления стержня должно быть минимум два знака. Кроме того, необходимо предусмотреть удаление газа из стержня, иначе в отливке образуется брак по газовым раковинам, и легкое удаление каркасов из отливки при выбивке стержня. Нежелательно применение жеребеек для крепления стержня

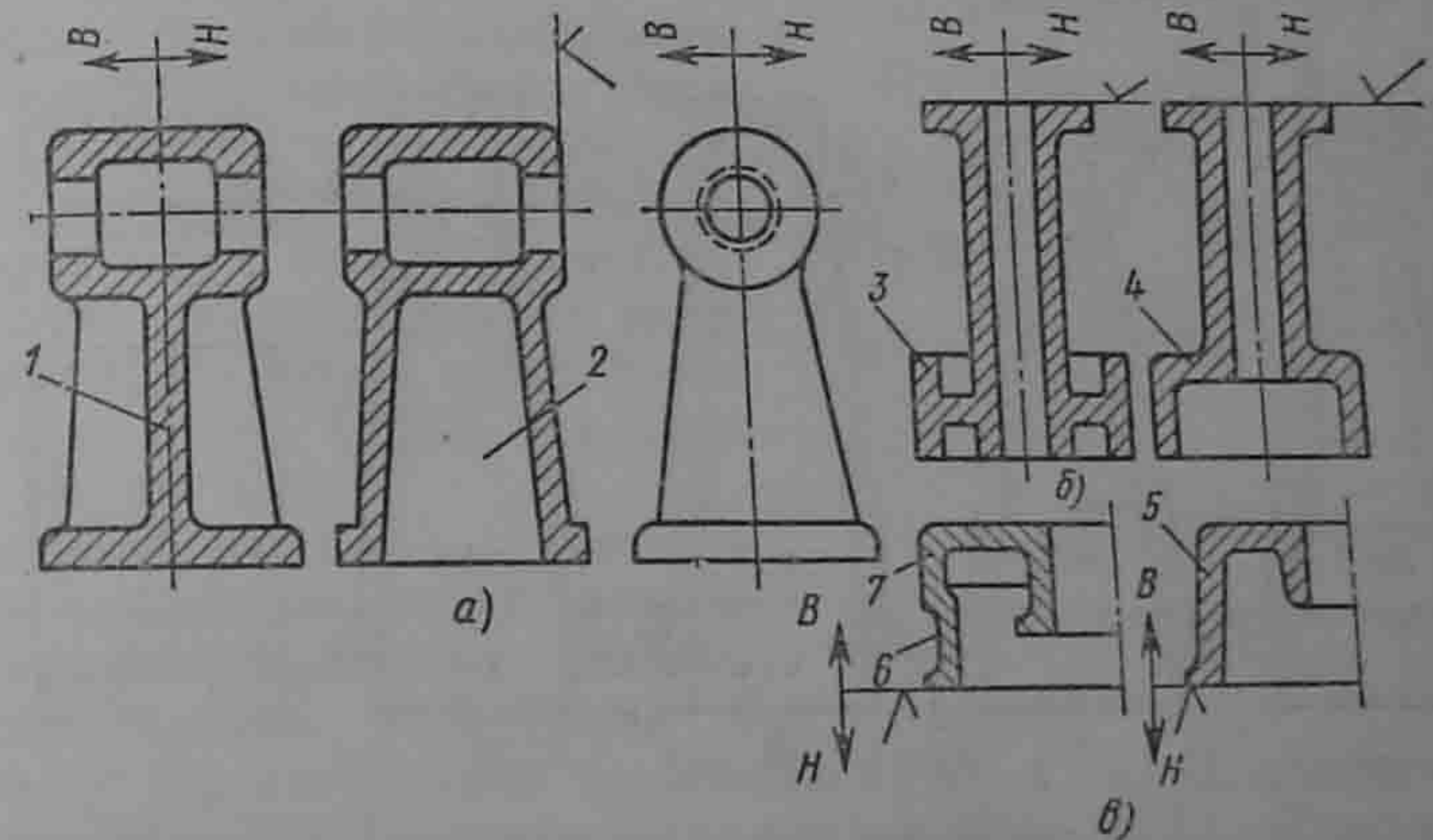


Рис. IV.47. Изменение конструкции детали с целью уменьшения числа стержней

(последние могут быть источником местных неплотностей стенок отливки; при испытании отливок на гидротест в этих местах образуется течь).

Если конструкция детали не допускает выполнения отверстий, а по технологическим соображениям они необходимы, то отверстия приходится делать, но при конструировании отливки для их заделки предусматривается установка заглушек (пробок). Примеры рационального изменения конструкции полостей отливки с целью упрощения крепления стержня приведены на рис. IV.48. В конструкции детали (рис. IV.48, а) стержень (ст. 2) можно закреплять только с помощью одного знака, для чего пришлось бы поставить две жеребейки 1. При изменении конструкции (рис. IV.48, б) можно два стержня объединять в один и закреплять его с помощью трех знаков 2.

Необходимо предусмотреть отвод газа из стержня, иначе в отливке будут образовываться газовые раковины и при очистке отливок стержень невозможно будет удалить. Примером отливки, не удовлетворяющей этим требованиям, является литой пусто-

теплым шар. При изготовлении этой отливки стержень можно закреплять только на жеребейках. Выделяющиеся из стержня газы будут проходить только через слой заливаемого металла, что приведет к образованию газовых раковин. Извлечение стержня из отливки невозможно. Аналогичная конструкция стержня приведена на рис. IV.48, в. Стержень ст. 1 (рис. IV.48, в) окружен четырьмя стенками (сечение А — А). Такой стержень можно закреплять только жеребейками 1. Отвод газа и удаление стержня из отливки невозможны. После небольшого изменения стержня из (рис. IV.48, г) стержень можно крепить тремя знаками. Если верхнее отверстие ухудшит конструкцию детали, то предусматривают заделку его заглушкой.

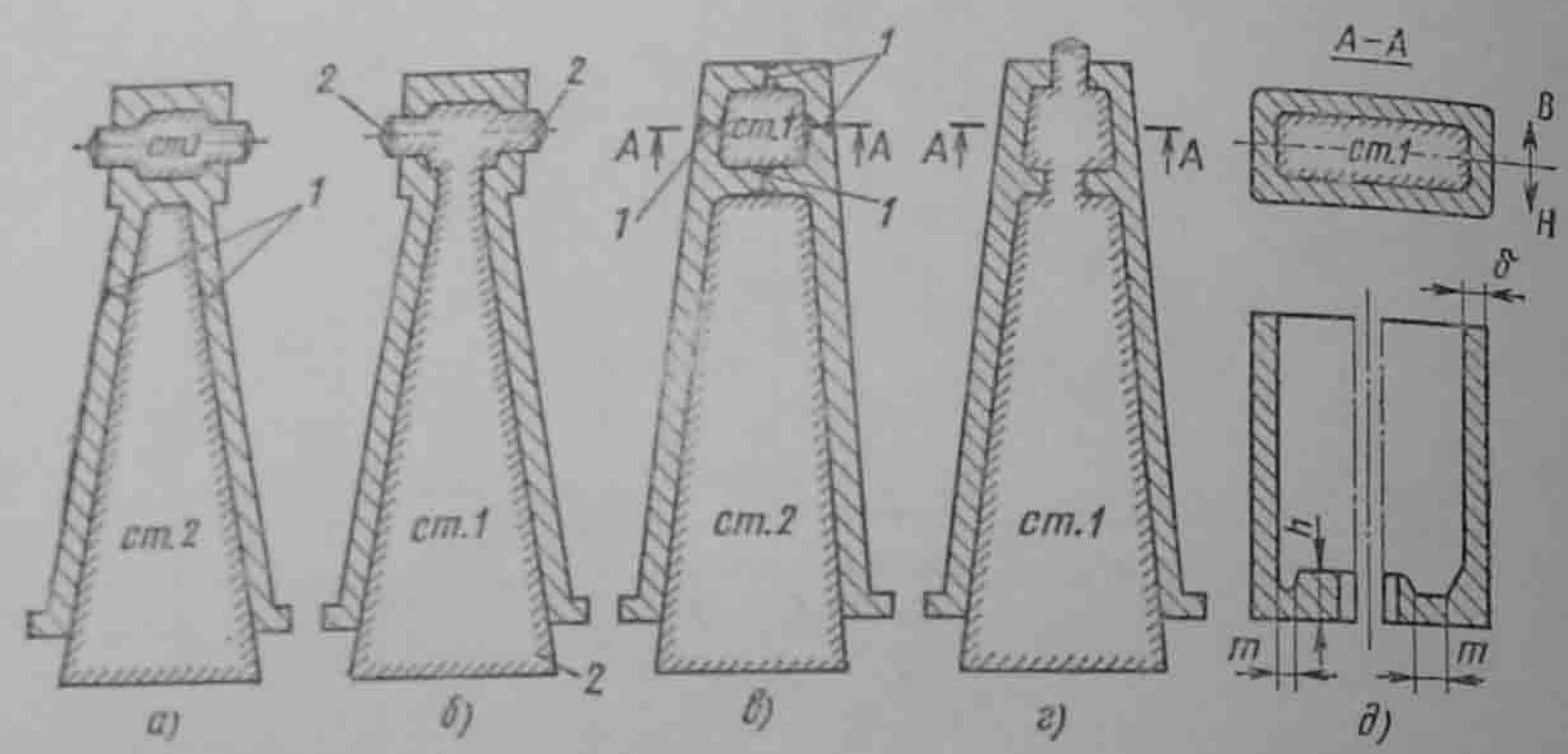


Рис. IV.48. Изменение конструкции детали для облегчения крепления стержня в форме и предупреждения его разрушения в процессе заливки

В полости отливки следует избегать узких «карманов» (рис. IV.48, д). Если эти карманы выполняют песчаным стержнем, возможно образование песчаных раковин в отливке. Расстояние m для отливок со стенками толщиной $\delta = 4 \div 6$ мм должно быть 4—15 мм, в зависимости от высоты h ; при $\delta = 8 \div 10$ мм $m = 4 \div 18$ мм.

Минимальные размеры отверстий в отливках устанавливают в соответствии с особенностями каждой детали. В качестве первого приближения можно рекомендовать следующие минимальные диаметры стержня для образования необрабатываемых отверстий: 3—5 мм для легких сплавов; 4—5 мм для бронз и латуни; 5—7 мм для чугуна; 7—10 мм для стали. При меньших диаметрах стержни будут разрушаться жидким металлом в период заливки форм. Отверстие диаметром даже до 50 мм легче просверлить, чем изготовить литьем. При конструировании литой детали необходимо учитывать последующий технологический процесс изготовления отливки: заливку форм металлом, охлаждение отливки в форме, выбивку отливки из формы и стержня из отливки, очистку и термическую обработку отливки.

10. Заливка форм сплавом 338

Сплав заливают в форму с помощью ковша, конструкция которого зависит от емкости и свойств заливаемого сплава. Чаще применяют барабанные ковши (рис. IV.49). Ковш от плавильных печей к месту разлива перевозят мостовым краном или по монорельсовому пути.

Формы заливают на рольганговых транспортерах и на движущихся тележках конвейера. При заливке формы подвергаются давлению жидкого металла, который стремится приподнять верхнюю опоку, отчего по разьему может образоваться щель и металл выльется через нее из формы. Во избежание этого верхнюю полуформу скрепляют с нижней скобами 8 (см. рис. IV.35) или помещают на нее груз.

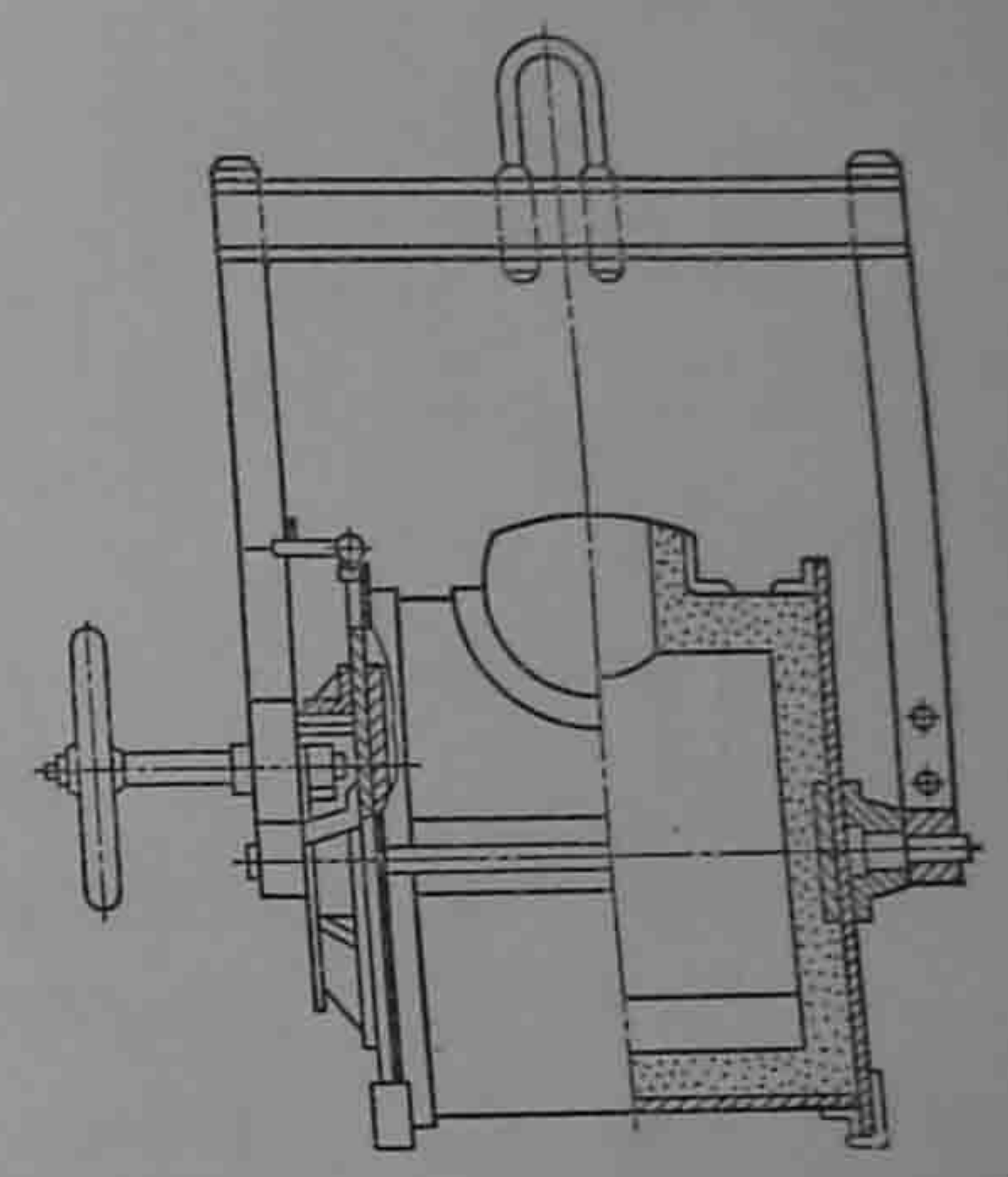


Рис. IV.49. Барабанный разливающий ковш

Ориентировочно принимают следующую температуру заливаемого сплава: стали 1500—1600° С, ковкого чугуна 1380—1450° С, серого чугуна 1260—1400° С, бронзы 1100—1150° С, алюминиевых сплавов 700—780° С, магниевых сплавов 680—780° С. Температура заливаемого сплава зависит от толщины стенок отливки: чем меньше толщина отливки, тем выше температура.

11. Выбивка отливок из песчаной формы 38

После заливки и охлаждения металла в форме отливку из нее удаляют (выбивают), при этом форма разрушается. С места выбивки отливки транспортируют в отделение выбивки стержней или непосредственно в отделение очистки и обрубки отливок.

На рис. IV.50 приведен участок автоматической выбивки форм. Когда опока 1 продвинется к центру стола 3, движущаяся тележка 13 нажимает на кнопку 12 электроконтакта, который включает толкатель 11. Последний сталкивает форму на стол 3, после чего толкатель 11 возвращается назад. Толкатель 2 подает форму на выбивную решетку 4, где при вибрации выбиваемая формовочная смесь из формы просыпается на транспортер, который подает ее в отделение приготовления формовочной смеси.

Отливки сталкиваются по скату на транспортер, который подает их в очистное отделение. Толкатель 6 сталкивает выбитые опоки со стола 5 до упора 9 на конвейер 10. Пульт управления приведен на позиции 7.

Стержни выбивают из отливки вибрационными установками или струей воды. Воду тонкой струей под давлением 235—980 кН/м²

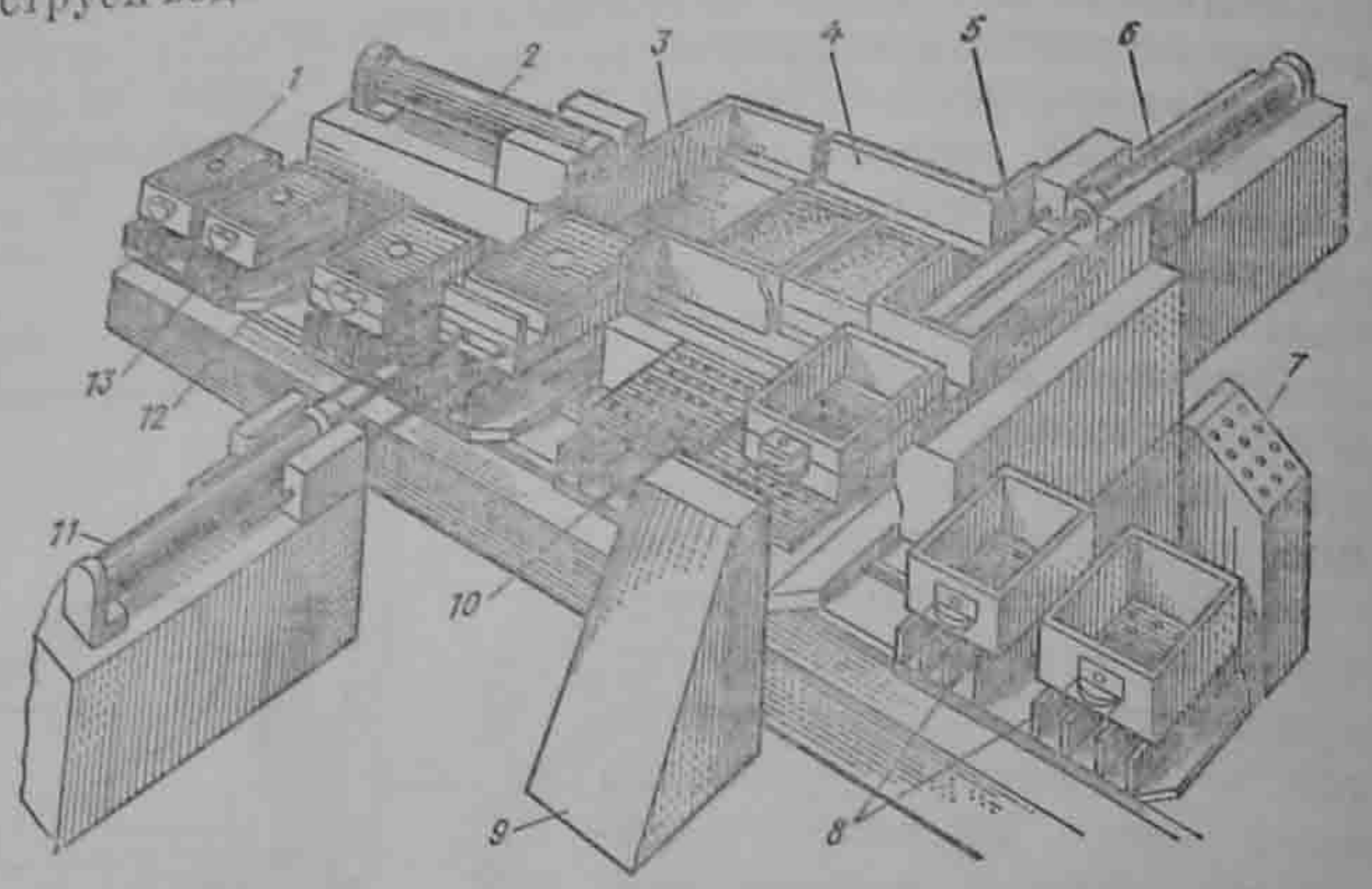


Рис. IV.50. Участок автоматической выбивки отливок из форм

направляют на стержень. Вода с песком стекает в особый отстойник.

12. Формовочно-заливочный конвейер и полуавтоматическая поточная линия

Формовочные машины располагают около замкнутого конвейера (рис. IV.51), который представляет собой ряд тележек 6, непрерывно движущихся по рельсам 12 с помощью привода 11. Изготавливаемые на машинах формы 4 собирают на тележках конвейера 5 у формовочной машины; на конвейер подаются собранные формы.

Формы заливают на движущихся тележках конвейера из заливочных ковшей 2, подвозимых по монорельсу 3. Рабочий-заливщик движется на заливочной площадке 1 со скоростью движения конвейера. Залитые формы проходят через охлаждающий кожух 10 и попадают в отделение выбивки. Здесь форма снимается пневматическим подъемником 7 и выбивается на выбивной литейной машине 8. Выбитая смесь подается через решетку на пластинчатый транспортер 9 и направляется в смесеприготовительное отделение. Пустые опоки подъемником по подвижному пути переносятся на конвейер. Формовочное отделение изолировано стенами от заливочного и выбивного отделения, благодаря чему в нем создаются более гигиеничные условия труда. Формовочно-заливочные конвейеры применяют в единичном и массовом производствах. В единичном производстве один рабочий снимает и устанавливает деревянные модели на модельную плиту формовочной машины, остальные процессы полностью автоматизированы.

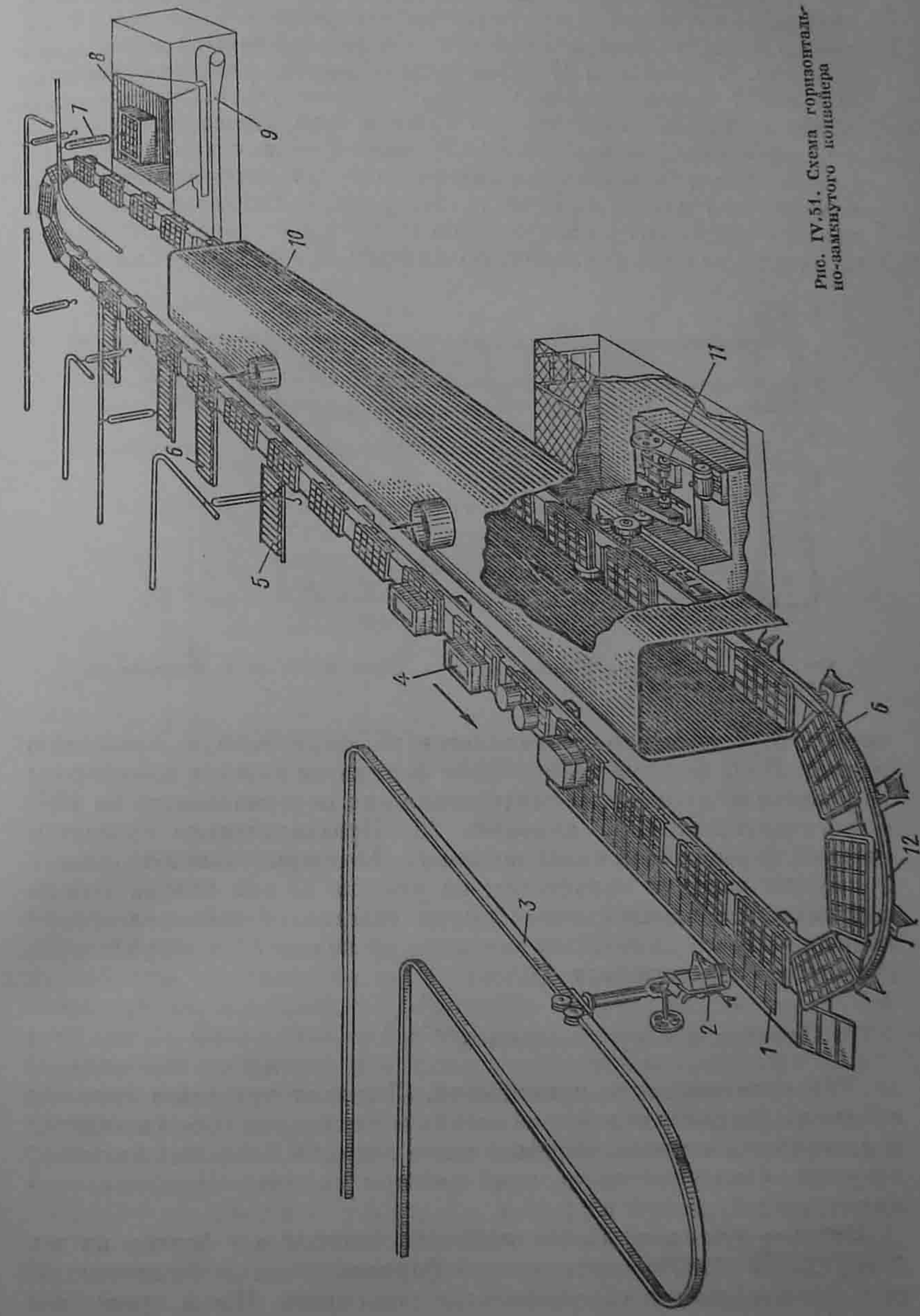


Рис. IV.51. Схема горизонтально-замкнутого конвейера

В литейных цехах широко применяют полуавтоматические формовочные линии. Схема одной из них изображена на рис. IV.52. После охлаждения отливок в форме в нижней части вертикально-замкнутого конвейера 15 форма поднимается на участок 2. Сталкивателем 1 форма подается на автоматическую выбивную установку 3. Форма выдавливается из опок вниз, где отделяется формовочная смесь и отливка. Спаренные опоки сталкиваются на рольганговый транспортер и далее с помощью поперечного толкателя 4 — на накопительный транспортер 5. Оттуда опоки попадают на разделитель опок 6. Одна из опок попадает на автоматическую прессовую формовочную машину 7, а другая — на транс-

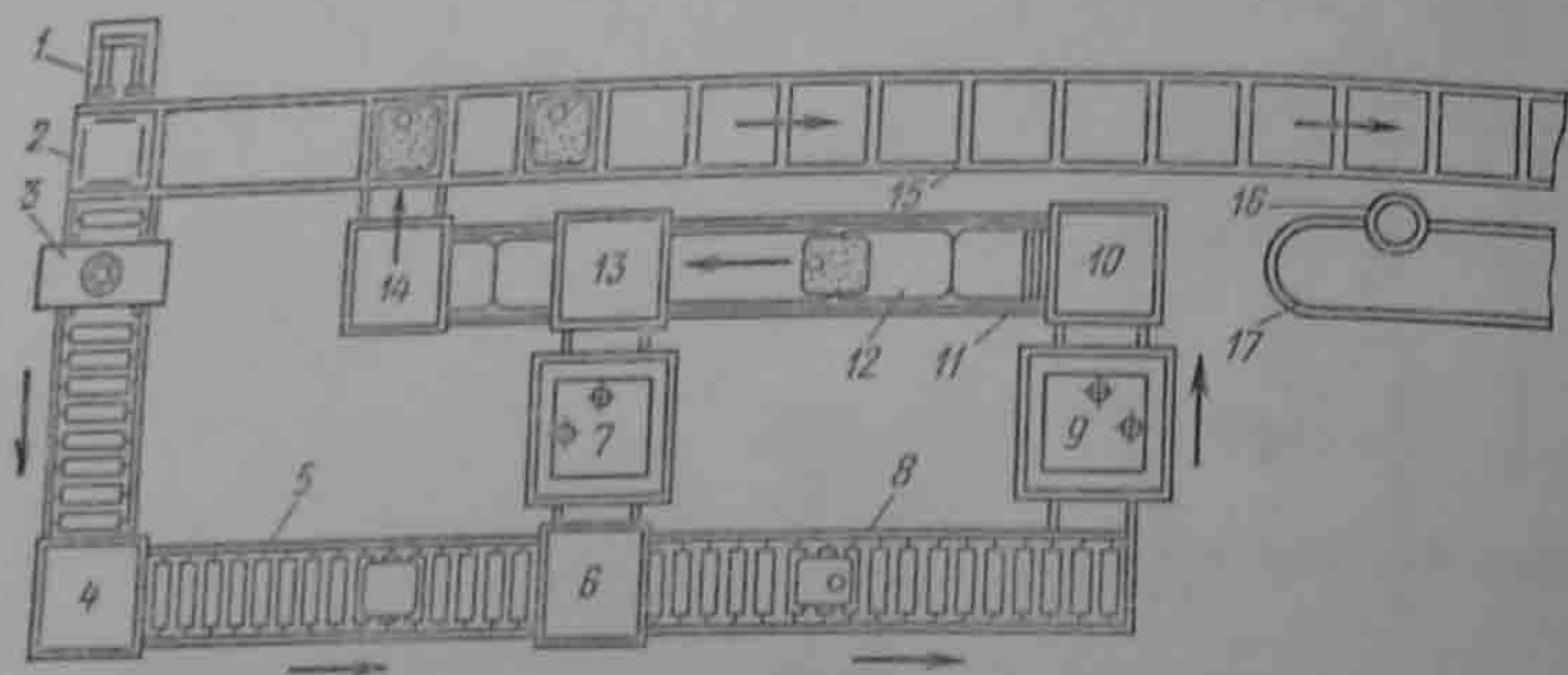


Рис. IV.52. Полуавтоматическая поточная линия формовки с вертикально-замкнутым конвейером

портер 8, с которого направляется на формовочную прессовую машину 9. На формовочной машине формируется нижняя полуформа; на участке 10 с помощью кантователя она поворачивается на 180° и устанавливается на конвейер 12. Предварительно срезается избыток формовочной смеси ножом 11. На формовочной машине 7 формируется верхняя полуформа; на участке 13 она автоматически спаривается с верхней опокой и на участке 14 сталкивается на конвейер 15, где заливается металлом из ковша 16, который передвигается по монорельсу 17.

13. Очистка и обрубка отливок

Удаление литников и прибылей. Литники чугунных отливок отбивают. Литники отливок из вязких металлов удаляют дисковыми и ленточными пилами: первыми чаще литники стальных отливок, вторыми — литники отливок из цветных сплавов. Прибыли удаляют газовой резкой и др.

Очистка отливок. После выбивки отливок из формы на их поверхности остается пригоревшая формовочная смесь и заусенцы, которые очищают в обрубном отделении цеха. Ниже приведены способы очистки отливок

1. Дробеметная или дробеструйная обработка. Очищают в барабанах, на столах или в камерах непрерывного или периодического действия. Струю чугунной или стальной дроби направляют на поверхность отливки с большой скоростью.

Схема дробеметного ленточного барабана приведена на рис. IV.53. Торцовые стенки барабана 4 неподвижны, верхняя часть боковой поверхности образована крышкой 3, неподвижной

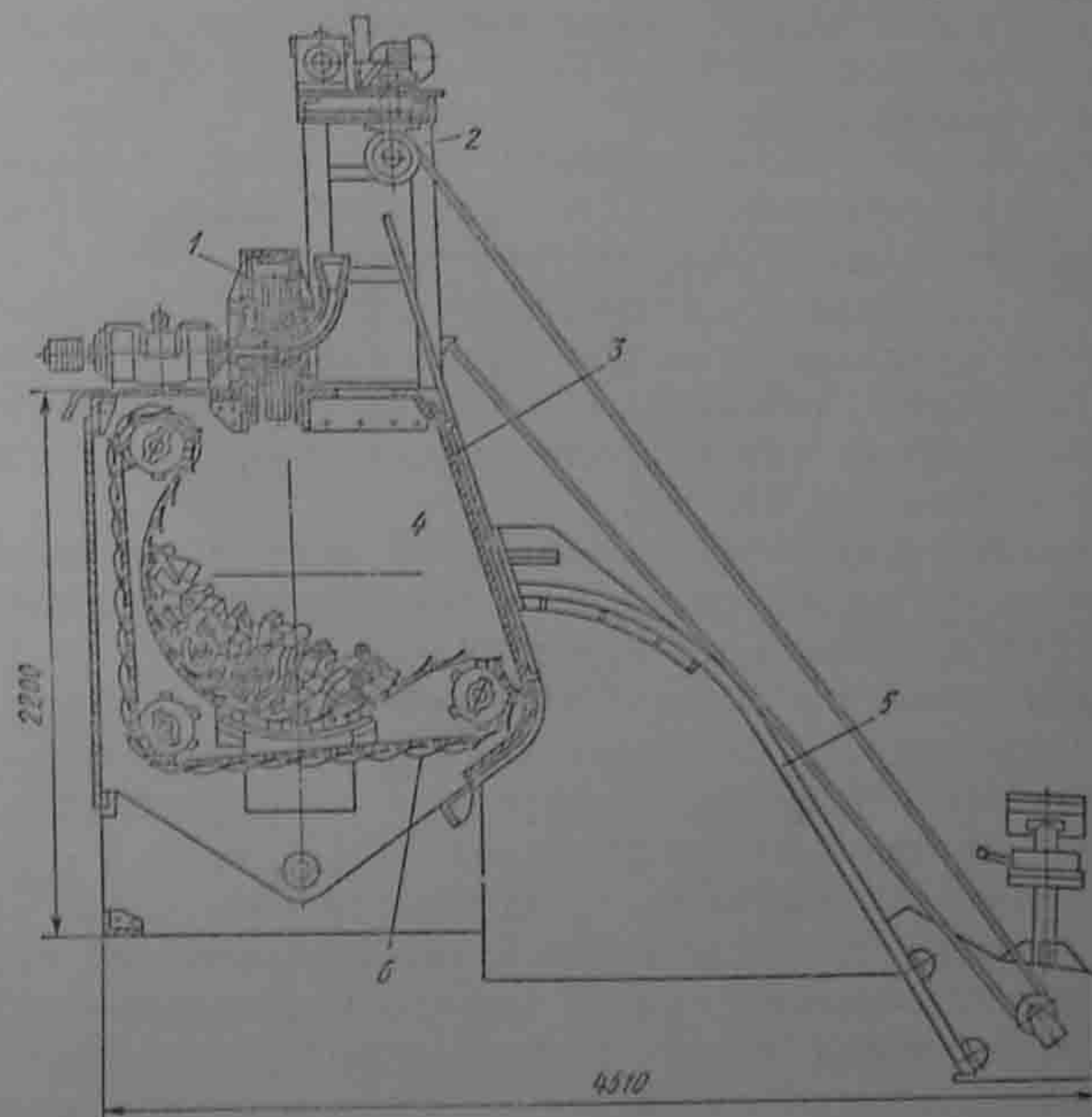


Рис. IV.53. Дробеметный барабан

при работе барабана. Дно барабана образовано пластинчатой лентой 6, на которую загружают отливки. Отливки, увлекаемые лентой при ее движении снизу вверх, перекатываются, подвергаясь при этом действию струи дроби, выбрасываемой лопатками турбины 1. После окончания очистки крышку открывают, ленту передвигают в обратном направлении, отливки выгружают в ящик. Отливки загружают в барабаны ковшовым элеватором 5. Металлическая дробь очищается от пыли и подается элеватором в дробеметный аппарат 2. Очистка поверхностей отливок от пригоревшей к ним формовочной смеси в барабане продолжается 15—20 мин.

2. Обработка ударным действием гидравлической или пескогидравлической струей. На поверхность отливки направляют струю воды с песком под давлением 35 ат и очищают ее от пригоревшей к ней формовочной смеси.

Обрубка и обдирка отливок. Остатки питателей и заусенцев обрубают и обдирают абразивным кругом или на обрезных прессах. На заводах массового производства применяют абразивные автоматы и полуавтоматы.

14. Термическая обработка отливок

Отливки часто имеют крупное строение зерен, ликвационные зоны; в них неравномерно распределяются неметаллические включения и легирующие элементы. Все это снижает их механические свойства.

Для улучшения механических и других свойств сплавов отливки подвергают термической обработке. Отливки из чугуна и силумина реже подвергают термической обработке.

Акад. А. А. Бочвар классифицировал следующие виды термической обработки: отжиг первого рода (включая гомогенизацию, рекристаллизацию, отжиг для снятия внутренних напряжений); отжиг второго рода или перекристаллизацию, включающую нормализацию; закалку, отпуск.

При выборе режима термической обработки руководствуются диаграммами состояния сплавов, а также учитывают технологию изготовления и области применения отливок.

По диаграмме состояния определяют температуру начала рекристаллизации. А. А. Бочвар нашел, что для сплавов, состоящих из твердых растворов, температура рекристаллизации $T_p = 0,5 \div 0,6$ от температуры плавления T [$T_p = (0,5 \div 0,6) T$].

Для отливок из цветных сплавов часто применяют гомогенизацию. Этот вид термической обработки обеспечивает выравнивание химического состава сплава (резкое уменьшение ликвационной неоднородности), более равномерное распределение легирующих элементов в объеме зерен твердого раствора, разрушение литой сетки и сфероидизацию (округление) частиц. Эти процессы осуществляют при очень высоких температурах (близких к температуре плавления сплава), продолжительном их воздействии и малой скорости последующего охлаждения, особенно для отливок сложной конфигурации.

Отжиг второго рода изменяет структуру сплавов посредством перекристаллизации. В этом случае нагревают отливки на 30—50° С выше температуры рекристаллизации, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают. В результате такой термической обработки изменяется микроструктура сплава, размельчаются его зерна и более равномерно распределяются неметаллические и другие включения. Выдержка при высоких температурах необходима для выравнивания температуры по сечению отливки.

Большое значение имеет скорость охлаждения отливок после выдержки их при высоких температурах. Регулируя скорость охлаждения, можно получить грубую или более тонкую струк-

туру с игольчатым, сетчатым или зернистым строением. При больших скоростях охлаждения при прохождении температур рекристаллизации образуется больше центров кристаллизации, а следовательно, и более мелкое строение зерна в отливке. Например, при нормализации (отливка после выдержки при высоких температурах охлаждается на воздухе) образуется более мелкое строение зерна; при закалке (отливка охлаждается в воде, масле или в струе воздуха) — еще более мелкое строение зерен.

Отпуск служит для снятия внутренних напряжений в отливке. В процессе его происходит самопроизвольный процесс распада пересыщенного твердого раствора и тем самым возвращение кристаллической решетки основы сплава в более устойчивое положение. При отпуске отливки нагревают до температуры ниже температуры рекристаллизации, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают.

В зависимости от технологических требований отливки подвергают одному или нескольким видам термической обработки.

1. Литье точных отливок в разовых формах

Развитие массового производства отливок привело к разработке новых специальных способов литья: в разовые формы¹, в полупостоянные формы, в металлические формы.

При производстве точных отливок в разовые формы не исключается или уменьшается механическая обработка отливок. К таким способам литья относится литье в оболочковые формы², по выплавляемым моделям, литье в гипсовые и стеклянные формы, литье по пенополистироловым моделям.

В полупостоянных формах (из шамота, металлокерамики, графита), без их разрушения можно получить несколько десятков и даже сотен отливок.

В металлической форме можно изготовить несколько тысяч отливок с размерами большой точности. К литью в металлические формы относятся литье в кокиль, центробежное литье, литье под давлением и др.

Литье в оболочковых формах. Этот способ литья является разновидностью литья в разовые песчаные формы, обеспечивает получение отливки с высоким качеством поверхности. Оболочковые формы³ изготовляют из смеси, которая состоит из кварцевого песка и синтетической смолы (6—7% фенолформальдегидной) в виде порошка. Фенолформальдегидная смола при 70° С размягчается, а при температуре свыше 120° С плавится, превращаясь в жидкую клейкую массу. Через несколько секунд и по мере увеличения температуры смола становится твердой и вторичному расплавлению не поддается. При 450° С смола начинает выгорать. На свойстве смолы переходить из жидкого состояния в необратимое твердое состояние основаны способы получения оболочковых форм.

Формовочную смесь 3 засыпают в бункер 2 (рис. IV.54, а) и накрывают нагретой металлической плитой 1 с укрепленными на ней металлическими моделями отливок. При повороте бункера на 180° (рис. IV.54, б) модельная плита оказывается внизу, под формовочной смесью. Частицы смолы вблизи нагретой модели и плиты начинают плавиться и обволакивать отдельные зерна песка, связывая их между собой. Образовавшаяся оболочка 4 прилипает к поверхности моделей и плиты. Толщина этой оболочки зависит от температуры модельной плиты и времени выдержки ее под засып-

кой. Через 25 с толщина оболочки достигает 6—8 мм, после чего бункер возвращают в исходное положение. Плита при этом оказывается вверху, избыток смеси, состоящей из песка и оставшейся неоплавленной смолы, осыпается вниз бункера (рис. IV.54, в). Модельную плиту вместе с оболочкой снимают с бункера и помещают в электропечь (рис. IV.54, г) или газовую печь для полного затвердевания оболочки 4. Через 4 мин плиту вынимают из печи, укладывают на стол специального съемочного механизма (рис. IV.54, д) и с помощью толкателей, проходящих через отверстия

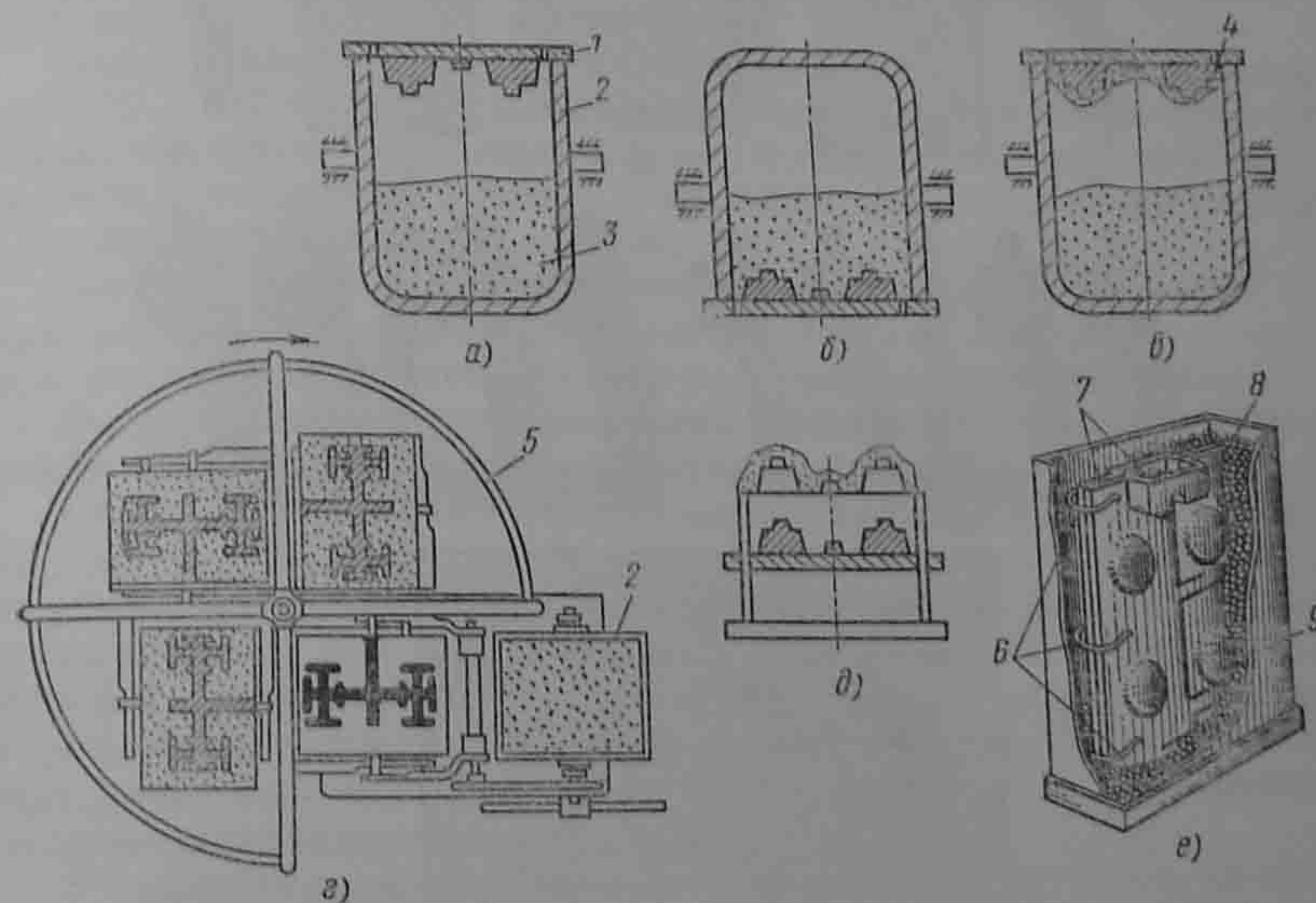


Рис. IV.54. Последовательность изготовления оболочковых форм

в плите и упирающихся в оболочку, отделяют оболочку от плиты и поднимают последнюю. С толкателей оболочка снимается и направляется на сборку. Две половины оболочки склеивают и соединяют скобой 6 (рис. IV.54, е). Полученную оболочковую форму заливают сплавом в вертикальном или горизонтальном положении через литниковую систему 7. Оболочковая форма из песчано-смоляной смеси после заливки металлом легко разрушается, освобождая отливку.

Для крупных отливок из-за опасности прорыва металла во время заливки оболочковые формы помещают в опоку 9 и засыпают чугуной дробью 8. В промышленности внедрены многопозиционные карусельные автоматы для изготовления оболочковых форм.

Литье по выплавляемым моделям. Этим способом литья изготовляли литые скульптуры много столетий назад. В машиностроении его начали применять в 40-х годах нашего столетия.

¹ Разовая форма — литейная форма, применяемая для заливки расплавленного металла один раз и разрушаемая при извлечении отливки.

² Литье в оболочковые формы — процесс получения отливок путем свободной заливки расплавленного металла в оболочковые формы из терморезистивных смесей.

³ Оболочковая форма — разовая тонкостенная химически твердеющая литейная форма.

Этот способ изготовления отливок трудоемок и дорог. Однако его применение во многих случаях оправдано, например при получении точных отливок без последующей механической обработки, при изготовлении деталей со сложной и трудоемкой механической обработкой, при использовании труднообрабатываемых сплавов (высоколегированных сталей и др.) и т. д.

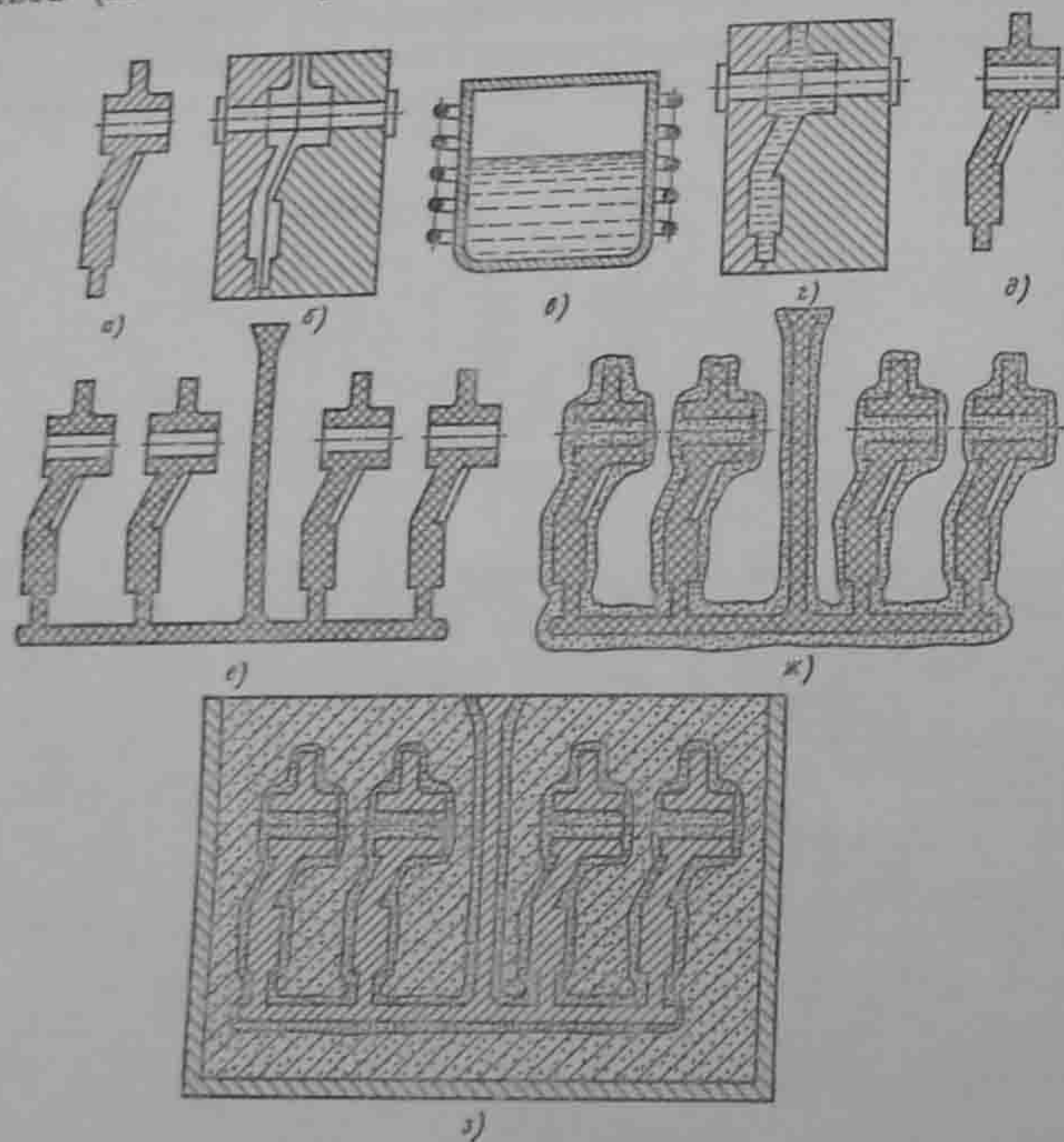


Рис. IV.55. Последовательность изготовления отливок литьем по выплавляемым моделям:

а — отливка; б — пресс-форма; в — электропечь для расплавления легкоплавкого сплава; г — пресс-форма, заполненная легкоплавким сплавом; д — легкоплавкая модель; е — легкоплавкие модели с литниковой системой; ж — легкоплавкие модели, покрытые слоем огнеупорного материала; з — заформованные легкоплавкие модели

Имеется большое число вариантов всех основных операций технологии изготовления отливок по выплавляемым моделям, а также рецептур модельных и формовочных материалов. На рис. IV.55 приведен один из типовых процессов изготовления отливок. Пресс-форму изготавливают металлической или пластмассовой, разъемной, состоящей из двух частей. В пресс-форме выполняют каналы для литниковой системы. В печах расплавляют легкоплавкий сплав (рис. IV.55, в). Наиболее часто применяют смесь: 50% парафина и 50% стеарина. Расплавленный легкоплавкий

сплав из печи заливают под небольшим давлением в пресс-форму (рис. IV.55, г). При этом получают легкоплавкую модель точных размеров.

После затвердевания легкоплавкую модель (рис. IV.55, д) вынимают из пресс-формы, собирают в блоки с общей литниковой системой (рис. IV.55, е) и погружают в огнеупорную суспензию, состоящую из 30% гидролизованного раствора этилсиликата (обладает большой клейкостью) и 70% кварцевой муки. Затем блок моделей посыпают сухим песком и сушат на воздухе. Повторяя эти операции несколько раз, получают форму толщиной 5—8 мм.

Модель выплавляется из формы с помощью горячего воздуха при 120—150° С, паром или горячей водой. Для крупных отливок облицованную и просушенную форму с литниковой системой помещают в металлический жакет и засыпают песком, уплотняют или засыпают металлической дробью.

Готовую форму прокалывают до температуры 850—900° С, при которой остатки легкоплавкого состава выгорают. Форма при этом превращается в прочную керамическую оболочку.

Форму заливают расплавленным сплавом. При необходимости сплав подают в форму под действием центробежных сил.

После затвердевания металла блоки отливок выбивают из опок. Керамическую корку отбивают. Для удаления керамической корки с детали, имеющей отверстия и внутренние каналы, отливки выщелачивают при 120° С в ванне с щелочным раствором с последующей промывкой их в горячей воде. После контроля отливок отрезают литники и зачищают их остатки. На многих заводах при литье по выплавляемым моделям все процессы изготовления отливок механизированы и автоматизированы.

В промышленности начали применять следующие способы получения точных отливок: литьем по выжигаемым, растворимым, размораживаемым и по газифицируемым моделям. Наиболее перспективным из этих способов литья является способ с применением моделей из пенопласта (пенополистирола) или, как его называют, литьем по газифицируемым моделям.

Особенность литья по пенопластовым моделям — применение неразъемных форм, из которых модель не извлекается, а газифицируется за счет теплоты расплавленного металла. Таким способом получают отливки массой от 0,2 кг до нескольких тонн из стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов в единичном и серийном производствах.

Пенополистирол, из которого изготавливают модель, имеет малую плотность, разлагается при 300—350° С, выделяя пары стирола, легко обрабатывается, даже простым ножом и разогретой проволокой.

В единичном производстве пенопластовые модели изготавливают механической обработкой вручную с помощью пил, рубанка, фуганка и на станках (строгальных, фрезерных, сверлильных

и шлифовальных). Модели часто изготавливают по частям, которые затем соединяют склеиванием, сваркой, спеканием т. в. ч.

В крупносерийном производстве модели из полистирола получают методом вспенивания в металлических или пластмассовых формах. В форму, полость которой имеет конфигурацию и размеры модели, загружают полистироловые гранулы. При нагревании гранулы вспениваются, расширяются, спекаются между собой, полностью заполняют полость формы. После охлаждения модель извлекают из формы.

Пенопластовую модель формуют в опоке обычным способом. Формовочную смесь чаще уплотняют на встряхивающих и вибрационных станках.

После изготовления форму заливают сплавом, при этом модель, которая осталась в форме, газифицируется, и газы удаляются в выпоры, а место, где находилась модель, заполняют сплавом для образования отливки.

Применяют и другие способы изготовления отливок с помощью модели из пенопласта. После изготовления формы пенопластовую модель удаляют растворением ее, прокаливанием формы, электроплавкой, продувкой формы горячими газами. Форму заливают после удаления модели. Пенопластовые модели применяют также вместо выплавляемых моделей.

2. Литье в металлические формы

Литье в кокиль¹. Кокиль² изготавливают из чугуна, стали и других сплавов. Способ литья в кокиль имеет преимущества перед литьем в песчаные формы. Кокили выдерживают большое число заливок (от нескольких сот до десятков тысяч) в зависимости от заливаемого в них сплава: чем ниже температура заливаемого сплава, тем больше их стойкость. При этом способе исключается применение формовочной смеси, повышаются технико-экономические показатели производства, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда.

Высокая теплопроводность кокиля ускоряет процесс кристаллизации сплава и способствует получению отливок большой герметичности и с высокими механическими свойствами.

Высокая прочность металлических форм позволяет многократно получать отливки одинаковых размеров. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла отливки и формы повышает качество поверхности отливки.

К недостаткам этого способа литья относится сравнительно малая стойкость и высокая стоимость изготовления кокиля.

¹ Литье в кокиль — процесс получения отливок путем свободной заливки расплавленного металла в металлические формы-кокили.
² Кокиль — металлическая форма, которая заполняется жидким металлом под действием гравитационных сил и обеспечивает высокую скорость формирования отливки.

Образование внутренних напряжений в отливке требует соблюдения точного технологического процесса литья. У поверхности чугунных отливок образуется структура цементита, что затрудняет их механическую обработку; поэтому необходима термическая обработка.

В кокилях получают 45% всех алюминиевых и магниевых отливок, 6% стальных отливок, 11% чугунных отливок. Этот

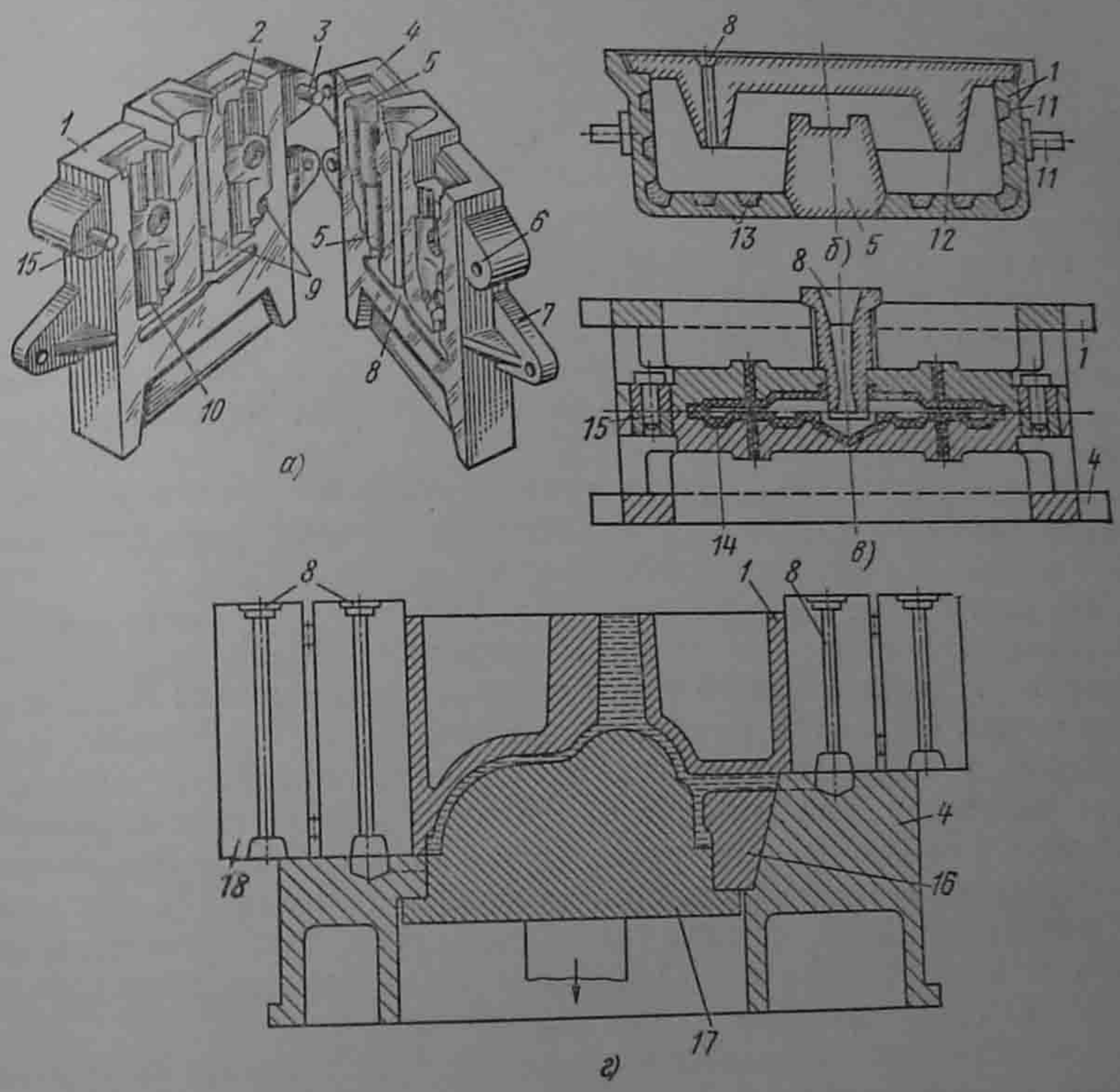


Рис. IV.56. Конструкции кокилей:
 а — с вертикальной линией разреза; б — неразъемный; в — с горизонтальной линией разреза; г — с комбинированным разрезом

способ литья экономически целесообразен в серийном и массовом производствах.

Кокиль чаще изготавливают из двух половин 1 и 4 (рис. IV.56, а), соответствующих двум полуформам при литье в песчаные формы. Рабочая полость 10 кокиля соответствует внешней конфигурации отливки. Установленные в эту форму песчаные стержни 5 образуют полости с конфигурациями отливки. Для заливки кокиля жидким металлом в плоскости разреза или в стержне выполняют каналы для литниковой системы. Сплав заполняет пространство

между полостью кокиля и стержнем, образуя отливку. После затвердевания отливки кокиль раскрывают и из него выталкивается готовая отливка. Затем все процессы повторяются.

В зависимости от конфигурации отливки кокили изготавливают с одним или несколькими разъемами. Плоскости разъема кокиля могут быть вертикальными, горизонтальными или комбинированными и неразъемными.

На рис. IV.56, а приведен кокиль с вертикальной линией разъема. Он состоит из двух полуформ 1 и 4; для центрирования двух половин кокиля служат штыри 15 и 3 и втулки 6. Для образования полости для знаков ставят стержень 5. Литниковая система 8. Отливки выталкиваются из кокиля толкателями через отверстие 9. Газы из кокиля удаляются через выпор 2. Кокиль к станку прикрепляют приливами 7.

На рис. IV.56, б приведен неразъемный кокиль (вытряхной). В кокиль 1 встроены цапфы 11, с помощью которых кокиль поворачивается на 180° и отливка из него выталкивается. Верхняя часть кокиля перекрывается песчаным стержнем 12. Внутренняя часть отливки образуется стержнем 5. Литниковую систему 8.

На рис. IV.56, в дан кокиль с горизонтальной линией разъема. Он состоит из двух половин 1 и 4, которые центрируются штырями 15. Литниковая система 8 расположена в стержне.

На рис. IV.56, г приведена схема кокиля с комбинированным разъемом. Он состоит из двух половин 1 и 4, металлического стержня 17, вкладышей 16 и литниковой системы 8. Литниковая система изготовлена в разъемном кокиле 18.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования закаленного слоя около их поверхности и повысить стойкость кокиля, на его рабочую поверхность наносят теплоизоляционные покрытия. Их готовят из одного или нескольких огнеупорных материалов (кварцевой муки, молотого шамота, графита, мела, талька и др.) и связующего материала (жидкого стекла, сульфитного щелока, патоки и др.).

В зависимости от толщины и свойств применяемых покрытий кокили подразделяют на кокили с тонкослойными покрытиями толщиной до 0,5 мм, которые служат для заливки сплавов с повышенной плотностью и герметичностью; на облицованные кокили, покрытие стержневой смесью 14 (рис. IV.56, в) толщиной 2—5 мм, применяемые для заливки тугоплавких сплавов (сталей, чугуна и др.), при изготовлении отливок сложной конфигурации и тонкостенных отливок; на футерованные кокили, рабочую часть которых полностью или частично покрывают формовочной смесью 13 толщиной 6—12 мм. В таких кокилях изготавливают крупные толстостенные отливки из чугуна или стали.

Кокили практически газонепроницаемы. Газы удаляются из формы через выпор 2 и газовые каналы, выполненные по линии разъема кокиля или в специальных пробках. Газовые каналы

делают обычно глубиной 0,2—0,5 мм. Через такие каналы не вытекает жидкий сплав и легко удаляются газы.

Толкатели обычно изготавливают из цилиндрического прутка. Эти прутки проходят через отверстие 9 в стенке кокиля. Когда кокиль закрыт, концы толкателя находятся заподлицо с гнездом его рабочей части. При открывании кокиля концы толкателя выступают из него и выталкивают отливку.

Полость отливки образуют песчаными и металлическими стержнями. Применяют цельные и разъемные металлические стержни. Цельные стержни 17 служат для образования полости отливки простой конфигурации (рис. IV.56, г), а разъемные — для образования более сложной полости отливки. Неразъемные стержни

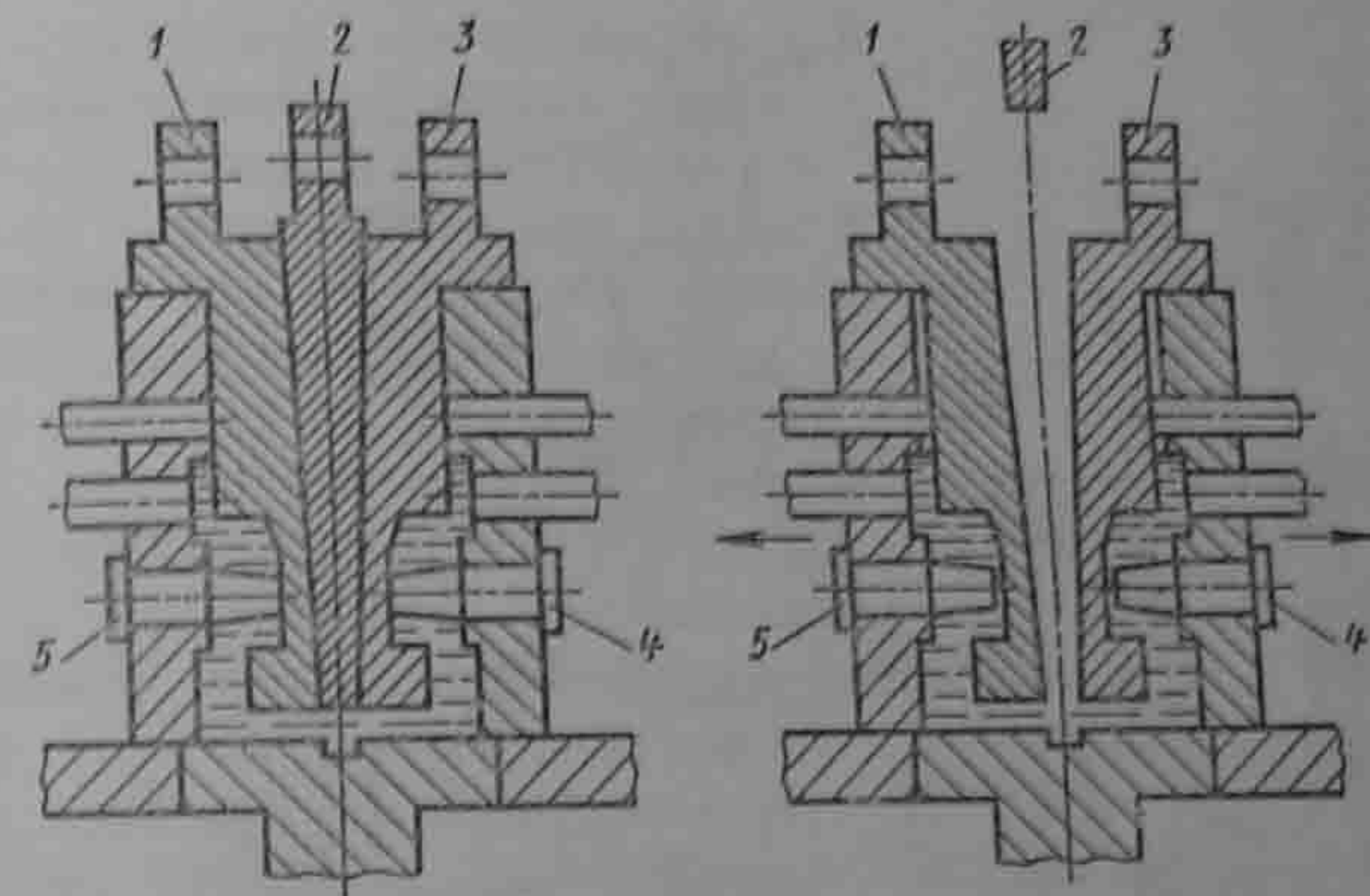


Рис. IV.57. Разъемный металлический стержень

и вкладыши 16 легко удаляются из отливки. Разъемные стержни изготавливают из 3—5 частей (рис. IV.57), которые собирают и устанавливают в кокиль; после его заливки сплавом и затвердевания отливки стержень извлекается по частям. Основной стержень для изготовления алюминиевого поршня состоит из трех частей: центрального стержня 2 и двух боковых 1 и 3. Вначале извлекается центровой — клинообразный стержень 2, затем боковые 1 и 3, а потом стержни 4 и 5.

Часто для образования внешней поверхности отливки, затрудняющей ее удаление из кокиля, устанавливают вкладыши 16 (рис. IV.56, г).

Механизировать и автоматизировать технологический процесс кокильного литья легче, чем процесс литья в песчаные формы. Для механизации применяют кокильные машины — однопозиционные и карусельные. На этих машинах автоматизируют следующие технологические процессы: открывания и закрывания кокилей, простановку и удаление металлических стержней и выталкивание отливок из кокиля. На рис. IV.58 дана схема однопозиционного

кокильного станка. Он состоит из двух плит 2 и 7, к которым прикреплены половины кокиля 3 и 6, приводимые в движение гидравлическими цилиндрами 1 и 8. Металлические стержни, которые крепят на плитах 4 и 9, приводятся в движение гидравлическими цилиндрами 5 и 10. Движение механизмов осуществляется нажатием кнопки на пульте управления или автоматически. Карусельные машины обычно состоят из группы однопозиционных машин, которые установлены на вращающемся столе. При вращении стола на первой позиции автоматически закрываются кокили, на второй проставляются стержни, на третьей заливаются кокили, славом, на четвертой затвердевают отливки, на пятой открываются кокили и выталкиваются отливки, на шестой продуваются возду-

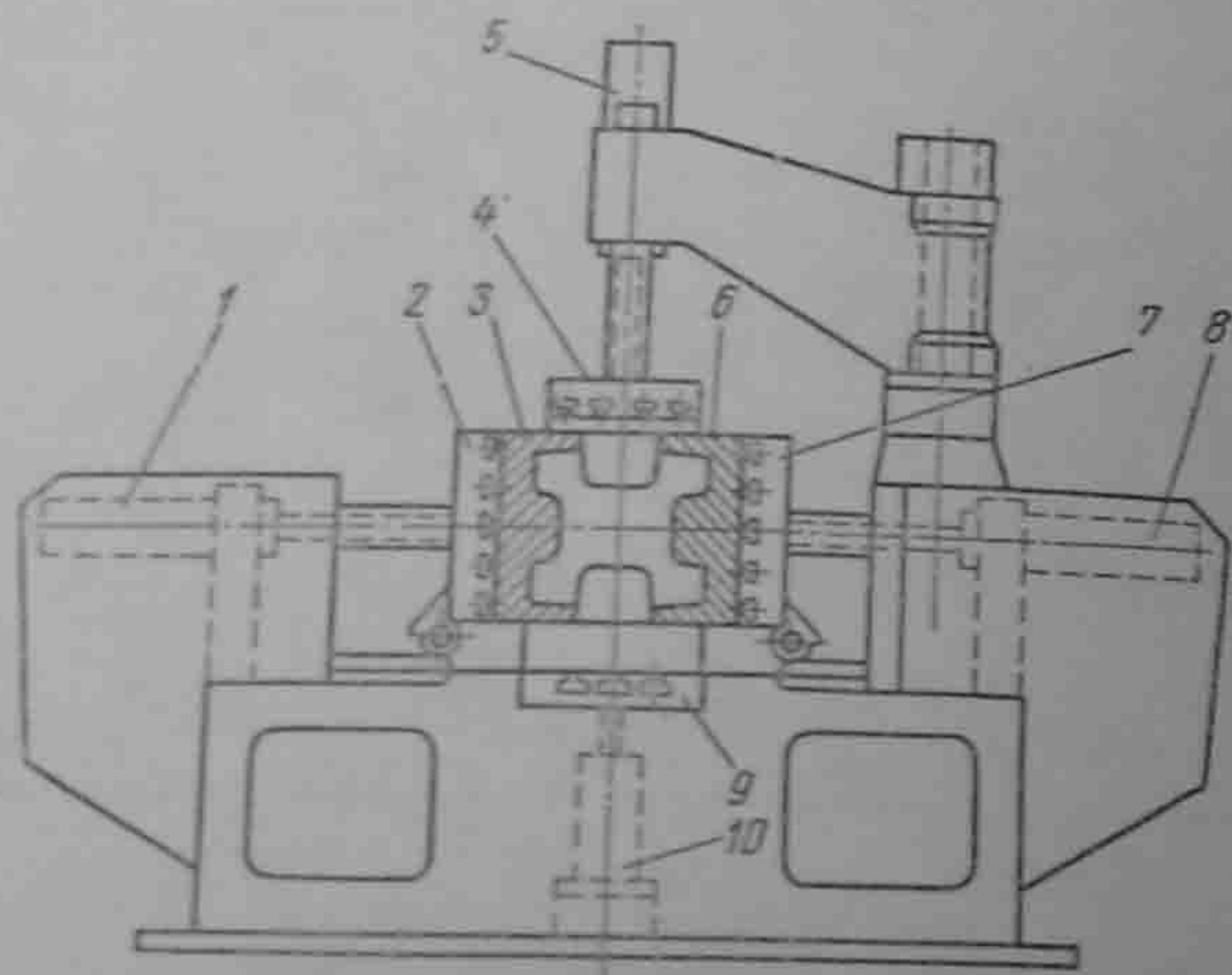


Рис. IV.58. Однопозиционный кокильный станок

хом кокили, на седьмой наносят на кокили покрытия и т. д. Применяют автоматические кокильные линии, на которых все процессы изготовления отливки автоматизированы.

Чугунные отливки, рабочие поверхности которых должны иметь высокое сопротивление износу (прокатные валки, чугунные колеса, некоторые части дробилок и т. п.), изготавливают с отбеленной поверхностью. Поверхностный слой таких отливок имеет структуру белого чугуна, переходящую в более глубоких слоях в перлитную. Это достигается применением комбинированной формы с металлической частью в том месте, где в отливке необходимо получить поверхностный слой отбела; остальная часть формы — песчаная. Такая форма для получения чугунной отливки 1 прокатного валка показана на рис. IV.59. Рабочая поверхность отливки оформляется металлической формой 3, остальные же части, не нуждающиеся в отбеле, — верхней и нижней опоками 2 и 4 с формовочной смесью. Литниковая система 5 расположена рядом с формой.

Литье под давлением¹. Этот способ литья применяют в массовом производстве (так как стойкость пресс-формы высока) тонкостенных отливок из сплавов цветных металлов². При данном способе литья достигаются большая точность размеров отливок и высокое качество поверхности, не требуется механической обработки. Этот способ литья очень производителен (200—400 циклов в час). При литье под давлением формы выполняют стальными; они имеют более сложную конструкцию и большую точность, чем кокили, поэтому и стоимость их выше. Применяют только неразъемные металлические стержни. Использование песчаных стержней исключено, так как струя металла может их разрушить. Струя металла подается под большим давлением и скоростью. При этом газы из полости формы не успевают удалиться, что приводит к образованию в толстостенных отливках газовой пористости. Принцип заполнения пресс-формы при литье под давлением на машинах с горизонтальной камерой сжатия приведен на схеме рис. IV.60. Металл заливается в заливочное окно 3 (позиция I) камеры сжатия (рис. IV.60, а) ковшем 4. Поршнем 5 под давлением сплав заполняет пресс-форму 1 (позиция II). После затвердевания сплава в пресс-форме извлекают металлический стержень 2. Открывают пресс-форму и выталкивателем 6 удаляют отливку (позиция III); затем процесс повторяется.

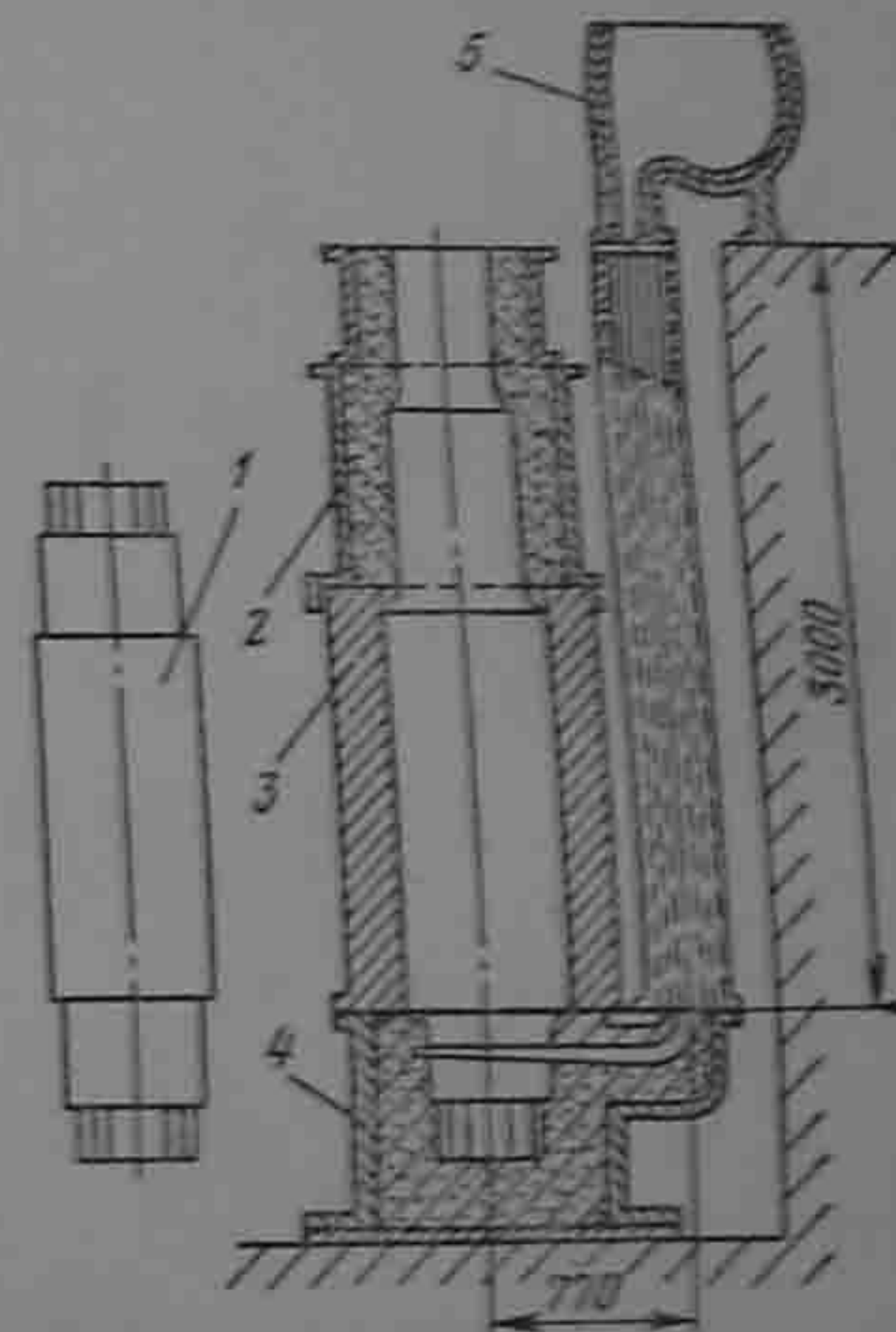


Рис. IV.59. Кокиль для чугунного прокатного валка

Пресс-форма — сложное приспособление, состоящее из 30—100 деталей. Рабочая часть пресс-формы выполнена из вкладышей. Металлические стержни для образования отверстий в отливке устанавливаются и извлекаются автоматически с помощью приспособления.

Сплав заливается в камеру прессования. При прессовании струя металла, проходя через литниковые каналы, заполняет полость пресс-формы. При раскрытии пресс-формы отливка выталкивается толкателем.

Машины для литья под давлением являются сложными техническими устройствами. Машина 9 (рис. IV.60, б) состоит из корпуса, направляющих, гидравлических цилиндров, которые приводят в движение половины пресс-формы 8 и металлические

¹ Литье под давлением — процесс получения отливок в металлических формах, при котором их заполнение сплавом и формирование отливок осуществляются под давлением.

² Начали изготавливать литьем под давлением отливки из чугуна и стали.

стержни, а также создают давление (30—100 МН/м²) для прессования металла. В гидравлические цилиндры поступает жидкость под давлением от насоса 10 через вакуумлитер 11. Рабочий зачерпывает ложкой жидкий сплав из раздаточной печи 7 и заливает его в камеру сжатия. Начали применять автоматическую

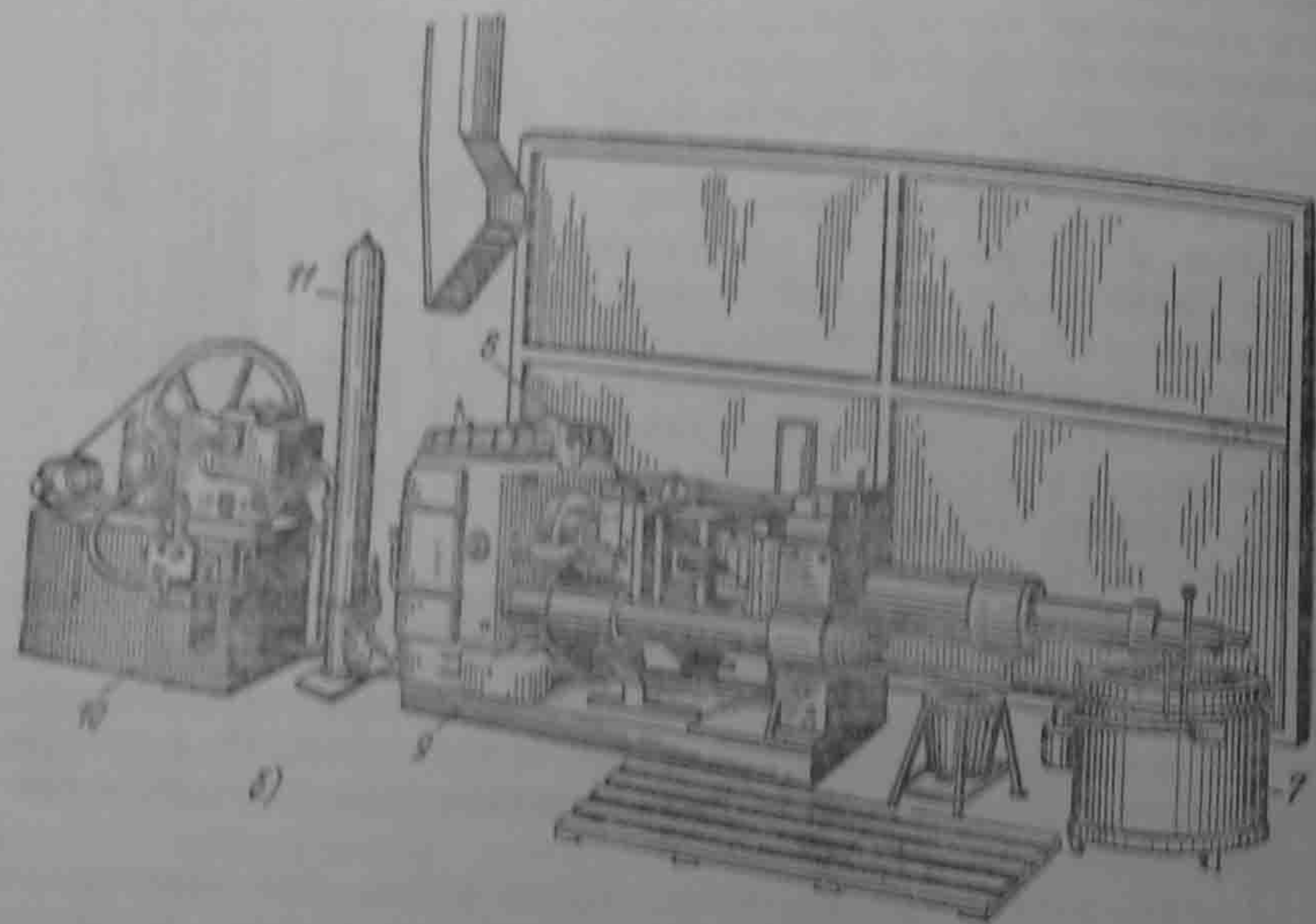
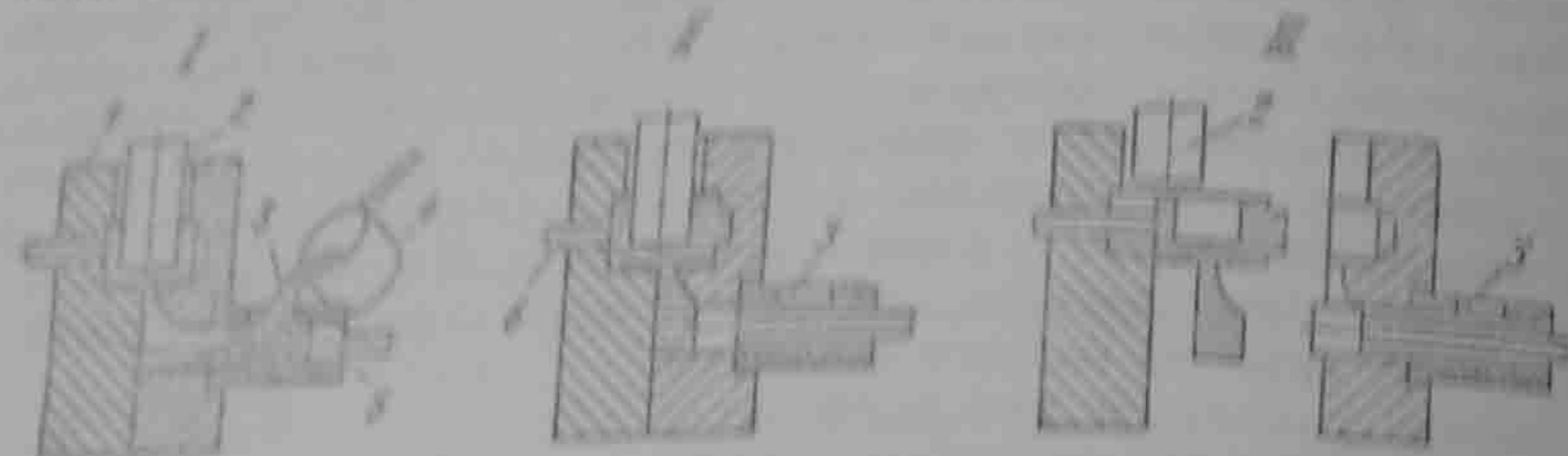


Рис. IV.60. Схема литья под давлением:

а — заполненная пресс-форма; б — машина литья под давлением

дозировку металла при заливке. Затвердевшая отливка автоматически выталкивается после открытия пресс-формы. Применяют промежуточный способ между литьем в кокиль и литьем под давлением — литье под низким давлением.

Литье под низким давлением (0,01—0,08 МН/м²). Сплав, находящийся в герметически закрытом тигле 7, расплавляется электронагревателями 5, поступает в полость формы 3 по сталь-

ному металлопроводу 6 и под давлением инертного газа на поверхность металла 4. После затвердевания отливки снимают давлением газа в тигле, раскрывают форму 3 и удаляют из нее отливку 2 (рис. IV.61). Этим способом можно заливать тонкостенные крупногабаритные отливки из легких сплавов и с применением песчаных стержней 1.

Особенности конструирования литых деталей. При изготовлении литых деталей в кокиль и литьем под давлением необходимо учитывать следующие особенности металлических форм. Формы практически неподатливы. Металл, заливаемый в металлическую форму, охлаждается быстрее, чем при литье в песчаные формы, вследствие чего повышается возможность появления внутренних напряжений в отливке. Поэтому нельзя допускать в отливках резких переходов от толстой стенки к тонкой и острых углов; радиусы галтелей должны быть в 1,5 раза больше, чем радиусы при литье в песчаные формы. Жидкий сплав, протекая по металлической форме, охлаждается интенсивно и теряет жидкотекучесть, поэтому при литье в кокиль минимальная толщина стенок должна быть больше (см. таблицу).

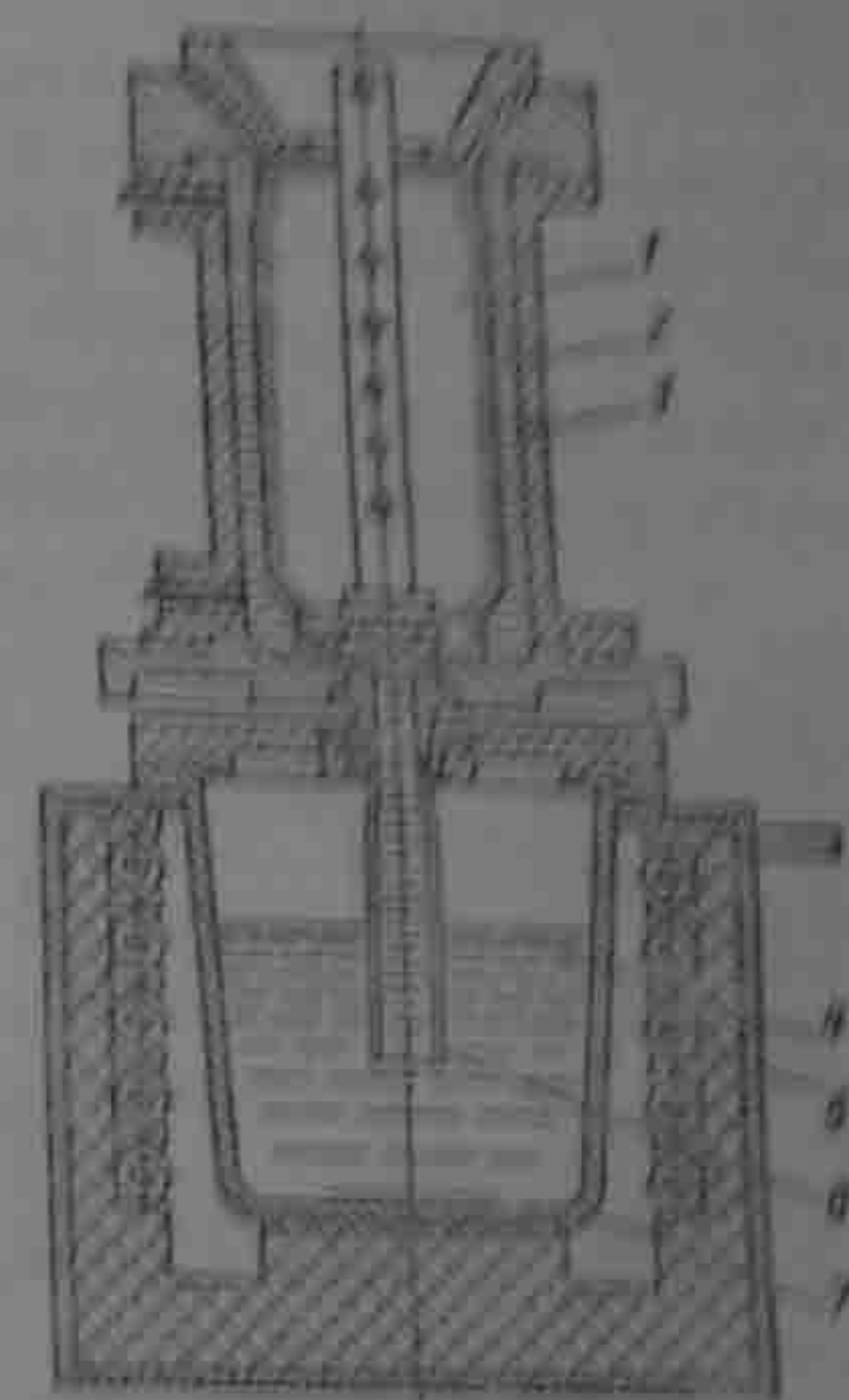


Рис. IV.61. Схема литья под низким давлением

Конструктивные размеры отливок при литье в металлические формы

Сплав	Угол отклонения от вертикали, %		Размер отверстия, мм		Минимальная толщина стенки отливки, мм		
	наружный	внутренний	Минимальный диаметр	Максимальная глубина		при литье в кокиль	при литье под давлением
				испроходная	ходная		
Цинковые	0,5	0,2—2,0*	1,0	6	12	2,5—3*	1,5—3
Магниеые	0,5—1,0*	1—3	2,5	6	10	2,5—4	1,5—3
Алюминиеые	0,5—1,0	1—3	2,5	3	5	2,5—6	1,6—4
Медные	0,5—1,0	1—3	3	3	4	3,0—12	1,5—4,0
Чугунные	0,4	2—6	6	3	4	3,5—15	1,5—4,0
Стальные	0,4	2—6	8	3	4	6,0—25	1,5—4,0

* Меньшие значения относятся к малогабаритным отливкам, большие — к крупногабаритным.

Необходимо также учитывать особенности литья в металлические формы при определении других конструктивных эле-

ментов (уклонов стенок по высоте, размеров отверстий и резьб, глубины резьб) для выполнения отверстий и резьб металлическими стержнями.

При конструировании деталей для литья в металлические формы для облегчения механической обработки или повышения эксплуатационных свойств их отдельных частей иногда целесообразно армировать отливки вкладышами (рис. IV.62, а). Вкладыши можно применять для получения фасонных биметаллических деталей из легкоплавких сплавов в комбинации со сталью.

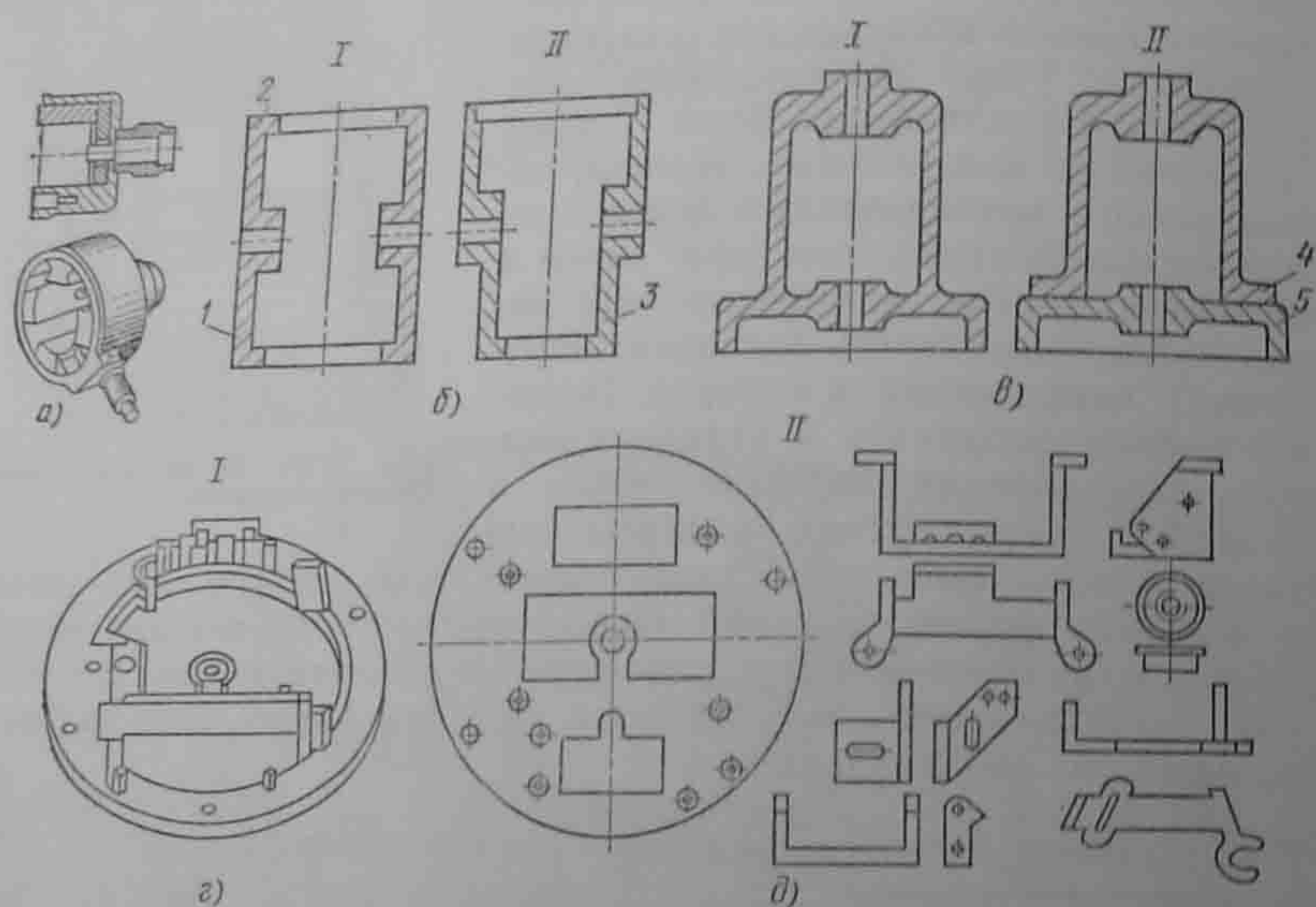


Рис. IV.62. Изменение конструкции литой детали для облегчения ее изготовления: I — первоначальная конструкция отливки; II — измененная конструкция отливки

Для вкладышей можно применять пластические массы и другие материалы. Отдельные мелкие детали, изготавливаемые холодной штамповкой или на токарных автоматах, можно устанавливать в гнезда формы и заливкой соединять их в один узел (рис. IV.62, а). Выступающие части, бобышки I (рис. IV.62, б) и т. д. не должны затруднять удаления отливки из формы.

При литье под давлением полость отливки не должна иметь выступов 2. Она должна обеспечивать свободное удаление цельного металлического стержня 3. При переводе детали на изготовление литьем под давлением приходится изменять ее конструкцию. Например, при переводе на литье под давлением алюминиевого блока цилиндра автомобиля пришлось изменить полость отливки, с тем чтобы все металлические стержни можно было легко извлекать из отливки.

В отдельных случаях (рис. IV.62, в) деталь изготавливают по частям 4 и 5, каждая из которых должна легко изготавливаться литьем под давлением. Эти части затем легко соединяются и подвергаются незначительной последующей механической обработке.

В других случаях целесообразнее отливать цельную деталь, например, при отливке рамки счетчика (рис. IV.62, е), которую ранее получали из шести штампованных деталей (рис. IV.62, в).

Центробежное литье. При этом способе отливки получают свободной заливкой во вращающиеся формы. Отливки формируются под действием центробежных сил. Центробежные силы отбрасывают заливаемый металл к стенкам формы, где он затвердевает, образуя пустотелую отливку. Центробежным литьем в промышленности получают чугунные и стальные трубы, кольца и др.

При этом способе литья исключается применение стержней для образования полостей цилиндрических отливок (рис. IV.63, а, б). Отливки отличаются большой плотностью и высокими механическими свойствами. Центробежным литьем можно получать тонкостенные отливки из сплавов с низкой жидкотекучестью.

К недостаткам центробежного литья относится трудность получения качественных отливок из ликвирующих сплавов и невозможность выполнения отверстий в отливках точных размеров. Размеры отверстий отливок, изготавливаемых по схеме рис. IV.63, зависят от количества залитого в форму металла.

Формы приводят во вращение специальными машинами, называемыми центробежными. В зависимости от расположения оси вращения формы в пространстве различают машины с горизонтальной и вертикальной осями вращения.

На машинах с горизонтальной осью вращения отливки получают со стенками равномерной толщиной по длине и в поперечном сечении. На них отливают короткие и длинные трубообразные отливки.

На рис. IV.63, а изображена схема машины с горизонтальной осью вращения форм для изготовления коротких труб. Металл из ковша 4 заливает в форму 2 через желоб 3. Попадая на внутреннюю стенку вращающейся формы 2, жидкий металл образует вокруг нее полую цилиндрическую отливку 5, которую после затвердевания извлекают из формы.

На рис. IV.63, б схематически представлена конструкция распространенной труболитейной машины. Отличительной особенностью этой машины является устройство подвижного желоба 3, который в процессе заливки металла перемещается с помощью электродвигателя в направлении, показанном стрелкой. При этом металл, стекая с конца желоба, навивается на внутреннюю поверхность вращающейся от электродвигателя 1 формы 2, что обеспечивает получение равномерной отливки 5. Форма имеет уклон, равный 5° , что обеспечивает течение металла. Форма баговыми дорожками опирается на приводные ролики 7 и имеет осевой упор в верхней части машины, прикрепленный к кожуху 6.

Для образования внутренней поверхности раструба трубы используют песчаный стержень 8. После затвердевания отливку извлекают из формы.

На рис. IV.63, в приведена схема центробежной машины с горизонтальной осью вращения для литья фасонных деталей.

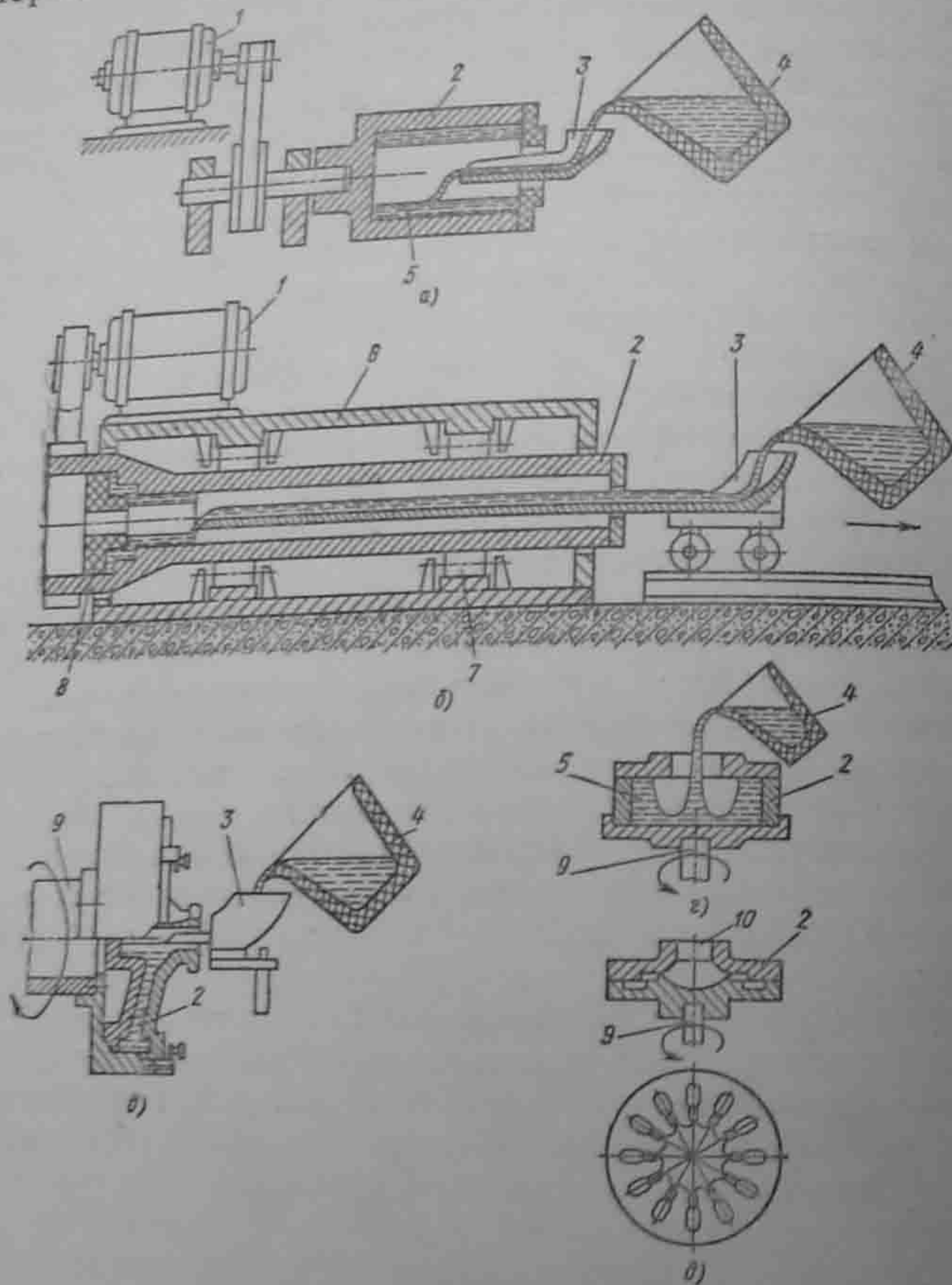


Рис. IV.63. Центробежные машины:

а — с горизонтальной осью вращения для литья коротких труб; б — с горизонтальной осью вращения для литья труб; в — с горизонтальной осью вращения для литья фасонных отливок; г — с вертикальной осью вращения для литья коротких трубных заготовок; д — с вертикальной осью вращения для литья фасонных отливок

Форма 2 состоит из двух половин, желоба 3 и шпинделя 9. Жидкий металл из ковша 4 выливается в желоб, из него сливается во вращающуюся форму и заполняет ее. Металл отбрасывается к стенкам. После затвердевания отливки форму раскрывают и извлекают отливку.

Для центробежных машин изготавливают металлические формы. Иногда металлические формы облицовывают формовочной смесью.

В машинах с вертикальной осью вращения (рис. IV.63, г) металл из ковша 4 заливают в форму 2, укрепленную на шпинделе 9, который вращается от электродвигателя. Металл центробежной силой прижимается к боковой цилиндрической стенке, образуя возле нее жидкий кольцевой слой. Форма вращается до полного затвердевания металла, после чего ее останавливают и извлекают отливку. При вертикальной оси вращения формы отливки имеют параболическую внутреннюю поверхность. Толщина верхней части отливки меньше, чем нижней части, так как при вращении формы часть металла стекает вниз. Этим методом литья получают отливки небольшой высоты.

На рис. IV.63, д показаны формы 2 для производства фасонных отливок на машинах с вертикальной осью вращения от шпинделя. Металл заливается через центральной литник 10, откуда с большой скоростью через радиальные каналы попадает в рабочую полость, где затвердевает, образуя отливку 5. Форма для образования более сложной поверхности отливки покрывается формовочной смесью, уплотняемой роликами.

Ниже приведены разновидности литья в металлические формы.

Литье вакуумным всасыванием. Схема процесса представлена на рис. IV.64, а. Тонкостенная охлаждаемая водой металлическая форма 3 опирается через керамическую приставку 4 на поверхность жидкого металла 5. Через патрубок 2 в форме создается разрежение, и металл заполняет форму, образуя при затвердевании отливку 1, которую затем вынимают.

Этим способом изготавливают разнообразные втулки, кольца, гайки, мелкие зубчатые колеса и другие изделия, в основном из медных сплавов. Преимуществом указанного способа является устранение брака по газовым раковинам и пористости, так как отливка образуется при последовательной кристаллизации.

Непрерывное литье. Сущность способа заключается в том, что жидкий металл из печи или ковша 8 (рис. IV.64, б) поступает в кристаллизатор 7, представляющий собой охлаждаемую водой металлическую форму. Перед началом работы в кристаллизатор вводится снизу затравка, верхняя часть которой образует дно в нижней части кристаллизатора, а нижняя часть зажата валиками 10. Плотность отливки 9 образует металлический стержень 6, охлаждаемый водой.

По мере затвердевания металла, непрерывно заливаемого в кристаллизатор, затравка с отливкой движется вниз, при этом образуется труба.

Применяют и другой метод непрерывного литья заготовок различного профиля (рис. IV.64, в). Жидкий металл заливается в тигель 11 и заполняет втулку 12, охлаждаемую водой. Металл затвердевает, образуя отливку 13, которая постепенно с опре-

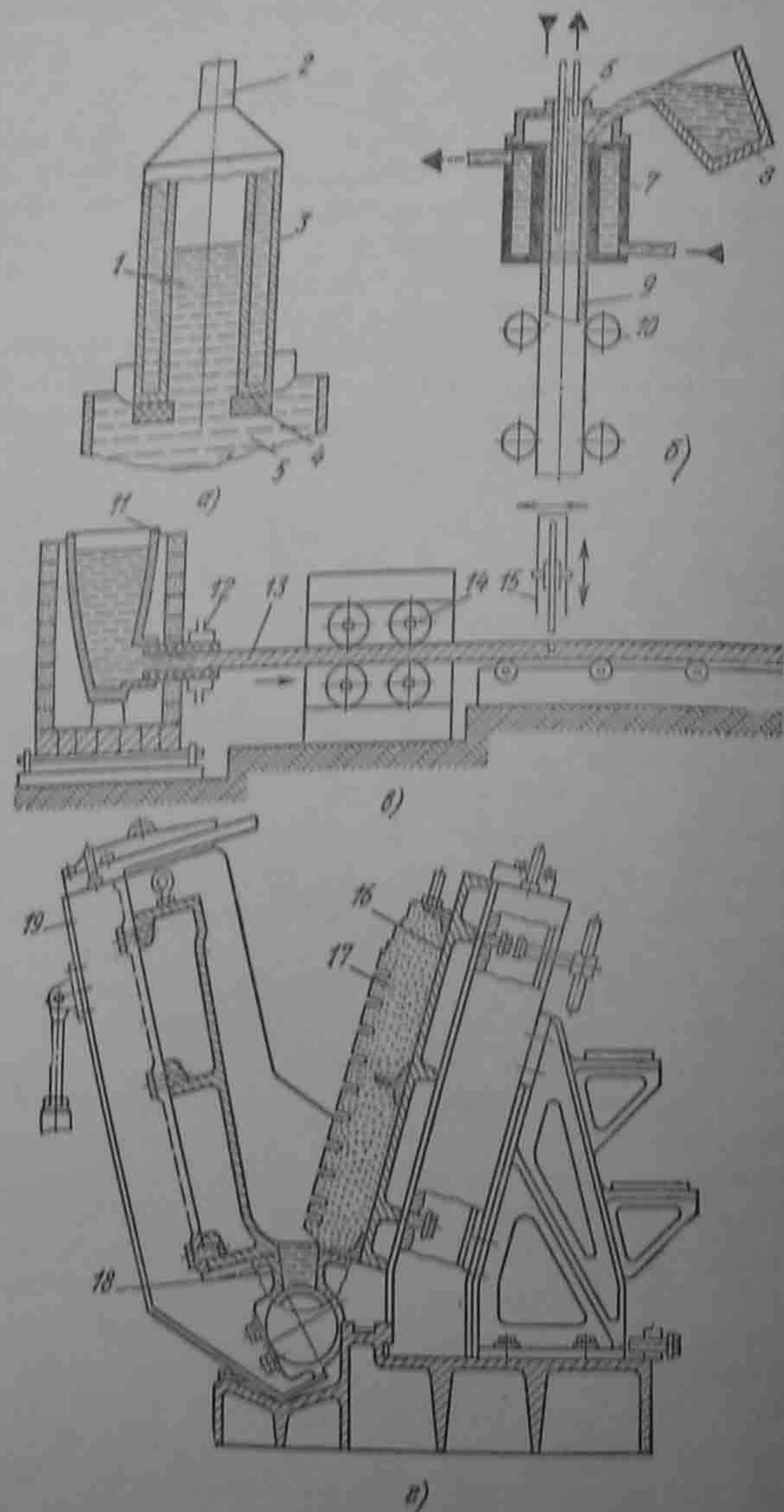


Рис. IV.64. Разновидности литья в металлические формы:
a — вакуумное всасывание; *b* — непрерывное; *c* — в горизонтальном кристаллизаторе; *d* — выжиманием

деленной скоростью вытягивается роликами *14*. Мерные заготовки отрезают пилой *15*.

Литье выжиманием. В металлоприемник *18* (рис. IV.64, *d*) литейной выжимной установки заливают расплавленный металл. Подвижная матрица *19* перемещается в сторону неподвижной матрицы *16* с постоянной угловой скоростью. При сближении матриц металл выжимается из металлоприемника и заполняет полость формы между матрицами. Этим способом можно получать отливки с песчаным стержнем *17* и крупногабаритные тонкостенные отливки.

Жидкая штамповка. В металлическую форму заливают определенную порцию жидкого металла. При опускании металлический пуансон выдавливает металл, который заполняет пространство между формой и пуансоном. В результате образуется отливка.

1. Брак отливок и причины его возникновения

Основной задачей технического контроля является анализ брака промежуточной и окончательной продукции литейного цеха, определение его вида и принятие мер для устранения. Это осуществляется контролем сырья и материалов, поступающих в производство, модельной и опочной оснастки, мерительного инструмента и технологических процессов на всех участках цеха. Кроме того, проводится пооперационный контроль качества изготавливаемых в цехе полуфабрикатов, контроль готовой продукции, анализ брака и рекламаций.

На заводах контроль литейного производства возложен на отдел технического контроля, подчиненный непосредственно директору завода. В плавильном отделении контролируют температуру жидкого металла и заливают пробу для определения химического состава отливок, технологических и механических свойств сплава.

В смесеприготовительном отделении контролируют газопроницаемость, влажность, прочность и другие свойства формовочных и стержневых смесей. В стержневом отделении проверяют шаблонами и кондукторами соответствие размеров и контуров стержней размерам и контурам чертежей, наличие и правильность вентиляции стержней, качество их поверхностей, правильность установки каркасов, окраску и просушку стержней. В формовочно-сборочном отделении контролируют соответствие размеров форм чертежам, наличие и правильность вентиляции форм, плотность их набивки и качество просушки, а также качество поверхности форм и правильность их сборки.

После очистки отливок их тщательно контролируют с целью обнаружения дефектов. Проверяют также основные размеры продукции и соответствие ее техническим условиям. В соответствии с техническими условиями отливки подвергают специальным испытаниям (на герметичность, электропроводность, магнитные свойства и т. д.).

В литейных цехах массового производства периодически, по календарному графику, проверяют модельно-опочный инвентарь.

Бракованной, непригодной к эксплуатации, называют такую отливку, которая имеет хотя бы один неисправимый и недопустимый по техническим условиям дефект.

Дефекты литья классифицированы ГОСТом; их 22 вида: заливы, коробление, корольки, наросты, недолив, отбел, пригар, газовые и шлаковые раковины, рыхлоты или пористость, спай, горячие и холодные трещины, ужимины, несоответствие металла стандартам и техническим условиям по химическому составу, микроструктуре и физико-механическим свойствам, несоответствие массы отливок стандартам, механические повреждения и др.

Брак может быть вызван несоблюдением технологии, ошибками при конструировании деталей и при проектировании технологического процесса изготовления отливки.

Основные виды брака и его устранение. Короблением называется изменение размеров и контуров отливки под влиянием усадочных напряжений. Причинами этого вида брака могут быть нерациональность конструкции отливки (например, разностенность), что приводит к образованию внутренних напряжений; неправильный подвод металла, ухудшающий равномерность его остывания; неправильный состав или температура заливаемого металла, вызывающие чрезмерную усадку; неправильный режим охлаждения отливки и недостаточная податливость формы и стержней.

Газовыми раковинами называются пустоты, расположенные на поверхности или внутри отливки. Форма раковины сферическая или округленная, поверхность гладкая блестящая. Раковины могут быть одиночными или расположенными гнездами различного объема. В большинстве случаев раковины обнаруживают при механической обработке.

Газовые раковины появляются в том случае, когда в металле большое содержание газов вследствие плохого качества исходных материалов, неправильного режима плавки или неправильно проведенного модифицированного металла. Пониженная газопроницаемость или повышенная влажность формовочных и стержневых смесей, повышенное содержание газообразующих веществ в формовочных и стержневых смесях (чрезмерное местное смачивание формы при извлечении модели), недостаточная вентиляция форм и стержней; недостаточно просушенные формы или стержни (неправильная окраска форм и стержней, выделяется большое количество газа), применение окисленных жеребеек или металлических вкладышей (окислы, разлагаясь, образуют газ), чрезмерно высокая температура металлической формы, низкая температура заливаемого сплава, не обеспечивающая выхода из него газов, чрезмерно быстрое заполнение формы, в результате чего воздух из формы не успевает удалиться, неправильная конструкция отливки, не обеспечивающая отвод газа из стержня или имеющая много горизонтальных поверхностей, также могут служить причинами образования газовых раковин.

Песчаными раковинами называются закрытые или открытые раковины, полностью или частично заполненные формовочным материалом. Причины такого брака следующие: местное разрушение и засорение форм при сборке; недостаточная прочность формовочной и стержневой смесей или красок; применение неисправных моделей, что приводит к осыпанию формовочной смеси; неправильное крепление отъемных частей модели; недостаточное крепление выступающих частей формы; слабая или неравномерная набивка формы и стержней; несоответствие размеров знака стержней и формы, что приводит к обжигу формы и ее засорению при сборке; неправильный подвод литниковой системы, что приводит к размыву формы или стержня, обвал формы при установке груза; нетехнологичность конструкции отливки, т. е. наличие в ней углублений, которые образуют непрочные тонкие выступы и острые углы в форме; недостаточная величина галтели, а также отсутствие или недостаточность литейного уклона в отливке.

Усадочными раковинами называются открытые или закрытые пустоты в теле отливки, имеющие шероховатую поверхность с грубокристаллическим строением.

Рыхлотами или пористостью называется крупнозернистое и неплотное строение сплава с наличием межкристаллических пустот большей или меньшей величины.

Причинами брака по усадочным раковинам и рыхлотам могут быть неправильная конструкция отливки, не обеспечивающая равномерного ее охлаждения (имеются местные скопления металла); недостаточное питание отливки жидким металлом в процессе затвердевания из-за неправильного расположения прибылей, выпоров и литников; неправильные размеры и установка холодильников (металлических вкладышей); повышенное содержание

элементов, увеличивающих усадку; чрезмерно высокая температура заливки.

Шлаковыми раковинами называются открытые или закрытые пустоты, полностью или частично заполненные шлаком.

Причина такого брака: окисленная и загрязненная шихта и загрязненные флюсы; нестойкие огнеупоры, способствующие обильному выделению шлаков; низкая температура металла и низкая его жидкотекучесть, препятствующие отделению шлака от металла в ковше и литниковой системе; неправильная литниковая система, не отделяющая шлака; разрушение фильтровальной сетки вследствие непрочности стержневой смеси или недостаточной сушки; нерациональное устройство ковшей, дающее плохое отделение шлака; небрежная очистка металла от шлака в ковше перед заливкой и небрежная (с пропуском шлака) заливка металла в формы; нераскисленный металл.

Трещинами горячими и холодными называют сквозные и несквозные разрывы или надрывы в стенках отливок. Поверхность излома в горячих трещинах, поскольку они появляются при высоких температурах, всегда окислена; в холодных трещинах поверхность излома совершенно чистая или покрыта легким цветом побежалости. Трещины обнаруживаются постукиванием, гидробурой и способом магнитной дефектоскопии.

Причинами появления горячих и холодных трещин могут быть неправильная конструкция отливки с резким переходом от толстых к тонким сечениям; острые внутренние углы в отливках; сопротивление форм и стержней нормальной усадке металла из-за чрезмерной плотности набивки; неправильно подготовленный состав формовочной и стержневой смесей и малая податливость их; неправильное расположение ребер опок или каркасов в стержнях, что препятствует усадке отливки; неправильный химический состав, т. е. повышенное содержание элементов, увеличивающих усадку или уменьшающих предел прочности при высоких температурах; неправильный режим заливки и термической обработки; заливка слишком горячим металлом и неправильный подвод металла, что ухудшает равномерное остывание отдельных частей отливки; удары при отливке литников или при транспортировке отливок, имеющих большие внутренние напряжения.

Недолив и спай. Недолив характеризуется тем, что при заливке некоторые части отливки остаются незаполненными. Спай — сквозные или поверхностные с закругленными краями потоки преждевременно застывшего металла.

Причинами такого брака являются недостаточное количество металла в ковше; низкая температура сплава при заливке и недостаточная жидкотекучесть его; утечка металла из формы вследствие неплотной сборки; недостаточная вентиляция формы и стержня, вызывающая повышенное давление газов в форме; недостаточное сечение литниковой системы; нерациональная конструкция отливки из-за наличия слишком тонких стенок.

Дефекты поверхности. На поверхности отливок из медных сплавов часто наблюдаются червеобразные или осповидные углубления, пятна и оловянно-свинцовистые выделения.

Причины образования червеобразных углублений следующие: сравнительно медленное заполнение сплавом полости формы; перегрев жидкого металла с образованием окислов, что способствует выделению окиси цинка и отложению других окислов на поверхности отливки.

Осповидные углубления образуются из-за применения при плавке чрезмерно большого количества жидкоплавких флюсов, которые попадают из ковша в форму.

Оловянистые выделения образуются вытеснением легкоплавких составляющих из основного раствора в периферийную часть отливки. Черные пятна разных размеров появляются на отливках в том случае, когда в стержневую смесь добавлено излишнее количество муки и патоки.

Ликвация, или неоднородность химического состава по сечению отливки, чаще встречается в алюминиевых сплавах, в стальном литье из-за высокой температуры заливки, недостаточного перемешивания жидкого металла перед разливкой, избытка присадок, усиливающих склонность к ней.

2. Исправление литейных дефектов в отливках

Незначительные дефекты в неответственных местах отливок исправляют. В зависимости от характера дефекта, размеров и конфигурации отливки его исправляют одним из следующих способов: заделывают замазкой, пропитывают мастикой, металлизацией, заваркой жидким металлом, ввертыванием пробок, газовой сваркой, электросваркой и термической обработкой.

Раковины на неответственной части детали заделывают бакелитовым лаком или замазкой, состоящей из графита и масла. Пористость чугуновых деталей, работающих при небольших гидравлических давлениях, устраняют погружением их в раствор хлористого аммония. Пористость отливок, работающих под более значительным давлением, устраняют запрессовыванием в поры крепкого раствора хлористого железа и затем водного раствора аммиака. Для этой цели применяют и другие вещества: сурик, бакелитовый лак, а для уплотнения отливок из медных сплавов их пропитывают концентрированным водным раствором жидкого стекла или бакелитовым лаком.

При недоливе крупных отливок иногда допускается исправление дефектного места наплавкой жидкого металла. Для этого дефектную часть тщательно очищают, обкладывают стержнями или формовочной смесью, образующими форму недоливной части, и устраивают приямок для слива металла. Вначале заливают металл для разогрева завариваемой части отливки, затем отверстие заделывают и оставляют металл в форме до остывания. Дефекты отливок в местах, испытывающих большую нагрузку, наиболее надежно исправляют газовой или электрической сваркой. Отливки термически обрабатывают, когда необходимо изменить их твердость, снять внутренние напряжения и в отдельных случаях изменить микроструктуру металла.

Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Общая характеристика сварочного производства

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений различных материалов. Сварку применяют для соединения однородных и разнородных металлов и их сплавов, металлов с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, карборундом, стеклом и др.), а также пластмасс.

Впервые сварка металлов плавлением была осуществлена в России в конце прошлого столетия. В 1882 г. русский инженер Н. Н. Бенардос использовал электрическую дугу, открытую в 1802 г. акад. В. В. Петровым, для сварки и резки металлов с применением угольного электрода. В 1888 г. другой русский инженер Н. Г. Славянов разработал способ дуговой сварки металлическим электродом.

В 1877 г. проф. Э. Томсон (США) запатентовал способ стыковой сварки сопротивлением, основанный на нагреве поверхностей контакта между заготовками при прохождении электрического тока. В 1887 г. Н. Н. Бенардос запатентовал устройство для точечной контактной сварки, в котором в качестве электродов были использованы угольные стержни.

Газовая сварка разработана во Франции. В 1895 г. химик Ле-Шателье получил ацетилено-кислородное пламя, а в 1902 г. инженеры Пикар и Фуше создали промышленные газовые горелки.

Широкое промышленное применение в нашей стране сварка получила после Октябрьской революции в годы первых пятилеток. В основном применяли ручную дуговую сварку при сооружении строительных конструкций на предприятиях металлургической и машиностроительной промышленности, а также при изготовлении деталей и узлов машин в вагоностроении, автомобилестроении, при изготовлении котлов, кранов и других изделий.

Крупным вкладом в развитие сварочной техники явилась разработка в конце 30-х годов коллективом Института Электросварки АН УССР во главе с акад. Е. О. Патонем автоматической дуговой сварки под флюсом. Этот способ имеет более высокую производительность и обеспечивает большую стабильность качества сварных соединений по сравнению с ручной дуговой сваркой.

В следующем периоде сварочная техника развивалась в направлении совершенствования ранее известных способов и разработки новых эффективных с точки зрения их технологических возможностей и производительности с применением современных источников энергии, таких как электронный луч, высокотемпературная плазма, ультразвук и др. В результате появились дуговая сварка в защитной атмосфере аргона и углекислого газа, электрошлаковая, а также автоматизированные способы контактной сварки. Разработаны и внедрены в производство сварных конструкций из специальных сталей, цветных и тугоплавких металлов и сплавов следующие способы сварки: электронно-лучевая, дуговая в вакууме, плазменной струей, ультразвуковая и др. В последнее время для сварки начали применять оптические

квантовые генераторы-лазеры. Большое внимание уделяют разработке и совершенствованию способов сварки материала в твердом состоянии без расплавления: холодной, диффузионной в вакууме, термокомпрессионной, взрывом и др.

Сварка является экономически выгодным, высокопроизводительным и в значительной степени механизированным технологическим процессом. Сварку широко применяют практически во всех отраслях машиностроения и строительной промышленности. Сварку как один из основных технологических процессов используют в судостроении при изготовлении цельносварных корпусов судов, при строительстве домов, резервуаров для хранения жидкости и газов, нефте- и газопроводов; в транспортном машиностроении при изготовлении цистерн, цельнометаллических вагонов; в энергомашиностроении при производстве котлов, паровых и гидравлических турбин и многих других машин и конструкций.

Внедрение сварки в технологический процесс изготовления новых изделий часто связано с заменой литых и кованных конструкций и деталей машин на прокатно-сварные или комбинированные, включающие литые, кованные и штампованные элементы, соединенные сваркой. Такая замена является экономически целесообразной, особенно, если конструкция имеет сложную геометрическую форму, а также при единичном и мелкосерийном производстве. Применение сварки в этих случаях приводит к экономии металла, сокращению трудоемкости, снижению себестоимости и улучшению условий труда.

Программа промышленного строительства в нашей стране предусматривает дальнейшее развитие сварочной техники и ее широкое внедрение во все отрасли машиностроения. Особое внимание будет уделено повышению уровня комплексной автоматизации и механизации сварочного производства, увеличению производительности труда и обеспечению высокого качества сварных соединений.

2. Физические основы получения сварного соединения

Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании прочных связей между атомами или молекулами на поверхности соединяемых заготовок. Для получения сварного соединения требуется сблизить соединяемые поверхности на расстоянии, в пределах которых начинают действовать межатомные силы сцепления, и создать необходимые для возникновения межатомных или межмолекулярных связей условия: определенные температуру, время контакта и качество поверхности.

Поэтому требуется введение определенной энергии для активации состояния поверхности с целью ослабления связей поверхностных атомов с телом и разрыва связей с атомами внешней среды. Эта энергия сообщается в виде теплоты, упругоэластической деформации и электронного, ионного и других видов облучения.

чения. В результате поверхностные атомы металлов, металлов и кристаллических неметаллических материалов образуют общие для соединяемых заготовок кристаллические решетки, а на поверхности пластмасс происходит объединение частей молекулярных цепей.

Насчитывается несколько десятков способов сварки и их разновидностей. Для сближения поверхностей соединяемых заготовок и создания необходимых условий получения соединений между ними существующие способы сварки предусматривают тепловое или механическое воздействие, а в ряде способов их совместное действие на материал в зоне соединения. Способы сварки могут быть классифицированы либо по методу объединения поверхностей соединяемых заготовок, либо по виду применяемой энергии. По первому признаку их можно разделить на способы *сварки плавлением* и *способы сварки давлением*.

При сварке плавлением происходит расплавление кромок свариваемых заготовок, а в случае необходимости — также присадного материала для дополнительного заполнения зазора между ними. Повышенная подвижность атомов жидких материалов, способность их к перемешиванию и смачиванию твердых поверхностей без дополнительных внешних воздействий обуславливают самопроизвольное объединение расплавленных частей соединяемых заготовок. В результате образуется общая сварочная ванна расплавленного материала. После затвердевания сварочной ванны образуется соединение в виде сварного шва. К способам сварки плавлением относятся: *дуговая сварка* (ручная покрытым электродом, автоматическая под флюсом, газозлектрическая и дуговой плазмой), *электрошлаковая*, *электронно-лучевая* и *газовая*.

При сварке давлением заготовки соединяются путем совместной пластической деформации соединяемых поверхностей. Пластическая деформация осуществляется за счет приложения внешнего усилия, при этом материал в зоне соединения, как правило, нагревают для снижения сопротивления деформации. В процессе деформации происходит смятие неровностей и течение материала вдоль соединяемых поверхностей. Последнее приводит к разрушению окисных пленок и частичному их удалению из зоны контакта. В результате обеспечиваются плотный контакт между заготовками и условия для возникновения межатомных связей. Таким образом, получают прочное соединение заготовок. К способам сварки давлением относятся *контактная*, *газопрессовая*, *диффузионная*, *термокомпрессорная*, *ультразвуковая*, *взрывом*, *трением* и *холодная*.

По виду применяемой энергии сварка может быть *электрической* (все виды дуговой сварки, электрошлаковая, лучевые, контактная и др.), *химической* (газовая) и *механической* (трением и холодной).

В разделе сварочного производства рассмотрены также резка металлов, нанесение покрытий, пайка мягкими и твердыми припоями.

Способность материалов образовывать сварные соединения называется *свариваемостью*. Свариваемость материалов оценивается степенью соответствия свойств сварного соединения одноименным свойствам основного металла и их склонностью к образованию таких сварочных дефектов, как трещины, поры, шлаковые включения и др. По признаку свариваемости материалы разделяют на хорошо, удовлетворительно и плохо сваривающиеся.

Многие разнородные материалы, особенно металлы с неметаллами, не вступают во взаимодействие друг с другом. Такие материалы относятся к числу практически несваривающихся.

Свариваемость материалов в основном определяется типом и свойством структуры, возникающей в сварном соединении при сварке. При сварке однородных металлов и сплавов в месте соединения, как правило, образуется структура, идентичная или близкая структуре соединяемых заготовок. Этому случаю соответствует хорошая свариваемость материалов. При сварке разнородных материалов в зависимости от различия их физико-химических свойств в месте соединения образуется твердый раствор с решеткой одного из материалов либо химическое или интерметаллидное соединение с решеткой, резко отличающейся от решеток исходных материалов. Механические и физические свойства твердых растворов, особенно химических или интерметаллидных соединений, например твердость, пластичность, электропроводность и другие свойства, могут значительно отличаться от свойств соединяемых материалов. Различие свойств также вызывается образованием закалочных структур в зоне сварного соединения однородных и разнородных материалов вследствие локального высокотемпературного сварочного нагрева и быстрого охлаждения. Наличие хрупких и твердых структур в сварном соединении в условиях действия сварочных напряжений может привести к возникновению трещин в шве или околошовной зоне. В последнем случае материалы относятся к категории удовлетворительно или плохо сваривающихся.

По мере совершенствования технологии сварки и разработки новых способов сварки с использованием интенсивных высокотемпературных источников теплоты, высоких давлений, глубокого вакуума, промежуточных сред и материалов и т. п. удается получать работоспособные в отношении заданных свойств соединения плохо сваривающихся материалов. При этом также возможна сварка некоторых сочетаний материалов, ранее считавшихся практически несваривающимися.

1. Дуговая сварка. Сущность процесса

Источником теплоты при дуговой сварке является электрическая дуга, которая горит между двумя электродами, при этом часто один электрод представляет собой свариваемую заготовку. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие схемы дуговой сварки: *сварка неплавящимся* (угольным или вольфрамовым) электродом 1 дугой прямого действия 2 (рис. V.1, а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла 3 либо с при-

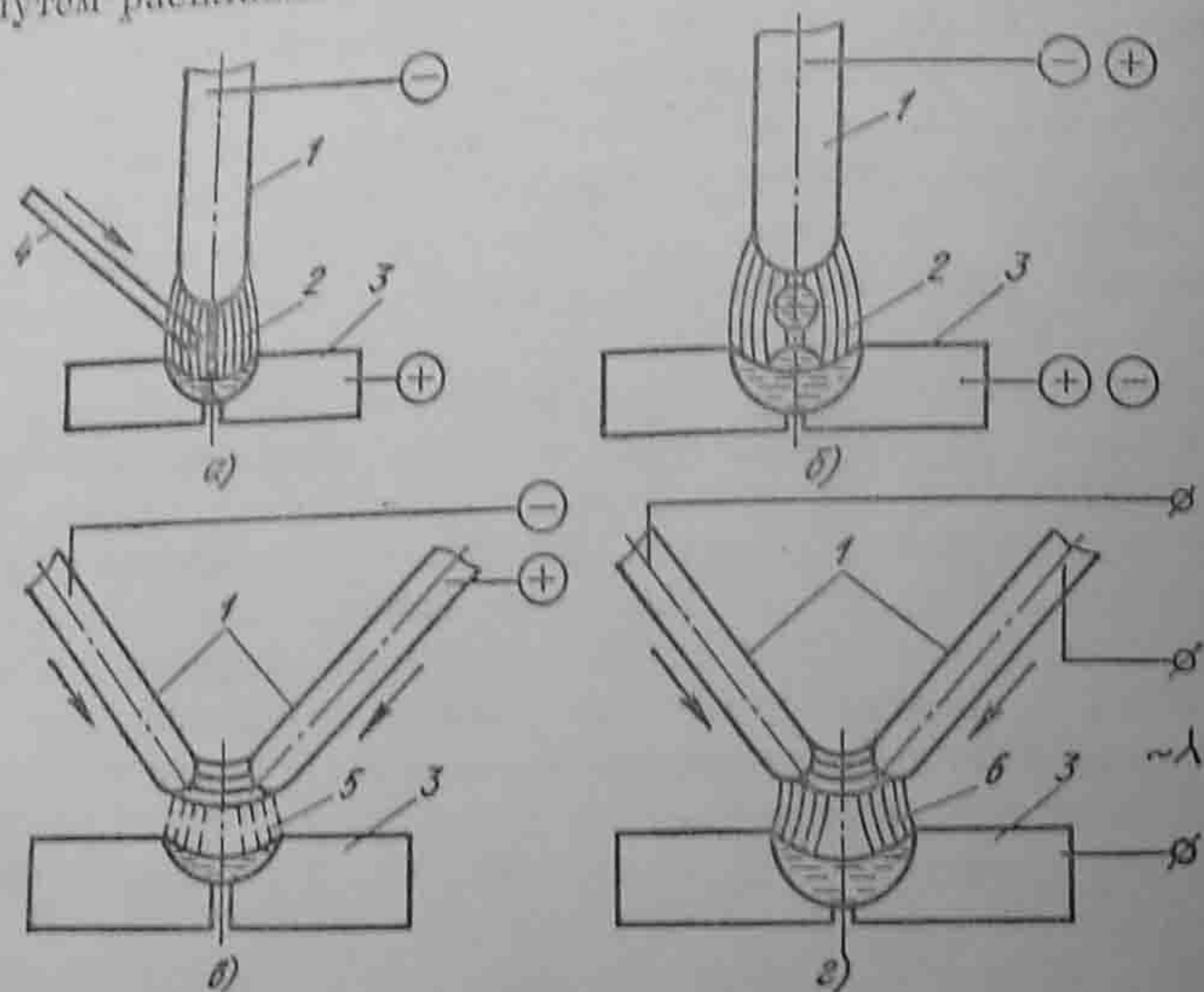


Рис. V.1. Схемы электродуговой сварки

менением присадочного металла 4; *сварка плавящимся* (металлическим) электродом 1 дугой прямого действия 2 (рис. V.1, б) с одновременным расплавлением основного металла 3 и электрода, который поставляет сварочную ванну жидким металлом; *сварка косвенной дугой* 5 (рис. V.2, в), горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами 1; при этом основной металл 3 нагревается и расплавляется теплотой столба дуги; *сварка трехфазной дугой* 6 (рис. V.1, г), при которой дуга горит между электродами 1, а также между каждым электродом и основным металлом 3.

При применении постоянного тока различают *сварку на прямой и обратной полярностях*. В первом случае электрод подключается к отрицательному полюсу и служит катодом, во втором — к положительному и служит анодом.

2. Понятие об электрической дуге и ее свойствах

Дуга — мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Процесс зажигания дуги в большинстве случаев включает три этапа: короткое замыкание электрода на заготовку, отвод электрода на расстояние 3—6 мм и возникновение устойчивого дугового разряда. Короткое замыкание (рис. V.2, а) выполняется для разогрева торца электрода 1 и заготовки 2 в зоне контакта с электродом. После отвода электрода (рис. V.2, б) с его разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается эмиссия электронов 3. Столкновение быстро движущихся по направлению к аноду электронов

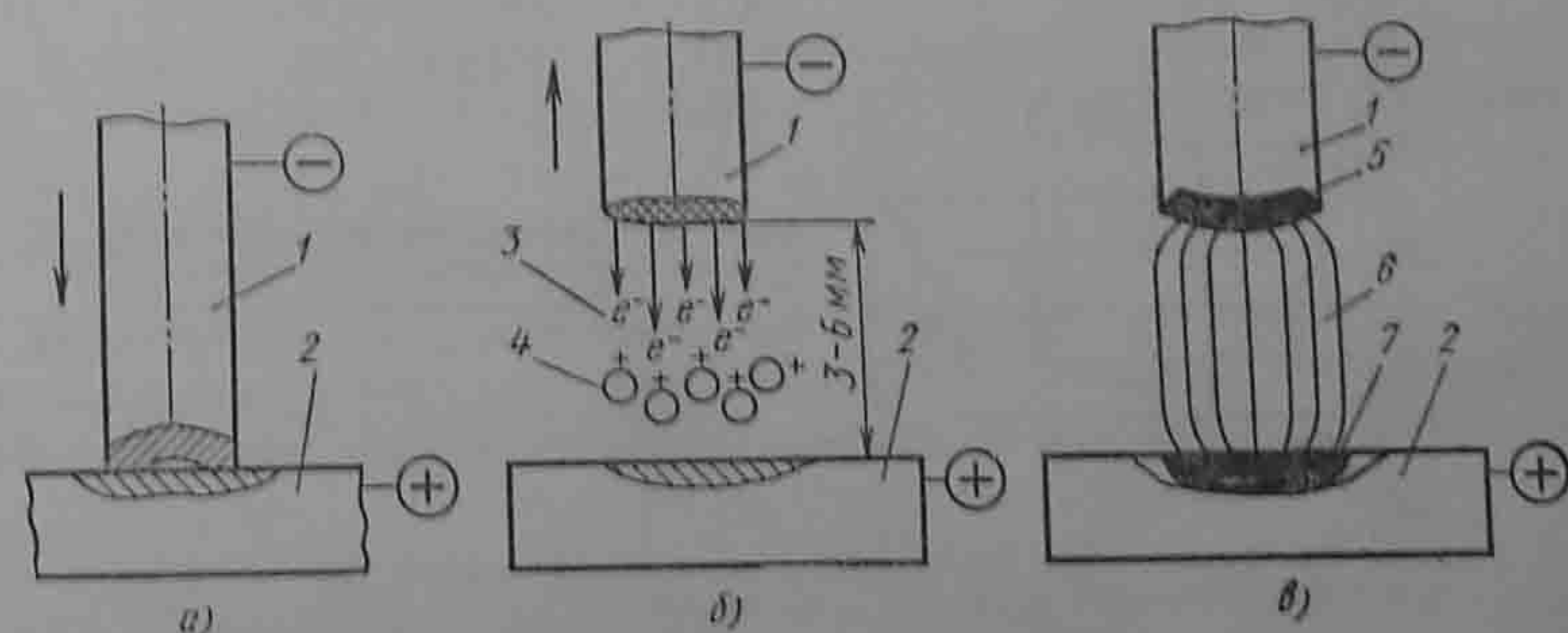


Рис. V.2. Схема процесса зажигания дуги

с молекулами газов и паров металла приводит к их ионизации 4. В результате дуговой промежуток становится электропроводным и через него начинается разряд электричества. Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда (рис. V.2, в).

Возможно зажигание дуги без короткого замыкания и отвода электрода с помощью высокочастотного электрического разряда через дуговой промежуток, обеспечивающего его первоначальную ионизацию. Для этого в сварочную цепь на короткое время подключается источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения (осциллятор). Этот способ применяют для зажигания дуги при сварке неплавящимся электродом.

Электрическая дуга — концентрированный источник теплоты с очень высокой температурой. Температура столба дуги 6 достигает 6000—7000°С, а температура катодного 5 и анодного 7 пятен стальных электродов — соответственно 2400 и 2600°С.

Полная тепловая мощность дуги (в Дж/с)

$$Q = KI_{\text{св}}U_{\text{д}}$$

где K — коэффициент несинусоидальности напряжения и тока (для постоянного тока равен единице, для переменного тока $0,7-0,97$); $I_{св}$ — сварочный ток, А; U_d — напряжение дуги, В.

Однако не вся мощность дуги полностью расходуется на нагрев и расплавление электрода и основного металла, часть ее теряется в результате теплоотдачи в окружающую среду. Часть мощности дуги, расходуемая на нагрев заготовки, называется эффективной тепловой мощностью сварочной дуги (в Дж/с):

$$q = \eta Q,$$

где η — к. п. д. дуги, представляющий отношение эффективной мощности дуги к полной; величина η зависит от способа сварки, вида и состава сварочных материалов (для автоматической сварки под флюсом, электрошлаковой, ручной дуговой покрытым электродом и газозащитной сварки среднее значение η соответственно равно $0,9; 0,7; 0,8$ и $0,6$).

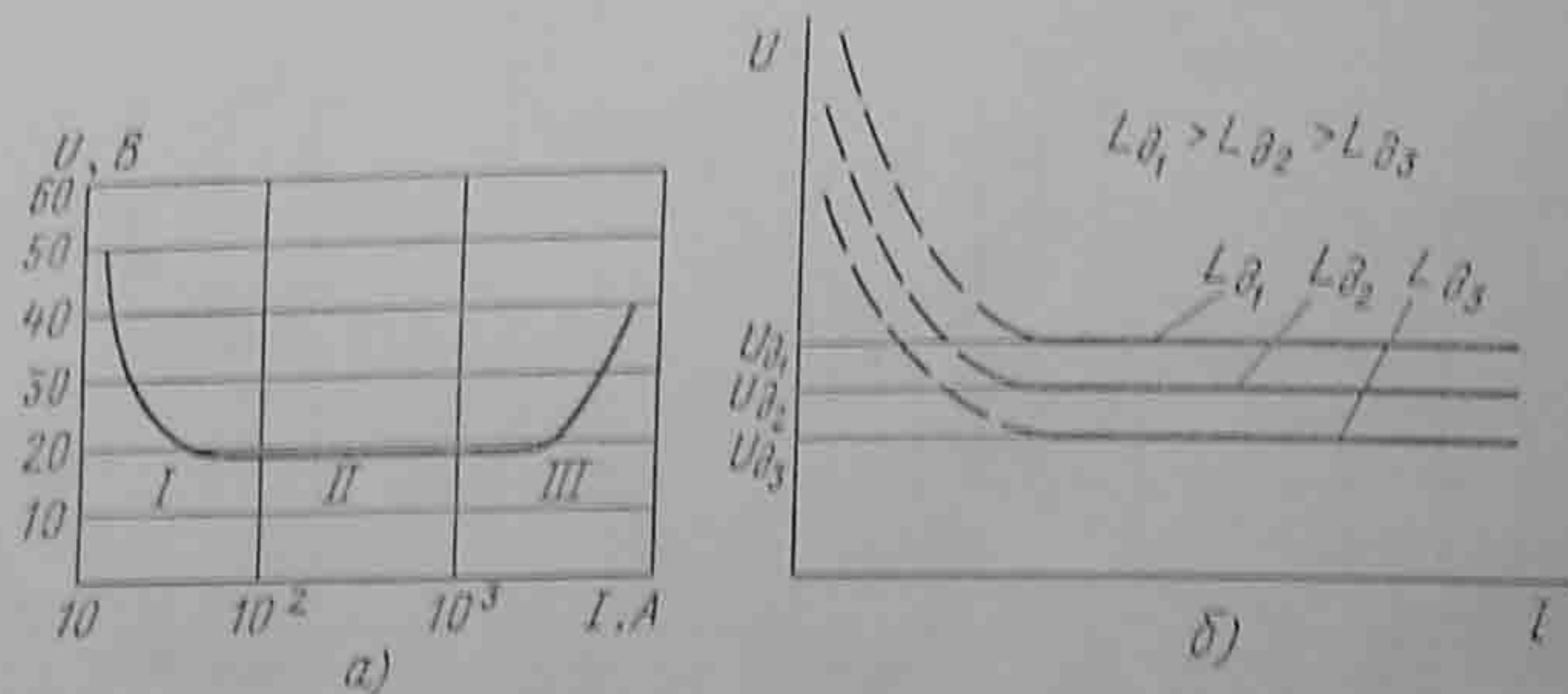


Рис. V.3. Статическая вольт-амперная характеристика дуги (а) и зависимость напряжения дуги U_d от ее длины L_d (б)

менение. В последнем случае для поддержания горения дуги необходимо постоянное включение в сварочную цепь осциллятора.

Каждому участку характеристики дуги соответствует определенный характер переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну: I и II — крупнокапельный, III — мелкокапельный или струйный.

У дуги с жесткой характеристикой напряжение U_d пропорционально ее длине L_d :

$$U_d = \alpha + \beta L_d,$$

где α и β — опытные коэффициенты, зависящие от рода металла и вида газа в дуговом промежутке и других факторов (для стальных электродов $\alpha = 10$ В; $\beta = 2$ В/мм).

Из приведенной зависимости следует, что для сохранения напряжения дуги неизменным необходимо длину дуги поддерживать постоянной (рис. V.3, б).

В дальнейшем рассматривается главным образом дуга с жесткой характеристикой как наиболее распространенная при сварке.

3. Источники сварочного тока

Источники тока для питания сварочной дуги должны иметь специальную внешнюю характеристику. Внешней характеристикой источника называется зависимость напряжения на его выход-

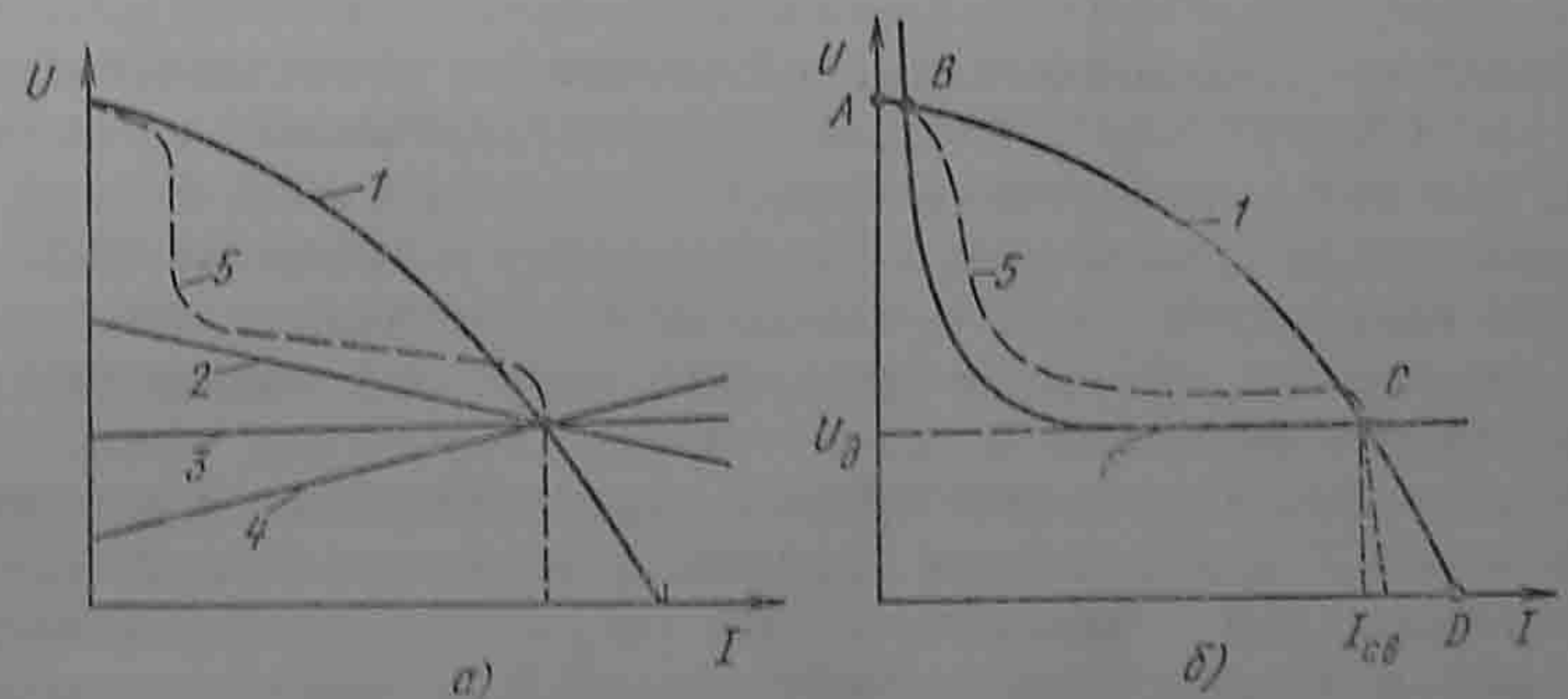


Рис. V.4. Внешние характеристики источников сварочного тока (а) и соотношение характеристик дуги и падающей характеристики источника тока при сварке (б)

ных клеммах от тока в электрической цепи. Внешние характеристики могут быть следующих основных видов: падающая 1 , пологопадающая 2 , жесткая 3 и возрастающая 4 (рис. V.4, а). Источник тока выбирают в зависимости от вольт-амперной характеристики дуги, соответствующей принятому способу сварки.

Для питания дуги с жесткой характеристикой применяют источники с падающей или пологопадающей внешней характеристикой. Режим горения дуги определяется точкой пересечения характеристик дуги b и источника тока I (рис. V.4, б). Точка C

соответствует режиму устойчивого горения дуги. Последнее определяется тем, что после случайного отклонения режима горения дуги он восстанавливается. Случайное увеличение тока, соответствующего точке *C*, приведет к уменьшению напряжения источника питания. После окончания действия случайной причины изменения тока последний уменьшается, т. е. восстанавливается режим устойчивого горения дуги. При случайном уменьшении тока все параметры изменяются в обратном порядке и в конечном итоге также происходит восстановление устойчивого режима горения дуги. Точка *B* на том же рисунке соответствует неустойчивому горению дуги. При изменении соответствующего ей тока дуга либо гаснет, либо ток дуги начинает возрастать до тех пор, пока она достигнет режима устойчивого горения. Характерными точками внешней характеристики источника являются точки *A* и *D*. Точка *A* соответствует режиму холостого хода в работе источника тока в период, когда дуга не горит и сварочная цепь разомкнута. Режим холостого хода характеризуется повышенным напряжением (60—80 В). Точка *D* соответствует режиму короткого замыкания, который имеет место при зажатии дуги и ее замыкании каплями жидкого электродного металла. Короткое замыкание характеризуется малым напряжением, стремящимся к нулю, и повышенным током, который не вызывает опасного перегрева токоподводящих проводов и источника тока.

Источники сварочного тока с падающей характеристикой необходимы для облегчения зажигания дуги за счет повышенного напряжения холостого хода, обеспечения устойчивого горения дуги и практически постоянной проплавляющей способности дуги, так как колебания ее длины и напряжения (особенно значительные при ручной сварке) не приводят к значительным изменениям сварочного тока, а также для ограничения тока короткого замыкания, чтобы не допустить перегрева токоподводящих проводов и источников тока.

Оптимальным с точки зрения удовлетворения приведенных требований будет источник тока с идеализированной внешней характеристикой 5 (рис. V.4). Уже разработаны первые образцы источников с характеристикой, близкой к идеализированной, на основе применения полупроводниковых тиристорных схем.

Источники сварочного тока с жесткой и возрастающей внешними характеристиками применяют для сварки плавящимся электродом в атмосфере защитных газов. Дуга в этом случае имеет возрастающую характеристику, поэтому для обеспечения устойчивости ее горения необходимы источники тока с такими характеристиками.

Устойчивость процесса сварки во многом зависит от динамических свойств источников питания дуги. Динамические свойства определяются временем восстановления напряжения холостого хода после короткого замыкания и в основном связаны с электромагнитной инерционностью источника тока: чем быстрее вос-

станавливается напряжение, тем лучше динамические свойства источника питания.

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и источники постоянного тока (сварочные генераторы, селеновые и кремниевые выпрямители). Источники переменного тока более распространены, чем источники постоянного тока, так как обладают рядом технико-экономических преимуществ по сравнению с последними. Сварочные трансформаторы проще в эксплуатации, значительно долговечнее и обладают более высоким к. п. д., чем к. п. д. генераторов постоянного тока. Однако в некоторых случаях (сварка на малых токах покрытыми электродами и под флюсом) при питании переменным током дуга горит неустойчиво, так как через каждые 0,01 с напряжение и ток дуги проходят через нулевые значения, что приводит к временной деионизации дугового промежутка. Постоянный ток предпочтителен в технологическом отношении: при его применении повышается устойчивость горения дуги, улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях, появляется возможность вести сварку на прямой и обратной полярностях и т. д. Последнее влечет за собой более высокой температуры анода позволяет проводить сварку сварочными материалами с тугоплавкими покрытиями и флюсами. Сопоставление преимуществ и недостатков источников тока дает возможность правильно выбрать тип источника для сварки в конкретных условиях производства.

Сварочные трансформаторы. Эти трансформаторы, как правило, имеют падающую внешнюю характеристику и используются для дуговой ручной сварки и автоматической сварки под флюсом. Трансформаторы с жесткой характеристикой применяют для электрошлаковой сварки. Наиболее простую схему имеют сварочные трансформаторы с отдельным дросселем (рис. V.5, а), состоящие из двух отдельных частей: понижающего трансформатора 1 и дросселя 2 (переменного индуктивного сопротивления), включенного последовательно в сварочную цепь (тип СТЭ).

Трансформатор снижает напряжение сети до напряжения холостого хода (60—80 В), а дроссель, обладающий повышенным индуктивным сопротивлением, служит для получения падающей внешней характеристики (рис. V.5, б). При прохождении переменного тока через обмотку дросселя 4 (рис. V.5, а) и ней возбуждаются электродвижущие силы самоиндукции, направленные противоположно основному напряжению. В результате падения напряжения на дросселе источник сварочного тока получает падающую внешнюю характеристику.

Дроссель также служит для плавного регулирования сварочного тока путем изменения воздушного зазора 3 в его сердечнике. Так, например, с увеличением зазора индуктивное сопротивление дросселя уменьшается, а сварочный ток увеличивается (рис. V.5, б, I — III).

Подобный принцип действия имеют сварочные трансформаторы с дросселем, конструктивно объединенным в одно целое с понижающим трансформатором (типов СТН, ТСД и СТ).

Широко применяют трансформаторы с увеличенным магнитным рассеиванием и подвижной вторичной обмоткой (типов ТС и ТД). В этих трансформаторах (рис. V.5, в) первичная 6 и вторичная 5 обмотки раздвинуты относительно друг друга, что обуславливает их повышенное индуктивное сопротивление вследствие появления магнитных потоков рассеяния.

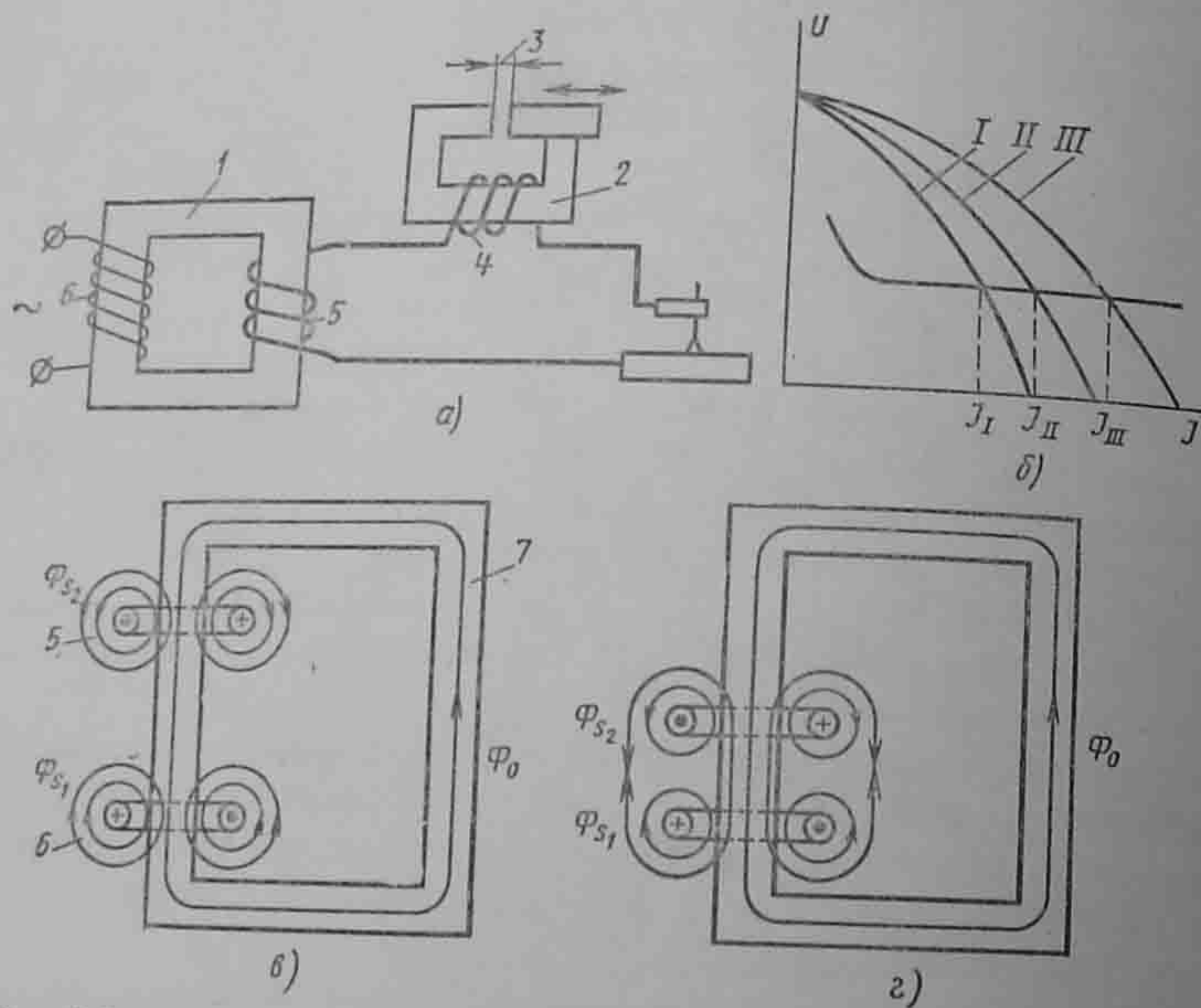


Рис. V.5. Схемы сварочных трансформаторов: а — типа СТЭ; б — внешние характеристики трансформатора СТЭ; в, г — типа ТС и ТД

При работе трансформатора (рис. V.5, в) основной магнитный поток Φ_0 , создаваемый первичной и вторичной обмотками, замыкается через железный сердечник 7. Часть магнитного потока ответвляется и замыкается вокруг обмоток через воздушное пространство, образуя потоки рассеяния Φ_{s1} и Φ_{s2} . Потоки рассеяния индуктируют в обмотках электродвижущую силу, противоположную основному напряжению. С увеличением сварочного тока увеличиваются потоки рассеяния и, следовательно, возрастает индуктивное сопротивление вторичной обмотки, что и создает внешнюю падающую характеристику трансформатора.

Для плавного регулирования сварочного тока изменяют расстояние между обмотками трансформатора. При сближении обмоток (рис. V.5, г) происходит частичное взаимное уничтожение противоположно направленных потоков рассеяния Φ_{s1} и Φ_{s2} ,

что уменьшает индуктивное сопротивление вторичной обмотки и увеличивает сварочный ток. Минимальный сварочный ток соответствует наибольшему расстоянию между обмотками и максимальным потоком рассеяния (рис. V.5, в).

Для сварки трехфазной дугой применяют специальные трансформаторы с падающей внешней характеристикой, собранные на основе двух однофазных (типов ТТС и ТТСД); для электрошлаковой сварки — однофазные и трехфазные трансформаторы с жесткой характеристикой (типов ТШП и ТШС).

Сварочные генераторы. Эти генераторы являются электрическими машинами постоянного тока, которые в зависимости от конструктивных особенностей могут иметь различные внешние характеристики (ГОСТ 10594—74). Падающая внешняя характеристика генераторов обеспечивается специальной схемой включения обмоток возбуждения либо особой конструкцией полюсов статора и якоря. На рис. V.6 дана схема сварочного генератора с самовозбуждением с параллельной намагничивающей 2 и последовательной размагничивающей 7 обмотками возбуждения (рис.

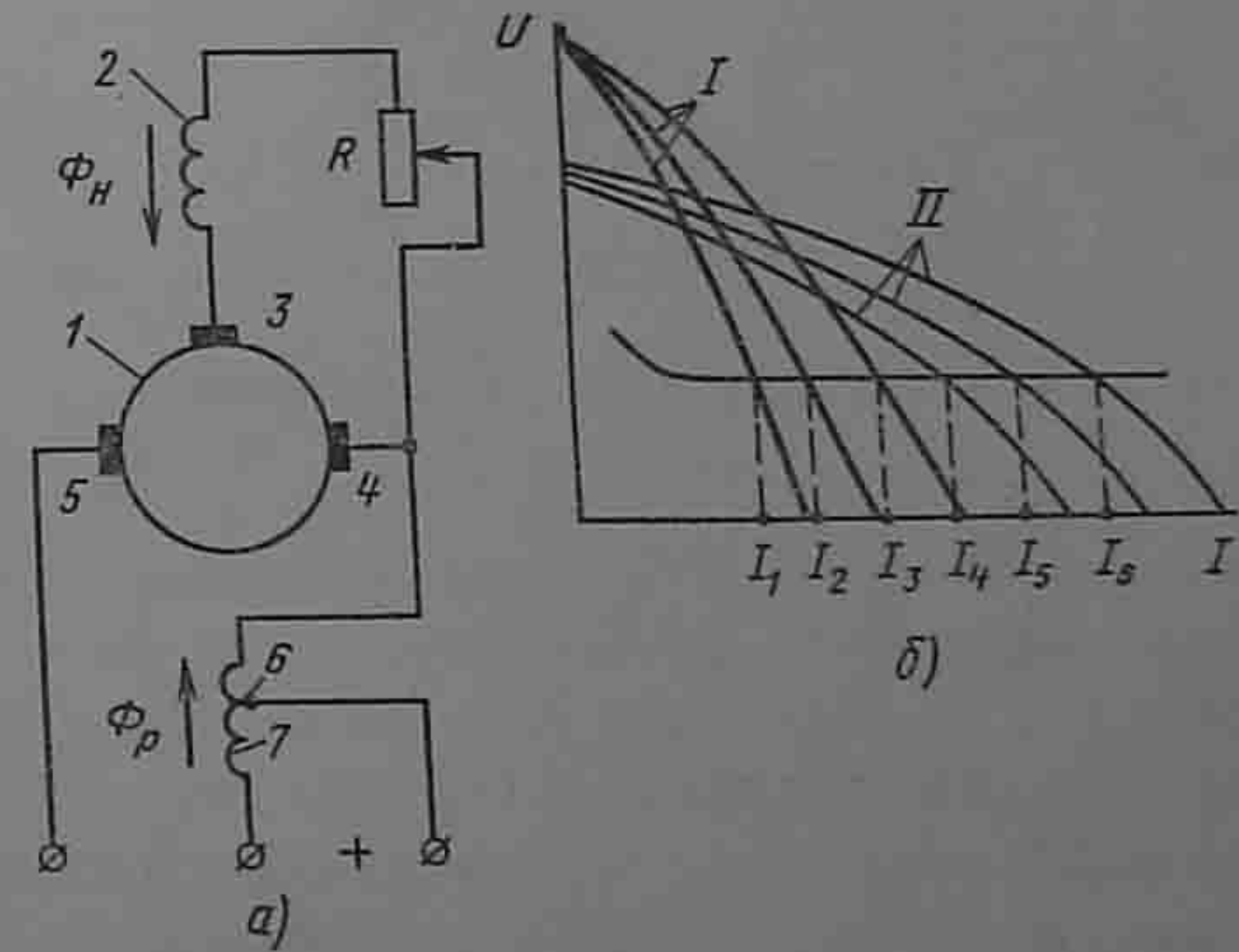


Рис. V.6. Схема сварочного генератора с самовозбуждением, с параллельной намагничивающей и последовательной размагничивающей обмотками возбуждения (а); внешняя характеристика генератора (б)

V.6, а: 1 — якорь; 2 — дополнительная и 4 и 5 — основные щетки). Эти обмотки генератора включены таким образом, что создаваемые ими магнитные потоки направлены навстречу друг другу. При этом намагничивающий поток Φ_n не зависит от нагрузки, а размагничивающий поток Φ_p возрастает по мере увеличения сварочного тока. В результате взаимодействия магнитных потоков генератор имеет падающую внешнюю характеристику. Сварочный ток изменяют следующими способами: ступенчатого регулирования (рис. V.6, б — ступени I и II — путем секционирования 6 последовательной обмотки 7 либо смещением щеток по коллектору); плавного регулирования в пределах одной ступени (рис. V.6, б; $I_1 — I_3$) — за счет введения реостата в цепь параллельной намагничивающей обмотки 2.

Пологую внешнюю характеристику источника питания сварочной дуги можно получить, применяя генератор с жесткой характеристикой в совокупности с балластным реостатом, включенным последовательно со сварочной дугой. Такой способ получения пологой характеристики использован в многоступенчатой схеме питания нескольких сварочных постов от одного мощного генератора.

Для сварки плавящимся электродом в атмосфере защитных газов используют генераторы с жесткой и возрастающей внешней характеристиками (типов ПСГ и ПСУ).

Сварочные выпрямители (ГОСТ 10594—74, рис. V.7) состоят из трехфазного понижающего трансформатора 1, блока селеновых или кремниевых выпрямителей 2 и дросселя 3 (типов ВСС, ВХС и ВД).

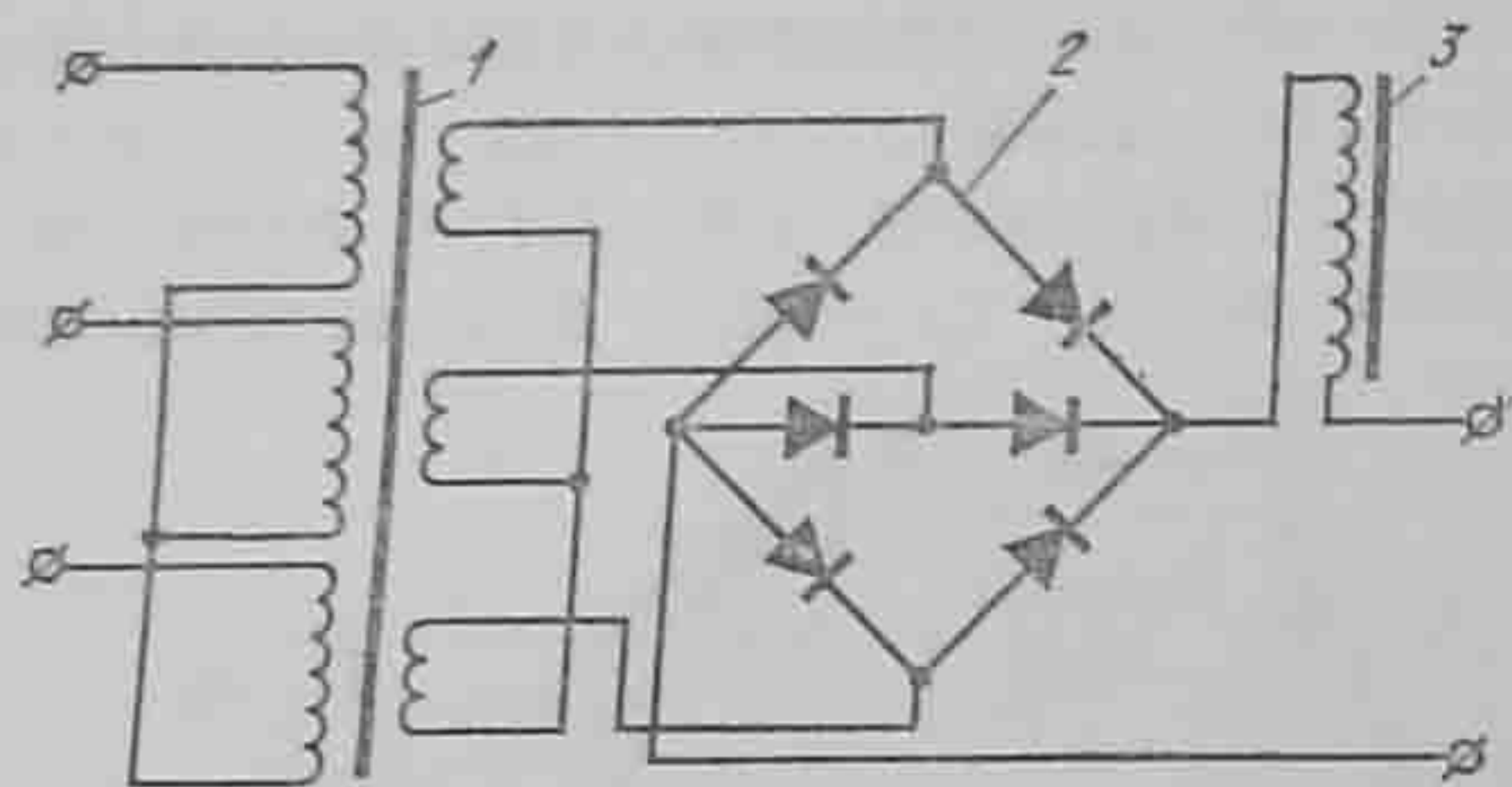


Рис. V.7. Схема трехфазного выпрямителя

Выпрямители имеют трехфазную мостовую схему выпрямления, обеспечивающую практическое постоянство выпрямленного напряжения. Дроссель служит для получения падающей внешней характеристики. По сравнению с генераторами постоянного тока выпрямители имеют высокие динамические характеристики

из-за меньшей электромагнитной инерции. Они обеспечивают высокую стабильность горения дуги, особенно на малых токах. Выпрямители просты и надежны в эксплуатации вследствие отсутствия вращающихся частей. Для нормальной работы выпрямителей требуется интенсивное охлаждение, так как полупроводники нагреваются при работе. Поэтому выпрямители снабжены вентиляторами. Нагрев полупроводников иногда ограничивает мощность выпрямителей.

Сварочные выпрямители с плогопадающей и жесткой внешней характеристиками (типов ВС, ВСН и ИПП) применяют для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов.

4. Ручная дуговая сварка

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают в дугу и перемещают вдоль заготовки. Для удержания электрода и подвода к нему тока сварщик использует электрододержатель (рис. V.8, а). Сварщик защищает лицо от светового и ультрафиолетового излучений дуги предохранительным щитком или маской с темным стеклом (рис. V.8, б, в), а тело и руки — брезентовой спецодеждой и рукавицами. Рабочее место сварщика — специальная сварочная кабина (рис. V.8, г).

Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом показана на рис. V.9. Дуга 8 горит между стержнем электрода 7 и основным металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя газовую защитную атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. Металлическая

и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает, и образуется сварной шов 3. Жидкий шлак по мере остывания образует на поверхности шва твердую шлаковую корку 2.

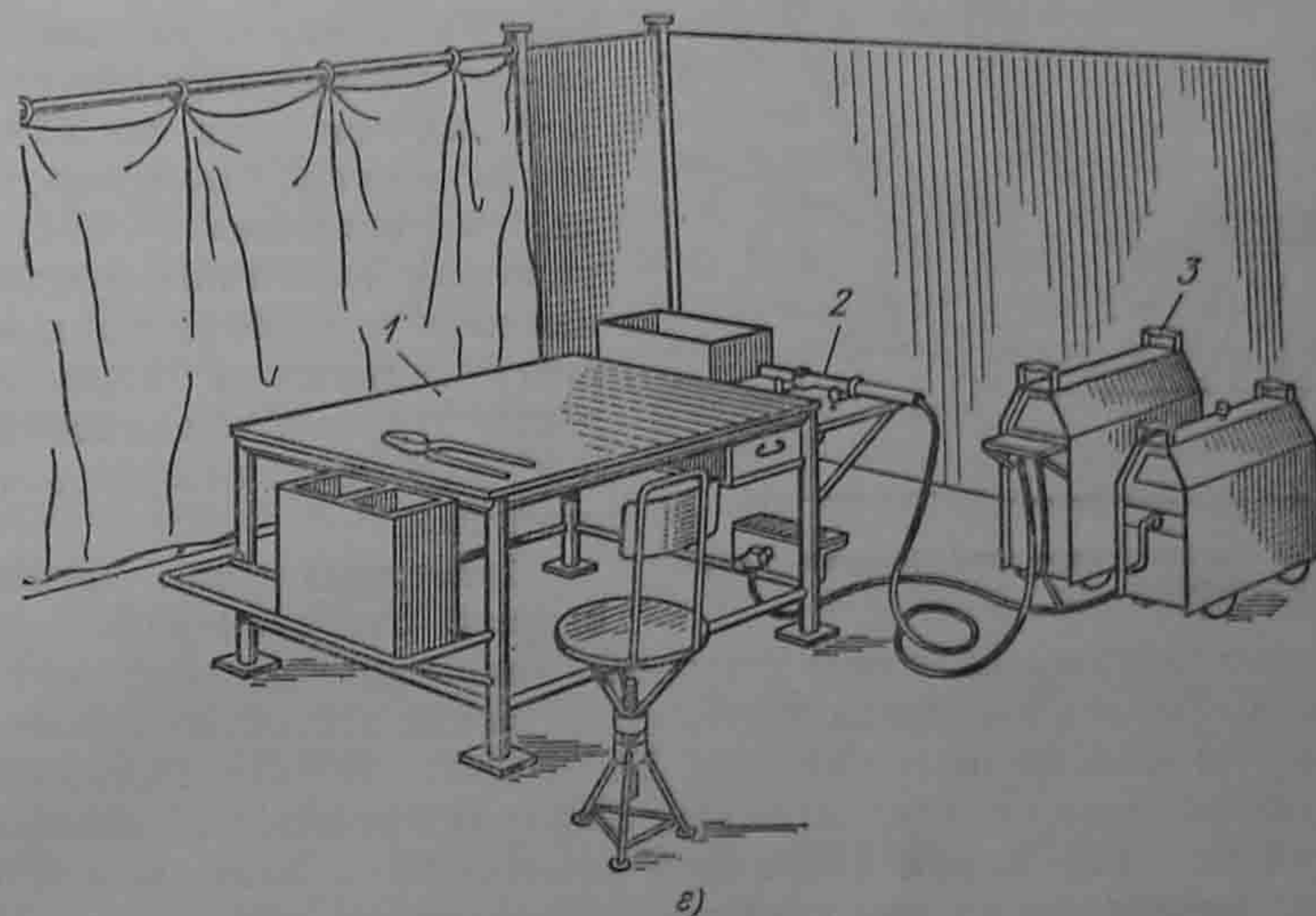
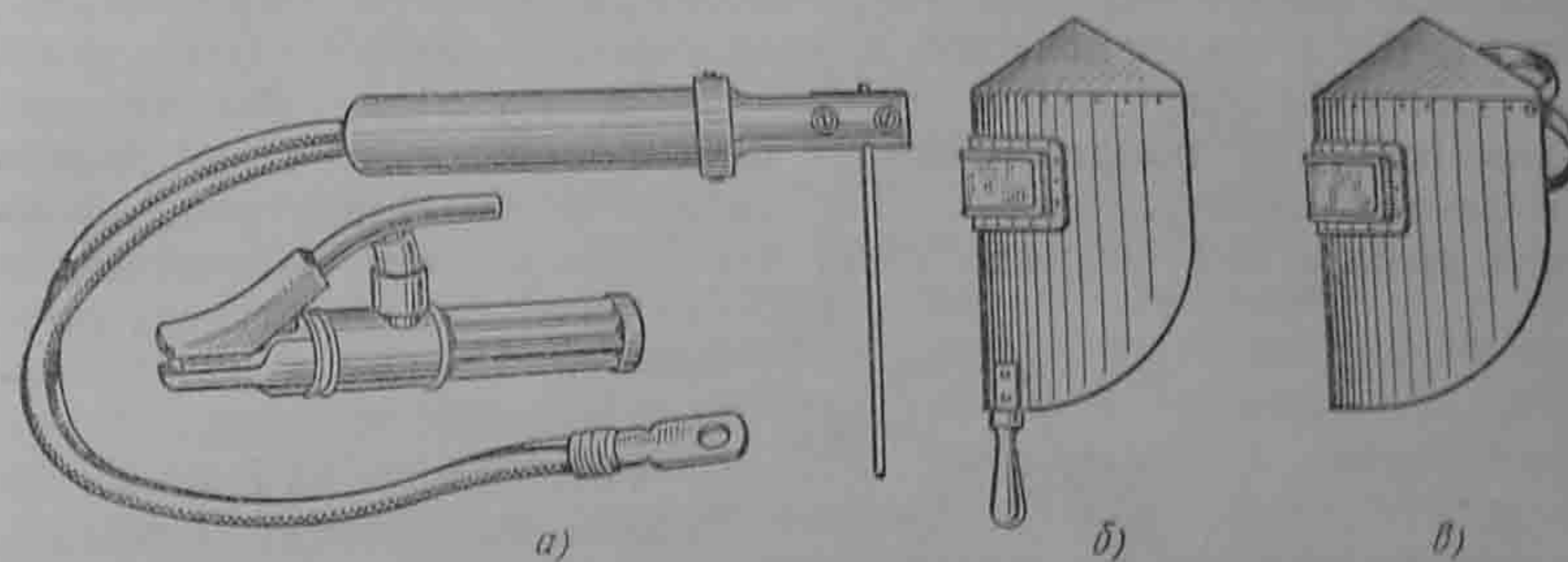


Рис. V.8. Электрододержатели (а), предохранительный щиток (б), маска (в) и рабочее место для ручной дуговой сварки (г):

1 — стол, 2 — электрододержатель; 3 — сварочный трансформатор

В перегретой сварочной ванне протекает ряд металлургических процессов: испарение или окисление (выгорание) некоторых легирующих элементов, например углерода, марганца, кремния, хрома и др., и насыщение расплавленного металла кислородом, азотом и водородом из окружающего воздуха. В результате изменяется состав сварного шва по сравнению с электродным и основным металлом, а также понижаются его механические свойства, особенно вследствие насыщения шва кислородом. Для

обеспечения заданных состава и свойств шва в покрытие вводят легирующие элементы и элементы-раскислители.

Кристаллизация сварного шва начинается от границ оплавленного основного металла и протекает за счет роста столбчатых кристаллитов к центру шва. При этом кристаллиты, как правило, изгибаются и вытягиваются в направлении сварки. Легкоплавкие составляющие сплава, вредные примеси и неметаллические включения при кристаллизации шва располагаются по границам между кристаллитами. Это является причиной неоднородности химического состава шва, что снижает его механические свойства и в отдельных случаях приводит к образованию горячих трещин.

Рост кристаллитов в шве происходит с достаточно большой скоростью, приближающейся в центре шва к скорости сварки. При высоких скоростях сварки в швах некоторых сплавов возможно образование газовых пор, так как выделившиеся газы не успевают выйти из сварочной ванны в атмосферу. Поры в швах нарушают герметичность сварных соединений и снижают их механические свойства.

Электроды для ручной сварки. Эти электроды пред-

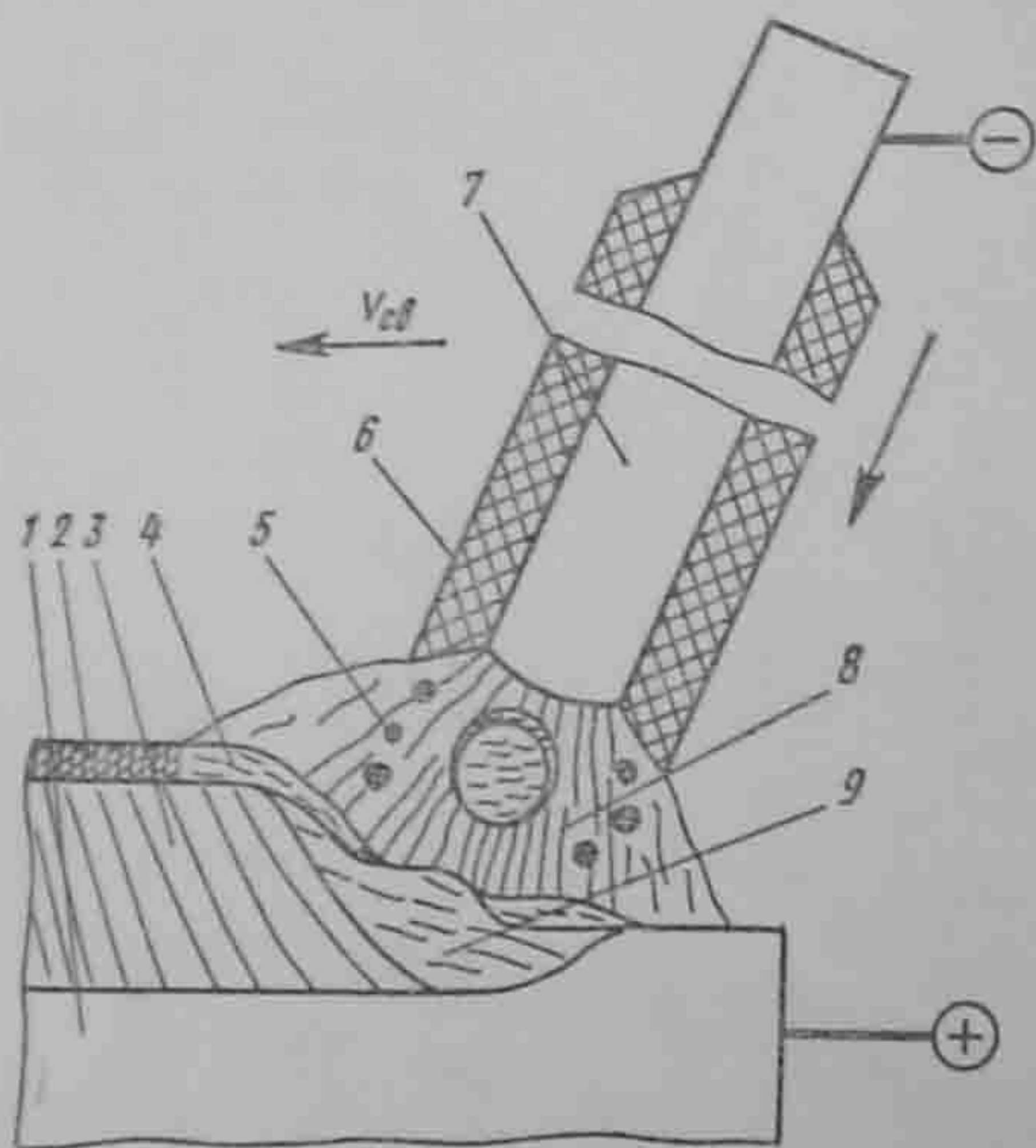


Рис. V.9. Схема сварки металлическим покрытым электродом

ставляют собой проволочные стержни с нанесенными на них покрытиями. Стержень электрода изготовляют из специальной сварочной проволоки повышенного качества. ГОСТ 2246—70 на стальную сварочную проволоку предусматривает 56 марок проволоки диаметром 0,3—12 мм. Все марки сварочной проволоки в зависимости от состава разделяют на три группы: углеродистую (Св-08; Св-10ГС и др.), легированную (Св-18ХМА; Св-10Х5М и др.) и высоколегированную (Св-06Х19Н10М5Т; Св-07Х25Н13 и др.). В марках проволоки «Св» обозначает слово «сварочная».

Сварочную проволоку используют для изготовления стержней покрытых электродов, а также при автоматической дуговой сварке под флюсом, сварке плавящимся электродом в среде защитных газов и как присадочный материал при сварке неплавящимся электродом и газовой сварке.

Электроды классифицируют по следующим признакам: типу покрытия, химическому составу жидкого шлака, назначению.

По типу покрытия электроды подразделяют на электроды со стабилизирующим, защитным или легирующим покры-

тиями (качественными). Стабилизирующее покрытие состоит из мела (CaCO_3). Входящий в него кальций облегчает ионизацию дуги и способствует устойчивому ее горению. В состав качественного покрытия электродов входят стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие составляющие.

Стабилизирующие составляющие увеличивают степень ионизации дугового промежутка и повышают стабильность горения дуги. В качестве стабилизирующих веществ применяют соединения калия, натрия, кальция, бария (силикаты натрия и калия, поташ, мел, мрамор). Газообразующие составляющие образуют при нагреве защитные газы вокруг дуги. К газообразующим относятся органические вещества и карбонаты (крахмал, оксиглюкоза, мрамор, магнезит). Шлакообразующие составляющие при расплавлении образуют жидкий шлак на поверхности сварочной ванны. Шлак служит для защиты расплавленного металла от воздействия воздуха, а также является средой, через которую осуществляется раскисление и легирование наплавленного металла. Для получения шлака в покрытия вводят марганцевую руду, полевого шпат, плавиковый шпат, мрамор, рутил и др. Раскисляющие составляющие предназначены для восстановления окислов, находящихся в сварочной ванне. В качестве раскислителей в ряде случаев применяют ферросплавы: ферромарганец, ферросилиций и др. Из жидкого шлака раскислители переходят в расплавленный металл, восстанавливают окислы и в виде нерастворимых окислов самого раскислителя снова возвращаются в шлак.

Легирующие составляющие служат для получения наплавленного металла требуемых химического состава и механических свойств.

Легирующими составляющими в покрытии являются феррохром, ферромolibден, ферротитан и др.

В качестве связующего в основном применяют жидкое натриевое стекло (силикат натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_m$). Жидкое стекло связывает порошкообразные составляющие покрытия в обмазочную массу, а после просушивания и прокалки придает покрытию электродов необходимую прочность.

По химическому составу жидких шлаков электродные покрытия можно подразделить на кислые и основные. В шлаках кислых покрытий преобладает окись кремния SiO_2 . Кислые шлаки обладают хорошими раскисляющими свойствами, но через них нельзя в широких пределах легировать наплавленный металл в связи с интенсивным выгоранием легирующих примесей. В состав кислых покрытий входят марганцевая руда, полевой шпат, рутил (природный минерал, состоящий в основном из двуокиси титана) и т. п. Электроды с кислыми покрытиями (руднокислым, рутиловым и органическим) применяют для сварки углеродистых и низколегированных сталей. В шлаках основных покрытий преобладает окись кальция (CaO). Основные шлаки

обеспечивают достаточно хорошее раскисление и позволяют вводить в металл шва значительные количества легирующих элементов. В состав основных покрытий входят мрамор, плавиковый шпат (CaF_2) и ферросплавы. Электроды с основным покрытием (фтористокальциевым) используют для сварки легированных и высоколегированных сталей.

По назначению стальные электроды в соответствии с ГОСТ 9466—75 подразделяют на следующие четыре класса: для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей; для сварки теплоустойчивых сталей; для сварки высоколегированных сталей; для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

Согласно ГОСТ 9467—75 электроды для сварки конструкционных сталей (Ст3, 45, 30ХГСА и др.) подразделяют на типы Э34, Э42, ..., Э145 в зависимости от механических свойств наплавленного металла. Цифры в обозначении типа электрода означают прочность наплавленного металла в кгс/мм². Электроды для сварки теплоустойчивых сталей (12ХМ, 15ХМ, 20ХМФ и др.) подразделяют на типы Э-ХМ, Э-ХМФБ и др. в зависимости от химического состава наплавленного металла. Буквы М, Х, Ф и Б означают легирование соответственно молибденом, хромом, ванадием и ниобием, повышающими теплоустойчивость сварного шва.

Электроды для сварки высоколегированных сталей (0Х18Н9Т, Х25Н20С2, Х17 и др.) согласно ГОСТ 10052—75 классифицируют по структуре и составу металла сварного шва. Так, например, электроды ЭА-3М6, ЭА-2Б и др. являются электродами аустенитного типа (А — аустенитный) с добавками молибдена, ниобия и других элементов.

Обозначение наплавочных электродов согласно ГОСТ 10051—75 соответствует химическому составу наплавки и ее твердости по Роквеллу. Буква У означает содержание углерода в десятых долях процента. Например, ЭН-У30Х28С4Н4-50 — электроды наплавочные (ЭН), дающие наплавку, содержащую 3% С и другие легирующие элементы в соответствии с маркой, и обладающие твердостью HRC 50. Такие электроды применяют для наплавки на поверхность деталей, испытывающих при работе сильный абразивный износ при нормальной и повышенной температурах (до 500° С; скребки скреперов, лопасти смесительных машин и т. д.).

Помимо типа электрода, важной характеристикой является его марка, которая определяет состав покрытия (УОНИ-13/45, ЦЛ-18, ЦЛ-11, ЦЛ-10 и т. д.). Марка электрода характеризует также его технологические свойства: род и полярность тока, возможность сварки в различных пространственных положениях и др.

Режим ручной дуговой сварки. Основным параметром режима ручной дуговой сварки является сила сварочного тока. Ток (в А) выбирают в зависимости от диаметра и типа

металла электрода:

$$I_{св} = kd_э,$$

где k — опытный коэффициент, равный 40—60 для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали и 35—40 для электродов со стержнем из высоколегированной стали, А/мм; $d_э$ — диаметр электрода, мм.

Диаметр электродов выбирают исходя из толщины стали δ :

δ , мм	1—2	3—5	4—10	12—24 и более
$d_э$, мм	2—3	3—4	4—5	5—6

При толщине стали до 6 мм сваривают по зазору без разделки кромок заготовок. При больших толщинах делают одностороннюю или двустороннюю разделки кромок под углом 60°. Разделка

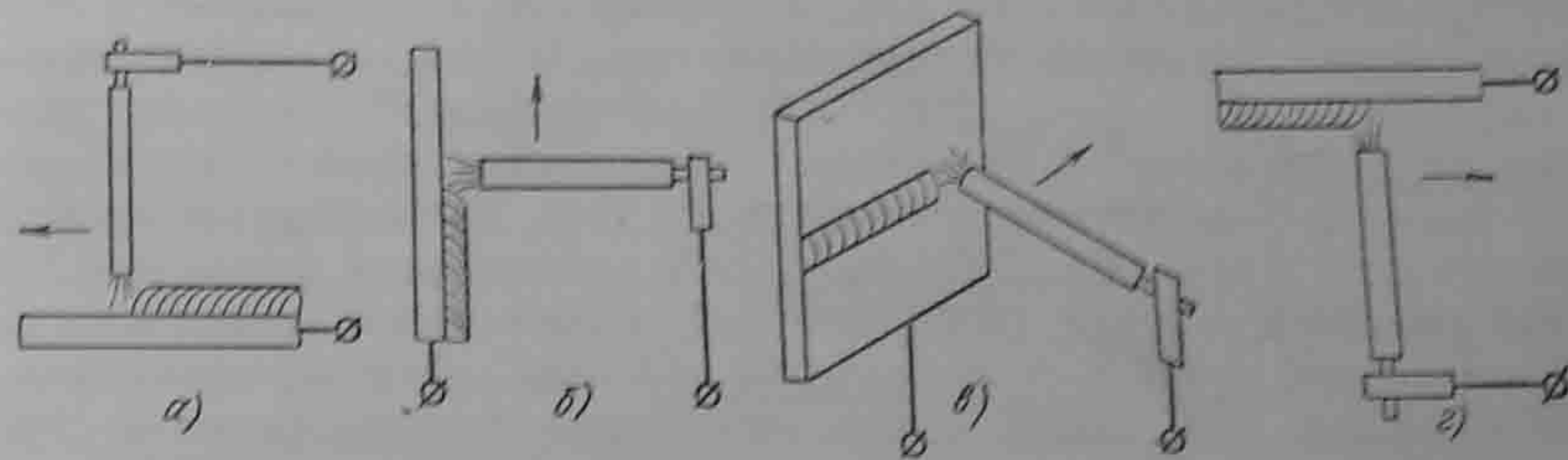


Рис. V.10. Возможные пространственные положения шва при ручной сварке: а — нижнее; б — вертикальное; в — горизонтальное; г — потолочное

необходима для обеспечения полного провара по толщине. При толщине свыше 10 мм сваривают многослойным швом.

Ручную дуговую сварку довольно широко применяют в производстве металлоконструкций для самых различных металлов и сплавов малых и средних толщин (2—30 мм). Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях (нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном; рис. V.10), а также при наложении швов в труднодоступных местах. Она все еще остается незаменимой при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы. Ручная сварка обеспечивает хорошее качество сварных швов, но обладает более низкой производительностью по сравнению с автоматической дуговой сваркой под флюсом. Производительность процесса сварки в основном определяется силой сварочного тока. Однако ток при ручной сварке покрытыми электродами ограничен, так как повышение тока сверх рекомендованной величины приводит к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла сварочной ванны. Ручную сварку постепенно заменяют полуавтоматической в атмосфере защитных газов.

5. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом

Автоматическая дуговая сварка под флюсом. При этом способе используют процесс, отличающийся от ручной сварки покрытыми электродами следующим: сварку ведут непокрытой электродной проволокой, дугу и сварочную ванну защищают флюсом, подача и перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварка кратера в конце шва. Указанные особенности автоматической сварки обеспечивают значительное повышение ее производительности и более высокое качество сварных соединений по сравнению с ручной сваркой.

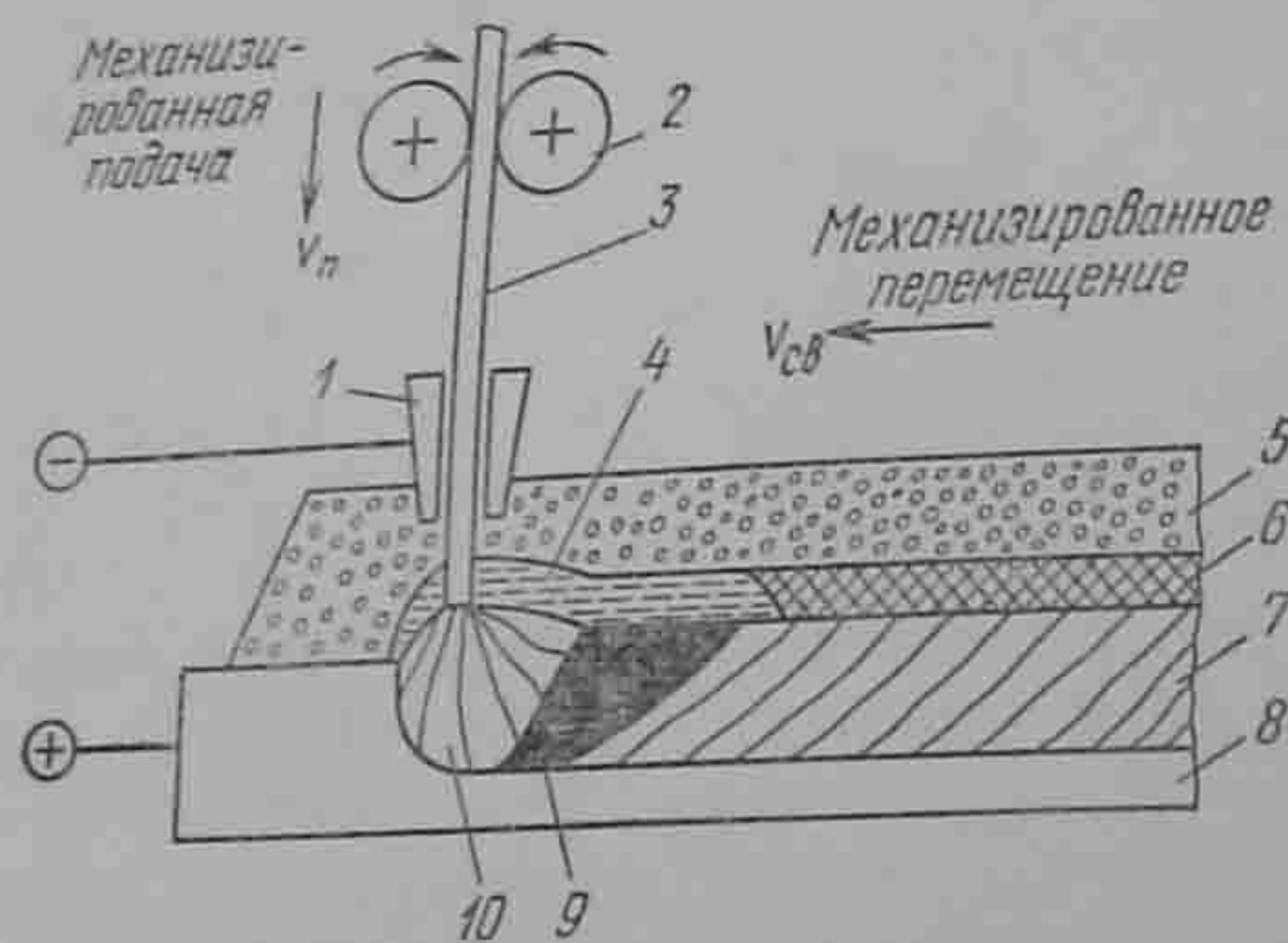


Рис. V.11. Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

Схема процесса автоматической сварки под флюсом показана на рис. V.11. Дуга 10 горит между электродной проволокой 3 и основным металлом 8. Столб дуги и металлическая ванна жидкого металла 9 со всех сторон плотно закрыты слоем флюса 5 толщиной 30—50 мм. Часть флюса, окружающего дугу, расплавляется, образуя на поверхности расплавленного металла ванну жидкого шлака 4. Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла. Действие мощной дуги и весьма быстрое движение электрода вдоль заготовки обуславливают оттеснение расплавленного металла в сторону, противоположную направлению сварки. По мере поступательного движения электрода происходит затвердевание металлической и шлаковой ванн с образованием сварного шва 7, покрытого твердой шлаковой коркой 6. Электродную проволоку подают в дугу и перемещают ее вдоль шва механизированным способом с помощью механизмов подачи 2 и перемещения. Ток к электроду поступает через токоподвод 1.

Основные преимущества автоматической сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой состоят в повышении до 15—20 раз производительности процесса сварки, качества сварных соединений и уменьшении себестоимости 1 м сварного шва.

Повышение производительности достигается за счет использования больших сварочных токов (до 2000 А) и непрерывности процесса сварки. Применение голой проволоки позволяет при-

близить токоподвод на минимально возможное расстояние от дуги и тем самым устранить опасный разогрев электрода при большой силе тока. Плотная флюсовая защита сварочной ванны предотвращает разбрызгивание и угар расплавленного металла в условиях действия мощной дуги. Увеличение тока сопровождается увеличением глубины проплавления, что позволяет сваривать металл большой толщины (до 20 мм) за один проход без разделки кромок.

Качество сварных швов обеспечивается повышением механических свойств наплавленного металла благодаря надежной защите сварочной ванны флюсом, интенсивного раскисления и легирования вследствие увеличения объема жидкого шлака и сравнительного медленного охлаждения шва под флюсом и твердой шлаковой коркой; улучшением формы и поверхности сварного шва и постоянством его размеров по всей длине вследствие регулирования режима сварки, механизированной подачи и перемещения электродной проволоки.

Сварочная проволока, применяемая при автоматической сварке под флюсом, рассмотрена в разделе ручной дуговой сварки.

Флюсы для автоматической сварки классифицируют по способу изготовления, химическому составу и назначению. По способу изготовления флюсы разделяют на плавленные и неплавленные. Неплавленные флюсы подразделяют на керамические и спеченные. Плавленные флюсы готовят путем сплавления исходных компонентов в электропечах. После получения стекловидной массы производят ее грануляцию на частицы диаметром 1—3 мм. Керамические флюсы готовят из порошкообразных компонентов путем замеса их на жидком стекле, гранулирования и последующего прокаливания, спеченные — путем спекания компонентов без их расплавления.

Исходными материалами плавленных флюсов для сварки сталей (ГОСТ 9087—69) являются марганцевая руда, кремнезем, полевой и плавиковый шпаты и другие компоненты. Большинство плавленных флюсов (марганцевые, высококремнистые) дают жидкие шлаки, содержащие большое количество оксидов марганца и кремния (MnO и SiO_2). Эти шлаки имеют кислый характер. При сварке в их присутствии происходят процессы окисления углерода, железа и легирующих элементов. Образующаяся FeO связывается в кислом шлаке в нерастворимый силикат и, следовательно, удаляется из металлической ванны. В свою очередь, ванна обогащается кремнием и марганцем.

Марганцевые высококремнистые флюсы применяют для сварки углеродистых и низколегированных сталей соответствующими сварочными проволоками; низкокремнистые флюсы с повышенным содержанием CaO , MgO и CaF_2 , шлаки которых имеют слабокислый характер, — для сварки легированных сталей. Для сварки высоколегированных сталей с большим содержанием таких легкоокисляющихся леги-

рующих элементов, как хром, молибден, титан, алюминий и др., применяют безкремнистые флюсы на основе соединений CaO , CaF_2 и Al_2O_3 и бескислородные фторидные флюсы, состоящие из 60—80% CaF_2 . Шлаки этих флюсов имеют основной или нейтральный характер. Состав флюсов сказывается на их технологических свойствах. Флюсы с высоким содержанием SiO_2 обеспечивают хорошее формирование шва, легкую удаляемость шлака, высокую плотность сварного шва и т. п. При отсутствии или малом количестве SiO_2 в шлаке возможны образование пор в шве и плохая отделяемость шлака от его поверхности.

Основу керамических флюсов составляет мрамор, плавиковый шпат или фториды и хлориды щелочноземельных металлов. В них также входят ферросплавы сильных раскислителей (кремния, титана, алюминия) и легирующих элементов и чистые металлы. Шлаки керамических флюсов имеют основной или пассивный характер и обеспечивают получение в металле шва заданное содержание легирующих элементов. Керамические флюсы применяют при сварке легированных сталей, цветных металлов и их сплавов.

Дуговую сварку под флюсом выполняют сварочными автоматами: сварочными головками или самоходными тракторами, перемещающимися непосредственно по изделию. Основным назначением сварочных автоматов является подача электродной проволоки в дугу и поддержание постоянного режима сварки в течение всего процесса. Последнее необходимо для обеспечения одинаковых размеров и неизменного качества всего сварного шва.

При протекании реального процесса сварки всегда имеются случайные временно действующие причины, отклоняющие режим сварки от нормального: электрические и магнитные возмущения в столбе дуги; нарушения нормальной работы механизма подачи проволоки; неровности на поверхности свариваемого металла и т. п. Все эти причины чаще всего вызывают изменение длины и напряжения дуги.

По принципу регулирования режима горения дуги различают два вида сварочных автоматов: с постоянной скоростью подачи проволоки, использующие процесс саморегулирования длины и напряжения дуги (ТС-17Р, УТ-1250-3); с регулируемой скоростью подачи проволоки во время сварки, зависящей от изменений напряжения дуги (АДС-1000-2).

Саморегулирование дуги основано на том, что изменение ее напряжения и тока сопровождается таким изменением скорости плавления проволоки, которое в конечном счете приводит к восстановлению длины дуги и первоначального режима сварки. Процесс саморегулирования дуги в случае, когда отклонение режима связано с неровностями на поверхности свариваемого металла, показан рис. V.12. При отсутствии саморегулирования (рис. V.12, а) и постоянной скорости подачи проволоки v_n траек-

тория движения ее расплавленного торца будет иметь вид прямой 1. При прохождении электрода 2 над выпуклостью или впадиной на поверхности металла 3 дуга соответственно укорачивается или удлиняется ($L_{д2}$ и $L_{д3}$), что приводит к изменению режима сварки и ухудшению качества сварного шва вплоть до образования прожогов или непроваров металла. При саморегулировании укорочение дуги уменьшает ее напряжение и увеличивает сварочный ток в соответствии с внешней характеристикой источника (рис. V.12, б, точка II).

С увеличением тока возрастает скорость плавления проволоки, что равносильно более интенсивному оплавлению торца электрода и восстановлению укороченной дуги до нормальной длины, а следовательно, и первоначального режима сварки (рис. V.12, б, точка I). При удлинении дуги все параметры принимают противоположные значения (рис. V.12, б, точка III). Если процесс само-

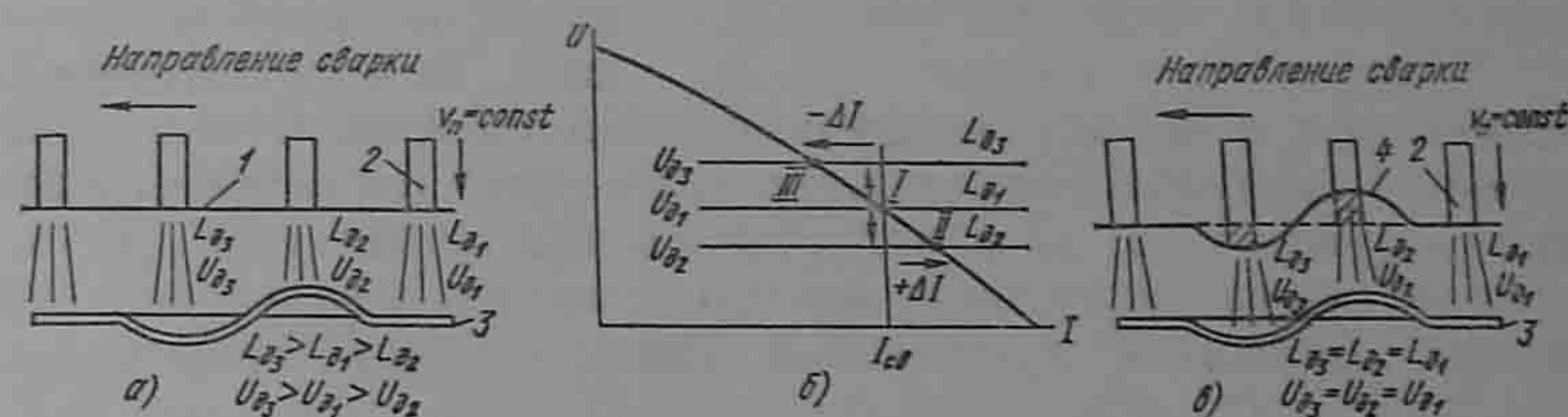


Рис. V.12. Процесс саморегулирования дуги при сварке листа с неровной поверхностью

регулирования протекает с большой скоростью, то торец плавящейся электродной проволоки имеет траекторию 4, эквидистантную поверхности свариваемого металла, а режим сварки остается практически постоянным (рис. V.12, в). Несомненно, саморегулирование дуги эффективно только при отклонении поверхности свариваемого металла от плоскости в определенных пределах.

Условием протекания процесса саморегулирования со скоростью, обеспечивающей практическое постоянство режима сварки, является применение плотности сварочного тока выше определенного предела (примерно 50—100 А/мм²). При плотностях тока ниже этого предела процесс саморегулирования замедляется и восстановление режима при его случайных отклонениях задерживается. В этом случае применяют искусственное регулирование скорости подачи проволоки.

Упрощенная схема автомата с регулируемой скоростью подачи проволоки приведена на рис. V.13. Регулируемой величиной является напряжение дуги U_d . При изменении длины дуги соответствующее изменение напряжения дуги в виде сигнала подается на обмотку возбуждения генератора 3 постоянного тока. При увеличении длины дуги напряжение тока, вырабатываемого генератором, возрастает, что приводит к повышению скорости вращения двигателя 2 постоянного тока и увеличению скорости

подачи проволоки 1. В результате длина дуги и режим сварки восстанавливаются. Укорочение дуги приводит к уменьшению скорости подачи проволоки, что также обеспечивает восстановление первоначального режима сварки.

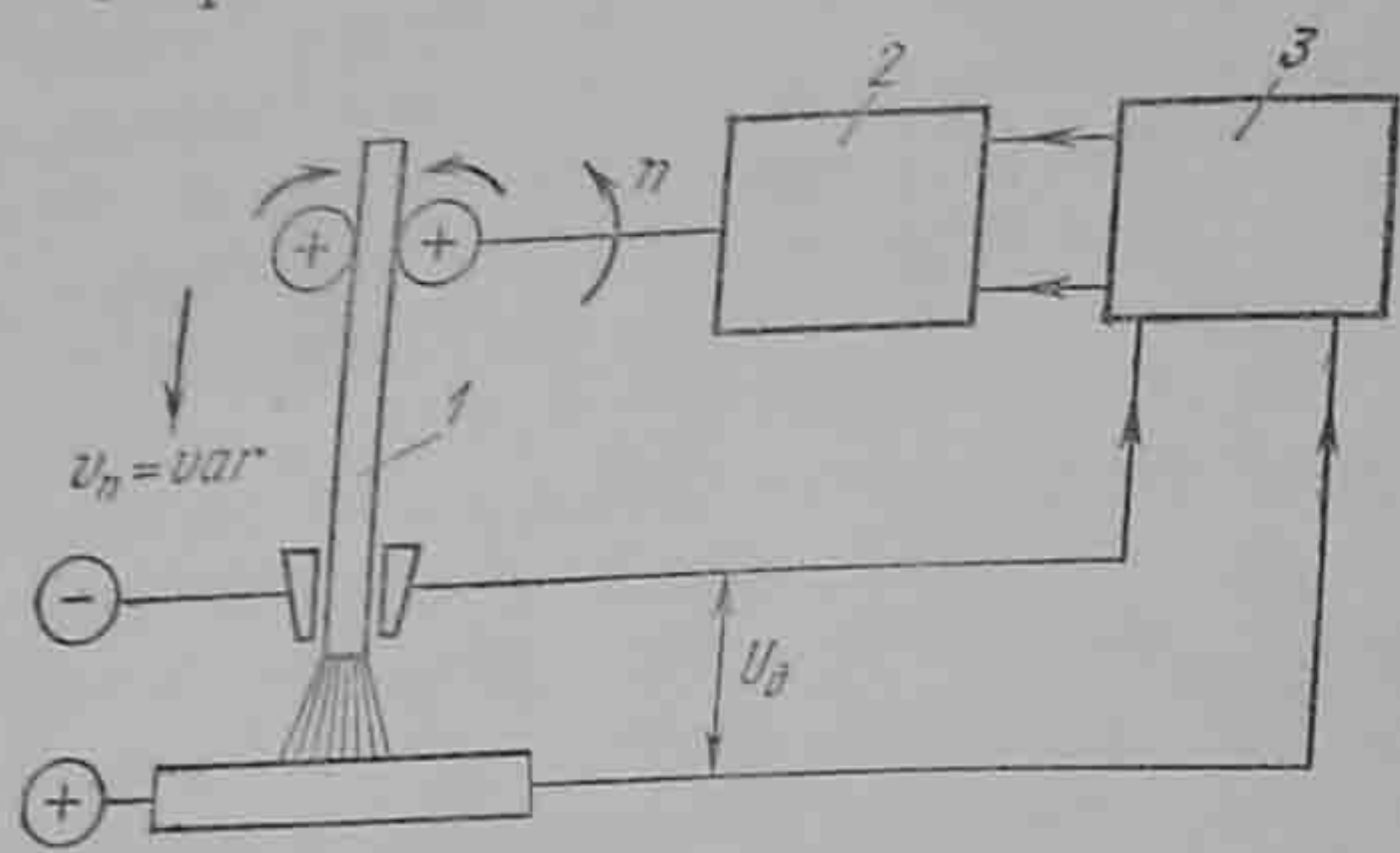


Рис. V.13. Упрощенная схема автомата с регулируемой скоростью подачи проволоки

Автоматическая сварка металла за один проход с проплавлением на всю толщину имеет ряд технологических особенностей. При расплавлении кромок металла на всю толщину, необходимом для полного провара, возможно вытекание сварочной ванны из стыка или прожог сварного шва. Для удержания сварочной ванны и формирования корня шва применяют специальные приспособления. Наиболее распространенной является флюсовая подушка (рис. V.14, а) и остающаяся подкладка (рис. V.14, б) (особенно, когда отсутствует доступ к корню шва после сварки изделия). Возможно применение также медной, флюсомедной

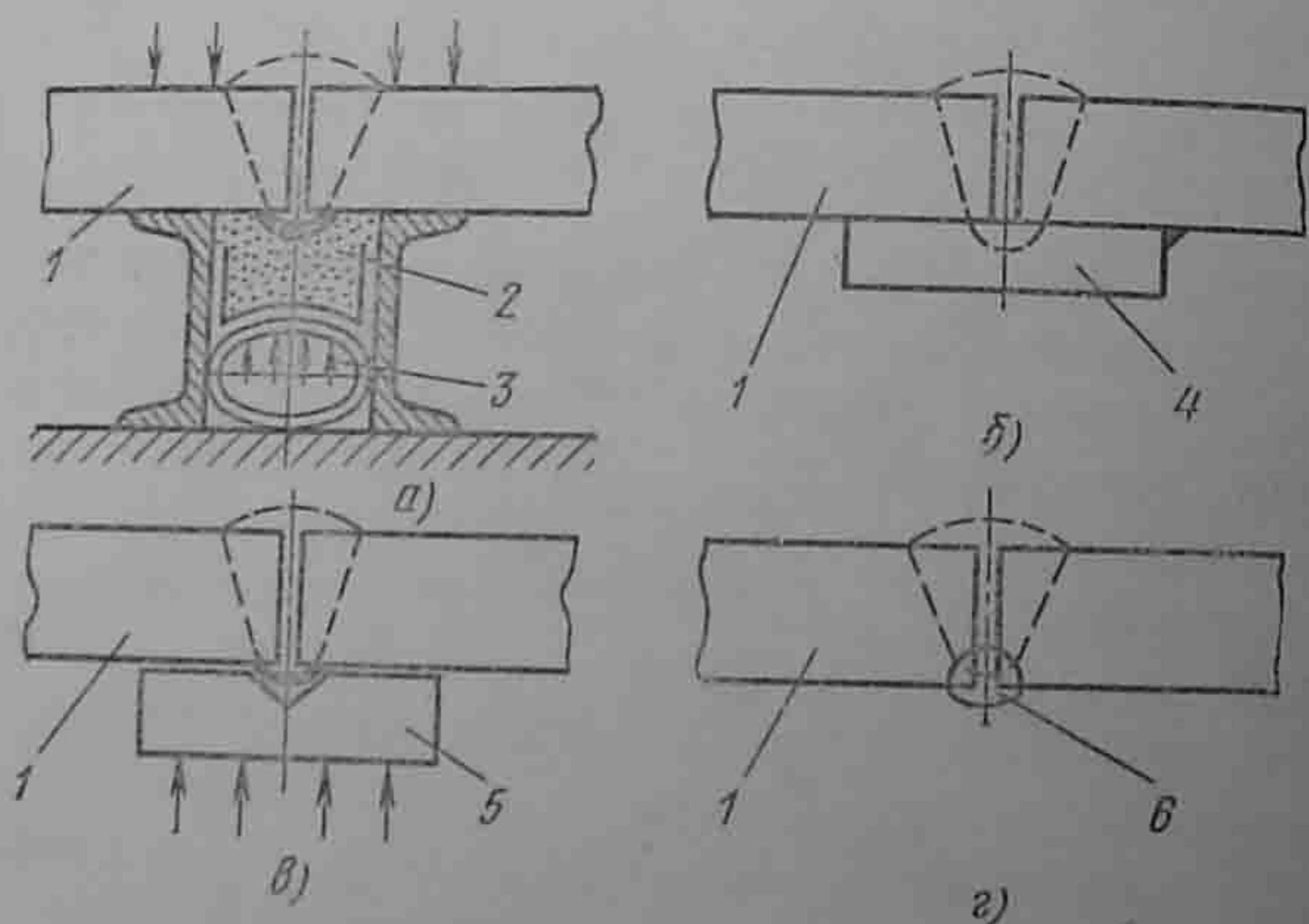


Рис. V.14. Приспособления для односторонней автоматической сварки:

1 — заготовка; 2 — флюс; 3 — резиновый шланг со сжатым воздухом; 4 — остающаяся подкладка; 5 — медная подкладка; 6 — ручная подварка корня шва

подкладки (рис. V.14, в) и ручной подварки корня шва (рис. V.14, г).

Для получения малого усиления шва, а также при сварке металла толщиной свыше 20 мм свариваемые кромки разделяют под углом 30° (см. гл. 8).

Кольцевые соединения сваривают, как правило, двусторонним швом. Сварку выполняют на специальном стенде (рис. V.15, а),

на вращающиеся ролики которого устанавливают цилиндрическую заготовку (обечайку). Первый слой сваривается самоходным трактором с внутренней стороны обечайки на флюсоремной подушке (рис. V.15, б); второй слой — другим трактором (или автоматической сварочной головкой) с наружной стороны, при этом второй слой перекрывает корень первого.

Автоматическую сварку под флюсом применяют в серийном и массовом производствах для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов в нижнем положении на металле толщиной 2—100 мм. Под флюсом сваривают углеродистые и легированные

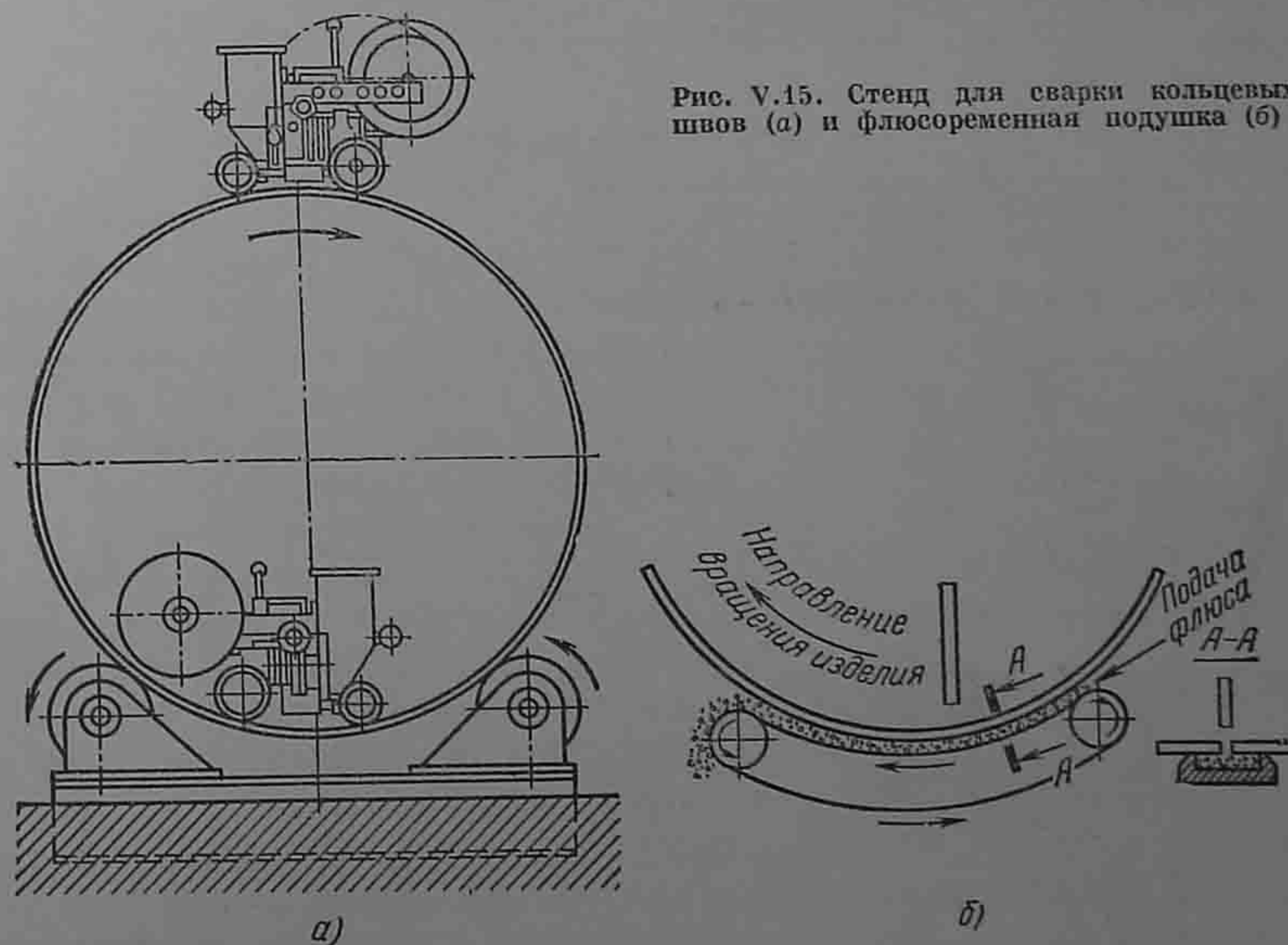


Рис. V.15. Стенд для сварки кольцевых швов (а) и флюсоремная подушка (б)

стали, медь, алюминий и их сплавы. Автоматическую сварку широко применяют при изготовлении котлов, резервуаров для хранения жидкостей и газов, корпусов судов, мостовых балок, сварных труб и других изделий. Она является одним из основных звеньев ряда автоматических линий для сварки автомобильных колес и станков для производства сварных прямошовных и спиральных труб.

Полуавтоматическая сварка под флюсом. Эта сварка отличается от автоматической тем, что сварочную проволоку пере-мещают вручную с помощью держателя-наконечника. Для полуавтоматической сварки применяют шланговые полуавтоматы (рис. V.16), состоящие из стационарного механизма подачи проволоки 4, пульта управления 2 с контрольно-измерительной и пусковой аппаратурой, гибкого шланга 6 и держателя 5. Сварочная проволока из кассеты 3 механизмом подачи подается по шлангу

к держателю. По шлангу, в который вмонтированы гибкие медные провода, к держателю подводится сварочный ток от источника 1.

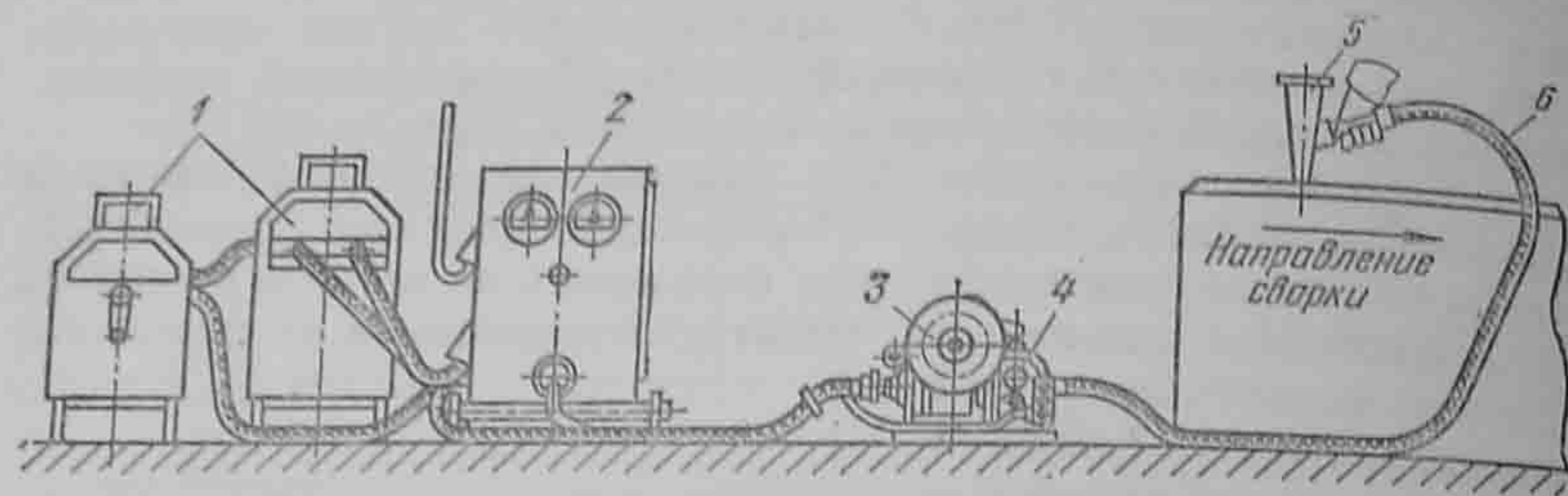


Рис. V.16. Шланговый полуавтомат для сварки под флюсом

Держатель (рис. V.17) имеет изолированный мундштук 5, флюсовой бункер 1 с заслонкой 2, кнопку 3 на рукояти держателя 4 для включения мотора механизма подачи и источника тока и упор 6 для направления держателя по свариваемому стыку.

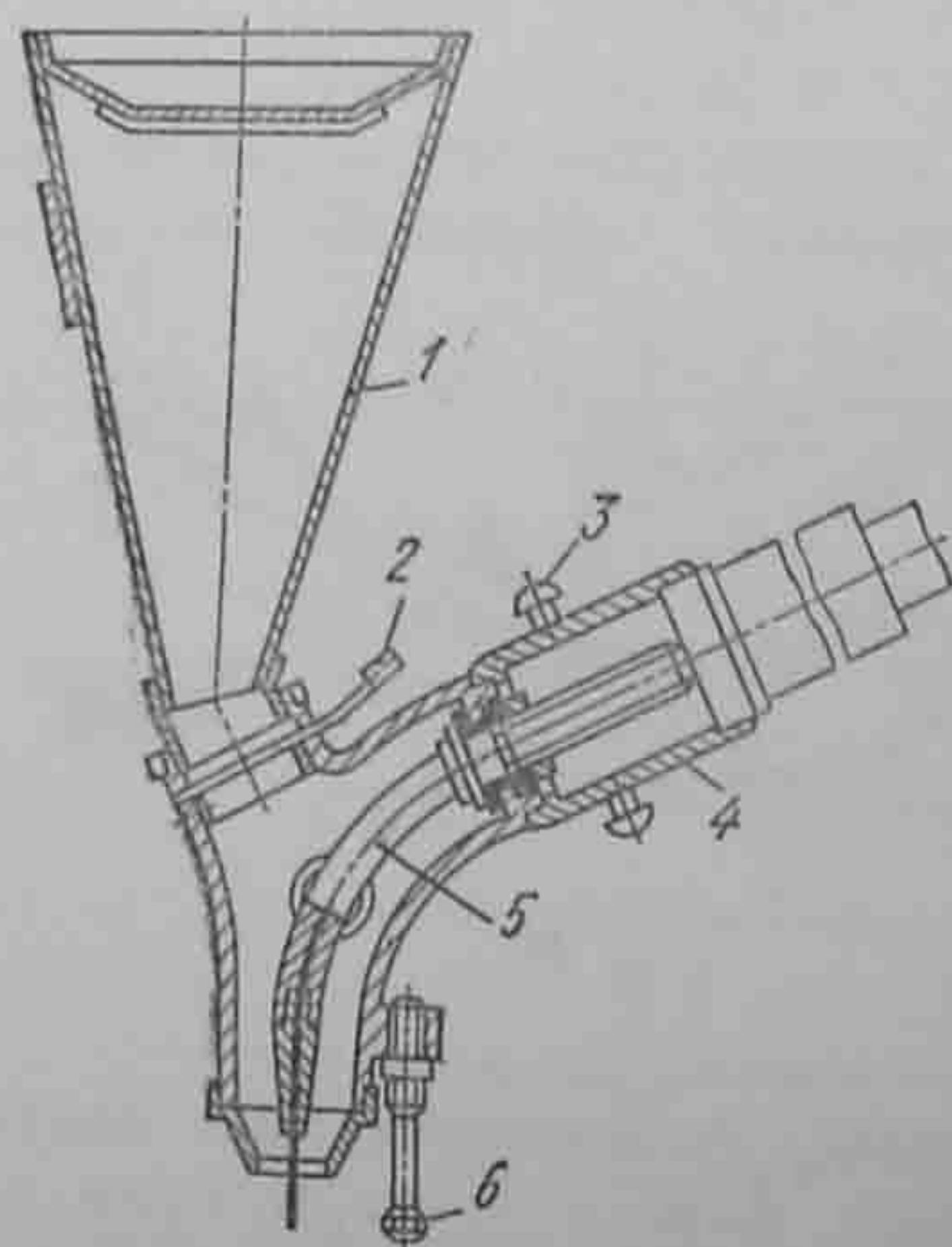


Рис. V.17. Держатель к шланговому полуавтомату

шва по длине. По этой причине полуавтоматическая сварка под флюсом не получила широкого распространения.

6. Сварка в атмосфере защитных газов

При сварке в атмосфере защитных газов или газоэлектрической сварке (рис. V.18) электрод 2, зона дуги 1 и сварочная ванна 6 защищаются струей защитного газа 5. Газ подают с помощью сварочной горелки через сопло 4 (из керамики или меди), в центре

которого помещается электрод. Медное сопло охлаждается водой и изолировано от других частей горелки и токопровода 3.

Защитные газы, как правило, обладают хорошей ионизирующей способностью, поэтому обеспечивают стабильное горение дуги, в том числе и при малых сварочных токах.

В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон и гелий) и активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.), иногда — смеси двух газов или более. У нас в стране наиболее распространены аргон (Ar) и углекислый газ (CO₂).

Аргон — бесцветный газ, в 1,38 раза тяжелее воздуха. С большинством элементов он не образует химических соединений и нерастворим в жидких и твердых металлах. Аргон получают из воздуха, переохлажденного до низких отрицательных температур, путем избирательного испарения при температурах выше —185,5° С. Согласно ГОСТ 10157—73 выпускают три марки аргона различной чистоты: А-99,99%, Б-99,96% и В-99,90% чистого аргона, остальное — примеси кислорода и азота. Поставляется и хранится аргон в сжатом газообразном состоянии в стальных баллонах под давлением 15 МПа.

Углекислый газ — бесцветный, со слабым запахом, в 1,52 раза тяжелее воздуха и нерастворим в жидких металлах. Углекислый газ оказывает окислительное действие на расплавленные металлы, особенно после термической диссоциации на окись углерода и кислород. Получают углекислый газ из отходов химических производств в сжиженном или твердом состоянии (сухой лед). Согласно ГОСТ 8050—76 выпускают два сорта сварочного углекислого газа и пищевую углекислоту соответственно с 99,5; 99,0 и 98,5% чистого газа. Для сварки газ поставляют и хранят в сжиженном состоянии в стальных баллонах под давлением 7 МПа.

Аргонодуговая сварка. Этим способом можно сваривать по двум схемам: неплавящимся и плавящимся электродами. Сварку неплавящимся электродом применяют, как правило, при соединении металла толщиной 0,1—6 мм; плавящимся электродом — от 2 мм и более. Разграничение по толщинам является условным. Нередко, когда производительность не является главным показателем сварочного процесса, металл значительной толщины также сваривают неплавящимся электродом многослойным швом.

В атмосфере аргона неплавящимся вольфрамовым электродом можно сваривать с расплавлением только основного металла (толщиной до 3 мм), а при необходимости усиления шва или запол-

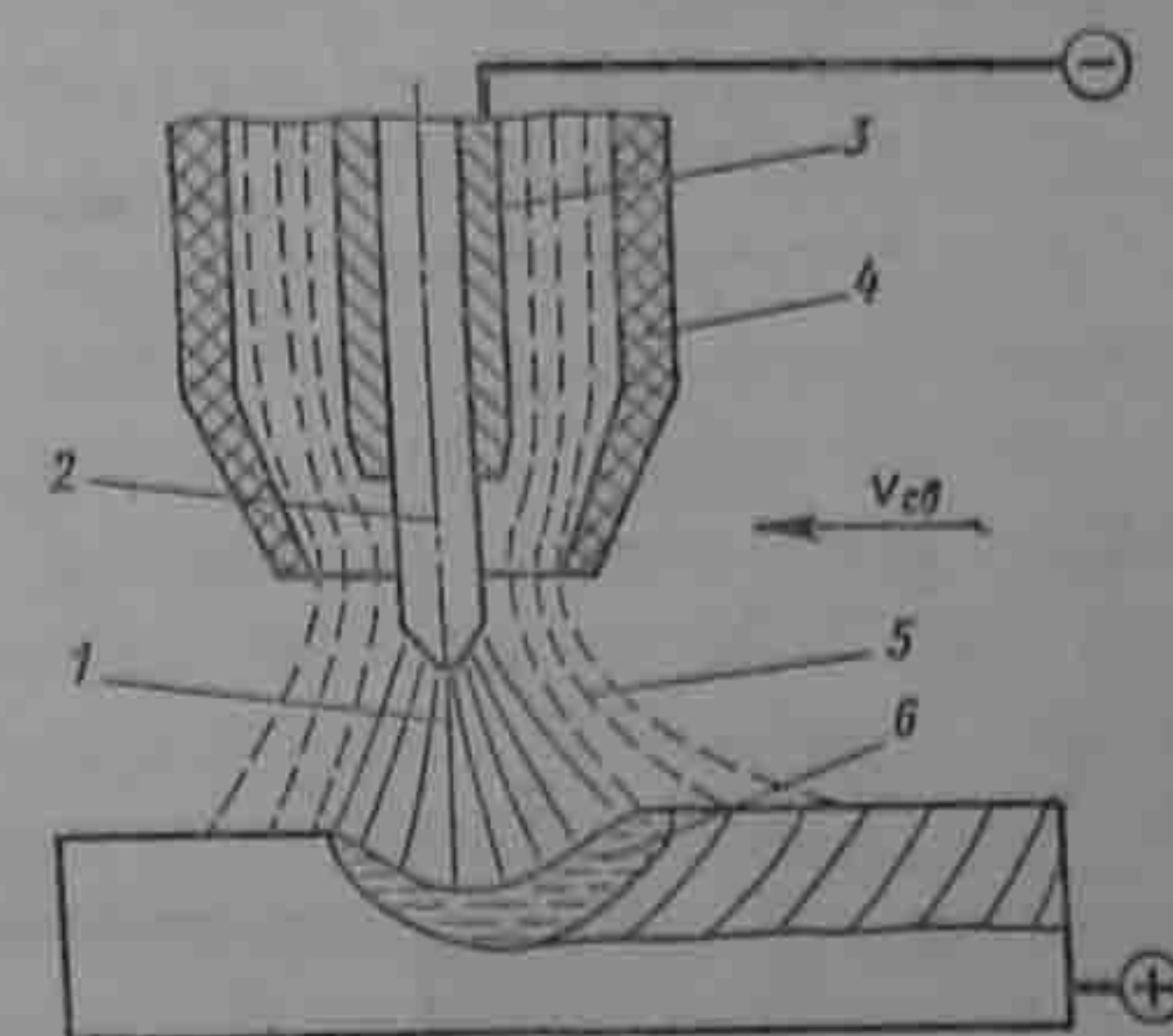


Рис. V.18. Схема сварки в атмосфере защитных газов

нения разделки кромок (толщина более 3 мм) — и присадочного материала (прутка или проволоки). Последний вручную (рис. V.19, а) или механизмом подачи (рис. V.19, б) подают со стороны в дугу.

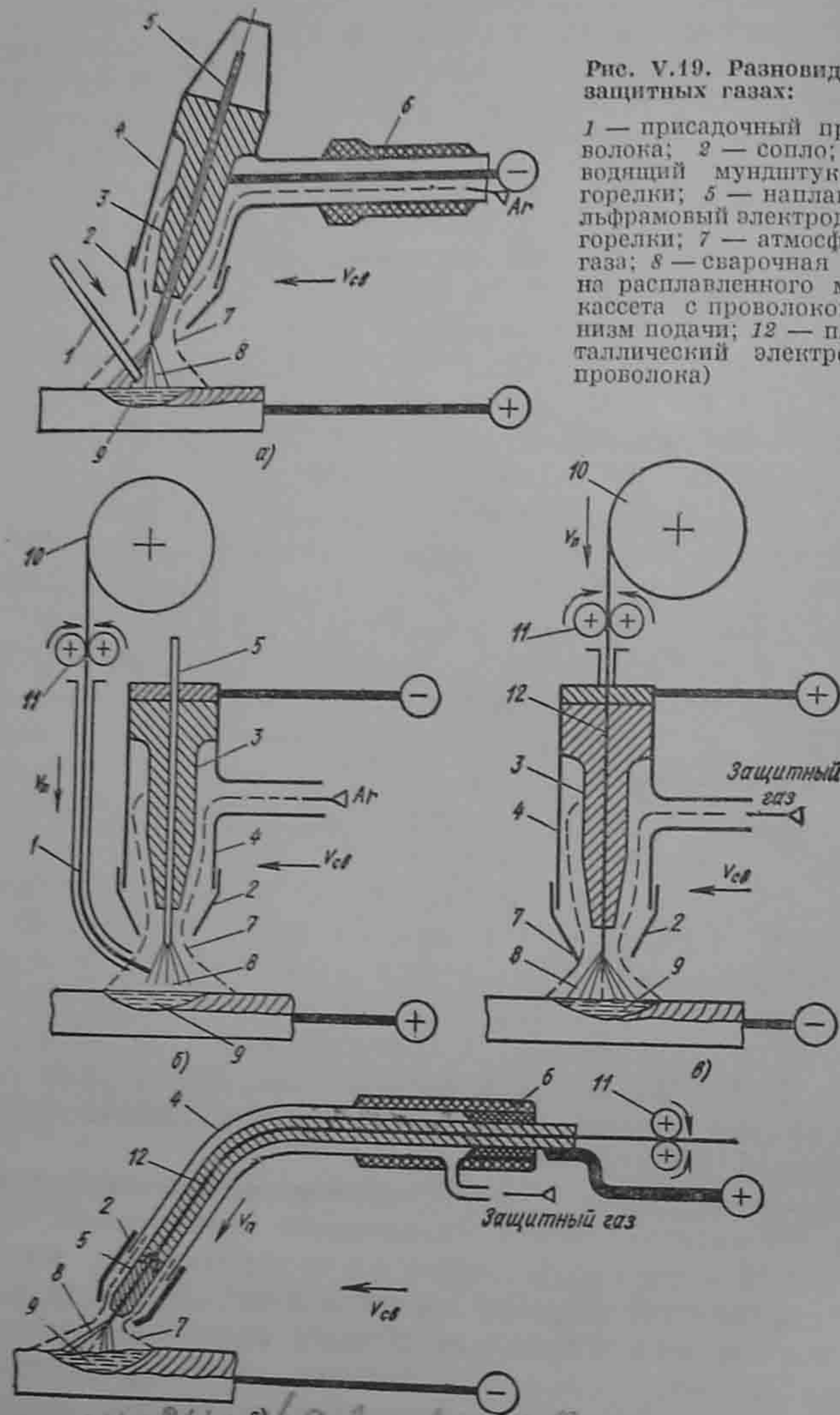


Рис. V.19. Разновидности сварки в защитных газах:

1 — присадочный пруток или проволока; 2 — сопло; 3 — токопроводящий мундштук; 4 — корпус горелки; 5 — наплавляющийся вольфрамовый электрод; 6 — рукоять горелки; 7 — атмосфера защитного газа; 8 — сварочная дуга; 9 — ванна расплавленного металла; 10 — кассета с проволокой; 11 — механизм подачи; 12 — плавящийся металлический электрод (сварочная проволока)

и расхода электрода. В то же время дуга остается устойчивой при весьма малых токах (~ 1 А), что обуславливает возможность сварки очень тонкого металла (0,1 мм). При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость ее горения, а также повышаются нагрев и расход электрода. Эти особенности дуги обратной полярности делают ее непригодной для непосредственного применения в сварочном процессе. Однако дуга обратной полярности обладает одним важным технологическим свойством: при ее действии с поверхности свариваемого металла удаляются окислы и загрязнения. Одно из объяснений этого явления заключается в том, что поверхность металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые механически разрушают окисные пленки. Процесс удаления окислов также известен как катодное распыление. Указанные свойства дуги обратной полярности используют при сварке таких сильно окисляющихся металлов, как алюминий, магний и их сплавы, применяя для питания дуги переменный ток.

При сварке неплавящимся электродом на переменном токе в определенной степени сочетаются преимущества дуги на прямой и обратной полярностях. Однако асимметрия электрических свойств дуги, обусловленная ее меньшей электрической проводимостью при обратной полярности по сравнению с прямой, приводит к ряду нежелательных сопутствующих явлений. В результате выпрямляющей способности дуги появляется постоянная составляющая тока прямой полярности. В этих условиях дуга горит неустойчиво, ухудшается очистка поверхности сварочной ванны от тугоплавких окислов и нарушается процесс формирования шва. Поэтому для питания дуги в аргоне переменным током применяют специальные источники тока. В их схему включается стабилизатор горения дуги — электронное устройство, подающее импульс дополнительного напряжения на дугу в полупериод ее горения на обратной полярности. Таким образом, обеспечивается устойчивость дуги, постоянство тока и процесса формирования шва на обеих полярностях тока.

Сварку в атмосфере аргона плавящимся электродом выполняют по схеме, приведенной на рис. V.19, в, г. Нормальное протекание процесса сварки и хорошее качество шва обеспечиваются при высокой плотности тока (100 А/мм^2 и более). При невысоких плотностях тока имеет место крупнокапельный перенос расплавленного металла с электрода в сварочную ванну, приводящий в условиях газовой защиты к пористости шва, малому проплавлению основного металла и к сильному его разбрызгиванию. При высоких плотностях тока перенос расплавленного металла с электрода становится мелкокапельным или струйным. В условиях действия значительных электромагнитных сил быстро движущиеся мелкие капли сливаются в сплошную струю жидкого металла. Такой перенос электродного металла обеспечивает глубокое проплавление основного металла, формирование плотного

✓ Аргонизированная сварка

Сварку неплавящимся электродом ведут на постоянном токе прямой полярности. В этом случае дуга легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 10—15 В. Возможно применение сравнительно высоких плотностей тока без значительного нагрева

шва с ровной и чистой поверхностью и разбрызгивание в допустимых пределах.

В соответствии с необходимостью применения высоких плотностей тока сварку плавящимся электродом ведут с использованием сварочной проволоки малого диаметра (0,6—3,0 мм) и большой скорости $v_{\text{п}}$ подачи ее в дугу. Такой режим сварки обеспечивается только механизированной подачей проволоки в зону сварки. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности. В данном случае электрические свойства дуги в значительной степени определяются наличием ионизированных атомов металла анода в столбе дуги, поступающих туда в результате испарения электрода. Поэтому дуга обратной полярности при применении плавящегося электрода горит устойчиво и обеспечивает нормальное формирование шва, в то же время ей соответствуют повышенная скорость расплавления проволоки и производительность процесса сварки.

Сварка в атмосфере углекислого газа (CO_2). Эту сварку выполняют только плавящимся электродом на повышенных плотностях постоянного тока обратной полярности (рис. V.19, в и г). Данный режим обусловлен теми же особенностями переноса электродного металла и формирования шва, которые рассмотрены для сварки плавящимся электродом в аргоне.

При применении CO_2 в качестве защитного газа необходимо учитывать некоторые металлургические особенности процесса сварки, связанные с окислительным действием CO_2 по отношению к расплавленному металлу. При высоких температурах сварочной дуги CO_2 диссоциирует на окись углерода (CO) и кислород (O), который, если не принять специальных мер, приводит к окислению свариваемого металла и легирующих элементов. Окислительное действие CO_2 нейтрализуется введением в сварочную проволоку избыточного количества раскислителей марганца и кремния. Поэтому для сварки в CO_2 конструкционных углеродистых и низколегированных сталей применяют специальные марки сварочной проволоки с повышенным содержанием этих элементов (Св-08ГС, Св-10Г2 и т. д.).

Сварка в атмосфере защитных газов в зависимости от степени механизации процессов подачи присадочной или сварочной проволоки и перемещения сварочной горелки может быть ручной, полуавтоматической и автоматической. При этом особенности схемы процессов и области их преимущественного применения предопределили наибольшее распространение различных видов сварки по степени их механизации.

Применяют все разновидности аргонодуговой сварки, но наиболее распространены ручная (рис. V.19, а) и автоматическая (рис. V.19, б) неплавящимся электродом, а также полуавтоматическая плавящимся электродом (рис. V.19, г). Сварку в углекислом газе применяют главным образом в виде полуавтоматической сварки (рис. V.19, г).

Оборудование поста для сварки в защитных газах (рис. V.20) состоит из газоэлектрической горелки 7, баллона 1 с аргоном или углекислым газом, газового (кислородного) редуктора 4 для снижения давления газа, защитного щитка 8 с кнопкой включения, кислородного шланга 6 и источника тока 9. При полуавтоматической и автоматической сварке оборудование дополняется соответственно механизмом подачи 5 или самоходным автоматом. При применении CO_2 газовое оборудование оснащается подогревателем 2 газа и его осушителем 3. Последние необходимы для предотвращения замерзания редуктора в результате поглощения теплоты при испарении жидкой углекислоты и удаления влаги при использовании низких сортов газа (пищевой углекислоты).

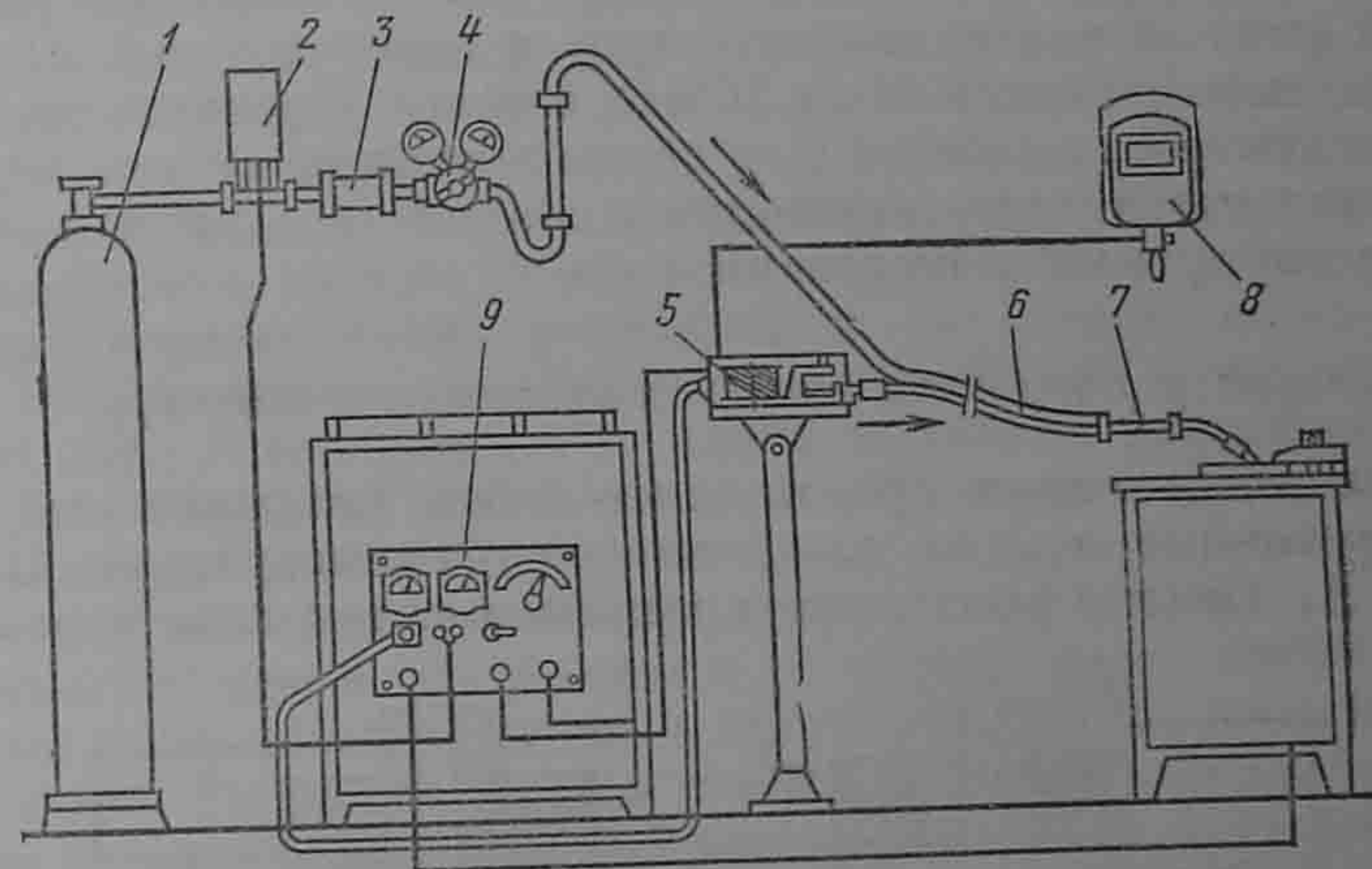


Рис. V.20. Оборудование поста для сварки в защитных газах

Области применения сварки в защитных газах охватывают очень широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов и т. п.), для которых сварка покрытым электродом или автоматическая под флюсом не обеспечивает необходимого качества сварного соединения либо их нельзя применить из-за их ограниченных технологических возможностей. По сравнению с указанными способами сварка в атмосфере защитных газов имеет следующие преимущества:

- 1) высокую степень защиты расплавленного металла от воздействия воздуха;
- 2) отсутствие на поверхности шва при применении аргона окислов и шлаковых включений;
- 3) возможность ведения процесса во всех пространственных положениях;
- 4) возможность визуального наблюдения за процессом формирования шва и его регулирования;
- 5) более высокую производительность процесса, чем при ручной дуговой сварке;
- 6) низкую стоимость сварки в углекислом газе.

Преимущества сварки в защитных газах обусловили области ее применения. Аргондуговую сварку применяют при производстве конструкций из легких (алюминия и магния) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и сплавов, а также конструктивных легированных и высоколегированных сталей. В последнем случае широко используют смеси аргона марки В с 3—5% O_2 и углекислого газа. Дуга в смесях газов обладает лучшими технологическими свойствами по сравнению с чистым аргонном: повышается стабильность горения дуги, улучшается формирование шва и т. п. Для легких сплавов применяют аргон марки Б, а для тугоплавких — аргон высокой чистоты марки А.

В углекислом газе сваривают в основном сварные конструкции из конструкционной углеродистой и низколегированной сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т. п.). При этом часто применяют смесь CO_2 с 10% O_2 и более. Преимущества полуавтоматической сварки в CO_2 с точки зрения ее стоимости и производительности часто приводят к замене ею ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

7. Сварка и обработка материалов плазменной струей

Плазменная струя представляет собой направленный поток ионизированных частиц газа, имеющего температуру 10 000—20 000° К. Плазму получают, пропуская поток газа через столб

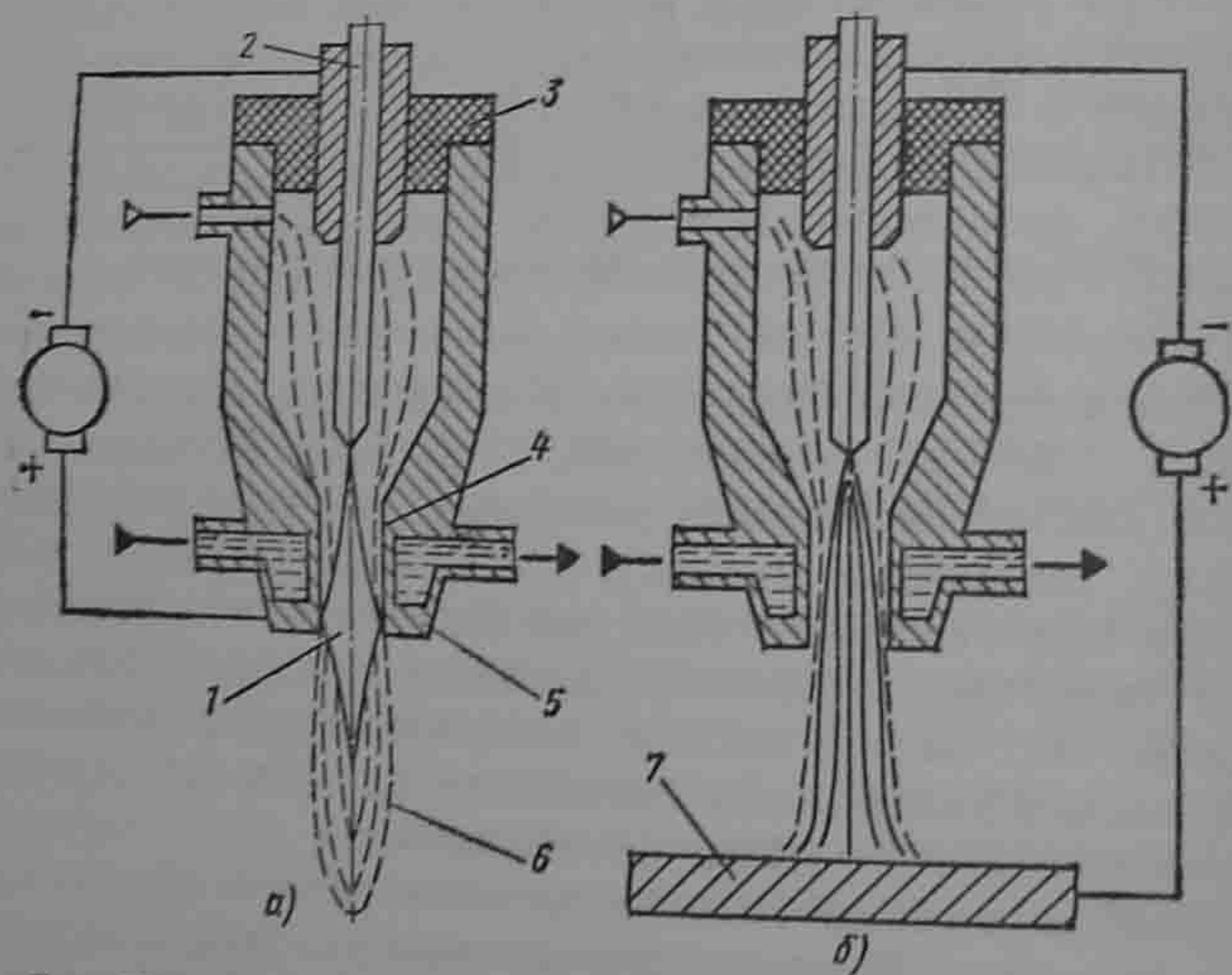


Рис. V.21. Схемы получения плазменной струи, выделенной из дуги (а) и совмещенной с дугой (б)

электрической дуги (рис. V.21, а). Для этого столб дуги 1, горячей между электродом 2 и соплом 5, помещают в узкий канал 4 с интенсивно охлаждаемыми стенками и через него продувают

газ. При этом столб дуги сжимается, что приводит к повышению в нем плотности энергии и температуры. Продуваемый газ почти полностью проходит через столб дуги. Частые столкновения частиц при высокой температуре дуги приводят к потере атомами газа одного или нескольких электронов из их внешней оболочки, т. е. к высокой степени ионизации. Это обуславливает весьма высокую температуру, повышенную электропроводность и способность плазменной струи б к взаимодействию с электрическими и магнитными полями. Плазменную струю как высокотемпературный и концентрированный источник теплоты широко применяют для сварки и других видов тепловой обработки материалов.

Различают два типа плазменной струи: выделенную из дуги и совпадающую со столбом дуги. Существуют следующие схемы устройства дуговых плазменных горелок (плазмотронов).

В горелках первого типа дуга 1 горит между неплавящимся вольфрамовым электродом 2 и соплом 5, к которому подключен положительный полюс источника тока (рис. V.21, а). Столб дуги располагается в канале 4 корпуса горелки, изолированном от электрода керамической прокладкой 3. По каналу через столб дуги пропускается плазмообразующий газ. Канал и сопло интенсивно охлаждаются водой. Из сопла выходит ярко светящаяся плазменная струя б. Струя имеет высокую скорость истечения, обусловленную ускоряющим действием электрического поля на заряженные частицы газа. Контуры струи зависят от формы сопла, а ее размеры, кроме этого, еще и от формы, размеров канала и величины тока. Можно получать струю конической и цилиндрической форм. Горелка питается постоянным током прямой полярности от источников с падающей характеристикой. Дугу зажигают с помощью осциллятора.

Создаваемая горелкой плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, который можно использовать для обработки электропроводимых и неэлектропроводимых материалов.

Устройство горелок второго типа (рис. V.21, б) принципиально не отличается от устройства горелок первого типа. Они также имеют изолированный от электрода совмещенный канал-сопло 4 и 5, но дуга 1 горит между электродом 2 и заготовкой 7. Дугу зажигают с помощью осциллятора. Осциллятор также служит для возбуждения и постоянного горения вспомогательной маломощной дуги между электродом и соплом. Для этого к соплу подведен токоподвод через сопротивление от положительного полюса источника. В данном случае образуется плазменная струя, совпадающая со столбом дуги, что обуславливает ее повышенную эффективную мощность.

В качестве плазмообразующего газа, как правило, используют аргон, который обеспечивает устойчивость процесса образования плазмы, предохраняет электрод, канал и сопло от быстрого износа, а также служит защитной средой для обрабатываемых

ного материала. Отметим, что плазменная струя в связи с небольшим расходом газа и большой скоростью истечения, способствующей подосу воздуха, не обеспечивает достаточной защиты материала. Поэтому горелки снабжают вторым соплом, расположенным концентрически вокруг первого, для дополнительной подачи защитного газа. Недостаток аргона как одноатомного плазмообразующего газа заключается в его низкой теплоемкости, что обуславливает сравнительно малую эффективную тепловую мощность плазменной струи, особенно выделенной из столба дуги. Для получения мощной плазменной струи последнего типа, используемой для резки, применяют двухатомные газы (водород или азот). Способность этих газов к диссоциации молекул в дуге и их рекомбинации на поверхности материала обеспечивают перенос большого количества энергии из столба дуги на поверхность материала. Однако их применение приводит к быстрому износу электрода и сопла горелки. Поэтому эти газы используют в смеси с аргоном.

Плазменная струя обладает большими технологическими возможностями. Во-первых, эффективную тепловую мощность струи можно регулировать в широких пределах. Возможно получение мощной струи, обладающей высокой проплавляющей способностью и повышенной производительностью. Такой струей сваривают материалы толщиной до 15 мм без разделки кромок. Повышенная устойчивость процесса образования плазмы позволяет получать микроплазменную струю при токах до 0,5 А, которой можно сваривать металл толщиной в несколько десятков микрон. Повышая ток и расход плазмообразующего газа, получают плазменный источник с большой скоростью истечения струи, способной давать сквозное проплавление и выдувать расплавленный материал. Такую плазменную струю используют для резки. Во-вторых, независимый характер плазменной струи, выделенной из дуги, позволяет регулировать тепловое воздействие на обрабатываемый и присадочный материалы, а также вести обработку неэлектропроводных материалов.

Указанные технологические возможности плазменной струи обуславливают ее применение для многих операций: сварки, в том числе неметаллов (стекла, керамики, металлокерамики и др.) и металлов с неметаллами; резки всех материалов, особенно тугоплавких (молибдена, вольфрама, металлокерамики, стеклопластиков и др.) и материалов с высокой теплопроводностью (меди, алюминия и др.); наплавки, напыления, пайки и термической обработки.

8. Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка является процессом соединения металлов, при котором основной и электродный металлы расплавляются теплотой, выделяющейся при прохождении электриче-

ского тока через шлаковую ванну. Схема процесса электрошлаковой сварки показана на рис. V.22. Процесс начинается с образования шлаковой ванны 3 в пространстве между кромками основного металла 6 и приспособлениями (ползунами) 7, охлаждаемыми водой, подаваемой по трубам 1, путем расплавления флюса электрической дугой, возбуждаемой между сварочной проволокой и вводной планкой 9. После накопления определенного количества жидкого шлака дуга шунтируется шлаком и гаснет, а подача проволоки 4 и подвод тока продолжают. При прохождении тока через расплавленный шлак, являющийся электропроводящим

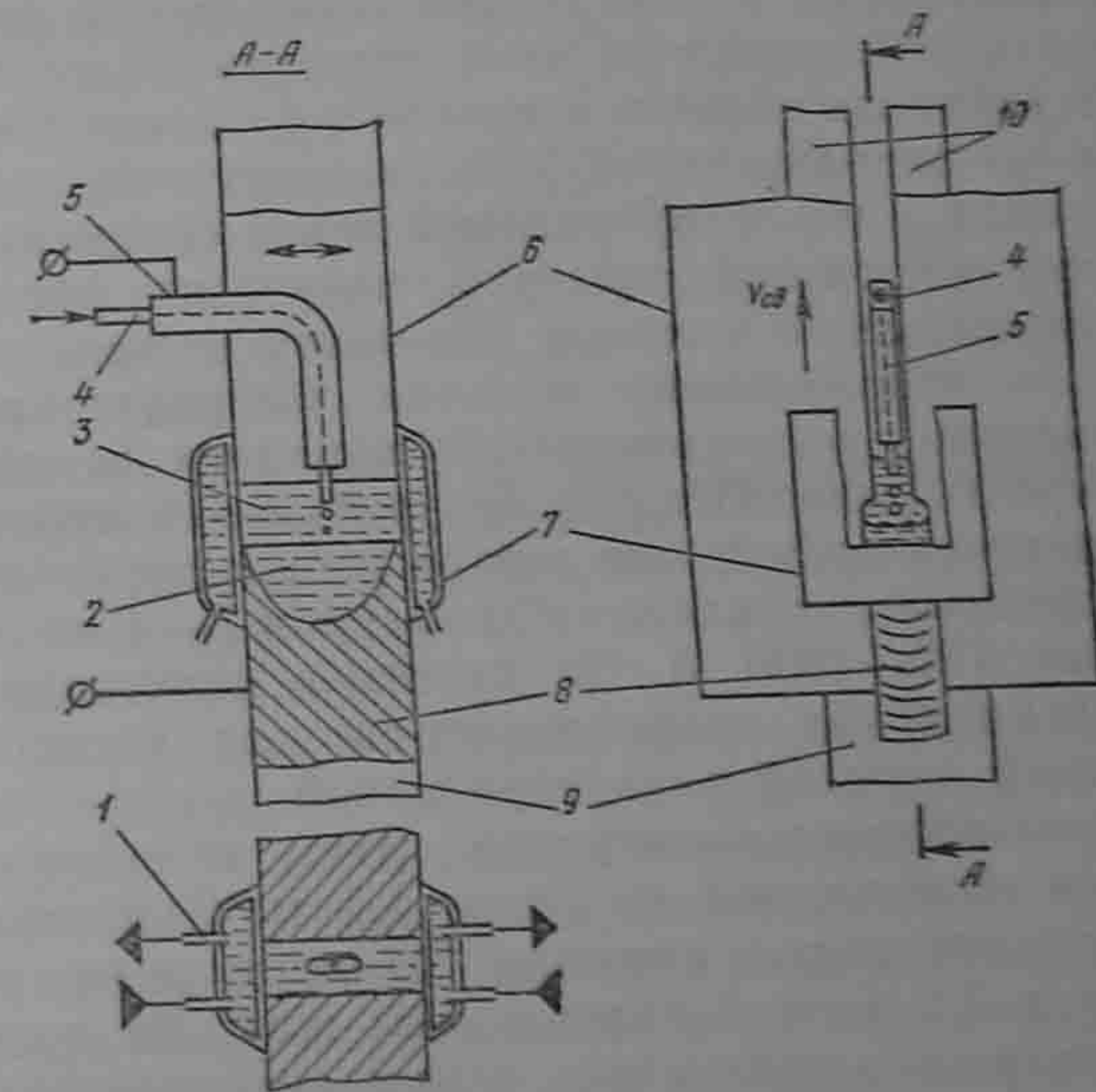


Рис. V.22. Схемы электрошлаковой сварки

электролитом, в нем выделяется определенное количество теплоты, достаточной для поддержания высокой температуры шлака и расплавления кромок основного металла и электродной проволоки. Проволока вводится в зазор, подается в шлаковую ванну с помощью мундштука 5 и служит для подвода тока и пополнения сварочной ванны 2 расплавленным металлом. Как правило, электрошлаковую сварку выполняют при вертикальном положении свариваемых деталей. По мере заполнения зазора между ними мундштук для подачи проволоки и формирующие ползуны передвигаются в вертикальном направлении, оставляя после себя затвердевший сварной шов 8.

В начальном и конечном участках шва образуются дефекты. В начале шва — непровар кромок, в конце шва — усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают на вводной 9, а заканчивают на выходной 10 планках, которые затем удаляют газовой резкой.

Шлаковая ванна является более распределенным источником теплоты, чем электрическая дуга. Основной металл расплавляется одновременно по всему периметру шлаковой ванны, что позволяет вести сварку металла большой толщины за один проход.

По типу применяемого электрода различают сварку электродной проволокой, пластинчатым электродом и плавящимся мундштуком. Сварка электродной проволокой. Эта сварка является основным методом электрошлаковой сварки прямолинейных и круговых швов на металле толщиной до 600 мм. Заготовки толщиной до 150 мм можно сваривать одним электродом, совершающим поперечные колебания в зазоре для обеспечения равномерного разогрева шлаковой ванны по всей толщине. Металл толщиной более 150 мм сваривают тремя, а иногда и большим числом проволок, исходя из использования одного электрода на 45—60 мм толщины металла. Сварку проволокой ведут специальными автоматами, обеспечивающими подачу электродных проволок и их поперечное перемещение в зазоре. Автоматы перемещаются непосредственно по свариваемому изделию (безрельсовые) или по рельсовой колонне, устанавливаемой параллельно свариваемым кромкам. Скорость движения регулируется автоматически в зависимости от скорости заполнения зазора расплавленным металлом. Для сварки применяют проволоку диаметром 2—3 мм. Сварочный ток составляет 750—1000 А. В качестве источников питания применяют специальные трансформаторы для электрошлаковой сварки с жесткой внешней характеристикой.

Сварка пластинчатым электродом. Этим методом сваривают прямолинейные швы длиной не более 1,5 м. Толщина пластинчатого электрода составляет примерно $\frac{1}{3}$ ширины зазора, а длина соответственно в 3,5 раза больше длины шва. Во время сварки электрод опускается в шлаковую ванну специальным механизмом. Преимуществом этого метода является простота применяемой аппаратуры и повышенная устойчивость процесса сварки. К недостаткам следует отнести необходимость мощных источников питания: на каждый пластинчатый электрод требуется ток 1500—2000 А.

Сварка плавящимся мундштуком. Этим методом сваривают прямолинейные швы на заготовках большой толщины (более 500 мм) и соединяют детали сложной формы. Плавящийся мундштук представляет собой пластину толщиной 5—6 мм с формой и размерами свариваемого сечения. Пластина имеет каналы для направления электродных проволок в зону сварки. Плавящийся мундштук закрепляют в свариваемом зазоре и изолируют от заготовок специальными прокладками. Мундштук расплавляется в процессе сварки, а непрерывно подающаяся проволока служит присадочным металлом для заполнения зазора. Особенно целесообразен плавящийся мундштук для сварки криволинейных швов переменного сечения, так как он обеспечивает равномерное распределение присадочного металла по сечению.

Электрошлаковая сварка имеет преимущества по сравнению с автоматической дуговой сваркой под флюсом: повышенную производительность вследствие непрерывности процесса сварки, выполняемой за один проход при любой толщине металла, увеличения сварочного тока в 1,5—2 раза, уменьшения расхода электродного металла, так как сваривают по зазору без разделки кромок; лучшую структуру сварного соединения вследствие более однородного строения шва, отсутствия многослойности и шлаковых включений; меньшие затраты на выполнение 1 пог. м сварного шва (в 10 раз и более) за счет повышенной производительности, уменьшения расхода флюса, электроэнергии, упрощения подготовки кромок свариваемых деталей.

К недостаткам электрошлаковой сварки следует отнести образование крупнозернистой структуры шва и околошовной зоны вследствие замедленного нагрева и охлаждения. После сварки необходима термическая обработка для получения мелкозернистой структуры металла сварного соединения.

Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжелом машиностроении для изготовления таких сварно-кованых и сварнолитых конструкций, как станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т. п. Толщина свариваемого металла составляет 50—2000 мм (рис. V.23).

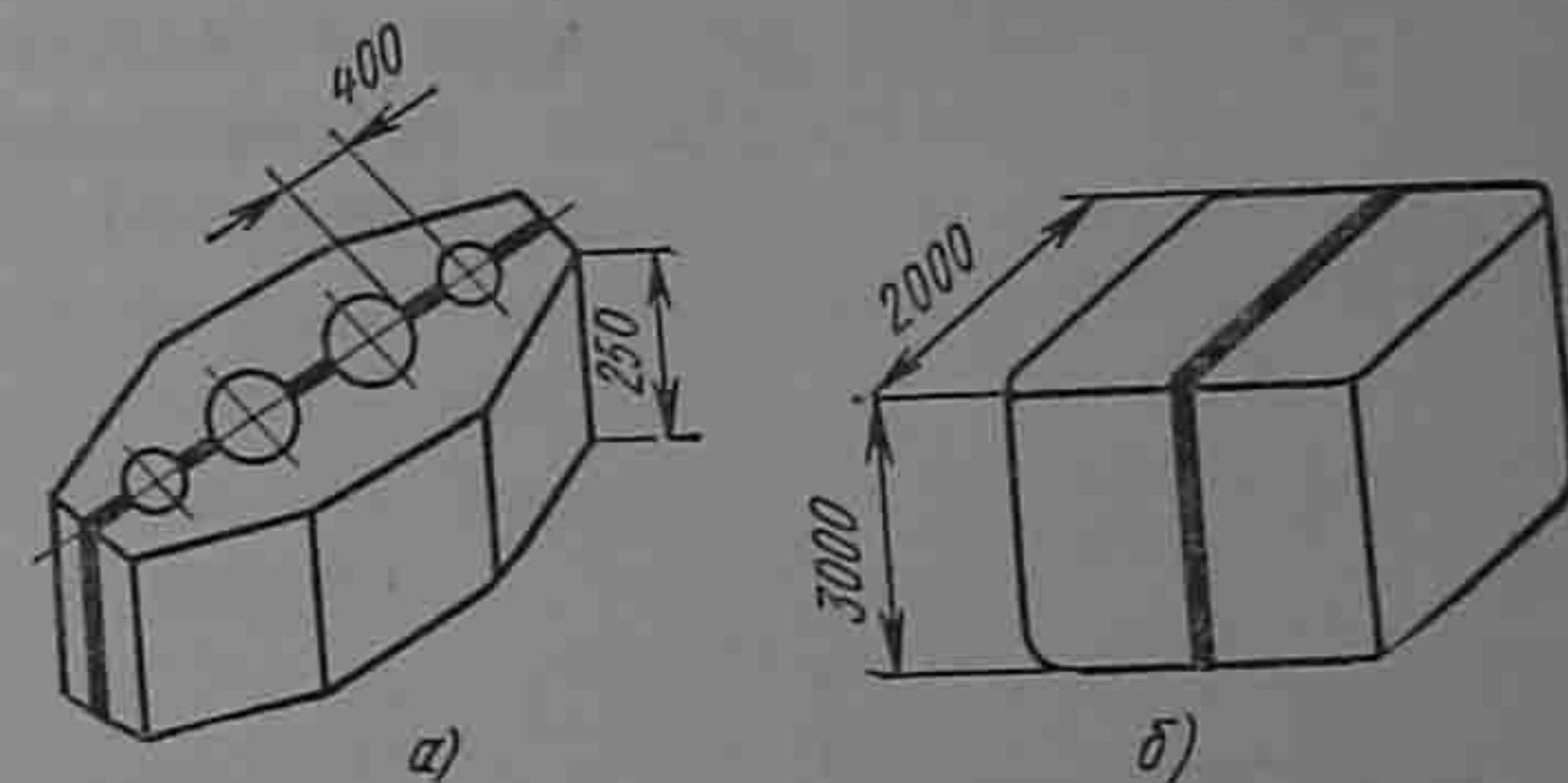


Рис. V.23. Примеры применения электрошлаковой сварки:
а — архитрав прессы; б — баба бесшаботного молота

9. Сварка электронным лучом в вакууме

Электронный луч представляет собой поток сжатых электронов, перемещающихся с большой скоростью от катода к аноду в сильном электрическом поле. При соударении электронного потока с твердым телом более 99% кинетической энергии электронов переходит в тепловую, расходуемую на нагрев этого тела. Температура в месте соударения может достигать 5000—6000 °С. Электронный пучок образуется за счет эмиссии электронов с нагретого в вакууме ($133 \cdot 10^{-4}$ — $133 \cdot 10^{-5}$ Н/м²) катода и с помощью электростатических и электромагнитных линз 4 формируется на поверхности свариваемых материалов (рис. V.24). В установках для электронно-лучевой сварки и обработки электроны эмитируются на катоде 1 электронной пушки; формируются в пучок электродом 2, расположенным непосредственно за катодом; уско-

раются под действием разности потенциалов между катодом и анодом 3, составляющей от 20—30 до 100—150 кВ и выше, затем фокусируются и в виде луча направляются специальной отклоняющей магнитной системой 5 на обрабатываемое изделие 6. На формирующий электрод 2 (цилиндр Венельта) подается отрицательный или нулевой по отношению к катоду потенциал. Фокусировкой достигается высокая удельная мощность (до 15—50 кВт/см² и выше). Ток электронного луча невелик (от нескольких миллиампер до единиц ампер). При перемещении заготовки под неподвижным или подвижным лучом образуется сварной шов. Иногда сваривают путем перемещения самого луча вдоль неподвижных кромок с помощью отклоняющих систем. Отклоняющие системы используют также и для колебаний электронного луча поперек или вдоль шва, что позволяет сваривать с присадочным металлом и регулировать тепловое воздействие на металл.

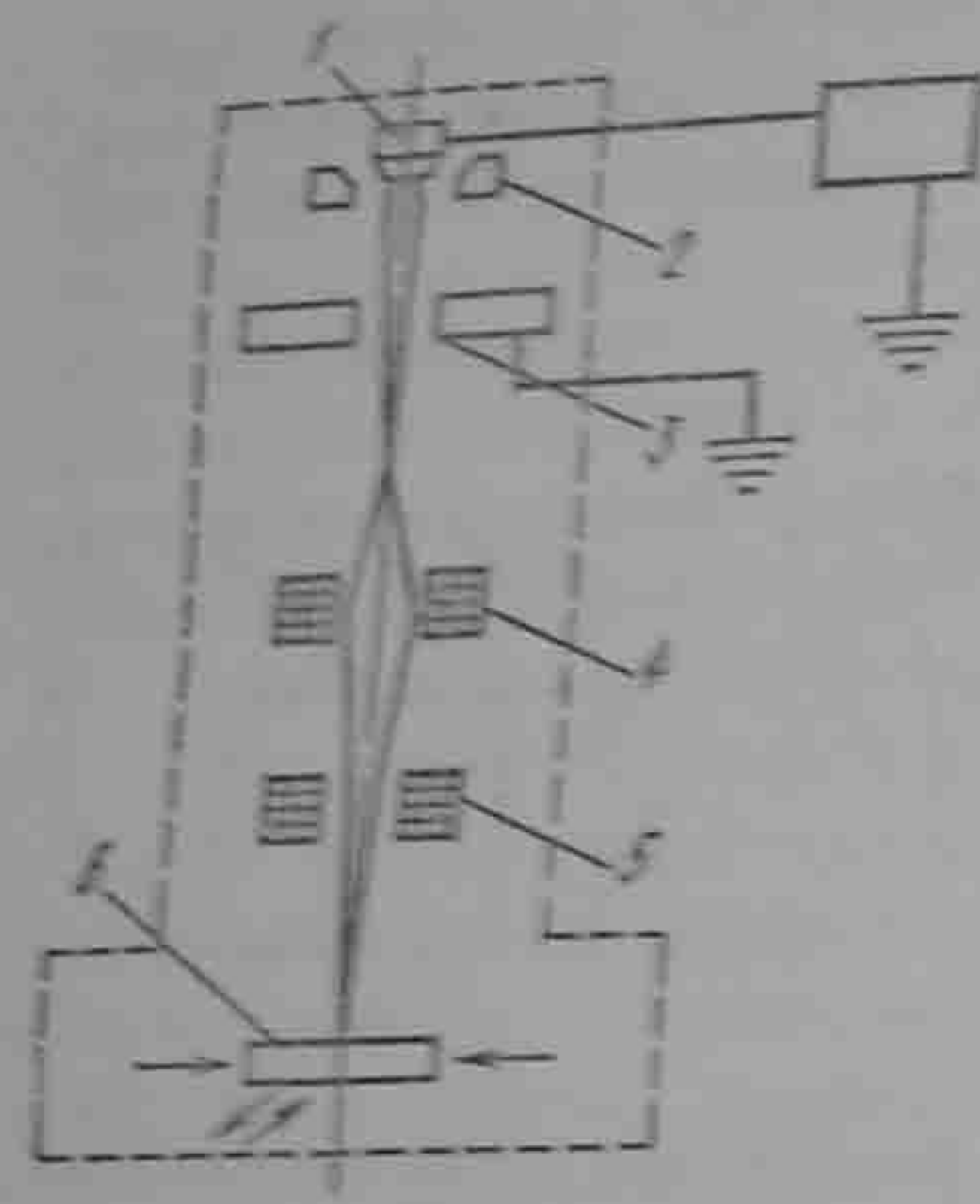


Рис. V.24. Схема установки для электронно-лучевой сварки

В современных установках для сварки, сверления, резки или фрезерования электронный луч фокусируется на площади диаметром менее 0,001 см, что позволяет получить большую удельную мощность. При использовании обычных сварочных источников теплоты (дуги, газового пламени) металл нагревают и плавят за счет распространения теплоты от поверхности в глубину, при этом форма зоны расплавления в сечении приближается к полукругу. При сварке электронным лучом теплота выделяется непосредственно в самом металле, причем наиболее интенсивно на некоторой глубине под его поверхностью. Отношение глубины проплавления к ширине может достигать 20 : 1; такое проплавление называется клиновидным (рис. V.25).

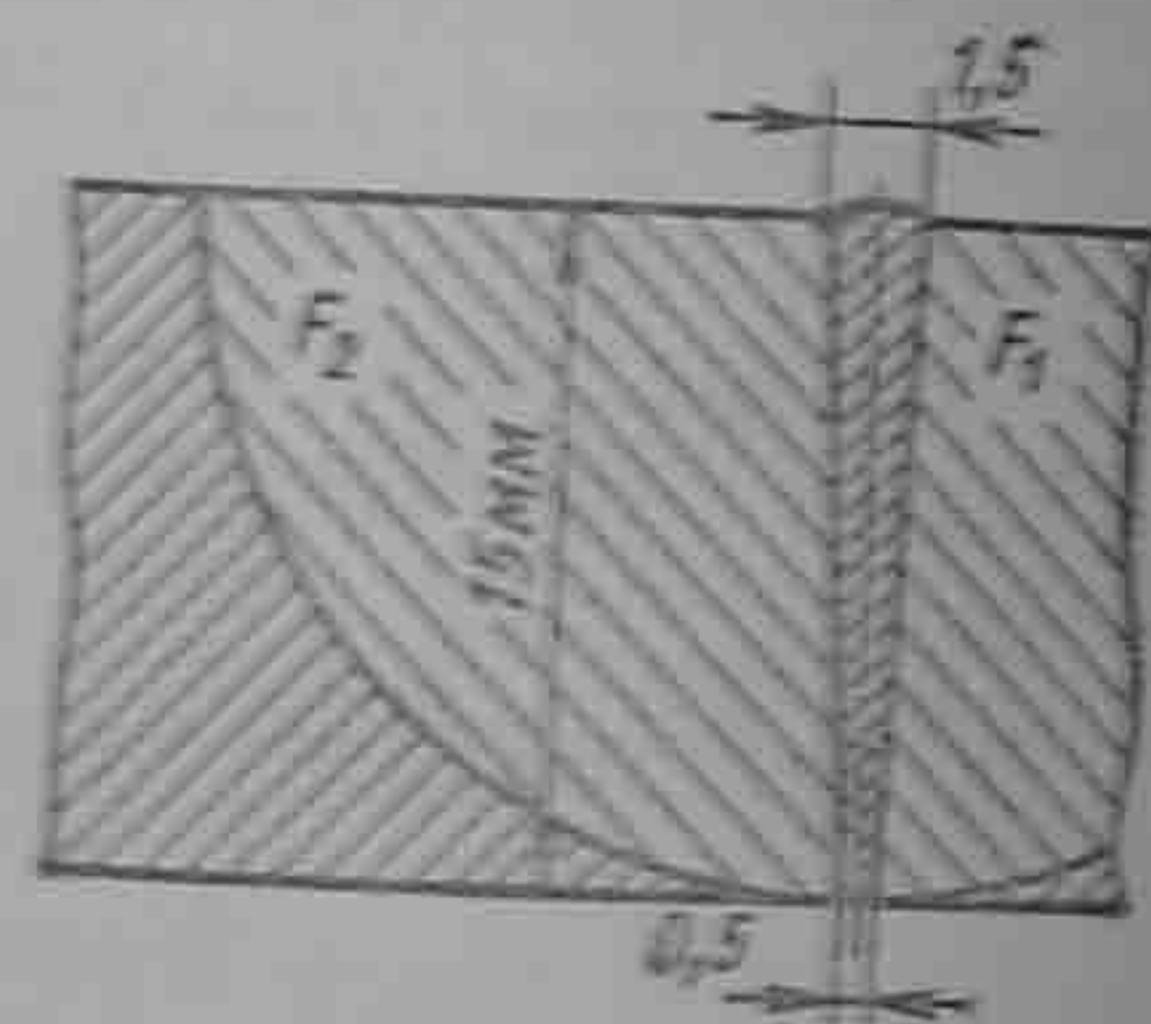


Рис. V.25. Клиновидное проплавление при электронно-лучевой сварке ($F_2/F_1 = 20,5$):

F_1 — сечение шва при электронно-лучевой сварке; F_2 — сечение шва при ручной дуговой сварке

Электронный луч, представляющий собой поток электронов, движущихся в одном направлении по параллельным траекториям, проникает в металл на большую глубину. Это объясняется высокой плотностью энергии в месте встречи его с поверхностью металла и образованием канала, заполненного парами металла с достаточно высокой проникаемостью для электронов. Часть электронного луча может выходить со стороны корня шва в виде

сфокусированного пучка, вследствие чего могут быть одновременно сварены детали, расположенные ниже.

Высокая концентрация теплоты в пятне нагрева позволяет сверлить такие материалы, как сапфир, рубин, алмаз, твердое стекло. Незначительная ширина зоны теплового воздействия дает возможность резко уменьшить деформацию заготовок. Кроме того, при электронно-лучевой сварке обеспечивается зеркальная поверхность соединения.

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, ниобиевых, циркониевых, молибденовых и т. п.), а также из высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разницей толщин, температур плавления и других теплофизических свойств. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная — до 100 мм.

Электронно-лучевой сваркой можно соединять малогабаритные изделия, применяемые в электронике и приборостроении, и крупногабаритные изделия длиной и диаметром в несколько метров.

Любая электронно-лучевая установка (ЭЛУ) для сварки, плавки и размерной обработки материалов состоит из электронной пушки, камеры, приводных устройств для перемещения обрабатываемых деталей, вакуумной системы и источника питания с аппаратурой управления процессом.

Электронная пушка служит для генерации свободных электронов, формирования их в пучок и ускорения. Основными ее элементами являются катодный узел и узел фокусировки. Наиболее распространены вольфрамовые, танталовые и молибденовые катоды. При работе в высоком вакууме используют оксидные катоды, у которых на стержень из тугоплавкого металла нанесено тонкое покрытие из редкоземельных элементов, а также катоды из гексаборида лантана.

Пушки бывают длиннофокусные, у которых электроны разгоняются на участке между катодом и анодом, расположенными за электродом Венельта, с фокусным расстоянием 300—500 мм. Преимущество их заключается в том, что деталь не является элементом электрической цепи, благодаря чему возможна обработка неэлектропроводных материалов. Существуют также короткофокусные пушки с фокусным расстоянием 30—40 мм, в которых анодом является сама деталь. Эти пушки имеют меньшие размеры, их можно помещать внутри вакуумной камеры и управлять движением луча, перемещая его. Сваривать этими пушками можно только электропроводные материалы. Работают они при низких ускоряющих напряжениях.

Наша промышленность выпускает пушки обоих типов. Наиболее распространены в промышленности установки ЭЛУ универсального типа.

Радиоэлектронная промышленность выпускает электронно-лучевые установки средней мощности типа А306-05 с ускоряющим напряжением до 25 кВ и силой тока луча до 120 мА.

10. Газовая сварка

Газовая сварка — это процесс сварки плавлением, при котором место соединения нагревают до расплавления высокотемпературным газовым пламенем (рис. V.26). При нагревании газосварочным пламенем 4 кромки свариваемых заготовок 1 расплавляются, а зазор между ними заполняется присадочным металлом 2, который вводят в пламя горелки 3 извне. Газовое пламя получается при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода.

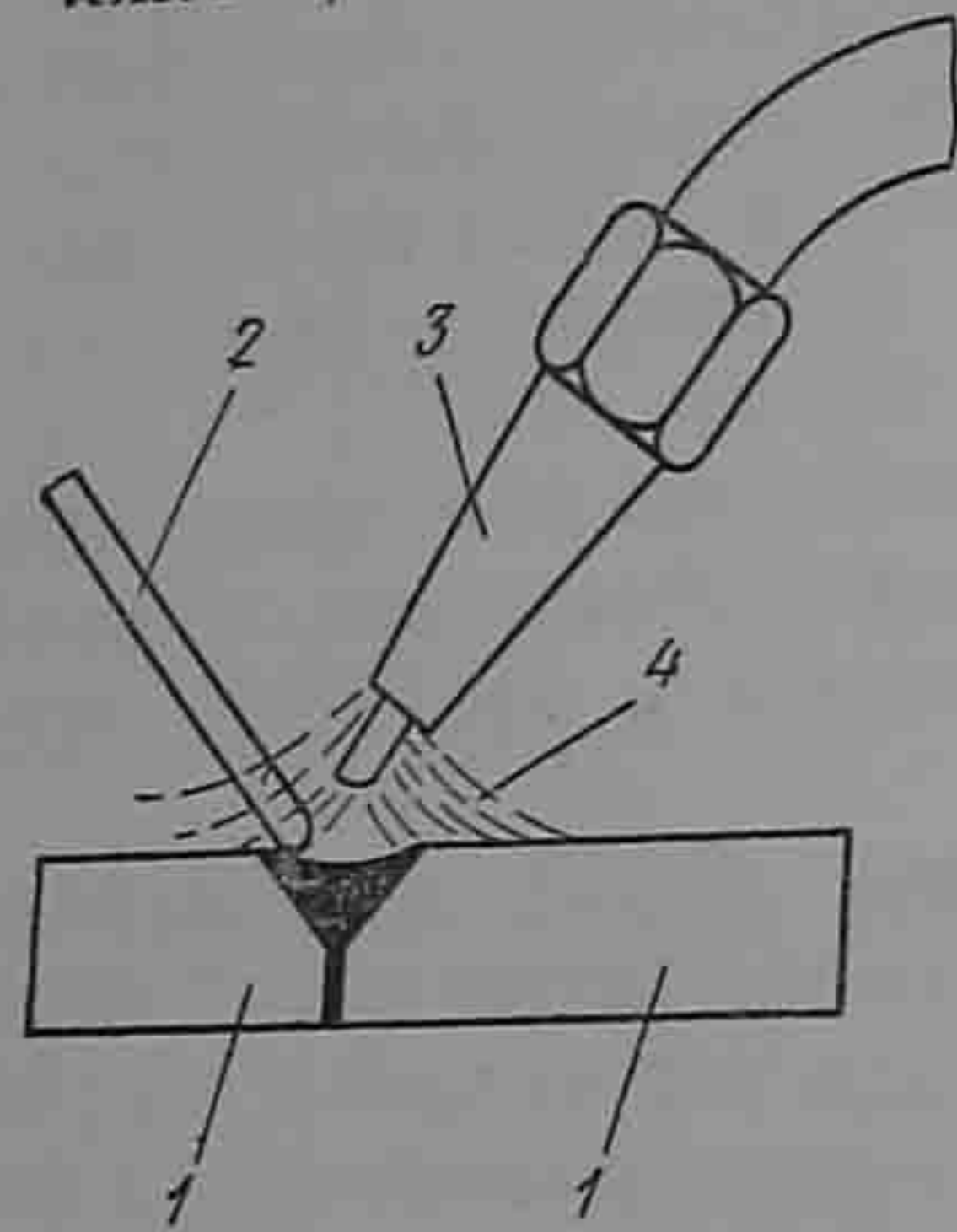


Рис. V.26. Принципиальная схема газовой сварки

Кислород. Для сварочных работ используют газообразный кислород, который получают из воздуха методом глубокого охлаждения и поставляют к месту потребления в стальных баллонах под давлением 15 МПа. Баллоны окрашивают в голубой цвет с черной надписью «Кислород».

Кислородный баллон (рис. V.27) представляет собой стальной цилиндр со сферическим дном 6 и горловиной 4 для крепления запорного вентиля 2.

На нижнюю часть баллона насаживают башмак 5, позволяющий ставить баллон вертикально. На горловине имеется кольцо 3 с резьбой для наворачивания защитного колпака с резьбой.

Средняя жидкостная емкость баллона 40 см³; при давлении 15 МПа он вмещает около 6000 см³ кислорода.

При использовании кислородных баллонов необходимо соблюдать правила техники безопасности, помня, что они взрывоопасны. В местах установки баллоны надо жестко закреплять. Нельзя допускать загрязнения баллонов, особенно их вентиля, маслами и жирами, которые самовозгораются в кислороде. Баллоны с кислородом следует устанавливать от открытых источников нагрева на расстоянии не менее 5 м. Для снижения давления газов на выходе из баллона и поддержания постоянной величины рабочего давления применяют газовые редукторы.

Кислородные редукторы понижают давление от 15 до 1,5 МПа, а ацетиленовые — от 1,6 до 0,02—0,05 МПа. Редукторы, применяемые в сварочной технике, обычно имеют два манометра, один из которых измеряет давление газа до входа в редуктор, второй — на выходе из него.

Принцип действия редуктора (рис. V.28) состоит в том, что клапан 2 находится под действием двух взаимно противополож-

ных сил: давления запорной пружины 1 и давления гибкой мембраны 4. При номинальном рабочем давлении редуцированного газа в камере низкого давления устанавливается равновесие запорной пружины и мембраны, действующих на клапан в противоположных направлениях. Запорный клапан 2 прижимается к седлу запорной пружины 1 и преграждает доступ из баллона в редуктор газа высокого давления. На тот же клапан 2 воздей-

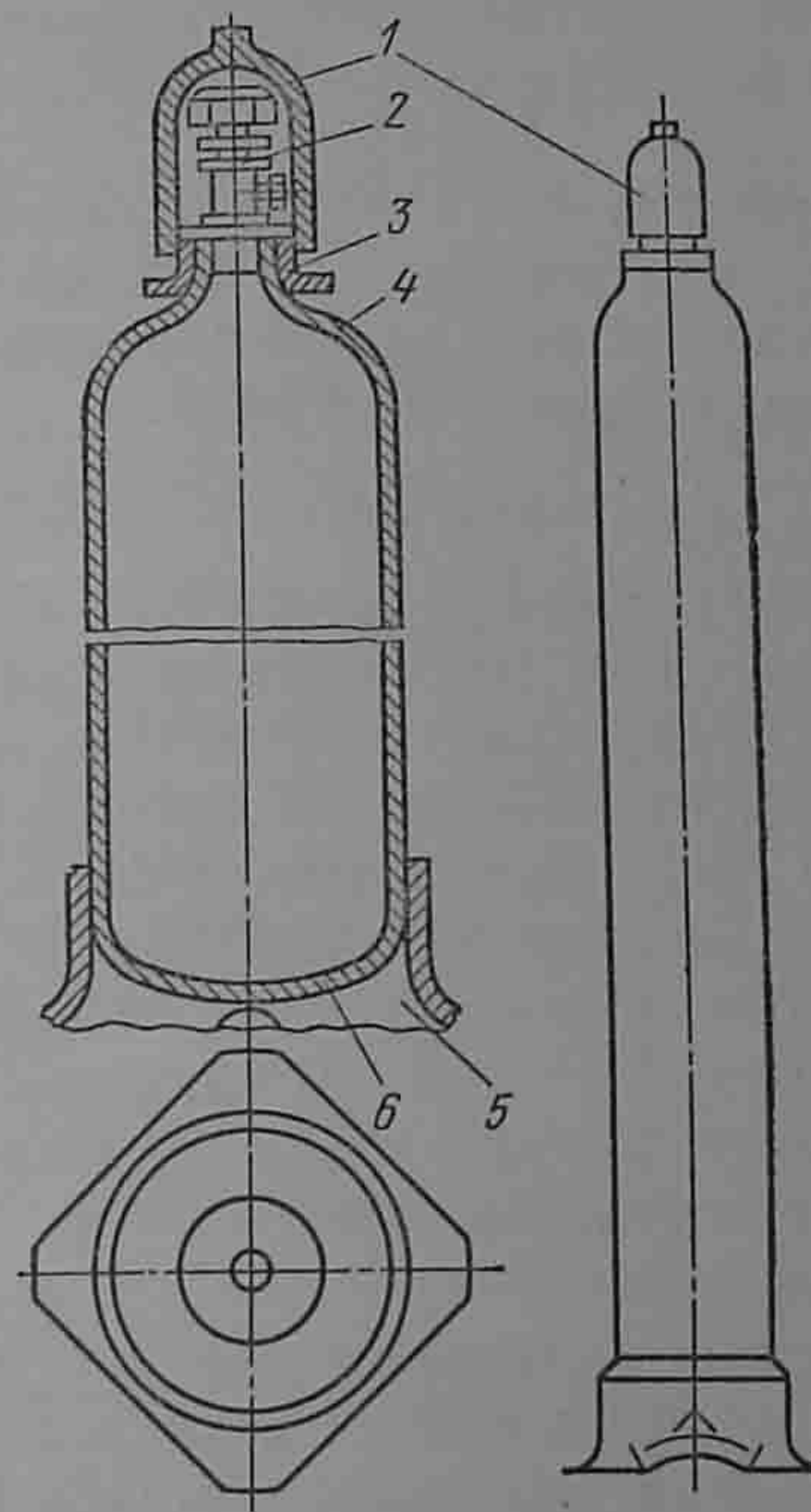
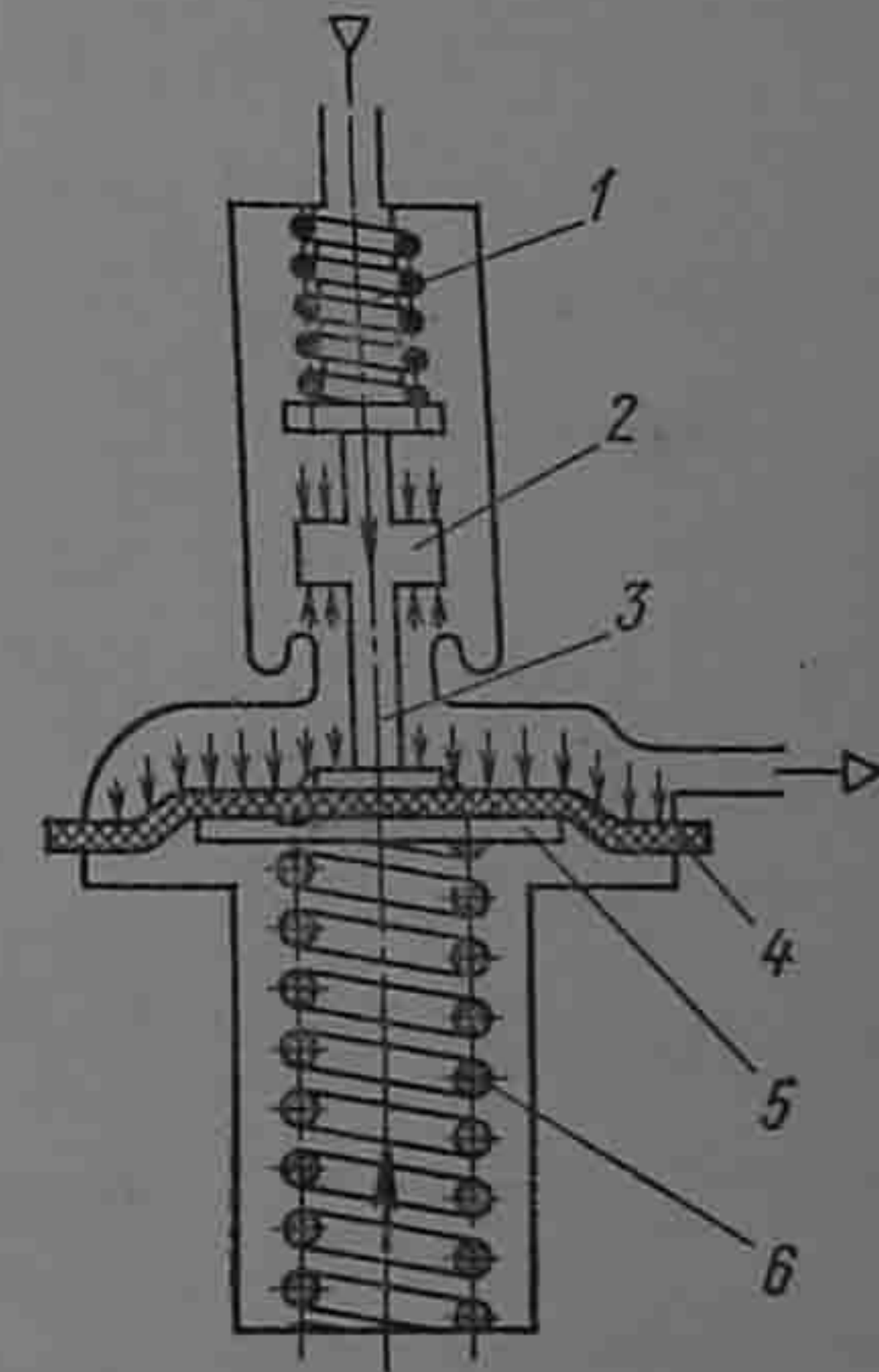


Рис. V.27. Схема газового баллона;

1 — колпак; 2 — вентиль; 3 — кольцо; 4 — горловина; 5 — башмак; 6 — днище

Рис. V.28. Схема газового редуктора:

1 — запорная пружина; 2 — клапан; 3 — толкач; 4 — мембрана; 5 — нажимной диск; 6 — регулировочная пружина



ствует через толкач 3 гибкая мембрана 4, стремящаяся его открыть; на мембрану 4 через нажимной диск 5 — главная регулировочная пружина 6, стремящаяся открыть клапан 2, а с внутренней стороны камеры редуктора — редуцированный газ низкого давления. Рабочее давление газа, зависящее от натяжения пружины 6, можно регулировать винтом с резьбой.

На рис. V.28 дана схема редуктора обратного действия. Поступающий газ стремится закрыть клапан 2 и прижать его к седлу. По мере уменьшения давления газа в баллоне до давления редуктора клапан будет все больше открываться, приток газа в редуктор увеличиваться и его рабочее давление в камере редуктора будет возрастать, а давление газа в баллоне снижаться.

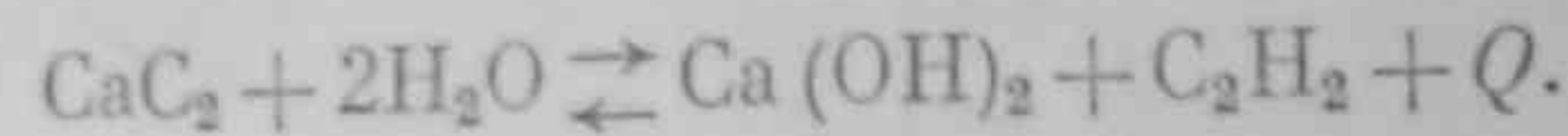
Редукторы для различных газов отличаются лишь устройством присоединительной части, которая соответствует устройству вентиля баллона для данного газа. Корпус редуктора окрашивают в определенный цвет, например в голубой для кислорода, в белый

для ацетилена и т. д. К сварочной горелке кислород от редуктора подают через специальные резиновые шланги.

Горючие газы. В качестве горючих газов можно применять природные газы, водород, пары бензина и керосина, нефтяные газы, ацетилен и др.

Перечисленные горючие газы могут быть использованы главным образом для кислородной резки, не требующей высокой температуры пламени. Для газовой сварки применяют ацетилен, так как он имеет большую теплотворную способность по сравнению с другими горючими газами и высокую температуру сгорания (3200 °С).

Ацетилен (C₂H₂). Этот горючий газ с теплотворной способностью 13 000 ккал/м³ получают в специальных аппаратах — газогенераторах при взаимодействии воды с карбидом кальция. Реакция протекает со значительным выделением теплоты:



При разложении 1 кг карбида кальция образуется 250—300 см³ ацетилена. Ацетилен взрывоопасен при избыточном давлении свыше 0,175 МПа, хорошо растворяется в ацетоне (в одном объеме ацетона при давлении 0,15 МПа растворяется 23 объема ацетилена). Последнее свойство используют для безопасного хранения ацетилена в баллонах. Сваривают при непосредственном питании ацетиленом от генератора или от ацетиленового баллона.

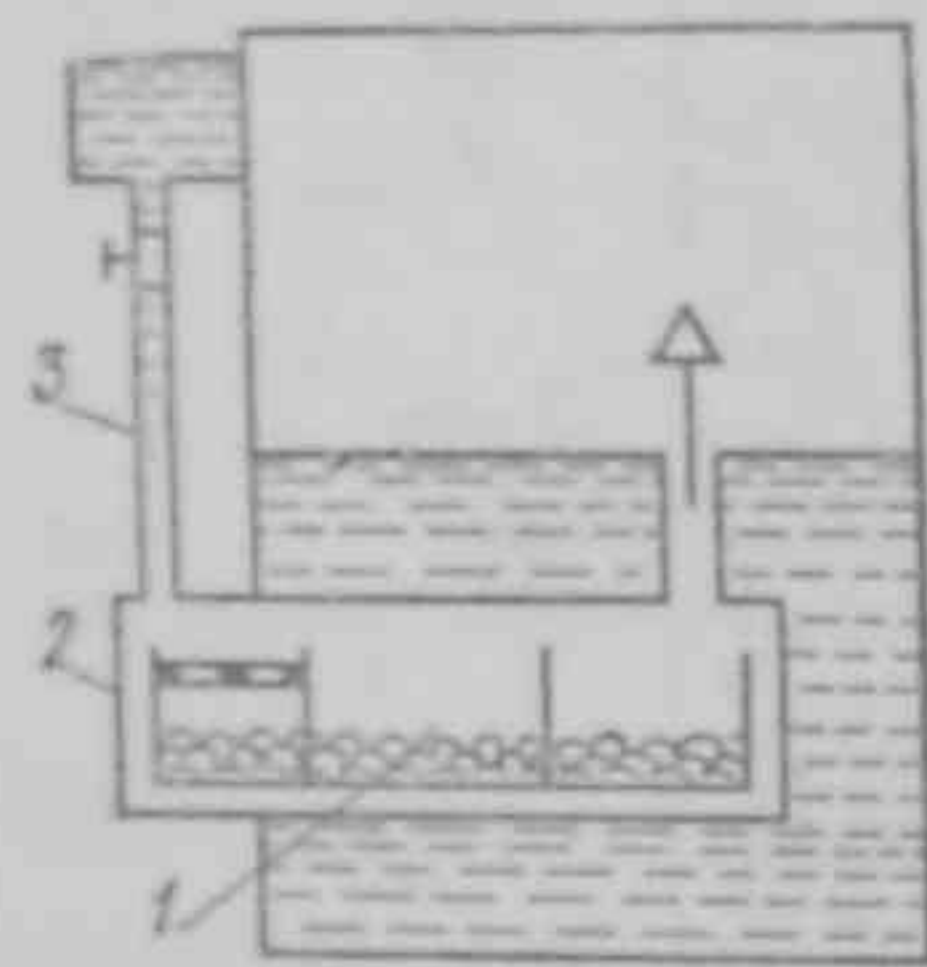


Рис. V.29. Принципиальная схема газогенератора системы «вода на карбид кальция»:

1 — загрузочная корзинка; 2 — реторта; 3 — трубка для подачи воды в реторту

сверху коробку (рис. V.29). Коробку помещают в горизонтальную цилиндрическую реторту, герметически закрывающуюся снаружи.

По давлению выходящего газа генераторы бывают низкого давления (до 0,01 МПа) и среднего (до 0,15 МПа). Ацетилен, поступающий из генератора, загрязнен вредными для процесса сварки примесями (фосфористым и сернистым водородом). Поэтому в генераторах предусматривают очистители, в которых находится специальная очистительная масса (гератоль), состоящая из инфузориной земли, пропитанной раствором натриевого хромпика, и серной кислоты.

Предохранительные водяные затворы. На пути следования газа от генератора к сварочной горелке устанавливают водяные

затворы, предотвращающие проникновение кислородно-ацетиленового пламени в ацетиленовый генератор при его обратном ударе. Обратный удар возникает, когда скорость истечения газов становится меньше скорости их горения. Практически обратный удар происходит при перегреве горелки и засорении сопла или центрального отверстия инжектора. По принципу устройства предохранительные затворы разделяют на водяные и сухие, а по принципу работы — на затворы открытого типа при низком давлении (до 0,01 МПа) и закрытого типа при среднем давлении (свыше 0,1 МПа). Принцип действия водяного затвора низкого

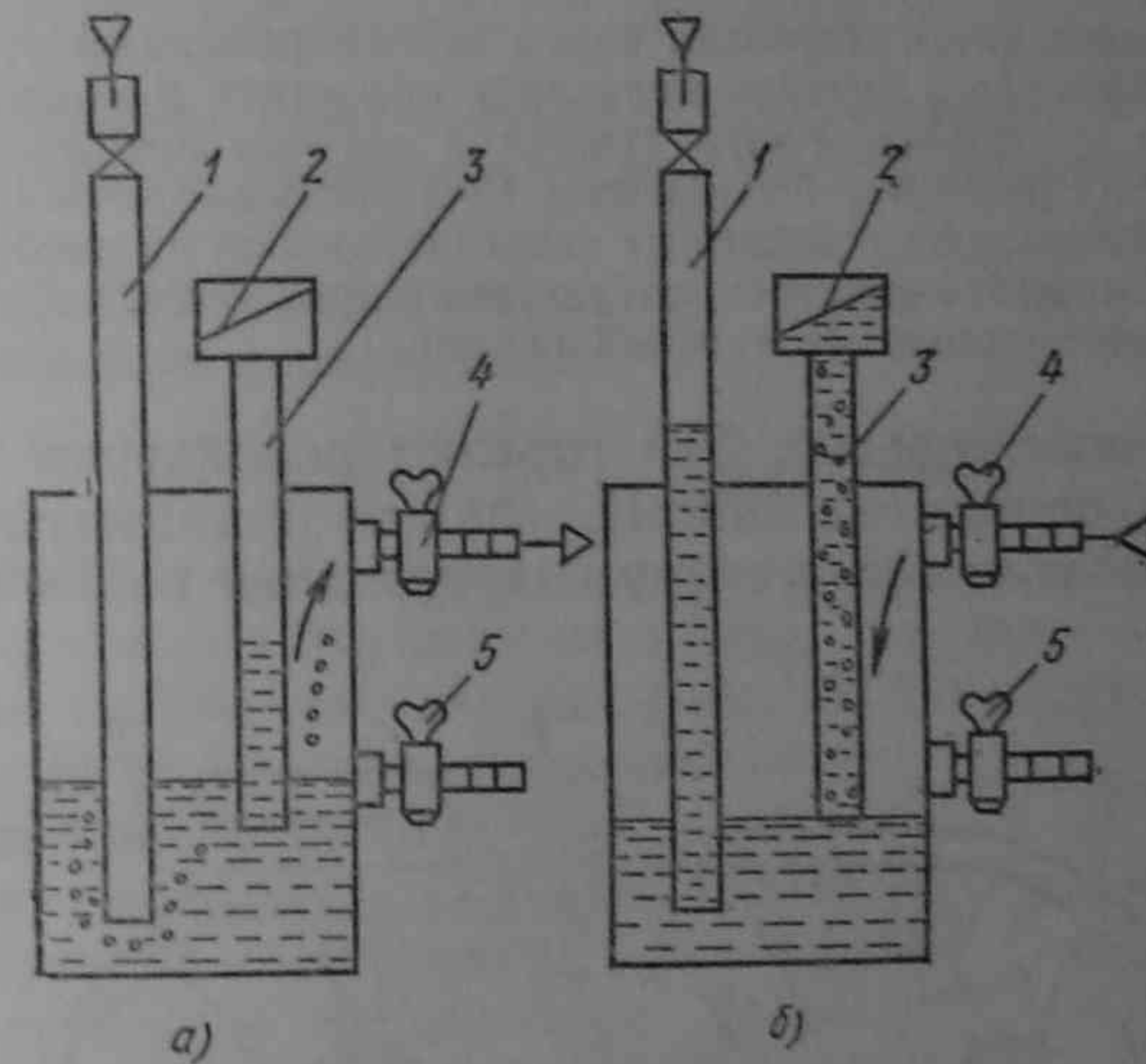


Рис. V.30. Схема водяного затвора:

а — при нормальной работе; б — при обратном ударе

давления показан на рис. V.30. Ацетилен по газопроводящей трубе 1 поступает в затвор, наполненный водой до уровня контрольного крана 5, и, пройдя через слой воды, выходит по газопроводящей трубе 3 к горелке. Разность уровней в открытой сверху предохранительной трубке 3 и затворе определяет рабочее давление газа, питающего горелку. При обратном ударе газовая смесь устремляется назад, поступает в затвор через кран 4 и оттесняет воду в газопроводящую трубу и предохранительную трубку 3. Вследствие понижения уровня воды в затворе нижний конец предохранительной трубки обнажается и газы выходят в атмосферу. Щиток 2 отражает воду, выбрасываемую из затвора, и возвращает ее назад в затвор.

Растворенный ацетилен. Получение ацетилена из генераторов связано с определенными трудностями. Ацетиленовые генераторы взрывоопасны, нуждаются в специальном обслуживании и часто для них требуется специальное помещение. При работе одного-двух сварочных постов и в полевых условиях целесообразно

использовать баллонный ацетилен. Ацетиленовые баллоны окрашивают в белый цвет и делают на них красной краской надпись «Ацетилен». Их конструкция аналогична конструкции кислородных баллонов. Хранение таких баллонов безопасно. Давление ацетилена с баллонного 1,5 МПа до рабочего снижают с помощью ацетиленового редуктора, конструкция которого аналогична конструкции кислородного редуктора. Его окрашивают в белый цвет и иначе присоединяют к вентилю баллона, чем кислородный редуктор. Баллоны наполняют на специальных наполнительных станциях очищенным и осушенным ацетиленом.

В баллоне находится пористая масса (активированный уголь) и ацетон. Растворение ацетилена в ацетоне позволяет поместить в малом объеме большое количество ацетилена. Растворенный в ацетоне ацетилен пропитывает пористую массу и становится безопасным. Стоимость растворенного ацетилена выше, чем ацетилена, получаемого из газогенераторов на месте потребления, но хорошее его качество (чистота, отсутствие паров воды, высокое давление) повышает производительность газовой сварки.

Газосварочные горелки. Эти горелки используют для образования газосварочного пламени. Горелки по принципу подачи горючего газа в смесительную камеру подразделяют на **б е з и н ж е к -**

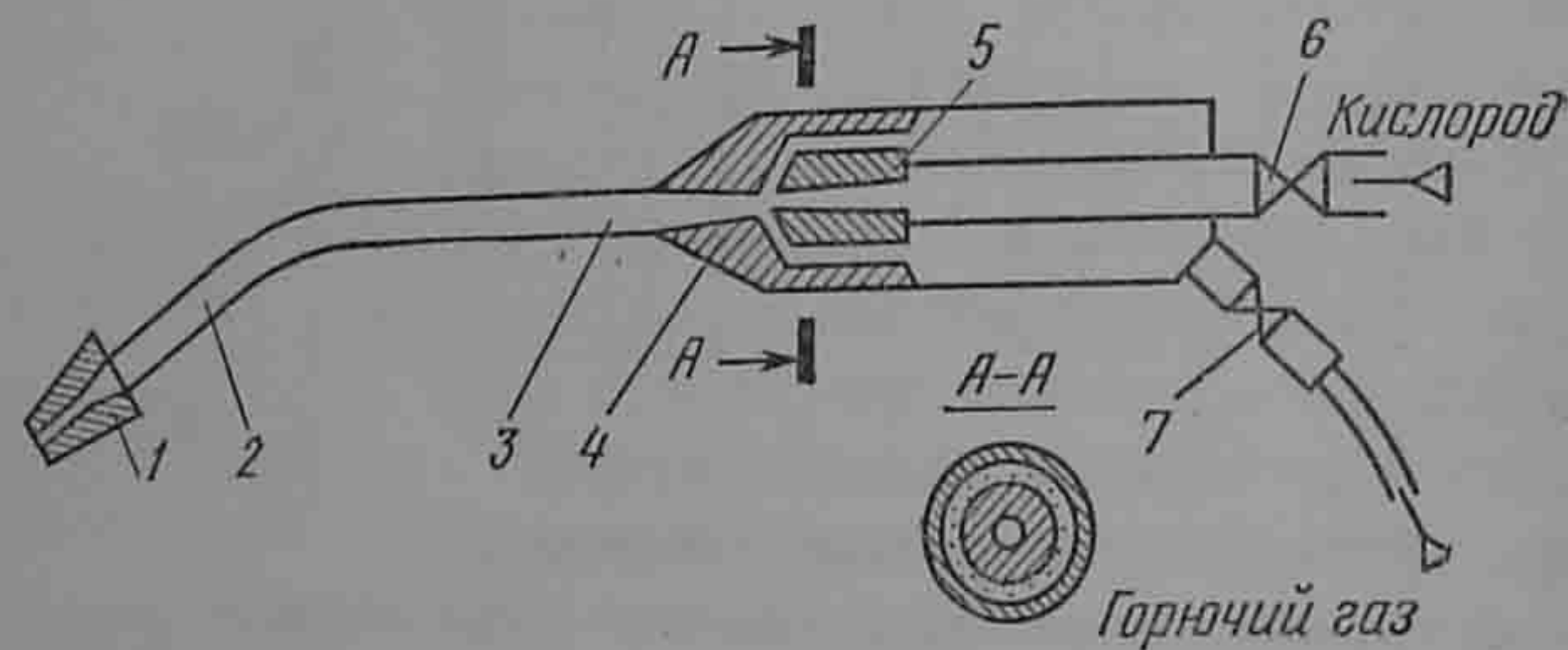
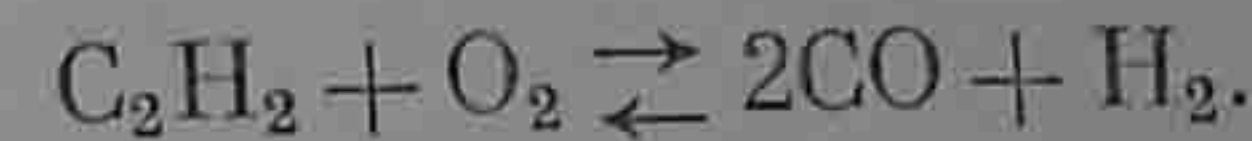


Рис. V.31. Схема газосварочной инжекторной горелки

т о р н ы е и и н ж е к т о р н ы е. В промышленности наиболее распространена инжекторная горелка, так как она более безопасна и работает на низком и среднем давлениях. На рис. V.31 показана схема инжекторной горелки. Кислород под давлением 0,1—0,4 МПа поступает в горелку и через регулировочный вентиль и трубку 6 подается к инжектору 5. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжекторного конуса, кислород создает значительное разрежение в камере 4 и засасывает горючий газ, поступающий через пиппель и вентиль 7 в ацетиленовые каналы горелки и в камеру смешения 3, где и образуется горючая смесь. Затем горючая смесь поступает по наконечнику 2 к мундштуку 1, на выходе из которого при сгорании образует сварочное пламя.

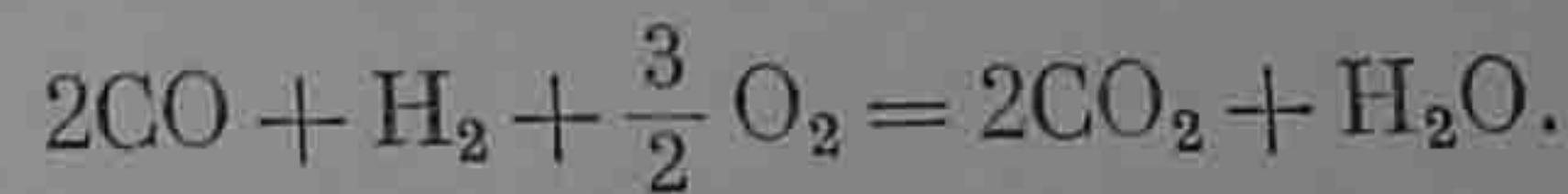
Горелки этого типа имеют сменные наконечники с различными диаметрами выходных отверстий инжектора и мундштука, что позволяет регулировать мощность ацетилено-кислородного пламени. Обычно горелки имеют семь сменных номеров наконечников.

Газосварочное пламя. Такое пламя образуется в результате сгорания ацетилена, смешиваемого в определенных пропорциях с кислородом в сварочных горелках. Ацетилено-кислородное пламя состоит из трех зон: ядра пламени 1, средней зоны 2 (сварочной), факела пламени 3 (l — длина). На рис. V.32 показано строение газосварочного пламени и распределение температуры по его оси. В зоне 1 (ядре) происходит постепенный нагрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из мундштука; в зоне 2 — первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода, поступающего из баллона:



Зона 2, имеющая самую высокую температуру и обладающая восстановительными свойствами, называется **сварочной или рабочей зоной**.

В зоне 3 (факеле) протекает вторая стадия горения ацетилена за счет атмосферного кислорода:



Углекислый газ и пары воды при высоких температурах окисляют железо, поэтому эту зону называют **окислительной**. Газосварочное пламя называется нормальным, когда соотношение газов $O_2/C_2H_2 \approx 1$. Нормальным пламенем сваривают большинство сталей. При увеличении содержания кислорода ($O_2/C_2H_2 > 1$) пламя приобретает голубоватый оттенок и имеет заостренную форму ядра. Такое пламя обладает окислительными свойствами и может быть использовано только при сварке латуни. В этом случае избыточный кислород образует с цинком, содержащимся в латуни, тугоплавкие окислы, пленка которых препятствует дальнейшему испарению цинка.

При увеличении содержания ацетилена ($O_2/C_2H_2 < 1$) пламя становится коптящим, удлиняется и имеет красноватый оттенок. Такое пламя называют **науглероживающим** и применяют для сварки чугуна и цветных металлов, так как в этом случае компенсируется выгорание углерода и восстанавливаются окислы цветных металлов.

Тепловую мощность газосварочного пламени, определяемую расходом ацетилена (в $см^3/ч$), определяют по эмпирической формуле

$$P = A\delta,$$

где δ — толщина металла, мм; A — коэффициент, определяемый опытным путем [для углеродистых сталей 100, для меди 150 и для алюминия 75 $см^3/(ч \cdot мм)$].

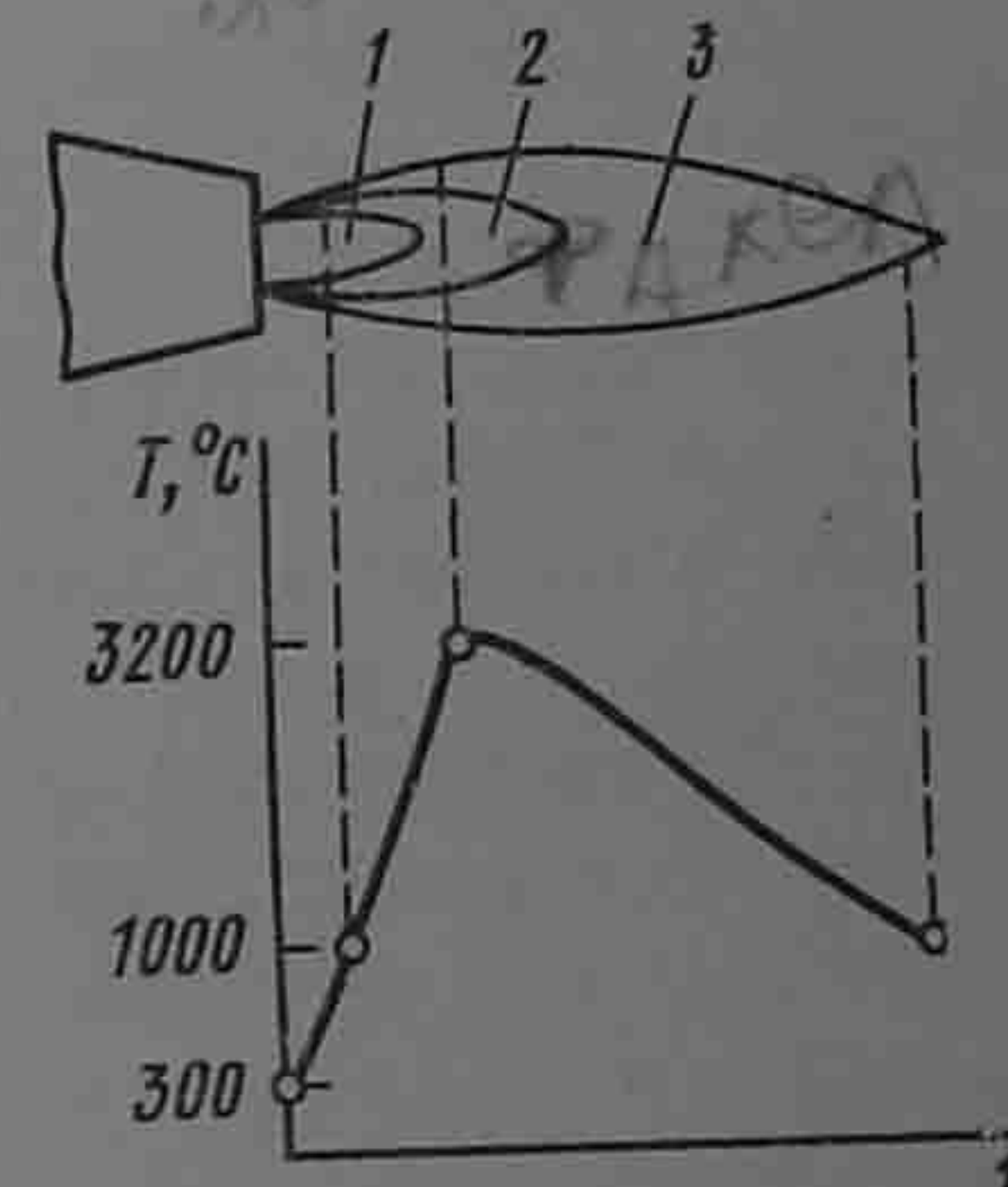


Рис. V.32. Газосварочное пламя

Для газовой сварки сталей применяют присадочную проволоку (ГОСТ 2246—70), выбираемую в зависимости от состава сплава свариваемого металла.

Для газовой сварки чугуна применяют специальные литые чугунные стержни; для наплавки износостойких покрытий — литые стержни из твердых сплавов. Для газовой сварки цветных металлов и некоторых специальных сплавов используют флюсы, которые могут быть в виде порошков и паст; для сварки меди и ее сплавов — кислые флюсы (буру, буру с борной кислотой); для сварки алюминиевых сплавов — бескислородные флюсы на основе фтористых, хлористых солей лития, калия, натрия и кальция.

Роль флюсов состоит в растворении окислов и образовании шлаков, легко всплывающих на поверхность сварочной ванны. Во флюсы можно вводить восстановители и присадки, легирующие наплавленный металл.

Для сварки латуни применяют *газофлюсовую сварку* с дозированной подачей в сварочную ванну газового флюса для раскисления металла. Флюс, представляющий собой эфир борной кислоты (BOCH_3), подают в ацетиленовый канал сварочной горелки, где он сгорает в пламени и образует борный ангидрид, связывающий окислы цинка. В результате образуется слой шлака, препятствующий дальнейшему выгоранию цинка.

При газовой сварке заготовки нагреваются более плавно, чем при дуговой; это и определяет основные области ее применения: для сварки металлов малых толщин (0,2—3,0 мм), легкоплавких цветных металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения, например инструментальных сталей, чугуна, латуней; в полевых условиях; для пайки и наплавочных работ; для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках.

При увеличении толщины металла производительность газовой сварки резко снижается. При этом за счет медленного нагрева свариваемые изделия значительно деформируются. Это ограничивает применение газовой сварки.

В некоторых случаях газовую сварку можно механизировать; например, можно сваривать продольный шов трубных заготовок многопламенными горелками (20—40 шт.) с расположением пламен в один ряд вдоль оси шва при среднем расстоянии между ними ~10 мм. Средняя производительность такой сварки 30 м/мин при полном проваре сечения. Газовая смесь имеет избыток кислорода, что обеспечивает максимальную температуру пламени.

Автоматическую газовую сварку целесообразнее применять для сварки стыковых и угловых швов с отбортовкой кромок, когда не требуется присадочного металла.

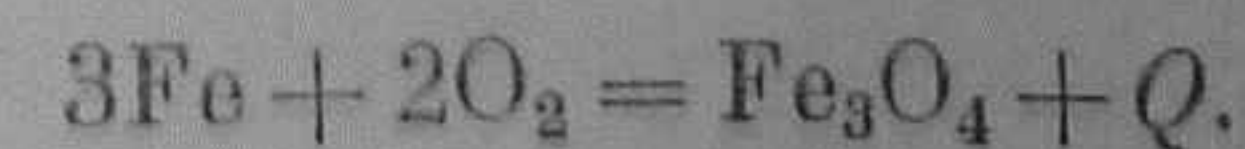
11. Термохимическая резка металлов

В процессе резки металл из полости реза может быть удален термическим способом (расплавляется по линии реза и вытекает) и химическим способом (окисляется, превращается в окислы

и шлаки, которые также удаляются из полости реза). Оба эти процесса могут происходить одновременно. К термическому и химическому воздействию может присоединиться механическое действие струи газа, электрода, порошка, способствующее выталкиванию жидких и размягченных продуктов из полости реза.

Существует несколько способов резки, но в промышленности наиболее распространена газокислородная резка.

Газокислородная резка. Этот способ относится к термохимической резке и заключается в сжигании металла в струе технически чистого кислорода и удалении этой струей образующихся окислов. При горении железа в кислороде выделяется значительное количество теплоты по реакции



Для начала горения металл подогревают до температуры его воспламенения в кислороде (например, сталь до 1000—1200 °С). На рис. V.33 показан процесс газокислородной резки. Металл 3 нагревается в начальной точке реза до температуры воспламенения специальным подогревающим ацетилено-кислородным пламенем 2, затем направляется струя режущего кислорода 1, и нагретый металл начинает гореть. Горение металла сопровождается выделением теплоты, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие ниже слои и распространяется на всю толщину металла. Образующиеся окислы 5 в расплавленном состоянии выдуваются струей режущего кислорода из зоны реза 4. Конфигурация перемещения струи соответствует заданной форме реза. Металл будет разрезаться по заданной линии.

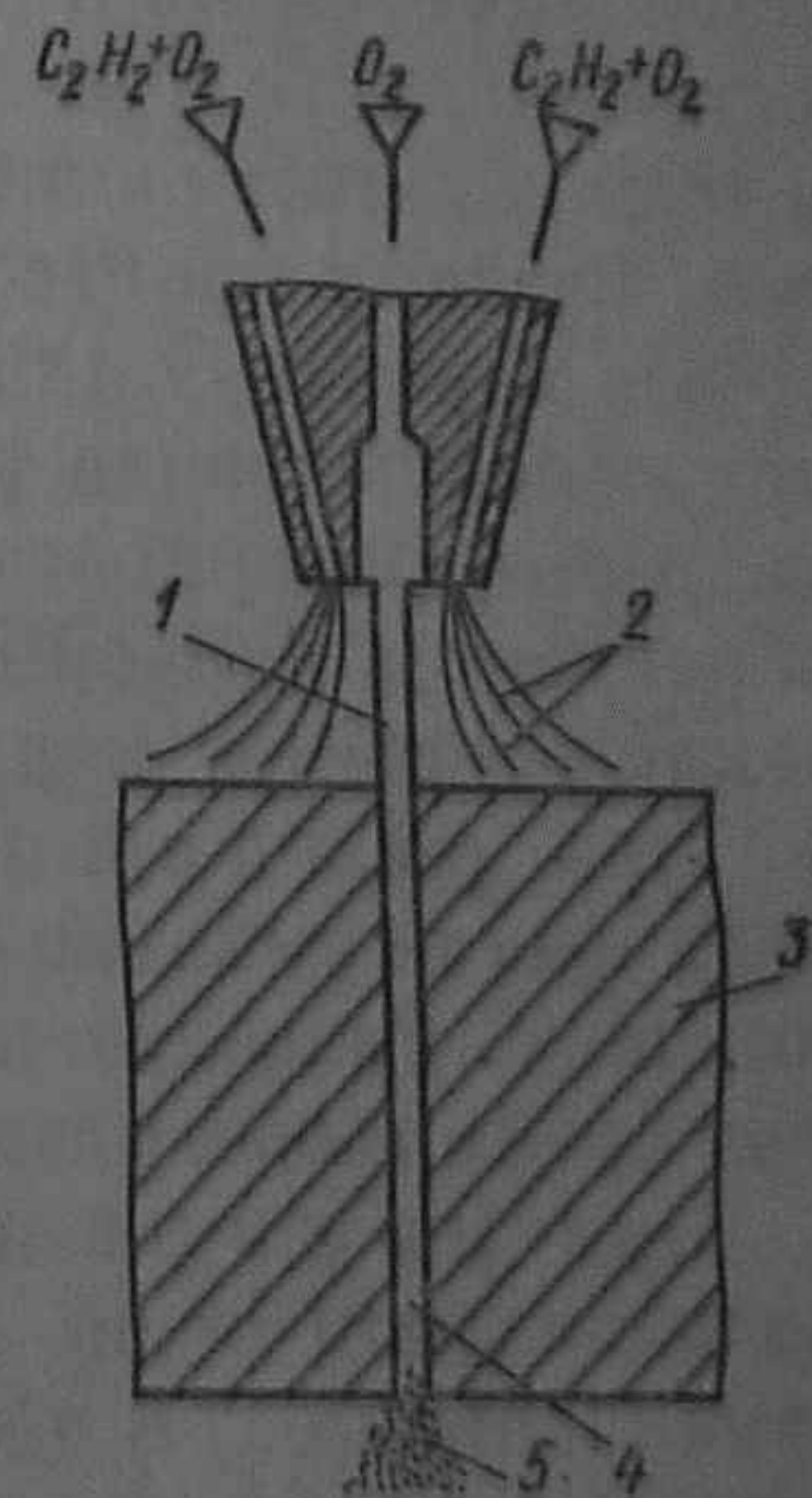


Рис. V.33. Схема газокислородной резки

Для обеспечения нормального процесса резки металл должен отвечать следующим требованиям:

- 1) температура его плавления должна быть выше температуры горения в кислороде;
- 2) температура плавления окислов металла должна быть ниже температуры его плавления;
- 3) количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла в кислородной струе, должно быть достаточным для поддержания непрерывного процесса резки;
- 4) теплопроводность не должна быть слишком высокой, в противном случае слишком интенсивно отводится теплота и процесс резки прерывается;
- 5) образующиеся окислы должны быть достаточно жидкотекучими и легко выдвигаться вниз струей режущего кислорода.

Практически указанным требованиям отвечают железо, низкоуглеродистые и низколегированные стали.

Процесс газовой резки затрудняется при содержании в стали свыше 0,7% С, так как температура воспламенения в связи с этим повышается и достигает температуры плавления сплава. Содержание легирующих примесей не должно превышать 5%, так как они способствуют образованию тугоплавких окислов.

Чугуны, медные и алюминиевые сплавы, высокохромистые и хромоникелевые стали не поддаются нормальному процессу резки. Чугун имеет температуру горения, равную температуре плавления. Медь и ее сплавы не режутся вследствие высокой теплопроводности и малой теплоты сгорания. Алюминий и его сплавы и высоколегированные стали покрыты тугоплавкой пленкой окислов, поэтому процесс резки затруднен.

По характеру и направленности кислородной струи существуют три основных вида резки: разделительная, образующая сквозные разрезы; поверхностная, при которой на поверхности металла образуются канавки круглого очертания; кислородным копьем, заключающаяся в прожигании в металле глубоких отверстий.

При разделительной резке режущая струя направлена нормально к поверхности металла и прорезает его на всю толщину. Разделительной резкой раскраивают листовую сталь, режут профильный материал, вырезают косынки, круги, фланцы и т. п.

При поверхностной резке режущая струя направлена под очень малым углом к поверхности металла (почти параллельно ей) и обеспечивает грубую его строжку или обдирку. Ею удаляют поверхностные дефекты отливок.

Резку кислородным копьем выполняют тонкостенной стальной трубкой (копьем), присоединенной к рукоятке. Кислород проходит через стальную трубку, прижатую свободным концом к прожигаемому металлу. Начинается резка с подогрева конца отливки или места реза на металле сварочной дугой или горелкой. При пропускании кислорода конец копия быстро загорается, и дальнейший подогрев не нужен. Копье прижимают к металлу и углубляют в него. Таким образом, выжигают отверстие круглого сечения. Кислородным копьем прожигают летки в металлургических печах, отверстия в бетоне и т. п.

Резка может быть ручной и машинной. Для ручной резки применяют универсальный резак типа УР со сменными мундштуками (рис. V.34). В резак конструктивно объединены подогревающая и режущая части. Подогревающая часть аналогична таковой у сварочных горелок. Режущая часть состоит из дополнительной трубки 4 для подачи режущего кислорода. В мундштуке находятся два концентрически расположенных отверстия для выхода подогревающего пламени 1 и режущей струи 2. Мундштук резака 3 образует прямой угол со стволом и в него впаива трубка 4 для подачи режущего кислорода. Газы в мундштук резака подаются с помощью вентиля.

Ацетилен можно заменить более дешевыми газами: природными, светильным, парами бензина и керосина. При замене ацетилена другими газами увеличивают в резак сечения каналов инжектора и смесительной камеры.

Ручная резка вследствие неравномерности перемещения резака и вибрации режущей струи не обеспечивает высокого качества поверхности реза, поэтому ее затем механически обрабатывают.

Для получения реза высокого качества применяют машинную резку, которая обеспечивает равномерное перемещение резака по линии реза, строгую перпендикулярность режущей струи по отношению к разрезаемой поверхности и постоянное расстояние мундштука от поверхности металла.

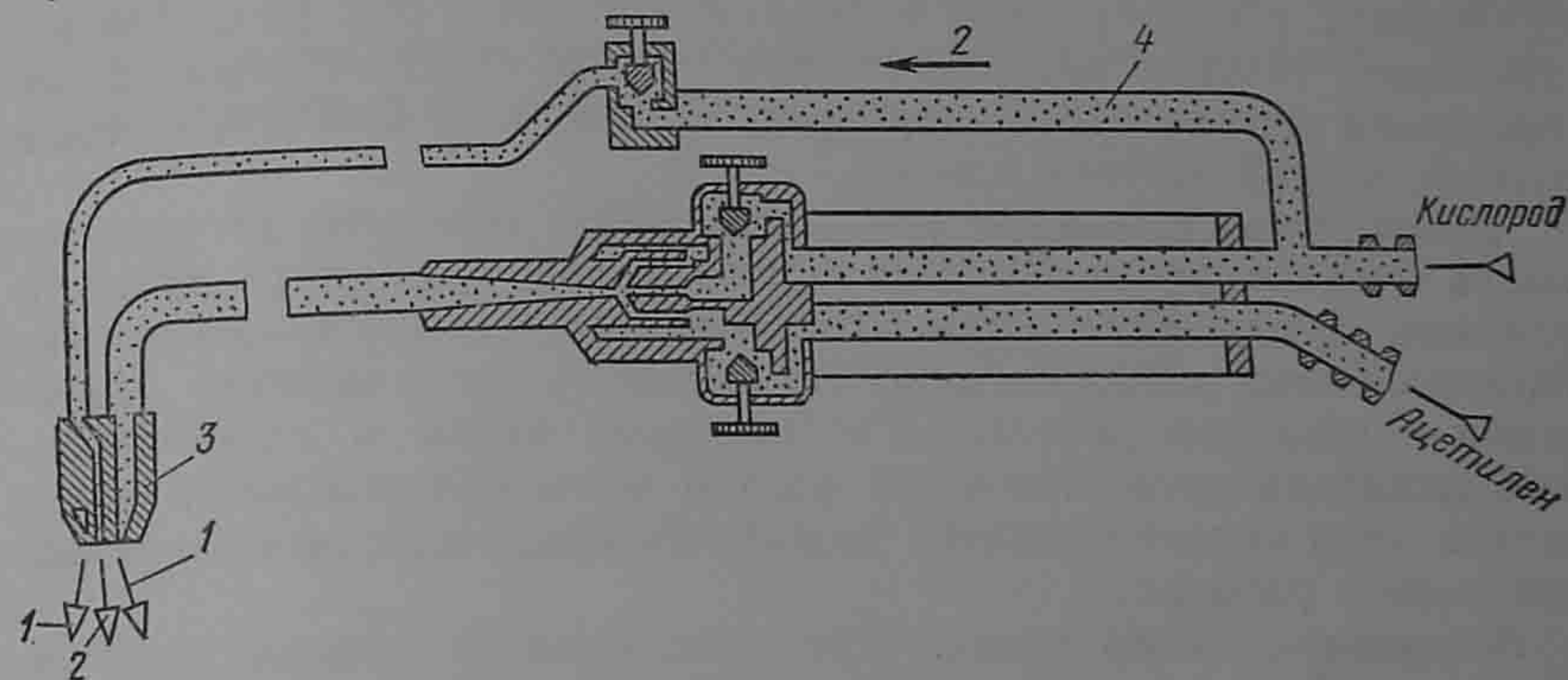


Рис. V.34. Схема газокислородного резака

Машинную резку выполняют на специальных автоматах и полуавтоматах с одним или несколькими резаками, при вырезке прямолинейных и криволинейных фасонных заготовок — по металлическому копиру. Копир изготовляют по чертежу вырезаемой заготовки, по ребру копира катится копирный ролик, сообщая соответствующее перемещение резаку.

Управление движением копирного ролика может быть ручное, механическое и электрическое. Наша промышленность для кислородной резки выпускает машины всех типов.

Обычной кислородной резкой режут металлы толщиной 5—300 мм. При резке металла толщиной более 300 мм применяют специальные резаки.

Кислородно-флюсовая резка. При этом способе в зону резки вместе с режущим кислородом вдувают порошкообразный флюс с железной основой. При сгорании флюса в кислородной струе выделяется дополнительное количество теплоты. Окислы железа, выделяющиеся при сгорании железного порошка, сплаваясь с окислами разрезаемого металла, образуют более легкоплавкий и жидкотекучий шлак. В то же время частицы флюса, выходя из сопла резака с большой скоростью, механически удаляют туго-

плавкие окислы. Для получения флюса к железному порошку применяют флюсующие добавки, поэтому, кроме термического и механического удаления окислов, происходит флюсование, т. е. перевод тугоплавких окислов в более легкоплавкие соединения.

Кислородно-флюсовой резкой режут металлы и сплавы, не поддающиеся обычной газовой резке, например высокохромистые и хромоникелевые стали, чугуны, медные сплавы. Кислородно-флюсовую резку выполняют с помощью специальной аппаратуры: флюсопитателя и кислородного резака с приспособлениями для подачи флюса. Флюс в место реза подают из бункера через инжектирующее устройство вместе с режущим кислородом по дополнительной трубке через мундштук. Наша промышленность выпускает установки типа УФР и УРХС.

Наряду с кислородной и кислородно-флюсовой резкой в современной технике применяют термические способы резки: электрической дугой; газоэлектрическую; проникающей плазменной струей; струей дуговой плазмы.

Дуговая электрическая резка. Эта резка основана на выплавлении металла по линии реза теплотой электрического дугового разряда. Дуга возбуждается угольным или стальным электродом. Расплавленный металл стекает по стенкам образующегося углубления — реза под действием собственной массы и незначительного давления дуги. Качество реза и производительность резки низкие. Этот способ является подсобным процессом при сварочно-монтажных работах.

Воздушно-дуговая резка. При этом способе металл расплавляется дугой с неплавающимся угольным или графитовым электродом, а расплавленный металл выдувается из полости реза потоком сжатого воздуха, подаваемого параллельно электроду. Воздушно-дуговую резку можно выполнять во всех пространственных положениях. Основная область ее применения — поверхностная обработка металла (различные углубления в виде канавок, снятие лишнего или дефектного металла и т. п.). Применяют разделительную воздушно-дуговую резку.

Для воздушно-дуговой резки используют специальные резаки, представляющие собой держатель электродов; головка его имеет сопла для воздуха. Рукоятку держателя можно присоединять к токоподводящему кабелю и воздушному шлангу; она имеет устройство для пуска и выключения воздуха.

Плазменно-дуговая резка. Эту резку выполняют проникающей дугой и струей дуговой плазмы. При резке проникающей дугой металл выплавляется из полости реза направленным потоком плазмы, совпадающим с токоведущим столбом создающей его дуги прямого действия. Этим способом режут толстые листы алюминия и его сплавов (до 80—120 мм), коррозионно-стойкую сталь и медные сплавы.

При резке струей дуговой плазмы используют струю свободной газовой плазмы, полученной в столбе дугового разряда независи-

мой дуги. Плазменной струей независимой дуги режут неэлектропроводные материалы (например, керамику), тонкие стальные листы, алюминиевые и медные сплавы, жаропрочные сплавы и т. д. При плазменно-дуговой резке используют аргон и его смесь с водородом (до 35% H₂). Скорость резки зависит от толщины разрезаемого металла, параметров плазменной головки и режима. Скорость резки проникающей дугой при прочих равных условиях выше скорости резки струей плазмы независимого действия.

Плазменную резку выполняют специальным резаком, называемым плазмотроном. Плазмотрон отличается от плазменной сварочной горелки размерами, большей электрической мощностью, большим расходом газа, обязательным водяным охлаждением. В установку для плазменной резки, помимо плазменной горелки, входят устройства для перемещения плазмотрона по линии реза, источники питания током, устройства для питания газом, подачи охлаждающей воды и др.

1. Электрическая контактная сварка. Сущность процесса

Всем способам сварки давлением присуще пластическое деформирование в зоне соединения. Пластически деформировать можно с нагревом и без нагрева. Место соединения нагревают до расплавления или без расплавления.

Сваривать можно на воздухе или в контролируемой среде. В некоторых случаях это сопровождается взаимным перемещением свариваемых деталей (трением).

Параметрами технологического процесса сварки давлением являются: давление (деформация), температура, время, среда (состав газовой фазы), скорость взаимного перемещения (трение). Иногда отдельные параметры настолько взаимосвязаны, что их нельзя самостоятельно регулировать (например, при сварке взрывом, когда в результате быстрой пластической деформации металл в зоне сварки нагревается, но температура в ней не задается и не контролируется).

Контактная сварка относится к способам сварки давлением с кратковременным нагревом места соединения без оплавления или с оплавлением и с осадкой разогретых заготовок. Характерная особенность этих процессов — быстрота пластической деформации, в ходе которой формируется сварное соединение.

Способы контактной сварки получили наибольшее промышленное применение благодаря простоте выполнения и высокой производительности.

Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, причем максимальное количество теплоты выделяется в месте сварочного контакта (рис. V.35). Количество выделяемой теплоты определяется законом Джоуля—Ленца:

$$Q \approx 0,24I^2Rt,$$

где Q — количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж; R — полное сопротивление сварочного контура, Ом; I — сварочный ток, А; t — время протекания тока, с.

Полное сопротивление сварочного контура R состоит из сопротивления выступающих концов свариваемых заготовок $R_{заг}$, сопротивления сварочного контакта R_k и сопротивления между электродами и заготовками $R_{эл}$, т. е.

$$R \approx R_{заг} + R_k + R_{эл}.$$

Сопротивление сварочного контакта R_k является наибольшим, так как поверхности стыка заготовок даже после тщательной обработки имеют неровности и соприкасаются только в отдельных точках (рис. V.36). Благодаря этому происходит резкое уменьшение действительного сечения металла, через которое проходит ток, и в зоне контакта возникают большие плотности тока. Кроме

того, на поверхности свариваемого металла имеются пленки оксидов и загрязнения с малой электропроводностью, которые также увеличивают сопротивление.

В результате высокой плотности тока в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, и так до тех пор, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т. е. сварка поверхностей.

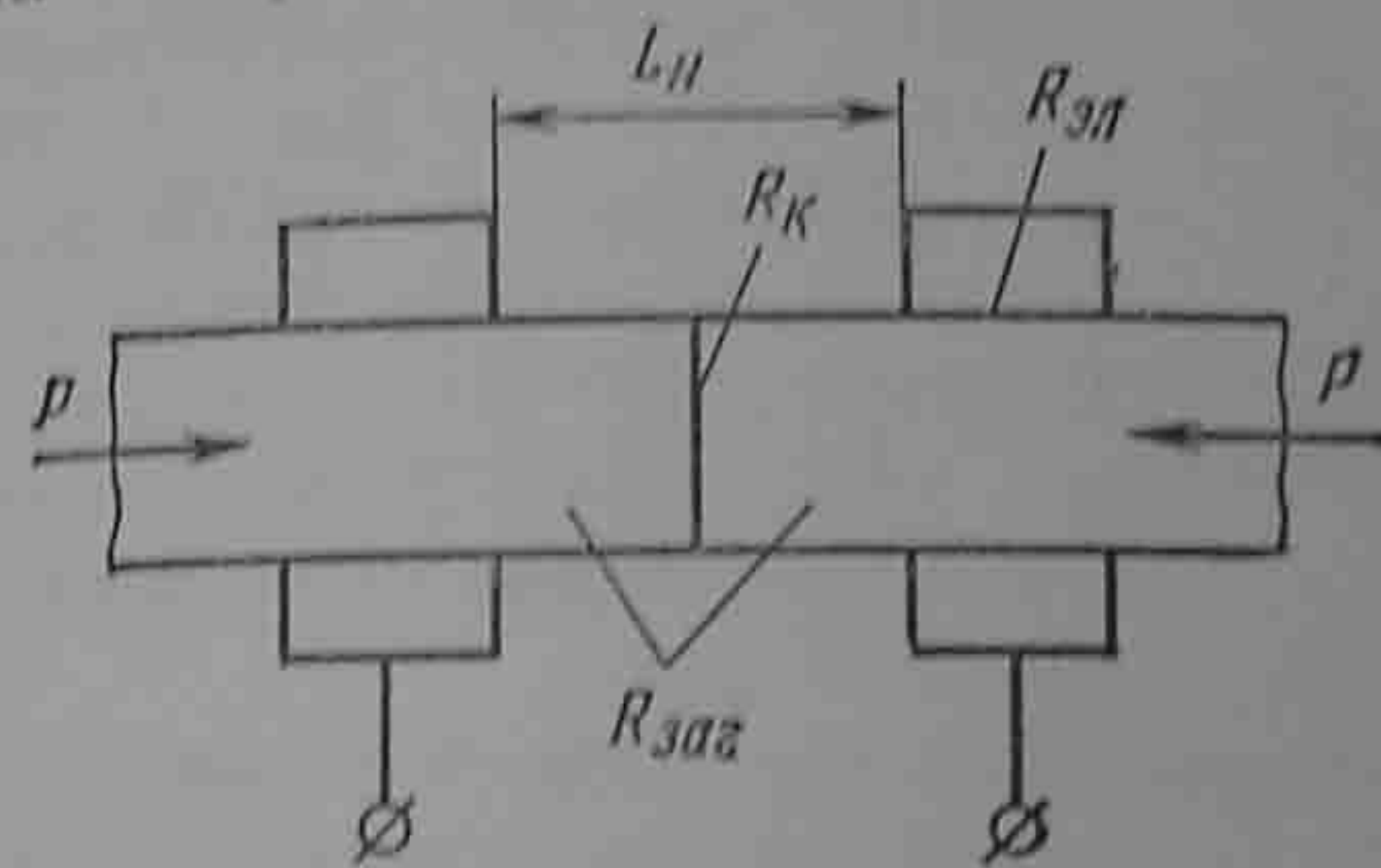


Рис. V.35. Принципиальная схема контактной сварки

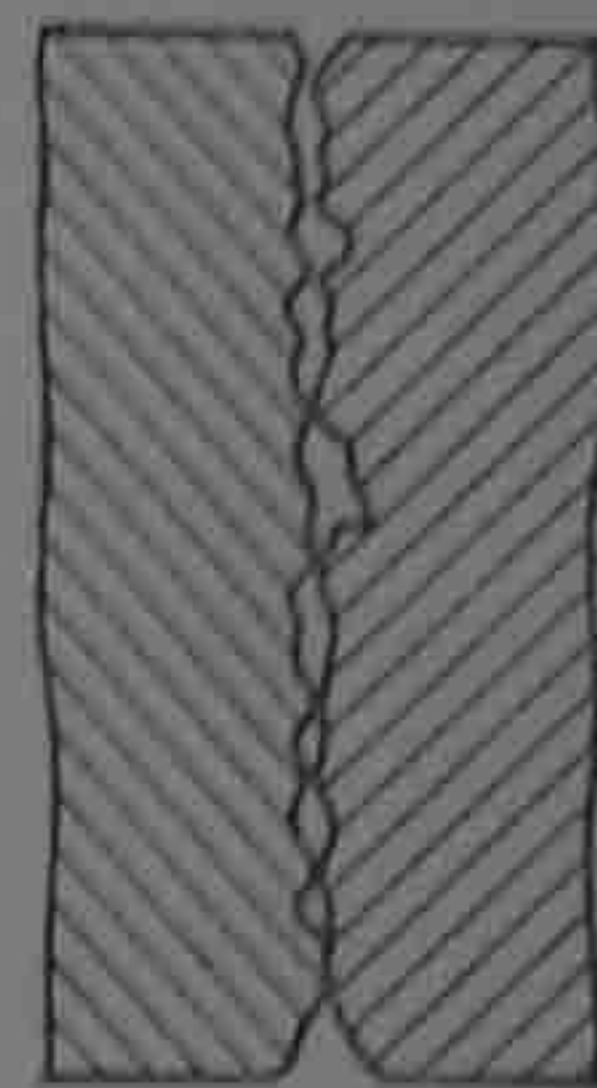


Рис. V.36. Физический контакт

Контактную сварку классифицируют по типу свариваемого соединения, определяющего вид сварочной машины, и по характеру тока, питающего сварочный трансформатор. По типу сварного соединения различают сварку стыковую, точечную, рельефную, шовную (роликовую).

По способу питания сварочного трансформатора различают сварку переменным током, главным образом однофазным частотой 50 Гц; импульсом постоянного тока, когда первичная обмотка сварочного трансформатора подключается к выпрямительной установке. Вследствие индуктивности трансформатора ток в первичной обмотке постепенно возрастает, в результате чего во вторичной обмотке индуцируется нарастающий импульс сварочного тока аккумулятивной энергией.

2. Стыковая сварка

Стыковая сварка является видом контактной сварки, при которой заготовки свариваются по всей поверхности соприкосновения. При стыковой сварке свариваемые заготовки закрепляют в зажимах стыковой машины (рис. V.37). Зажим 3 установлен на подвижной плите 4, перемещающейся в направляющих. Зажим 2 укреплен на неподвижной плите 1.

Сварочный трансформатор соединен с плитами гибкими шинами и питается от сети переменного тока через включающее устройство. Плиты перемещаются, и свариваемые детали сжимаются под действием усилия P , развиваемого механизмом осадки.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют *сваркой сопротивлением*,

а при разогреве торцов заготовок до оплавления — сваркой оплавлением.

Для правильного формирования сварного соединения необходимо, чтобы процесс протекал в определенной последовательности. Совместное графическое изображение тока и давления, изменяющихся в процессе сварки, называют нормальным циклом контактной машины.

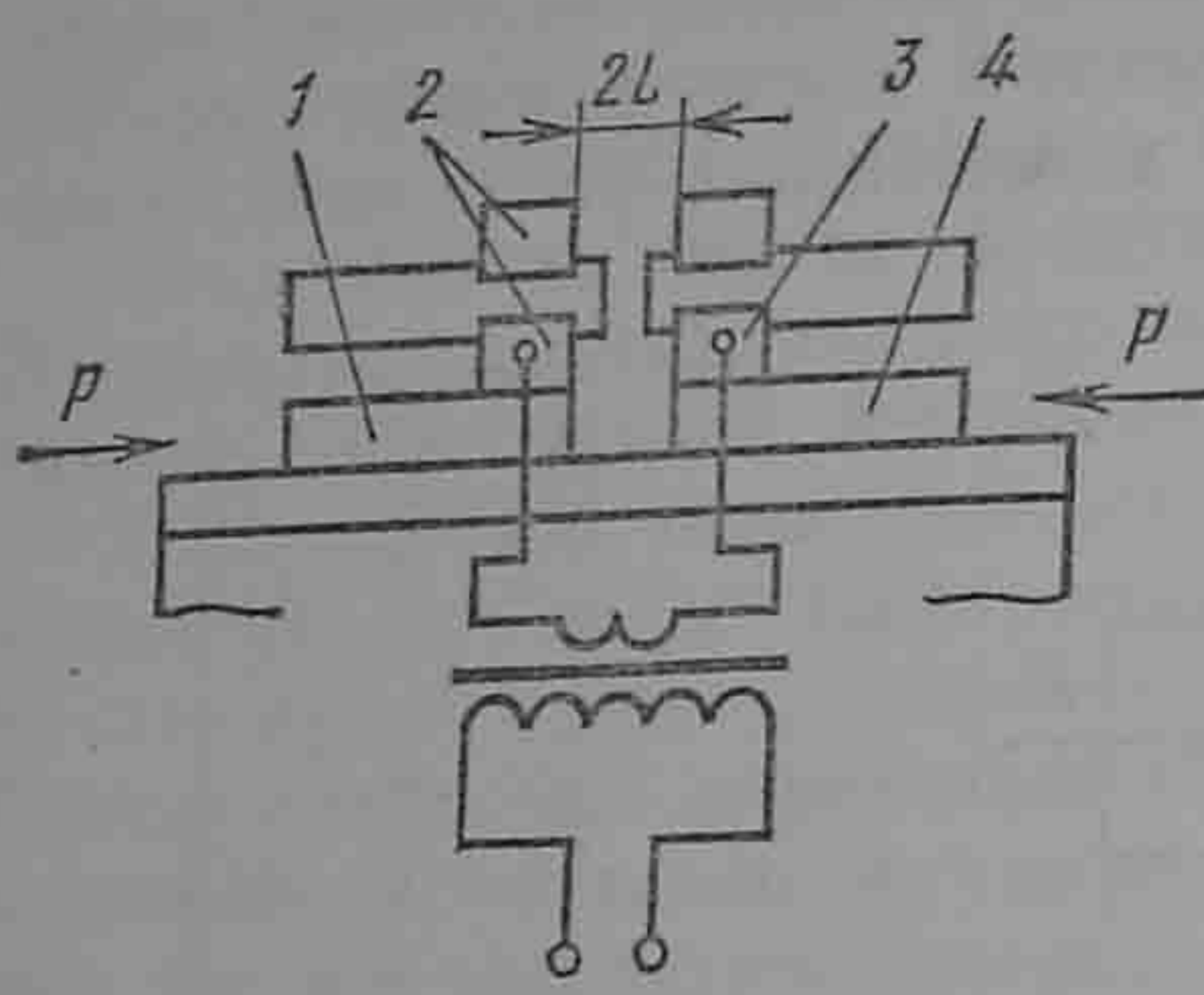


Рис. V.37. Контактная стыковая сварка

Цикл контактной стыковой сварки методом сопротивления представлен на рис. V.38. Перед сваркой заготовки должны быть очищены от окисных пленок и торцы их плотно пригнаны друг к другу. Для подгонки необходима механическая обработка торцов.

Заготовки, закрепленные в специальных зажимах, сдавливаются небольшим усилием P , затем включается ток, металл разогревается до пластического состояния, затем осаживается. Место сварки имеет усиление (высадку) металла.

Параметрами режима контактной стыковой сварки являются плотность тока j в A/mm^2 , усилие сжатия торцов заготовок P в H/m^2 и время протекания тока t в с, которое определяют косвенно через величину осадки, зависящую от установочной длины L . Установочной длиной L называют расстояние от торца заготовки до внутреннего края электрода стыковой машины, измеренное до начала сварки. Длина L зависит от теплофизических свойств металла, конфигурации стыка и размеров заготовки.

Типы сварных соединений, выполненных стыковой сваркой сопротивлением, представлены на рис. V.39. Этим способом соединяют заготовки малого сечения (до $100 mm^2$), так как при сварке больших сечений нагрев будет неравномерным. Сечения соединяемых заготовок должны быть одинаковыми по форме с малоразвитым периметром (круг, квадрат, прямоугольник с малым отношением сторон). Металл соединяемых заготовок должен быть однородным. Сварка сопротивлением дает хорошие результаты для металлов, обладающих хорошей свариваемостью в пластическом состоянии. Этим методом можно сваривать низкоуглеродистые, низколегированные конструкционные стали, алюминиевые и медные сплавы.

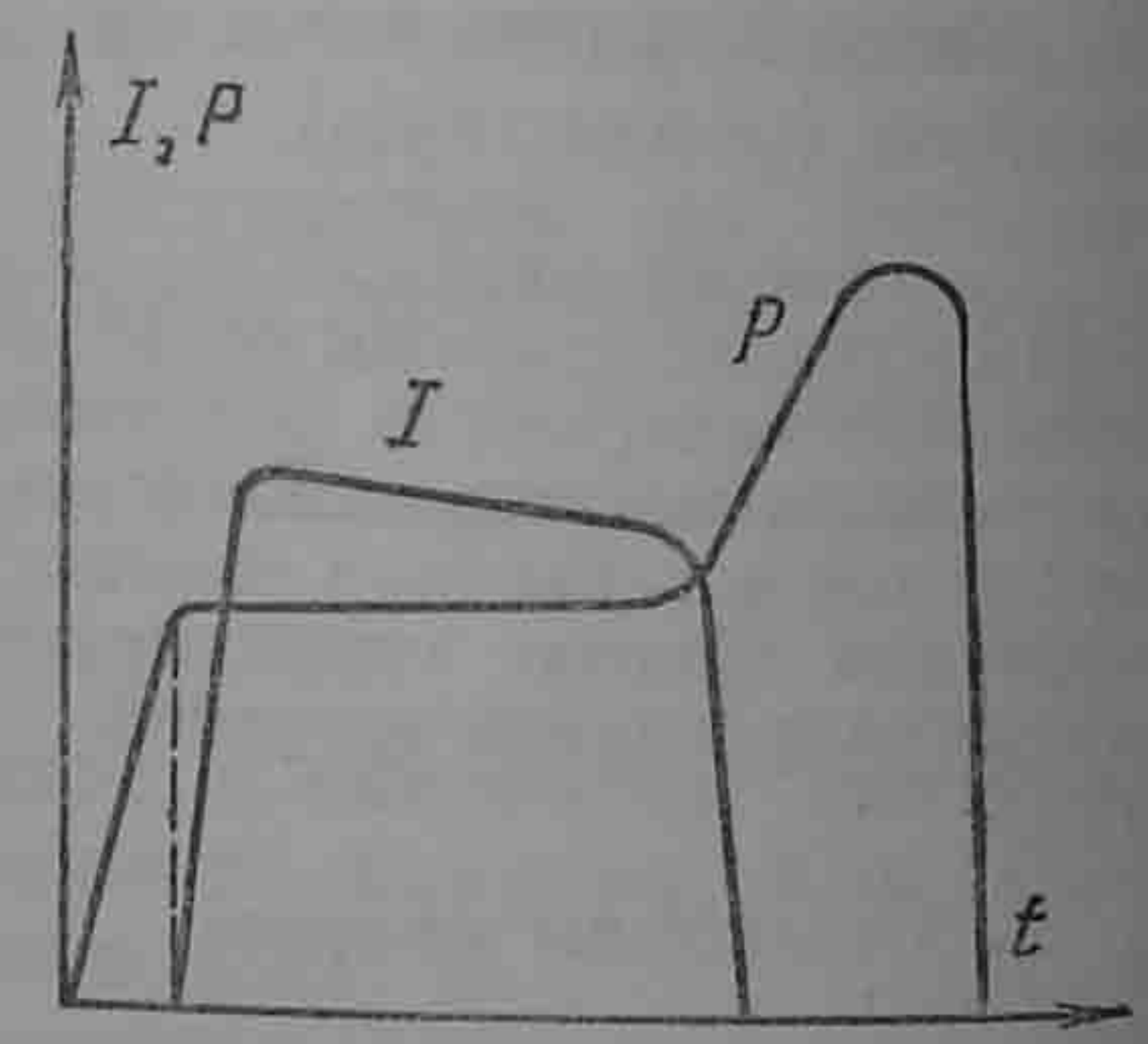


Рис. V.38. Цикл контактной стыковой сварки сопротивлением

Стыковая сварка оплавлением. Этот способ сварки имеет две разновидности: непрерывное и прерывистое оплавление.

При непрерывном оплавлении между заготовками, установленными в зажимах машины, оставляют зазор, подключают напряжение и равномерно сближают заготовки под напряжением.

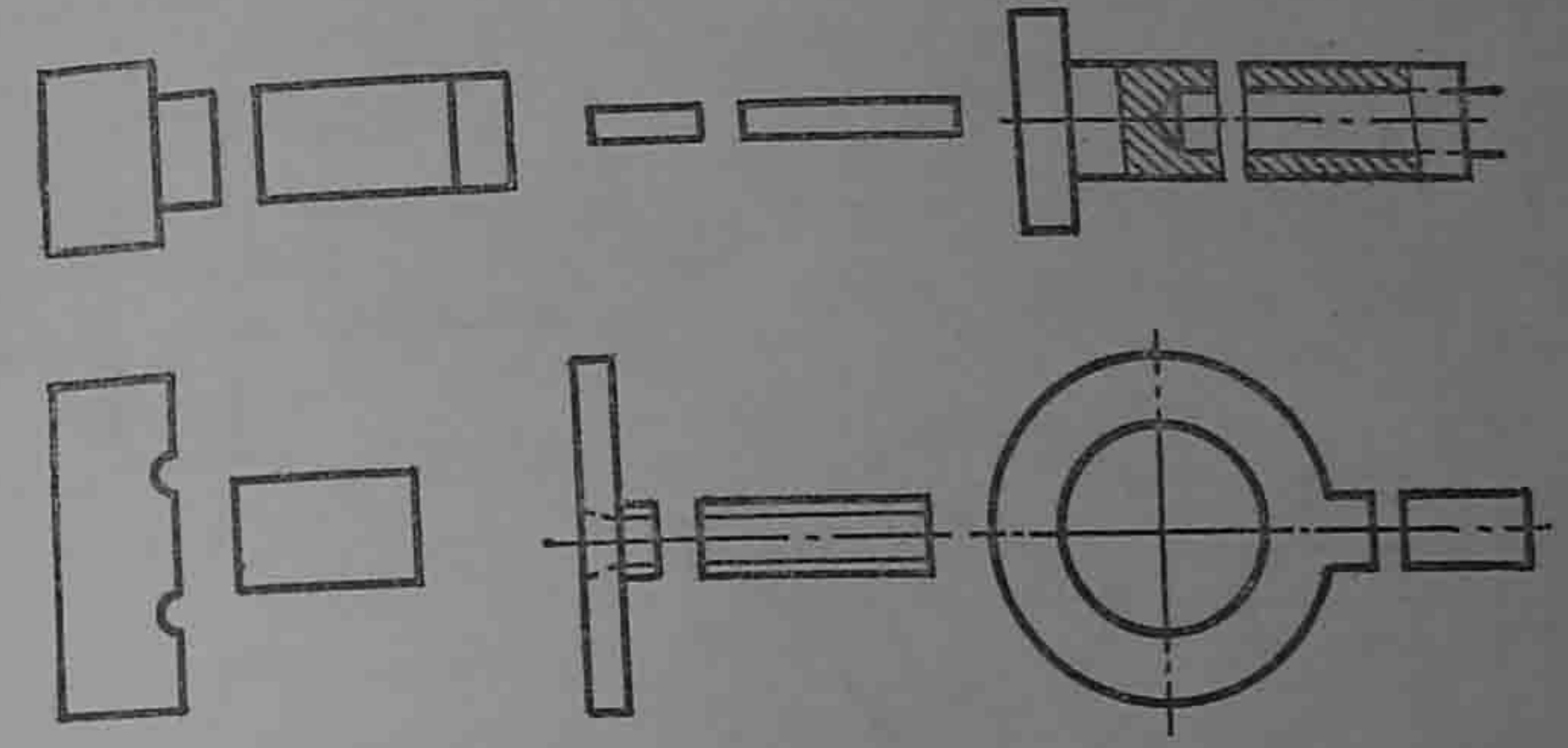


Рис. V.39. Типы сварных соединений стыковой сварки сопротивлением

Соприкосновение происходит вначале по отдельным небольшим площадкам, через которые протекает ток высокой плотности. Расплавленный и кипящий металл выбрасывается наружу действием магнитного поля. После достижения равномерного оплавления всей поверхности стыка производят осадку. Цикл сварки непрерывным оплавлением показан на рис. V.40.

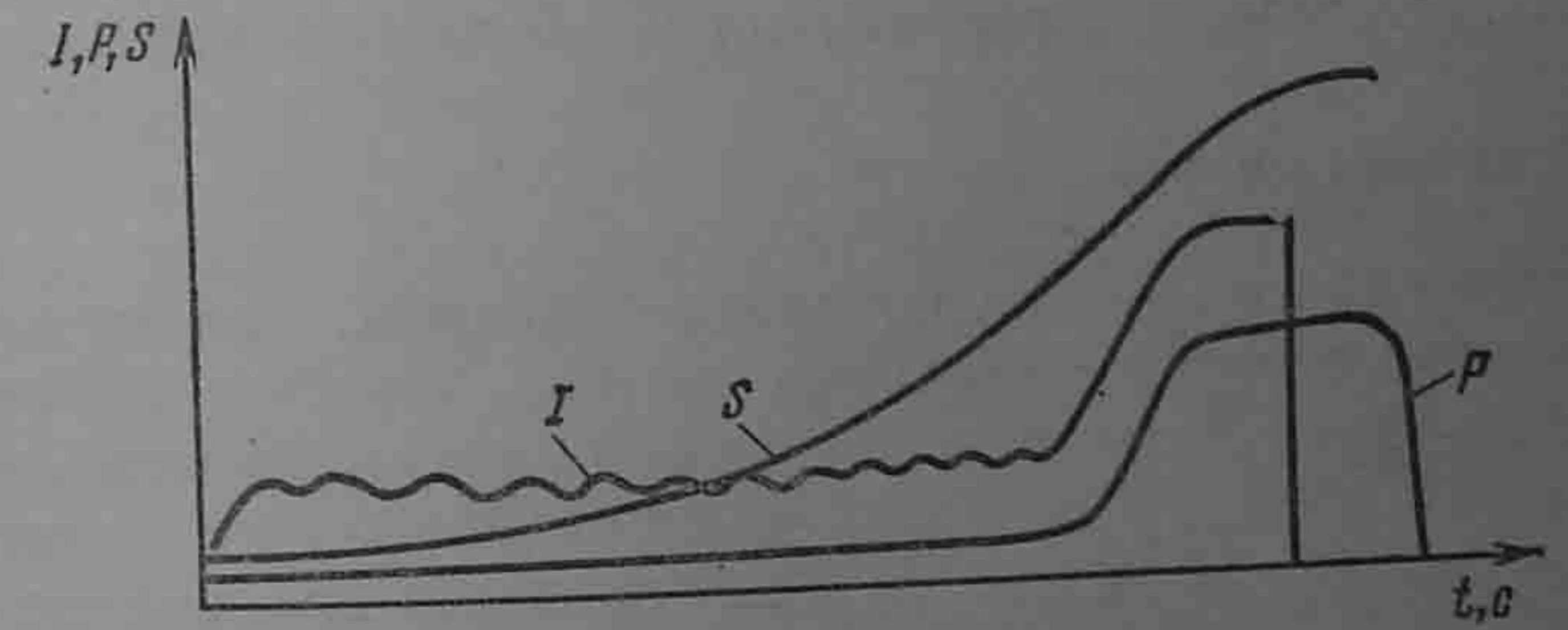


Рис. V.40. Цикл контактной стыковой сварки оплавлением: S — перемещение плиты; P — усилие сжатия заготовок; I — сварочный ток

При прерывистом оплавлении зажатые заготовки сближают под током, приводят их в кратковременное соприкосновение и вновь разъединяют на небольшое расстояние. Быстро повторяя следующие одно за другим сближения и разъединения, повторяют следующие одно за другим сближения и разъединения, затем включают ток и осаживают заготовку. Под давлением часть расплавленного металла вместе с окислами выдавливается из зоны сварки, образуя грат; после остывания стыка грат легко удаляется.

Сварка оплавлением имеет преимущества перед сваркой сопротивлением. В процессе оплавления выравниваются все выступы и

неровности стыка, а окислы и загрязнения сгорают и удаляются вместе с металлом, поэтому не требуется особой подготовки места соединения. Можно сваривать заготовки с сечением сложной формы, а также заготовки с различными сечениями, разнородные металлы (быстрорежущую и углеродистую стали, медь, алюминий и т. д.).

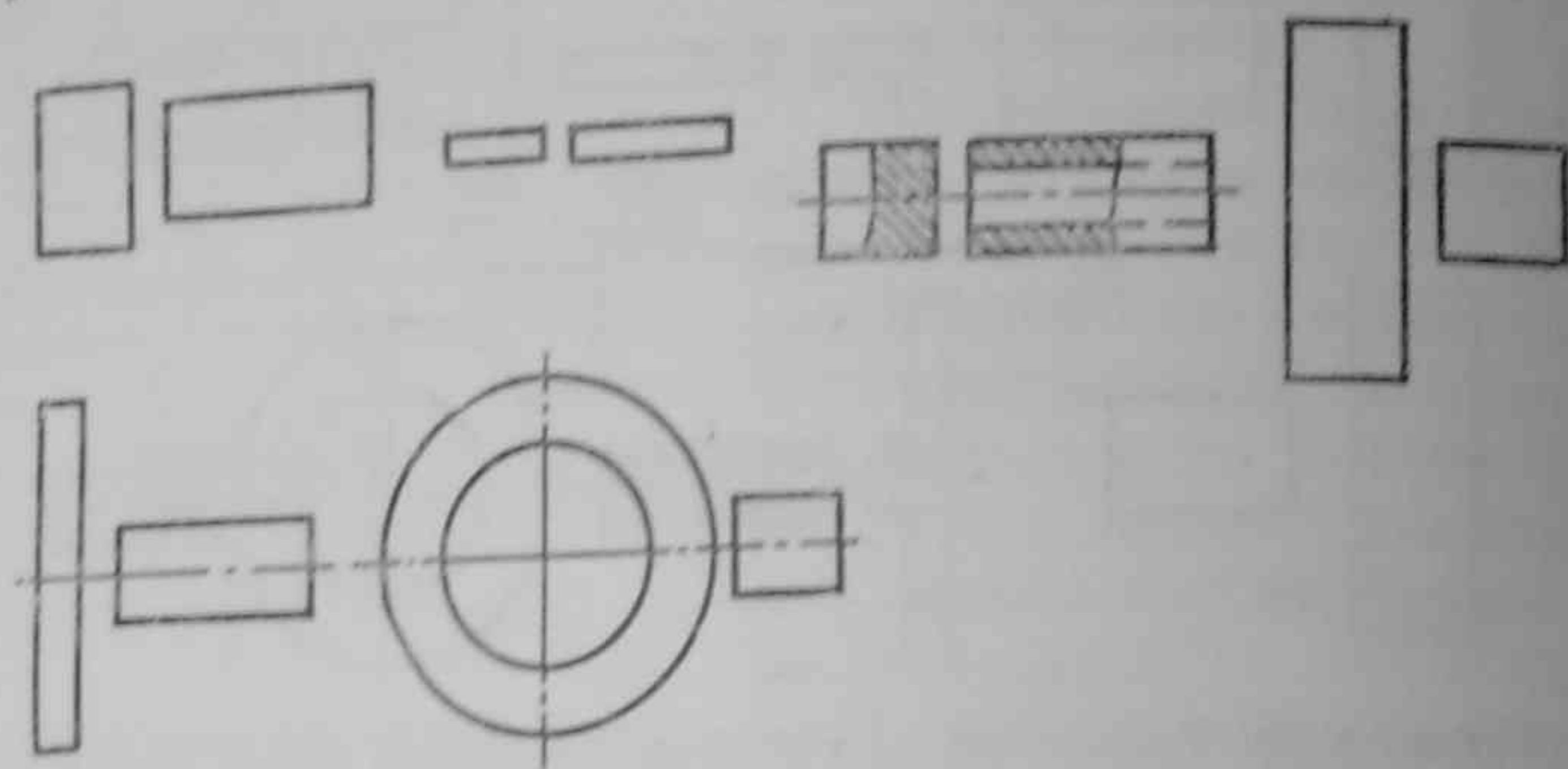


Рис. V.41. Типы сварных соединений стыковой сварки оплавлением

Типы сварных соединений, выполненных стыковой сваркой оплавлением, приведены на рис. V.41. К недостаткам этой сварки относится увеличенный расход металла на оплавление.

Наиболее типичными изделиями, изготавливаемыми стыковой сваркой, являются элементы трубчатых конструкций, колеса и кольца, инструмент, рельсы, железобетонная аппаратура.

3. Точечная сварка

Точечная сварка — вид контактной сварки, при которой заготовки соединяются в отдельных точках, причем одновременно

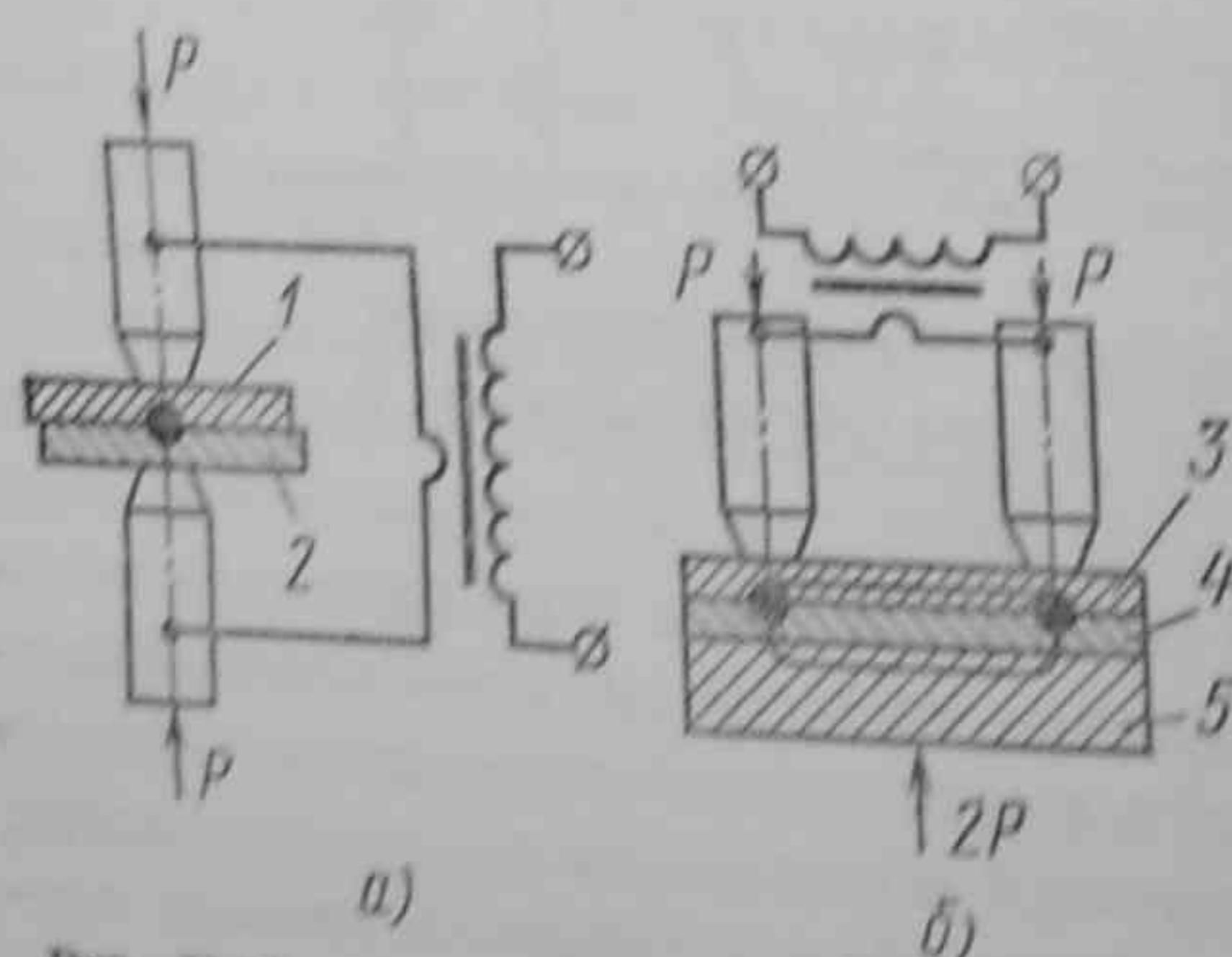


Рис. V.42. Принципиальная схема контактной точечной сварки:
а — двусторонняя; б — односторонняя

можно сваривать одну, две или несколько точек; их положение определяется расположением электродов точечной машины. При точечной сварке заготовки собирают внахлестку и зажимают с некоторым усилием P между двумя медными электродами, подводщими ток к месту сварки (рис. V.42).

Соприкасающиеся с медным электродом поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее их внутренних слоев. Нагрев продолжают до пластического состояния внешних слоев, образующего точку объема металла, и до рас-

плавления внутренних слоев. Затем включают ток и снимают давление. В результате образуется литая сварная точка.

Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам может быть *двусторонней* и *односторонней*. При двусторонней сварке (рис. V.42, а) две или большее число заготовок 1 и 2 сжимают между электродами точечной машины. При односторонней сварке (рис. V.42, б) ток распределяется между верхним и нижним листами 3 и 4, причем нагрев осуществляется частью тока, протекающего через нижний лист. Для увеличения тока, проходящего через нижний лист, предусмотрена медная подкладка 5. Односторонней сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками. Параметрами режима точечной сварки являются: усилие сжатия p в Н/мм^2 , плотность тока j в А/мм^2 и время протекания тока t в с.

На рис. V.43 показана одна из применяемых циклограмм точечной сварки. Весь цикл сварки состоит из четырех стадий: 1 — сжатие свариваемых заготовок между электродами; 2 — включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления, сопровождающийся образованием литого ядра точки; 3 — выключение тока и увеличение усилия сжатия для улучшения структуры сварной точки; 4 — снятие усилия с электродов. Перед сваркой место соединения очищают от окисных пленок (наждачным кругом или травлением).

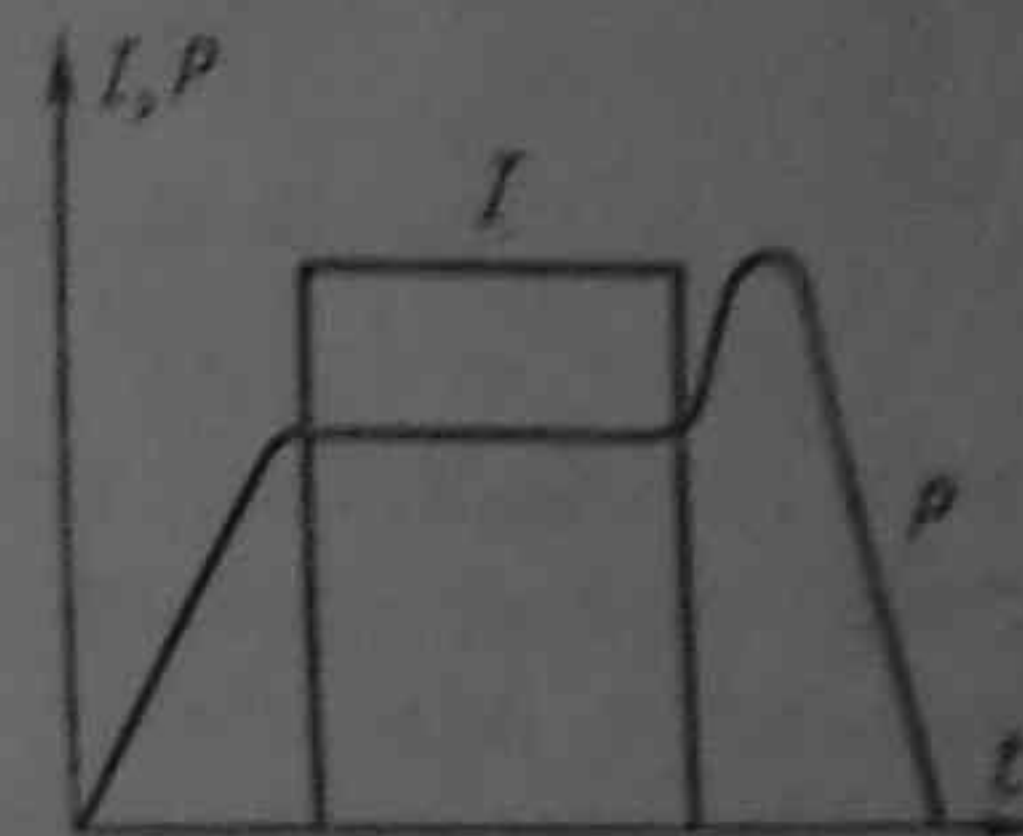


Рис. V.43. Цикл контактной точечной сварки

Точечную сварку выполняют на мягких и жестких режимах. Мягкие режимы характеризуются большей продолжительностью времени сварки, плавным нагревом, уменьшенной мощностью. На них сваривают углеродистые, низколегированные стали и стали, склонные к закалке. Основные параметры мягких режимов: плотность тока $80-160 \text{ А/мм}^2$, усилие на электродах $15-40 \text{ МН/м}^2$ и время протекания тока $0,5-3,0 \text{ с}$.

Жесткие режимы характеризуются повышенной производительностью в связи с уменьшением времени сварки, увеличением усилия сжатия и концентрированным нагревом. Эти режимы применяют при сварке коррозионно-стойких сталей, так как при использовании для этого мягких режимов возможно выпадение карбидов хрома в околошовной зоне и вследствие этого потеря коррозионной стойкости, при сварке алюминиевых и медных сплавов вследствие их высокой теплопроводности и недопустимости перегрева околошовной зоны, при сварке ультратонкого металла толщиной до $0,1 \text{ мм}$.

Параметры жестких режимов: $120-360 \text{ А/мм}^2$, усилие на электродах $4-150 \text{ МН/м}^2$ и время протекания тока $0,001-0,01 \text{ с}$.

Типы сварных соединений, выполняемых точечной сваркой, показаны на рис. V.44.

Точечной сваркой изготовляют штамповарные соединения при соединении отдельных штампованных деталей сварными точками. В этом случае упрощается технология изготовления сварных узлов и повышается производительность.

Точечная сварка — универсальный способ, применяемый при изготовлении изделий из низкоуглеродистых, углеродистых, низ-

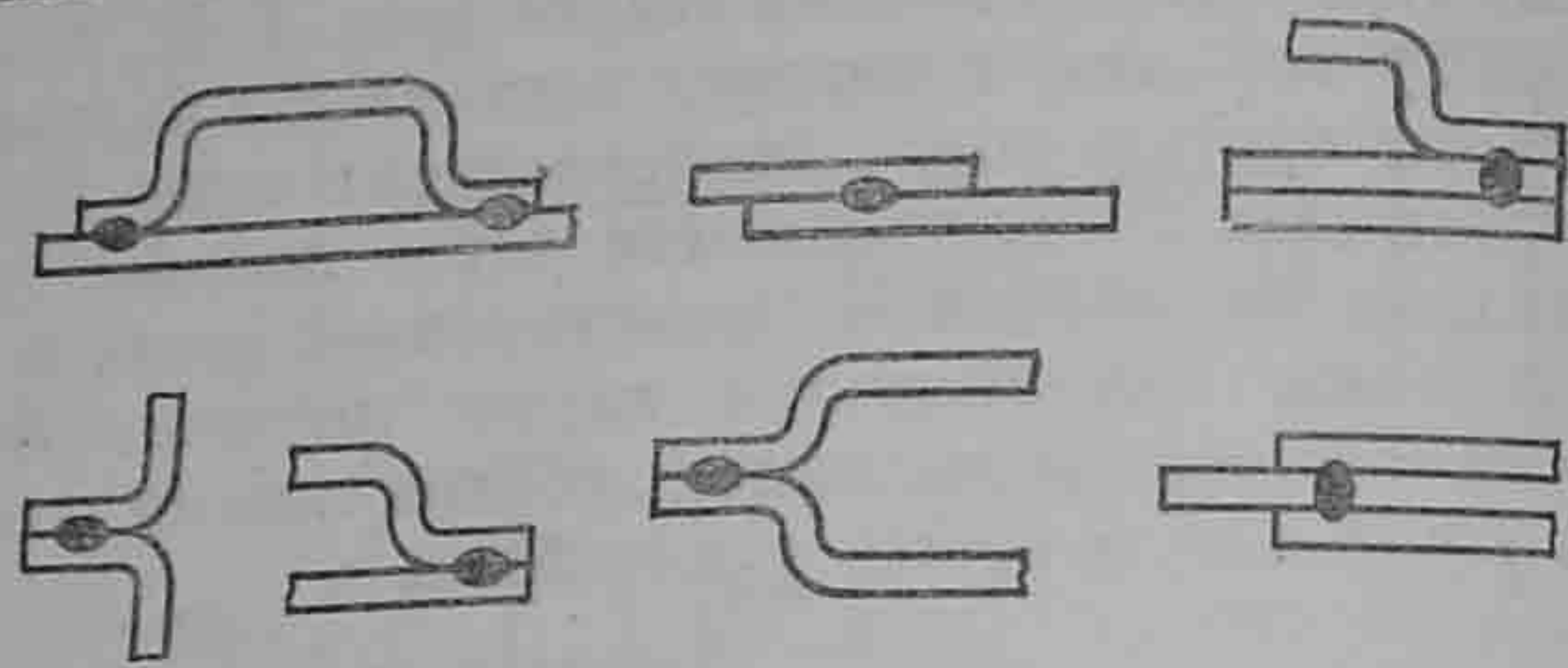


Рис. V.44. Типы сварных соединений точечной сварки

колегированных, конструкционных и коррозионно-стойких сталей, алюминиевых и медных сплавов. Толщина свариваемых металлов составляет 0,5—5 мм.

Многоточечная контактная сварка — вид контактной сварки, когда за один цикл сваривается несколько точек. Многоточечную сварку выполняют по принципу односторонней точечной сварки. Многоточечные машины могут иметь от одной пары до 100 пар

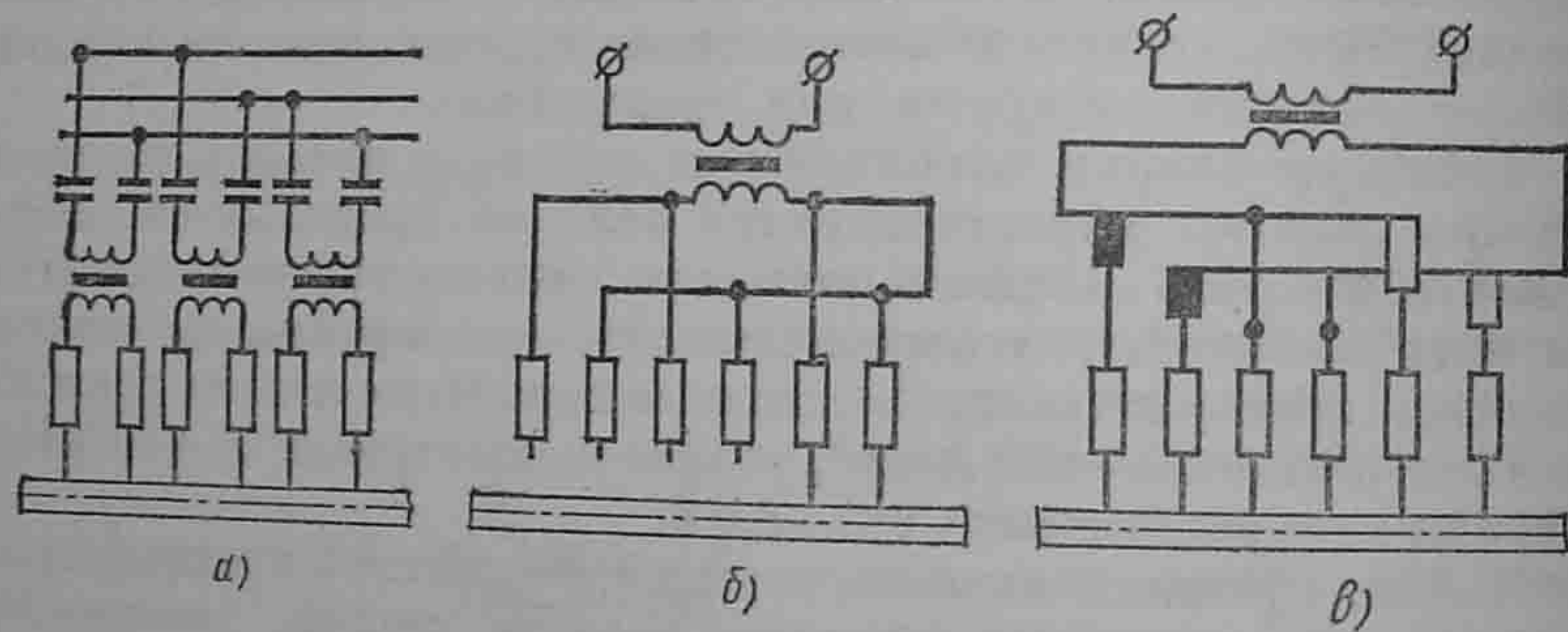


Рис. V.45. Схемы многосторонней точечной сварки

электродов, соответственно можно сваривать 2—200 точек одновременно. Многоточечной сваркой сваривают одновременно и последовательно. В первом случае все электроды сразу прижимают к изделию, что обеспечивает меньшее коробление и большую точность сборки. Ток распределяется между прижатыми электродами специальным токораспределителем, включающим электроды попарно (рис. V.45, а).

Во втором случае пары электродов опускают поочередно или одновременно, а ток подключают поочередно к каждой паре электродов от сварочного трансформатора (рис. V.45, б, в).

Многоточечную сварку применяют в основном в массовом производстве, где требуется большое число сварных точек на каждой свариваемой заготовке.

Рельефная сварка — способ точечной контактной сварки, при котором расположение точек определяется заранее подготовленными выступами в заготовке 2. При рельефной сварке (рис. V.46)

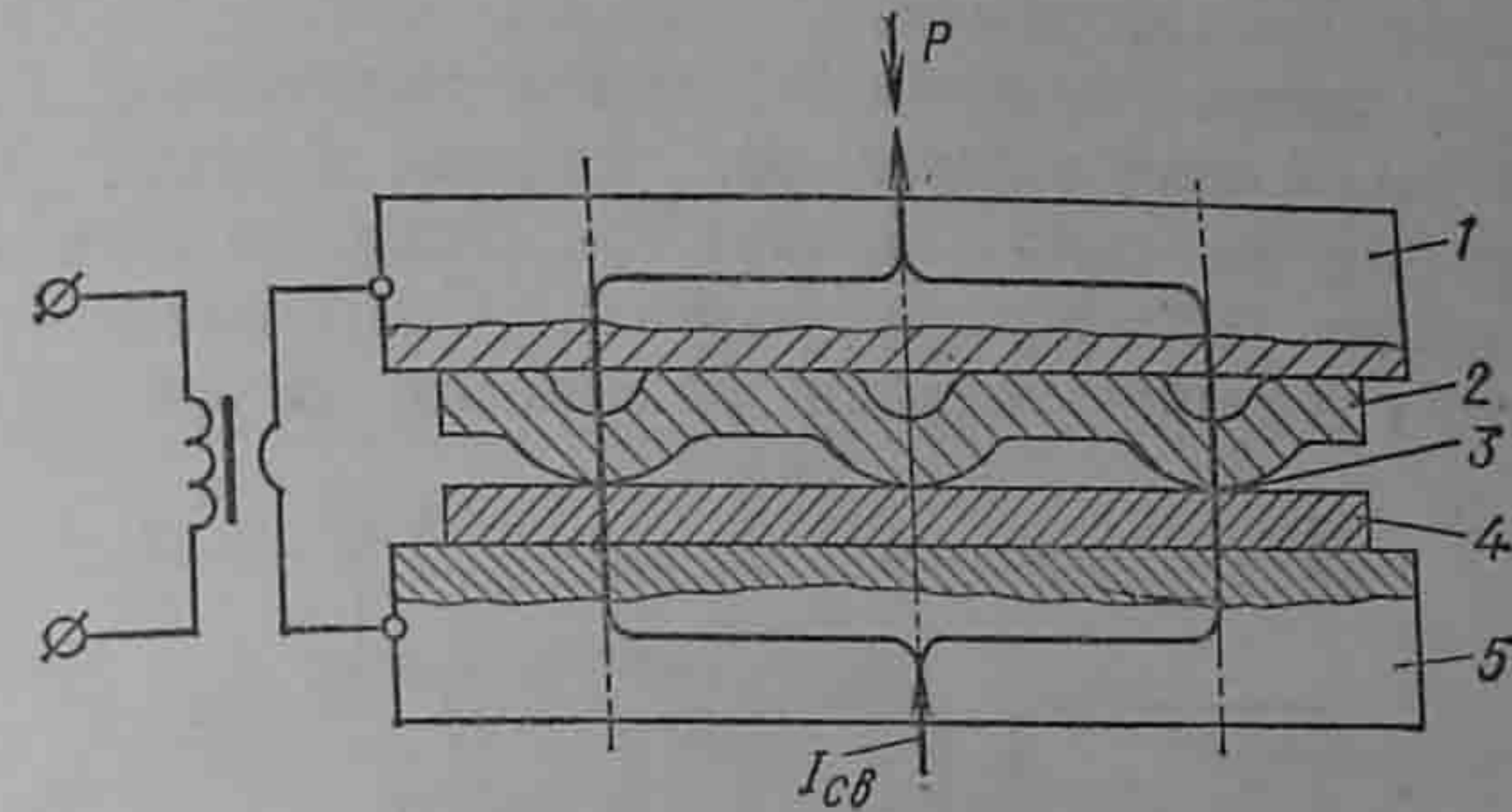


Рис. V.46. Схема рельефной сварки

заготовки 2 и 4 зажимают между плоскими электродами 5 и 1 (контактными плитами). Соединение происходит в точках 3 (определяемых выступами), которые получают штамповкой в одной из заготовок.

При включении тока верхний электрод сжимает заготовки и спрессовывает их до полного уничтожения выступов. Таким обра-

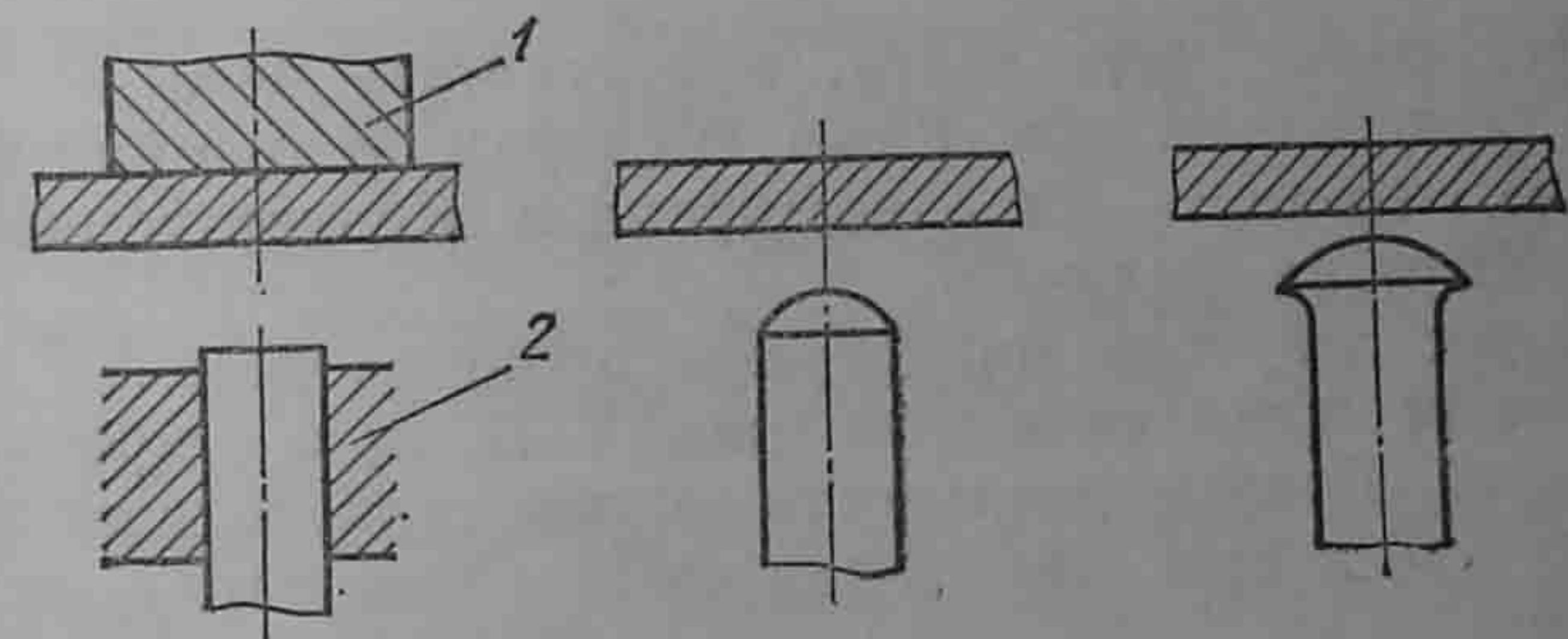


Рис. V.47. Схема торцевой сварки:
1 — верхний электрод; 2 — нижний электрод

зом, за один ход машины выполняют столько сварных точек, сколько было отштамповано выступов. Этот способ высокопроизводителен. Электроды изнашиваются мало. Недостатком его является значительная потребляемая электрическая мощность.

Разновидностью рельефной сварки является Т-образная сварка, когда стержни торцами приваривают к листам (рис. V.47). Концу стержня придают сферическую форму. Т-образная сварка может быть выполнена на обычных сварочных контактных машинах в дополнительных приспособлениях.

4. Шовная, или роликовая сварка

Шовная, или роликовая сварка — вид контактной сварки, при которой между свариваемыми заготовками образуется прочное и плотное соединение. Один или оба электрода выполняют в виде плоского ролика. Роликам придают вращение и между ними пропускают свариваемые заготовки.

В процессе шовной сварки листовые заготовки 1 соединяют внахлестку и зажимают между электродами 2 (рис. V.48).

При пропускании тока образуются сварные точки в форме отпечатка ролика (вытянутой формы). Свариваемые заготовки проходят между вращающимися роликами, поэтому указанные

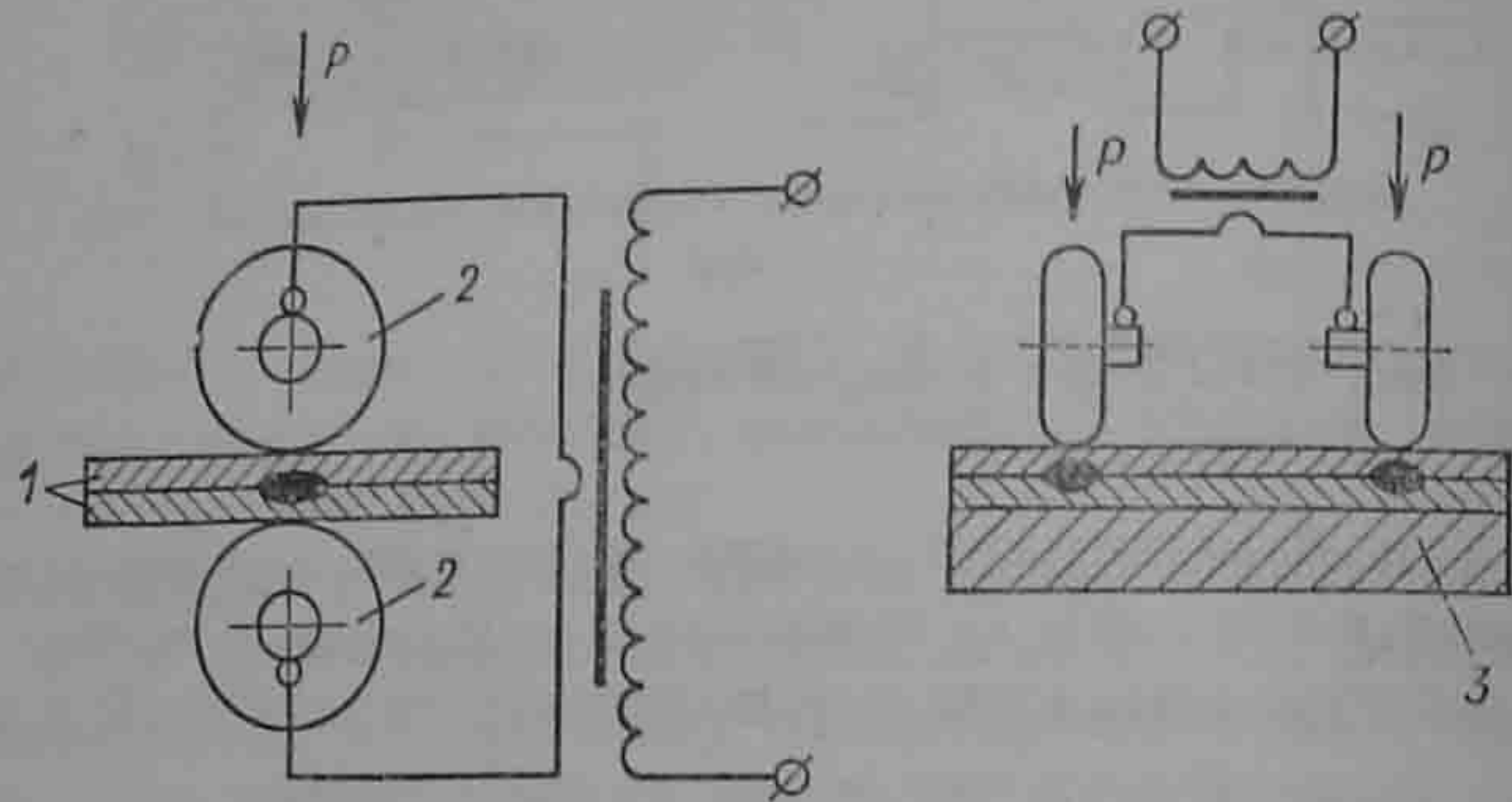


Рис. V.48. Принципиальная схема шовной сварки:

1 — заготовки; 2 — электроды; 3 — медная подкладка

точки перекрывают друг друга, в результате чего получается сплошной герметичный шов. Шовную сварку, также как и точечную, можно выполнять при одностороннем и двустороннем положении электродов (роликов).

Существует два типа циклограмм процесса шовной сварки: с непрерывным включением тока (рис. V.49, а) и с прерывистым (рис. V.49, б). Последовательность этапов технологических операций в начале и при завершении сварки шва такая же, как и при точечной.

Циклограмму с непрерывным включением тока применяют для сварки коротких швов и металлов и сплавов, не склонных к росту зерна и не претерпевающих заметных структурных превращений при перегреве околошовной зоны (низкоуглеродистые и низколегированные стали).

Циклограмма с прерывистым включением тока обеспечивает стабильность процесса и высокое качество сварного соединения при малой зоне термического влияния и применяется при сварке длинных швов на заготовках из коррозионно-стойких сталей и алюминиевых сплавов.

Шовную сварку применяют в массовом производстве при изготовлении различных сосудов. Толщина свариваемых листов

составляет 0,3—3 мм. Шовной сваркой выполняют те же типы сварных соединений, что и точечной, но для получения герметичного шва. Этим методом сваривают низкоуглеродистые, легиро-

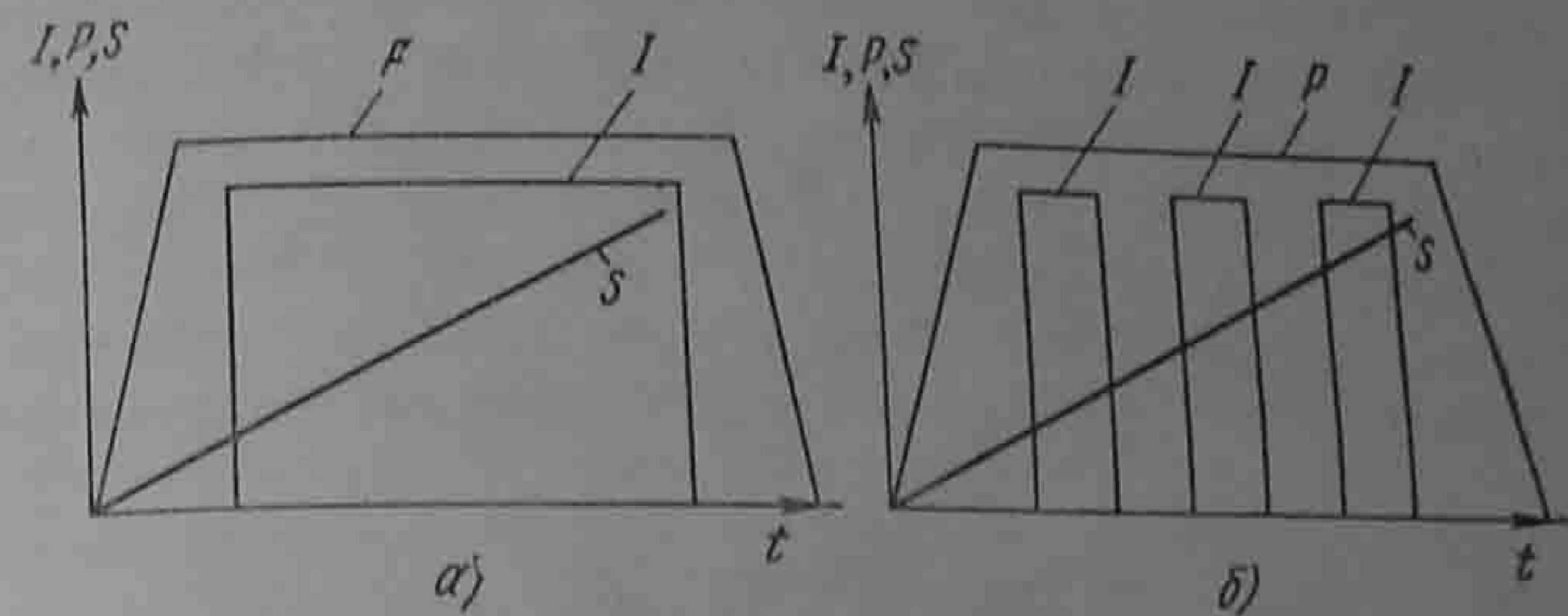


Рис. V.49. Циклы шовной сварки:

а — непрерывного включения тока; б — прерывистое включение тока; P — давление; S — перемещение роликов; I — сварочный ток; t — время

ванные, конструкционные стали, легкие сплавы, некоторые медные и титановые сплавы, а также стальные листы с покрытием (оцинкованные, луженые, освинцованные и др.).

5. Сварка аккумулированной энергией

Недостатком контактной сварки является значительная кратковременная мощность, потребляемая машиной из сети в момент сварки. Потребление кратковременных мощностей создает тяжелые условия для работы питающей сети. Разработаны способы сварки аккумулированной энергией, когда она накапливается в каком-либо приемнике, а затем непосредственно или через сварочный трансформатор кратковременно расходуется на сварочные операции.

Существует четыре вида сварки аккумулированной энергией: электростатическая, или конденсаторная; электромагнитная; инерционная и аккумуляторная. Накопление энергии соответственно происходит в батарее конденсаторов; в магнитном поле специального сварочного трансформатора, во вращающихся частях генератора или в аккумуляторной батарее.

Наибольшее промышленное применение получила конденсаторная сварка. Энергия в конденсаторах накапливается при их зарядке от источника постоянного напряжения (генератора или выпрямителя), а затем в процессе разрядки преобразуется в теплоту, используемую для сварки. Накопленную в конденсаторах энергию можно регулировать изменением емкости и напряжения зарядки:

$$A = \frac{CU^2}{2},$$

где C — емкость конденсаторов; Φ ; U — напряжение зарядки конденсаторов, В.

При конденсаторной сварке возможны: точная дозировка количества энергии, не зависящая от внешних условий, в частности от напряжения в сети; малое время протекания тока (тысячные и десятитысячные доли секунды) при высокой плотности тока, обеспечивающее малую зону термического влияния, что позволяет сваривать материалы очень небольших толщин (до нескольких микрон); невысокая потребляемая мощность (0,2—2 кВА).
Изменение рабочей емкости и напряжения, а также коэффициента K сварочного трансформатора позволяет получать импульсы

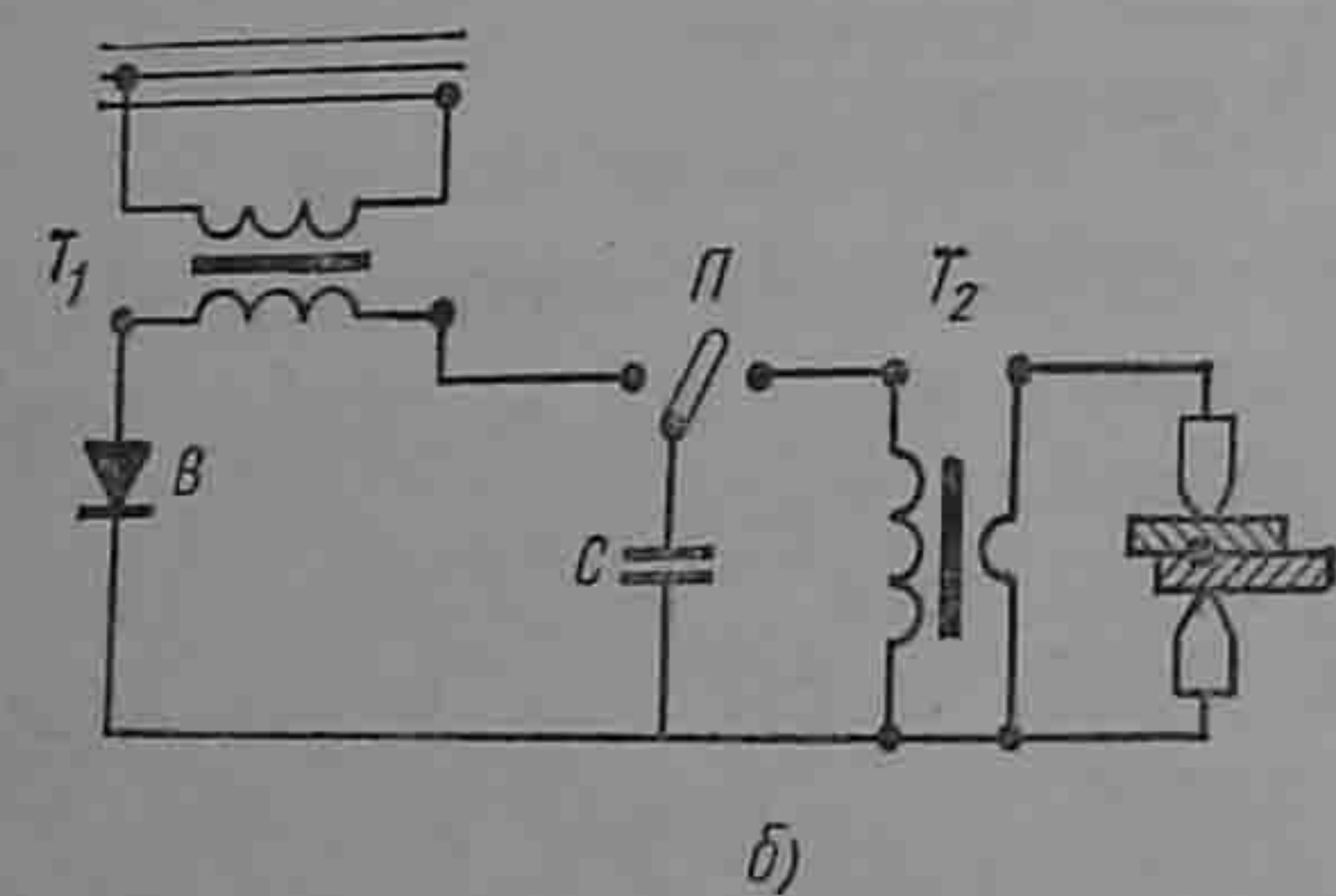
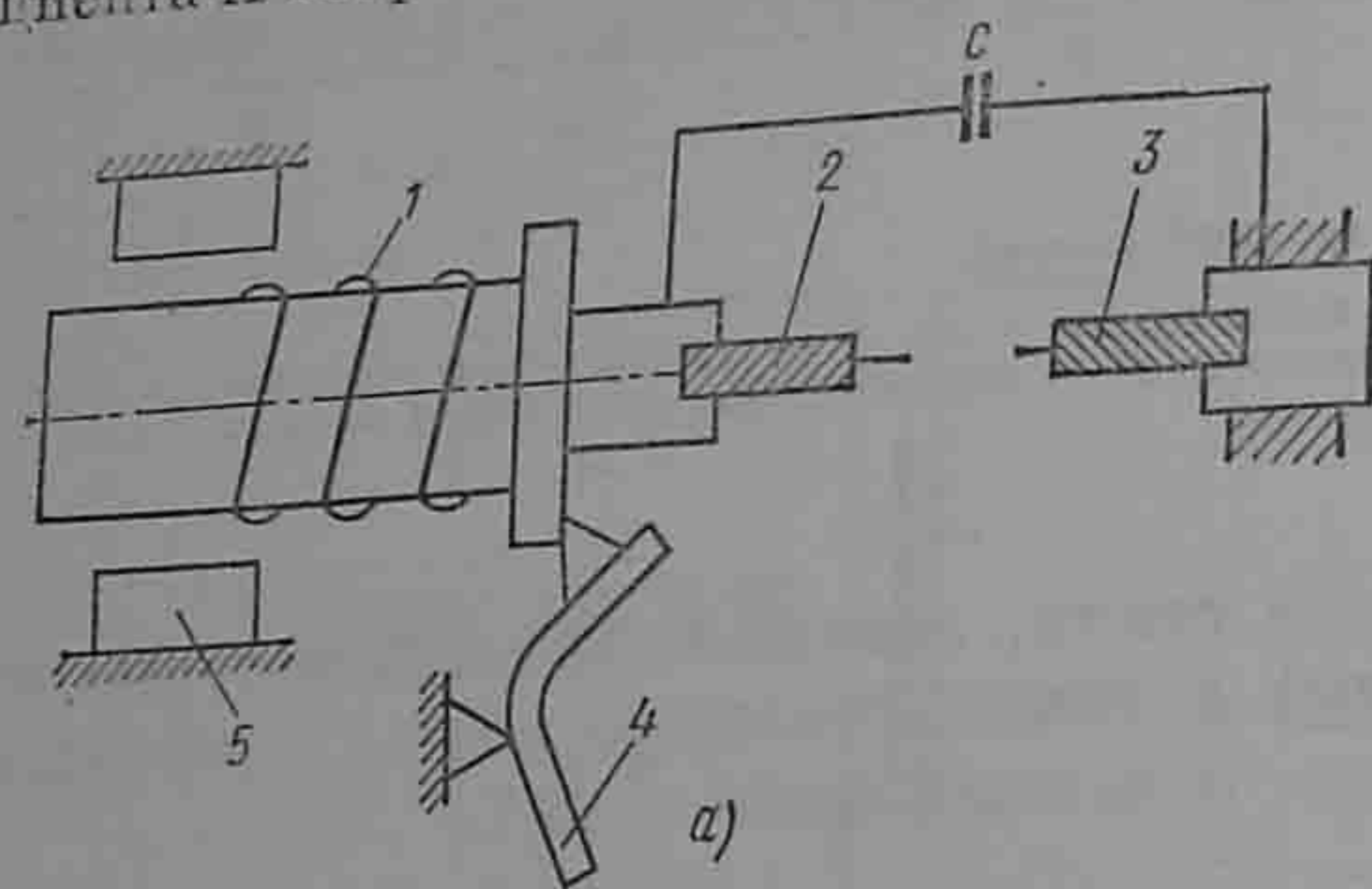


Рис. V.50. Принципиальные схемы конденсаторной сварки:

а — бестрансформаторная; б — трансформаторная; T_1 — повышающий трансформатор; T_2 — сварочный трансформатор; C — конденсаторная батарея; B — выпрямитель; Π — переключатель

перемещаться в направляющих 5. Если освободить защелку 4, удерживающую заготовку 2, то под действием пружины 1 она быстро перемещается по направлению к неподвижной заготовке 3 и ударяется о нее. Перед соударением возникает мощный разряд за счет энергии, накопленной в конденсаторе. Этот разряд оплавляет торцы обеих заготовок, которые после соударения свариваются между собой под действием усилия осадки.

Трансформаторная конденсаторная сварка предназначена в основном для точечной и шовной сварки, но может быть использована и для стыковой. При этом способе разряд конденсатора C преобразуется с помощью сварочного трансформатора T_2 (рис. V.50, б).

В левом положении переключателя Π конденсатор C заряжается от источника постоянного тока. В правом положении переключателя происходит разряд конденсатора на первичную обмотку сварочного трансформатора T_2 . При этом во вторичной обмотке индуцируется ток большой силы, обеспечивающий сварку предварительно зажатых между электродами заготовок.

Конденсаторную сварку применяют в производстве электроизмерительных и авиационных приборов, часовых механизмов, фотоаппаратов, радиоламп и т. п.

6. Оборудование для контактной сварки

Сварное соединение контактной сваркой выполняют с помощью специальных контактных машин. Контактные машины в зависимости от типа выполняемого на них соединения подразделяют на стыковые, точечные и шовные (роликовые). Контактная машина состоит из трех основных частей: источника тока, прерывателя тока и механизма давления.

Источники тока. Контактные машины работают на переменном токе (от тысяч до сотен тысяч ампер). Электрическая схема контактных машин состоит из трех элементов: трансформатора, прерывателя тока и переключателя ступеней мощности (рис. V.51). Первичную обмотку трансформатора подключают к сети с напряжением 220—330 В; ее изготовляют секционной для изменения числа рабочих витков при переключении ступеней мощности. Вторичная обмотка трансформатора состоит из одного или двух витков (вторичное напряжение 1—12 В).

Сила вторичного тока составляет 1000—100 000 А.

При изменении числа витков первичной обмотки изменяется коэффициент трансформации K :

$$K = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

где w_1 и w_2 — число витков первичной и вторичной обмоток; U_1 и U_2 — соответственно первичное и вторичное напряжения обмотки.

сварочного тока различных величин и форм. Это дает возможность сваривать металлы и сплавы в различных сочетаниях.

Существует два вида конденсаторной сварки: бестрансформаторная, когда конденсаторы разряжаются непосредственно на свариваемые детали, и трансформаторная, когда конденсатор разряжается на первичную обмотку сварочного трансформатора, во вторичной цепи которого находятся предварительно сжатые свариваемые заготовки.

При бестрансформаторной сварке можно сваривать встык проволоки и тонкие стержни разной толщины из разнородных металлов (вольфрам—никель, молибден—никель, медь—константан). Одним из примеров этого способа служит ударная конденсаторная сварка (рис. V.50, а), когда концы обкладок конденсатора подключаются непосредственно к свариваемым заготовкам 2 и 3; один из концов жестко закрепляют, а другой может

Вторичное напряжение

$$U_2 = \frac{U_1 w_2}{w_1},$$

где $w_2 = 1$; U_1 — величина постоянная. Следовательно, для изменения U_2 необходимо изменить число включенных витков первичной обмотки w_1 ; соответственно будет изменяться и ток. Для увеличения вторичного тока необходимо уменьшить число витков первичной обмотки трансформатора.

Прерыватели тока. В процессе сварки необходимо периодически, а часто с весьма большой частотой включать и выключать ток. Для этой цели применяют прерыватели нескольких типов: простые механические контакторы, электромагнитные (синхронные и асинхронные), электронные приборы (тиatronные и игнитронные).

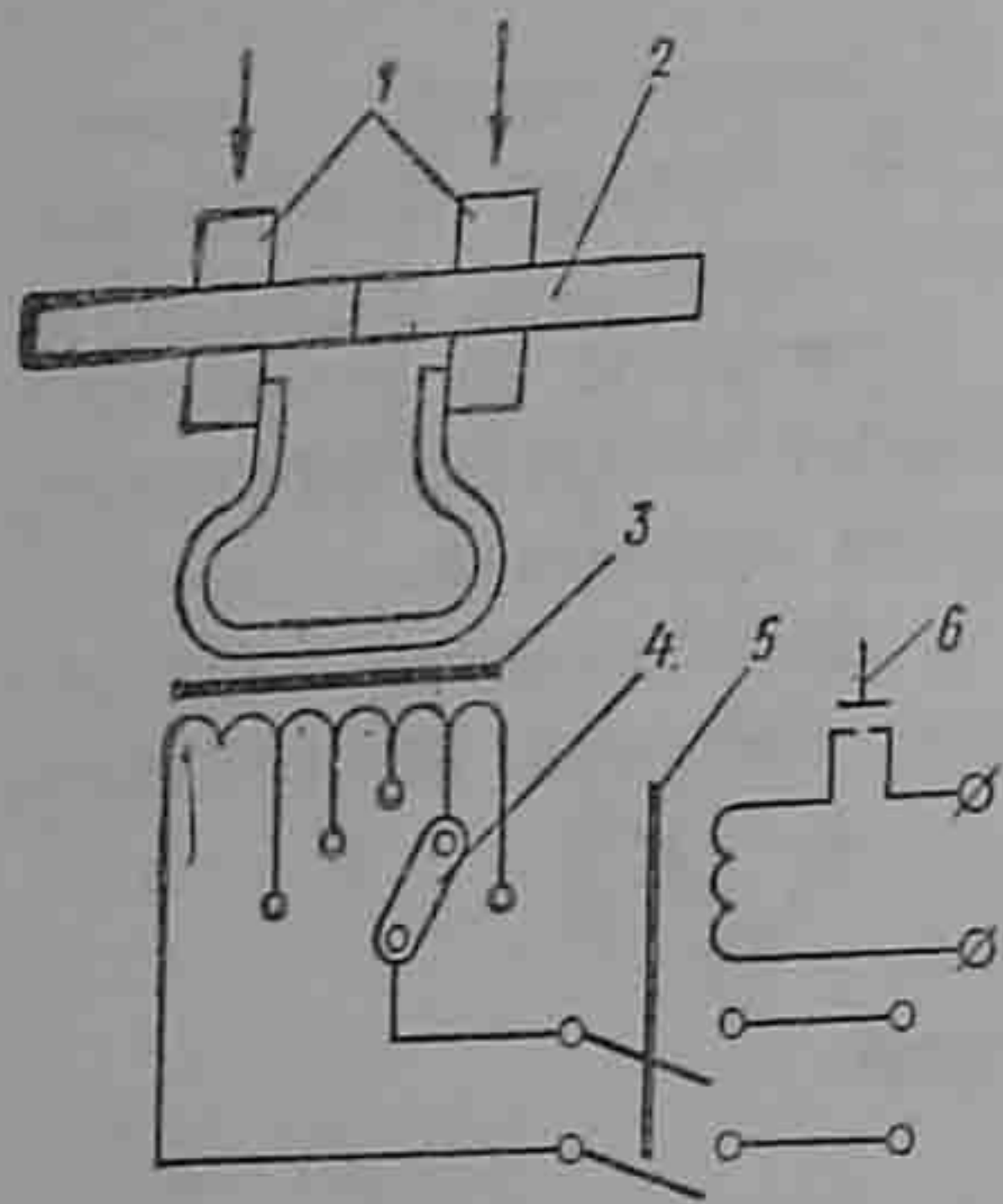


Рис. V.51. Электрическая схема контактной машины:

1 — контактная колодка; 2 — свариваемое изделие; 3 — сварочный трансформатор; 4 — регулятор тока; 5 — электромагнитный прерыватель тока; 6 — включающая кнопка

Механические контакторы применяются главным образом на стыковых и точечных машинах неавтоматического действия небольшой мощности. Включение и выключение тока этими контакторами осуществляют асинхронно. Электромагнитные контакторы применяют для стыковой, точечной и шовной сварки на машинах малой и средней мощности.

Электронные прерыватели обеспечивают синхронное включение и выключение тока со строго определенной продолжительностью импульсов тока и пауз. Их применяют для всех типов контактных машин автоматического действия.

Механизмы давления. Эти механизмы служат для сжатия заготовок между электродами машины и могут иметь рычажно-педальный, моторно-кулачковый или пневматический привод давления.

Машины для стыковой сварки. Машины выпускают мощностью 5—500 кВА. Стыковые машины мощностью до 25 кВА применяют для сварки сопротивлением черных и цветных металлов; мощностью 25—250 кВА — для сварки сопротивлением и оплавлением черных металлов; мощностью 150—500 кВА — для автоматической сварки оплавлением с подогревом.

Машины для точечной сварки. Такие машины выпускают мощностью 0,1—250 кВА. Точечные машины мощностью 0,1—25 кВА применяют для сварки заготовок толщиной 0,1—2 мм из черных и цветных металлов; мощностью 50—100 кВА с пневматическим или моторно-кулачковым механизмом давления —

для автоматической сварки в массовом производстве; мощностью 75—250 кВА с пневматическим механизмом давления и с электронными прерывателями тока — для сварки заготовок толщиной от 2 мм и выше. Эти машины могут быть использованы также для рельефной сварки.

Машины для шовной сварки. По конструктивному оформлению эти машины близки к машинам для точечной сварки и отличаются от них формой электродов, выполненных в виде роликов. Шовные машины выпускают мощностью 25—200 кВА. В зависимости от способа шовной сварки (непрерывное или прерывистое включение тока) их снабжают механическими или электронными прерывателями тока.

Машины для конденсаторной сварки. Эти машины должны обладать высокой точностью и стабильностью дозировки тока, стабильностью механических сил сжатия.

Конденсаторные машины, как правило, состоят из батарей конденсаторов, выпрямительных устройств, сварочного трансформатора (при трансформаторной конденсаторной сварке), включателя сварочного тока, вспомогательных устройств и сварочного стола.

В зависимости от типа свариваемого соединения выпускают точечные, шовные и стыковые конденсаторные машины. По назначению и характеру действия эти машины могут быть универсальные (неавтоматические и полуавтоматические) и специализированные (неавтоматические, полуавтоматические и автоматические).

7. Радиочастотная сварка

Радиочастотная сварка относится к способам сварки давлением с оплавлением свариваемых кромок при кратковременном их нагреве на воздухе.

Особенность этого процесса заключается в прохождении сварочным током свариваемых кромок и через точку схождения этих кромок до токопроводящих контактов.

Радиочастотная сварка происходит в результате местного нагрева соединяемых заготовок т. в. ч. до температуры оплавления тонкого слоя металла на поверхности кромок или близкой к этой температуре и последовательного сжатия кромок вращающимися роликами (рис. V.52). Для концентрации нагрева используют так называемый эффект близости.

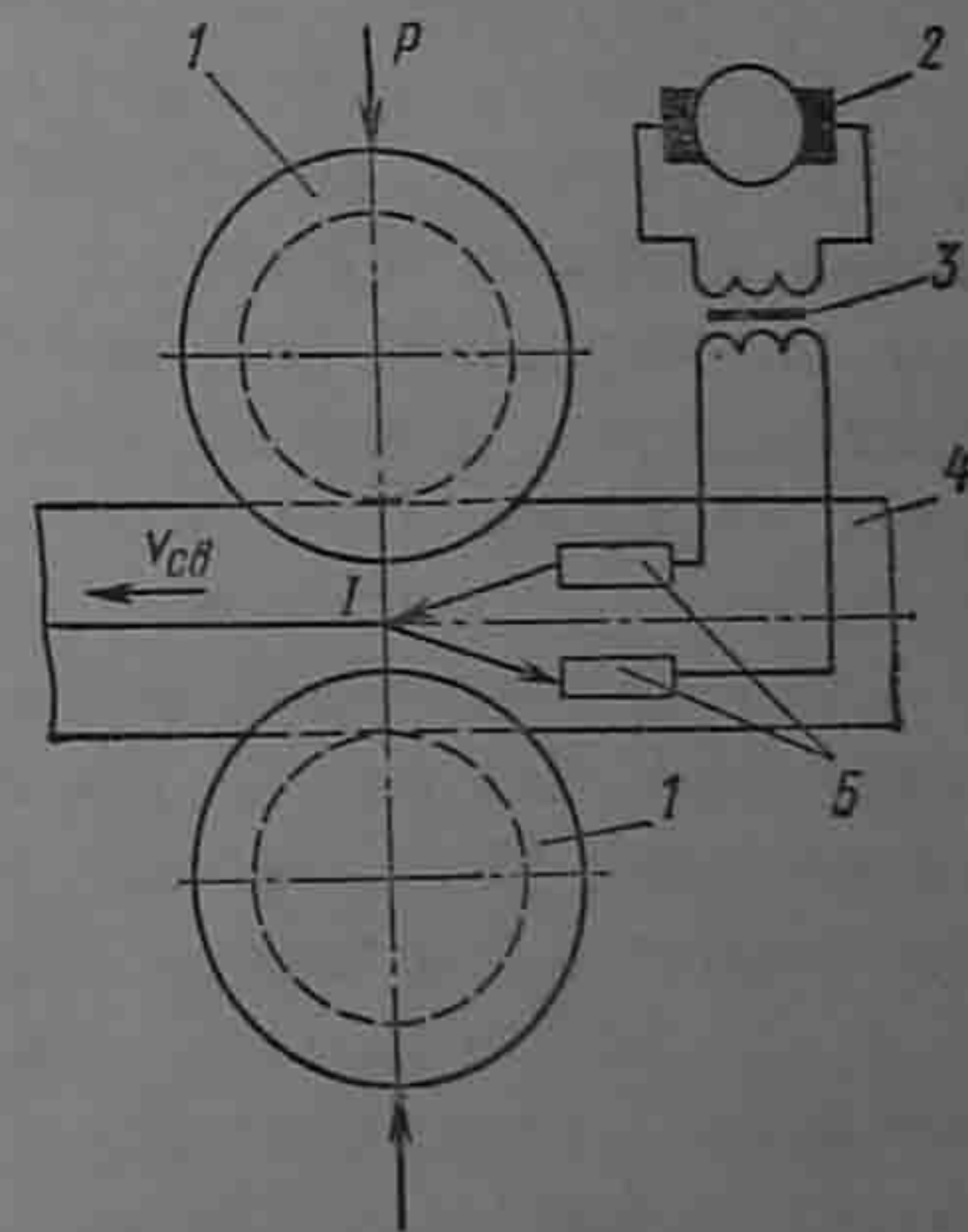


Рис. V.52. Принципиальная схема радиочастотной сварки:

1 — сжимающие ролики; 2 — ламповый генератор; 3 — трансформатор; 4 — движущаяся заготовка трубы; 5 — скользящие контакты; $I_{св}$ — сварочный ток

Сущность эффекта близости заключается в неравномерном распределении плотности прямого и обратного токов, протекающих по двум близко расположенным проводникам и по периметру этих проводников. Плотность тока в близлежащих поверхностных точках проводников максимальна, а в наиболее удаленных — минимальна. Чем меньше расстояние между осями проводников и чем больше радиус сечения проводника, тем сильнее проявляется эффект близости.

Сварочный ток может быть подведен непосредственно от высокочастотного генератора (машинного или лампового), в цепь которого включено изделие, через скользящие или вращающиеся контакты, а также индукционным путем. Этим способом сваривают продольные или спиральные швы труб.

8. Холодная сварка

Холодную сварку выполняют без нагрева при нормальных и даже при отрицательных температурах. Физическая сущность процесса заключается в сближении свариваемых поверхностей до образования металлических связей между ними и, следовательно, в получении прочных соединений. Такое сближение достигается приложением больших удельных давлений в месте соединения. В результате возникает совместная пластическая деформация. Большое усилие сжатия обеспечивает разрыв пленки окислов на свариваемых поверхностях и образование чистых поверхностей металла. Совместная пластическая деформация обеспечивает на короткое мгновение сближение друг с другом объемов кристаллитов, расположенных перед сдавливанием в глубинных слоях металла. При холодной сварке свариваемые поверхности очищают от адсорбированных жировых пленок.

Холодной сваркой выполняют точечные, шовные и стыковые соединения. На рис. V. 53, а представлен процесс холодной точечной сварки. Свариваемые заготовки 1 с тщательно зачищенной поверхностью 2 в месте соединения помещают между пуансонами 4, имеющими выступы 5. При сжатии пуансонов усилием P выступы 5 вдавливаются в металл по всей их высоте до тех пор, пока опорные поверхности 3 пуансонов не упрутся в наружную поверхность свариваемых заготовок. Форма сваренной точки зависит от формы выступа в пуансоне (рис. V.53, г).

При стыковой холодной сварке соединяемые заготовки 7 закрепляют в соосно расположенных зажимах 6 (рис. V.53, б). При осадке правый и левый зажимы сближают до соприкосновения, и острый край зажима отрубает излишний выдавленный металл — грат. В процессе осадки сближающие зажимы затрудняют течение металла и позволяют увеличить давление осадки. Деформируемый металл заполняет насечку 8, которая предотвращает его смещение в зажимах. Этим методом сваривают стержни и проволоку круглого, квадратного и прямоугольного сечений.

Место сварки получается чистым и не требует последующей обработки.

Для холодной шовной сварки применяют специальные ролики. Непрерывное шовное соединение может быть получено за счет сдавливания одновременно по всей длине соединения или за счет прокатывания ролика. Швы, образующие замкнутый контур большой длины в виде кольца, прямоугольника и т. п., получают контурной сваркой. На рис. V.53, в дана схема сварки полых деталей по контуру.

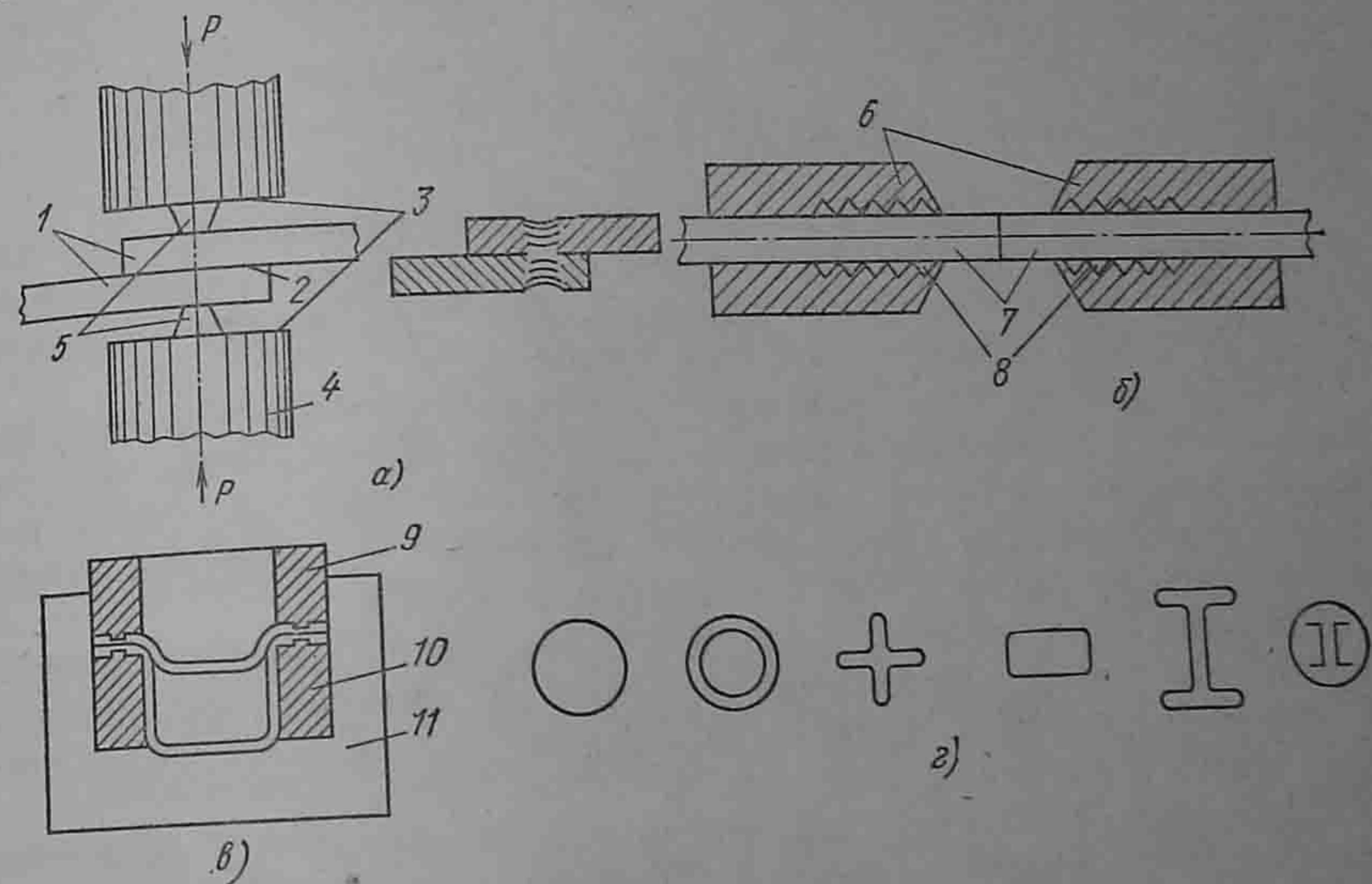


Рис. V.53. Принципиальная схема холодной сварки: а — точечная; б — стыковая; в — по контуру; г — форма сварной точки

Пуансоны 9 и 10 строго центрируют с помощью корпуса 11. Холодной сваркой сваривают металлы и сплавы толщиной 0,2—15 мм. Удельные давления, зависящие от состава и толщины свариваемого материала, в среднем составляют 150—1000 МН/м². Холодной сваркой в основном сваривают металлы и сплавы, обладающие высокой пластичностью при комнатной температуре, с крупнозернистой отожженной структурой.

В недостаточно пластичных металлах при больших деформациях могут образоваться трещины. Высокопрочные металлы и сплавы холодной сваркой не сваривают, так как для этого требуются очень большие удельные давления, которые практически трудно осуществить.

Хорошо свариваются сплавы алюминия, дюралюминия, сплавы кадмия, свинца, меди, никеля, золота, серебра, цинка и тому подобные металлы и сплавы в однородных и разнородных сечениях. К преимуществам этого способа относятся малый расход энергии,

незначительное изменение свойств металла, высокая производительность, возможность автоматизации.

Холодной сваркой сваривают алюминиевую оболочку кабелей. Ее применяют при изготовлении бытовых приборов из алюминия, корпусов полупроводниковых приборов и т. д., в электромонтажном производстве.

Оборудование. Для соединения внахлестку могут быть использованы любые прессы (винтовые, гидравлические, рычажные, эксцентриковые). Кроме того, выпускают специализированные установки типа МХСА-50, МСХС-60, МСХС-30 и др. для стыковой холодной сварки.

9. Термокомпрессионная сварка

Термокомпрессионная сварка является разновидностью холодной сварки, причем в отличие от нее место соединения подогревают до температуры ниже температуры образования эвтектики соединяемых материалов и затем сжимают.

Сваривают за счет направленной пластической деформации, аналогичной деформации при холодной сварке. На качество соединения при термокомпрессионной сварке влияет окисление поверхностей, поэтому целесообразно сваривать в защитной атмосфере (аргоне, смеси аргона с азотом и т. п.).

Термокомпрессионной сваркой сваривают высокоэлектропроводные материалы в виде круглых и плоских проводников с электропроводными тонкими пленками, напыленными на хрупкие диэлектрические подложки.

Процесс весьма стабилен, легко контролируется. Основными параметрами являются усилие сжатия, температура нагрева и продолжительность выдержки. Оборудование очень простое и состоит из рабочего столика и рабочего инструмента (пуансона). Необходимый нагрев при сварке можно выполнять за счет нагрева рабочего инструмента или столика. Не требуется флюсов и припоев.

К недостатку этого способа можно отнести ограниченность сочетаний свариваемых материалов и размеры соединяемых деталей. Применяют этот способ в основном в приборостроительной промышленности.

10. Сварка трением

Сварка трением относится к процессам, в которых используется давление, кратковременный нагрев и взаимное перемещение свариваемых поверхностей.

Сварка трением происходит в твердом состоянии при взаимном скольжении двух твердых тел, сжатых силой P . Работа, совершаемая силами трения при скольжении, превращается в теплоту, что приводит к интенсивному нагреву трущихся поверхностей.

Трение поверхностей осуществляется вращением или возвратно-поступательным перемещением свариваемых заготовок, сжимаемых силой P . В результате нагрева и сжатия возникает совместная пластическая деформация. Сварное соединение образуется в результате возникновения металлических связей между чистыми (ювенильными) контактирующими поверхностями свариваемых заготовок. Окисные пленки, имеющиеся на металлических поверхностях в месте соединения, разрушаются в результате трения и удаляются за счет пластической деформации в радиальных направлениях. На рис. V.54 даны принципиальные схемы сварки трением.

Основными параметрами сварки трением являются скорость относительного перемещения свариваемых поверхностей, продол-

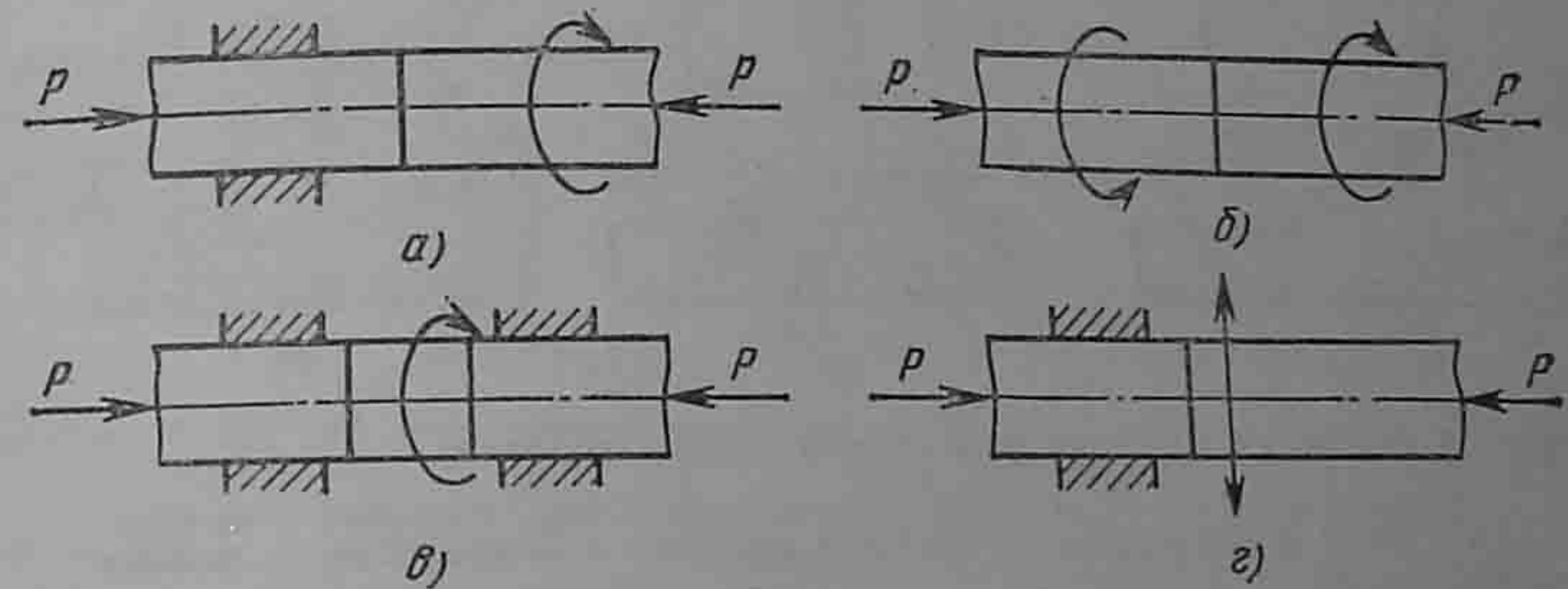


Рис. V.54. Принципиальные схемы сварки трением:

а — вращение одной детали; б — вращение обеих деталей; в — неподвижных деталей с вращающейся вставкой; г — при возвратно-поступательном движении одной детали

жительность нагрева, удельное давление, прилагаемое к свариваемым поверхностям, пластическая деформация, т. е. осадка. Необходимый для сварки нагрев при прочих равных условиях обусловлен скоростью вращения и осевым усилием. Здесь важно быстрое прекращение движения заготовки. Часто для получения качественного соединения необходимо приложение в конце процесса повышенного давления (проковки). Параметры режима сварки трением зависят от свойств свариваемого металла, площади сечения и конфигурации изделия. Сваркой трением соединяют однородные и разнородные металлы и сплавы с различными свойствами, например медь со сталью, медь со сплавами ковар, медь с алюминием, алюминий с титаном и др. На рис. V. 55 даны основные типы соединений, выполняемых сваркой трением. Соединения получают с достаточно высокими механическими свойствами. В промышленности сварку трением применяют при изготовлении режущего инструмента, различных валов, штоков с поршнями, пуансонов и т. п. При сварке трением по сравнению с контактной стыковой сваркой снижаются затраты энергии и требуемые мощности. Так, например, при сварке стали трением энергии расходуется в 5—10 раз меньше, чем при контактной сварке.

Для сварки трением выпускают специальное оборудование, обеспечивающее работу при достаточно больших скоростях вращения и осевых усилиях и позволяющее производить быстрый запуск и мгновенную остановку шпинделя машины; это оборудование имеет достаточно высокую прочность для восприятия и га-

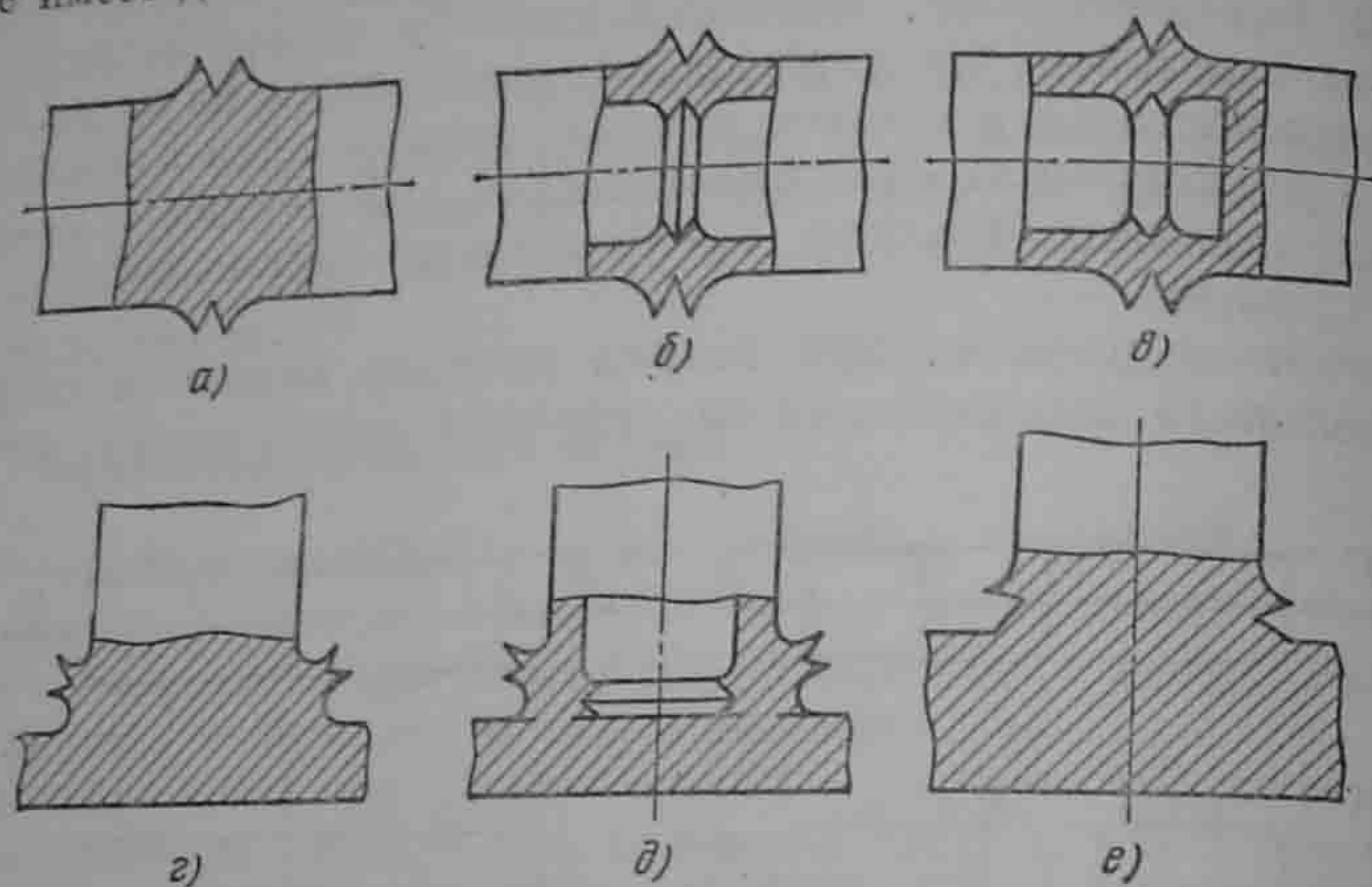


Рис. V.55. Типы сварных соединений сварки трением:

а — стержней встык; б — труб встык; в — встык стержня с трубой; г — стержня с листом; д — трубы с листом; е — стержня с массивной деталью

шения значительных радиальных вибраций. Выпускают серийные машины для сварки трением типа МСТ-23, МСТ-35 и МСТ-41 мощностью 10, 20 и 40 кВт; в виде исключения после соответствующей реконструкции используют обычные металлорежущие станки (токарные, фрезерные, сверлильные).

11. Ультразвуковая сварка

Ультразвуковая сварка также относится к процессам, в которых используют давление, нагрев и взаимное трение свариваемых поверхностей. Силы трения возникают в результате действия на заготовки, сжатые осевой силой P , механических колебаний с ультразвуковой частотой. При ультразвуковой сварке для получения механических колебаний высокой частоты используют магнитострикционный эффект, заключающийся в изменении размеров некоторых металлов, сплавов и керамических материалов под действием переменного магнитного поля. Изменения размеров магнитострикционных материалов очень незначительны, поэтому для увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний и для передачи механических колебаний к месту сварки используют волноводы, в большинстве случаев суживающейся формы. На рис. V. 56 показана простейшая схема ультразвуковой сварки. Свариваемые заготовки 5 размещают на опоре 6. Наконечник 4

рабочего инструмента 3 соединен с двигателем магнитострикционного преобразования 1 через трансформатор 2 продольных упругих колебаний, представляющих вместе с рабочим инструментом волновод. Нормальная сжимающая сила P создается моментом M в узле колебаний. В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные пленки.

Тонкие поверхностные слои металла нагреваются, металл в этих слоях немного размягчается и под действием сжимающего усилия пластически деформируется. При сближении поверхностей на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная связь. Сравнительно небольшое тепловое воз-

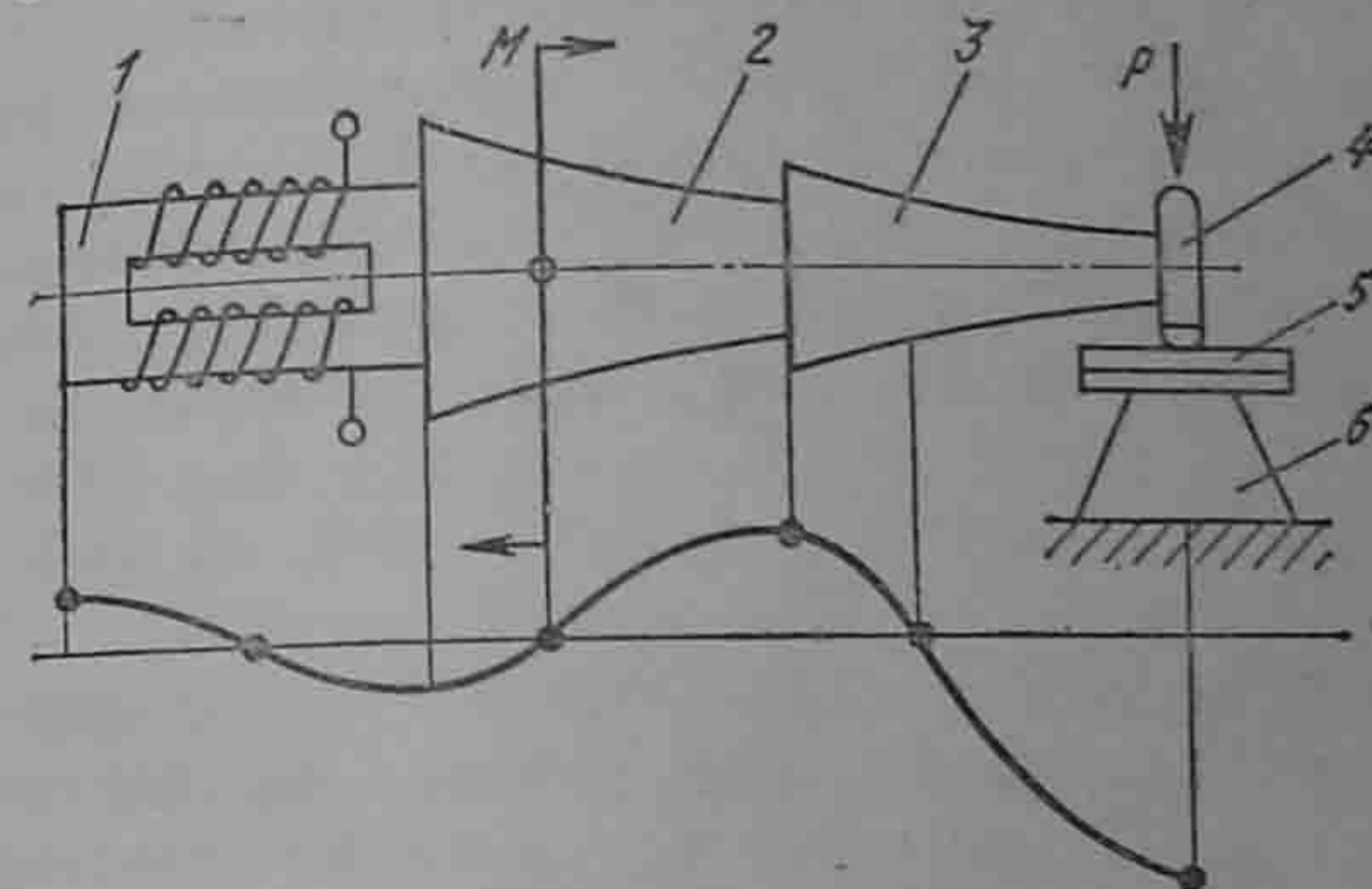


Рис. V.56. Принципиальная схема ультразвуковой сварки

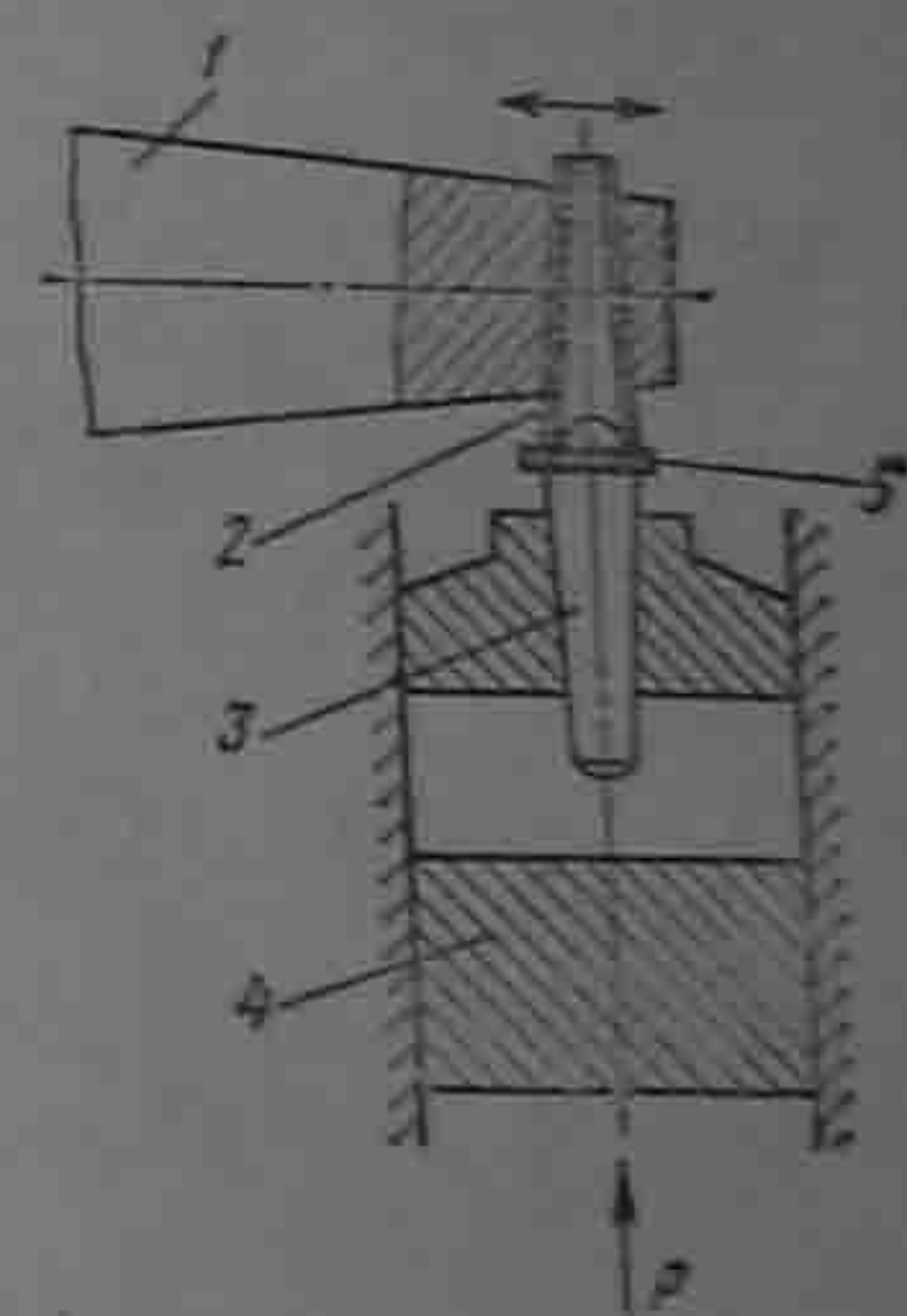


Рис. V.57. Ультразвуковая сварка по контуру:

1 — волновод; 2 — сменный полый штифт; 3 — сменный прижимной штифт; 4 — прижимная опора; 5 — свариваемое изделие

действие на свариваемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Например, при сварке меди температура в зоне контакта не превышает 600°C , а при сварке алюминия — $200-300^{\circ}\text{C}$. Это особенно важно при сварке химически активных металлов, а также металлов, которые в результате высокотемпературного нагрева становятся хрупкими.

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения внахлестку, а также соединение по контуру. Шовные соединения получают на машинах, аналогичных машинам для точечной сварки. Отличие заключается в том, что их рабочий инструмент и опору выполняют в форме роликов.

При сварке по контуру, например по кольцу, в волновод вставляют конический штифт, имеющий форму полой трубки. При равномерном поджатии заготовок к свариваемому штифту получают герметическое соединение по всему контуру (рис. V. 57). Ультразвуковой сваркой можно сваривать заготовки толщиной до 1 мм и ультратонкие заготовки толщиной до $0,001$ мм, а также

приваривать тонкие листы и фольгу к заготовкам неограниченной толщины. Снижение требований к качеству свариваемых поверхностей позволяет сваривать плакированные и оксидированные поверхности и металлические изделия, покрытые различными изоляционными пленками. Этим методом можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях, например алюминий с медью, медь со сталью, цинк с оловом и т. п.

Прочность соединения, выполненного ультразвуковой сваркой, достаточно высока (не менее 90% от наиболее прочного металла в этом соединении).

Ультразвуковым методом сваривают и пластмассы, однако в отличие от сварки металлов ультразвуковые колебания здесь подводятся к заготовкам не тангенциально, а вертикально.

Оборудование. Установка ультразвуковой сварки состоит из сварочной машины и ультразвукового генератора. В Советском Союзе выпускают ультразвуковые машины типа УЗСМ-1 и УЗСМ-2.

Ультразвуковую сварку применяют в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной промышленности и других отраслях.

12. Сварка взрывом

Сварку взрывом можно отнести к способам сварки с оплавлением при кратковременном нагреве на воздухе, так как на отдельных участках наблюдаются зоны металла, нагретые до оплавления. Однако на других участках температура может быть невысока, и здесь процесс приближается к холодной сварке.

Большинство технологических схем сварки взрывом основано на использовании направленного (кумулятивного) взрыва. Соединяемые поверхности двух заготовок 4 и 3, в частности пластины, одна из которых неподвижна и является основанием, располагают под углом α друг к другу на расстоянии h_0 . На заготовку 3 кладут взрывчатое вещество 2 толщиной H , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают детонатор 1. Сваривают на жесткой опоре. Давление в продуктах детонации, возникающее в результате взрыва, сообщает импульс расположенной под зарядом пластине. Детонация — это процесс, при котором разложение взрывчатого вещества с выделением газов и теплоты происходит с большой скоростью (несколько тысяч метров в секунду).

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

Пластина 3 метается со скоростью 1000 м/с на поверхность неподвижной пластины. В месте соударения метаемой пластины с основанием образуется угол γ , который перемещается вдоль соединяемых поверхностей. При соударении из вершины угла выдуваются тонкие поверхностные слои, окисные пленки и другие загрязнения. Соударение пластин вызывает течение металла в их поверхностных слоях, а в точках соударения происходит процесс совместного волнообразования. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил сцепления и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки взрывом не превышает нескольких микросекунд. Этого времени недостаточно для протекания диффузионных процессов, сварные соединения не образуют промежуточных химических составляющих между разнородными металлами и сплавами.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов. Разрушение при испытании происходит на некотором расстоянии от плоскости соединения по наименее прочному металлу. Это объясняется упрочнением тонких слоев металла, прилегающих к соединенным поверхностям, при их пластической деформации.

Параметрами сварки взрывом являются скорость детонации D , нормальная скорость v_n метаемой пластины при соударении с основанием и углом γ их встречи при соударении. Скорость детонации, определяемая типом взрывчатого вещества и толщиной его слоя, должна обеспечивать образование направленной (кумулятивной) струи без возникновения опасных для металла ударных волн: чем больше $\frac{v_n}{D}$, тем больше γ .

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакировке поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой.

13. Диффузионная сварка в вакууме

Диффузионную сварку в вакууме можно отнести к процессам сварки давлением с длительным нагревом в вакууме. При диффузионной сварке соединение образуется в результате взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях контактирующих материалов, находящихся в твердом состоянии. Температура нагрева при сварке несколько выше или ниже температуры рекристаллизации более легкоплавкого материала.

Диффузионную сварку в большинстве случаев выполняют в вакууме, однако она возможна в атмосфере инертных защитных газов. Свариваемые заготовки 3 (рис. V. 59) устанавливают внутри охлаждаемой металлической камеры 2, в которой создается ва-

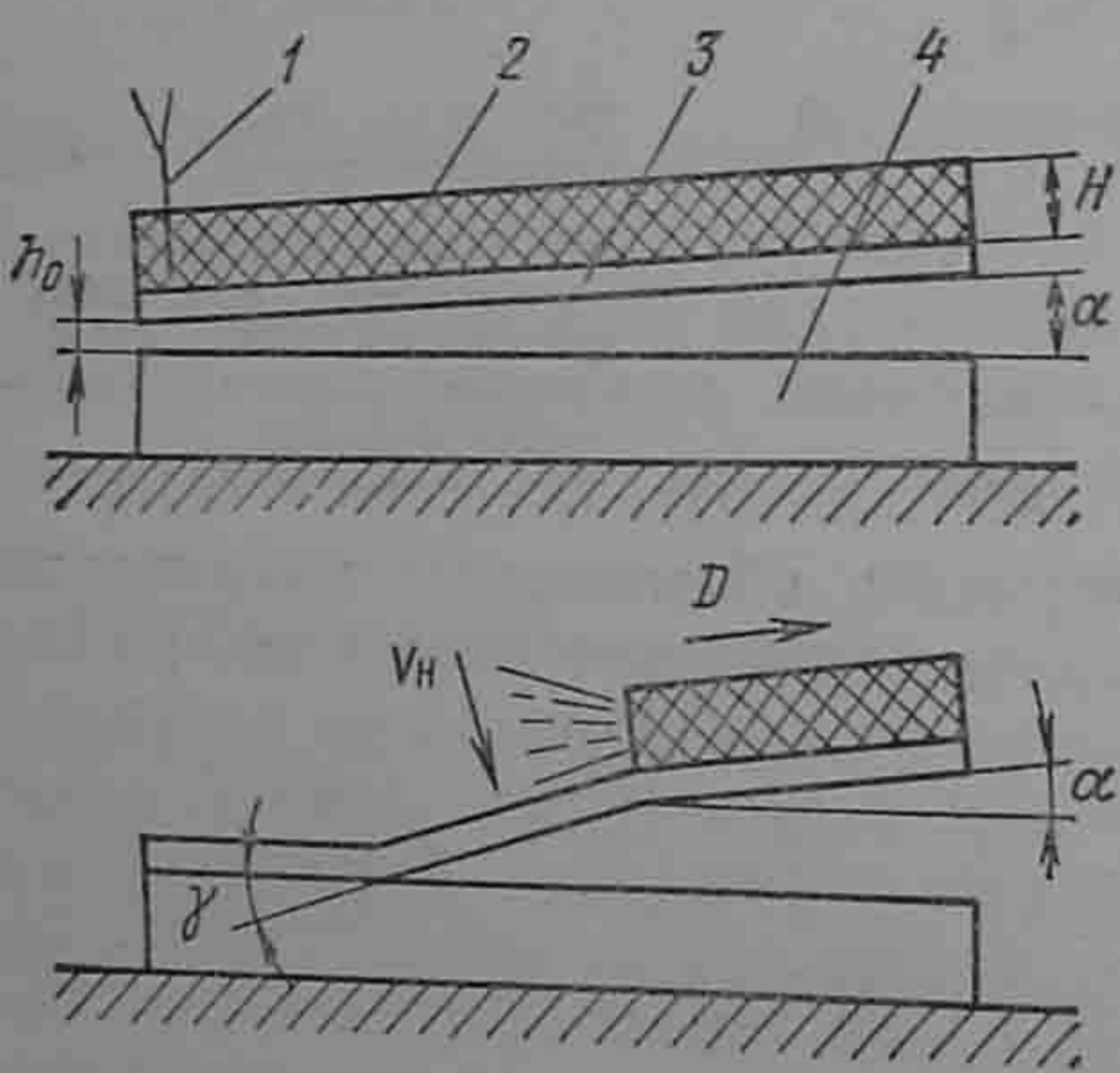


Рис. V.58. Принципиальная схема сварки взрывом

другу на расстоянии h_0 . На заготовку 3 кладут взрывчатое вещество 2 толщиной H , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают детонатор 1. Сваривают на жесткой опоре. Давление в продуктах детонации, возникающее в результате взрыва, сообщает импульс расположенной под зарядом пластине. Детонация — это процесс, при котором разложение взрывчатого вещества с выделением газов и теплоты происходит с большой скоростью (несколько тысяч метров в секунду).

куум порядка $133 \cdot 10^{-3} - 133 \cdot 10^{-5}$ Н/м², и нагревают с помощью вольфрамового или молибденового нагревателя или индуктора 4, по которому течет т. в. ч. (5 — к вакуумному насосу; 6 — к высокочастотному генератору). Может быть использован также и электронный луч, позволяющий нагревать заготовки с еще более высокими скоростями, чем скорости при использовании т. в. ч. Электронный луч целесообразно применять для нагрева при диффузионной сварке тугоплавких металлов и сплавов. После того как достигнута требуемая температура, к заготовкам прикладывают с помощью механического 1, гидравлического или пневматического устройства небольшое сжимающее усилие (1—20 МН/м²) в течение 5—20 мин.

Такая длительная выдержка увеличивает площадь контакта между предварительно очищенными свариваемыми поверхностями заготовок. Время выдержки нагрева определяется родом свариваемого металла, размерами и конфигурациями заготовок.

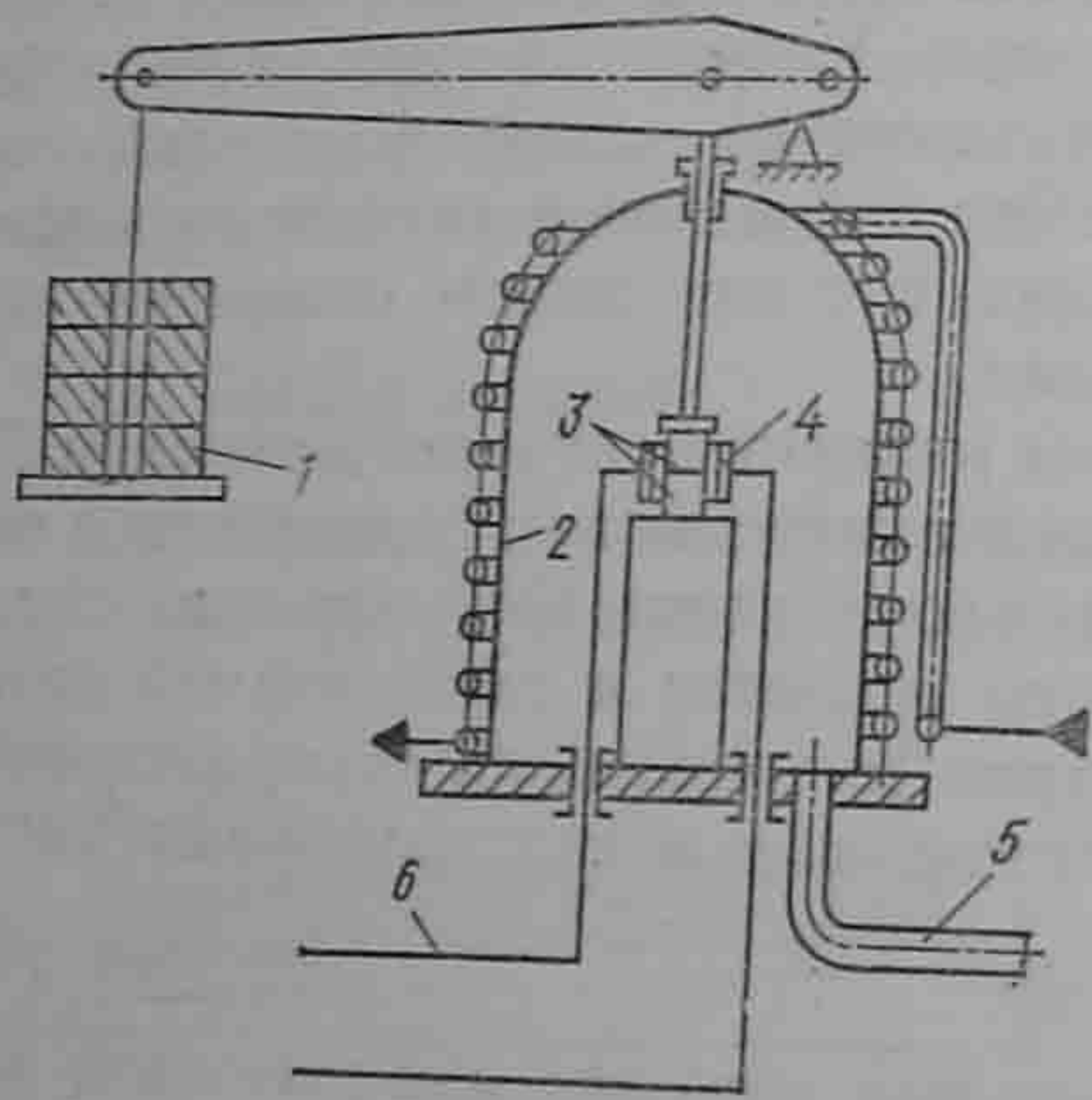


Рис. V.59. Принципиальная схема диффузионной сварки в вакууме

Для получения соединения хорошего качества нагрев заготовок по всему сечению должен быть равномерным, а их поверхности очищены от окислов и загрязнений. Тончайшие адсорбированные и масляные пленки испаряются при нагреве в вакууме и не препятствуют образованию соединения.

Преимуществом диффузионной сварки в вакууме является отсутствие припоев, электродов и флюсов. Металлы и сплавы можно соединять в однородных и разнородных сочетаниях, не принимая во внимание их твердость и взаимную смачиваемость, и получать прочные соединения без изменения физико-механических свойств. Диффузионной сваркой можно получать биметаллические, триметаллические и тетраметаллические детали. Соединения можно выполнять по плоским и рельефным, сферическим, коническим и тому подобным поверхностям. После сварки не требуется механической обработки для удаления шлака, грата или окалины.

При этой сварке чистых и однородных материалов (например, стали со сталью, алюминия с алюминием, полупроводниковых элементов одинакового состава и т. п.) в образовавшемся соединении нет границы раздела. Однако, когда сваривают разнородные материалы, элементы которых не обладают взаимной растворимостью в месте стыка, образуется хрупкая прослойка так назы-

ваемых интерметаллических соединений, снижающих прочность соединения. В этом случае применяют промежуточные прокладки из третьего специально подобранного материала, способного образовывать твердые растворы с элементами свариваемых материалов. Такие саморассасывающие прокладки используют при сварке материалов с резко различными коэффициентами линейного расширения, вследствие чего образуется совместное соединение высокой прочности. Удаётся сваривать сталь с алюминием, чугуном, вольфрамом, титаном и металлокерамикой; серебро с коррозионно-стойкой сталью; платину с титаном, стекло с коваром, медь с титаном и т. д.

Диффузионную сварку применяют в электронной технике и радиоэлектронике, в приборостроении и текстильном машиностроении, в судостроении, в пищевой промышленности и других отраслях. Этот метод используют для сварки деталей и узлов вакуумных приборов, высокотемпературных нагревателей, при производстве инструмента и т. д.

Оборудование. Установки для диффузионной сварки в вакууме состоят из камеры, вакуумной системы для создания требуемого вакуума в камере, системы сжатия свариваемых заготовок и аппаратуры управления работой отдельных узлов. Установки выпускают для индивидуального производства с обычным ручным управлением и для серийного поточно-массового производства с полуавтоматическим или автоматическим программным управлением. Разработано более тридцати типов универсальных и специализированных сварочных установок (СДВУ) для единичного, серийного и массового производств.

14. Газопрессовая сварка

Газопрессовая сварка относится к способам сварки давлением с продолжительным нагревом в газовой среде. Место соединения подвергают местному нагреву газокислородным пламенем до температуры, близкой к температуре плавления, и сжатию осевой силой. Существует два основных способа газопрессовой сварки: в пластическом состоянии и с оплавлением свариваемых поверхностей заготовок.

Газопрессовую сварку в пластическом состоянии выполняют двумя способами при постоянном давлении при заданной температуре. В первом случае свариваемые части сдавливаются постоянным осевым усилием в течение всего процесса сварки. Во втором случае заготовки вначале сжимают небольшим усилием, затем нагревают до температуры сварки, после чего увеличивают давление до заданной величины осадки. Происходит сварка. На рис. V.60 показан процесс газопрессовой сварки при постоянном давлении. На рис. V. 61 приведена многопламенная горелка для сварки труб. Горелка состоит из двух полуколец 1. При смыкании полуколец горелки охватывается вся окружность сечения трубы 2,

при раскрывании полуколец можно снять горелку с трубы или надеть на нее горелку. На каждом полукольце с внутренней стороны расположены мундштуки 2 для выхода газосварочного пламени. Время нагрева стыка не зависит от диаметра трубы, а зависит только от толщины ее стенки.

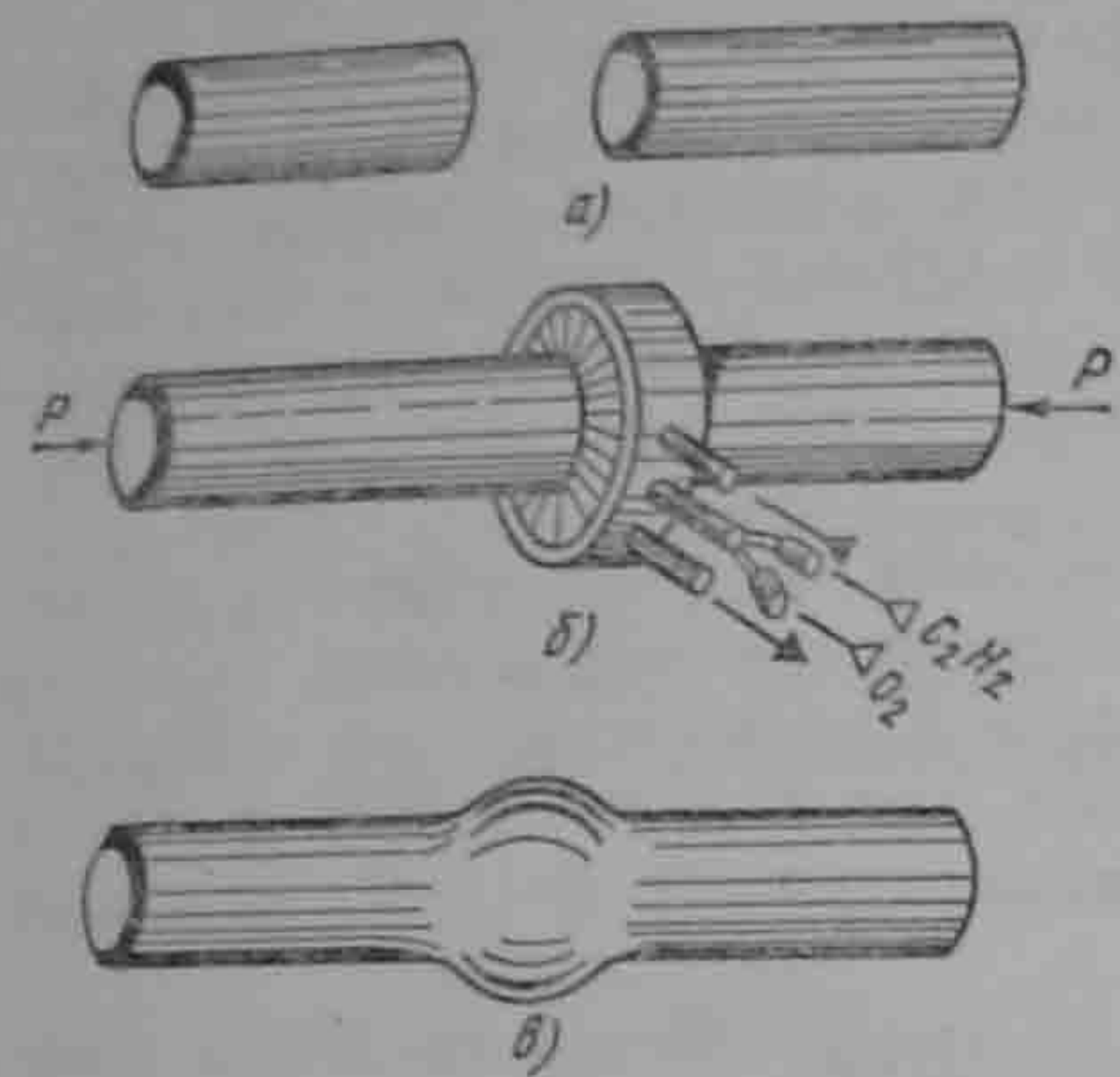


Рис. V.60. Принципиальная схема газопрессовой сварки:

а — заготовки, подготовленные к сварке; б — изделие в процессе сварки; б₁ — сваренное изделие; Р — усилие осадки

ружку. При сварке оплавлением мощность пламени больше, чем при сварке в пластическом состоянии, но при этом не требуется предварительной обработки и подготовки кромок под сварку.

Газопрессовую сварку применяют для стыков стальных трубопроводов для газа, нефти и т. п. диаметром 50—600 мм, для соединения ответственных деталей подвижного состава железных дорог (рельсов, рессорных листов и т. п.). К преимуществам газопрессовой сварки относятся высокое качество сварных соединений, возможность сваривать встык заготовки диаметрами более 50 мм, отсутствие источников электроэнергии, а следовательно, возможность сваривать в полевых условиях и использовать природные горючие газы.

Хорошее качество свариваемого соединения обусловлено защитой места соединения восстановительной атмосферой пламени.

К недостаткам этого способа по сравнению с электрической контактной сваркой можно отнести более низкую производитель-

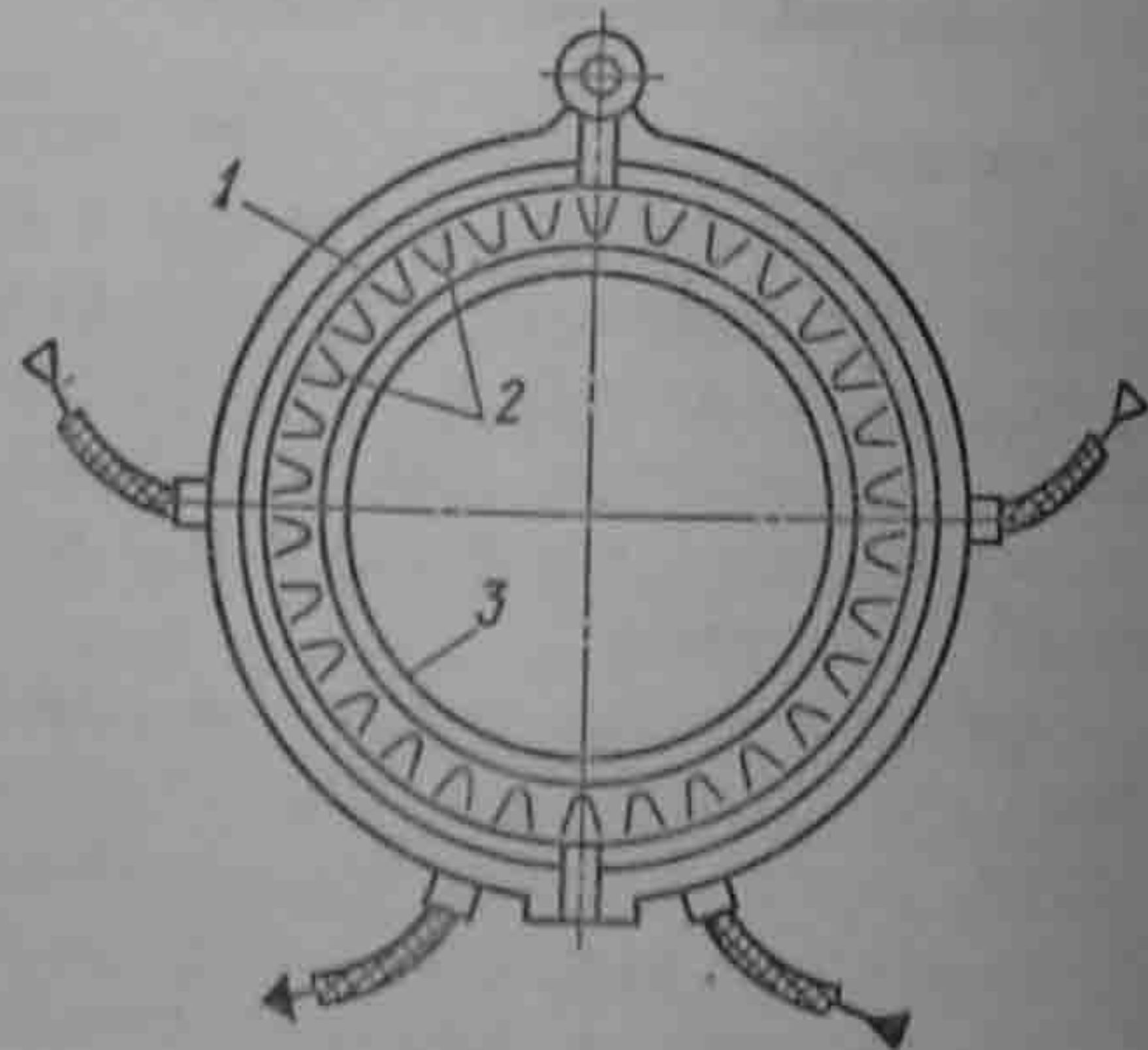


Рис. V.61. Схема газопрессовой горелки

ность, наличие многопламенной горелки для свариваемого стыка каждого размера и довольно сложной газовой аппаратуры, неравномерность нагрева изделия по сечению при сварке в пластическом состоянии.

Оборудование состоит из источника питания газами (ацетиленом и кислородом), сварочной машины (станка), разъемной многопламенной горелки. Сварочная машина предназначена для зажатия свариваемых заготовок и осадки их в осевом направлении после нагрева кольцевой горелки, закрепленной в суппорте станка.

1. Наплавочные работы

Наплавка — процесс, при котором на поверхность детали наносится слой металла требуемого состава. Наплавку применяют при ремонте изношенных деталей для восстановления их до исходных размеров и для изготовления новых изделий (например, для получения биметаллических деталей, когда на поверхность конструкционной стали наплавляют износостойкий, жаростойкий или иной специальный сплав). Масса наплавленного металла обычно не превышает нескольких процентов от общей массы изделия. Проплавление основного металла и перемешивание основного и наплавленного металлов должны быть минимальными для сохранения механических свойств наплавленного слоя.

Наплавлять можно различными способами. Основные виды наплавки определяются используемым источником нагрева. Чаще всего для наплавки применяют различные виды электродуговой сварки. Электродуговая наплавка может быть ручной, автоматической и полуавтоматической.

Ручная дуговая наплавка металлическими электродами. Этот вид наплавки является самым простым, позволяющим наплавлять на детали любой формы. Наплавку выполняют короткой дугой на минимальном токе. Для повышения производительности применяют наплавку пучком электродов и трехфазной дугой. Для наплавочных работ разработано около 70 марок электродов (ГОСТ 10051—75 типа ЭН-15ГЗ-25; ЭН-60Х2СМ-50; ЭН-70Х11НЗ-25; ЭН-130Х28СЧНЧ-50 и т. д.). Кроме того, можно применять электроды общего назначения.

К механизированным способам наплавки относятся автоматическая, полуавтоматическая, электрошлаковая.

Автоматическая наплавка под флюсом. При наплавке под флюсом образуется довольно большой объем ванны жидкого флюса и металла. Во избежание стекания жидкого металла и флюса наплаваемый участок должен быть расположен в нижнем положении. Крупные детали наплавляют многодуговой наплавкой, при этом один рабочий управляет одновременно несколькими аппаратами, каждый из которых обрабатывает определенный участок изделия.

Применяют многоэлектродную наплавку, когда плавятся одновременно несколько электродных проволок, подключенных к одному полюсу источника тока и расположенных поперек оси наплавленного валика. Под флюсом создается одна общая сварочная ванна и электроды плавятся поочередно. Вместо электродной проволоки можно использовать в качестве присадочного материала ленту небольшой толщины и большой ширины. Дуга, перебегающая от одного края ленты к другому, равномерно оплавляет ее торец.

Коэффициент наплавки получается больше, а глубина проплавления и доля основного металла меньше.

Электрошлаковая наплавка. Этот вид наплавки применяют, когда необходимо наплавить большое количество металла, например при восстановлении изношенных деталей с помощью электрода сложной формы. Преимуществом электрошлаковой наплавки является высокая производительность, малая склонность наплавленного слоя к порам и трещинам, высокое качество поверхности наплавки. Толщина наплавленного слоя не менее 20 мм.

Наплавка т. в. ч. Для наплавки применяют индукционный нагрев т. в. ч. с присадочным металлом, который предварительно наносят на поверхность изделия в виде смеси порошков, литого кольца или прессованного брикета, либо расплавляют в огнеупорной воронке, расположенной над наплаваемой деталью.

Дуговая наплавка неплавящимся электродом (угольным) или графитовым. Такую наплавку применяют в основном для твердых зернистых и порошковых сплавов.

Дуговая наплавка вольфрамовым электродом в защитных газах (аргоне). Для этого способа используют горелки для сварки неплавящимся электродом и литые присадочные прутки (обычно из сплавов никеля и кобальта). Указанным способом получают очень малую глубину проплавления и наплавляют тонкие слои.

Кроме вышеперечисленных способов, существует еще много разновидностей наплавки с использованием других источников теплоты: плазменной дуги, газового пламени, плавящегося электрода в защитном газе, порошковой проволоки и пластинчатого электрода.

2. Материалы для наплавочных работ

В качестве наплавочного материала широко используют твердые сплавы, которые можно подразделить на следующие основные группы: литые или стеллиты; порошкообразные или зернистые; керамические или спеченные; плавленые карбиды.

Литые сплавы. Эти сплавы подразделяют на стеллиты и дешевые сплавы-заменители. Стеллиты представляют собой карбиды вольфрама, сцементированные кобальтом и железом. Заменителями являются сормайт (сплав железа с углеродом и хромом и небольшим количеством никеля). Сормайту придает твердость и небольшим количеством никеля). Сормайту придает твердость и карбид хрома. Температура плавления литых сплавов 1300—1350°С, твердость HRC 80. Литые сплавы обычно выпускают в виде стержней различного диаметра и применяют в основном для наплавки изнашивающихся поверхностей, например штампов (матриц и пуансонов), а также машин и механизмов, работающих на трение. Литые сплавы выплавляют в соответствии с ГОСТ 10051—75 на электроды из литых сплавов.

Порошкообразные или зернистые сплавы. Эти сплавы представляют собой порошкообразную смесь и превращаются в твер-

дый сплав на поверхности наплавляемой детали в процессе наплавки. Зернистые сплавы могут содержать вольфрам, например вокар (HRC 80—82), и не содержать вольфрама, например сталлит (HRC 78). Основой сталлита является смесь ферромарганца и феррохрома. Зернистые сплавы используют в виде порошка или как наполнитель трубчатого электрода и применяют при наплавке зубьев экскаваторов, шеек камнедробилок, козырьков ковшей землечерпалок и т. п.

Керамические или спеченные твердые сплавы. Эти сплавы обладают твердостью HRC 86—90. Их основой служат карбиды вольфрама и титана. Примером спеченного сплава является победит (карбид вольфрама, спеменированный кобальтом). Керамические сплавы выпускают в виде пластинок и применяют главным образом для оснащения режущего инструмента. Пластины керамических сплавов закрепляют на державках пайкой.

Плавленные карбиды. Эти карбиды имеют высокую твердость (HRC 92—94), но одновременно значительную хрупкость. Температура плавления 3000°C . Плавленные карбиды состоят из карбида вольфрама, иногда сплавленного с другими элементами. Их выпускают в виде кусков с острыми гранями. Куски сплава вваривают в углубления на поверхности детали таким образом, чтобы режущая грань сплава выступала над поверхностью. В пространстве между кусками наплавляется другой твердый сплав (литой или зернистый). В процессе работы промежуточный твердый сплав изнашивается быстрее, поэтому режущая грань плавленых карбидов выступает. Наплавляют различными способами, чаще применяют разнообразные виды электродуговой сварки.

Плавленные карбиды применяют для оснащения бурового инструмента.

3. Металлизация

Металлизация заключается в нанесении металлопокрытия на поверхность изделия методом осаждения на ней жидкого пылеобразного покрывающего металла, распыляемого газовой струей.

Процесс металлизации состоит в подаче металлической проволоки к источнику нагрева. Проволока нагревается до расплавления, и жидкий металл под давлением сжатого воздуха вылетает с большой скоростью из сопла металлизатора в виде распыленных капель, которые ударяются о поверхность детали и, соединяясь с ней, образуют слой покрытия.

В зависимости от используемого источника теплоты различают металлизацию: дуговую (электрометаллизацию), газовую (газо-

плазменную), плазменную и т. в. ч. При дуговой металлизации используют специальные металлизационные аппараты. На рис. V. 62 показана схема металлизатора. Через два направляющих муфштук 2, по которым идет сварочный ток, подают проволоки 4. При соприкосновении проволок в точке I в результате короткого замыкания появляется дуговой разряд и образуются капли металла, увлекаемые струей сжатого воздуха, поступающего в корпус 3 через рукоятку 5.

Для металлизации применяют проволоки медные, алюминиевые, стальные и цинковые, а также неметаллические материалы в виде порошков (стекла, эмали, пластмасс).

Металлизационный слой состоит из мелких поверхностно-окисленных частичек металла и имеет меньшую прочность и плотность по сравнению с наплавочным слоем.

Металлизацию применяют для защиты от износа, коррозии, а также в декоративных целях для таких изделий, как цистерны, бензобаки, мосты, изнашивающиеся части валов, деталей машин и т. п.

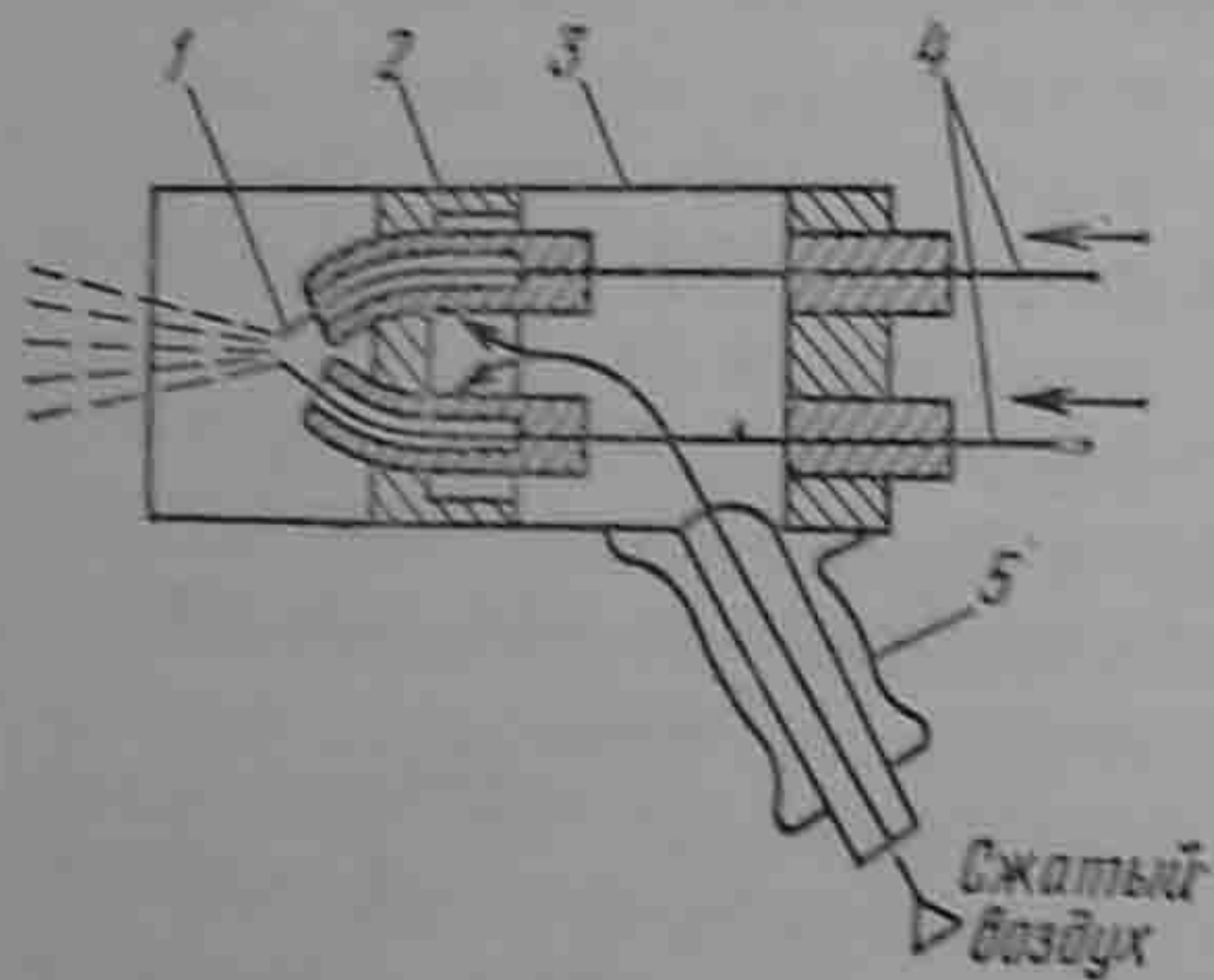


Рис. V.62. Схема дугового металлизатора

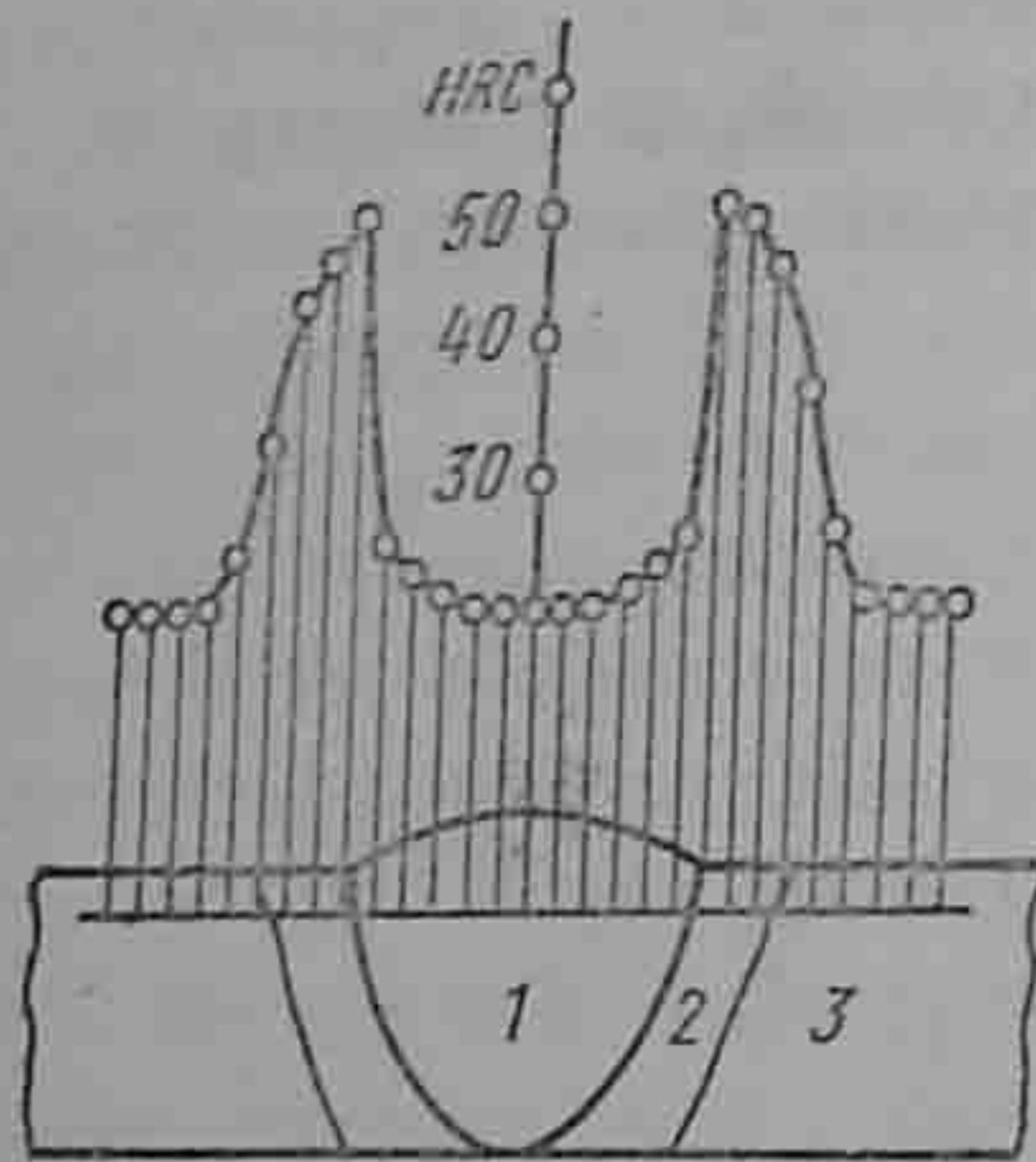
1. Свариваемость металлов и сплавов

В современном машиностроении наряду с обычной низкоуглеродистой сталью широко применяют металлы и сплавы, обладающие высокими механическими или специальными физическими свойствами, такими как жаропрочность, коррозионная стойкость и т. д. При наличии высоких эксплуатационных свойств многие из них имеют пониженную или плохую свариваемость (см. гл. 1 разд. V). К таким металлам и сплавам относятся углеродистые и легированные конструкционные и теплоустойчивые стали, высоколегированные коррозионно-стойкие и жаропрочные стали,

чугун, медь, алюминий, магний, тугоплавкие металлы и их сплавы. Пониженная свариваемость проявляется в изменении свойств металла в зоне сварного соединения по сравнению с основным металлом, а также в образовании сварочных дефектов в виде трещин, пор, неметаллических включений и т. п.

Наиболее часто встречается неоднородность свойств сварного шва, зоны термического влияния и основного металла, обусловленная различием структур, величин зерен и т. д. Например, при сварке углеродистых и легированных сталей вследствие значительных скоростей охлаждения, характерных для процесса сварки, металл закаливается в зоне термического влияния (рис. V.63). Закаленная зона 2 имеет более высокую твердость и пониженную пластичность, чем основной металл 3 и сварной шов 1.

Рис. V.63. Распределение твердости по сечению сварного соединения из закалывающейся стали 40ХФА



Следствием плохой свариваемости металлов являются трещины в сварных соединениях, которые разделяют на горячие и холодные. Трещины образуются в процессе сварки в результате действия сварочных напряжений в периоды времени, когда отдельные зоны сварного соединения находятся в разупрочненном и хрупком состояниях. При сварке почти всегда возникают остаточные сварочные напряжения, как правило, растягивающие напряжения в шве и сжимающие в основном металле.

Возникновение сварочных напряжений происходит следующим образом (рис. V.64). Вследствие неравномерного разогрева изделия при сварке (рис. V.64, а) свободное термическое расширение шва и околошовной зоны ограничивается реакцией менее нагретых зон основного металла. Вместо удлинения отдельных слоев свариваемого металла по кривой $\alpha_T T$ происходит равномер-

ное удлинение всей свариваемой пластины, в результате чего первоначальная грань пластины 1 в момент максимального разогрева занимает положение 2. Поэтому шов и прилегающая к нему зона металла при нагреве претерпевают местную пластическую деформацию сжатия, пропорциональную заштрихованной пло-

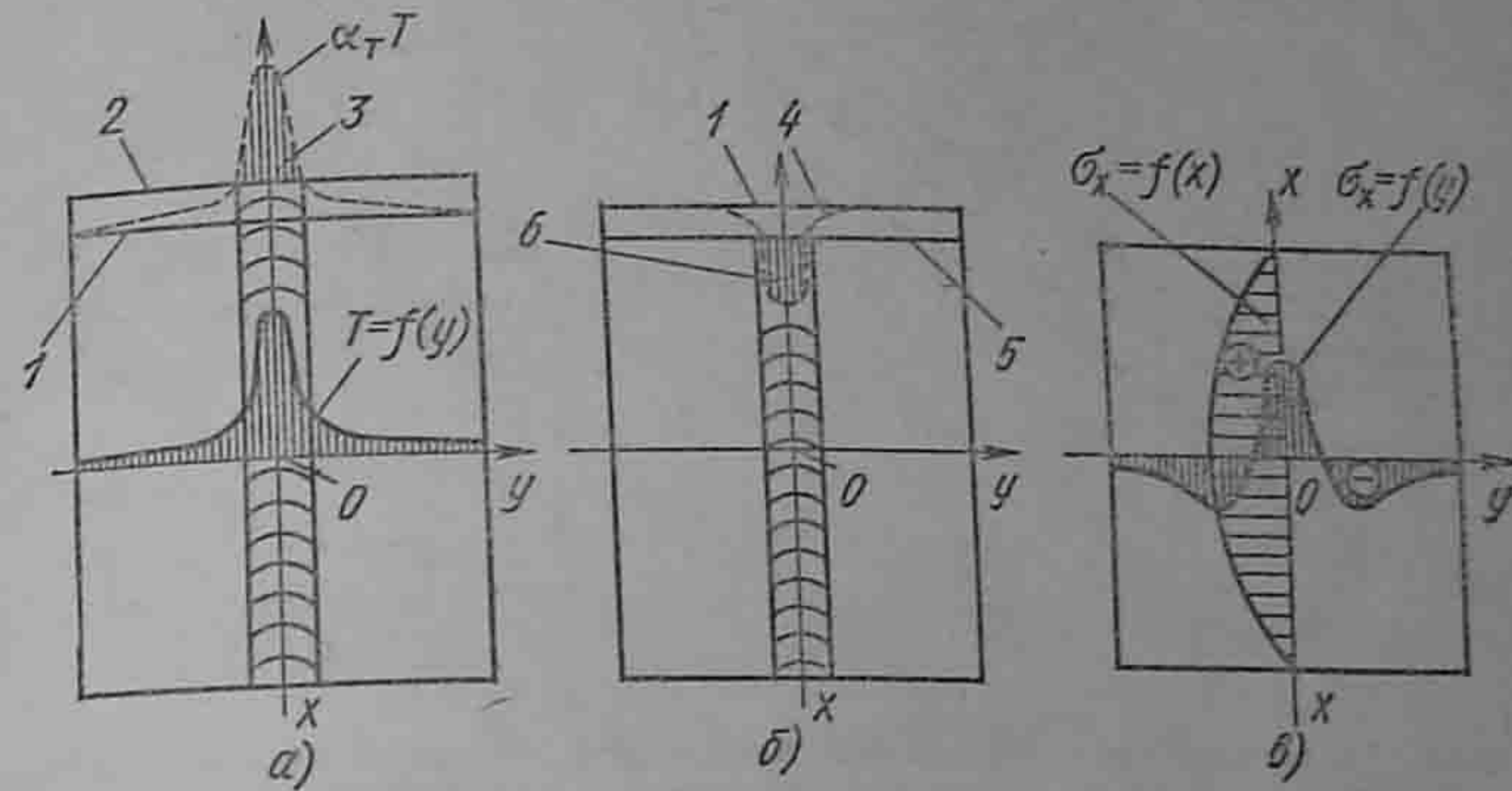


Рис. V.64. Процесс возникновения сварочных напряжений при сварке пластины встык:

$T = f(y)$ — распределение температуры по оси Oy , $\sigma_x = f(x)$ и $\sigma_y = f(y)$ — соответственно распределение остаточных продольных напряжений по осям Ox и Oy

щади 3. После охлаждения (рис. V. 64, б) контур пластины занимает положение 5, а участки сварного соединения, претерпевшие при нагреве пластическую деформацию, оказываются укороченными в соответствии с контуром 4 пропорционально заштрихованной площади 6. Поскольку они связаны с основным металлом, который пластически не деформировался и первоначальные размеры которого не изменились, то шов и околошовная зона после сварки претерпевают растяжение. Растягивающие напряжения (+) в шве уравниваются сжимающими напряжениями (-) в основном металле (рис. V. 64, в).

Горячие трещины образуются в основном в сварных швах различных сплавов (рис. V. 65, а) в процессе их кристаллизации. Сплавы в отличие от чистых металлов кристаллизуются в некотором интервале температур ($T_{лик} - T_{сол}$). Во время пребывания шва в температурном интервале кристаллизации он находится в твердо-жидком состоянии, т. е. состоит из твердых кристаллов,

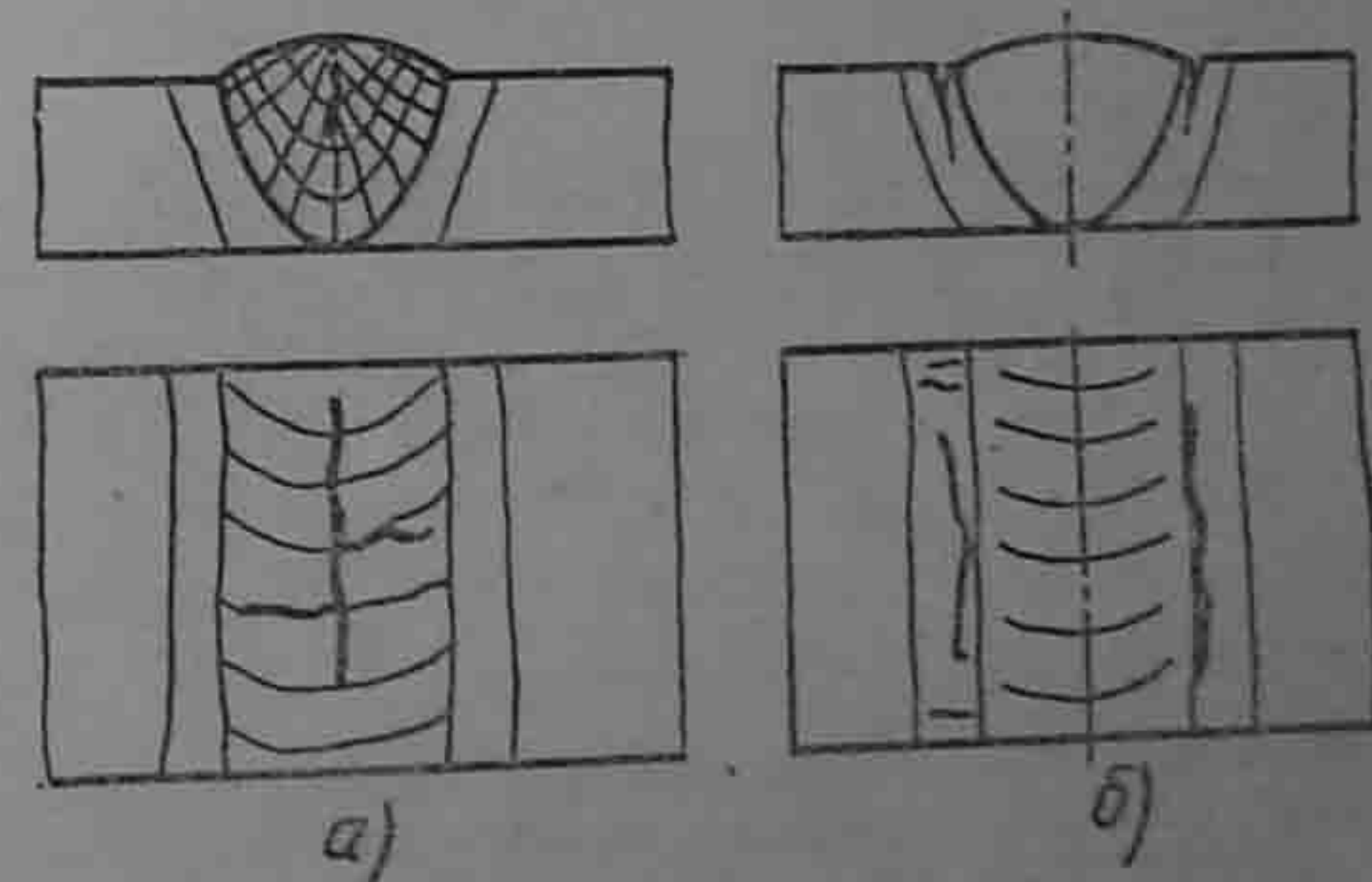


Рис. V.65. Трещины в сварных соединениях: а — горячие в шве; б — холодные в зоне термического влияния

окруженных жидкими прослойками. В отдельных случаях сварочные деформации и напряжения оказываются достаточными,

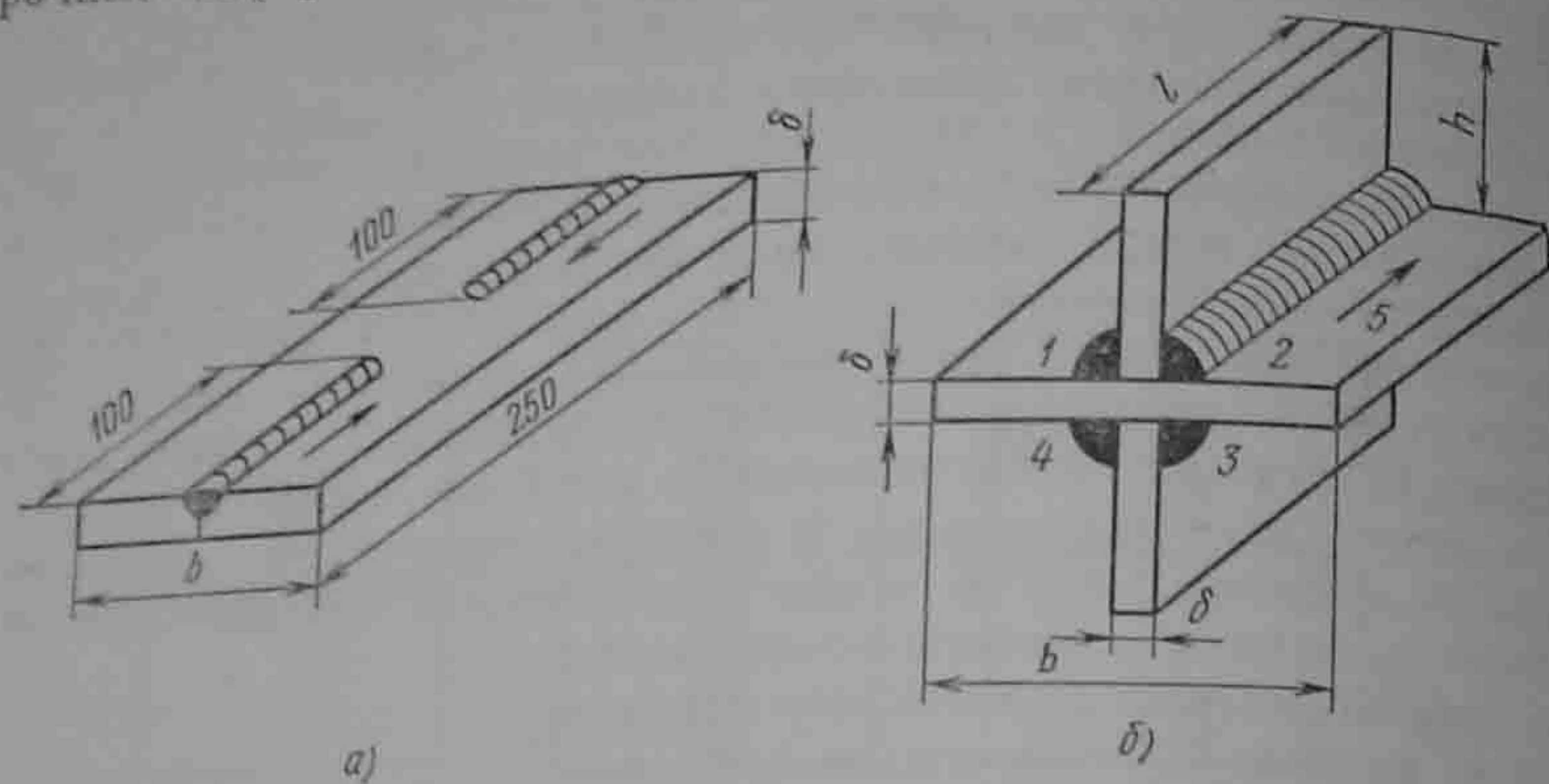


Рис. V.66. Сварочные технологические пробы для оценки склонности металлов к образованию горячих (а) и холодных (б) трещин при сварке:

1—4 — последовательность сварки швов; б — направление сварки; δ — толщина металла; b , h , l — соответственно ширина, высота и длина элементов проб

чтобы вызвать разрушение по жидким межкристаллическим прослойкам, т. е. привести к образованию горячих трещин. Горячие трещины часто образуются в швах высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов.

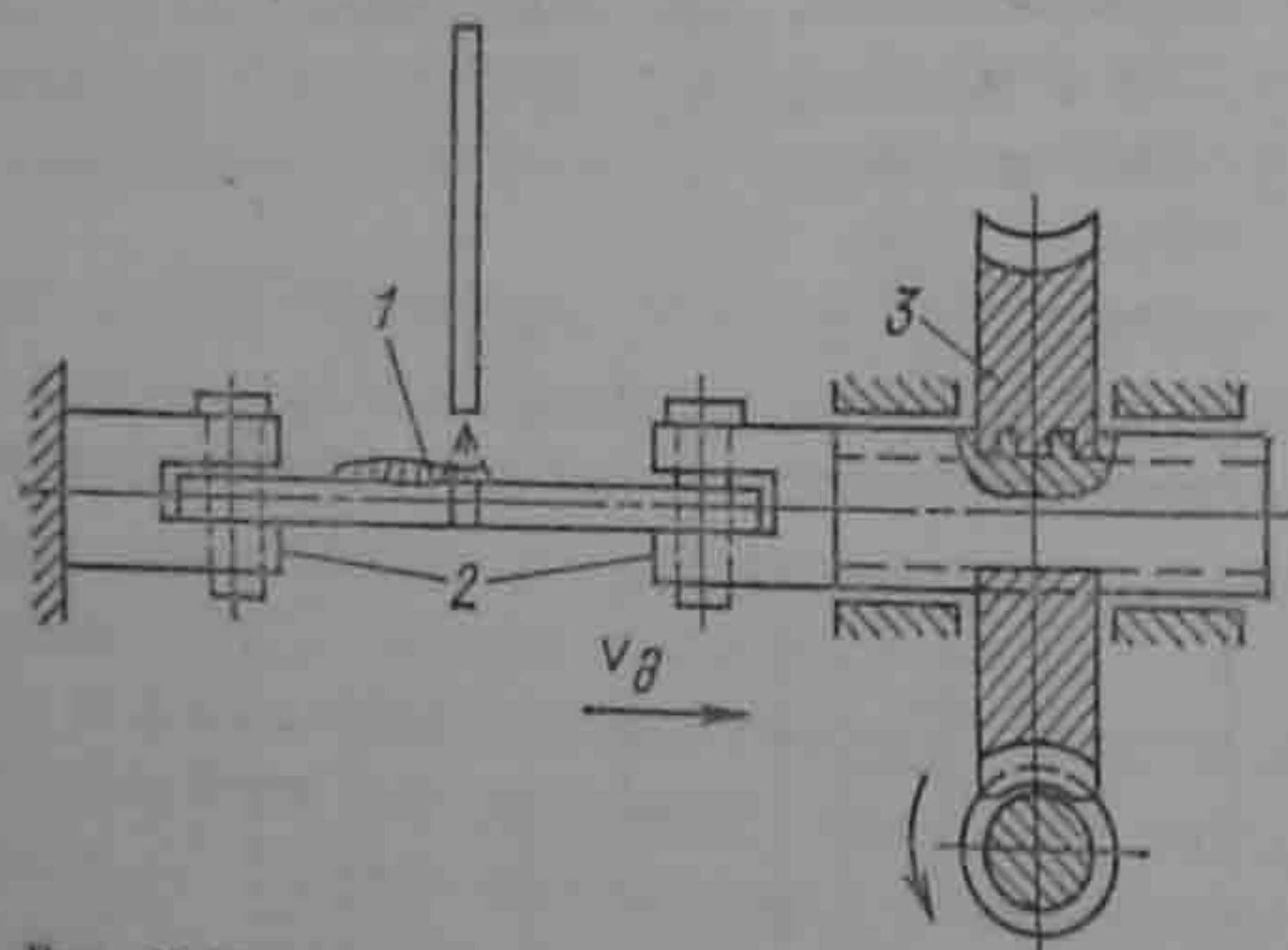


Рис. V.67. Схема машины для определения сопротивления металла шва образованию горячих трещин:

1 — разрезанный образец, испытываемый в момент нахождения сварочной ванны в месте разреза; 2 — захваты машины; 3 — механический привод

образование горячих трещин при сварке заключается в испытании сварных образцов на специальной испытательной машине (рис. V. 67). При испытании образцов кристаллизирующаяся сварочная ванна подвергается деформации растяжения. Скорость растяжения v_d , вызывающая образование горячих трещин в образце, является критической и служит количественной

оценкой сопротивляемости металла сварного шва образованию трещин.

Холодные трещины чаще возникают в зоне термического влияния после полного затвердевания сварного шва в период завершения охлаждения или последующего вылеживания сварной конструкции (см. рис. V. 65, б). Холодные трещины часто образуются в сталях перлитного и мартенситного классов, если в процессе сварки происходит частичная или полная закалка металла в зоне термического влияния. Холодные трещины возникают под действием остаточных сварочных напряжений, которые постоянно действуют в сварной конструкции. Склонность к образованию холодных трещин увеличивается при насыщении шва водородом,

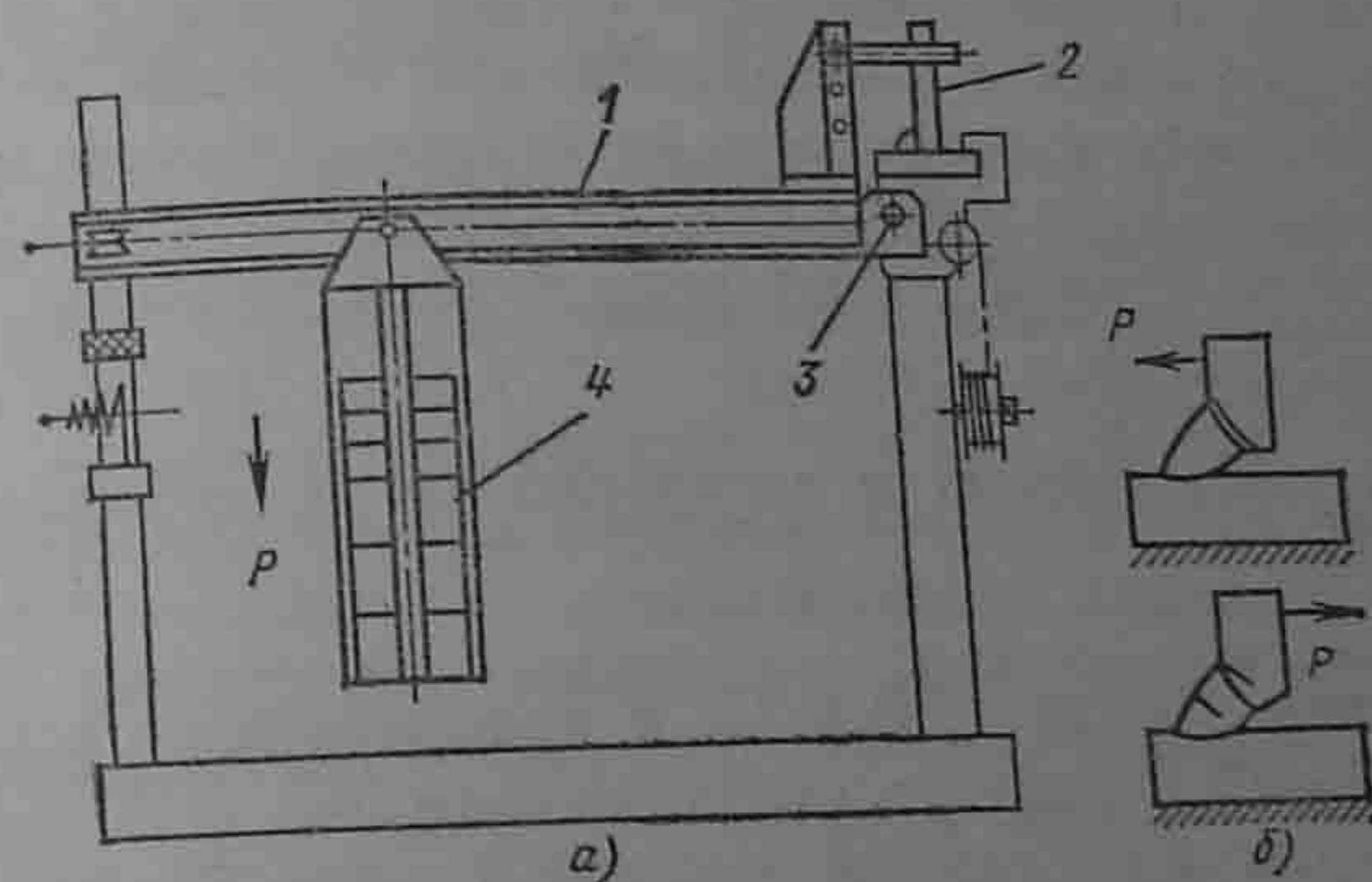


Рис. V.68. Схема испытательной установки (а) для определения сопротивления сталей образованию холодных трещин при сварке и схема нагружения образца (б):

1 — рычаг; 2 — тавровый сварной образец; 3 — ось; 4 — набор грузов

который попадает в него из влажных электродных покрытий, флюсов и окружающего воздуха.

Наиболее простым качественным способом определения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин является сварка жестких технологических проб (см. V. 66, б). Материалы, в которых при сварке проб образуются холодные трещины, считаются склонными к образованию трещин. Количественный метод оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке состоит в механическом испытании сварных образцов непосредственно после сварки постоянной длительно действующей нагрузкой. В специальных установках сварные образцы больших размеров нагружают грузами различных масс (рис. V. 68). Под действием груза образцы выдерживают в течение 20 ч. Минимальные напряжения в образце, при которых возникают холодные трещины, являются критическими и служат для оценки сопротивляемости сталей образованию трещин.

Почти на всех металлах и сплавах можно получать сварные соединения. Однако в отдельных случаях для получения качествен-

венных и работоспособных сварных соединений необходимо применять сложные технологические приемы (подогрев, отжиг и т. п.). В зависимости от этого все материалы можно подразделить на хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся. Например, к хорошо сваривающимся относятся низкоуглеродистые и низколегированные стали 25, 15Н2М, 20Х и др., к удовлетворительно сваривающимся — стали 35, 20ХН2М, 20ХГС и др. При сварке этих сталей необходимо строго соблюдать режим сварки, иногда их нужно подогревать до 100—150° С. К ограниченно сваривающимся относятся материалы, которые для получения качественных соединений требуют специальных сварочных материалов, подогрева до 150—350° С, термической обработки и т. д. К таким материалам относятся стали 45, 30ХГСА, 30ХН2МА и др.; к плохо сваривающимся — стали 50Г2, 40ХФА и др., которые, хотя и сваривают некоторыми способами с применением сложных технологических приемов, однако сварные соединения из этих сталей имеют пониженное качество.

2. Сварка углеродистых и легированных конструкционных сталей

Углеродистые (более 0,30% С) и легированные (легирующих элементов до 3—5%) конструкционные стали (45, 30ХГСА, 40ХФА и др.) применяют в состоянии закалки и отпуска как материал повышенной прочности для изготовления деталей машин и конструкций. В нормализованном состоянии (закалка с охлаждением на воздухе) они имеют перлитную или мартенситную структуру и по этому признаку являются сталями перлитного или мартенситного класса.

Стали, одновременно легированные хромом, молибденом и ванадием, относятся к теплоустойчивым сталям (15ХМ, 15Х1М1Ф и др.). По структуре в нормализованном состоянии теплоустойчивые стали могут быть перлитного и мартенситного классов.

Электродуговую сварку углеродистых и легированных сталей выполняют электродными материалами, обеспечивающими необходимые механические свойства или теплоустойчивость наплавленного металла. Основная трудность при сварке углеродистых и легированных сталей заключается в закалке околошовной зоны и возможности образования холодных трещин. Для предупреждения холодных трещин рекомендуется:

- 1) подогревать изделия до 100—300° С для замедления охлаждения и исключения закалки сварного соединения;
- 2) заменять однослойную сварку многослойной; при этом сваривают валиками небольшого сечения по неостывшим (ниже 100—300° С) нижним слоям металла;
- 3) применять для сварки основные электроды и флюсы; перед сваркой прокалывать электроды и флюсы при 400—450° С в течение

нескольких часов для удаления из них влаги; сваривать на постоянном токе обратной полярности;

4) производить отпуск изделий непосредственно после сварки до 300° С и выше для повышения пластичности закаленной структуры.

Контактную точечную сварку конструкционных сталей выполняют на мягких режимах (продолжительный нагрев током и быстрое удаление заготовок из машины во избежание отвода теплоты электродами). Контактную стыковую сварку этих сталей производят методом прерывистого оплавления, что обеспечивает подогрев деталей перед сваркой.

3. Сварка высокохромистых сталей

Высокохромистые стали, содержащие 12—28% Cr, обладают антикоррозионными и жаропрочными свойствами. В зависимости от структуры в нормализованном состоянии их подразделяют на ферритные (12Х17, 15Х25Т, 15Х28), ферритно-мартенситные (12Х13) и мартенситные (20Х13, 30Х13, 40Х13).

Трудности при сварке ферритных сталей связаны с охрупчиванием металла шва и зоны термического влияния. При нагреве до высоких температур происходит интенсивное укрупнение зерен. При замедлении охлаждения в области температур 550—400° С по границам зерен выпадают хрупкие фазы.

Для предупреждения указанных явлений при сварке этих сталей необходимо:

- 1) сваривать при малых погонных энергиях, т. е. применять пониженные значения тока и валики малого сечения для ускорения охлаждения при сварке;
- 2) отжигать после сварки при 800—900° С для растворения хрупких фаз с последующим быстрым охлаждением.

При сварке ферритно-мартенситных и мартенситных сталей возможны закалка шва и околошовной зоны и образование холодных трещин. Для предупреждения трещин эти стали сваривают с подогревом до 200—300° С.

4. Сварка аустенитных хромоникелевых сталей

Введение в хромистую сталь, содержащую 18% Cr, 8% Ni переводит ее из ферритного класса в аустенитный. По сравнению с ферритными сталями аустенитные обладают более высокой коррозионной стойкостью и жаропрочностью. При сварке коррозионно-стойких сталей типа 18-8 (18% Cr и 8% Ni) возможно выпадение карбидов хрома по границам зерен при продолжительном пребывании металла в зоне температур 500—800° С и возникновении склонности к межкристаллитной коррозии. Для получения коррозионно-стойких сварных соединений необходимо применять следующие меры:

1) сваривать при малых погонных энергиях с теплоотводящими медными подкладками и водяным охлаждением для ускорения охлаждения и сокращения времени пребывания в зоне опасных температур;

2) вводить в сталь и шов сильные карбидообразующие элементы (титан, ниобий) и снижать содержание углерода с целью исключения выпадения карбидов хрома;

3) закаливать после сварки с 1050°C ; при этом нагрев до высокой температуры приводит к растворению карбидов хрома и получению чисто аустенитной структуры; закалка фиксирует эту структуру в сварном соединении.

Повышение содержания хрома до 25% и никеля до 20% обеспечивает стойкость стали против коррозии в высокотемпературной газовой среде и концентрированных кислотах. При сварке аустенитных сталей этого типа металл шва склонен к образованию крупнокристаллической первичной структуры и возникновению горячих трещин. Для уменьшения склонности к горячим трещинам необходимо:

1) применять специальную аустенитную сварочную проволоку и электроды, легированные марганцем (Св-30Х25Н16Г7 и др.);

2) сваривать на небольших токах и пониженном напряжении для получения широких и выпуклых, а не вогнутых сварных швов.

Аустенитные хромоникелевые стали хорошо свариваются контактной сваркой. Точечную и шовную сварку проводят на пониженных плотностях тока, так как эти стали обладают высоким удельным сопротивлением и при повышенном давлении, вследствие их значительной прочности при высоких температурах.

5. Сварка чугуна

Чугун относится к категории плохо свариваемых сплавов. Его сваривают для исправления дефектов в отливках и при ремонте деталей, получивших трещины при эксплуатации. Дуговая сварка холодного металла чугунами электродами с покрытиями не обеспечивает хорошего качества сварных соединений. Металл шва и переходной зоны получает отбеленную структуру, а околошовная зона закаливается. Закалку и отбеленную структуру устраняют высокотемпературным продолжительным отжигом.

Горячую сварку чугуна выполняют с предварительным подогревом свариваемых деталей до $400-700^{\circ}\text{C}$. Детали подогревают в нагревательных печах и горнах с применением древесного угля и воздушного дутья. Перед сваркой в деталях вырубают дефектные места и разделяют кромки, которые затем заформовывают с помощью графитных пластин и кварцевого песка, замешанного на жидком стекле.

Сваривают чугунами электродами (диаметром 8—25 мм) со стабилизирующей или специальной обмазкой. Ток выбирают, принимая 50—90 А на 1 мм диаметра электрода. Сваренные детали охлаждают вместе с печью. При горячей сварке чугуна получают

сварное соединение без твердых отбеленных и закаленных участков. Однако горячая сварка — дорогой и трудоемкий процесс; ее применяют для ремонта уникальных деталей. Горячую сварку также выполняют науглероживающим газовым пламенем с флюсом на основе буры.

При холодной сварке чугуна сваривают стальными, медно-железными, медно-никелевыми электродами и электродами из аустенитного чугуна. В случае применения стальных электродов валики наплавливают низкоуглеродистыми электродами со стабилизирующей или качественной обмазкой. Заготовку сваривают при малых погонных энергиях электродами небольшого диаметра. Наплавку выполняют многослойной. Применяют также стальные электроды с покрытием, содержащим большое количество карбидообразующих элементов. Наплавленный металл имеет мягкую основу с вкрапленными карбидами. Эти способы не исключают образования отбеленных и закалочных структур в околошовной зоне, но они просты и обеспечивают мягкую хорошо обрабатываемую наплавку.

Для усиления связи между основным металлом и наплавкой иногда устанавливают шпильки, укрепляемые с помощью резьбы на поверхности свариваемых кромок. Процесс начинают с кольцевой обварки шпилек, затем их соединяют общей наплавкой по всей поверхности кромок.

Медно-железные электроды состоят из медного прутка с оплеткой из жести или пучка из медных и стальных стержней. Электроды имеют специальное или стабилизирующее покрытие. Медно-никелевые электроды состоят из стержней монель-металла (70% Ni, 28% Cu и остальное Fe) или мельхиора (80% Cu, 20% Ni) со стабилизирующей обмазкой. Применение медно-железных и медно-никелевых электродов позволяет получить наплавку, у которой отбеливание в переходной зоне наблюдается только на отдельных участках. Наибольшее применение имеют медно-железные электроды, как более дешевые и обеспечивающие достаточную прочность металла шва.

6. Сварка меди и ее сплавов

На свариваемость меди большое влияние оказывают содержащиеся в ней вредные примеси (кислорода, водорода, висмута, свинца). Кислород, находящийся в меди в виде закиси Cu_2O , является причиной образования горячих трещин. Закись меди образует с медью легкоплавкую эвтектику ($\text{Cu}_2\text{O} - \text{Cu}$) с температурой плавления 1064°C (для меди 1080°C), которая располагается по границам кристаллов сварного шва. В результате действия сварочных деформаций и напряжений шов может разрушаться по жидким прослойкам с образованием горячих трещин. Наличие сетки эвтектики по границам зерен делает шов хрупким и при комнатных температурах. Для расплавленной меди характерно

высокая растворимость водорода, который при затвердевании сварочной ванны, интенсивно выделяясь, может вызвать пористость в случае относительно быстрого охлаждения и задержки процесса его выделения в атмосферу.

При единичном производстве изделий и ремонтных работах применяют газовую сварку меди ацетилено-кислородным пламенем повышенной мощности; для листов толщиной свыше 5 мм — предварительный подогрев. Присадочным материалом служат медные прутки с небольшими добавками олова, цинка, иногда серебра для улучшения жидкотекучести, а также кремния и фосфора как раскислителей. Сваривают с флюсами, в состав которых входят бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), борная кислота (H_3BO_3) и борный ангидрид (B_2O_3). После сварки рекомендуется быстрое охлаждение деталей в воде и проковка или прокатка швов в холодном состоянии. Проковкой устраняют хрупкость, связанную с крупнозернистой структурой и сеткой закиси меди по границам кристаллов.

Получили развитие ручная и автоматическая дуговая сварка меди угольным и металлическим электродами. При ручной сварке угольным электродом применяют присадочные прутки из оловянистой или кремнистой бронзы и флюсы, основной частью которых является бура. Сваривают длинной дугой на постоянном токе прямой полярности. Металлические электроды состоят из медного стержня, покрытого специальной обмазкой. Металлическими электродами сваривают короткой дугой на постоянном токе обратной полярности. Сварочный ток выбирают, принимая 50—60 А на 1 мм диаметра электрода; при большой толщине свариваемые листы подогревают.

Автоматическую сварку угольным электродом ведут под слоем плавного флюса, применяемого для низкоуглеродистых и легированных сталей. Присадочный материал в виде полосы из латуни укладывают на свариваемый стык. Цинк, входящий в состав латуни, является раскислителем медного сварного шва. Автоматическую сварку металлическим электродом ведут медной проволокой под слоем плавного флюса.

Рассмотренные виды дуговой сварки меди не обеспечивают механических и особенно специальных физических свойств сварного шва, близких к свойствам основного металла (электропроводность и др.). Сварка металлическим электродом дает более высокое качество сварных соединений по сравнению со сваркой угольным электродом. Применение специальных керамических флюсов для автоматической сварки меди обеспечивает наряду с хорошим формированием сварного шва механические и физические свойства, близкие к требуемым.

Успешно применяют сварку меди в атмосфере защитных газов (аргоне, азоте или в их смесях). Сваривают вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности. В качестве присадочного материала применяют прутки из меди, содержащие кремний, олово, марганец. Рекомендуется подогрев от 200 до 800° С.

Латуни являются сплавами меди, содержащими до 50% Zn. Основной трудностью при их сварке является испарение цинка. В результате испарения цинка латунный шов теряет свои свойства и в нем возможно возникновение пор. Пары цинка ядовиты, сварщики должны работать в специальных масках (респираторах).

Для сварки латуни применяют те же методы, что и для сварки меди, но используют приемы, уменьшающие испарение цинка. При газовой сварке латуни применяют газовый флюс. При этом способе в пламя горелки вместе с ацетиленом вводят пары боросодержащих жидкостей. Образующийся на поверхности сварочной ванны борный ангидрид связывает окислы цинка и образует сплошной слой шлака. Шлак препятствует выходу паров цинка из сварочной ванны. Возможна также газовая сварка латуни окислительным пламенем, что приводит к появлению тугоплавкой пленки окиси цинка на поверхности сварочной ванны, препятствующей его испарению. Сваривают таким образом, чтобы эта пленка не разрушалась. Во всех случаях ядро пламени удаляют от сварочной ванны и направляют на присадочный пруток. Сваривают с большой скоростью.

При сварке угольной дугой присадочными материалами служат кремнистые и марганцовистые бронзы или латуни с повышенным содержанием цинка. Дугу зажигают и поддерживают не на основном металле, а на конце присадочного прутка. Металлическими электродами со специальными покрытиями сваривают очень короткой дугой без колебаний конца электрода. Почти все методы сварки латуни не обеспечивают необходимого качества сварных швов. Исключение составляет газозлектрическая и автоматическая сварка под керамическим флюсом.

Латунь можно успешно сваривать контактной сваркой, так как электропроводность и теплопроводность латуни приблизительно такие же, как и у низкоуглеродистой стали.

Большинство бронз является литейными материалами и сварку их применяют только для заварки дефектов или ремонта. Наиболее широко применяют дуговую сварку металлическим электродом. Электроды для сварки бронз представляют собой стержень, состав которого близок к составу основного металла с нанесенным на него специальным покрытием. Оловянные бронзы рекомендуется сваривать быстро, чтобы не перегреть основной металл, в противном случае возможно выплавление легкоплавкой составляющей.

7. Сварка алюминия и его сплавов

Сварка алюминия затруднительна из-за образования прочной и тугоплавкой пленки окисла Al_2O_3 , плавящейся при 2050° С. Пленка окисла покрывает капли расплавленного металла и препятствует сплавлению их между собой и основным металлом. Только применение активных флюсов позволяет растворить этот окисел и обеспечить условия для нормального формирования

сварного шва. Флюсы и обмазки для сварки алюминия и его сплавов состоят из смеси хлористых и фтористых солей щелочно-земельных металлов (NaCl, KCl, LiF и т. п.).

Алюминий можно сваривать различными способами дуговой и газовой сварки. При ручной дуговой сварке металлическим электродом применяют прутки того же состава, что и свариваемый материал, с обмазкой их из смеси хлористых и фтористых солей. При низкой температуре плавления (657°C) алюминий обладает высокой теплопроводностью и большой теплотой плавления. Для его сварки необходимо применять электрическую дугу относительно большой мощности. Сваривают на постоянном токе обратной полярности.

Автоматическую сварку металлическим электродом выполняют полукрытой дугой по слою флюса. Для формирования корня шва применяют медные и железные подкладки. Необходимо иметь в виду, что при $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$ алюминий имеет низкую прочность и нагретое сварное соединение может разрушиться под действием собственной массы. В таких случаях необходимо наличие подкладок.

Наиболее широко применяют сварку алюминия и его сплавов в защитных газах. Листы толщиной $0,5\text{--}10$ мм сваривают неплавящимся вольфрамовым электродом с присадочным материалом, листы большей толщины — плавящимся металлическим электродом. Толстые листы и отливки рекомендуется подогревать до 400°C . При сварке в защитных газах получают более высокое качество сварных швов по сравнению с другими способами дуговой сварки.

Сплавы алюминия с магнием и цинком (АМг и АМц) сваривают без особых затруднений и теми же способами, что и алюминий. Исключение составляют дюралюмины, представляющие собой сплавы алюминия и меди. Эти сплавы являются термически упрочняемыми закалкой и последующим старением. В результате старения значительно повышаются прочность и твердость сплавов. Нагрев свыше 500°C приводит к оплавлению и окислению границ зерен, вследствие чего резко снижаются механические свойства. Свойства перегретого дюралюминия не могут быть восстановлены никакой термической обработкой. Таким образом, сварка дюралюминов связана с разупрочнением зоны термического влияния на $40\text{--}50\%$. При сварке в атмосфере защитного газа также снижается прочность дюралюминия, однако термической обработкой ее можно восстановить до $80\text{--}90\%$ относительно прочности основного металла.

Алюминий и некоторые его сплавы удовлетворительно сваривают контактной сваркой. Для точечной контактной сварки алюминия, обладающего высокими электропроводностью и теплопроводностью, необходима большая мощность тока при очень коротком времени его протекания. Стыковую сварку выполняют методом оплавления при повышенной плотности сварочного тока.

8. Сварка тугоплавких металлов и сплавов

К тугоплавким металлам относятся титан, цирконий, ниобий, молибден и др., у которых температура плавления выше, чем у железа. При нагреве тугоплавкие металлы интенсивно поглощают газы (кислород, водород, азот). При этом даже незначительное содержание газов, например кислорода, приводит к резкому снижению пластических свойств указанных металлов. Для получения качественных сварных соединений необходимо создавать совершенную защиту места сварки от воздействия воздуха.

Титан сваривают в атмосфере аргона с дополнительной газовой защитой корня шва и еще неостывшего участка шва до температуры 400°C . Титановые сплавы склонны к образованию холодных трещин при сварке. Сильное влияние на образование трещин оказывают газы (водород и кислород). Допустимо следующее содержание этих газов: $0,01\%$ H_2 ; $0,15\%$ O_2 . Перед сваркой проволоку и металл подвергают дегазации путем отжига в вакуумных печах.

Цирконий и ниобий являются тугоплавкими металлами, обладающими высокой коррозионной стойкостью. Их сваривают в атмосфере аргона высокой чистоты с защитой корня шва или в камере с контролируемой защитной атмосферой.

Молибден — тугоплавкий и жаропрочный металл. При содержании свыше $0,001\%$ O_2 пластические свойства молибдена резко снижаются. Молибден сваривают электронным лучом в камере с вакуумом $133 \cdot 10^{-4}$ Н/м².

1. Физическая сущность процесса пайки

Пайкой называется технологический процесс соединения металлических заготовок без их расплавления посредством введения между ними расплавленного промежуточного металла-припоя. Припой имеет температуру плавления более низкую, чем температура соединяемых металлов, и заполняет зазор между соединяемыми поверхностями за счет действия капиллярных сил. При охлаждении припой кристаллизуется и образует прочную связь между заготовками. В процессе пайки наряду с нагревом необходимо удаление окисных пленок с поверхности паяемых металлов.

Образование соединения без расплавления кромок обеспечивает возможность распая, т. е. разъединения паяемых заготовок без нарушения исходных размеров и формы элементов конструкции.

Процесс образования паяного шва состоит из прогрева материала, образующего соединение, до температуры, близкой к температуре плавления припоя; расплавления припоя; растекания жидкого припоя по поверхности твердого материала и заполнение паяемого шва; охлаждения и кристаллизации припоя в паяном шве. Качество паяного шва во многом зависит от прочности связи припоя с металлом основы. В результате смачивания твердой металлической поверхности между припоем и основным металлом возникает межатомная связь. Эта связь может образоваться при растворении металла основы в расплавленном припое с образованием жидкого раствора, распадающегося при последующей кристаллизации; за счет диффузии составляющих припой элементов в основной твердый металл с образованием твердого раствора; за счет реактивной диффузии между припоем и основным металлом с образованием на границе интерметаллических соединений; за счет бездиффузионной связи в результате межатомного взаимодействия.

По особенностям процесса и технологии пайку можно разделить на капиллярную, диффузионную, контактно-реактивную, реактивно-флюсовую и пайку-сварку.

Капиллярная пайка. Припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. На рис. V. 69 показана схема образования шва. Соединение образуется за счет растворения основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора. Капиллярную пайку используют в тех случаях, когда применяют соединение внахлестку. Однако капиллярное явление присуще всем видам пайки.

Диффузионная пайка. Соединение образуется за счет взаимной диффузии компонентов припоя и паяемых материалов, причем возможно образование в шве твердого раствора или тугоплавких хрупких интерметаллов. Для диффузионной пайки необходимо

дима продолжительная выдержка при температуре образования паяного шва и после завершения процесса при температуре ниже солидуса припоя.

Контактно-реактивная пайка. При пайке между соединяемыми металлами или соединяемыми металлами и прослойкой другого металла в результате контактного плавления образуется сплав, который заполняет зазор и при кристаллизации образует

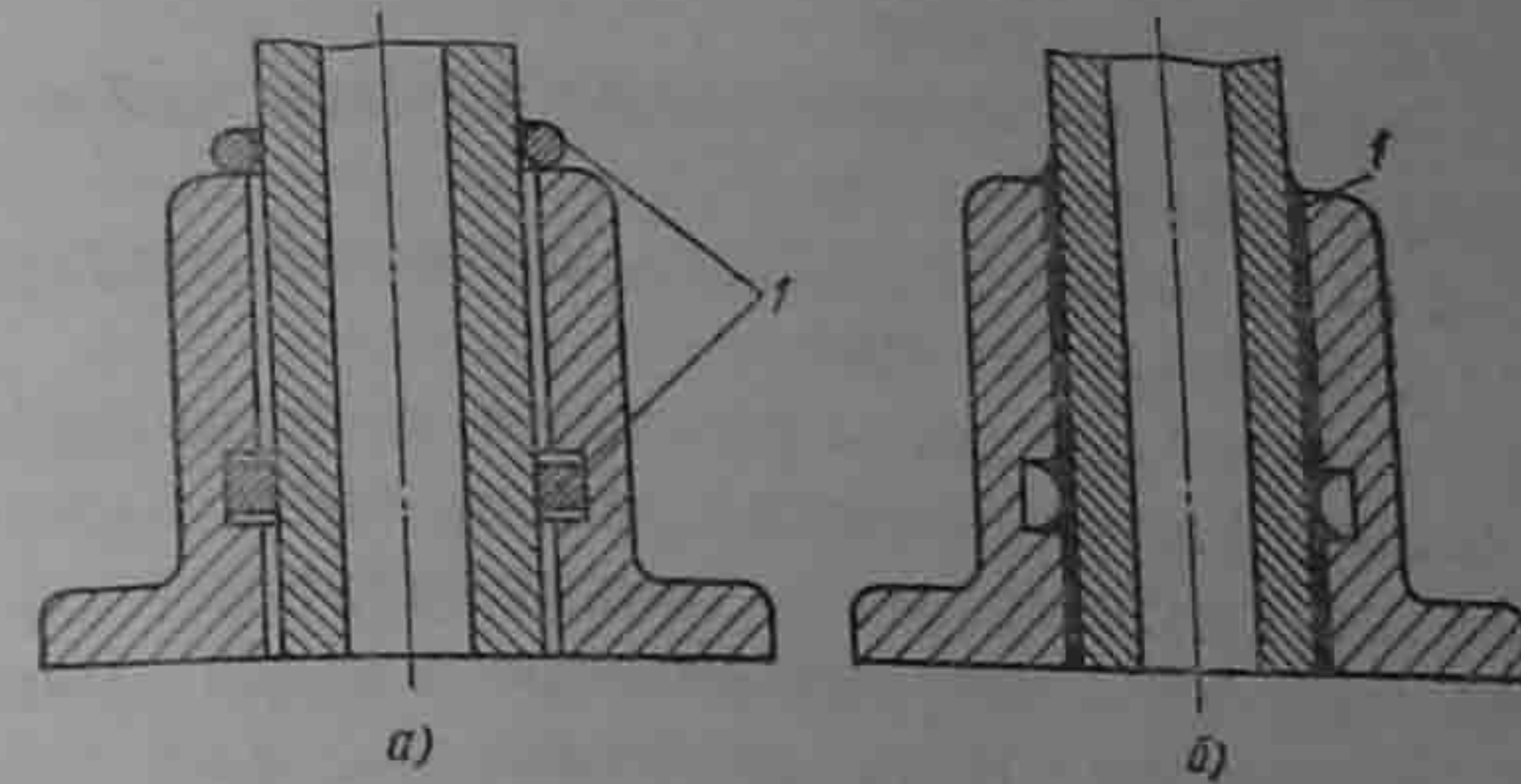


Рис. V.69. Схема капиллярной пайки:

а — перед пайкой; б — после пайки; 1 — припой

паяное соединение. На рис. V.70 показана схема контактно-реактивной пайки.

Реактивно-флюсовая пайка. Припой образуется за счет реакции вытеснения между основным металлом и флюсом. Например, при пайке алюминия с флюсом $3ZnCl_2 + 2Al = 2AlCl_3 + Zn$ восстановленный цинк является припоем. Реактивно-флюсовую пайку можно вести без припоя и с припоем.

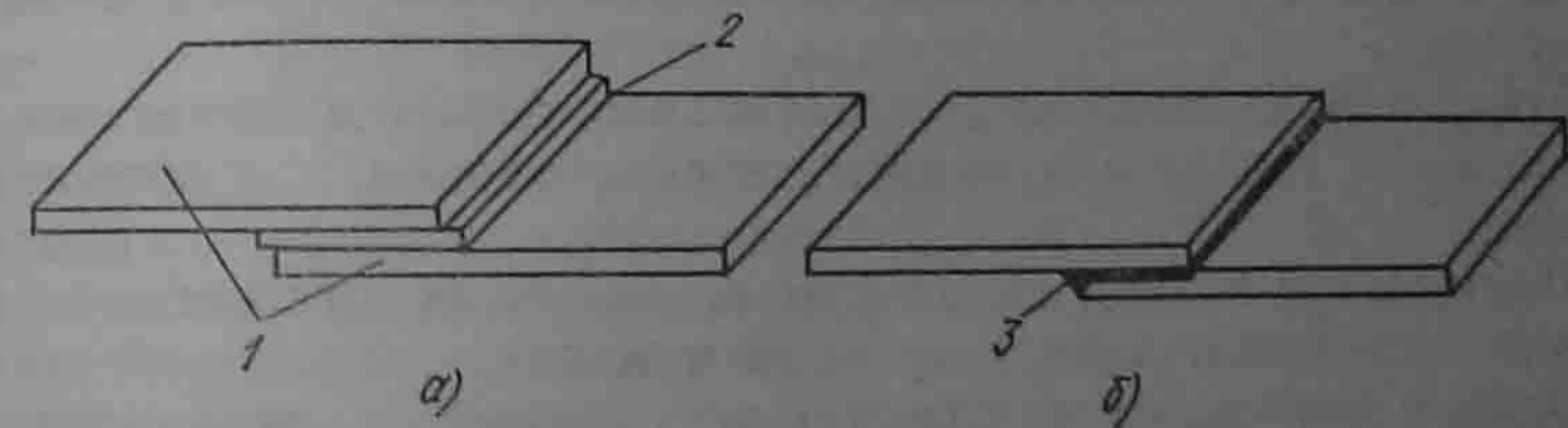


Рис. V.70. Схема контактно-реактивной пайки:

а — перед пайкой; б — после пайки; 1 — медь; 2 — серебро; 3 — эвтектический сплав меди с серебром

Пайка-сварка. Паяное соединение образуется так же, как при сварке плавлением, но в качестве присадочного металла применяют припой.

Наибольшее применение получила капиллярная пайка и пайка-сварка. Диффузионная пайка и контактно-реактивная более трудоемки, но обеспечивают высокое качество соединения и применяются, когда в процессе пайки необходимо обеспечить минимальные зазоры. Качество паяных соединений (прочность, гер-

метичность, надежность и др.) зависит от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, величины зазоров, типа соединения.

2. Материалы для пайки

Припой. Припой для пайки, заполняющие зазор в расплавленном состоянии между соединяемыми заготовками, должны отвечать следующим требованиям:

- 1) температура их плавления должна быть ниже температуры плавления паяемых материалов;
- 2) они должны хорошо смачивать паяемый материал и легко растекаться по его поверхности;
- 3) должны быть достаточно прочными и герметичными;
- 4) коэффициенты термического расширения припоя и паяемого материала не должны резко различаться;
- 5) иметь высокую электропроводность при паянии радиоэлектронных и токопроводящих изделий.

Все припои по температуре плавления подразделяют на низкотемпературные (температура плавления ниже 500°C), или мягкие припои, и высокотемпературные (температура плавления выше 500°C), или твердые припои. Припои изготавливают в виде прутков, проволок, листов, полос, спиралей, колец, дисков, зерен и т. д., укладываемых в место соединения.

К низкотемпературным, или мягким припоям относятся оловянно-свинцовые, на основе висмута, индия, кадмия, цинка, олова, свинца. К высокотемпературным, или твердым припоям относятся медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной).

Изделия из алюминия и его сплавов паяют с припоями на алюминиевой основе с кремнием, медью, оловом и другими металлами.

Магний и его сплавы паяют с припоями на основе магния с добавками алюминия, меди, марганца и цинка.

Изделия из коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов, работающих при высоких температурах (выше 500°C), паяют с припоями на основе железа, марганца, никеля, кобальта, титана, циркония, гафния, ниобия и палладия.

Паяльные флюсы. Эти флюсы применяют для очистки поверхности паяемого металла, а также для снижения поверхностного натяжения и улучшения растекания и смачиваемости жидкого припоя.

Флюс (кроме реактивно-флюсовой пайки) не должен химически взаимодействовать с припоем. Температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления припоя. Флюс в расплавленном и газообразном состоянии должен способствовать смачиванию поверхности основного металла расплавленным при-

поем. Флюсы могут быть твердые, пастообразные, жидкие и газообразные.

Наиболее распространенными паяльными флюсами являются бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) и борная кислота (H_3BO_3), хлористый цинк (ZnCl_2), фтористый калий (KF) и другие галлоидные соли щелочных металлов.

3. Способы пайки

Способы пайки классифицируют в зависимости от используемых источников нагрева. Наиболее распространены в промышленности пайка в печах, индукционная, сопротивлением, погружением, радиационная, горелками, экзотермическая, паяльниками, электронагревательными металлами и блоками.

Пайка в печах. Нагревают соединяемые заготовки в специальных печах: электросопротивления, с индукционным нагревом, газопламенных и газовых. Припой заранее закладывают в шов собранного изделия, на место пайки наносят флюс и затем помещают в печь, где это изделие нагревают до температуры пайки. Припой расплавляется и заполняет зазоры между соединяемыми заготовками. Процесс пайки продолжается несколько часов.

— Этот способ обеспечивает равномерный нагрев соединяемых деталей, без заметной их деформации.

Крупные детали паяют в камерных печах с неподвижным подом; большую партию мелких деталей — в печах с сетчатым конвейером или роликовым подом. Пайка в печах позволяет механизировать паяльные работы и обеспечивает стабильное качество изделий и высокую производительность труда.

Индукционная пайка. Паяемый участок нагревают в катушке индукторе. Через индуктор пропускают т. в. ч., в результате чего место пайки нагревается до необходимой температуры. Для предохранения от окисления изделие нагревают в вакууме или в защитной среде с применением флюсов. Индуктор выполнен в виде петли или спирали из красной меди. Формы и размеры индуктора зависят от конструкции паяемого изделия. Различают две разновидности пайки с индукционным нагревом: стационарную и с относительным перемещением индуктора или детали.

Пайка сопротивлением. Соединяемые заготовки нагревают теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через паяемые детали и токоподводящие элементы. Соединяемые детали являются частью электрической цепи. Нагрев сопротивлением можно осуществлять на контактных сварочных машинах. С нагревом в контактных сварочных машинах паяют при изготовлении тонкостенных изделий из листового материала или при соединении тонкостенных элементов с толстостенными.

Пайка погружением. Эту пайку выполняют в ваннах с расплавленными солями или припоями. Соляная смесь обычно состоит из 55% KCl и 45% HCl. Температура ванны $700-800^{\circ}\text{C}$. На пая-

ему поверхность, предварительно очищенную от грязи и жира, наносят флюс, между кромками или около места соединения размещают припой, затем детали скрепляют и погружают в ванну. Солиная ванна предохраняет место пайки от окисления. Перед погружением в ванну с расплавленным припоем поверхности флюсом детали нагревают до 550°C . Поверхности, не подлежащие пайке, предохраняют от контакта с припоем специальной обмазкой из графита с добавками небольшого количества извести. Пайку погружением в расплавленный припой используют для стальных, медных и алюминиевых твердых сплавов, деталей сложных геометрических форм. На этот процесс расходуется большое количество припоя. Разновидностью пайки погружением является пайка бегущей волной припоя, когда расплавленный припой подается насосом и образует волну над уровнем расплава. Паяемая деталь перемещается в горизонтальном направлении. В момент касания ванны происходит пайка. Бегущей волной паяют в радиоэлектронной промышленности при производстве печатного радиомонтажа.

Пайка с радиационным нагревом. Пайку выполняют за счет излучения кварцевых ламп, расфокусированного электронного луча или мощного светового потока от квантового генератора (лазера).

Конструкцию, подлежащую пайке, помещают в специальный контейнер, в котором создают вакуум. После вакуумирования контейнер заполняют аргоном и помещают в приспособление, с двух его сторон устанавливая для обогрева кварцевые лампы. После окончания нагрева кварцевые лампы отводят, а приспособление вместе с деталями охлаждают. При применении лазерного нагрева сосредоточенная в узком пучке тепловая энергия обеспечивает испарение и распыление окисной пленки с поверхности основного металла и припоя, что позволяет получать спаи в атмосфере воздуха без применения искусственных газовых сред. При радиационном способе пайки лучистая энергия превращается в тепловую непосредственно в материале припоя и паяемых деталей. Этот способ пайки непродолжителен.

Экзофлюсовая пайка. В основном этим способом паяют коррозионно-стойкие стали. На очищенное место соединения наносят тонкий порошкообразный слой флюса. Соединяемые поверхности совмещают, на противоположные стороны заготовок укладывают экзотермическую смесь. Смесь состоит из разных компонентов, которые укладывают в форме пасты или брикетов толщиной в несколько миллиметров. Собранный конструкцию устанавливают в приспособлении и помещают в специальную печь, в которой происходит зажигание экзотермической смеси при 500°C .

В результате экзотермических реакций смеси температура на поверхности металла повышается и происходит расплавление припоя. Этим методом паяют соединения внахлестку и готовые блоки конструкций небольших размеров.

Газопламенная пайка. Паяемые заготовки нагревают и расплавляют припой газосварочными и плазменными горелками. Газовые горелки обладают наибольшей универсальностью. В качестве горючих газов используют ацетилен, природные газы, водород, пары керосина и т. п.

При использовании газового пламени припой можно заранее помещать у места пайки или вводить в процессе пайки вручную. На место пайки предварительно наносят флюс в виде жидкой пасты, разведенной водой или спиртом; конец прутка из припоя также покрывают флюсом.

Нагревают также паяльными лампами, которые по существу являются газовыми горелками, работающими на жидком топливе. Паяльные лампы используют для работы в полевых условиях или в ремонтных мастерских.

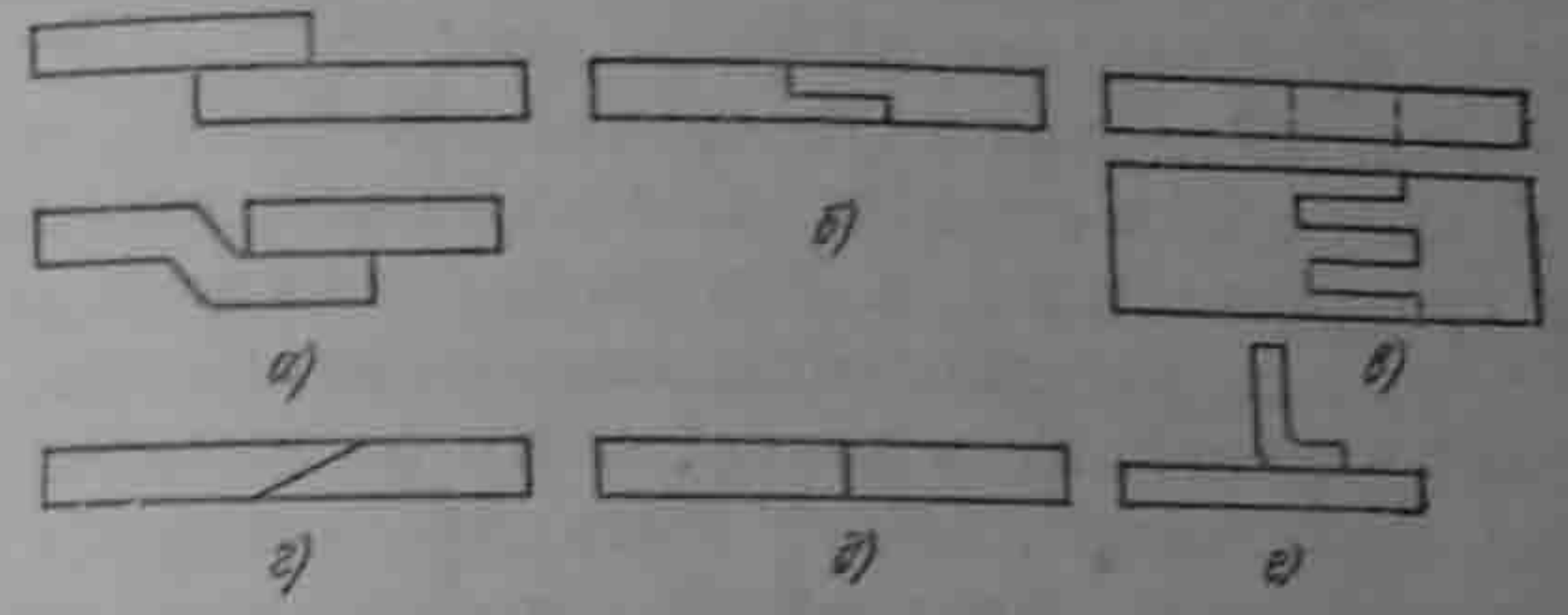


Рис. V.71. Типы паяных соединений

Плазменной горелкой, обеспечивающей более высокую температуру нагрева, паяют тугоплавкие металлы — вольфрам, тантал, молибден, ниобий и т. п.

Пайка паяльниками. Основной металл нагревают, и припой расплавляют за счет теплоты, аккумулированной в массе металла паяльника, который перед пайкой или в процессе ее подогревают. Для низкотемпературной пайки применяют паяльники с периодическим нагревом, с непрерывным нагревом, ультразвуковые и абразивные. Рабочую часть паяльника выполняют из красной меди. Паяльник с периодическим нагревом в процессе работы периодически подогревают от постороннего источника теплоты. Паяльники с постоянным нагревом делают электрическими. Нагревательный элемент состоит из нихромовой проволоки, намотанной на слой асбеста, слюды или на керамическую втулку, устанавливаемую на медный стержень паяльника. Паяльники с периодическим и непрерывным нагревом чаще используют для флюсовой пайки черных и цветных металлов мягкими припоями с температурой плавления ниже $300-350^{\circ}\text{C}$.

Ультразвуковые паяльники применяют для бесфлюсовой низкотемпературной пайки на воздухе и для пайки алюминия легкоплавкими припоями. Окисные пленки разрушаются за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Абразивные паяльники. Такими паяльниками можно паять алюминиевые сплавы без флюса. Окисная пленка уда-

ляется в результате трения паяльника об обрабатываемую поверхность. Абразивный паяльник в отличие от электропаяльника имеет рабочий стержень, изготовленный прессованием из порошка припоя и измельченного асбеста.

Типы паяных соединений. Основными типами паяных соединений являются стыковое и внахлестку. Остальные разновидности соединений являются комбинациями перечисленных. Например, плоские элементы могут быть соединены внахлестку (рис. V.71, а), ступенчатым (рис. V.71, б), гребенчатым (рис. V.71, в), косостыковым (рис. V.71, г), стыковым (рис. V.71, д) и тавровым (рис. V.71, е) соединениями.

Стыковое соединение применяют в тех случаях, когда изделие работает не в жестких условиях и от него не требуется герметичности; соединение внахлестку — во всех остальных случаях, причем чем больше площадь перекрытия паяемых заготовок, тем выше будет прочность паяного шва.

Криволинейные поверхности соединяют между собой и с плоскими поверхностями в сотовых конструкциях, в панелях с гофрированием проставками и т. п. Эти соединения используют в самолетостроении и для изготовления теплообменников.

К паяным соединениям в зависимости от назначения изделия, кроме общих требований, могут быть предъявлены и специальные по герметичности, электропроводности, коррозионной стойкости и т. п. Сборные части изделий перед пайкой должны быть прочно соединены между собой для предотвращения перекосов и относительных смещений. Способы соединения подбирают экспериментальным путем в зависимости от конструкции изделия.

Глава 7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ И ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1. Виды дефектов в сварных и паяных соединениях

Дефекты в соединениях бывают двух типов: *внешние* и *внутренние*. В сварных соединениях к внешним дефектам относят наплывы, подрезы, наружные непровары и несплавления, поверхностные трещины и поры (рис. V.72, а — г); к внутренним — скрытые трещины и поры, внутренние непровары и несплавления, шлаковые включения и др. (рис. V.72, д — ж). В паяных соединениях внешними дефектами являются наплывы и натеки припоя, неполное заполнение шва припоем; внутренними — поры, включения флюса, трещины и др.

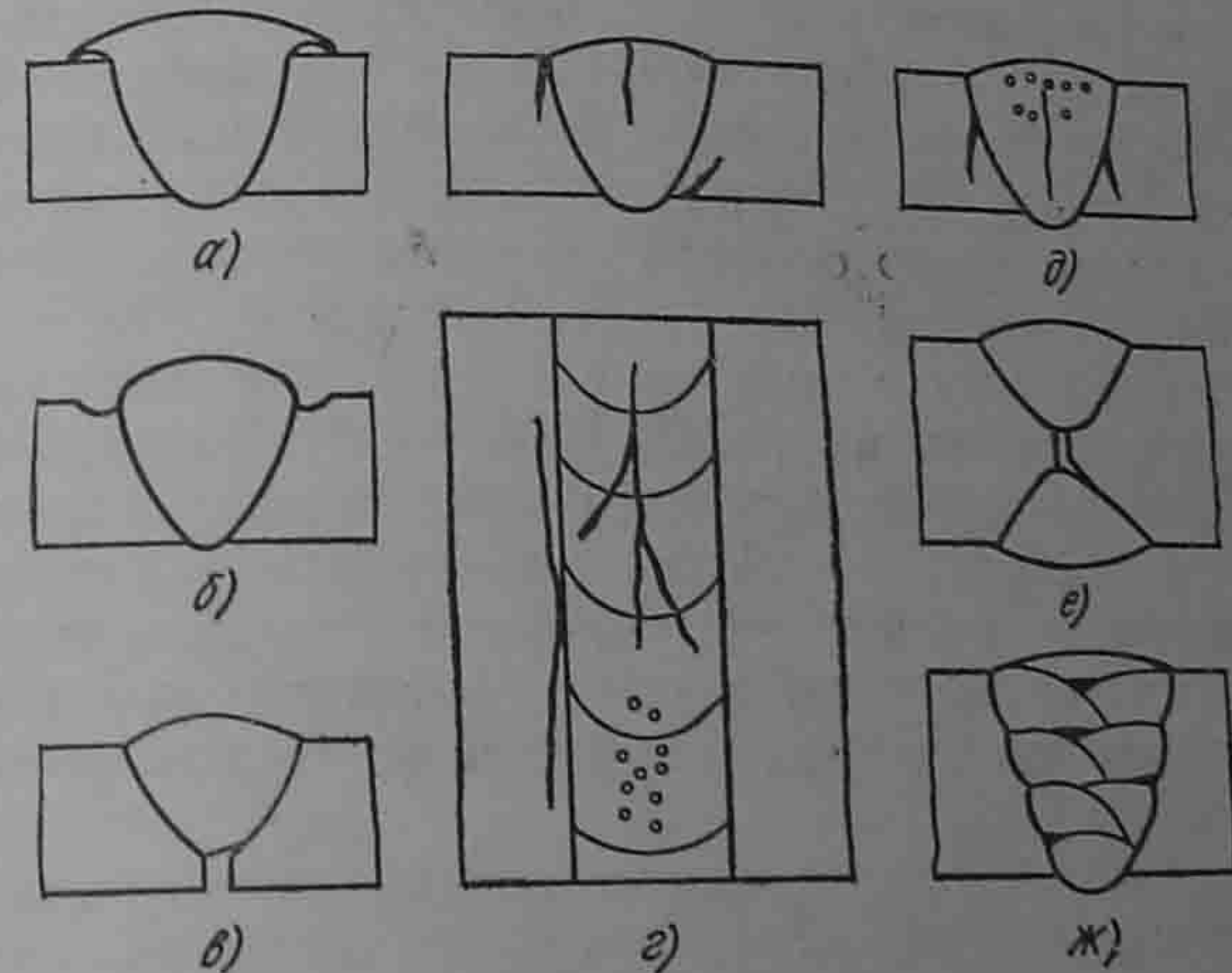


Рис. V.72. Виды дефектов в сварных соединениях

Сварные и паяные соединения считают качественными, если в них нет дефектов и их механические свойства удовлетворяют требованиям, предъявляемым в соответствии с условиями эксплуатации узла или конструкции. Качество сварных и паяных соединений обеспечивают *предварительным контролем* материалов и заготовок перед сваркой, *текущим контролем* за процессом сварки и *окончательным контролем* готовых сварных или паяных соединений.

В зависимости от того, нарушается или не нарушается целостность сварного соединения при контроле, различают *разрушающие* и *неразрушающие методы контроля*.

2. Виды контроля

Предварительный контроль материалов и заготовок. При контроле основного и сварочных материалов устанавливают, удовлетворяют ли сертификатные данные в документах заводов-

поставщиков требованиям, предъявляемым в соответствии с назначением и ответственностью сварных узлов и конструкций. Осматривают поверхности основного металла, сварочной проволоки и покрытий электродов с целью обнаружения внешних дефектов и повреждений. Перед сборкой и сваркой заготовок проверяют, соответствуют ли их формы и габаритные размеры установленным, а также контролируют качество подготовки кромок и свариваемых поверхностей.

При изготовлении ответственных конструкций сваривают контрольные образцы. Из них вырезают образцы для механических испытаний. По результатам испытаний оценивают качество основного и сварочных материалов, а также квалификацию сварщиков, допущенных к сварке данных конструкций.

При применении для сварных конструкций легированных и высоколегированных сталей, цветных и тугоплавких металлов и сплавов выполняют испытания на свариваемость. Последние в дополнение к механическим испытаниям включают металлографический анализ структуры швов и зон термического влияния, замер твердости по сечению сварного соединения и испытания на стойкость против образования трещин.

Механические испытания сварных соединений выполняют в соответствии с ГОСТ 6996—66. Последний предусматривает статические испытания на растяжение и изгиб (загиб) и испытания на ударный изгиб наплавленного металла, различных участков сварного соединения и сварного соединения в целом. При испытаниях определяют пределы текучести $\sigma_{0.2}$ и прочности σ_b , относительное удлинение δ и сужение ψ , угол загиба α и ударную вязкость a_k .

Наплавленный металл и участки сварного соединения испытывают на стандартных образцах, которые в первом случае вырезают из многослойной наплавки, а во втором — из сварной пластины со стыковым соединением. Сварное соединение испытывают на растяжение на сварных плоских или трубчатых образцах соответственно для стыковых соединений листов и труб. Усиление шва снимают механическим путем до толщины основного металла. При таком испытании определяют прочность наиболее слабого участка сварного соединения.

Сварное соединение испытывают на изгиб на плоских сварных образцах со снятым усилением с помощью двух опор и оправки. Диаметр оправки выбирают равным двум толщинам образца, а расстояние между опорами — трем диаметрам оправки. При испытании определяют угол загиба α при образовании первой трещины в растянутой зоне образца. Угол α характеризует пластичность сварного соединения в целом.

Металлографические исследования проводят на макро- и микрошлифах сварного шва. Темплеты для шлифов вырезают из сварных соединений поперек и в плоскости сварного шва. Макрошлифы готовят шлифованием, а микро-

шлифы — шлифованием и полированием. Поверхность шлифов травят реактивами, выбранными в соответствии с видом металла и назначением исследования. Макроанализ проводят при оптическом увеличении до 30 раз для выявления границ шва и зоны термического влияния, макроскопического строения сварного шва (формы, размеров и направления кристаллитов, ликвационных зон и усадочной рыхлости), а также дефектов в шве и околошовной зоне. Микроанализ проводят при оптическом увеличении в 50—2000 раз для выявления микроструктуры шва и околошовной зоны (вида и соотношения структурных составляющих, наличия и распределения неметаллических включений), размера зерен, а также микроскопических трещин и пор.

На поперечных шлифах измеряют твердость вдоль линии, параллельной поверхности листа. Результаты испытаний представляют в виде графика изменения твердости по сечению. По твердости оценивают степень закалки различных зон сварного соединения и неравномерность механических свойств по его сечению.

Стойкость против образования трещин определяют путем сварки технологических проб или проведения специальных механических испытаний сварных соединений в процессе сварки (см. рис. V.66—V.68).

Текущий контроль за процессом сварки. В процессе сварки проверяют соблюдение сварщиками установленных параметров режима сварки и исправность работы сварочного оборудования. Осматривают сварные швы для выявления внешних дефектов и замеряют их геометрические размеры. Замеченные отклонения устраняют непосредственно в процессе изготовления конструкций. Выявленные дефекты удаляют механическим путем или с помощью поверхностной газовой резки, а дефектные участки швов заваривают. Дефекты при повторной заварке исправляют в соответствии с установленными нормами.

Окончательный контроль готовых сварных и паяных соединений. Готовые сварные соединения подвергают следующим видам контроля: 1) внешнему осмотру для выявления поверхностных дефектов и обмеру сварных швов; 2) испытаниям на плотность, магнитному контролю, просвечиванию рентгеновскими и гамма-лучами, ультразвуком и др. для выявления внутренних дефектов. Паяные соединения подвергают внешнему осмотру, испытаниям на плотность, магнитному и ультразвуковому контролю. Вид контроля и относительную протяженность контролируемых швов выбирают в зависимости от назначения и ответственности сварной или паяной конструкции.

На плотность испытывают емкости для хранения жидкостей, сосуды и трубопроводы, работающие при избыточном давлении, путем гидравлического и пневматического нагружения, керосином и с помощью теченскателей.

При гидравлическом испытании емкости наполняют водой, а в сосудах и трубопроводах создают избыточное

давление жидкости, превышающее в 1,5—2 раза рабочее давление. В таком состоянии изделие выдерживают в течение 5—10 мин. Швы осматривают с целью обнаружения течи, капель и отпотеваний.

При пневматическом испытании в сосуды нагнетают сжатый воздух под давлением, которое на 0,01—0,02 МПа превышает атмосферное. Соединение смачивают мыльным раствором или опускают в воду. Наличие неплотности в швах определяют по мыльным пузырькам или пузырькам воздуха.

При испытании с помощью теченскате-лей внутри сосуда создают вакуум, а снаружи швы обдувают смесью воздуха с гелием. При наличии неплотностей гелий проникает в сосуд, откуда отсасывается в теченскатель со специальной аппаратурой для его обнаружения. По количеству уловленного гелия судят о неплотности сварных и паяных швов.

При испытании керосином швы емкостей с одной стороны смазывают керосином, с другой — мелом. При наличии неплотности на поверхности шва, окрашенной мелом, появляются темные пятна керосина. Благодаря высокой проникающей способности керосина можно обнаружить поры диаметром в несколько микрон.

Магнитный контроль основан на намагничивании сварных или паяных соединений и обнаружении полей магнитного рассеивания на дефектных участках. Изделие намагничивают, замыкая им сердечник электромагнита или помещая его внутрь соленоида. В зависимости от способа обнаружения потоков рассеивания различают методы магнитного порошка, индукционный и магнитографический. При методе *магнитного порошка* на поверхность соединения наносят порошок железной окалины или его масляную суспензию. Изделие слегка обстукивают для облегчения подвижности частиц порошка. По скоплению порошка обнаруживают дефекты, залегающие на глубине до 6 мм. При *индукционном* методе магнитный поток в изделии наводят электромагнитом переменного тока. Рассеяние поля обнаруживают с помощью искателя, в катушке которого индуктируется э. д. с., вызывающая оптический или звуковой сигнал на индикаторе. При *магнитографическом* методе на шов накладывают и прижимают ферромагнитную ленту, на которой фиксируется магнитное изображение шва. Затем это изображение воспроизводится на экране электронно-лучевой трубки.

Рентгеновское просвечивание основано на различном поглощении рентгеновских лучей участками металла с дефектами или без них. Сварные соединения просвечивают с помощью специальных рентгеновских аппаратов. С одной стороны шва 3 на некотором расстоянии от него помещают рентгеновскую трубку 1, с другой (противоположной) стороны к нему плотно прижимают кассету 4 с рентгеновской пленкой (рис. V.73, а). При просвечивании рентгеновские лучи 2 проходят через свар-

ное соединение и облучают пленку. Для сокращения экспозиции просвечивания в кассету с пленкой закладывают усиливающие экраны. После проявления пленки на ней фиксируют участки повышенного потемнения, которые соответствуют дефектным местам в сварном соединении. Вид и размер дефектов определяют сравнением пленки с эталонными снимками.

Применяемые в промышленности рентгеновские аппараты позволяют просвечивать сварные соединения из стали толщиной 10—200 мм, алюминия до 300 мм, меди до 25 мм. Просвечиванием можно обнаружить большинство внутренних дефектов: крупные трещины, параллельные направлению рентгеновских лучей, непровары, поры и шлаковые включения. При этом фиксируют дефекты, размеры которых составляют 2% от толщины металла.

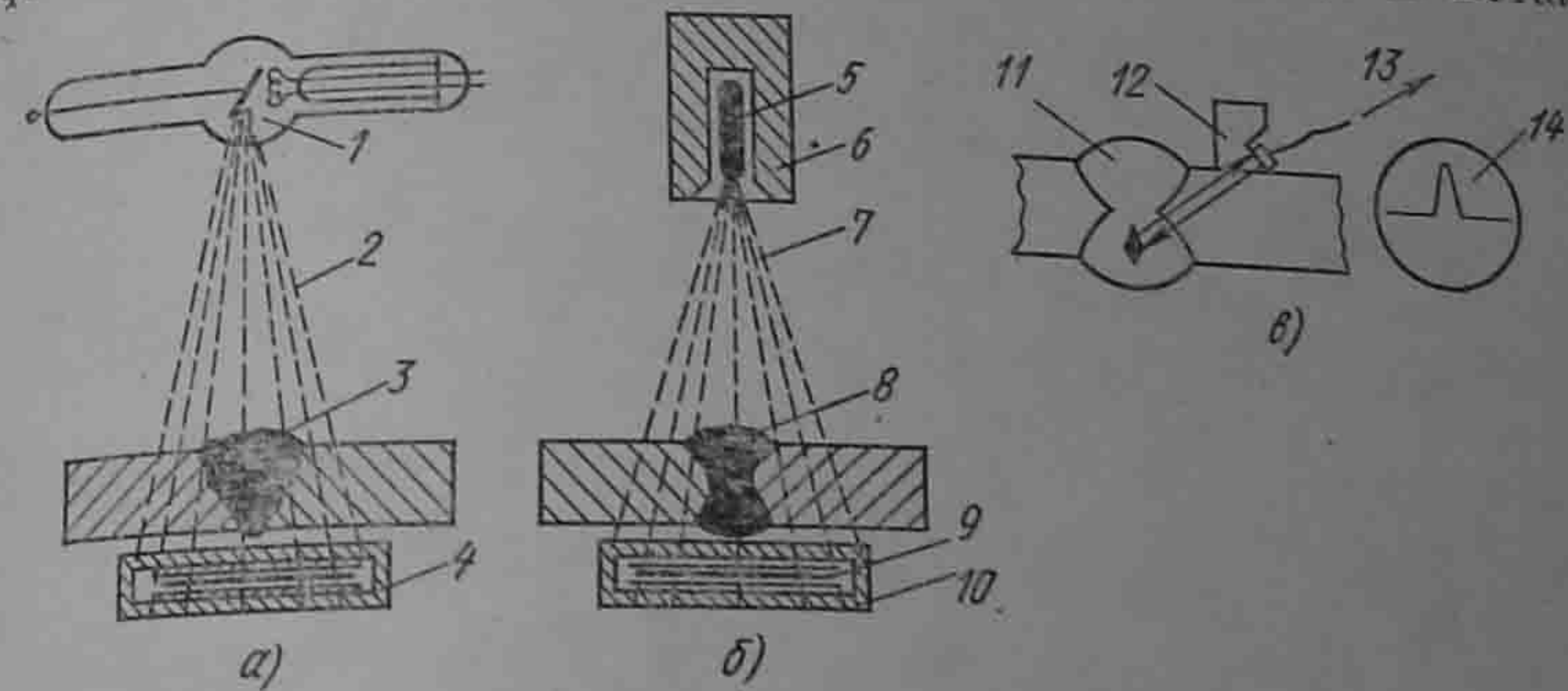


Рис. V.73. Методы контроля сварных соединений

При просвечивании сварных соединений гамма-лучами источником излучения служат радиоактивные изотопы: кобальт-60, тулий-170, придий-192 и др. Ампулу с радиоактивным изотопом 5 помещают в свинцовый контейнер 6 (рис. V.73, б). Техника просвечивания сварных соединений 8 гамма-лучами 7 подобна технике рентгеновского просвечивания. Этим способом выявляют аналогичные внутренние дефекты по потемнению участков пленки 9, помещенной в кассете 10. Просвечивание гамма-лучами по сравнению с рентгеновским имеет ряд преимуществ. Благодаря портативности аппаратуры его можно применять в любых условиях (в цехах, полевых условиях, на монтаже и т. п.). Кроме того, просвечивание гамма-лучами менее дорогостоящий способ. Недостатком его является малая чувствительность при просвечивании малых толщин (до 50 мм). На больших толщинах чувствительность такая же, как у рентгеновского метода.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн отражаться от поверхности раздела двух сред. С помощью пьезометрического щупа 12 ультразвукового дефектоскопа 13, помещаемого на поверхность сварного или паяного соединения, в металл 11 посылают ультразвуковые коле-

бания (рис. V.73, в). Ультразвук вводят в изделие отдельными импульсами под углом к поверхности металла. При встрече с поверхностью дефекта возникает отраженная ультразвуковая волна. В перерывах между импульсами щуп является приемником отраженного от дефекта ультразвука. Возникший в нем пьезоэффект преобразуется в электрический заряд. После усиления заряд подается на трубку осциллографа и фиксирует наличие дефекта в соединении в виде пика I_4 на его экране.

Промышленные ультразвуковые дефектоскопы позволяют обнаруживать дефекты на глубине 1—2500 мм. При этом можно выявлять трещины, непровары, шлаковые включения, поры и другие дефекты с минимальной площадью (1—2 мм²). Ультразвуковой метод, выявляя наличие дефекта и даже место его расположения, не позволяет установить его вид.

1. Понятие о технологичности

При проектировании сварных соединений, заготовок и узлов следует учитывать требования к технологичности их изготовления. Под технологичностью понимают такой выбор материалов и конструктивного оформления, которые обеспечивают удобство и простоту изготовления любыми способами сварки и при различных режимах; применение высокопроизводительных способов сварки; автоматизацию и механизацию максимального числа операций технологического процесса; низкую себестоимость процесса сварки за счет экономии сварочных материалов, повышения производительности и высокого уровня механизации; сведение к минимуму искажений формы, вызываемых тепловым и механическим воздействиями при сварке.

Технологичность обеспечивается выбором материала, типа соединения и формы свариваемых элементов, способов сварки и мероприятий по уменьшению сварочных деформаций и напряжений.

2. Выбор материала

При выборе материала для сварных соединений, заготовок и узлов надо учитывать не только его эксплуатационные свойства, но и его свариваемость или возможность применения технологических мероприятий, обеспечивающих хорошую свариваемость.

Механические и другие эксплуатационные свойства металла не определяют в полной мере его пригодность для применения в сварных заготовках и узлах. В процессе сварки металл подвергается термическим, химическим и механическим воздействиям. В связи с этим в различных зонах основного металла, расположенного вблизи шва, изменяются его химический состав, структура и механические свойства. Следовательно, механические и другие эксплуатационные свойства металла в зоне сварного соединения могут быть неравноценны таким же свойствам основного металла.

Для сварных соединений конструкционных легированных сталей характерно понижение пластичности, а также прочности шва и околошовной зоны, если основной металл был выбран в состоянии упрочняющей термической обработки. Весьма неблагоприятным следствием сварки может быть переход металла в зоне соединения в хрупкое состояние. Эксплуатация таких соединений связана с опасностью мгновенного разрушения при динамическом нагружении или при понижении температуры. При сварке высоколегированных коррозионно-стойких сталей возможна потеря коррозионной стойкости металла в зоне сварки. При сварке

меди наблюдается понижение электропроводности; при сварке тугоплавких металлов (титана, молибдена и др.) — пластичности и переход в хрупкое состояние. Отметим также большую вероятность образования при сварке легированных и высоколегированных сталей и сплавов цветных и тугоплавких металлов сварочных дефектов типа трещин, что связано с воздействием процесса сварки на металл, даже при условии соблюдения рациональной технологии. Особую сложность представляет сварка большинства разнородных сочетаний металлов и особенно металлов с неметаллами. Многие отмеченные неблагоприятные изменения свойств в зоне сварного соединения в данном случае могут проявляться в еще большей степени. Иногда ставится вопрос о возможности их соединения сваркой.

Для получения сварных соединений, равноценных по работоспособности основному металлу, при конструировании сварных заготовок и узлов следует по возможности выбирать хорошо свариваемые материалы. К таким материалам относятся низкоуглеродистые стали спокойной выплавки и многие низколегированные стали, ряд сплавов цветных металлов, применение которых не ограничивается какими-либо требованиями к способу и режимам сварки.

При применении в связи с эксплуатационной необходимостью материалов с пониженной свариваемостью конструировать необходимо с учетом этого свойства. Для сведения к минимуму неблагоприятных изменений свойств металла сварного соединения и исключения в нем дефектов необходимо применять способы и режимы сварки, оказывающие минимальное термическое и другие воздействия на металл, и проводить технологические мероприятия (подогрев, искусственное охлаждение и др.), снижающие влияние на него сварочных воздействий. Термическая обработка после сварки (нормализация, закалка с отпуском и др.) может в значительной степени устранить неоднородность свойств в сварных заготовках или узлах. Прочность в зоне сварного соединения может быть повышена механической обработкой после сварки: прокаткой, проковкой и др.

Реализация приведенных мероприятий во многом зависит от габаритных размеров и конструктивного оформления сварных заготовок и узлов. Для сложных узлов с элементами больших толщин и размеров при наличии криволинейных швов в различных пространственных положениях можно применять только хорошо свариваемые материалы. Последние сваривают самыми универсальными способами, например ручной дуговой сваркой покрытыми электродами или полуавтоматической в защитных газах в широком диапазоне режимов. При их сварке не нужны, например, подогрев, затрудненный вследствие больших толщин и размеров элементов, а также высокотемпературная термическая обработка, часто невозможная из-за отсутствия печей и закалочных ванн соответствующего размера. Для простых малогаба-

ритных узлов возможно применение материалов и с пониженной свариваемостью, поскольку при их изготовлении используют самые оптимальные с точки зрения свариваемости способы сварки, например электронно-лучевую или диффузионную в вакууме. При этом легко осуществить все необходимые технологические мероприятия и требуемую термическую или механическую обработку после сварки.

3. Выбор типа сварного соединения

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку. По первому признаку различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые, тавровые, нахлесточные и угловые (рис. V.74). Кромки разделяют с целью полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом. Форму и размеры элементов разделки (угол, притупление и зазоры) назначают исходя из условий полного проплавления свариваемого сечения, обеспечения формирования корня шва (без непроваров и прожогов) и минимального объема наплавленного металла. На рис. V.74 показаны типы сварных стальных соединений и формы разделок кромок для основных способов сварки плавлением и давлением.

Тип сварного соединения наряду с общими конструктивными соображениями выбирают с учетом обеспечения равнопрочности соединения основному металлу и технологичности. Выбор разделки кромок зависит от толщины металла, его теплофизических свойств и способа сварки.

Стыковые соединения (встык). Этот тип соединения элементов плоских и пространственных заготовок и узлов является наиболее распространенным. Соединения имеют высокую прочность при статических и динамических нагрузках. Их выполняют практически всеми способами сварки плавлением и многими способами сварки давлением. Некоторая сложность применения способов сварки с повышенной тепловой мощностью (автоматической под флюсом, плазменной струей) связана с формированием корня шва. В этом случае для устранения сквозного прожога при конструировании соединений необходимо предусматривать съемные или остающиеся подкладки. Другой путь — применение двусторонней сварки, однако при этом необходимы каптовка заготовки и свободный подход к корневой части сварного соединения. При сварке встык элементов различных толщин кромку более толстого элемента выполняют со скосом для уравнивания толщин, что обеспечивает одинаковый нагрев кромок и исключает прожоги в более тонком элементе. Кроме того, такая форма соединения работоспособнее вследствие равномерного распределения деформаций и напряжений.

Тип соединения	Формы деталей	Автоматическая под флюсом	Электродно-лучевая	Контактная стыковая	Контактная точечная	Контактная шовная
Угловые						
Нахлесточные						
Тавровые						

Рис. V.74. Типы сварных соединений, применяемых при основных способах сварки плавлением и давлением

Тавровые соединения (тавр). Такие соединения широко применяют при изготовлении пространственных заготовок и узлов. Соединения с односторонней или двусторонней разделкой кромок, выполненные с полным проваром, имеют высокую прочность при любых нагрузках. Тавровые соединения выполняют всеми способами сварки плавлением. Способы сварки давлением для тавровых соединений применяют редко (приварка стержня к пластине стыковой контактной сваркой оплавлением и сваркой трением и т. п.).

Нахлесточные соединения (внахлестку). Такой тип соединения часто применяют для сварки листовых заготовок при необходимости простой подготовки и сборки под сварку. Эти соединения, выполненные способами сварки плавлением, менее прочны по сравнению со стыковыми соединениями. Они не экономичны вследствие перерасхода основного металла из-за наличия перекрытия свариваемых элементов и наплавленного металла в связи с выполнением двух угловых швов. В то же время нахлесточное соединение — основное соединение тонколистовых элементов при сварке давлением, особенно при точечной и шовной контактной сварке. В данном случае оно наиболее технологично, так как удобно для двустороннего или одностороннего подвода электродов перпендикулярно толщине металла. Точечные соединения часто играют роль связующих соединений и рабочих усилий не передают (точечные соединения сварных профилей при нагружении продольным усилием, соединения обшивок с каркасами и т. д.). Шовные соединения, как правило, несут рабочие нагрузки, но их прочность меньше, чем стыковых, выполненных сваркой плавлением. Это обусловлено дополнительным изгибом при осевом нагружении и концентрацией напряжений вследствие зазора между элементами.

Угловые соединения. Эти соединения, как правило, выполняют в качестве связующих. Они не предназначены для передачи рабочих усилий. Выполняют всеми способами сварки плавлением.

4. Выбор формы свариваемых элементов

Сварные заготовки и узлы изготовляют из проката: листа, труб, профилей, а также из литых, кованных и штампованных элементов. При конструировании размеры и форму свариваемых элементов с точки зрения их технологичности следует выбирать исходя из следующего: применения высокопроизводительных автоматических способов сварки; выполнения сварки в нижнем положении; свободного доступа к лицевой и корневой частям шва; проведения при необходимости подогрева (или охлаждения) и последующей термической или механической обработки; сведения к минимуму суммарной длины сварных швов и массы основного и наплавленного металлов и т. д.

Одним из показателей рационального выбора формы и размеров элементов является уменьшение полезной массы, отходов материала, трудоемкости и себестоимости сварных заготовок и узлов. Указанным рекомендациям соответствуют элементы простой геометрической формы: прямолинейные, цилиндрические, конические и полусферические с длинными прямыми и замкнутыми кольцевыми стыковыми и тавровыми соединениями между ними. При выборе сортамента материалов для изготовления элементов предпочтительнее прокатные, гнутые или штампованные профили и оболочки, тонкий лист и тонкостенные трубы и их сочетания. При этом следует стремиться к минимальному числу типоразмеров и толщин свариваемых элементов.

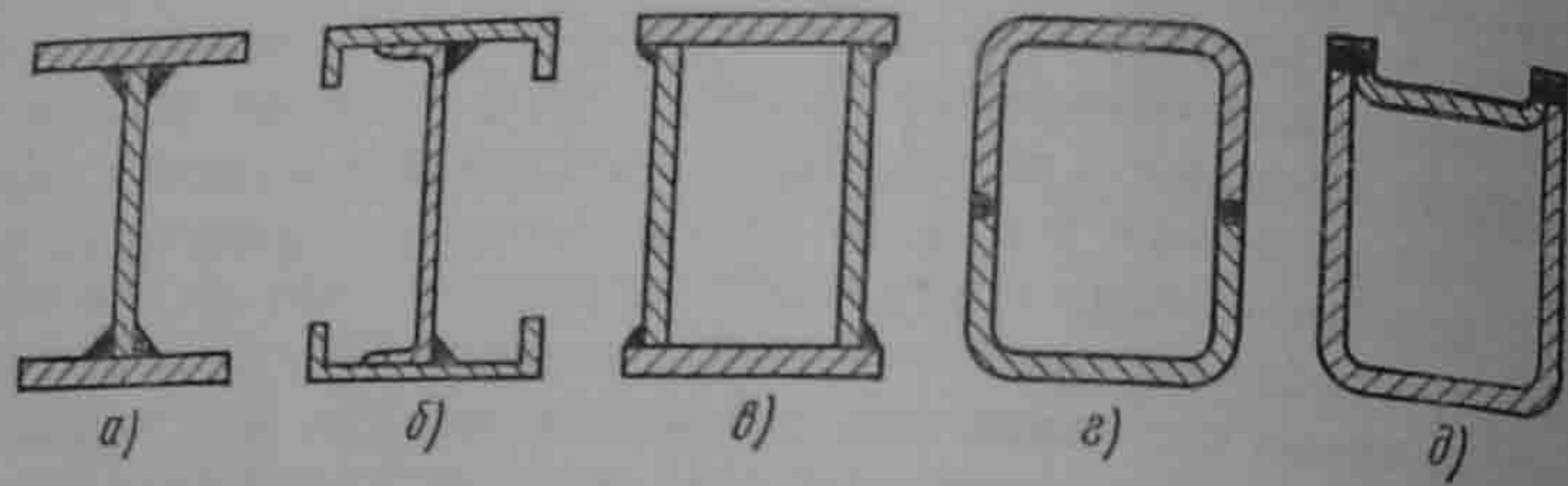


Рис. V.75. Варианты сварных двутавровых и коробчатых балок

На рис. V.75 показаны варианты сварных двутавровых и коробчатых балок из листового проката (рис. V.75, а, в) и гнутых элементов (рис. V.75, б, г, д). Более технологичны балки, выполненные из гнутых элементов, так как при этом либо снижается масса балки, либо уменьшается трудоемкость вследствие сокращения числа элементов и объема сварочных работ.

5. Выбор способа сварки

Способ сварки при конструировании сварных заготовок и узлов необходимо выбирать исходя из степени теплового воздействия на металл; качества получаемых соединений; технологических возможностей; производительности; степени автоматизации и механизации производства.

Тепловое воздействие на металл при сварке — один из главных факторов, обуславливающих изменение его свойств в зоне соединения. Оно характеризуется сварочным термическим циклом, т. е. изменением температуры во времени. При этом особенно важны максимальная температура нагрева, время пребывания при высоких температурах и скорость охлаждения до нормальных температур. Обобщенным показателем теплового воздействия может быть величина зоны разогрева, в пределах которой изменяются свойства металла или происходит пластическая деформация. По степени уменьшения зоны разогрева основные способы сварки можно расположить в следующем порядке: элект-

рошлаковая, газовая, автоматическая под флюсом, ручная дуговая, дуговая в защитных газах, контактная, плазменной струей, электронно-лучевая и т. д. Такое расположение является условным, так как величина зоны разогрева еще зависит от свариваемой толщины и режима сварки. Тепловое воздействие имеет пониженную свариваемость (см. § 8 разд. 1) или недопустимы значительные сварочные деформации и напряжения. Например, для коррозионно-стойких аустенитных сталей применяют дуговую сварку в защитных газах или другие способы с меньшей степенью теплового воздействия, чтобы исключить понижение коррозионной стойкости. Если возможно предусмотреть последующую термическую обработку сварных соединений, то указанную сталь сваривают практически всеми способами сварки. Способы с минимальным тепловым воздействием также рекомендуется сваривать стали и сплавы алюминия, термически упрочненные и упрочненные пластической деформацией.

Качество сварных соединений в значительной степени определяется надежностью защиты сварочной ванны и максимально разогретой зоны от воздействия окружающей среды, а также отсутствием в шве пор, шлаковых включений и других дефектов. Обеспечение указанных условий получения качественных соединений также связано с выбором способа сварки. Наиболее эффективны в этом отношении сварка в атмосфере защитных газов и вакууме. Особенно важно правильно выбрать способ сварки при применении материалов, свойства которых ухудшаются при незначительном насыщении газами из окружающего воздуха. Например, для таких тугоплавких металлов, как титан, ниобий, а также для алюминия, магния и высоколегированных сталей предпочтительна дуговая сварка в атмосфере аргона высокой чистоты, а для молибдена и его сплавов — электронным лучом в вакууме. В то же время углеродистые и легированные конструкционные стали успешно сваривают всеми способами дуговой и электрошлаковой сварки. При соответствующем выборе режима и сварочных материалов получают сварные соединения, равнопрочные основному металлу при статических и динамических нагрузках.

Технологические возможности способа сварки определяют диапазоном толщин, конфигурацией швов и их положений в пространстве, конструктивными формами сварных заготовок и узлов, для которых этот способ может быть применен. Большинство способов дуговой сварки имеет широкие технологические возможности (например, ручная сварка покрытыми электродами и ручная и полуавтоматическая в защитных газах). Полуавтоматическую сварку под флюсом применяют только для швов в нижнем положении, а автоматическую под флюсом — в нижнем положении для длинных прямых и кольцевых швов. Электрошлаковой сваркой можно за один проход выполнить стыковые и угловые

прямолинейные швы, кольцевые и переменного сечения практически на любой толщине металла (рис. V.76), что расширяет конструктивные возможности создания крупногабаритных узлов. В отдельных случаях изготовление узлов сложной формы и значительных размеров литьем, ковкой и обычными способами сварки затруднительно или невозможно (например, станины прессов усилем 500 кН и более). Изготовление подобных узлов стало возможным в результате применения электрошлаковой сварки отдельных относительно простых форм кованых или литых частей.

Стыковые соединения заготовок компактных, полых и развитых сечений (полосы, проката круглого, квадратного и профильного сечений и труб) из сталей и цветных металлов получают контактной стыковой сваркой (рис. V.76, б). Для этих же целей

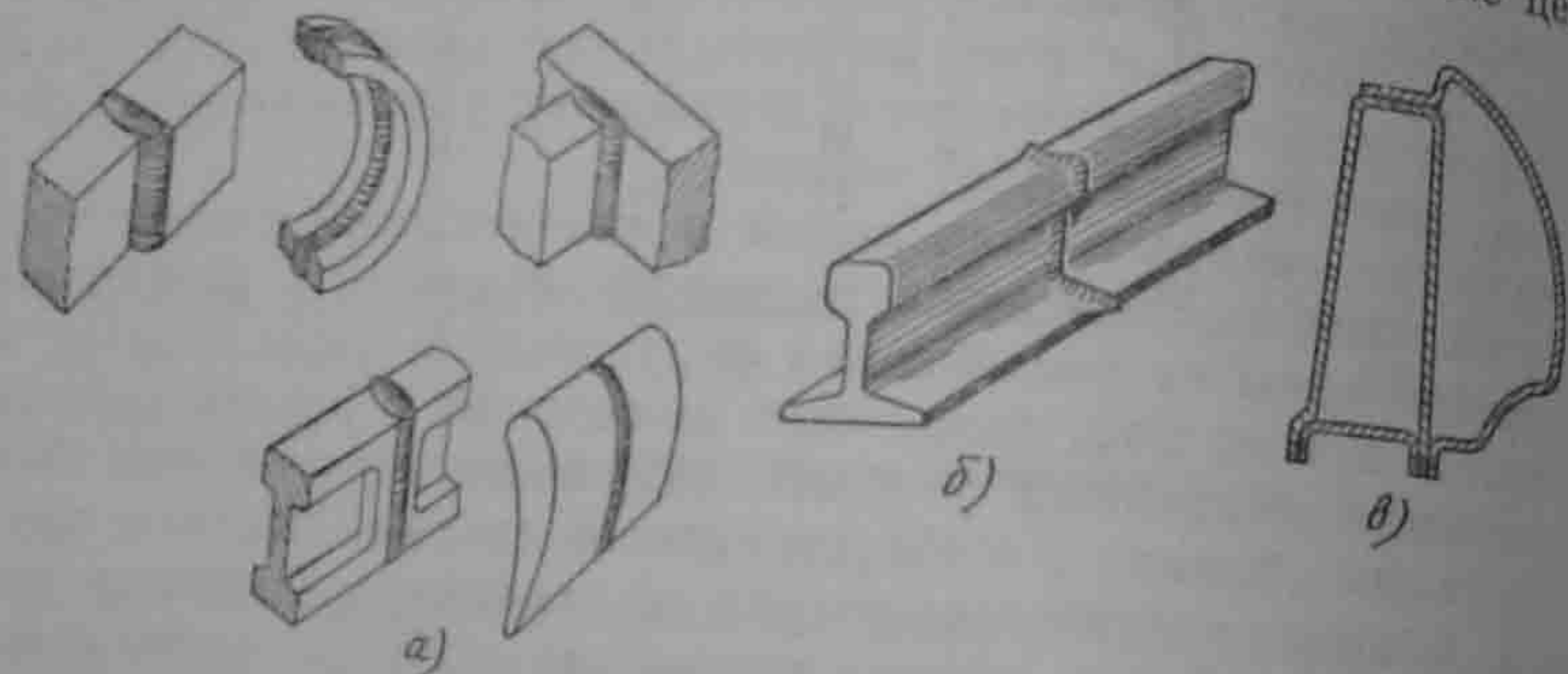


Рис. V.76. Примеры применения электрошлаковой сварки крупногабаритных заготовок (а), контактной стыковой сварки рельс (б) и контактной точечной сварки ветровой рамы автомобиля (в)

иногда применяют газопрессовую сварку, качество которой, как правило, не уступает качеству контактной сварки, например, для высокоуглеродистой рельсовой стали.

Тонколистовые пространственные узлы изготавливают точечной и шовной контактной сваркой. Точечной сваркой часто получают связующие соединения, к которым не предъявляют требования герметичности и равнопрочности [например, при сборке узлов из фасонных штампованных заготовок (рис. V.76, в), при креплении обшивки к раме и т. д.]. Рельефной сваркой (разновидность точечной сварки) выполняют одновременно большое число точек в параллельных плоскостях. Рельефная сварка производительнее и обеспечивает более высокое качество точек, чем точечная. Для применения рельефной сварки на одной из заготовок должны быть выполнены специальные выступы при штамповке. Шовной сваркой получают прочные и герметичные швы при изготовлении различных емкостей и заготовок, имеющих форму цилиндрических обечаек и оболочек. При применении точечной и шовной сварки следует учитывать необходимость подведения электродов с обеих сторон соединяемых заготовок. Только

для точечной сварки тонкого листа к жесткой раме или при наличии жесткой подкладки возможен односторонний подвод электродов.

Особый случай представляют конструкции заготовок и узлов с соединениями в труднодоступных местах, в глубоких узких пазах, внутри полостей малого диаметра, между рядом расположенных ребер жесткости и т. д. Такие соединения в узлах из конструкционных сталей сваривают ручной дуговой сваркой. Если доступ к соединениям затруднен, сваривают электронным лучом.

Одним из главных показателей современного технологического процесса является его производительность и степень автоматизации и механизации. Производительность того или иного способа сварки повышается с увеличением эффективной тепловой мощности источника теплоты и степени концентрации вводимой в соединение энергии. Вследствие этого возрастает проплавляющая способность источника теплоты, уменьшается объем наплавленного металла, в результате чего увеличивается скорость сварки заданной толщины металла. По степени уменьшения производительности основные способы сварки можно ориентировочно расставить в следующем порядке: электрошлаковая (при толщинах свыше 50 мм), контактная точечная и шовная, автоматическая под флюсом, автоматическая и полуавтоматическая в углекислом газе и аргоне, ручная дуговая и газовая. Производительные способы сварки, как правило, являются автоматическими или полуавтоматическими, поскольку при применении мощных источников теплоты регулирование проплавления и формирования сварного шва, а также подача большого количества присадочного материала возможны только при механизации процесса. При конструировании сварных узлов следует предусматривать применение наиболее производительных автоматизированных способов сварки, повышающих качество сварных соединений, снижающих трудоемкость и стоимость изделий. Указанные рекомендации применимы при отсутствии ограничений для выбранного способа сварки из-за пониженной свариваемости металла или несоответствия ему конструктивных форм свариваемых элементов.

6. Выбор способа уменьшения сварочных деформаций и напряжений

При проектировании сварных заготовок и узлов необходимо предусматривать конструктивные и технологические мероприятия по устранению или уменьшению сварочных деформаций и напряжений. Изменения формы и размеров заготовок при сварке, условно называемые сварочными деформациями, приводит к снижению их точности и назначению больших припусков на механическую обработку. В процессе механической обработки сварных заготовок с высокими остаточными сварочными напряжениями также возможны дополнительные деформации. Кроме того, сварочные

напряжения могут снижать работоспособность сварных узлов в условиях вязких температур и динамических нагрузок. Сварочные деформации и напряжения возникают вследствие локальной пластической деформации отдельных зон сварного соединения из-за неравномерного разогрева при сварке. Металл в зоне максимального нагрева (шов и околошовная зона), претерпевший пластическую деформацию при нагреве, после полного охлаждения получает остаточное укорочение. При этом абсолютное укорочение (ΔAB и ΔCD) линейных элементов (AB и CD) пропорционально их длине в зоне пластической деформации ($ABCD$) (рис. V.77, а, б). В соответствии с этим основные закономерности процесса развития сварочных деформаций сводятся к следующему: 1) абсолютное укорочение возрастает с увеличе-

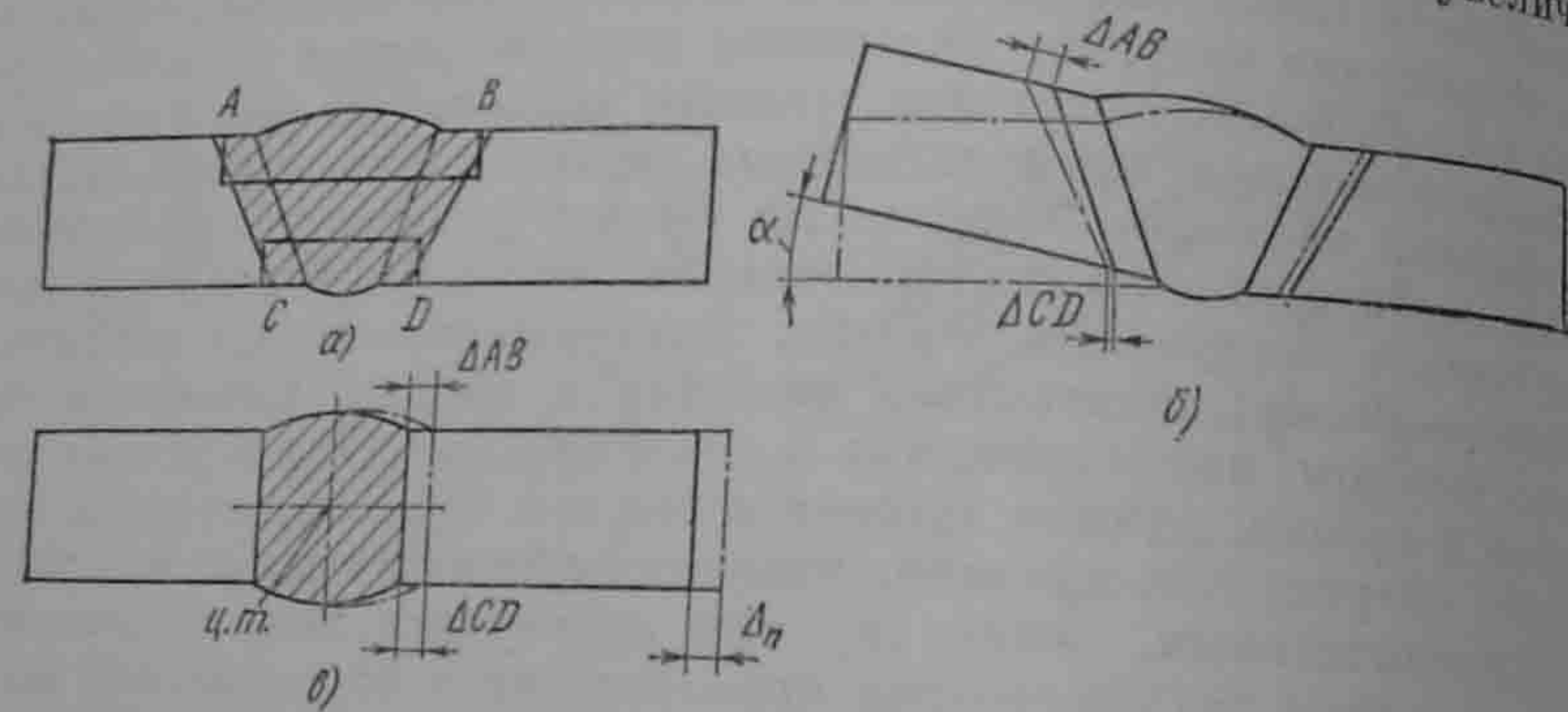


Рис. V.77. Схема образования сварочных деформаций

нием зоны пластической деформации, т. е. с увеличением объема наплавленного металла и зоны его разогрева; 2) при симметричном размещении наплавленного металла относительно центра тяжести сечения (ц. т.) свариваемых элементов изменяются только размеры последних, т. е. происходит деформация поперечной Δ_{π} и продольной $\Delta_{\text{пр}}$ усадок (рис. V.77, в, V.78, а, б); 3) при несимметричном размещении наплавленного металла относительно центра тяжести сечения также изменяется форма сварных заготовок, т. е. происходит деформация угловая α и изгиба f (рис. V.77, б, V.79, а); 4) величина сварочной деформации определяется, с одной стороны, величиной остаточного укорочения, с другой — сопротивлением сварной заготовки деформации растяжения (сжатия), изгиба или кручения, т. е. соответствующей ее жесткостью.

Эффект укорочения металла в зоне пластических деформаций в ряде случаев может быть представлен как сжимающее действие некоторой фиктивной усадочной силы ($P_{\text{ус}}$). Это позволяет рассчитывать сварочные деформации методами сопротивления материалов. Усадочную силу определяют количественно как про-

изведение площади зоны пластической деформации в поперечном сечении соединения на предел текучести металла этой зоны. Одновременно с развитием сварочных деформаций в сварных заготовках образуются остаточные сварочные напряжения (см. § 1 гл. 5 разд. V). Они представляют собой систему внутренних сил, находящихся в равновесии. При нарушении этого равновесия

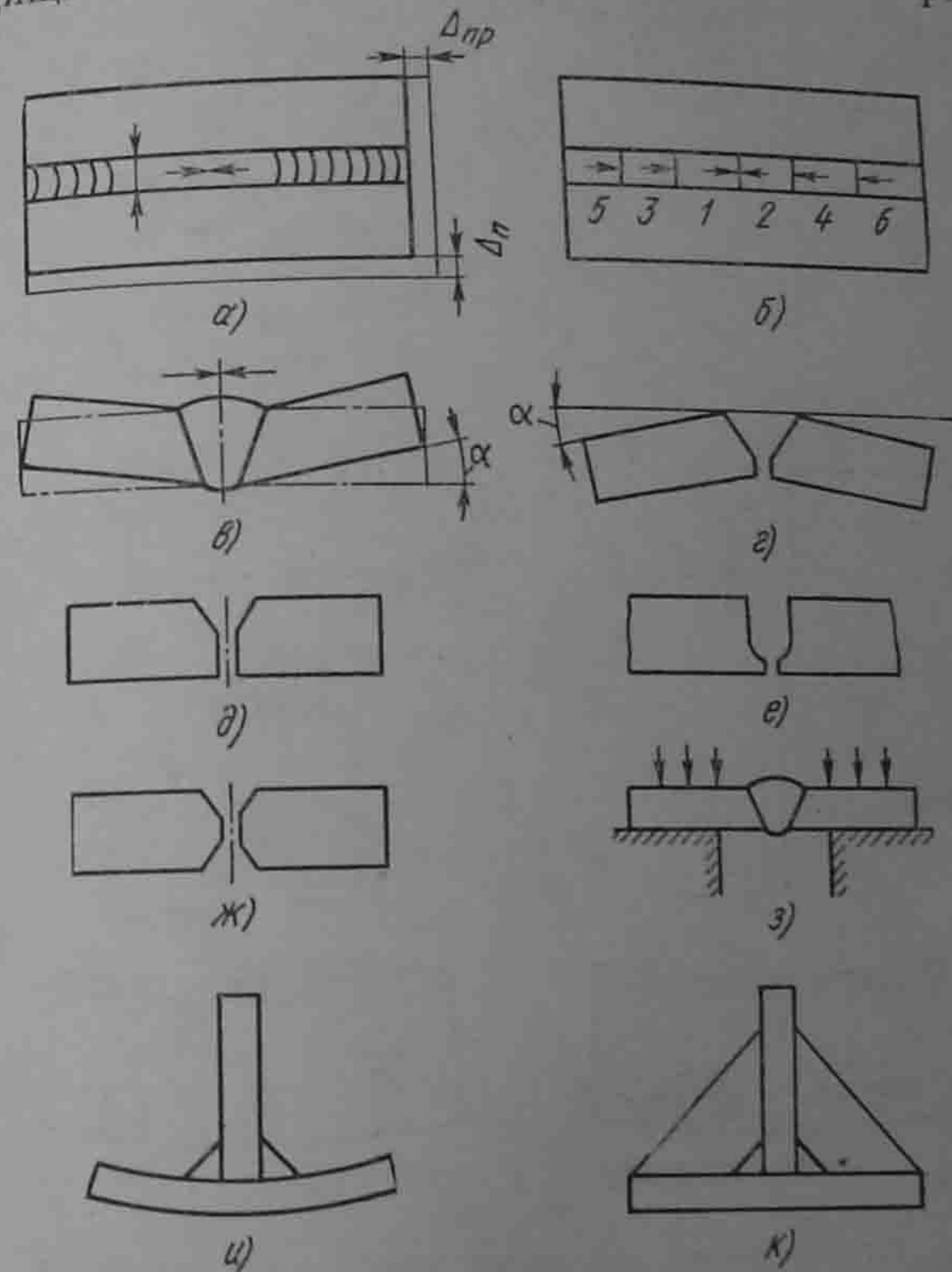


Рис. V.78. Сварочная деформация продольной и поперечной усадок (а) и угловая (в, и); способы их устранения (б, г—з, к)

напряжения перераспределяются, что сопровождается упругими и пластическими деформациями в дополнение к сварочным деформациям, полученным ранее в процессе сварки. Поэтому при механической обработке сварных заготовок с высокими остаточными сварочными напряжениями могут изменяться размеры и форма готовых деталей. Следовательно, невозможно добиться при обработке высокой точности размеров заготовок.

Мероприятия, уменьшающие сварочные деформации и напряжения, с учетом приведенных закономерностей их образования могут быть направлены на снижение остаточного укорочения и устранение несимметричности его распределения, а также

на повышение сопротивления свариваемых элементов деформированию. Они могут быть реализованы на этапе конструирования — конструктивные мероприятия или изготовления сварного узла — технологические мероприятия. Часто полностью устранить сварочные деформации не удается. Поэтому при необходимости возможно применение правки уже готовых сварных заготовок. Деформации поперечной и продольной усадок (см. рис. V.78, а) можно уменьшить увеличением размеров заготовок под сварку

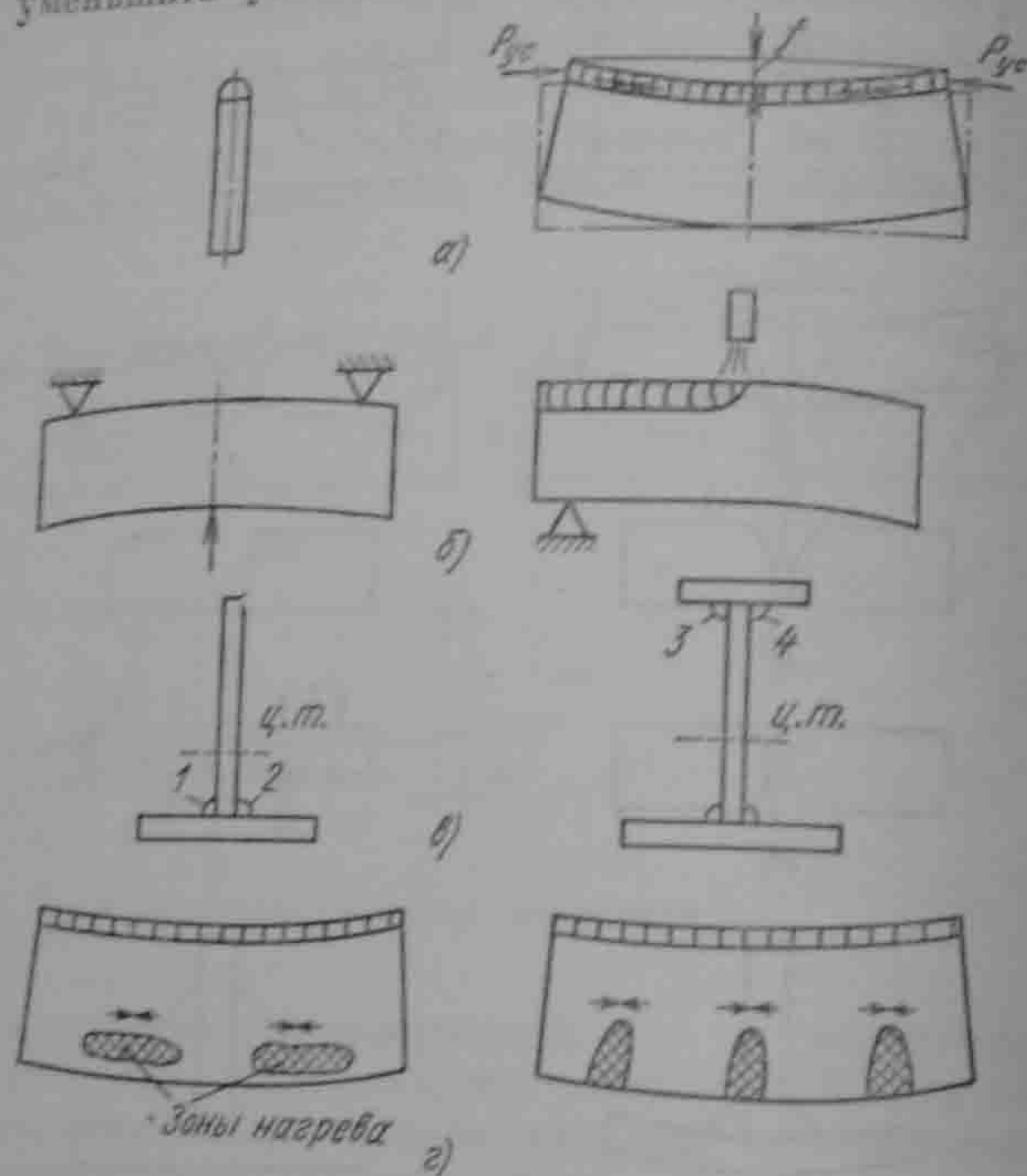


Рис. V.79. Сварочная деформация изгиба (а) и способы ее устранения (б—з);

1—4 — последовательность укладки швов

на величину предполагаемой деформации; сваркой обратно-ступенчатым способом (см. рис. V.78, б; 1 — 6 — последовательность сварки).

Угловая деформация (см. рис. V.78, в, и) может быть устранена или снижена предварительным угловым изгибом заготовок перед сваркой (см. рис. V.78, г); уменьшением сечения шва замкнутой V-образной разделки на U-образную (см. рис. V.78, д, е); симметричным размещением наплавленного металла относительно центра тяжести сечения шва заменой V-образной разделки на X-образную (см. рис. V.78, ж); жестким закреплением свариваемых элементов при сварке (см. рис. V.78, з) или применением ребер жесткости (см. рис. V.78, к).

Деформацию изгиба (рис. V.79, а) можно исключить предварительным обратным прогибом балки перед сваркой (рис. V.79, б); рациональной последовательностью укладки швов относительно центра тяжести сечения сварной балки (рис. V.79, в, в случае несимметричной двутавровой балки вначале сваривают швы 1 и 2, расположенные ближе к центру тяжести); термической (горячей) правкой путем нагрева зон, сокращение которых необходимо для исправления деформации заготовки, до температур термического состояния (рис. V.79, г, штриховкой показаны зоны нагрева). При правке нагревают газовым пламенем или угольной дугой.

При термической правке разогретые зоны претерпевают пластическую деформацию, а после охлаждения — остаточное укорочение. Последнее обуславливает деформацию сварной заготовки, противоположную по знаку сварочной деформации. Подобную деформацию можно получить, если наложить в указанных зонах холостые сварные швы.

Для уменьшения сварочных напряжений нельзя допускать скопления сварных швов и их пересечений друг с другом; следует применять способы сварки, обеспечивающие минимальные разогревы заготовок и зону пластических деформаций около сварного шва. Необходимо предусматривать после сварки высокий отпуск при 550—680° С в течение нескольких часов, назначать прокатку или проковку сварных швов и околошовной зоны (эффективно для толщины до 10 мм).

Глава 1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

1. Классификация движений в металлорежущих станках. Схемы обработки резанием

От современных машин требуются высокие эксплуатационные и технико-экономические характеристики, надежность работы. Для этого конструкторы машин должны постоянно совершенствовать технологию, повышать качество обработки деталей и сборки машин, применять новые конструкционные материалы и прогрессивные методы их обработки.

Одной из главных задач современного машиностроения является дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин. Особенно большое внимание уделяется чистовым и отделочным технологическим методам обработки, объем которых в общей трудоемкости обработки деталей непрерывно возрастает.

Наряду с механической обработкой резанием широко применяют методы обработки пластическим деформированием без снятия стружки, с использованием химической, электрической, световой, лучевой и других видов энергий. Весьма прогрессивными являются комбинированные методы обработки, которые в отдельных случаях обеспечивают получение деталей машин высокого качества.

На рис. VI.1 дана условная классификация современных технологических методов обработки, которые наиболее широко применяют в промышленности.

В разделе «Механическая обработка заготовок деталей машин» рассмотрены основные технологические методы обработки и формообразования поверхностей деталей машин, физическая сущность методов обработки, области их применения и перспективы развития и совершенствования.

При изучении методов обработки рассмотрено оборудование и его технологические возможности, вопросы технологичности деталей машин, конструируемых с учетом методов их изготовления.

Обработка металлов резанием — это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла для получения требуемой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхностей детали.

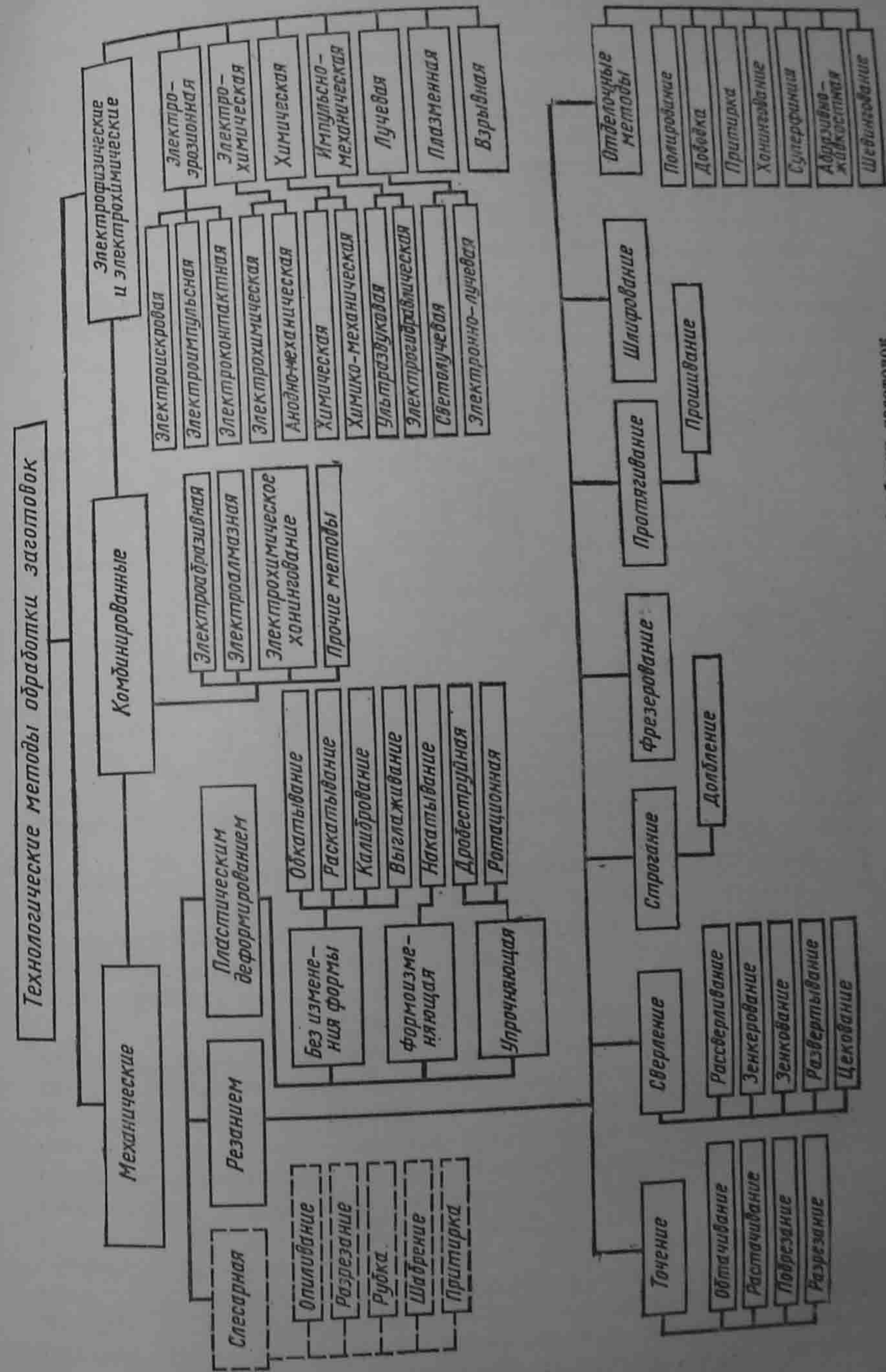


Рис. VI.1. Условная классификация современных технологических методов обработки заготовок

Для осуществления процесса резания необходимо наличие относительных движений между заготовкой и режущим инструментом. Каждый станок имеет рабочие органы (шпиндели, суппорты, столы и др.), которым сообщаются движения, определяемые назначением станка и характером выполняемых видов обработки. Движения рабочих органов станков подразделяют на движения резания, установочные и вспомогательные.

Движения, при которых с обрабатываемой заготовки срезается слой металла и изменяется состояние обработанной поверхности, называют *движениями резания*. К ним относят главное движение и движение подачи. Движение, определяющее скорость отделения стружки, принимают за *главное движение* — *скорость резания*. Движение, обеспечивающее непрерывность врезания

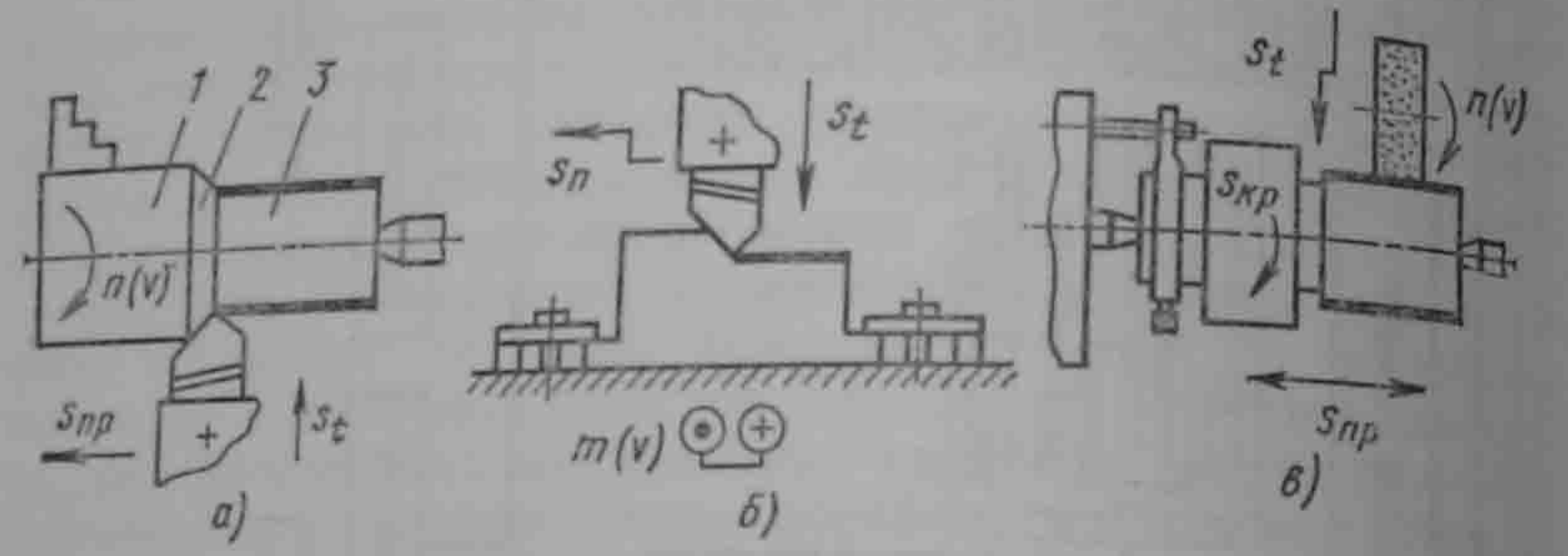


Рис. VI.2. Схемы обработки заготовок точением (а), строганием (б), шлифованием (в): s_{np} — продольная подача; s_n — поперечная подача; s_t — установочное движение

режущего лезвия инструмента в новые слои материала, принимают за *движение подачи*.

Главное движение, скорость которого обозначают буквой v , может быть непрерывным или прерывистым, а по своему характеру вращательным, поступательным, возвратно-поступательным и т. д. Движение подачи, скорость которого обозначают буквой s , может быть непрерывным или прерывистым, а по своему характеру вращательным, поступательным и т. д.

При обработке резанием главное движение имеет заготовка (точение) или инструмент (фрезерование); движение подачи имеет инструмент (точение) или заготовка (фрезерование).

Движения рабочих органов станка, обеспечивающие такое положение инструмента относительно заготовки, при котором с нее срезается определенный слой материала, называют *установочными движениями*. На схемах обработки их обозначают s_t .

Движения рабочих органов станка, которые не имеют непосредственного отношения к процессу резания и служат для транспортировки и закрепления заготовки или инструмента, быстрых перемещений рабочих органов, переключения скоростей резания и подачи и т. п., называют *вспомогательными движениями*.

Под *схемой обработки* понимают условное изображение обрабатываемой заготовки, ее установки и закрепления на станке с указанием положения режущего инструмента относительно заготовки и движений резания. Инструмент показывают в положении, соответствующем окончанию обработки поверхности заготовки. Обработанную поверхность на оригинале схемы выделяют другим цветом, на светокопиях — утолщенными линиями.

На рис. VI.2 показаны схемы обработки точением, строганием и шлифованием. В дальнейшем при рассмотрении технологических методов обработки на схемах указывается характер движений и их технологическое назначение.

В процессе обработки на заготовке различают (рис. VI.2, а): *обрабатываемую поверхность 1*, с которой срезается слой материала; *обработанную поверхность 3*, с которой срезан слой материала и превращен в стружку, и *поверхность резания 2*, образованную главным режущим лезвием инструмента и являющуюся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

2. Методы формообразования поверхностей деталей машины

Деталь — это элемент, являющийся составной частью машины или ее узла¹. Пространственная форма детали ограничивается геометрическими поверхностями. Как бы ни была сложна форма детали, ее всегда можно представить в виде отдельных геометрических поверхностей, из которых наиболее часто встречаются плоские, линейчатые, круговые цилиндрические и конические, шаровые, торовые и геликоидные (винтовые) поверхности (рис. VI.3).

Любую поверхность рассматривают как совокупность последовательных положений (следов) одной производящей линии, называемой *образующей* (1), движущейся по другой производящей линии, называемой *направляющей* (2, 2' и 2'').

Для получения плоской поверхности (рис. VI.3, а) необходимо образующую прямую линию 1 перемещать по направляющей прямой 2. Для образования цилиндрической поверхности (рис. VI.3, в) следует образующую прямую линию 1 перемещать по направляющей линии — окружности 2 и т. д.

Плоские, линейчатые и цилиндрические поверхности являются обратимыми, так как для их воспроизведения образующие и направляющие линии можно менять ролями. Кроме обратимых поверхностей, есть необратимые, например геликоидная, торовая, шаровая и коническая поверхности. Коническую поверхность (рис. VI.3, г) получают при перемещении одного конца прямой образующей линии 1 по направляющей линии 2 — окружности основания конуса, а второй конец образующей прямой линии 1 должен быть неподвижным.

¹ Под термином «узел» следует понимать термин «сборочная единица».

В реальных условиях образования поверхностей деталей на металлорежущих станках образующие и направляющие линии в большинстве случаев являются воображаемыми. При обработке они воспроизводятся комбинацией согласованных между собой движений заготовки и инструмента. Движения резания и являются формообразующими движениями, так как они воспроизводят во времени образующие и направляющие линии. Формообразующих движений может быть одно или несколько.

Существующие методы формообразования поверхностей рассмотрим на конкретных примерах обработки резанием.

Образование поверхностей по методу копирования заключается в том, что форма режущего лезвия инструмента является

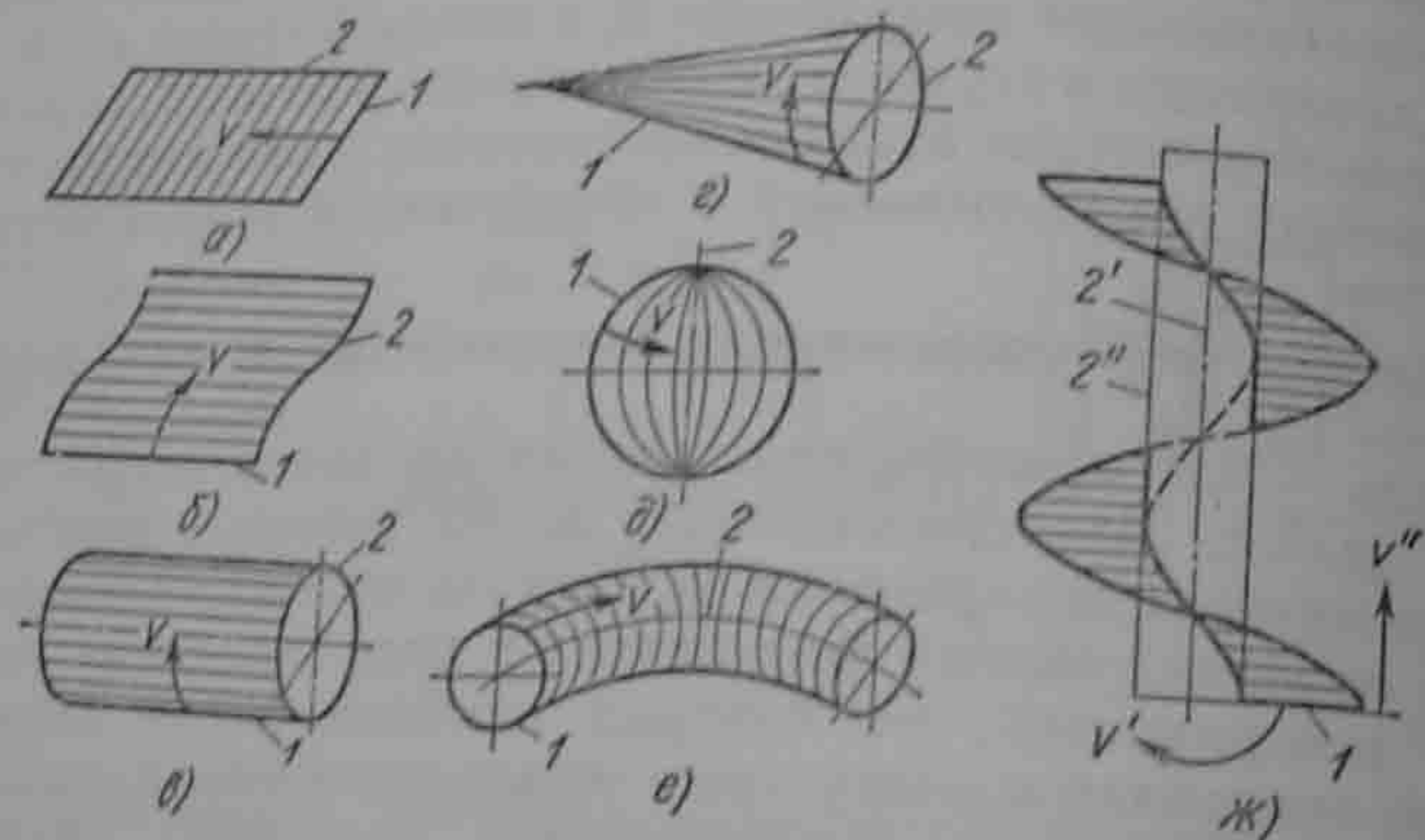


Рис. VI.3. Виды поверхностей:

а — плоская; б — линейчатая; в — цилиндрическая; г — коническая; д — шаровая; е — торовая; ж — геликоидная

образующей линией 1, совпадающей по форме с образующей линией поверхности (рис. VI.4, а) или имеющей форму, обратную ей (рис. VI.4, б). Направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки (рис. VI.4, а) или поступательным движением инструмента (рис. VI.4, б), которые и являются формообразующими. Второе движение, направленное перпендикулярно обрабатываемой поверхности, необходимо для получения определенного размера поверхности. Этот метод используют при обработке фасонных поверхностей на металлорежущих станках.

Образование поверхностей по методу следов состоит в том, что образующая линия 1 является траекторией движения точки (вершины) режущего лезвия инструмента, а направляющая линия 2 — траекторией движения точек заготовки (рис. VI.4, в). В этом случае оба движения резания (v и $s_{пр}$) являются формообразующими. Этот метод формообразования поверхностей распространен наиболее широко.

Образование поверхностей по методу касания заключается в том, что направляющей линией 2 служит касательная к ряду геоме-

трических вспомогательных линий, являющихся траекториями движения точек режущего инструмента. Образующей линией 1 служит режущее лезвие инструмента (рис. VI.4, г), а формообразующим движением — подача $s_{пр}$.

Образование поверхностей по методу обкатки (огибания) состоит в том, что образующая линия 1 (рис. VI.4, д) является огибающей кривой ряда последовательных положений режущего

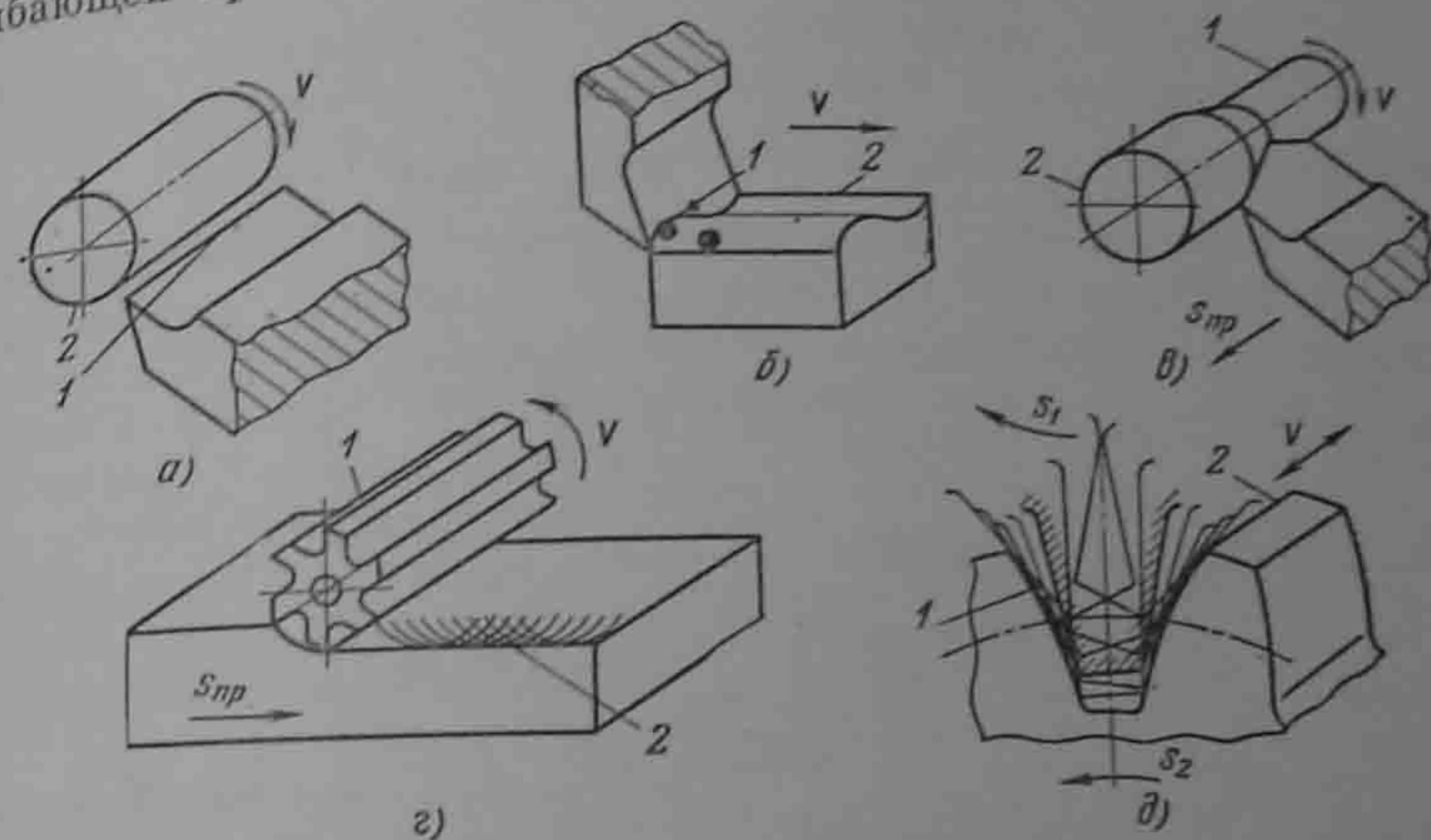


Рис. VI.4. Схемы методов формообразования поверхностей

лезвия инструмента в результате двух согласованных относительных движений заготовки и инструмента (s_1 и s_2). Направляющая линия 2 образуется поступательным движением инструмента.

На металлорежущих станках в зависимости от вида обрабатываемой поверхности используют разные методы их формообразования.

3. Элементы резания и геометрия срезаемого слоя

Элементами процесса резания являются скорость резания, подача и глубина резания. Совокупность этих величин называют режимом резания.

Скоростью резания (v) называют путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в направлении главного движения в единицу времени. Скорость резания измеряют в м/мин при всех видах обработки резанием, кроме шлифования, полирования и некоторых других, где ее измеряют в м/с.

Если главное движение является вращательным (точение), то скорость резания (в м/мин)

$$v = \frac{\pi D_{заг} n}{1000},$$

где $D_{\text{заг}}$ — наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм; n — частота вращения заготовки, об/мин.

Если главное движение является возвратно-поступательным, причем скорости рабочего и холостого ходов разные, то средняя скорость (в м/мин)

$$v_{\text{ср}} = \frac{Lm}{1000} (k + 1),$$

где L — расчетная длина хода резца, мм; m — число двойных ходов резца в минуту; k — коэффициент, характеризующий отношение скоростей рабочего и холостого ходов ($k = \frac{v_{\text{р.х}}}{v_{\text{х.х}}}$).

Подачей s называют путь точки режущего лезвия инструмента (рис. VI.5) относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот или за один двойной ход заготовки или инструмента. При разных технологических методах обработки подача имеет одну из следующих размерностей: мм/об — точение, сверление; мм/дв. ход — строгание, долбление; мм/мин — фрезерование и т. д.

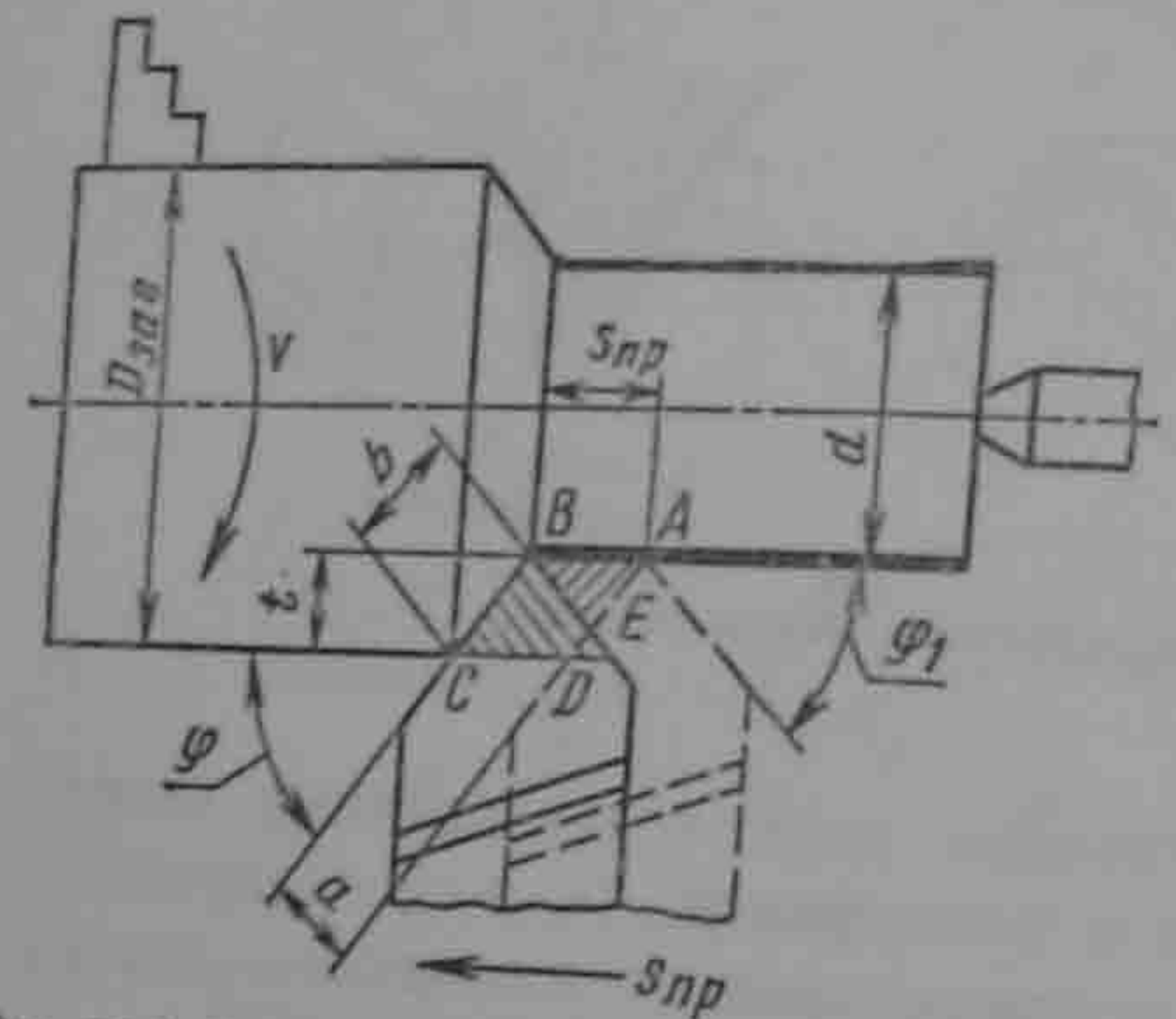


Рис. VI.5. Элементы резания и геометрия срезаемого слоя

Различают подачи: продольную — $s_{\text{пр}}$; поперечную — $s_{\text{п}}$; вертикальную — $s_{\text{в}}$; наклонную — $s_{\text{н}}$; круговую — $s_{\text{кр}}$; тангенциальную — $s_{\text{т}}$; окружную — $s_{\text{о}}$ и др.

Глубиной резания t называют расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней, за один рабочий ход инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Глубину резания измеряют в миллиметрах. При точении цилиндрической поверхности глубину резания (в мм) определяют как полуразность диаметров до и после обработки (рис. VI.5):

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - d}{2},$$

где d — диаметр обработанной цилиндрической поверхности, мм. При рассмотрении физической сущности процесса резания используют понятия ширины и толщины срезаемого слоя материала. Ширина срезаемого слоя b — расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания.

Толщина срезаемого слоя a — расстояние, измеренное по нормали к поверхности резания, между двумя последовательными положениями поверхности резания за время одного оборота заготовки. На рис. VI.5 показаны два последовательных положения резца относительно заготовки за время одного полного ее оборота. За это время резец удаляет с заготовки материал, площадь поперечного сечения f_{ABCD} которого называется номинальной площадью поперечного сечения срезаемого слоя. Для резцов с прямолинейным режущим лезвием она определяется из выражения

$$f_{\text{ном}} = f_{ABCD} = ts_{\text{пр}} = ab.$$

Из схемы обработки видно, что на форму и размеры номинального сечения срезаемого слоя материала влияют элементы режима резания ($s_{\text{пр}}$ и t) и геометрия режущего инструмента (углы ϕ и ϕ_1). При увеличении величины t ширина срезаемого слоя возрастает; при увеличении подачи $s_{\text{пр}}$ возрастает толщина срезаемого слоя. С изменением углов ϕ и ϕ_1 a и b также изменяются. Если режущее лезвие имеет криволинейную форму, то поперечное сечение срезаемого слоя имеет форму «запятой», а толщина срезаемого слоя a в разных точках неодинакова.

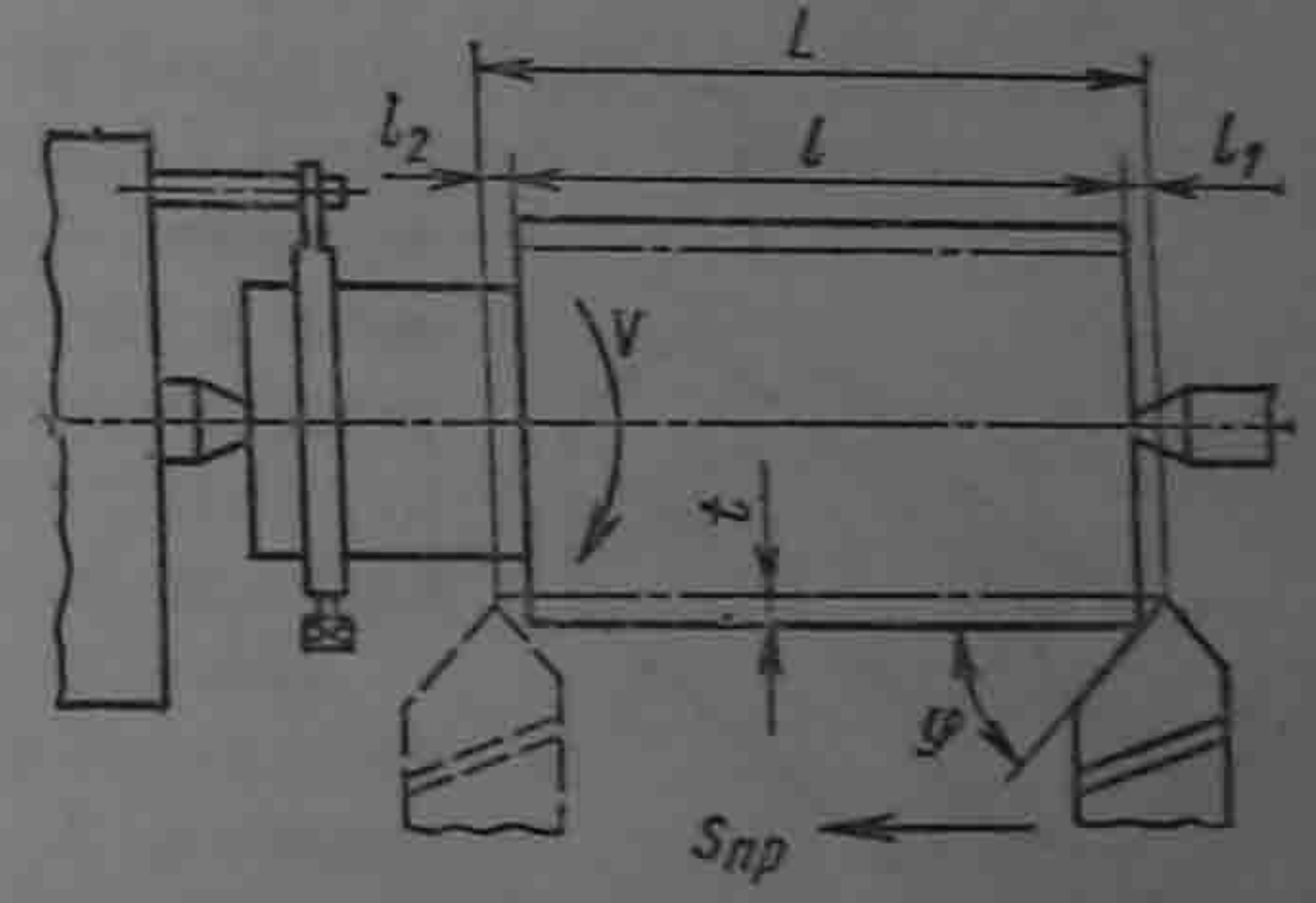


Рис. VI.6. Схема к расчету основного времени при обтачивании цилиндрической поверхности

Вследствие того что в процессе резания участвует несколько движений (v и s), действительное сечение срезаемого слоя материала $f_{\text{д}} = f_{BCDE}$ будет меньше номинального $f_{\text{ном}}$ на величину площади осевого сечения гребешков, остающихся на обработанной поверхности, — остаточное сечение срезаемого слоя ($f_{\text{о}} = f_{ABE}$).

Из сказанного видно, что после обработки поверхность не будет идеально гладкой, на ней останутся гребешки ($f_{\text{о}}$), образующие микронеровности, т. е. поверхность будет шероховатой. Высотой микронеровностей определяется степень шероховатости обработанной поверхности. С возрастанием t , s и углов ϕ и ϕ_1 высота микронеровностей увеличивается, т. е. шероховатость поверхности повышается. К элементам процесса резания относят также основное (технологическое) время обработки.

Основное (технологическое) время — это время, затрачиваемое непосредственно на процесс изменения формы и размеров заготовки и получение поверхности требуемой шероховатости. Основное время (в мин) при токарной обработке

$$T_{\text{о}} = \frac{L}{ns_{\text{пр}}} i,$$

где $L = l + l_1 + l_2$ — расчетная длина пути режущего инструмента относительно заготовки в направлении подачи (рис. VI.6); l — длина обработанной поверхности, мм; $l_1 = t \operatorname{ctg} \varphi$ — величина врезания резца, мм; φ — главный угол в плане токарного резца; $l_2 = 1 \div 3$ — выход резца (перебег), мм; n — частота вращения заготовки, об/мин; $s_{\text{пр}}$ — продольная подача, мм/об; i — число рабочих ходов резца относительно заготовки, необходимое для снятия материала, оставленного на обработку поверхности.

Для повышения производительности необходимо уменьшить основное (технологическое) время. Уменьшение T_0 возможно за счет выбора наилучшего сочетания элементов резания (v , s , t); применения больших скоростей резания; многоинструментной обработки одной поверхности заготовки или одновременной параллельной обработки нескольких ее поверхностей; одновременной обработки нескольких заготовок и т. д.

4. Элементы токарного проходного резца

Токарный прямой проходной резец (рис. VI.7) состоит из двух частей: рабочей *I* и стержня *II*. Стержень имеет квадратную или прямоугольную форму поперечного сечения и служит для закрепления резца в резцедержателе станка. Рабочая часть резца выполняет работу резания и состоит из нескольких элементов.

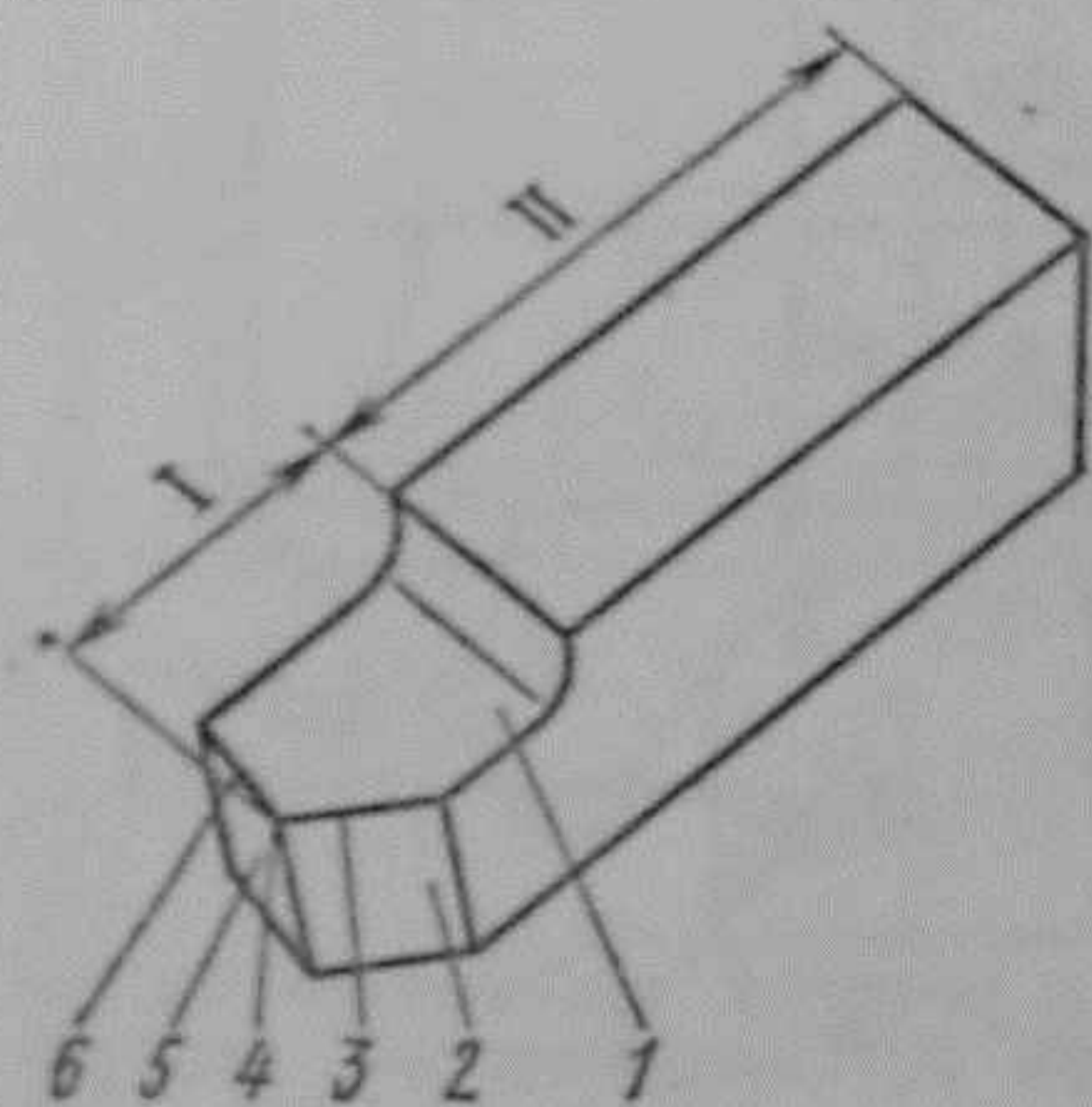


Рис. VI.7. Элементы токарного прямого проходного резца

Передняя поверхность 1 — поверхность, по которой сходит стружка в процессе резания. *Главная задняя поверхность 2* — поверхность, обращенная к поверхности резания заготовки. *Вспомогательная задняя поверхность 5* — поверхность, обращенная к обработанной поверхности заготовки. *Главное режущее лезвие 3* — линия пересечения передней и главной задней поверхностей. *Вспомогательное режущее лезвие 6* — линия пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей. *Вершина резца 4* — точка пересечения главного и вспомогательного режущих лезвий.

Перечисленные элементы имеют не только резцы, но и другие режущие инструменты. Кроме этих элементов, инструменты могут иметь переходное (дополнительное) режущее лезвие, располагающееся между главным и вспомогательным режущими лезвиями. В этом случае рабочая часть инструмента имеет еще переходную заднюю поверхность. У некоторых инструментов возможно дублирование элементов.

Вершина рабочей части резца может быть острой или закругленной. Если вершина резца закруглена, то шероховатость обработанной поверхности уменьшается, так как в этом случае уменьшается площадь остаточного сечения срезаемого слоя материала. Наличие переходного режущего лезвия также уменьшает шероховатость обработанной поверхности заготовки.

5. Координатные плоскости для определения углов резца

Для выполнения работы резания рабочей части режущего инструмента придают форму клина. Для этого инструмент затачивают по передней и задним поверхностям. Для определения углов, под которыми располагаются поверхности рабочей части инструмента относительно друг друга, вводят координатные плоскости. Рассмотрим координатные плоскости применительно к токарной обработке.

Основная плоскость (ОП) — плоскость, параллельная направлениям продольной и поперечной подачи. У токарных резцов за основную плоскость принимают плоскость, проходящую через основание стержня (рис. VI.8, а).

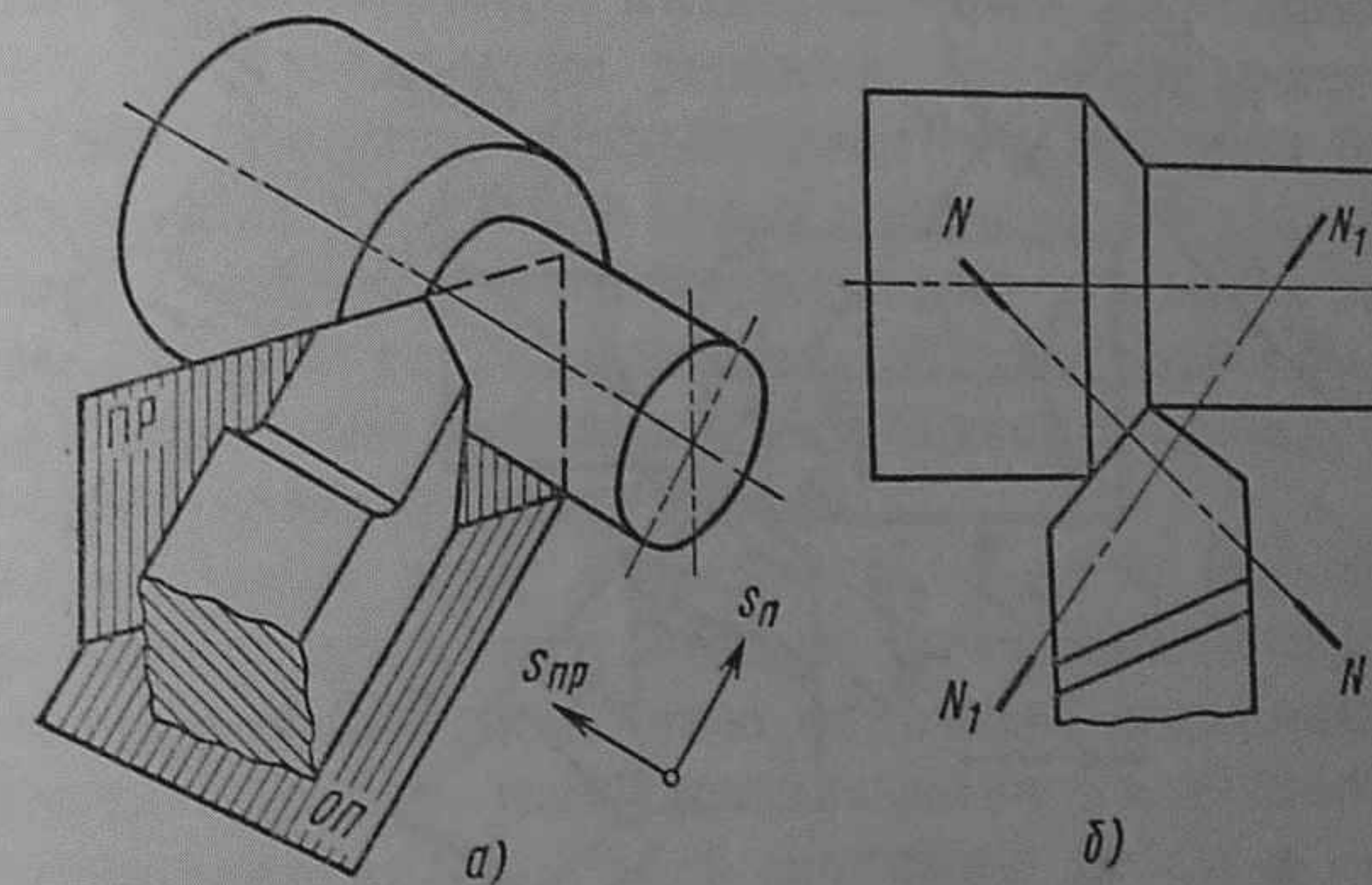


Рис. VI.8. Координатные плоскости

Плоскость резания (ПР) проходит через главное режущее лезвие резца, касательно к поверхности резания заготовки.

Главная секущая плоскость (NN) — плоскость, перпендикулярная к проекции главного режущего лезвия на основную плоскость (рис. VI.8, б).

Вспомогательная секущая плоскость (N₁N₁) — плоскость, перпендикулярная к проекции вспомогательного режущего лезвия на основную плоскость. На рис. VI.8, б показаны следы плоскостей NN и N₁N₁.

6. Углы токарного резца

Углы резца определяют положение элементов рабочей части в пространстве относительно координатных плоскостей и относительно друг друга. Эти углы называют углами резца в статике. Знание углов инструмента необходимо для его изготовления в металле. Кроме того, углы инструмента оказывают существенное влияние на процесс резания и качество обработки. У токарного резца различают главные и вспомогательные углы, которые рассматривают исходя из предположения, что ось стержня резца пер-

пендикулярна к линии центров токарного станка; вершина реза находится на линии центров станка; совершается лишь главное движение резания. Углы токарного прямого проходного реза показаны на рис. VI.9.

Главный передний угол γ измеряют в главной секущей плоскости между следами передней поверхности и плоскости, перпендикулярной к следу плоскости резания. В дальнейшем угол γ будем называть передним углом.

Передний угол γ оказывает большое влияние на процесс резания материала. С увеличением угла γ уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал,

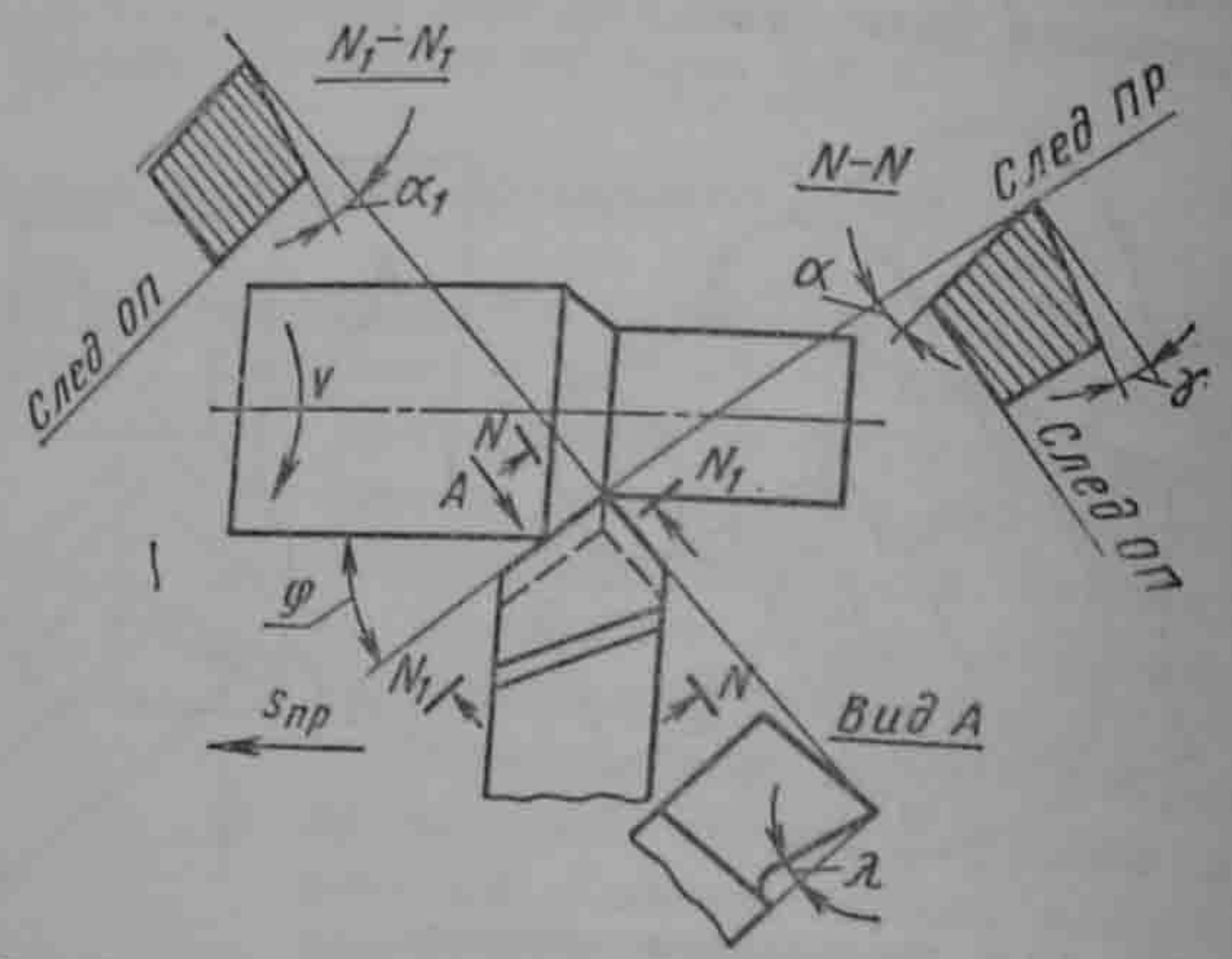


Рис. VI.9. Углы реза в статике

снижаются сила резания и расход мощности. Одновременно улучшаются условия схода стружки и повышается качество обработанной поверхности заготовки. Однако чрезмерное увеличение угла γ приводит к ослаблению главного режущего лезвия, снижению его прочности, увеличению износа вследствие выкрашивания, ухудшению условий теплоотвода от режущего лезвия.

При обработке хрупких и твердых материалов для повышения прочности и увеличения времени работы инструмента (стойкости) следует назначать меньшие углы; при обработке мягких и вязких материалов передний угол имеет большие значения.

Главный задний угол α измеряют в главной секущей плоскости между следами плоскости резания и главной задней поверхностью инструмента и поверхностью резания заготовки, вследствие чего уменьшается износ инструмента по главной задней поверхности. Увеличение угла α приводит к снижению прочности режущего лезвия. Угол α назначают исходя из величины упругого деформирования обрабатываемого материала.

Вспомогательный задний угол α_1 измеряют во вспомогательной секущей плоскости между следами вспомогательной задней поверхности и плоскости, проходящей через вспомогательное режущее лезвие перпендикулярно основной плоскости. Наличие у инструмента угла α_1 уменьшает трение между вспомогательной задней поверхностью инструмента и обработанной поверхностью заготовки.

Главный угол в плане ϕ — угол между проекцией главного режущего лезвия на основную плоскость и направлением подачи.

Угол ϕ влияет на шероховатость обработанной поверхности заготовки: с уменьшением ϕ шероховатость обработанной поверхности уменьшается. Одновременно уменьшается толщина и увеличивается ширина срезаемого слоя материала. Это приводит к тому, что увеличивается активная длина главного режущего лезвия. Сила и температура резания, приходящиеся на единицу длины режущего лезвия, уменьшаются, что снижает износ инструмента. С уменьшением угла ϕ резко возрастает составляющая силы резания, направленная перпендикулярно оси заготовки, что вызывает повышенную ее деформацию. С уменьшением угла ϕ возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработанной поверхности.

Вспомогательный угол в плане ϕ_1 — угол между проекцией вспомогательного режущего лезвия на основную плоскость и направлением, обратным движению подачи. С уменьшением угла ϕ_1 шероховатость обработанной поверхности уменьшается, одновременно увеличивается прочность вершины реза и снижается его износ.

Угол наклона главного режущего лезвия λ измеряют в плоскости, проходящей через главное режущее лезвие реза перпендикулярно основной плоскости, между главным режущим лезвием и линией, проведенной через вершину реза параллельно основной плоскости.

Угол λ может быть положительным, отрицательным и равным нулю (рис. VI.10, а—в), что влияет на направление схода стружки.

Если вершина реза является высшей точкой главного режущего лезвия, то угол λ отрицателен и стружка сходит в направлении подачи. Если главное режущее лезвие параллельно основной плоскости, то $\lambda = 0$ и стружка сходит по оси реза. Если вершина реза является низшей точкой главного режущего лезвия, то угол λ положителен и стружка сходит в направлении, обратном направлению подачи.

Направление схода стружки важно учитывать при обработке заготовок на токарных автоматах. При обработке заготовок стружку необходимо отводить так, чтобы она не мешала работе инструментов в соседних позициях автомата.

С увеличением угла λ качество обработанной поверхности ухудшается, осевая составляющая силы резания уменьшается, а радиальная и вертикальная составляющие увеличиваются.

Углы γ , α , φ и φ_1 могут изменяться вследствие погрешности установки резца в резцедержателе станка. Если при обтачивании цилиндрической поверхности вершину резца установить выше линии центров станка, то угол γ увеличится, а угол α уменьшится. При установке вершины резца ниже линии центров станка угол γ уменьшится, а угол α увеличится.

Если ось резца не будет перпендикулярна линии центров станка, то это вызовет изменение углов φ и φ_1 .

В процессе резания углы резца γ и α также изменяются. Это объясняется тем, что изменяется положение плоскости резания в пространстве из-за наличия двух движений: вращения заготовки и поступательного движения резца. В этом случае фактической поверхностью резания, к которой касательна плоскость

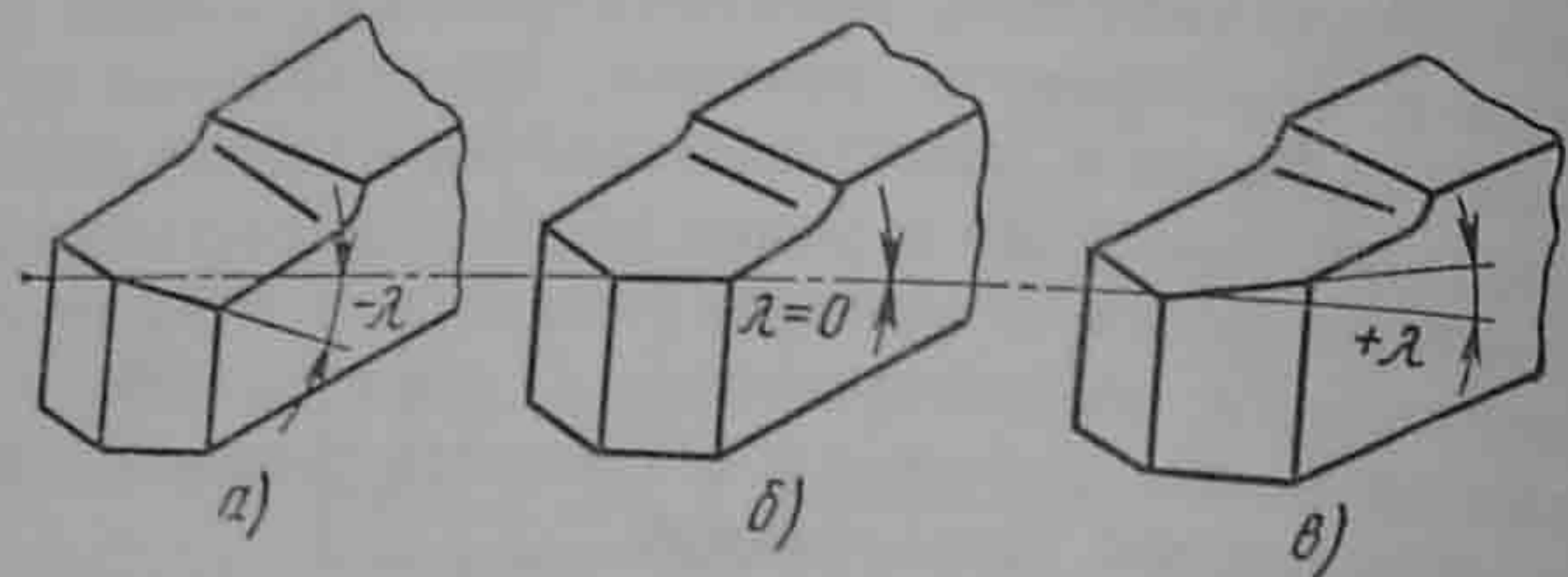


Рис. VI.10. Угол наклона главного режущего лезвия

резания, является винтовая поверхность. Положение плоскости резания в пространстве определяется соотношением скоростей этих двух движений. При работе с большими подачами, а также при нарезании резьбы резцом, углы γ и α будут изменяться существенно, что необходимо учитывать при изготовлении резцов.

Углы γ и α в процессе резания могут быть переменными (например, при обработке сложных поверхностей деталей типа кулачков, лопаток турбин и т. п.).

Углы при обработке таких деталей изменяются вследствие сложного относительного движения заготовки и резца, в результате чего изменяется положение плоскости резания в пространстве при обработке различных участков поверхности заготовки.

7. Резание как процесс последовательного деформирования срезаемого слоя металла

Металлы в твердом состоянии являются поликристаллическими телами, имеющими зернистую (полиэдрическую) структуру с определенной кристаллической решеткой. При резании металлов и их сплавов отдельные кристаллы деформируются, а затем разрушаются по кристаллографическим плоскостям.

Процесс резания металла можно представить следующей схемой. В начальный момент, когда движущийся резец под действием силы P вдавливаются в металл (рис. VI.11), в срезаемом слое возникают упругие деформации. При дальнейшем движении резца

упругие деформации, накапливаясь по абсолютной величине, переходят в пластические. В материале заготовки возникает сложное упругонапряженное состояние. В плоскости, совпадающей с траекторией движения вершины резца, возникают касательные τ_x и нормальные напряжения σ_y . Величина τ_x имеет наибольшее значение в точке A приложения действующей силы, а по мере удаления от нее уменьшается до нуля.

Нормальные напряжения σ_y вначале действуют как растягивающие ($+\sigma_y$), что при определенных условиях может вызвать «раскалывание» металла — опережающую трещину в направлении приложения внешней силы. Напряжения σ_y имеют наибольшее значение в точке A , а затем быстро уменьшаются и, переходя через нуль, превращаются в напряжения сжатия ($-\sigma_y$).

Срезаемый слой металла находится под воздействием давления резца, касательных и нормальных напряжений, и сложное упругонапряженное состояние металла переходит в пластическую деформацию. Возрастание пластической деформации приводит к сдвиговым деформациям — смещению частей кристаллов относительно друг друга.

Наибольшие пластические деформации возникают в зоне стружкообразования ABC (рис. VI. 11). Зона деформирования (стружкообразования) ограничивается линией AB , вдоль которой происходят первые сдвиговые деформации, и линией AC , вдоль которой происходят последние сдвиговые деформации.

Сдвиговые деформации вызывают скольжение отдельных частей зерен по кристаллографическим плоскостям (плоскостям скольжения) в определенных направлениях. Плоскости скольжения, возникающие вследствие необратимого перемещения атомов, дробят зерна на отдельные части (пластины), которые в процессе деформации поворачиваются в определенном направлении по отношению к действующей силе. Зерна вытягиваются, располагаются цепочками; кроме того, упрочняется металл (рис. VI.12).

В момент, когда пластические деформации достигнут наибольшей величины, а напряжения превысят силы внутреннего сцепления зерен металла, зерна смещаются относительно друг друга и

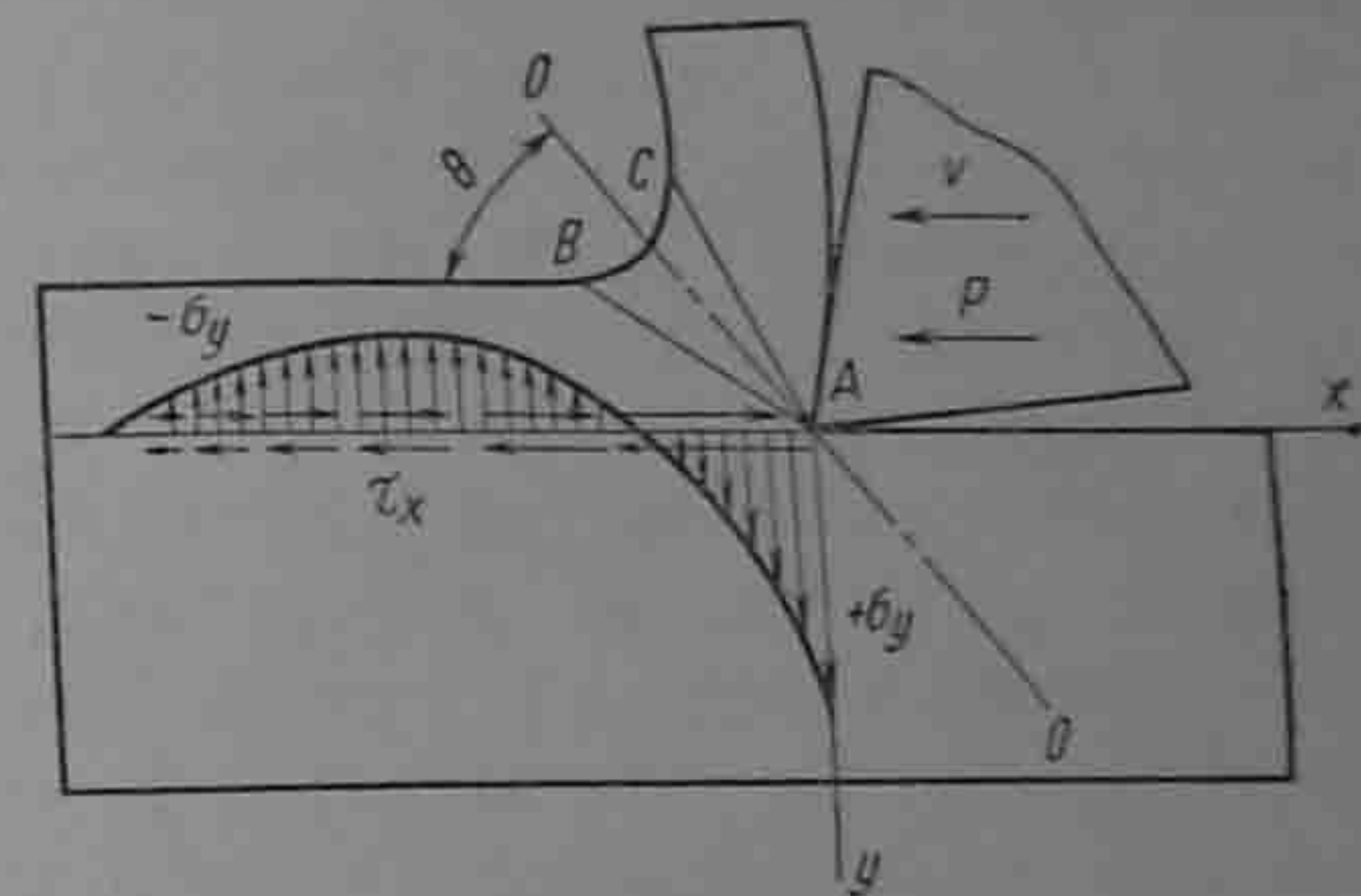


Рис. VI.11. Схема упругонапряженного состояния металла при обработке резанием

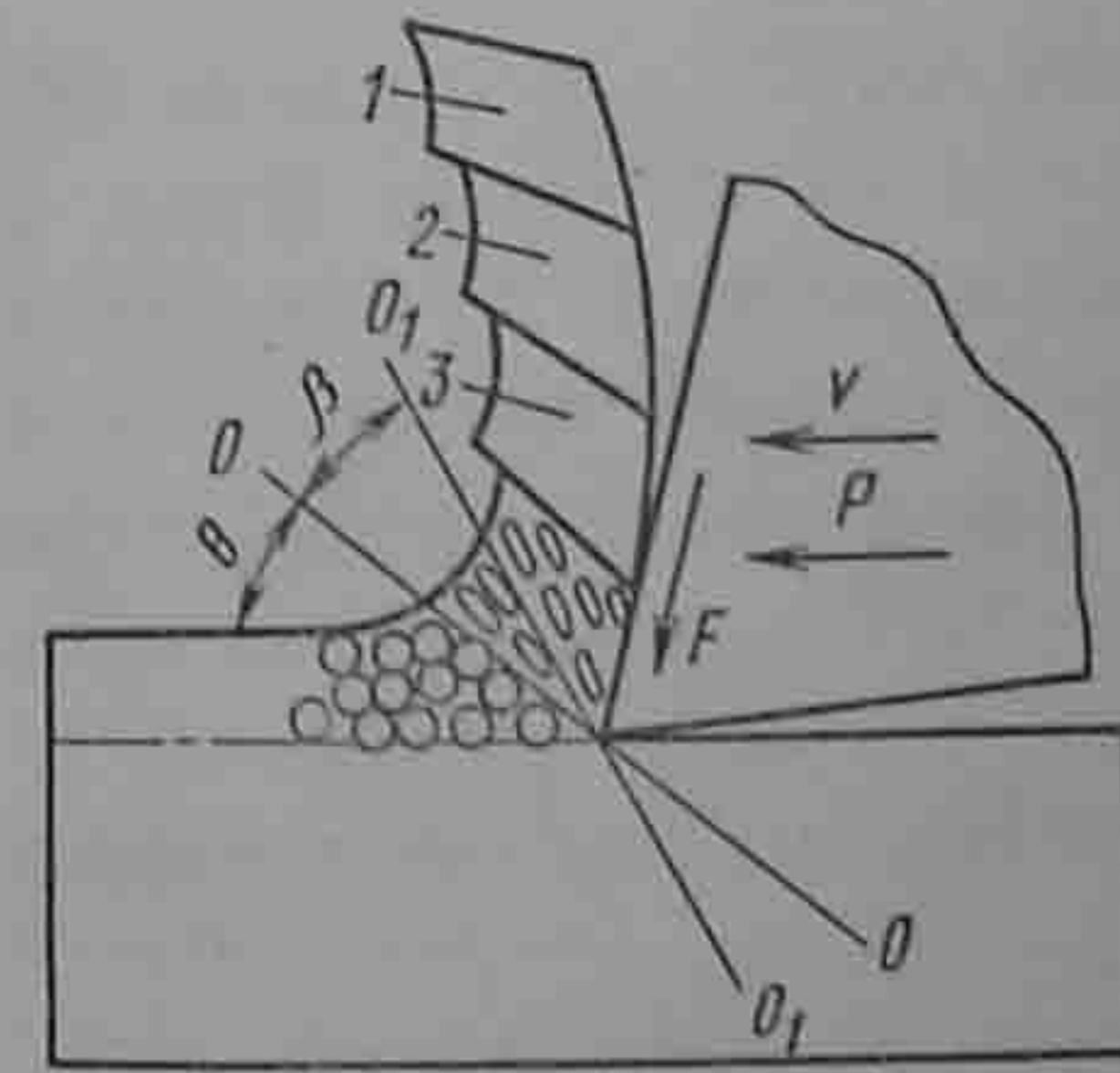


Рис. VI.12. Схема процесса образования стружки

скалывается элементарный объем металла I (рис. VI.12). Далее процесс деформирования повторяется, скалываются следующие элементарные объемы металла $2, 3$ и т. д. и образуется стружка.

При больших скоростях резания считают, что сдвиговые деформации происходят не по линиям AB и AC , а по одной плоскости — плоскости сдвига OO (см. рис. VI.11). Наличие такой плоскости было впервые установлено русским ученым И. А. Тиме, а математическое обоснование положения этой плоскости в пространстве дано проф. К. А. Зворыкиным. Плоскость сдвига OO располагается под углом θ к направлению движения резца. Этот угол называют *углом сдвига*.

Срезаемый слой, деформированный в зоне стружкообразования, превратившись в стружку, подвергается дополнительной деформации вследствие трения стружки о переднюю поверхность инструмента, что окончательно формирует структуру в виде вытянутых зерен. Зерна вытягиваются по плоскости O_1O_1 , которая составляет с плоскостью сдвига OO угол β (рис. VI.12).

Таким образом, резание — это процесс последовательного деформирования срезаемого слоя металла: упругого, пластического разрушения.

Характер деформации зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрии инструмента, режимов резания, условий обработки. Наибольшее значение в процессе резания пластичных материалов (сталей средней твердости) имеет пластическая деформация. У хрупких металлов пластическая деформация практически отсутствует.

Для сталей средней твердости положение плоскости сдвига OO в пространстве практически постоянно (угол $\theta \approx 30^\circ$). Угол β зависит от свойств обрабатываемого материала и угла резания ($\delta = 90^\circ - \gamma$) режущего инструмента и составляет $0-30^\circ$. При резании хрупких металлов угол β меньше (близок к нулю), при резании пластичных металлов β доходит до 30° .

Стружкообразование — сложный физико-механический процесс деформирования металла, на который влияют многие факторы. Знание законов пластического деформирования и явлений, сопровождающих процесс резания, позволяет найти пути повышения качества обработанных поверхностей деталей машин, их надежности, износостойкости, снижения мощности резания и т. д.

8. Виды стружек и их усадка

При резании металлов с разными физико-механическими свойствами образуются три вида стружек: сливная, скалывания и надлома (рис. VI.13, а—в).

Сливная стружка образуется при резании пластичных металлов и сплавов и представляет собой сплошную ленту с гладкой внутренней (прирезцовой) стороной. С внешней стороны сливная стружка имеет слабо выраженные пилообразные зазубрины.

Стружка скалывания образуется при обработке металлов средней твердости. Она имеет гладкую внутреннюю сторону, а на внешней стороне — ярко выраженные зазубрины. Она как бы состоит из отдельных элементов, соединенных между собой в ленту.

Стружка надлома образуется при обработке хрупких металлов и состоит из отдельных элементов, не связанных между собой. С внутренней стороны она шероховатая.

Вид стружки зависит от физико-механических свойств обрабатываемого металла, режима резания, геометрии режущего инструмента, применяемых смазочно-охлаждающих веществ в процессе резания. Вид образующейся стружки влияет на скорость изнашивания режущего инструмента, шероховатость обработанной поверхности, силы резания, конструкцию инструмента (размеры стружечных канавок). Вид стружки (надлома) упрощает или усложняет (сливная стружка) ее отвод из зоны резания и транспортировку.

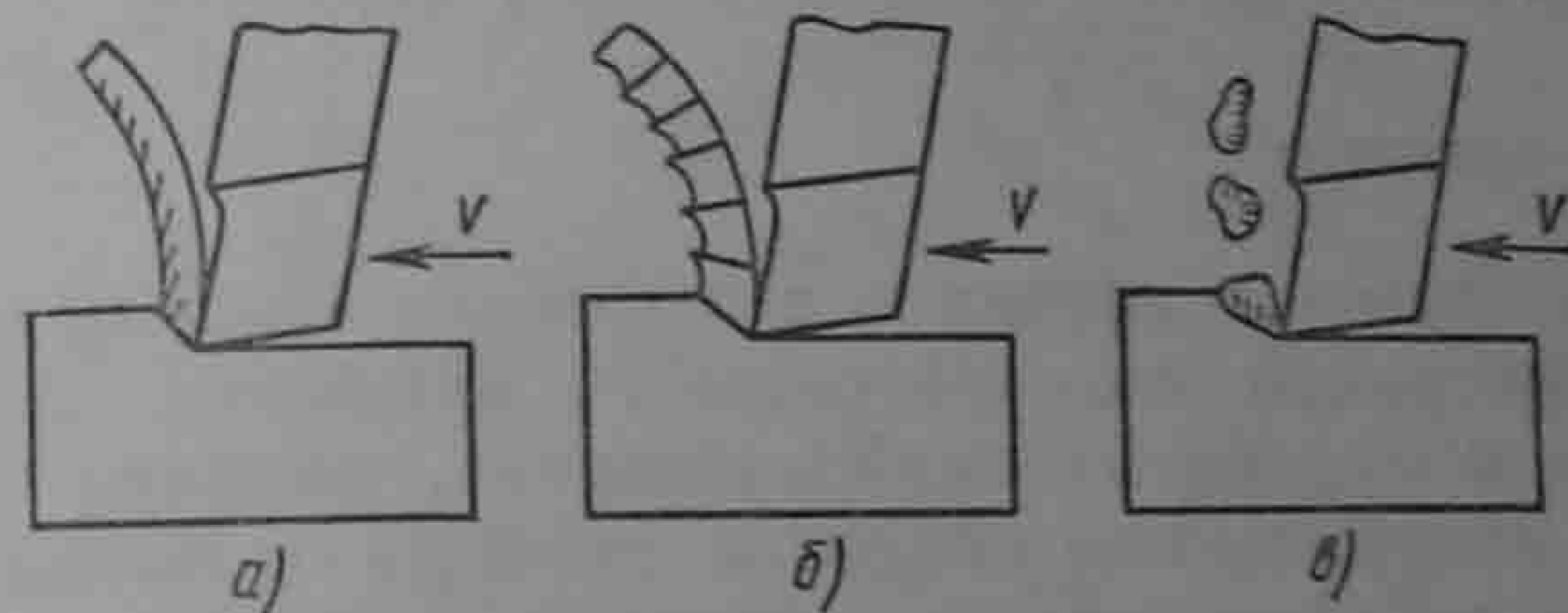


Рис. VI.13. Виды стружек:

а — сливная; б — скалывания; в — надлома

С точки зрения удобства удаления стружки из зоны резания и ее транспортировки, а также предохранения обработанной поверхности от царапания ее образующейся стружкой, целесообразна обработка резанием в условиях образования стружки надлома. Для получения стружки надлома (элементарной) на режущем инструменте выполняют стружкозавивательные и стружколомные устройства, применяют прерывистый процесс резания, изменяют геометрию режущего инструмента и режим резания, а при изготовлении деталей на автоматах часто используют специальные автоматные стали.

Изменяя факторы, влияющие на характер образующейся стружки, можно при резании одного и того же металла получить разные виды стружек, так как пластичность и хрупкость являются по свойствам вещества, а характеризуют его состояние.

Стружка скалывания претерпевает наибольшие деформации на ее образование затрачивается большая работа по сравнению с работой, затрачиваемой при образовании сливной стружки и стружки надлома.

Стружка, образующаяся в процессе резания, подвергается значительной пластической деформации, одним из проявлений ко-

торой является ее усадка. Усадка состоит в том, что длина стружки меньше длины обработанной поверхности, а толщина — больше практически не изменяется.

Укорочение и утолщение стружки по сравнению с длиной и толщиной срезаемого слоя называют *усадкой стружки*, которая характеризуется коэффициентом усадки K .

Чем пластичнее металл, тем больше коэффициент усадки стружки. Для хрупких металлов K близок к единице, для пластичных металлов $K = 5 \div 7$. Усадка стружки зависит от физико-механических свойств обрабатываемого металла, режима резания, геометрии инструмента, условий резания и т. д.

При скоростях резания 10—50 м/мин усадка стружки наибольшая, а при скоростях резания более 200—500 м/мин она резко уменьшается. С увеличением угла резания усадка увеличивается, с возрастанием главного угла в плане — уменьшается. Смазочно-охлаждающие жидкости снижают усадку стружки.

9. Силы резания

Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы P , приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке, направление которой совпадает с направлением скорости резания v . Произведение Pv представляет собой работу, затрачиваемую на деформацию и разрушение материала заготовки:

$$A = A_y + A_n + A_T,$$

где A — работа, затраченная на срезание припуска с обрабатываемой заготовки; A_y — работа, затраченная на упругое деформирование металла; A_n — работа, затраченная на пластическое деформирование металла и его разрушение; A_T — работа, затраченная на преодоление сил трения задних поверхностей инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

В результате сопротивления металла деформированию возникают реактивные силы, действующие на резец: нормального давления и трения. Реактивные силы — это силы упругого P_{y1} и пластического P_{n1} деформирования, действующие перпендикулярно передней поверхности резца, и силы P_{y2} и P_{n2} , действующие перпендикулярно задней поверхности резца (рис. VI.14, а). Наличие нормально действующих сил обуславливает возникновение сил трения $T_1 = f_1(P_{y1} + P_{n1})$, действующей вдоль передней поверхности резца, и $T_2 = f_2(P_{y2} + P_{n2})$, действующей вдоль задней поверхности резца (f_1 и f_2 — коэффициенты трения стружки о резец и резца о заготовку).

Указанную систему сил приводят к одной силе R — равнодействующей силе резания:

$$\vec{R} = \vec{P}_{y1} + \vec{P}_{n1} + \vec{P}_{y2} + \vec{P}_{n2} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2.$$

Условно считают, что точка приложения силы R находится на рабочей части главного режущего лезвия резца (рис. VI.14, б). Абсолютная величина, точка приложения и направление в пространстве равнодействующей силы резания R в процессе обработки являются переменными.

Это объясняется неоднородностью структуры и переменной пластичностью срезаемого слоя (наличие штамповочных и литейных уклонеров, галтелей и т. д.), изменением углов γ и α в процессе резания и т. д. Поэтому для практических расчетов используют равнодействующую силу резания, а ее составляющие, действующие по трем взаимно перпендикулярным направлениям: координатным осям металлорежущего станка. Такими осями для токарно-

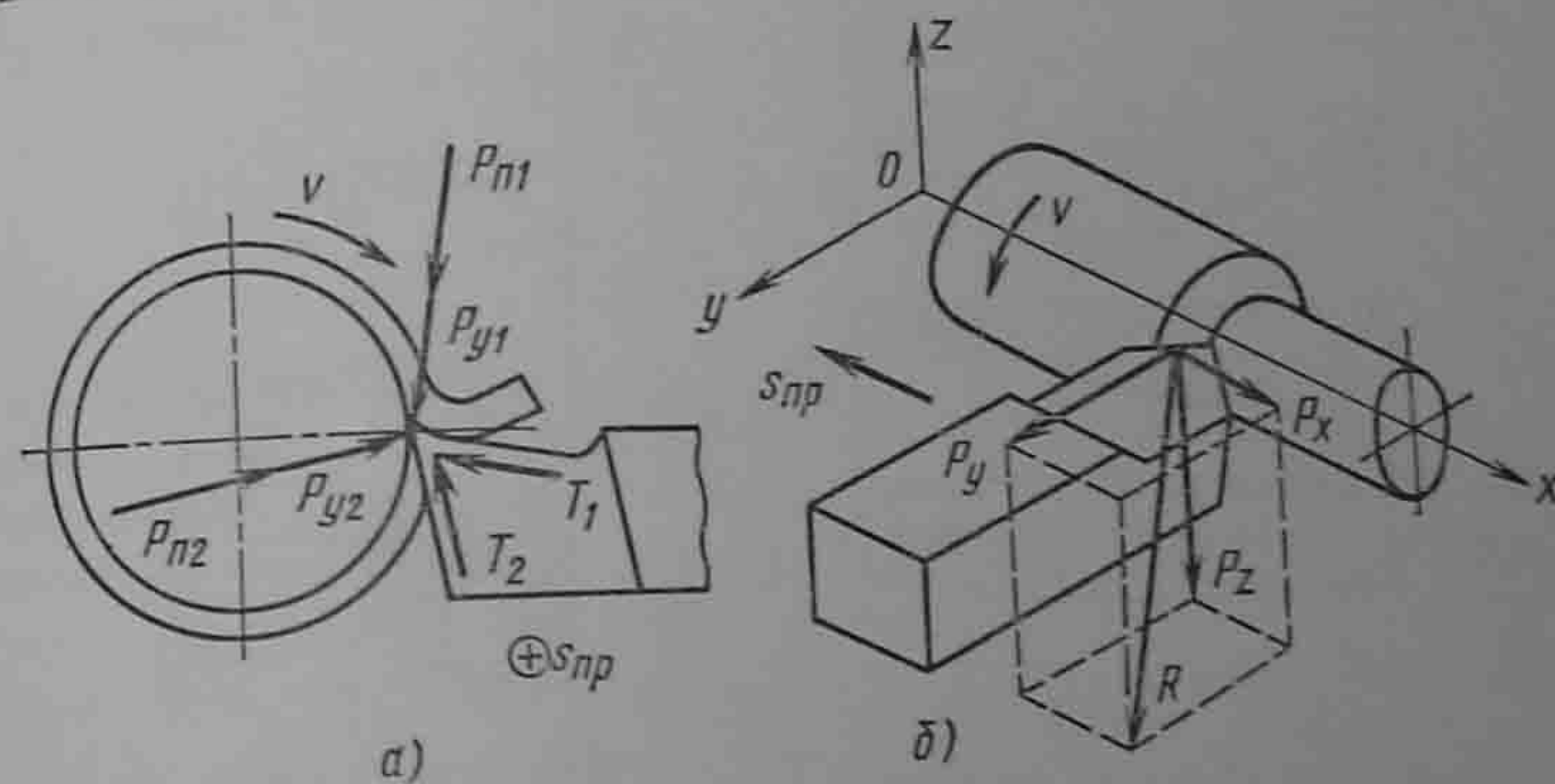


Рис. VI.14. Схема сил, действующих на резец (а), и разложение силы резания на составляющие (б)

винторезного станка являются: ось x — линия центров станка, ось y — линия, перпендикулярная к линии центров станка, ось z — линия, перпендикулярная к плоскости $x - y$ (рис. VI.14, б).

Вертикальная составляющая силы резания P_z действует в плоскости резания в направлении главного движения (по оси z). По силе P_z определяют крутящий момент на шпинделе станка (заготовке), эффективную мощность резания, деформацию изгиба заготовки в плоскости $x - z$ (рис. VI.15, а), изгибающий момент M_z , действующий на стержень резца (рис. VI.15, б); по силе P_z ведут динамический расчет механизмов коробки скоростей станка.

Радиальная составляющая силы резания P_y действует в плоскости $x - y$ перпендикулярно оси заготовки. По силе P_y определяют упругое отжатие резца от заготовки и деформацию изгиба заготовки в плоскости $x - y$ (рис. VI.15, а).

Осевая составляющая силы резания P_x действует в плоскости $x - y$ вдоль оси заготовки. По силе P_x рассчитывают механизмы подачи станка и изгибающий момент M_x , действующий на стержень резца (рис. VI.15, б).

По величине деформации заготовки от сил P_z и P_y рассчитывают ожидаемую точность размерной обработки заготовки и погнгибающего момента от сил P_z и P_x рассчитывают стержень резца на прочность и т. д.

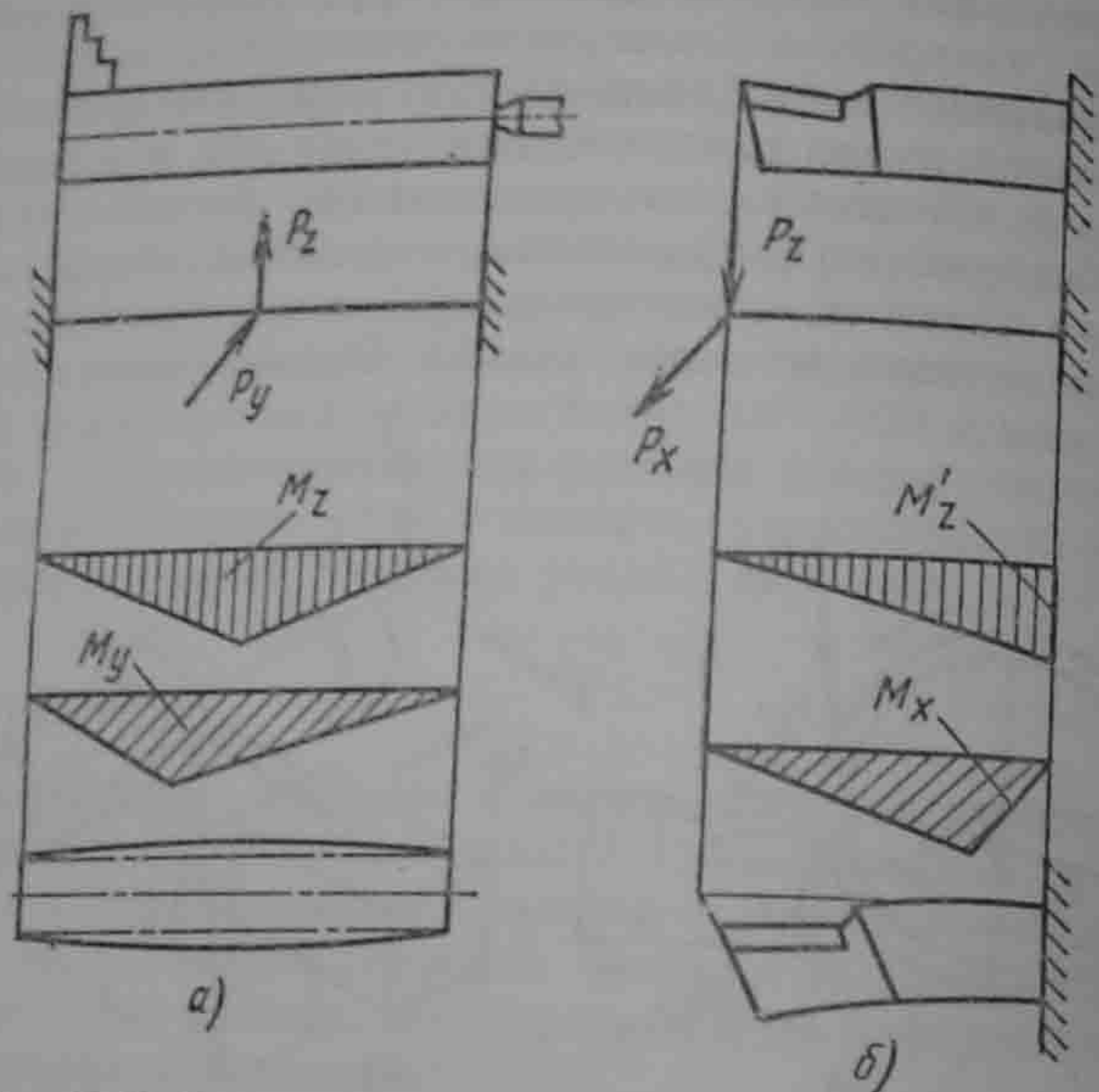


Рис. VI.15. Схема деформации заготовки (а) и реза (б) под действием силы резания

Величину и направление равнодействующей силы резания определяют как диагональ параллелепипеда, построенного на составляющих силах:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$$

Силу P_z (в Н) определяют по эмпирической формуле

$$P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}} v^{n_{P_z}} k_{M_{P_z}}$$

где C_{P_z} — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/об; v — скорость резания, м/мин; $k_{M_{P_z}}$ — коэффициент, учитывающий факторы, не вошедшие в формулу (величины углов резца, условия обработки, материал режущего инструмента и т. д.).

Коэффициенты C_{P_z} и $k_{M_{P_z}}$ и показатели степеней x_{P_z} , y_{P_z} и n_{P_z} даны в справочниках в зависимости от конкретных условий обработки.

Аналогичные формулы существуют для определения сил P_y , P_x . Однако на практике определяют лишь силу P_z , а силы P_x и P_y берут в частях от P_z .

Соотношение между силами P_z , P_y , P_x зависит от геометрии режущей части резца, режима резания, износа резца, физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий обработки.

При обработке стали резцом с $\gamma = 15^\circ$, $\phi = 45^\circ$, $\lambda = 0$, без охлаждения приближенно считают, что $P_z : P_y : P_x = 1 : 0,45 : 0,35$.

Отношения $P_y : P_z : P_x$ возрастают с увеличением износа резца; с уменьшением угла ϕ увеличивается отношение $P_y : P_z$; с увеличением подачи возрастает отношение $P_x : P_z$ и т. д.

Крутящий момент на шпинделе станка (в Н·м)

$$M_k = \frac{P_z D_{заг}}{2 \cdot 1000}$$

где $D_{заг}$ — диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Эффективной мощностью N_e называют мощность, расходуемую на процесс деформирования и срезания с заготовки слоя материала.

При точении цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке эффективная мощность в (кВт)

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_x n s_{пр}}{60 \cdot 10^3}$$

где n — частота вращения заготовки, об/мин.

Мощность электродвигателя станка (в кВт)

$$N_{э} = \frac{N_e}{\eta}$$

где η — к. п. д. механизмов и передач станка.

10. Наростообразование при резании металлов

При обработке пластичных металлов резанием на передней поверхности инструмента может образоваться слой металла, который называют *наростом*.

Нарост представляет собой сильно деформированный металл, структура которого отличается от структур обрабатываемого материала и образующейся стружки.

Образование нароста объясняют тем, что геометрическая форма инструмента не является идеальной с точки зрения обтекания его металлом. При некоторых условиях обработки силы трения между передней поверхностью инструмента и частицами срезанного слоя металла становятся больше сил внутреннего сцепления, и при наличии определенных температурных условий металл прочно оседает на передней поверхности инструмента в виде нароста.

Геометрические размеры и форма нароста постоянно изменяются. В процессе обработки резанием нарост непрерывно обновляется за счет сил трения между отходящей стружкой и его внешней поверхностью. Частицы нароста постоянно уносятся стружкой, целиком срывается с передней поверхности заготовки, иногда нарост же вновь возникает (рис. VI.16, а). Объясняется это тем, что нарост находится под действием силы трения T , сил сжатия P_1 и P_2 и силы растяжения Q (рис. VI.16, б). С изменением размеров нароста меняется и соотношение действующих на него сил. Когда сумма сил \bar{P}_1 и \bar{Q} становится больше силы трения \bar{T} , то происходит разрушение и срыв нароста. Частота срывов нароста зависит от скорости резания и достигает нескольких сотен в секунду.

Нарост существенно влияет на процесс резания и качество обработанной поверхности заготовки, так как при его наличии

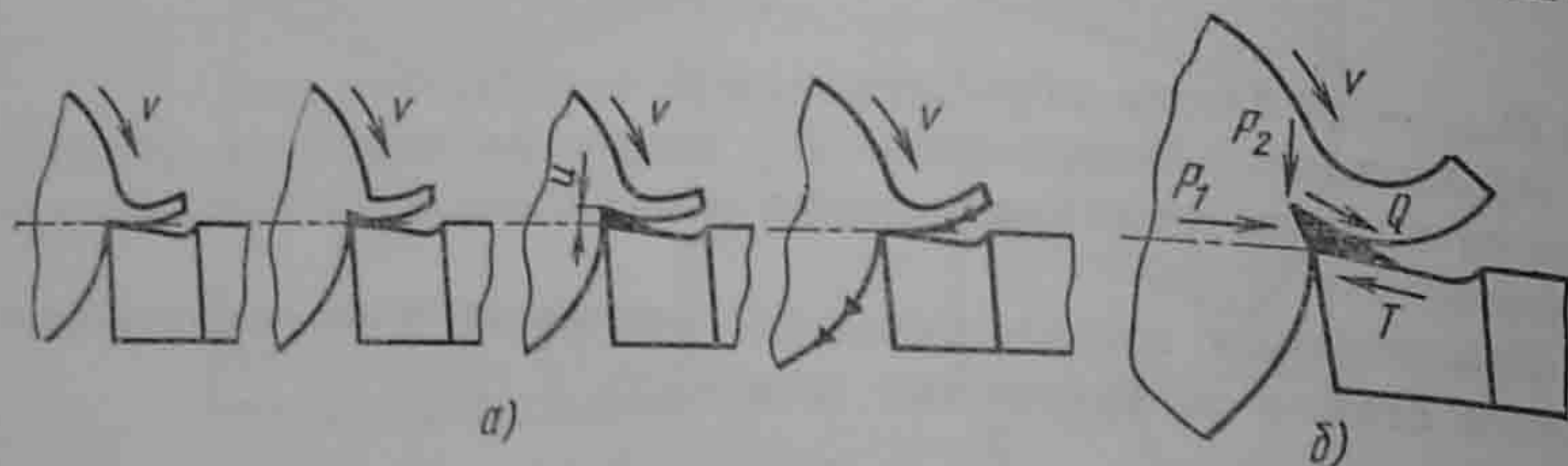


Рис. VI.16. Схемы образования и разрушения нароста (а) и сил, действующих на нарост (б)

изменяются условия стружкообразования. Процесс наростообразования играет двойную роль при обработке металлов.

Положительное влияние нароста на процесс резания. При наличии нароста изменяется форма передней поверхности инструмента, что приводит к увеличению переднего угла, а следовательно, к уменьшению силы резания. Вследствие высокой твердости нарост способен резать металл. Нарост удаляет центр давления стружки от режущего лезвия, вследствие чего уменьшается износ режущего инструмента по передней поверхности. Нарост улучшает теплоотвод от режущего инструмента.

Отрицательное влияние нароста на процесс резания. Нарост увеличивает шероховатость обработанной поверхности. Частицы нароста, внедрившиеся в обработанную поверхность, при работе детали с сопрягаемой деталью вызывают повышенный износ пары. Вследствие изменения наростом геометрии режущего инструмента изменяются размеры обрабатываемой поверхности в поперечных (диаметральных) сечениях по длине заготовки, и обработанная поверхность получается волнистой.

Вследствие изменения переднего угла инструмента изменяется величина силы резания, что вызывает вибрацию узлов станка и инструмента, а это, в свою очередь, ухудшает качество обработанной поверхности.

Следовательно, при грубой черновой обработке, когда выделяют большие силы резания, снимается толстый слой металла и выделяется значительное количество теплоты, нарост является положительным явлением, и, наоборот, отрицательным при чистой окончательной обработке, так как снижается качество обработанной поверхности.

Наростообразование зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, скорости резания, геометрии режущего инструмента и других факторов. Наиболее интенсивно нарост образуется при обработке пластичных материалов. Зависимость высоты u нароста от скорости резания дана в качестве примера на рис. VI.17. Используя подобные графики, построенные для разных материалов, можно установить зону наибольшего наростообразования. Практически считают, что наибольшее наростообразование происходит при скоростях резания 18—30 м/мин, а при скоростях резания до 10—12 м/мин и более 50—70 м/мин нарост на режущем инструменте не образуется.

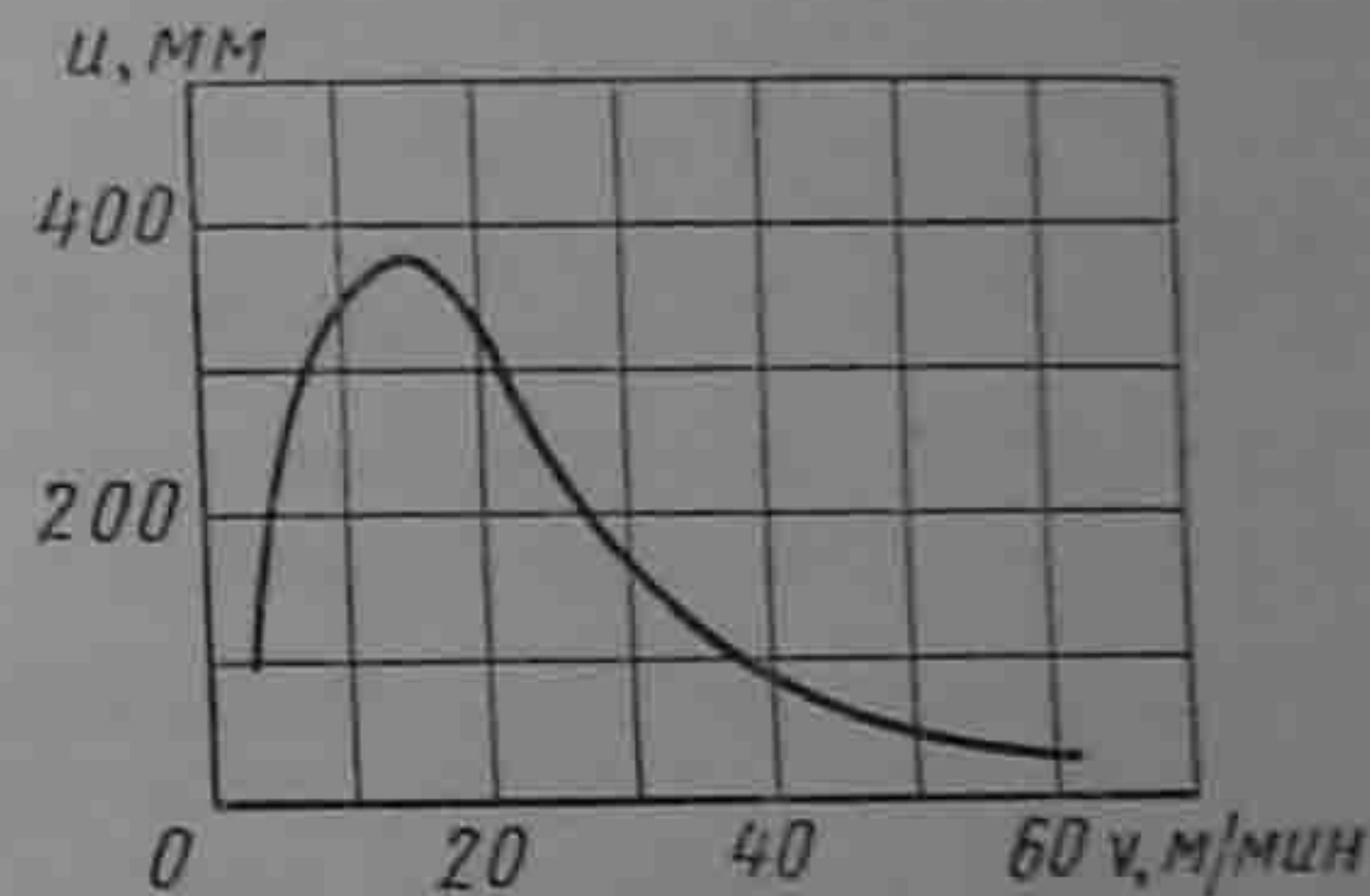


Рис. VI.17. Зависимость высоты нароста от скорости резания

Исследования процесса наростообразования позволяют дать рекомендации по борьбе с ним в условиях чистой обработки. К ним относят: изменение геометрии режущего инструмента и скорости резания, применение смазочно-охлаждающих жидкостей, тщательную доводку передней поверхности инструмента для снижения коэффициента трения между ней и отходящей стружкой.

11. Упрочнение при обработке резанием

При установившемся процессе резания стружка отделяется от основного металла по поверхности сдвига OO (рис. VI.18, а). Однако инструмент всегда имеет радиус закругления режущего лезвия ρ в мм. При обычной заточке инструмента радиус $\rho = 0,02$ мм. Такой инструмент может срезать с заготовки стружку только в том случае, если глубина резания t больше радиуса ρ . При этом условии в стружку переходит лишь часть срезаемого слоя металла, лежащая выше линии CD . Слой металла между линиями AB и CD , толщина которого соизмерима с величиной радиуса ρ , будет упругоэластически деформироваться, образуя обработанную поверхность.

При работе инструмента радиус ρ быстро возрастает вследствие затупления режущего лезвия, и расстояние между линиями AB и CD увеличивается. Следовательно, в процессе резания большая толщина металла подвергается упругоэластическому деформированию. Таким образом, поверхность сдвига лишь ус-

ловно можно считать единственной. В действительности же существует несколько таких поверхностей, расположенных в глубине деформируемой зоны.

Результатом упругопластического деформирования является упрочнение (наклеп) металла обработанной поверхности, что проявляется в повышении ее поверхностной твердости. Действительно, если твердость металла заготовки принять за 100%, то твердость металла обработанной поверхности после обработки резанием может увеличиться в 2 раза. То же можно сказать и о твердости стружки, которая увеличивается в 2—3 раза. Указанные значения твердости могут колебаться, так как величина пластической деформации и глубина ее проникновения зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего инструмента и режима резания.

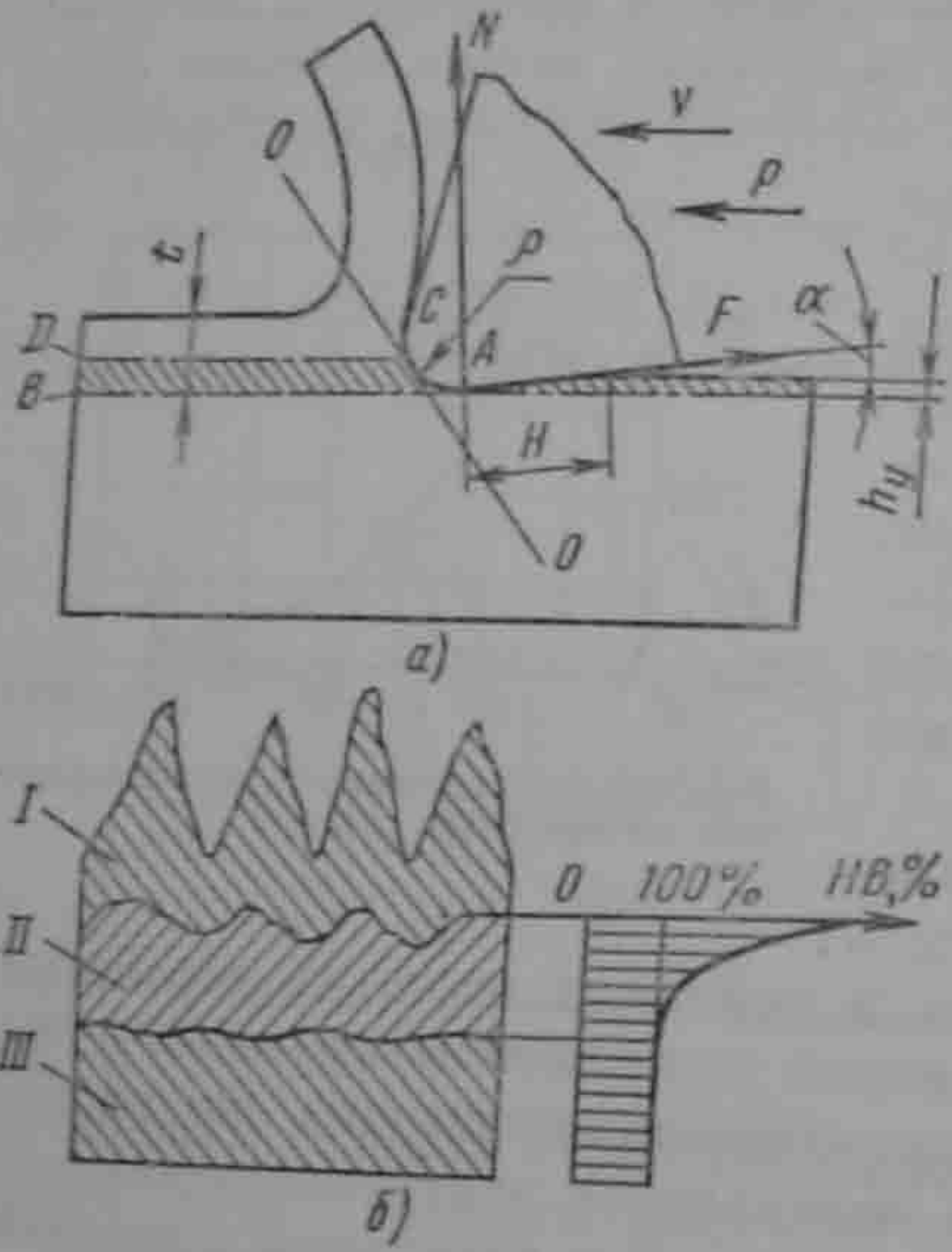


Рис. VI.18. Схема образования поверхностного слоя заготовки (а) и вид распространения упрочнения по толщине заготовки (б)

Следствием деформирования металла является также и то, что после прохождения реза относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление поверхностного деформированного слоя на величину h_y (рис. VI.18) — упругое последствие. В результате этого образуется контактная площадка шириной H между

обработанной поверхностью и вспомогательной задней поверхностью реза. Со стороны обработанной поверхности возникает сила нормального давления N и сила трения F . Чем больше величина упругой деформации, тем больше сила трения. Для уменьшения сил трения у инструмента предусматривают задние углы, величина которых зависит от упругой деформации материала заготовки. Результатом упругопластического деформирования металла являются также взаимно уравновешивающиеся остаточные напряжения. Эти напряжения, возникающие в поверхностном слое обработанной поверхности, могут быть растягивающими или сжимающими. Напряжения растяжения снижают предел выносливости материала заготовки, в то время как напряжения сжатия повышают его. Следовательно, окончательно обрабатывать поверхность заготовки следует в таких условиях, чтобы можно было получать напряжения сжатия. Установлено, что при обработке сталей на скоростях резания более 300—500 м/мин обычно возник-

ают напряжения сжатия. Кроме того, целесообразно, чтобы режущий инструмент имел отрицательный передний угол.

На рис. VI.18, б показана схема распространения упрочнения под обработанной поверхностью, где можно различить три зоны: I — зона разрушенной структуры; это тонкий слой металла, характеризующийся измельченными зернами с образованием новой структуры, которая отличается от структуры зоны III — основного металла; II — зона наклепанного металла. В зоне I наблюдается большое число микротрещин. Слой металла, в котором образуются эти микротрещины, называют *дефектным*. Дефектный слой характеризуется пониженной износостойкостью и повышенными коррозионными свойствами; его следует удалять при последующей обработке. В зоне II твердость (HV) металла резко изменяется по толщине заготовки. Наибольшую твердость имеет обработанная поверхность; твердость постепенно уменьшается по мере удаления от этой поверхности (рис. VI.18, б).

В зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и режима резания глубина упрочненного слоя составляет от нескольких миллиметров при грубой обдирочной обработке до сотых и тысячных долей миллиметров при окончательной чистовой обработке. Пластичные металлы в процессе обработки подвергаются большему упрочнению, чем твердые или хрупкие.

Упрочнение обработанной поверхности можно рассматривать как полезное явление лишь с точки зрения повышения поверхностной твердости заготовки при условии, что остаточные напряжения являются сжимающими. Однако упрочнение оказывает и отрицательное влияние на процесс резания. Образующийся дефектный слой необходимо удалять, что требует дополнительной чистовой обработки. Остаточные напряжения с течением времени деформируют деталь, и геометрическая форма поверхностей изменяется. Упрочнение, полученное при черновой обработке, отрицательно влияет на процесс резания при чистовой обработке, когда срезаются тонкие стружки (развертывание, протягивание и т. д.). В этом случае инструмент срезает металл повышенной твердости, что быстро затупляет его; шероховатость поверхности ухудшается.

12. Тепловые явления процесса резания

Механическая работа, затрачиваемая на срезание с заготовки припуска, превращается в тепловую энергию. Причинами образования теплоты в процессе резания являются упругопластическое деформирование обрабатываемого материала, трение стружки о переднюю поверхность режущего инструмента, трение задних поверхностей инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность заготовки.

Следовательно, источниками теплоты являются зоны: наибольших сдвиговых деформаций (зона стружкообразования); кон-

такта стружки с передней поверхностью инструмента; контакта задних поверхностей инструмента с заготовкой (рис. VI.19). Количество теплоты, выделяющейся в процессе резания (в Дж/мин), приближенно можно определить из выражения

$$Q = P_z v.$$

Тепловой баланс процесса резания

$$Q = Q_d + Q_{п.п} + Q_{з.п} = Q_c + Q_{заг} + Q_{п} + Q_{л},$$

где Q_d — количество теплоты, выделяющейся при упругопластическом деформировании обрабатываемого материала; $Q_{п.п}$ — количество теплоты, выделяющейся при трении стружки о переднюю поверхность инструмента; $Q_{з.п}$ — количество теплоты, выделяющейся при трении задних поверхностей инструмента о заготовку; Q_c — количество теплоты, отводимое стружкой; $Q_{заг}$ — количество теплоты, отводимое обрабатываемой заготовкой; $Q_{п}$ — количество теплоты, отводимое режущим инструментом; $Q_{л}$ — количество теплоты, переходящее в окружающую среду (теплота лучеиспускания).

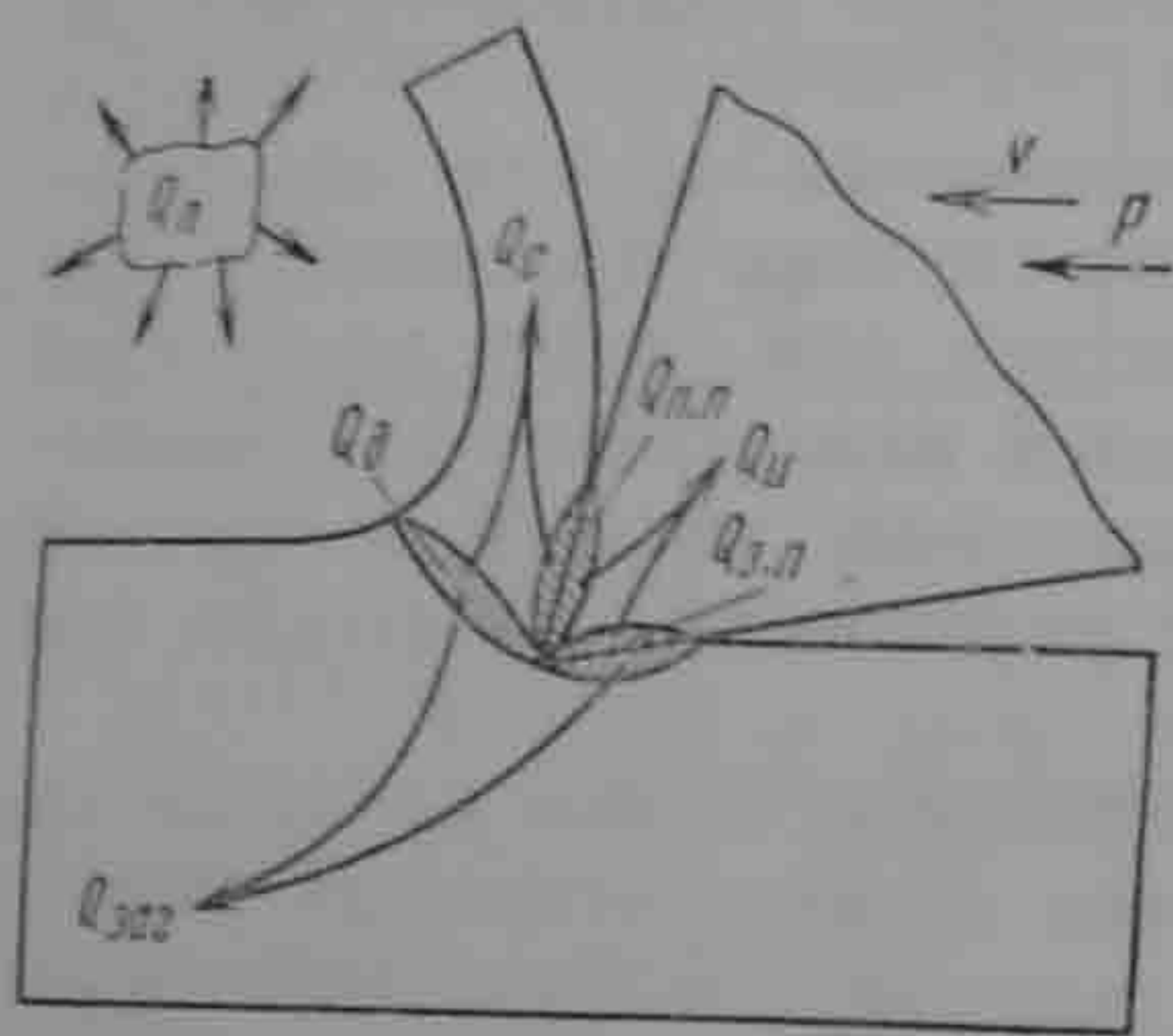


Рис. VI.19. Источники образования и распределения теплоты резания

Значение слагаемых уравнения теплового баланса зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и инструмента, режима резания, геометрии инструмента, условий обработки и т. д. При обработке пластичных металлов, например, со скоростью резания 50 м/мин $Q_d = 0,75 Q$, а при обработке со скоростью резания 200 м/мин $Q_d = 0,25 Q$ и т. д.

Распределение теплоты между слагаемыми правой части уравнения теплового баланса также неодинаково. В зависимости от режима резания и условий обработки стружкой отводится 25—85% всей выделяющейся теплоты, заготовкой — 10—50%, инструментом — 2—8%. Количественное распределение теплоты зависит в основном от скорости резания (рис. VI.20). При увеличении скорости резания количество теплоты, отводимое заготовкой, уменьшается, а отводимое стружкой — увеличивается.

Теплообразование отрицательно влияет на процесс резания. При повышении температуры режущего инструмента изменяются физико-механические свойства материала, из которого он изготовлен, снижается его твердость. Несмотря на то, что в режущий инструмент переходит незначительное количество теплоты, температура его в зоне главного режущего лезвия достигает 800—1000°С. Это объясняется тем, что в инструменте сосредоточивается почти

вся теплота трения, а режущее лезвие постоянно находится в зоне наибольшего тепловыделения — в зоне стружкообразования. Кроме того, теплопроводность инструментальных материалов мала. При этих условиях происходит ускоренное изнашивание режущего инструмента и снижение его твердости приводят к потере режущих способностей инструмента.

С повышением температуры инструмента изменяются его геометрические размеры, что вызывает погрешность точности размеров и геометрической формы обработанных поверхностей. Например, при обтачивании цилиндрической поверхности на токарно-винто-резном станке увеличение вылета резца за счет увеличения его размеров от повышения температуры приводит к изменению глубины резания, и обработанная поверхность может получиться конусообразной.

Нагрев заготовки изменяет ее геометрические размеры. От жесткого закрепления на станке заготовка также начинает деформироваться. Температурные деформации и увеличение размеров инструмента и заготовки изменяют глубину резания и в конечном счете снижают точность геометрической формы поверхности и ее размеры.

Температурные погрешности, влияющие на точность формы и размеров обрабатываемой заготовки, необходимо учитывать при наладке станков, особенно автоматов и полуавтоматов. Для определения величины погрешностей надо знать температуру инструмента и заготовки или количество теплоты, переходящее в них. Количественное распределение теплоты можно найти по графику, приведенному на рис. VI.20. Для заданной скорости v всегда можно определить процентное соотношение между Q_c , $Q_{заг}$, $Q_{п}$, $Q_{л}$.

На температуру резания (наивысшая температура инструмента) большое влияние оказывает режим резания. При скоростях резания до 400 м/мин быстро повышается температура инструмента. При дальнейшем возрастании скорости резания линии зависимости располагаются более полого.

Наименьшее влияние на температуру резания оказывает глубина резания. С ее увеличением температура резания повышается незначительно. Это объясняется тем, что с увеличением глубины резания возрастает длина активной части режущего лезвия инструмента, что улучшает условия теплоотвода.

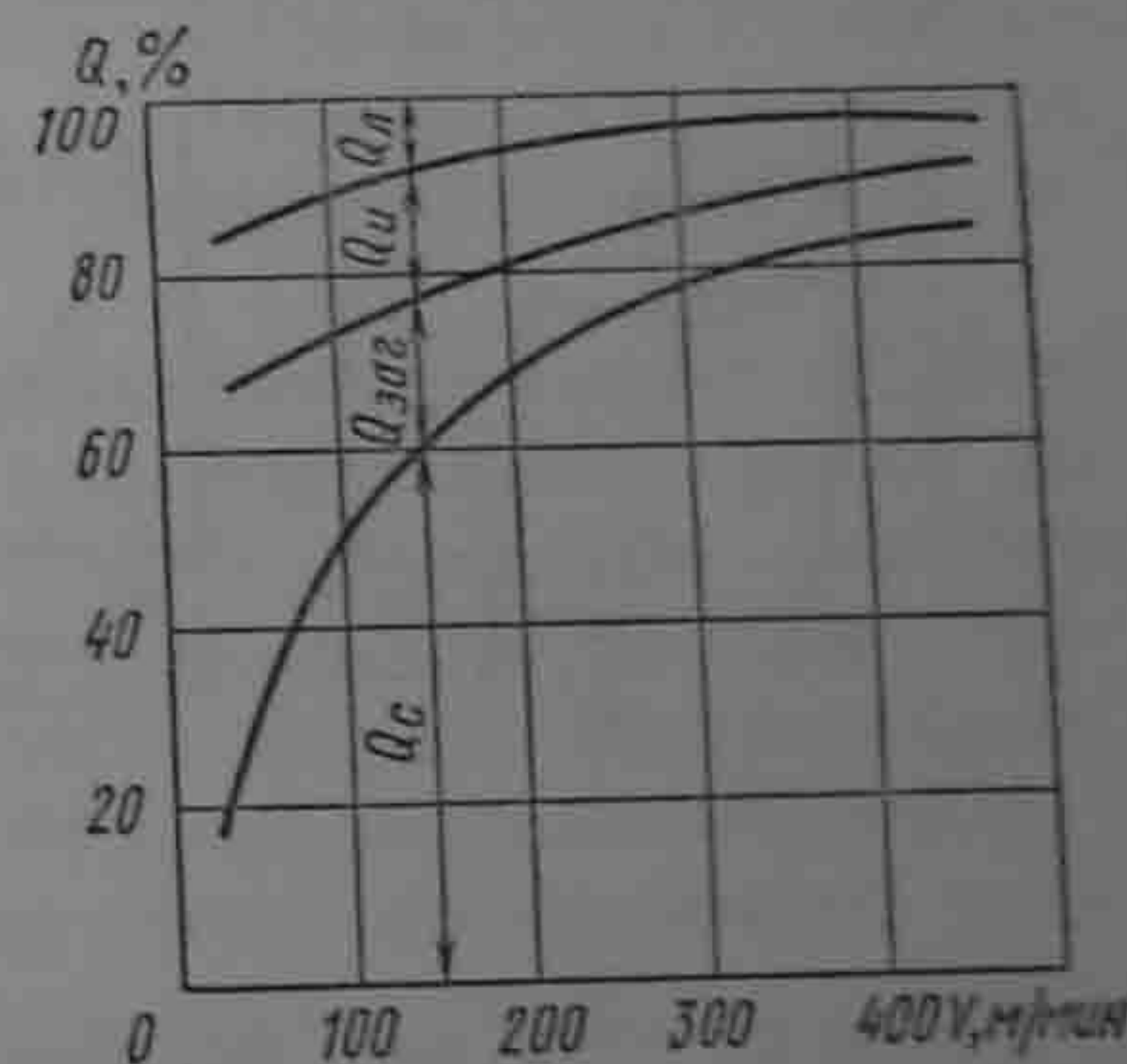


Рис. VI.20. Распределение теплоты резания в зависимости от скорости резания

13. Трение, износ и стойкость инструмента

Резание металлов является процессом сложного взаимодействия режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. Наличие внешнего трения между стружкой и передней поверхностью инструмента и между его главной задней поверхностью и поверхностью резания заготовки приводит к износу режущего инструмента. При скольжении поверхностей относительно друг друга в зависимости от их шероховатости соприкосновение между ними происходит лишь в отдельных точках — по вершинам микронеровностей, что создает высокие контактные напряжения. Это вызывает пластическую деформацию и разрушение микровыступов поверхностей инструмента. В отдельных случаях изнашивание сопровождается выкрашиванием режущего лезвия у инструмен-

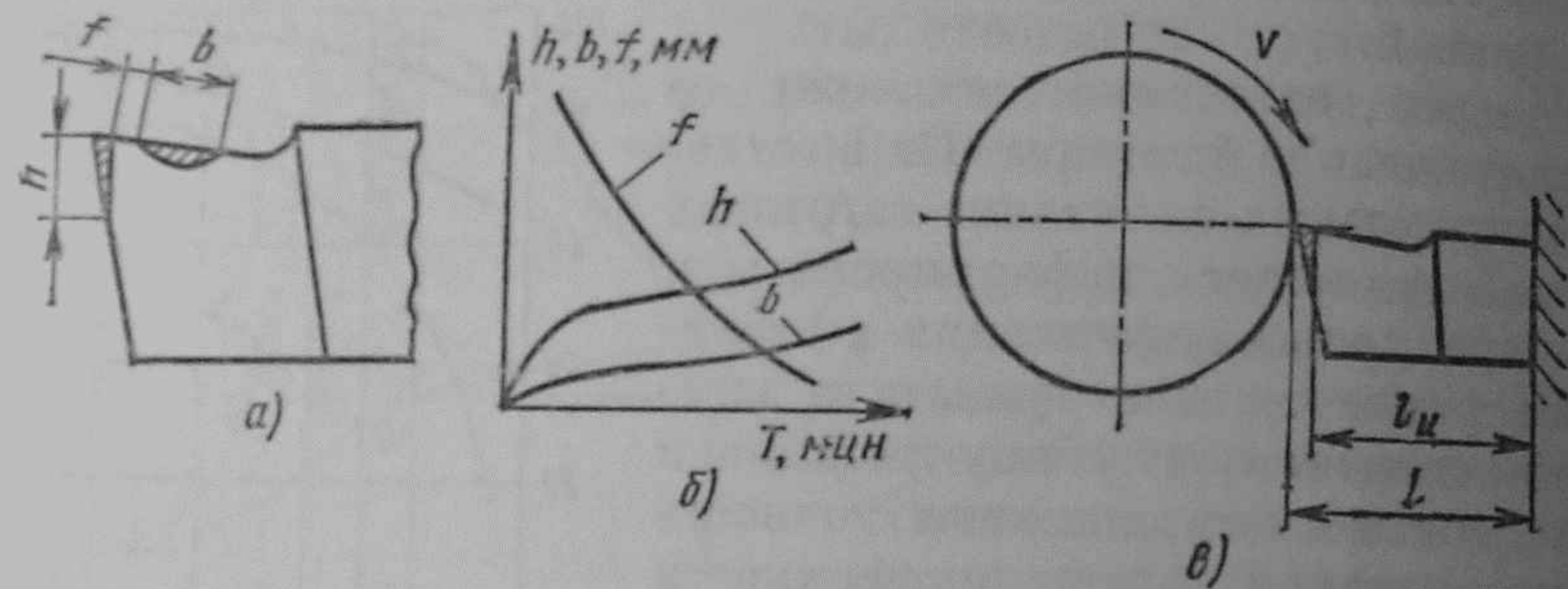


Рис. VI.21. Износ реза (а), зависимость износа от времени работы реза (б) и изменение его размеров в результате износа (в)

тов из твердого сплава или пластическим деформированием у инструментов из инструментальных сталей.

Высокая температура процесса резания изменяет физико-механические свойства материала инструмента (снижение твердости) и вызывает в нем структурные превращения, что обуславливает термический износ трущихся поверхностей инструмента. При высокой температуре активизируются химические процессы, в результате чего поверхностный слой рабочей части инструмента покрывается окисной пленкой. Образовавшаяся пленка разрушается силами трения; происходит окислительное изнашивание.

При больших контактных давлениях и температурах начинают проявляться силы молекулярного сцепления — адгезия, выражающаяся в схватывании материала инструмента со стружкой или материалом заготовки. Адгезия сопровождается отрывом отдельных частиц материала инструмента, что еще более ускоряет процесс его изнашивания.

При обработке резанием в условиях сухого и полусухого трения преобладающим является абразивное изнашивание инструмента. Общий характер износа режущего инструмента на примере токарного реза показан на рис. VI.21, а. При изнашивании на

передней поверхности реза образуется лунка шириной b (мм), а на главной задней поверхности — ленточка шириной h (мм).

У инструментов из разных материалов и при разных режимах резания преобладает тот или иной вид износа. У резцов из быстрорежущей стали при срезании тонких стружек ($a \leq 0,15$ мм) преобладает износ по главной задней поверхности. При обработке заготовок на больших скоростях резания при толщине срезаемого слоя более 0,5 мм преобладает износ по передней поверхности. При средних скоростях резания и толщине срезаемого слоя $0,15 < a < 0,5$ происходит одновременный износ передней и главной задней поверхностей. Для инструментов с пластинками из твердого сплава характерен износ по главной задней поверхности.

На рис. VI.21, б показаны зависимости износа рабочих поверхностей инструмента от времени его работы. При одновременном изнашивании рабочих поверхностей реза на его передней поверхности образуется перемычка шириной f . По мере изнашивания реза f уменьшается, износ принимает катастрофический характер и инструмент разрушается.

Износ реза по главной задней поверхности приводит к изменению его линейных размеров — уменьшается вылет реза из резцедержателя ($l_n < l$, рис. VI.21, в). Это уменьшает глубину резания и изменяет размер обработанной поверхности. При обработке длинных поверхностей погрешность формы (конусообразность) получается за счет изменения глубины резания. При обработке заготовок на настроенных станках износ инструментов приводит к разбросу размеров обработанных поверхностей заготовок, что снижает качество сборки изделий при условии соблюдения взаимозаменяемости деталей.

Количественное выражение допустимой величины износа называют *критерием износа*. За критерий износа принимают в большинстве случаев величину износа h инструмента по главной задней поверхности. Для токарных резцов из быстрорежущих сталей допустимый износ $h = 1,5 \div 2,0$ мм; с пластинками твердого сплава $h = 0,8 \div 1,0$ мм; с минералокерамическими пластинками $h = 0,5 \div 0,8$ мм.

Допустимую величину износа в мм реза по главной задней поверхности определяют по эмпирической формуле

$$h = C_h v^{n_h} s^{x_h} t^{y_h},$$

где C_h — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала и условия обработки (приводятся в справочниках, так же как и показатели степеней n_h, x_h, y_h).

Допустимой величине износа инструмента T понимают деленную его стойкость. Под *стойкостью* инструмента понимают суммарное время (в мин) его работы между переточками на определенном режиме резания. Режущие инструменты, изготовленные из разных материалов, имеют определенные периоды стойкости. Период стойкости токарных резцов составляет 30—90 мин.

Стойкость инструмента зависит от физико-механических свойств материала инструмента и обрабатываемой заготовки, режима резания, геометрии инструмента, условий обработки. Наибольшее влияние на стойкость оказывает скорость резания.

Установлено, что между v и T при определенных условиях обработки существует зависимость

$$v_1 T_1^m = v_2 T_2^m = v_n T_n^m = \text{const}$$

или в общем виде

$$v = \frac{C_v}{T^m},$$

где C_v — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала; m — показатель относительной стойкости.

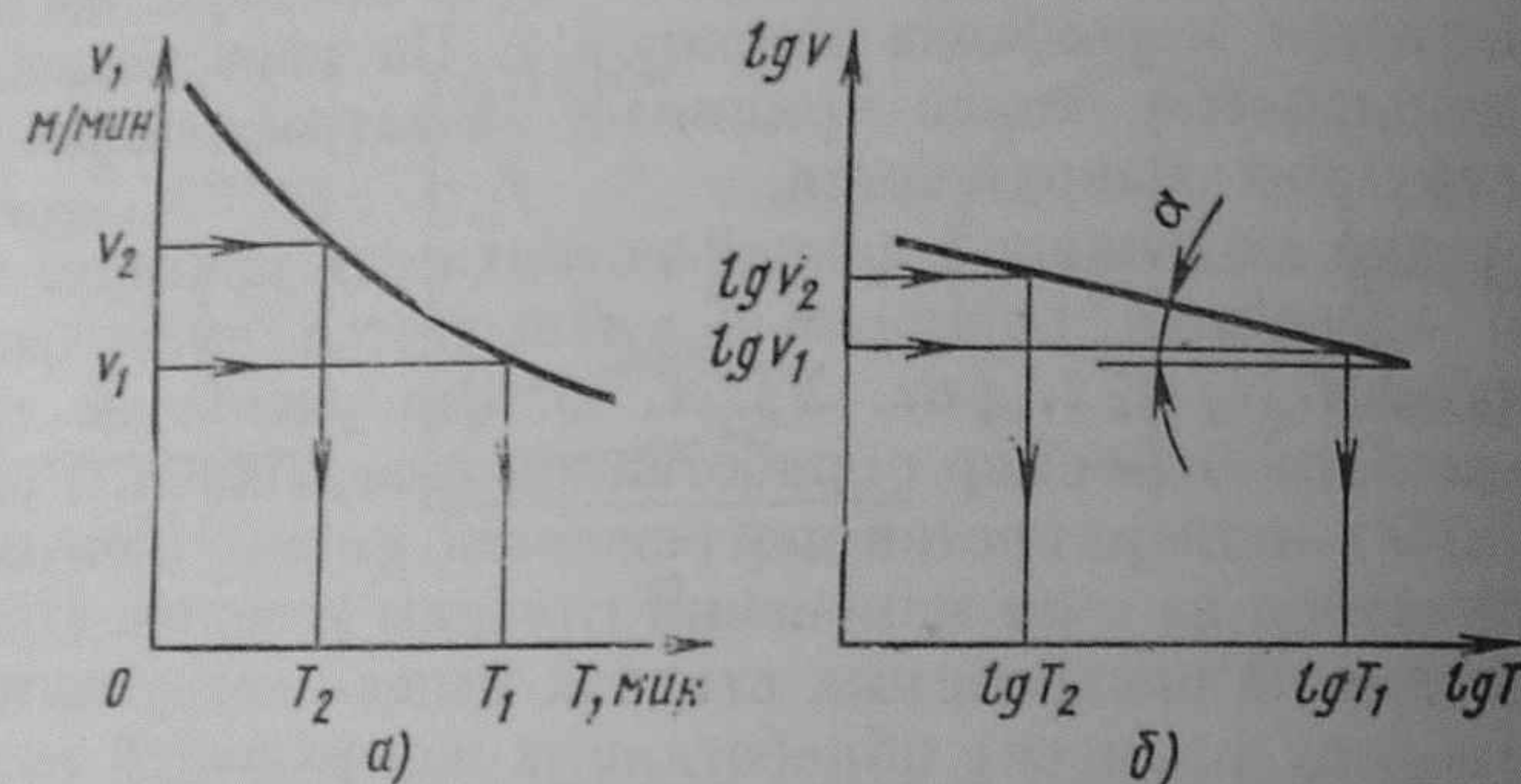


Рис. VI.22. Зависимость стойкости резца от скорости резания

Графически приведенная зависимость показана на рис. VI.22 в декартовых (а) и логарифмических (б) координатах. В логарифмических координатах показательная функция графически изображается прямой линией.

Для резцов $m = 0,1 \div 0,3$. В качестве примера ниже дано соотношение между v и T при $m = 0,2 = \text{tga}$:

v , %	75	90	100	110	125
T , %	425	167	100	66	33

Так как стойкость резцов снижается даже при незначительном возрастании скорости резания, то заготовки следует обрабатывать на расчетной скорости резания, которой соответствует определенная стойкость.

14. Охлаждение и смазка при обработке резанием

Смазочно-охлаждающие вещества оказывают значительное и благоприятное влияние на процесс резания и качество обработки. В зависимости от технологического метода обработки, физико-механических свойств обрабатываемого материала и материала

инструмента, а также режима резания, применяют различные смазочно-охлаждающие вещества, которые подразделяют на следующие группы: жидкости, газы, газообразные и твердые вещества.

К жидкостям относятся: водные растворы минеральных электролитов, эмульсии, растворы мыл; 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 (графита, парафина, воска и др.).

К газам и газообразным веществам относятся: газы CO_2 , CCl_4 , N_2 ; пары поверхностно-активных веществ; распыленные жидкости (туман) и пены.

К твердым веществам относятся порошки воска, парафина, петролатума, битума; порошки мыл.

Наибольшее применение при обработке резанием нашли смазочно-охлаждающие жидкости. Обладая смазывающими свойствами, жидкости снижают внешнее трение стружки о переднюю поверхность инструмента и задних поверхностей инструмента о заготовку.

Одновременно снижается работа деформации. Общее количество теплоты, выделяющееся при резании, уменьшается. Смазочно-охлаждающие вещества отводят теплоту во внешнюю среду от мест ее образования, охлаждая режущий инструмент, деформируемый слой и обработанную поверхность заготовки. Смазывающее действие жидкостей препятствует образованию наливов металла на рабочих поверхностях инструмента, в результате чего снижается шероховатость обработанных поверхностей заготовки.

Молекулы жидкостей, попадая в микротрещины поверхностного слоя заготовки, адсорбируются на поверхностях микротрещин и создают предварительное напряженное состояние материала. Такое расклинивающее действие жидкостей облегчает разрушение срезаемого слоя. Это явление наблюдается при резании тонких стружек со скоростями резания не более 60—80 м/мин.

Указанные положительные действия смазочно-охлаждающих веществ приводят к тому, что эффективная мощность резания уменьшается на 10—15%, стойкость режущего инструмента резко возрастает, обработанные поверхности заготовок имеют меньшую шероховатость и большую точность.

При черновой и получистовой обработках, когда необходимо сильное охлаждающее действие жидкости, широко применяют водные эмульсии. В эмульсии входят вода, масло, ингибитор коррозии — вещества, устраняющие или значительно снижающие коррозионные свойства жидкости (нитрит натрия); поверхностно-активные вещества, повышающие смачивающие свойства жидкости, и эмульгаторы, способствующие длительному хранению эмульсии и предотвращающие ее разделение на воду и масло (желатин). Количество эмульсии, используемой в процессе реза-

ния, зависит от технологического метода обработки и режима резания и составляет 5—150 л/мин. Увеличенная подача жидкости рекомендуется при работе инструментов, армированных пластинками из твердого сплава, что способствует их равномерному охлаждению и предохраняет от растрескивания.

При чистовой обработке, когда требуется получить высокое качество обработанной поверхности, широко используют различные масла. Для активизации смазок к ним добавляют активные вещества — фосфор, серу, хлор. Под влиянием высоких температур и давлений эти вещества образуют с материалом контактных поверхностей соединения, снижающие трение, — фосфиды, хлориды, сульфиды.

При обработке хрупких материалов, когда образуется стружка надлома (чугуны, бронзы и т. д.), в качестве охлаждающей среды

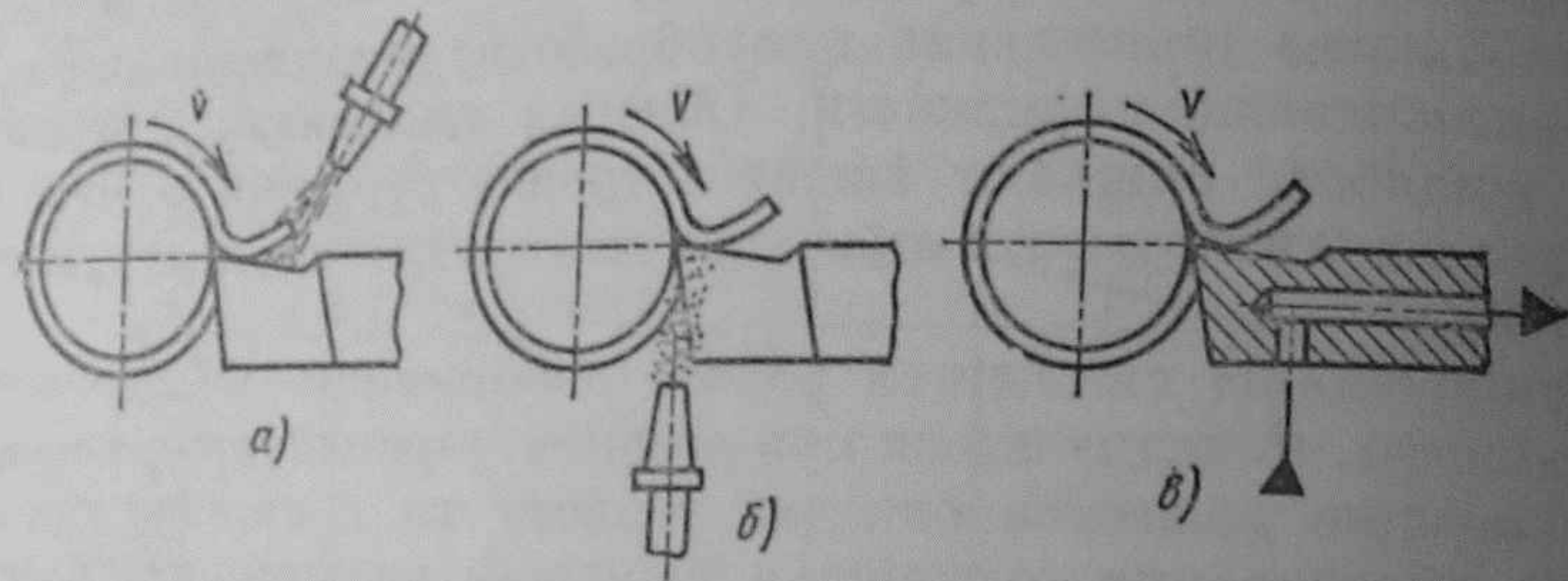


Рис. VI.23. Способы подачи смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания при точении

применяют газы: сжатый воздух, углекислоту. Этот способ используют также при прерывистой обработке заготовок инструментом, армированным пластинками из твердого сплава. Газ охлаждает зону резания, инструмент и одновременно удаляет стружку в специально предусматриваемые в этих случаях стружкосборники.

Смазочно-охлаждающие вещества по-разному подают в зону резания. Наиболее распространенным способом является подвод жидкости через сопло на переднюю поверхность инструмента под давлением 0,05—0,2 МН/м² (рис. VI.23, а). Этот метод подачи жидкости в зону резания наименее эффективен.

Более эффективно высоконапорное охлаждение. В этом случае жидкость подают тонкой струей с большой скоростью под давлением 1,5—2,0 МН/м² со стороны задних поверхностей инструмента. Частицы жидкости под действием высокого давления интенсивно проникают в микротрещины и зазоры, быстро превращаются в пар и активно охлаждают нагретые поверхности.

Весьма эффективно охлаждение распыленными жидкостями — туманом, который подают со стороны задних поверхностей инструмента (рис. VI.23, б). Туман создается в инжекторных установках, работающих под давлением 1,0—2,5 МН/м². Сжатый воздух зах-

ватывает частицы жидкости и в виде мельчайших брызг выбрасывает их в зону резания. Для защиты работающего от воздействия тумана на станках устанавливают специальные отсасывающие установки.

В тех случаях, когда охлаждение режущего инструмента затруднено, жидкость в зону резания подают через полый режущий инструмент. Таким способом жидкость подают, например, при сверлении глубоких отверстий. Жидкость под давлением 2,0—2,5 МН/м² подают через полое сверло и отверстие в задней поверхности инструмента непосредственно в зону резания. В этом случае не только охлаждаются инструмент и зона резания, но и вымывается стружка.

Иногда применяют внутреннее охлаждение инструментов (рис. VI.23, в). Для этого в инструменте выполняют каналы, по которым под давлением прокачивают охлаждающую жидкость (воду).

15. Вибрации при резании материалов

При определенных условиях обработки заготовки на станке возникают периодические колебательные движения — вибрации. В этих условиях процесс резания теряет устойчивость, что проявляется в целом ряде отрицательных явлений.

Колебания инструмента относительно заготовки, или наоборот, периодически изменяют глубину резания. Качество обработанной поверхности резко снижается: появляется волнистость, возрастает шероховатость. С изменением глубины резания колеблется величина силы резания. Нагрузки на движущиеся детали и узлы станка возрастают в десятки раз, что повышает их износ. Стойкость инструмента, особенно твердосплавного и минералокерамического, резко снижается. При вибрациях технологической системы СПИД (станок—приспособление—инструмент—деталь) возникает шум, утомляющий людей, обслуживающих оборудование. Возникновение вибраций ограничивает производительность работы оборудования. Вибрации, возникающие при резании, подразделяют на вынужденные и автоколебания.

Вынужденные колебания возникают под действием внешних периодических возмущающих сил: прерывистого процесса резания (фрезерования, строгания, обработки ребристых поверхностей и т. д.); неуравновешенности вращающихся масс (ротора электродвигателя, шпинделя, режущего инструмента, заготовки и т. д.); погрешности изготовления и сборки передач станка (зубчатых, ременных); ритмичной работы других, близко расположенных машин (молотов, прессов, компрессоров и т. д.). Интенсивность вынужденных колебаний зависит от величины и частоты возмущающей силы и явления резонанса, т. е. степени совпадения частоты возмущающей силы с частотой собственных колебаний системы. Вынужденные колебания легко устранить, уменьшив

величину возмущающих сил. Можно также повысить жесткость узлов станка, закрепив его на индивидуальном фундаменте.

Автоколебания (незатухающие самоподдерживающиеся колебания) характеризуются тем, что силы, поддерживающие колебательный процесс системы, возникают в процессе резания. При автоколебаниях возмущающая сила создается и управляется самим движением и после прекращения его исчезает. Причинами автоколебаний системы СПИД в процессе резания являются изменение силы резания; возникновение наростов, вызывающих изменение сил резания; упругие деформации заготовки и инструмента; изменение площади поперечного сечения срезаемого слоя металла; изменение сил трения на рабочих поверхностях инструмента и т. д.

Низкочастотные автоколебания ($f = 50 \div 500$ Гц) сопровождаются звуком низкого тона, создают волнистость обработанной поверхности. Возникают при обработке на низких скоростях резания; частота их близка к частоте собственных колебаний заготовки или узлов станка.

Высокочастотные автоколебания ($f = 800 \div 6000$ Гц) сопровождаются звуком высокого тона, создают на обработанной поверхности заготовки мелкую рябь. Возникают при обработке на больших скоростях резания; частота их близка к частоте собственных колебаний режущего инструмента.

Возникновение автоколебаний можно предупредить выбором соответствующих режимов резания, выбором инструмента с определенной геометрией, правильной установкой заготовки и инструмента на станке, обработкой заготовок на больших скоростях резания. При резании необходимо избегать снятия тонких стружек.

Основными мероприятиями по борьбе с автоколебаниями являются повышение жесткости технологической системы СПИД, в основном станков и режущего инструмента; уменьшение масс колебательных систем, особенно обрабатываемой заготовки; применение виброгасителей.

Для гашения автоколебаний используют динамические, ударные, упругие, гидравлические и другие вибросистемы, которые встраивают в узлы станков, приспособлений и в режущий инструмент.

На рис. VI.24, а показана конструкция динамического виброгасителя для гашения вибраций резца (автор конструкции Д. И. Рыжков). Болт 4 виброгасителя ввинчивают в стержень резца. Эффект гашения вибраций достигается за счет соударения деталей виброгасителя: втулки 3 и корпуса 1, между которыми установлена пружина 2. Массы деталей 3 и 1 и характеристики пружины 2 выбирают исходя из того, чтобы при соударении масс возникали вибрации, противоположные по фазе колебаниям резца.

На рис. VI.24, б показан динамический виброгаситель — для горизонтально-фрезерных станков. В хоботе 8 станка устанавливают упругий стержень 7 с грузом 6. Свободный конец стержня помещен в резиновой втулке 5. Перемещением груза по длине стержня его колебания настраивают в резонанс с собственными колебаниями хобота. Благодаря инерции груза 6 и упругости

втулки 5 происходит сдвиг фаз, и колебания груза имеют фазу, противоположную фазе колебаний хобота. Энергия колебаний груза идет на гашение колебаний хобота станка. Часто для гашения вибраций используют разные поглотители энергии: пружины, резину, пластмассу, гидроцилиндры и т. д. На рис. VI.24, в показан виброгаситель для расточных борштанг с прокладками 9 из микропористой резины.

Однако вибрации при обработке материалов можно использовать и так, чтобы они положительно влияли на процесс резания и качество обработанных поверхностей заготовок. В промышленности для обработки труднообрабатываемых материалов применяют *вибрационное резание*.

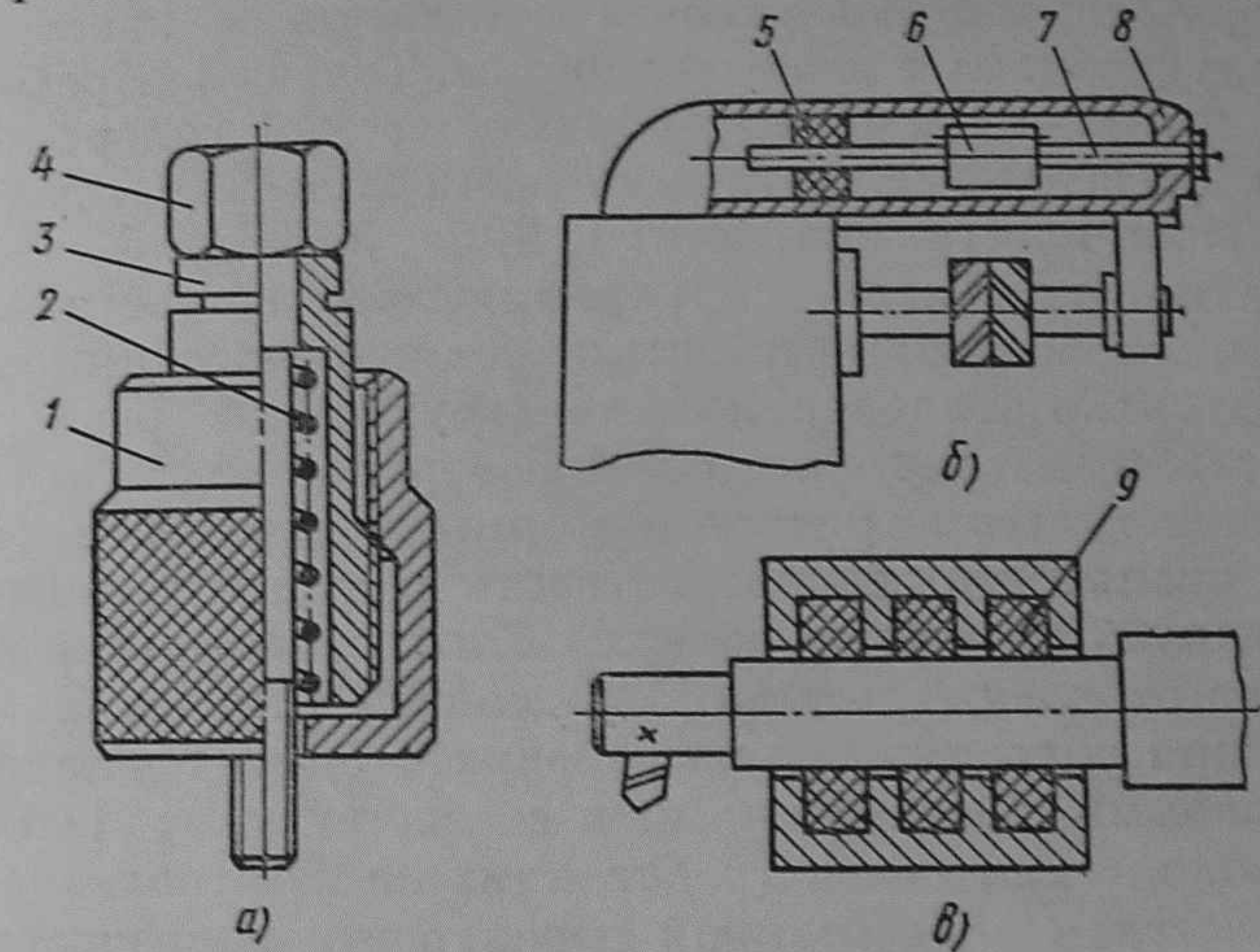


Рис. VI.24. Устройства для гашения вибраций при обработке резанием

Сущность вибрационного резания состоит в том, что в отличие от вынужденных колебаний и автоколебаний системы СПИД, возникающих в процессе резания, создаются искусственные колебания (вибрации) инструмента с регулируемой частотой, заданной амплитудой и в заданном направлении.

Источниками искусственных колебаний служат механические вибраторы или высокочастотные генераторы. Частоту колебаний задают в пределах 200—20 000 Гц, амплитуду колебаний — 0,02—0,002 мм. Выбор оптимальных амплитуды и частоты колебаний инструмента зависит от технологического метода обработки и режима резания. Направление колебаний задают по направлению подачи либо по направлению скорости резания.

По сравнению с обычным вибрационное резание имеет ряд преимуществ. Оно обеспечивает устойчивое дробление стружки на отдельные элементы, снижает сопротивление металла деформированию и эффективную мощность резания, исключает образование нароста на режущем инструменте и заусенцев на обработанных поверхностях, сохраняет точность последних. Однако в отдельных случаях стойкость инструмента немного снижается.

Вибрационное резание металлов применяют при точении, сверлении, нарезании резьбы метчиками и плашками, шлифовании, фрезеровании и других методах обработки.

16. Точность обработки и качество обработанной поверхности

Точность и надежность работы узлов и машины во многом зависят от точности обработки деталей, качества обработанных поверхностей и точности сборки.

Под точностью обработки понимают отклонение истинных размеров обработанной поверхности детали от ее конструктивных размеров, указанных в рабочем чертеже. Точность обработки определяется допуском на размер обрабатываемой поверхности, т. е. крайними предельно допустимыми размерами. ГОСТ установлено семь основных классов точности: 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5.

Самым высоким является первый класс точности.

Детали, обработанные разными технологическими методами, имеют не только отклонения от конструктивных размеров, но и погрешность геометрических форм поверхностей.

Погрешность геометрической формы поверхности (конусообразность, овальность, неплоскостность и т. д.) должна укладываться в допуск на размер поверхности в соответствии с классом точности изготовления детали. Предельные отклонения формы и расположения поверхностей на рабочих чертежах деталей указывают условными обозначениями в соответствии с ГОСТом или оговаривают в технических требованиях на изготовление деталей.

Под качеством обработанной поверхности понимают совокупность следующих характеристик: шероховатости (микрорельефа); волнистости; структурного состояния (микротрещины, надрывы, измельченная структура); упрочнения поверхностного слоя (глубины и степени); остаточных напряжений (глубины их проникновения, величины и знака) и др. Из этих характеристик наиболее легко поддающейся непосредственным измерениям является шероховатость поверхности.

Шероховатость поверхности — это совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах определенного ее участка.

Шероховатость характеризуется средним арифметическим отклонением профиля от среднего значения R_a и высотой неровностей R_z . ГОСТ 2789—73 устанавливает 14 классов шероховатости.

Классы шероховатости можно условно подразделять на четыре группы.

К первой группе (1—3-й классы) относят грубые поверхности, получаемые при обдирочном (черновом) точении, строгании, фрезеровании, сверлении.

Ко второй группе (4—6-й классы) относят поверхности, полученные полустроговой обработкой разными технологическими ме-

Третью группу (7—9-й классы) составляют чистовые поверхности, обработанные абразивными инструментами, отделочными методами обработки (тонкое точение, развертывание, протягивание), электрофизическими методами обработки, методами пластического деформирования.

К четвертой группе (10—14-й классы) относят поверхности, тонко обработанные доводочными инструментами (притирка, хонингование, суперфиниширование, алмазное выглаживание и другие технологические методы обработки).

17. Производительность и выбор режима резания

Производительность обработки (в шт/мин) определяют числом деталей, изготовляемых в единицу времени:

$$Q = \frac{1}{T}.$$

Время T складывается из основного, подготовительно-заключительного, вспомогательного времени и времени на оргтехобслуживание.

Из формулы для определения основного технологического времени при обтачивании цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке

$$T_o = \frac{Lh}{ns_{пр}t}$$

следует, что высокая производительность будет при работе с большими подачей, глубиной резания, скоростью резания при наименьших длине обрабатываемой поверхности и припуске h (мм) на обработку. Стремление получить высокую производительность входит в противоречие с точностью обработки и качеством обработанных поверхностей. Действительно, при увеличении $s_{пр}$ и t производительность возрастает, а качество поверхностей резко снижается. Поэтому поверхности заготовок следует обрабатывать на таких режимах резания, при которых достигаются высокие точность обработки и качество поверхностей при удовлетворительной производительности.

Элементы режима резания назначают в следующей последовательности. Вначале выбирают значение глубины резания. При этом стремятся весь припуск на обработку снять за один рабочий ход режущего инструмента. Если по технологическим причинам необходимы два рабочих хода, то при первом снимают $\approx 80\%$ припуска, при втором $\approx 20\%$ припуска. Затем выбирают величину подачи. Рекомендуется назначать наибольшую допустимую подачу, исходя из требований точности и допустимой шероховатости обработанной поверхности и учитывая мощность станка, режущие свойства материала инструмента, жесткость и виброустойчивость системы СПИД. Наконец, определяют скорость реза-

ния исходя из выбранных глубины резания, подачи и стойкости режущего инструмента.

Скорость резания при точении, например, определяют по следующей эмпирической формуле:

$$v = \frac{C_v}{t^{x_{vs}} s^{y_{vs}} T^m},$$

где C_v — коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала и условия обработки.

После определения скорости резания находят частоту вращения (в об/мин) шпинделя станка, соответствующую этой скорости резания:

$$n = \frac{1000v}{\pi D_{заг}}.$$

Так как станок точно такой частоты вращения шпинделя может не иметь вследствие ее ступенчатого регулирования, то назначают ближайшую меньшую величину. В результате этого значительно снижается скорость резания, но зато стойкость режущего инструмента повышается.

Глава 2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Общая характеристика свойств инструментальных материалов

Инструментальные материалы должны удовлетворять ряду эксплуатационных требований. Материал рабочей части инструмента должен иметь следующие физико-механические характеристики: большую твердость и высокие допускаемые напряжения на изгиб, растяжение, сжатие, кручение. Твердость материала рабочей части инструмента должна значительно превышать твердость обрабатываемого материала.

Высокие прочностные свойства необходимы для того, чтобы инструмент мог сопротивляться соответствующим деформациям в процессе резания. Одновременно требуется, чтобы материал инструмента был достаточно вязким и воспринимал ударную динамическую нагрузку, которая возникает при обработке хрупких материалов или прерывистых поверхностей заготовок.

Инструментальные материалы должны обладать высокой красностойкостью, сохраняя большую твердость при высоких температурах нагрева.

Материал рабочей части инструмента должен быть износостойким, т. е. хорошо сопротивляться изнашиванию. Чем выше износостойкость, тем медленнее изнашивается инструмент, тем выше его размерная стойкость. Это значит, что детали, последовательно обработанные одним и тем же инструментом, будут иметь более стабильные размеры.

Материалы для изготовления режущих инструментов должны по возможности содержать наименьшее количество дефицитных элементов.

2. Инструментальные стали

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435—74). Эти стали содержат 0,6—1,3 % С. Для изготовления инструментов применяют качественные стали У10А, У11А, У12А, содержащие более 1 % С. После термической обработки стали имеют HRC 60—62, однако красностойкость их невысока (200—250° С). При этой температуре их твердость резко уменьшается и они не могут выполнять работу резания. Эти стали находят ограниченное применение, так как допустимые скорости резания обычно не превышают 15—18 м/мин. Из них изготавливают метчики, плашки, ножовочные полотна и т. д.

Легированные инструментальные стали. Основой этих сталей является инструментальная углеродистая сталь марки У10А, легированная хромом (Х), вольфрамом (В), ванадием (Ф), кремнием (С) и другими элементами. После термической обработки твердость легированных сталей составляет HRC 62—64; их красностойкость 250—300° С.

Легированные стали по сравнению с углеродистыми имеют повышенную вязкость в закаленном состоянии, более высокую прокаливаемость, меньшую склонность к деформациям и трещинам при закалке. Режущие свойства легированных сталей немногим выше инструментальных. Допустимые скорости резания составляют 15—25 м/мин.

Для изготовления инструментов: протяжек, сверл, метчиков, плашек, разверток и т. д. наиболее широко используют стали 9ХВГ, ХВГ, 9ХС, 6ХС и др.

Быстрорежущие стали (ГОСТ 19265—73). Эти стали содержат 8,5—19% W; 3,8—4,4% Cr; 2—10% Co и V. Для изготовления режущего инструмента используют быстрорежущие стали P9, P12, P18, P6M3, P9F5, P14F4, P18F2, P9K5, P9K10, P10K5F5, P18K5F2. Режущий инструмент из быстрорежущих сталей после термической обработки имеет *HRC* 62—65. Красностойкость сталей 600—630° C; они имеют повышенную износостойкость. Инструмент из быстрорежущей стали может работать со скоростями резания до 100 м/мин.

Сталь P9 рекомендуется для изготовления инструментов простой формы (резцов, фрез, зенкеров). Для фасонных и сложных инструментов (резьбонарезных, зуборезных), для которых основным требованием является высокая износостойкость, целесообразнее использовать сталь P18.

Кобальтовые быстрорежущие стали (P18K5F2, P9K5, P9K10) применяют для обработки труднообрабатываемых коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов в условиях тяжелого прерывистого резания, вибраций, при плохих условиях охлаждения.

Ванадиевые быстрорежущие стали (P9F5, P14F4) рекомендуются для изготовления инструментов для чистовой обработки (протяжек, разверток, шеверов). Их также применяют для обработки труднообрабатываемых материалов при срезании небольших поперечных сечений стружки.

Вольфрамомолибденовые стали (P9M4, P6M3) используют для инструментов, работающих в условиях черновой обработки, а также для изготовления протяжек, долбяков, шеверов, фрез, сверл и другого инструмента.

Для экономии быстрорежущих сталей режущий инструмент делают сборным или сварным. Рабочую часть инструмента сваривают с хвостовиком из конструкционной стали (45, 50, 40X и др.). Часто используют пластинки из быстрорежущей стали, которые приваривают к державкам или корпусам инструментов.

3. Металлокерамические (твердые) сплавы

Металлокерамические сплавы представляют собой твердый раствор карбидов вольфрама (WC), карбидов титана (TiC) и карбидов тантала (TaC) в металлическом кобальте (Co). Твердые сплавы

используют в виде пластинок определенной формы и размеров, изготавливаемых методами порошковой металлургии. Пластины предварительно прессуют, а затем спекают при температуре 1500—1900° C.

Твердые сплавы (ГОСТ 3882—74) подразделяют на три группы: вольфрамовую BK2, BK3, BK3M, BK4, BK4B, BK6M, BK6, BK6B, BK8, BK8B, BK10, BK15, BK20, BK25; титановольфрамовую T30K4, T15K6, T14K8, T5K10, T5K12B; титанотанталовольфрамовую TT7K12 и TT10K8B.

Пластины из твердого сплава имеют *HRA* 86—74, высокую износостойкость и красностойкость (800—1000° C), что позволяет обрабатывать заготовки со скоростями резания до 800 м/мин. Эти пластины принаивают к державкам инструментов медными или латунными припоями или крепят механическим способом.

В промышленности широко применяют многогранные непечатаемые твердосплавные пластины (трех-, четырех-, пяти-, шестигранные и др.), которые крепят механическим способом. После износа одного из режущих лезвий пластины в рабочее положение устанавливают следующее ее лезвие.

Недостатком твердых сплавов является их низкая пластичность: с уменьшением содержания кобальта и увеличением содержания карбидов титана пластичность уменьшается.

Твердые сплавы группы BK, как более пластичные, используют для обработки хрупких металлов, пластмасс и других неметаллических материалов; твердые сплавы группы ТВК — для обработки пластичных и вязких металлов и сплавов.

Мелкозернистые твердые сплавы (BK6M и др.) применяют для обработки труднообрабатываемых материалов: коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, твердых чугунов и бронз, закаленных сталей, сплавов легких металлов, титана и его сплавов, а также для обработки неметаллических материалов (фарфора, керамики, стекла, ферритов и т. п.).

Группа трехкарбидных сплавов ТК отличается от групп BK и ТВК повышенной износостойкостью, прочностью и вязкостью. Эти твердые сплавы применяют при обработке труднообрабатываемых сталей аустенитного класса.

Инструменты сложных форм (сверла, зенкеры, развертки, элементы протяжек), а также небольших размеров трудно оснащать пластинками из твердого сплава. Такие инструменты изготавливают из *пластифицированных твердых сплавов*. Пластифицированный твердый сплав представляет собой спрессованный порошок, погруженный в кипящий парафин при 400° C и после остывания составляющий с ним однородную массу. Пластифицированные твердосплавные брикеты легко обрабатывать на металлорежущих станках, прессовать, выдавливать через фасонные фильеры.

Инструмент, изготовленный одним из этих методов, спекают в печах при 1300° C. После спекания он приобретает необхо-

дкую твердость и подвергается чистовой обработке и заточиванию.

Инструмент, изготовленный из пластифицированных твердых сплавов, обеспечивает более высокое качество обработанных поверхностей, чем инструмент, оснащенный пластинками из твердого сплава. Стойкость такого инструмента выше.

4. Минералокерамика

Минералокерамика — синтетический материал, основой которого является технический глинозем (Al_2O_3), подвергнутый спеканию при $1720-1750^\circ C$. Лучшей маркой минералокерамики является ЦМ-332 (имеет *HRA* 91—93 и красностойкость $1200^\circ C$). Минералокерамика имеет высокую износостойкость, что позволяет применять ее для инструментов, к которым предъявляют особые требования в отношении размерной стойкости. Ее малое родство с металлами исключает слипание с обрабатываемым материалом. Недостатком минералокерамики является низкая прочность и большая хрупкость.

Пластинки из минералокерамики крепят к державкам резцов или корпусам инструментов механическим способом или, проводя металлизацию пластинок, их крепят пайкой. Инструменты, оснащенные пластинками из минералокерамики, эффективно используют при полустовой и чистовой обработке сталей, чугуна и цветных металлов в условиях безударной нагрузки.

Для повышения эксплуатационных характеристик минералокерамики в нее добавляют вольфрам, молибден, бор, титан, никель и т. д. Такие материалы называют *керметами*. Особое значение керметы приобретают при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов.

5. Абразивные материалы

Абразивные материалы — мелкозернистые или порошковые вещества (химические соединения элементов), используемые для изготовления абразивных инструментов: шлифовальных кругов, головок, сегментов, брусков и т. д.

Естественные абразивные материалы (наждак, кварцевый песок, корунд) находят ограниченное применение вследствие неоднородности свойств. В промышленности применяют в основном искусственные абразивные материалы: электрокорунды, карбиды кремния, карбиды бора, окись хрома, синтетические алмазы, а также новые материалы, такие как борсилокарбид, славутич, альбор, гексагонит и др.

Абразивные материалы имеют очень высокую твердость. Так, если микротвердость алмаза принять за 100%, то микротвердость карбидов бора составляет 43%, карбидов кремния 35%, электрокорунда 25% от микротвердости алмаза. Твердость альбора близка

к твердости алмаза. Абразивные материалы имеют высокую красностойкость ($1800-2000^\circ C$) и износостойкость. Эти свойства абразивных материалов позволяют обрабатывать на скоростях резания $15-100$ м/с. Абразивные материалы используют в основном для окончательной обработки деталей машин, когда к ним предъявляют повышенные требования по точности и шероховатости.

Электрокорундовые шлифовальные круги применяют для обработки материалов с высоким сопротивлением на разрыв. Черный карбид кремния (КЧ) применяют для обработки материалов с низким сопротивлением на разрыв и вязких металлов и сплавов; зеленый карбид кремния (КЗ) — преимущественно для обработки и заточки твердосплавного и минералокерамического режущего инструмента.

Порошок карбида бора применяют при притирочных и доводочных работах, для доводки твердосплавного инструмента и шлифования очень твердых материалов (рубина, кварца, корунда и т. д.). Для изготовления шлифовальных и полировальных паст используют окись хрома, венскую известь, трепел и т. д. Борсилокарбид используют для обработки твердых сплавов, рубина и других высокотвердых материалов; альбор (кубонит) — для обработки высокотвердых материалов, а также конструктивных сталей.

Славутич — новый сверхтвердый материал. Не уступая алмазам по износостойкости, славутич превосходит их по прочности и имеет то преимущество, что из него можно изготовить режущие элементы практически любых форм и размеров.

6. Алмазный инструмент

В промышленности используют естественные (А) и искусственные (синтетические) алмазы марок АСО, АСП, АСВ, АСК, АСС, АСМ и АСН. Алмаз считается самым твердым материалом, имеет высокую красностойкость и износостойкость; у него практически отсутствует слипание со многими обрабатываемыми материалами. Недостатком алмазов является их повышенная хрупкость.

Алмазные порошки используют для доводочных методов обработки, кристаллы алмазов — для оснащения режущего инструмента (резцов, сверл и др.). Масса кристаллов, идущих на оснащение инструмента, составляет $0,2-0,8$ карата (1 карат = $0,2$ г).

При использовании инструментов, оснащенных алмазами, резко повышается качество обработанных поверхностей деталей. Скорость резания при обработке составляет более 100 м/мин. Поверхности деталей, обработанные в этих условиях, отличаются низкой шероховатостью и высокой точностью размеров. Наиболее широко используют алмазные резцы при тонком точении или растачивании деталей из сплавов алюминия, бронз, латуней, неметаллических материалов.

1. Развитие советского станкостроения

Прогресс, достигнутый в развитии современной технологии производства заготовок, и повышение технического уровня производства непрерывно сокращают объем механической обработки заготовок. Однако роль обработки резанием и значение металлорежущих станков в машиностроении непрерывно повышаются, так как технологические процессы изготовления деталей постоянно усложняются и совершенствуются, что диктуется требованиями высокой точности, надежности, долговечности и качества выпускаемых машин и приборов.

Современные отечественные металлорежущие станки являются весьма разнообразными и совершенными рабочими машинами, использующими механические, электрические и гидравлические методы осуществления движений и управления рабочим циклом, решающие самые разнообразные и сложные технологические задачи.

Советское станкостроение развивается не только в количественном, но и в качественном отношении. Непрерывно повышаются точность, производительность, мощность, быстроходность и надежность работы станков. Одновременно улучшаются эксплуатационные характеристики, расширяются технологические возможности, совершенствуются архитектурные формы станков. Особое место в станкостроении занимают станки с программным управлением, работающие по автоматическому замкнутому циклу, и станки типа «обрабатывающие центры». Успешное развитие станкостроения обеспечивает перевооружение всех отраслей промышленности СССР высокопроизводительными и высококачественными станками, многие из которых отвечают требованиям, предъявляемым мировыми стандартами. В мировом производстве станков советское станкостроение занимает одно из первых мест.

2. Классификация металлорежущих станков

В основу классификации металлорежущих станков, принятой в СССР, положен технологический метод обработки заготовок. Технологический метод обработки характеризуется типом станка, видом режущего инструмента и родом обрабатываемых поверхностей.

Для обозначения типов и моделей станков экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМС) разработана классификация, по которой все серийно выпускаемые станки разделены на 10 групп, каждая из которых разделена на 10 типов (табл. VI.1). Каждый тип имеет 10 типо-

размеров. По этой классификации каждому станку присвоен цифровой индекс модели.

Первая цифра модели станка означает его принадлежность к группе, вторая — тип станка. Следующие цифры указывают на одну из основных технических характеристик станка (высоту центров для токарно-винторезных станков; наибольший диаметр сверления отверстия для сверлильных станков и т. д.). В обозначениях моделей станков между цифрами или в конце их ставят буквы (А, К, М, Н и др.). Буква после первой цифры указывает на то, что станок является модернизированным, а буква в конце цифр означает видоизменение (модификацию) основной модели станка. Например, модель станка 1К62 означает: станок относится к группе токарных станков (1), винторезный (6), высота центров 200 мм (2), модернизированный (К).

Кроме основной классификации станков, существует несколько второстепенных. По степени универсальности станки делят на:

1) универсальные для обработки разных форм и размеров поверхностей деталей многих наименований (токарно-винторезные, фрезерные, сверлильные и т. д.);

2) широкого назначения для выполнения определенных операций на деталях многих наименований (токарно-отрезные, много-резцовые, центровочные и т. д.);

3) специализированные для обработки деталей одного наименования или сходных конфигураций, но разных размеров (станки для обработки коленчатых валов, труб, слитков, фланцев и т. д.);

4) специальные для обработки одной определенной детали или выполнения одной определенной технологической операции (станки для обточки шеек коленчатых валов, для фасонной обточки профиля реборд вагонных колес и т. д.).

По степени точности различают станки нормальной точности и станки высокоточные (прецизионные).

По степени автоматизации станки подразделяют: с ручным управлением рабочим циклом, полуавтоматы, автоматы и станки с программным управлением.

В зависимости от количества рабочих органов станки могут быть одношпиндельные, многошпиндельные, односупортные, многосупортные, одностоечные, двухстоечные и т. д.

3. Приводы и передачи станков

Приводом называют совокупность механизмов, передающих движение от источника движения (электродвигателя) к рабочим органам станка (шпинделю, суппорту, столу и т. д.). В современных металлорежущих станках применяют индивидуальный привод, т. е. каждый станок приводится в движение от одного электродвигателя либо от нескольких. В последнем случае различают приводы: главного движения, подачи, вспомогательных движений.

Классификация металлорежущих станков

ТАБЛИЦА VI.1

Группа станков	Шифр группы	Шифр			
		0	1	2	3
Резервные	0				
Токарные	1	Специализированные	Одношпиндельные	Многошпиндельные	Автоматы и Революрные
			Полуавтоматы		
Сверлильные и расточные	2	—	Вертикально-сверлильные	Одношпиндельные	Многошпиндельные
			Полуавтоматы		
Шлифовальные и доводочные	3	—	Круглошлифовальные	Внутришлифовальные	Обдирочношлифовальные
			Полуавтоматы		
Комбинированные	4	—	—	—	—
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Резьбонарезные	Зубострогальные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные
			Полуавтоматы		
Фрезерные	6	—	Вертикальные консольные	Непрерывного действия	—
			Полуавтоматы		
Строгальные, долбежные и протяжные	7	—	Одностоечные	Двухстоечные	Поперечнострогальные
			Продольные		
Разрезные	8	—	Резцом	Абразивным кругом	Гладким диском
Разные	9	—	Опиловочные	Пилонасекательные	Правильнобесцентровые обдирочные
			Полуавтоматы		

типа	Шифр					
	4	5	6	7	8	9
полуавтоматы	Сверлильноотрезные	Карусельные	Токарные и лобовые	Многорезцовые	Специализированные	Разные токарные
	Полуавтоматы					
томаты	Координатно-расточные	Радиально-сверлильные	Горизонтально-расточные	Алмазно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
	Специализированные шлифовальные	—	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные и полировочные	Разные, работающие абразивами
—	—	—	—	—	—	—
Для нарезания червячных пар	Для обработки торцов зубьев	Резьбофрезерные	Зубоотделочные и проверочные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие	
						Полуавтоматы
Копировальные и гравирующие	Вертикальные бесконсольные	Продольные	Консольные широкоуниверсальные	Горизонтальные консольные	Разные фрезерные	
						Полуавтоматы
Долбежные	Протяжные горизонтальные	—	Протяжные вертикальные	—	Разные строгальные	
тающие пилами						
Правильноотрезные	Ленточные	Дисковые	Ножовочные	—	—	
Балансировочные	Для испытания сверл и шлифовальных кругов	Делительные машины	—	—	—	

Электродвигатель устанавливают около станка, в станине или на станине. Для передачи движения от электродвигателя к ведущему валу рабочего узла используют ременную, цепную или зубчатую передачи. Часто электродвигатель крепят непосредственно к станине станка или корпусу узла станка к заранее предусмотренному конструкцией месту — фланцевый электродвигатель. Движение от двигателя передается в этом случае через зубчатую или чаще червячную передачу. Иногда в станках применяют встроенные электродвигатели. В этом случае ротор двигателя одновременно является шпинделем станка.

Приводы станков бывают со ступенчатым и бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя и величин подач. Приводы со ступенчатым регулированием выполняют в виде зубчатых коробок передач, обеспечивающих получение определенного ряда значений частоты вращения или подач.

Системы бесступенчатого регулирования позволяют получать частоту вращения шпинделя и величины подач в определенных пределах, что обеспечивает возможность работы на расчетном режиме резания. Для бесступенчатого регулирования движений применяют электрическое, гидравлическое или механическое регулирование.

Передачей называют механизм, передающий движение от одного элемента к другому (с вала на вал) или преобразующий одно движение в другое (вращательное в поступательное). В передаче элемент, передающий движение, называют ведущим, а элемент, получающий движение, — ведомым. Каждая передача характеризуется передаточным отношением.

Передаточным отношением передачи называется число, показывающее, во сколько раз частота вращения ведомого элемента (вала) меньше или больше частоты вращения ведущего элемента (вала):

$$i = \frac{n_{\text{вм}}}{n_{\text{вщ}}} = \frac{n_2}{n_1},$$

где i — передаточное отношение передачи; $n_{\text{вм}}, (n_2)$ — частота вращения ведомого вала, об/мин; $n_{\text{вщ}}, (n_1)$ — частота вращения ведущего вала, об/мин.

Ременная передача (рис. VI.25, а) осуществляется плоскими, клиновыми или круглыми ремнями через шкивы, закрепленные на ведомом и ведущем валах. Передаточное отношение ременной передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} \eta_p = \frac{d_1}{d_2} \eta_p,$$

где d_1 и d_2 — диаметры шкивов ведущего и ведомого валов, мм; η_p — коэффициент, учитывающий проскальзывание ремня относительно поверхностей шкивов ($\eta_p = 0,96 \div 0,99$).

Цепная передача (рис. VI.25, б) осуществляется роликовой или бесшумной цепью, соединяющей звездочки, закрепленные на

ведомом и ведущем валах. Передаточное отношение цепной передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

где z_1 и z_2 — число зубьев ведущей и ведомой звездочек. *Зубчатая передача* (рис. VI.25, в) состоит из цилиндрических (прямозубых, косозубых или шевронных) или конических зубчатых колес (с прямыми или криволинейными зубьями). Передаточное отношение зубчатой передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2},$$

где z_1 и z_2 — число зубьев ведущего и ведомого зубчатых колес.

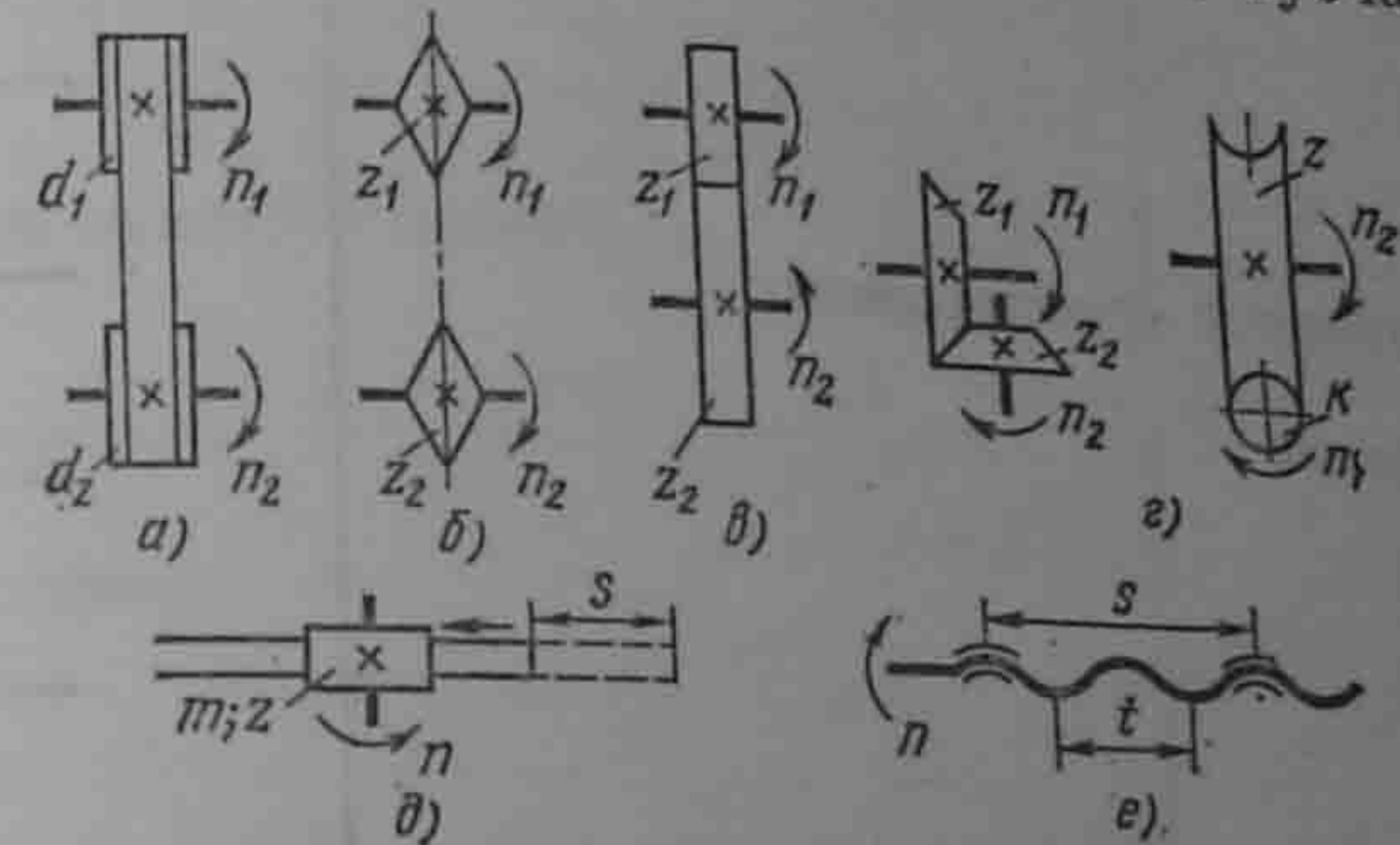


Рис. VI.25. Передачи металлорежущих станков

Червячная передача (рис. VI.25, г) состоит из червяка (винта) и червячного зубчатого колеса и предназначена для резкого снижения частоты вращения ведомого вала (ведущим, как правило, является червяк). Если резьба червяка имеет k заходов, а число зубьев червячного колеса равно z , то передаточное отношение передачи

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{k}{z}.$$

Реечная передача (рис. VI.25, д) служит для преобразования вращательного движения реечного зубчатого колеса или червяка в поступательное движение зубчатой рейки. Если реечное зубчатое колесо имеет z зубьев, а модуль реечного колеса и рейки равен m (мм), то за n оборотов реечного колеса рейка переместится на величину S (мм):

$$S = n m z.$$

Винтовая передача (рис. VI.25, е) состоит из винта и гайки и служит для преобразования вращательного движения винта в поступательное движение гайки. Если шаг резьбы винта равен

Наименование	Обозначение
Вал	
Подшипник скольжения радиальный	
Подшипники качения: радиальный	
роликовый	
радиально-упорный односторонний	
Концы шпинделей: центровых	
патронных	
Соединение двух валов: глухое	
эластичное	
шарнирное	
телескопическое	
Муфты кулачковые: односторонняя	
двусторонняя	
Муфты фрикционные: дисковая односторонняя	
конусная двусторонняя	

Наименование	Обозначение
Соединение детали с валом: свободное при вращении	
глухое	
подвижное без вращения	
с помощью вытяжной шпонки	
Ременная передача: плоским ремнем	
клиновидным ремнем	
Цепная передача	
Зубчатые передачи: цилиндрическими колесами	
коническими колесами	
винтовыми колесами	

Наименование	Обозначение
червячная	
Зубчатая реечная передача	
Гайка на винте, передающем движение:	
неразъемная	
разъемная	
Электродвигатель на лапках	

t (мм), число заходов резьбы равно k , то за n оборотов ходового винта гайка переместится в осевом направлении на величину S (мм):

$$S = ntk.$$

Условное обозначение передач и механизмов металлорежущих станков предусмотрено ГОСТ 2770-74. В табл. VI.2 даны условные обозначения основных передач и механизмов.

4. Механизмы металлорежущих станков

Подвижной блок зубчатых колес (рис. VI.26, а). Движение с вала I , на котором жестко на шпонках закреплены зубчатые колеса с числами зубьев z_1, z_3 и z_5 , передается на вал II , вдоль которого на шпонке перемещается тройной блок зубчатых колес с числами зубьев z_2, z_4 и z_6 . Вал II получает три частоты вращения вследствие изменения передаточного отношения зубчатых передач

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}; \quad i_2 = \frac{z_3}{z_4}; \quad i_3 = \frac{z_5}{z_6}.$$

Конус зубчатых колес с накидным зубчатым колесом (рис. VI.26, б). Движение с вала I на вал II передается зубчатым ко-

лесом z_c , которое перемещается на валу II на шпонке через накидное (промежуточное) колесо z_H , свободно сидящее на промежуточном валу. Зубчатые колеса $z_1 - z_5$ жестко закреплены на валу I .

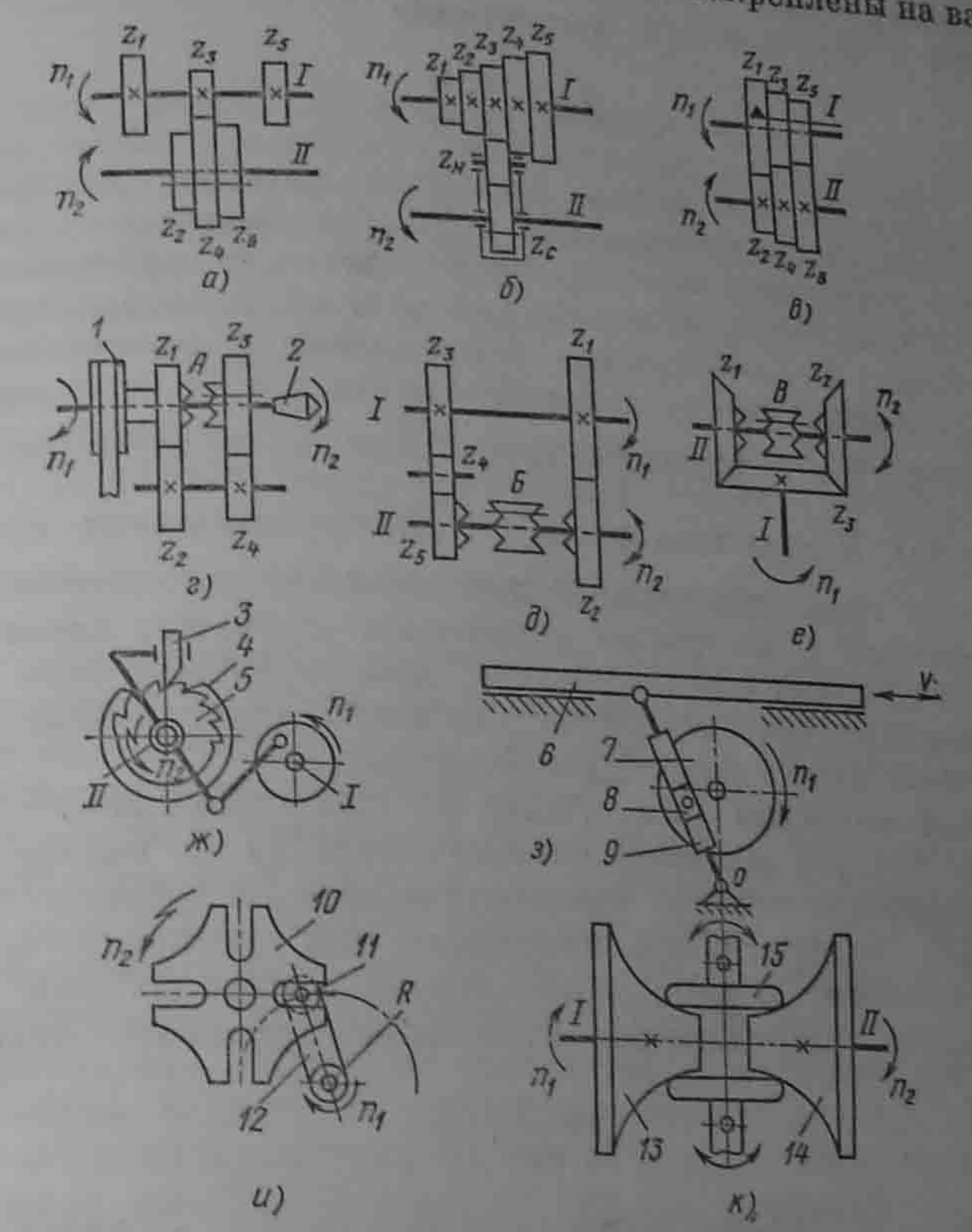


Рис. VI.26. Механизмы металлорежущих станков

вал II имеет пять разных частот вращения вследствие изменения передаточного отношения зубчатых передач

$$i_1 = \frac{z_1}{z_c}; \quad i_2 = \frac{z_2}{z_c}; \quad i_3 = \frac{z_3}{z_c}; \quad i_4 = \frac{z_4}{z_c}; \quad i_5 = \frac{z_5}{z_c}.$$

Конус зубчатых колес с вытяжной шпонкой (рис. VI.26, в). Движение с вала I на вал II может передаваться лишь тем зубчатым колесом, которое жестко соединено с валом I короткой вытяжной шпонкой. Остальные зубчатые колеса (z_3 и z_5) будут свободно сидеть на валу I и крутящий момент передавать не смогут. Если ведущим является вал I , то вал II будет иметь три разных частоты вращения, а передаточные отношения будут равны

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2}; \quad i_2 = \frac{z_3}{z_4}; \quad i_3 = \frac{z_5}{z_6}.$$

Механизм перебора (рис. VI.26, з). Этот механизм передает движение с ведущего шкива I непосредственно на шпиндель 2 (кулачковая муфта A включена влево) или через зубчатые колеса перебора с передаточным отношением

$$i_{\Pi} = \frac{z_1}{z_2} \frac{z_4}{z_3},$$

когда муфта A выключена. Механизм перебора предназначен для резкого снижения частоты вращения шпинделя.

Реверсивный механизм из цилиндрических зубчатых колес (рис. VI.26, б). Этот механизм изменяет направление вращения ведомого вала II относительно направления вращения ведущего вала I. Движение с вала I передается на вал II через зубчатые колеса $\frac{z_1}{z_2}$ (муфта B включена вправо) или через зубчатые колеса $\frac{z_1}{z_4} \frac{z_4}{z_3}$ (муфта B включена влево). При переключениях муфты B направление вращения вала II изменяется.

Реверсивный механизм из конических зубчатых колес (рис. VI.26, в). Механизм изменяет направление вращения вала II при переключениях муфты B вправо или влево. Направление вращения ведущего вала I остается неизменным.

Храповой механизм (рис. VI.26, ж). Механизм служит для периодического (прерывистого) поворота вала II на определенный угол при зацеплении зубьев храпового колеса 5 с зубом собачки 3, получающей возвратно-вращательное или возвратно-поступательное движение. Механизм используют в станках для прерывистой подачи. Передаточное отношение храпового механизма

$$i = \frac{a}{z},$$

где a — число зубьев, захватываемых собачкой; z — число зубьев храпового колеса.

Угол поворота храпового колеса ограничивается сектором 4.

Кулисный механизм (рис. VI.26, а). Механизм преобразует вращательное движение кулисного зубчатого колеса 7 в возвратно-поступательное движение ползуна 6. При вращении зубчатого колеса камень 8, закрепленный на пальце кулисного зубчатого колеса и скользящий по продольному пазу кулисы 9, заставляет ее качаться относительно центра качания O. Кулиса шарнирно соединена с ползуном. Ход ползуна зависит от величины эксцентриситета центра пальца относительно центра кулисного зубчатого колеса.

Механизм мальтийского креста (рис. VI.26, и). Этот механизм преобразует непрерывное вращательное движение водила 12 в прерывистое вращательное движение мальтийского креста 10. На ведущем валу закреплено водило 12, палец 11 которого описывает окружность радиуса R (мм). Палец 11 входит в паз маль-

тийского креста 10 и поворачивает его до тех пор, пока палец не выйдет из зацепления с пазом. Передаточное отношение мальтийского креста

$$i = \frac{1}{z},$$

где z — число пазов мальтийского креста.

Механизм бесступенчатого регулирования чисел оборотов (рис. VI.26, к). Механический вариатор конструкции В. А. Светозорова состоит из двух конических шкивов 13 и 14, образующей кривой является кривая. Шкивы закреплены на ведущем I и ведомом II валах. К поверхностям шкивов прижаты ролики 15. Оси роликеров можно устанавливать под разными углами относительно осей валов, чем и достигается изменение передаточного отношения передачи. Плавное изменение угла поворота роликеров обеспечивает регулирование частот вращения в пределах 3—6,5.

5. Кинематические схемы металлорежущих станков

Под кинематической схемой металлорежущего станка понимают условное изображение всех механизмов и передач, через которые передаются движения от привода (источника движения) к исполнительным органам станка.

Кинематическая схема токарно-винторезного станка модели 1А616. Кинематическая цепь главного движения. Привод главного движения станка модели 1А616 является разделенным (рис. VI.27). Он состоит из коробки скоростей, смонтированной в передней тумбе станка, и механизма перебора, смонтированного вместе со шпинделем в передней бабке.

Движение с вала I электродвигателя ($N = 4,5$ кВт; $n = 1440$ об/мин) передается на вал II через клиноременную передачу диаметром 135—168 мм; на вал III — через зубчатые передачи 41—26, 39—31 или 14—55. Всего вал III имеет три частоты вращения.

С вала III на вал IV движение передается через зубчатые передачи 14—44, 19—38, 26—32 или 31—25. Вал IV имеет 12 разных частот вращения. Скорости переключаются блоками B_1, B_2, B_3 и зубчатым колесом $z = 55$, сидящими на валах на скользящих шпонках.

С вала IV движение через клиноременную передачу диаметром 174—174 мм передается по лому валу V, а далее через зубчатые передачи 34—68 и 20—80 на шпиндель VII. Переключением муфты M_1 влево вращение вала V передается непосредственно шпинделю VII. Всего шпиндель станка имеет 24 частоты вращения (11—2240 об/мин).

Частота вращения шпинделя в об/мин

$$n_{\text{ш}} = n_{\text{д}} i_{\text{р1}} i_{\text{р2}} i_{\text{к}} i_{\text{р3}} i_{\text{р4}} i_{\text{ш}}$$

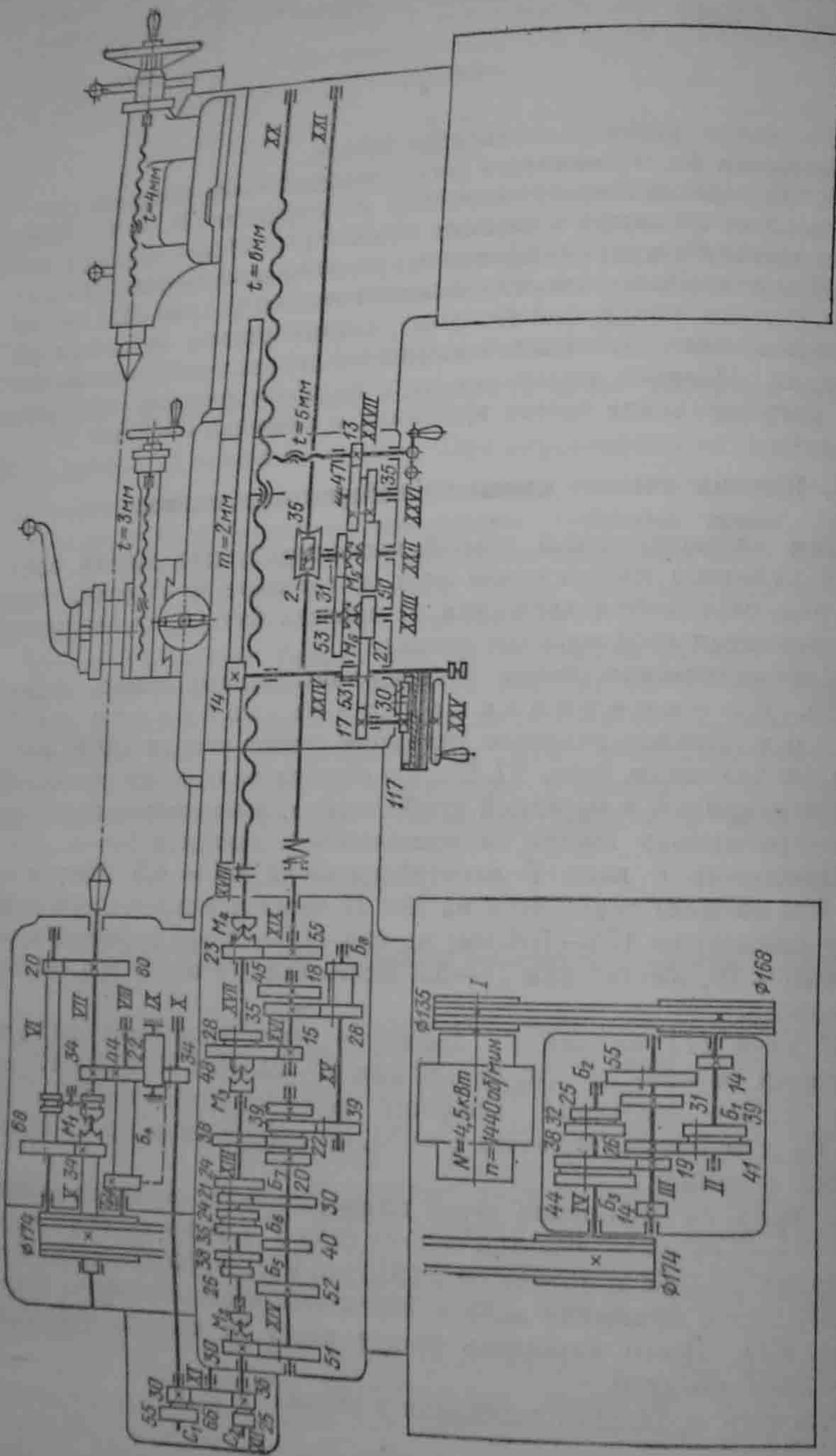


Рис. VI.27. Кинематическая схема токарно-винторезного станка модели 1А616

где n_d — частота вращения двигателя, об/мин; i_{p1}, i_{p2} — передаточные отношения клиноременных передач; $i_{н.с}$ — передаточное отношение передач коробки скоростей; i_n — передаточное отношение механизма перебора; η_p — коэффициент проскальзывания ремня относительно поверхности шкивов ременной передачи.

$$n_{ш} = 1440 \frac{135}{168} 0,98 \frac{14}{55} \frac{14}{44} \frac{174}{174} 0,98 \frac{34}{68} \frac{20}{80} = 11 \text{ об/мин.}$$

Кинематическая цепь подачи. Кинематическая цепь движения подачи суппортов станка начинается с вала VII (шпинделя). Движение с вала VII на вал X передается через реверсивный механизм зубчатыми передачами 34—44—22—34 или 34—44—44—34. Переключение зубчатого колеса $z = 34$ на скользящей шпонке реверсирует направление движения подач суппортов. С вала X движение передается на ведущий вал XII коробки подач через зубчатые передачи 30—66—36.

Включением муфт M_2 и M_3 и переключением блоков B_5, B_6, B_7 и B_8 коробки подач движение с вала XII передается через соответствующие зубчатые передачи на ходовой валик XXI станка. Механизм коробки подач обеспечивает 48 частот вращения ходового валика. Однако вследствие близкого совпадения ряда частот вращения практически коробка подач обеспечивает только 22 частоты вращения ходового валика и, следовательно, 22 продольные или поперечные подачи.

С ходового валика XXI движение передается на вал XXII фартука станка червячной передачей 2—35. Включением муфты M_6 движение передается с вала XXII через зубчатые передачи 31—53 и 27—53 на вал XXIV, на конце которого жестко закреплено реечное зубчатое колесо $z = 14$. Реечное колесо, вращаясь, катится по зубчатой рейке, привернутой винтами к станине станка, обеспечивая продольную подачу суппорта. Включением муфты M_5 движение передается с вала XXII через зубчатые передачи 50—35 и 47—13 на ходовой винт XXVII поперечной подачи.

Кинематическая цепь нарезания резьбы. При нарезании резьб с шагом до 6 мм движение в коробку подач передается от шпинделя. Резьбы с более крупным шагом нарезают при включенном переборе с использованием звена увеличения шага. Для этого блок B_4 смещают вправо, пока зубчатое колесо $z = 44$ не войдет в зацепление с колесом $z = 34$, закрепленным на валу V. В этом случае движение в коробку подач передается от полого вала V; с вала X на вал XII коробки подач — через блоки C_1 и C_2 сменных зубчатых колес.

При нарезании дюймовых и питчевых резьб кулачковую муфту M_2 выключают. Колесо $z = 51$ зацеплено с колесом $z = 30$ вала XII, а колесо $z = 39$ вала XV введено в зацепление с колесом $z = 39$ блока 22—39, свободно сидящим на валу XIV. При нарезании метрических и модульных резьб включают муфту M_2 , ко-

лесу $z = 51$ выводит на зацепления, а колесо $z = 39$ переключают по валу XV вправо до зацепления его с колесом $z = 39$, жестко закрепленным на валу XIV. Суппорт станка при нарезании резьбы получает движение от коробки подач через кулачковую муфту M_4 , промежуточный вал $XVIII$ и ходовой винт XX.

Кинематическая схема зубофрезерного полуавтомата модели 5Д32. Скоростная кинематическая цепь (рис. VI.28). Вращение шпинделя станка осуществляется по следующей кинематической цепи: электродвигатель ($N = 2,8$ кВт; $n = 1420$ об/мин), клиноременная передача 105—224, вал I, зубчатая передача 32—48, вал II, зубчатая передача 35—35, вал III, сменная зубчатая передача 32—48, вал IV, коническая зубчатая сменная зубчатая передача 16—64, вал V, коническая зубчатая передача 24—24, вал VI, коническая зубчатая передача 16—64, вал VIII (шпиндель станка). Сменные зубчатые колеса $A_1—B_1$ позволяют получать семь частот вращения шпинделя. Для равномерного вращения шпинделя на валу VII установлен маховик.

Кинематическая цепь обкатки (делительная цепь). Делительная кинематическая цепь связывает частоту вращения фрезы (шпинделя станка) с частотой вращения заготовки (стола станка). За время одного оборота фрезы заготовка поворачивается относительно оси на величину $\frac{k}{z}$ оборота (k — число выходов резьбы фрезы; z — число зубьев нарезаемого колеса).

Движение от шпинделя (вал VIII) передается заготовке (столу) через зубчатую передачу 64—16, вал VII, зубчатую передачу 17—17, вал VI, коническую зубчатую передачу 24—24, вал V, коническую зубчатую передачу 24—24, вал IV, зубчатую передачу 46—46, конический дифференциал с передаточным отношением $i_{диф}$, колеса переключения $C_1—D_1$, вал XXVI, сменные зубчатые колеса гитары деления $a—b$ и $c—d$, червячную передачу 1—96 на стол станка.

Кинематическая цепь вертикальной подачи. Цепь вертикальной подачи связывает вращательное движение стола станка (заготовки) с вертикальным перемещением фрезерного суппорта с фрезой. За один полный оборот стола фрезерный суппорт должен вертикально переместиться на величину выбранной подачи s_n (мм/об).

Движение от стола станка на вертикальный ходовой винт передается по следующей кинематической цепи: стол станка, червячная передача 96—1, червячная передача 2—24, сменные зубчатые колеса гитары подач $a_1—b_1$ и $c_1—d_1$, вал X (муфта M_3 включена), зубчатая передача 45—36, вал XII, коническая зубчатая передача 19—19, вал XIII, коническая зубчатая передача 16—16, вал XIV, червячная передача 4—20 (муфта M_1 включена), вал XV, червячная передача 5—30 (муфта M_6 включена), вал XX, вертикальный ходовой винт с шагом резьбы $t = 10$ мм.

Кинематическая цепь горизонтальной подачи. Цепь горизонтальной подачи связывает вращательное

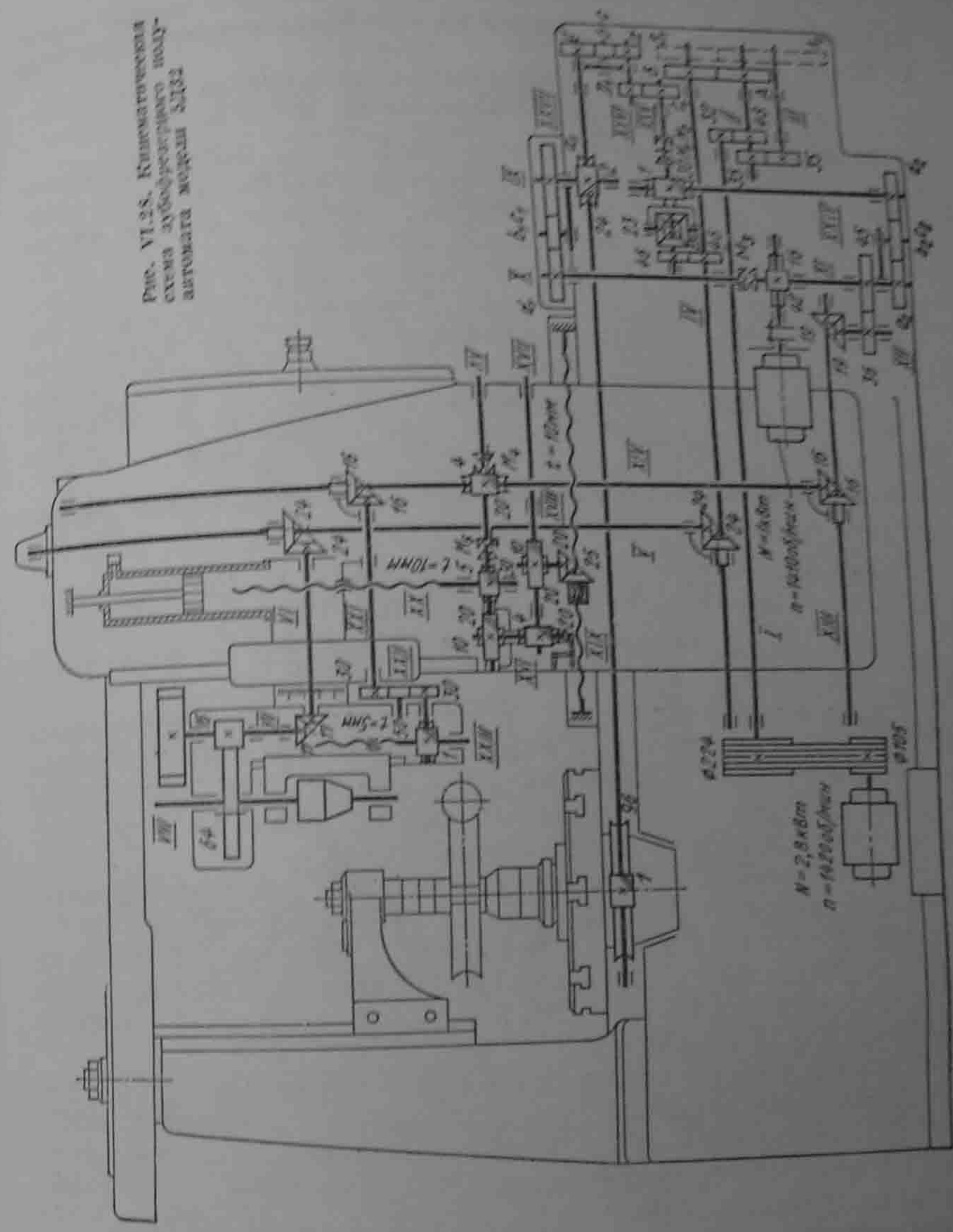


Рис. VI.28. Кинематическая схема зубофрезерного полуавтомата модели 5Д32

движение стола (заготовки) с горизонтальным перемещением подвижной стойки. За один полный оборот стола подвижная стойка должна горизонтально переместиться на величину выбранной подачи s_r (мм/об).

Так как цепь горизонтальной подачи схожа с цепью вертикальной подачи, то представим ее уравнение в следующем виде (в мм/об):

$$s_r = 1 \frac{96}{1} \frac{2}{24} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{45}{36} \frac{19}{19} \frac{16}{16} \frac{4}{40} \frac{10}{20} \frac{4}{20} \frac{10}{20} \frac{20}{25} 10.$$

При настройке цепи горизонтальной подачи муфту M_5 выключают, а включают падающий червяк вала XVI. Как видно из уравнения цепи горизонтальной подачи, движение в этом случае будет передвигаться на горизонтальный ходовой винт (вал XIX).

Дифференциальная кинематическая цепь. Дифференциальная цепь связывает дополнительное вращение заготовки с вертикальным перемещением фрезерного суппорта (фрезы). За один полный дополнительный оборот стола (заготовки) фрезерный суппорт (фреза) должен переместиться по вертикали на шаг $T_{х.в}$ (мм) винтовой линии зуба нарезаемого косозубого зубчатого колеса.

Уравнение баланса движений дифференциальной цепи записывается в следующем виде:

$$\frac{T_{х.в}}{10} \frac{30}{5} \frac{20}{4} \frac{16}{16} \frac{19}{19} \frac{36}{45} \frac{a_2}{b_2} \frac{c_2}{d_2} \frac{1}{30} \cdot i_{диф} \frac{C_1}{D_1} \frac{a_1}{b_1} \frac{c_1}{d_1} \frac{1}{96} = 1 \text{ об. заг.}$$

При настройке дифференциальной цепи муфту M_2 выключают, а M_1 включают.

Вспомогательные движения. Рабочие органы станка (фрезерный суппорт и подвижная стойка) быстро перемещаются от электродвигателя ($N = 2$ кВт; $n = 1410$ об/мин) через винтовые зубчатые колеса 16—42, вал XI и далее по соответствующим кинематическим цепям станка.

Кинематическая и гидравлическая схемы круглошлифовального станка модели 3151 (рис. VI.29). Кинематическая цепь главного движения. Шпиндель станка, на котором закреплен шлифовальный круг, приводится во вращение от электродвигателя ($N = 7$ кВт; $n = 1440$ об/мин) и клиноременную передачу 110—150.

Кинематическая цепь круговой подачи. Обрабатываемая заготовка, устанавливаемая на центрах, получает вращательное движение через поводковый патрон, навинченный на шпиндель станка. Шпиндель получает вращательное движение от электродвигателя ($N = 0,8$ кВт; $n = 940$ об/мин) через трехступенчатую клиноременную передачу 90—200 (125—165 или 175—115), клиноременные передачи 90—215 и 115—215. Всего шпиндель станка имеет три частоты вращения.

Цепь продольной подачи. Продольная подача стола осуществляется гидроприводом. Гидравлический масляный

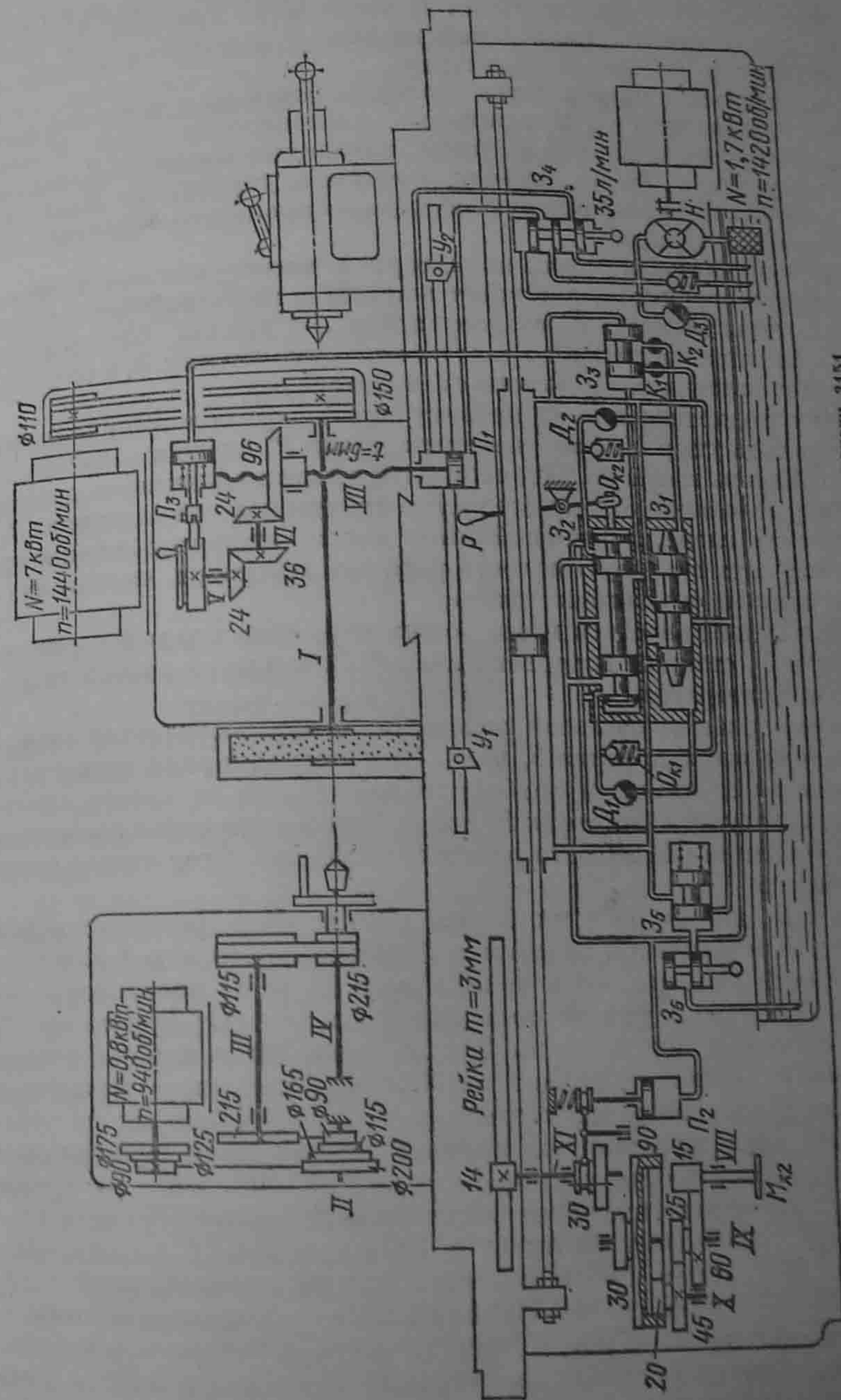


Рис. VI.29. Кинематическая и гидравлическая схемы круглошлифовального станка модели 3151

насос H приводится в движение электродвигателем ($N = 1,7$ кВт и $n = 1420$ об/мин). От насоса H масло через дроссель D_3 , изменяющий скорость продольной подачи, под высоким давлением поступает в напорную магистраль.

Продольная подача (пуск стола) включается установкой пускового золотника Z_6 в положение, указанное на схеме. Масло, находящееся в напорной магистрали, сдвигает золотник Z_3 вправо и поступает в левую выточку золотника управления Z_2 , через клапан O_{11} попадает в левую полость реверсивного золотника Z_1 , смещая его вправо.

Основной поток масла из напорной магистрали через левую выточку золотника Z_1 поступает в левую полость рабочего цилиндра, смещая поршень со столом вправо. Из правой полости рабочего цилиндра масло через правую выточку золотника Z_1 в среднюю выточку золотника Z_2 сливается в резервуар.

При подходе стола к правому крайнему положению левый переставной упор Y_1 стола повернет рычаг P , смещая золотник Z_2 влево. Теперь масло из напорной магистрали пойдет через правую выточку золотника Z_2 и дроссель D_2 в правую полость золотника Z_1 , сместит его влево, и основной поток масла высокого давления будет поступать в правую полость рабочего цилиндра, смещая поршень, шток и стол станка влево.

Стол будет двигаться влево до тех пор, пока правый переставной упор Y_2 стола не повернет рычаг P . Затем цикл работы гидросистемы повторится.

Выключение продольной подачи стола осуществляется смещением пускового золотника Z_6 вниз. При этом напорная магистраль соединяется со сливным трубопроводом. Масло от насоса сливается в резервуар, а золотник Z_3 под действием пружины смещается влево, соединяя обе полости рабочего цилиндра. Стол станка стоит неподвижно.

Цепь поперечной подачи. При реверсировании хода стола и смещении золотника Z_1 масло из его левой или правой полости вытесняется и через краны K_1 и K_2 поступает в золотник Z_3 периодической поперечной подачи. От золотника Z_3 масло поступает под поршень $П_3$ цилиндра. Шток поршня связан с собачкой храпового механизма. Собачка храпового механизма приводит во вращение храповое колесо, поворачивая его на определенный угол, так как ход поршня регулируется специальным упором (на схеме станка упор не показан). Движение от храпового колеса передается через конические зубчатые передачи 24—36 и 24—96 ходовому винту (вал VII) поперечной подачи. При этом шлифовальная бабка перемещается на определенную величину в направлении, перпендикулярном к оси вращения заготовки.

Если оба крана K_1 и K_2 открыты, то шлифовальная бабка получает периодическую поперечную подачу в конце двойного хода стола. Чтобы выключить поперечную подачу шлифовальной бабки, необходимо закрыть оба крана K_1 и K_2 .

6. Автоматы и полуавтоматы

Автоматами называют станки, на которых после их наладки и включения все основные и вспомогательные движения осуществляются их механизмами без участия оператора. Автоматы работают по периодически повторяющемуся циклу. В цикл входит установка и закрепление обрабатываемой заготовки на станке, обработка ее поверхностей, съем обработанной детали, подача и закрепление следующей заготовки.

В обязанности оператора, обслуживающего автомат, входит периодическая загрузка автомата заготовками (прутками или штучными), контроль качества деталей и устранение мелких неполадок в работе автомата. Один оператор обслуживает, как правило, группу автоматов.

Полуавтоматы отличаются от автоматов тем, что снятие детали на полуавтоматах и установка заготовки на станке, а также включение станка требуют вмешательства оператора. Цикл обработки заготовки — автоматический. На автоматах и полуавтоматах целесообразно обрабатывать партии заготовок (серийное и массовое производство).

В работу автоматов заложены определенные принципы обработки заготовок:

- 1) **одинарный** — в обработке каждой заготовки участвует только один режущий инструмент;
- 2) **параллельный** — в обработке каждой заготовки участвует несколько инструментов, работающих одновременно в течение определенного времени;
- 3) **последовательный** — в обработке каждой заготовки участвует несколько инструментов, вступающих в работу последовательно один за другим;
- 4) **параллельно-последовательный** — в обработке каждой заготовки участвует несколько групп инструментов, причем инструменты одной группы работают параллельно, а инструменты нескольких групп — последовательно;
- 5) **ротационный** — в обработке каждой заготовки участвует один или группа инструментов при одновременном ротационном (вращательном) движении заготовок и инструментов;
- 6) **непрерывный** — в обработке каждой заготовки участвует один или несколько инструментов при непрерывной подаче заготовок.

По виду обрабатываемых заготовок различают автоматы для изготовления деталей из бунта проволоки, из пруткового материала (прутковые) и из штучных заготовок (магазинные).

По числу шпинделей различают одношпиндельные и многошпиндельные автоматы и полуавтоматы; по расположению осей вращения — горизонтально-шпиндельные и вертикально-шпиндельные автоматы и полуавтоматы.

1. Характеристика метода точения

Технологический метод формообразования поверхностей заготовок точением характеризуется наличием двух движений: вращательным движением заготовки (скорость резания) и поступательным движением режущего инструмента-резца (движение подачи).

Обрабатывают на токарных станках, классификация которых дана в табл. VI.1. На вертикальных полуавтоматах и автоматах и токарно-карусельных станках заготовки имеют вертикальную ось вращения, на всех прочих — горизонтальную. Движение подачи осуществляется параллельно, перпендикулярно или под углом к оси вращения заготовки.

На станках токарной группы обрабатывают в основном наружные и внутренние поверхности, имеющие форму тел вращения, а также плоские (торцовые) поверхности. На специальных и специализированных станках можно обрабатывать и более сложные поверхности, например поверхности, описываемые уравнением спирали Архимеда, циклоиды и т. д., а также плоские многогранники (четырёх-, шестигранные плоские поверхности и т. д.).

Под термином точение (обтачивание), как правило, понимают обработку наружных поверхностей. Разновидностями точения являются: растачивание — обработка внутренних поверхностей; подрезание — обработка плоских (торцовых) поверхностей и разрезание — разделение заготовки на части или отрезание готовой детали от ее заготовки — пруткового проката.

В современном машиностроении и приборостроении обработка на токарных станках является лишь черновой или получистовой. В механических цехах машиностроительных заводов удельный вес токарных станков и автоматов составляет 30—40% от общего парка металлорежущих станков.

2. Токарные резцы

Многообразие видов поверхностей, обрабатываемых на станках токарной группы, привело к созданию большого числа токарных резцов, которые классифицируют по разным признакам.

По технологическому назначению различают резцы (рис. VI.30, а): проходные 1—3 для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей; подрезные 4 для обтачивания плоских торцовых поверхностей; расточные 5 для растачивания сквозных и 6 для глухих отверстий; отрезные 7 для разрезания заготовок; резьбовые 8 для нарезания наружных и внутренних резьб; фасонные круглые 10 и призматические 11 для обтачивания фасонных поверхностей; прорезные для обтачивания кольцевых канавок; галтельные для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу и др.

По характеру обработки различают резцы черновые, получистовые и чистовые лопаточные 9. По форме рабочей части резцы (рис. VI.30, а) делят на прямые 1, отогнутые 2, оттянутые 7 и изогнутые, которые используют обычно для разрезания на части заготовок больших диаметров. По направлению подачи резцы подразделяют на правые и левые (рис. VI.30, б). Правые работают с подачей справа налево, левые — слева направо. По способу изготовления различают резцы: целые, с приваренной встык рабочей частью, с приваренной или припаянной пластинкой инструментального материала, со сменными пластинками режущего материала. По роду материала резцы бывают из быстрорежущего материала.

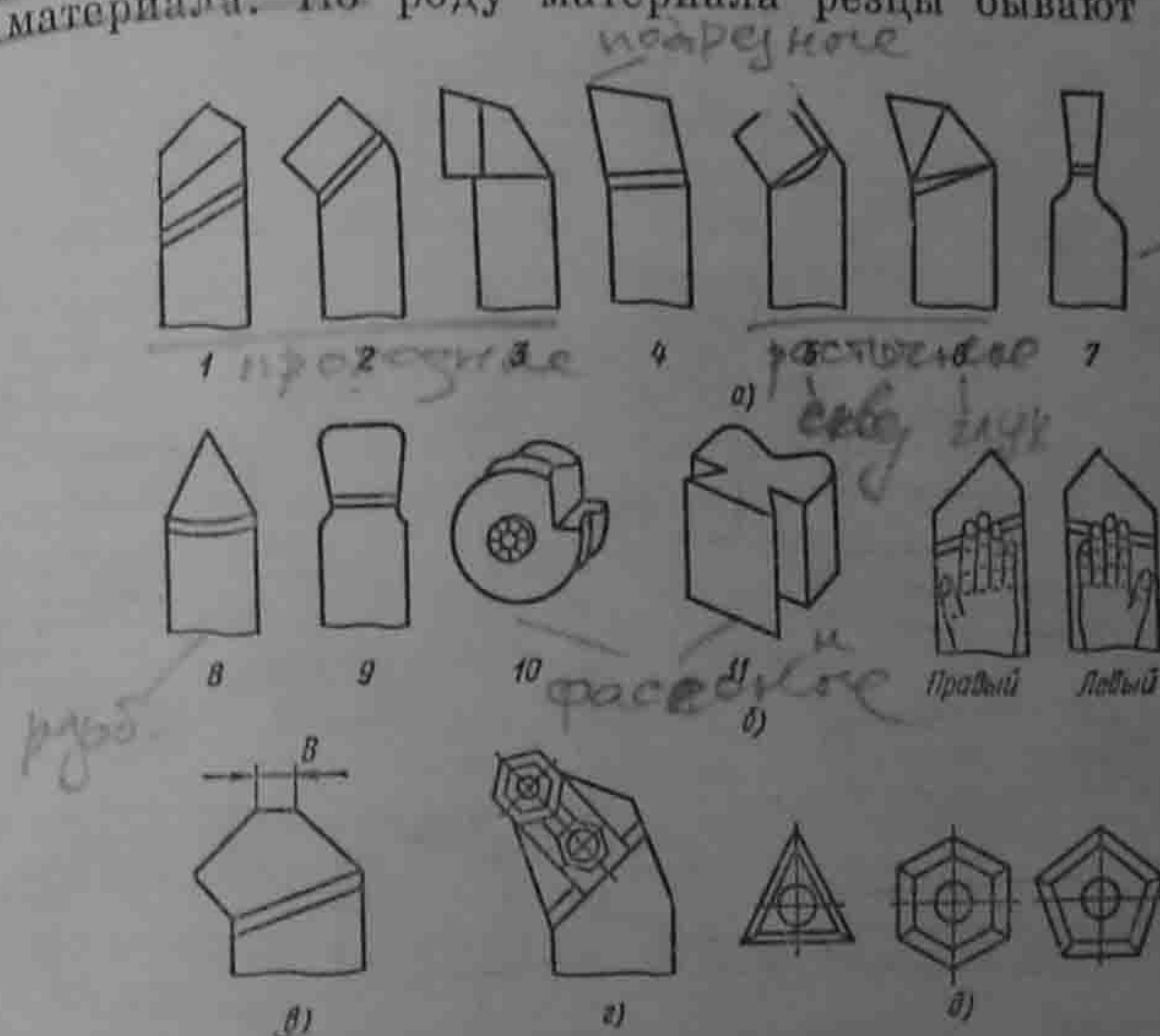


Рис. VI.30. Токарные резцы

режущей стали, с пластинками из твердого сплава, с пластинками из минералокерамики, с кристаллами алмазов.

Для высокопроизводительного точения с большими подачами используют резцы с дополнительным режущим лезвием (рис. VI.30, в). Длина B дополнительного режущего лезвия составляет 1,1 $\lambda_{рп}$. Резец устанавливают на станке так, чтобы дополнительное режущее лезвие было параллельно линии центров станка. В этом случае обработанная поверхность будет иметь малую шероховатость.

В промышленности широко применяют резцы с многогранными неперетачиваемыми твердосплавными пластинками (рис. VI.30, г). Когда одно из режущих лезвий пластинки выходит из строя вследствие затупления, открепляют механический прижим пластинки и устанавливают в рабочее положение следующее ее лезвие. Форма пластинок показана на рис. VI.30, д.

3. Приспособления для обработки заготовок на токарных станках

Характер установки и закрепления заготовки, обрабатываемой на токарном станке, зависит от типа станка, вида обрабатываемой поверхности, характеристики заготовки (отношение длины заготовки к ее диаметру), требуемой точности обработки и других факторов.

При обработке на токарно-винторезных станках широко применяют закрепление заготовок в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне

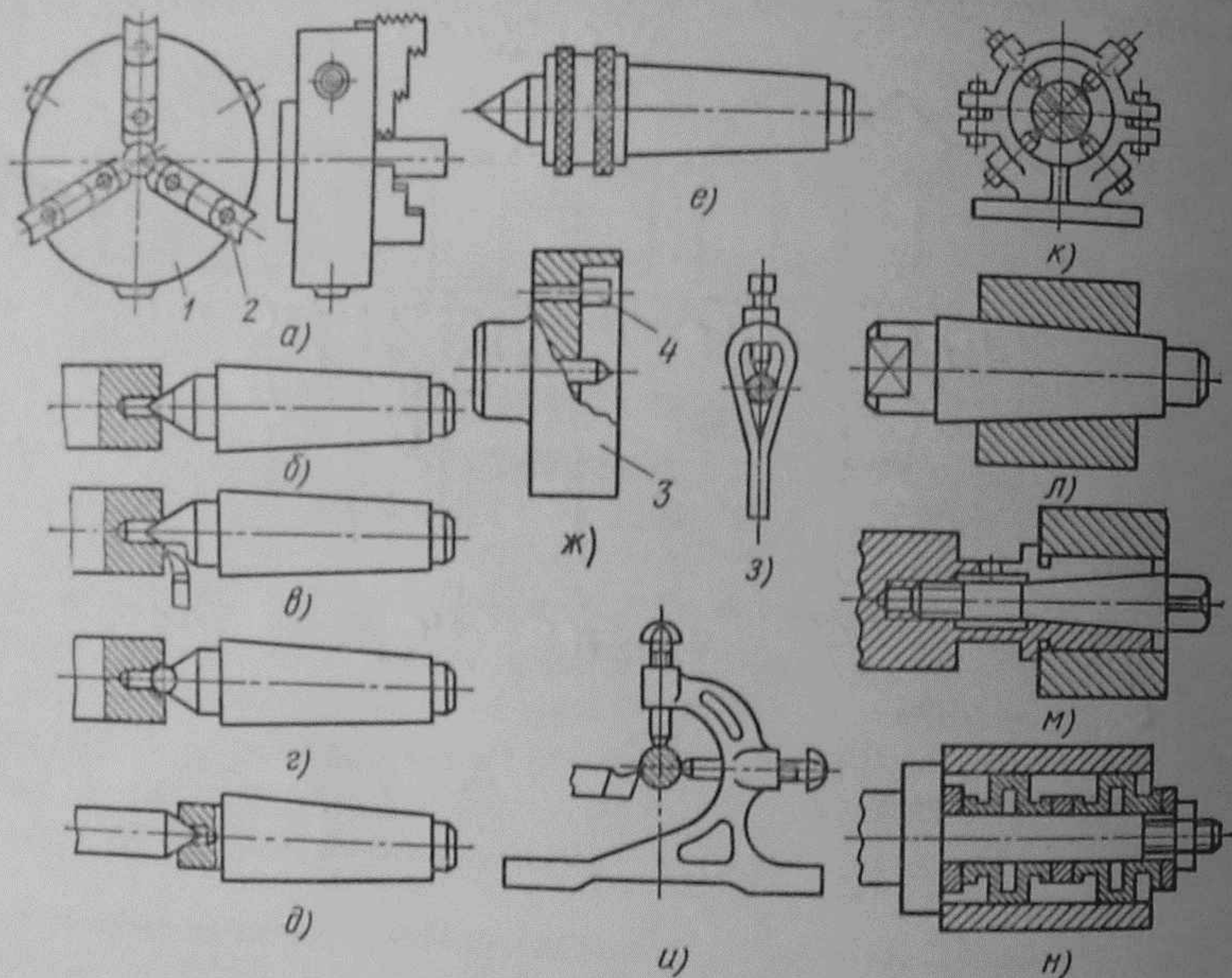


Рис. VI.31. Приспособления для закрепления заготовок на токарных станках

патроне (рис. VI.31, а). Патрон состоит из корпуса 1 с тремя радиальными пазами, по которым перемещаются кулачки 2. Кулачки приводятся в движение от конической зубчатой передачи, смонтированной в корпусе патрона. Одно из конических колес на торце имеет торцовую резьбу (спираль Архимеда). Основания кулачков также имеют торцовую резьбу, выступы которой входят во впадины резьбы колеса. Вращение конического зубчатого колеса преобразуется в поступательное равномерное движение кулачков, которые перемещаются к центру или от центра патрона, что обеспечивает установку заготовки по оси патрона и ее одновременное закрепление тремя кулачками.

Трехкулачковые патроны применяют для закрепления заготовок при отношении их длины к диаметру $\frac{L_{заг}}{D_{заг}} < 4$. При отно-

шении $\frac{L_{заг}}{D_{заг}} = (4 \div 10)$ заготовку устанавливают на центрах, а для передачи крутящего момента от шпинделя на заготовку используют поводковый патрон и хомутик.

Для установки на центрах заготовку необходимо зацентрировать, т. е. сделать центровые отверстия с торцов вала. Центровые отверстия выполняют специальными центровочными сверлами; их форма и размеры установлены ГОСТ 14034—74. Заготовку с центровыми отверстиями устанавливают на передний и задний центры.

Центры бывают опорные (рис. VI.31, б), срезанные (рис. VI.31, в), шариковые (рис. VI.31, г), обратные (рис. VI.31, д) и вращающиеся (рис. VI.31, е). Опорные центры делают с твердосплавными наконечниками, повышающими их долговечность. Срезанные центры применяют при подрезании торцов заготовки; шариковые центры — при обтачивании конических поверхностей заготовок способом сдвига задней бабки в поперечном направлении; обратные центры — при обработке заготовок небольших диаметров. В этом случае заготовку по краям обтачивают на конус, а центровые отверстия выполняют в обратном центре. Вращающиеся центры применяют при срезании слоя металла большого сечения или при обработке на больших скоростях резания.

При установке заготовки на центрах для передачи на нее крутящего момента от шпинделя станка используют поводковый патрон (рис. VI.31, ж) и хомутик (рис. VI.31, з). Поводковый патрон представляет собой корпус 3, навинчиваемый на шпиндель станка, с торца которого запрессован цилиндрический палец 4. Хомутик закрепляют на заготовке болтом.

При отношении $\frac{L_{заг}}{D_{заг}} > 10$ заготовку устанавливают на центрах; для передачи на нее крутящего момента от шпинделя станка используют поводковый патрон и хомутик, а для уменьшения деформации заготовки от сил резания дополнительно применяют люнеты. Подвижный (открытый) люнет (рис. VI.31, и) устанавливают на продольном суппорте станка, неподвижный (закрытый) (рис. VI.31, к) закрепляют на станине. Усилия резания воспринимаются опорами люнетов, что уменьшает деформацию заготовок.

Для обработки заготовок типа втулок, колец и стаканов применяют конические оправки (рис. VI.31, л), когда заготовка удерживается на оправке за счет силы трения на сопряженных поверхностях; цанговые оправки (рис. VI.31, м) с разжимными упругими элементами — цангами; упругие оправки с гидропластмассой, гофрированными втулками (рис. VI.31, н), тарельчатыми пружинами и т. д.

На токарно-револьверных станках, полуавтоматах и автоматах для закрепления заготовок часто используют цанговые патроны, так как на этих станках обрабатывают детали, заготовками которых является прутковый прокат.

4. Обработка заготовок на токарно-винторезных станках

Токарно-винторезный станок состоит из следующих узлов (рис. VI.32). Станина 2 с горизонтальными призматическими направляющими служит для монтажа узлов станка и закреплена на двух тумбах. В передней тумбе 1 смонтирован электродвигатель главного привода станка, в задней тумбе 12 — бак для хранения смазочно-охлаждающей жидкости и насосная станция для подачи жидкости в зону резания при обработке заготовок.

В передней бабке 6, установленной с левой стороны станины, смонтированы коробка скоростей станка и шпиндель. Механизмы и передачи коробки скоростей позволяют получать разные частоты вращения шпинделя станка. На шпинделе закрепляют зажимные приспособления для передачи крутящего момента обрабатываемой

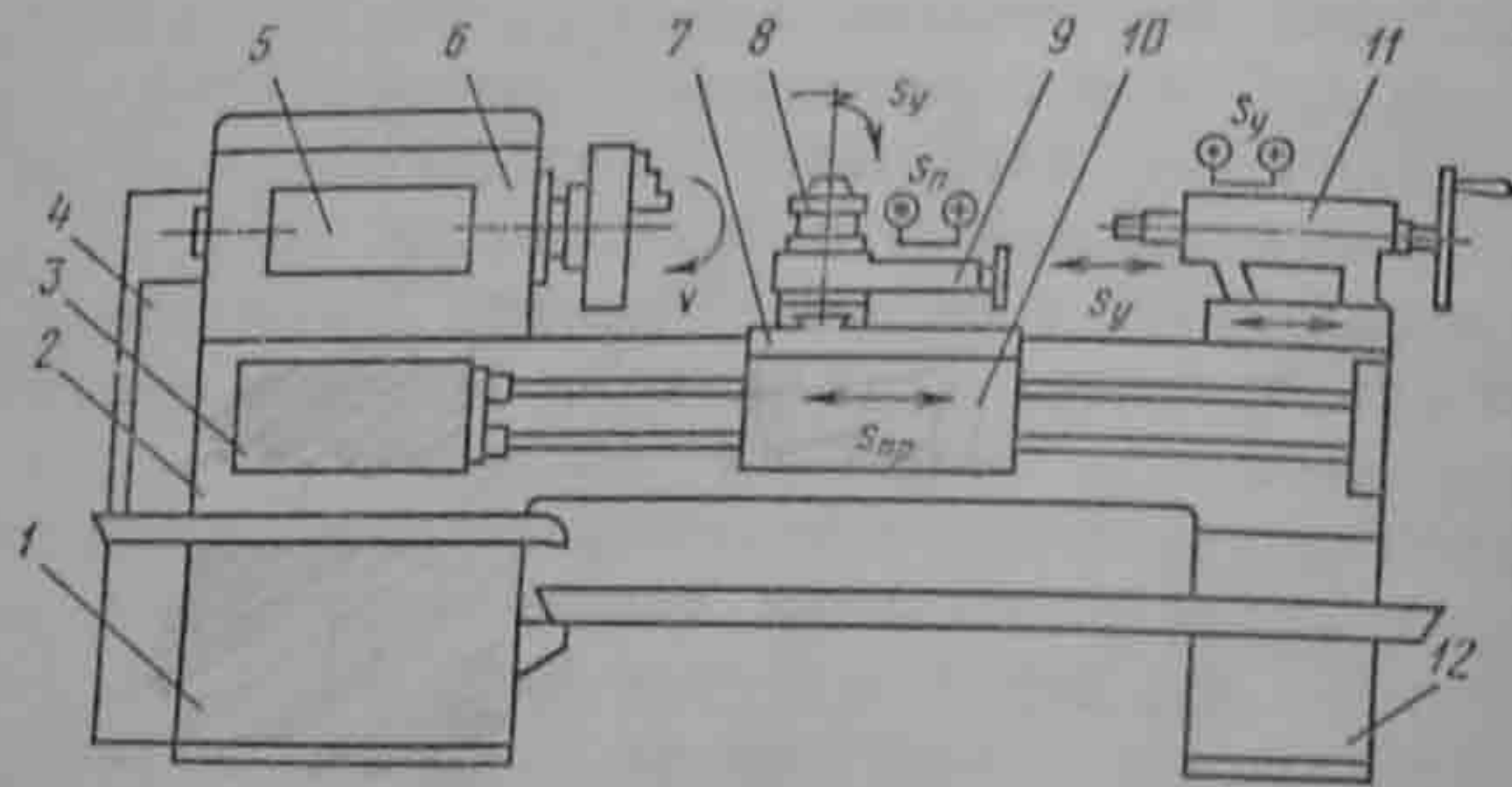


Рис. VI.32. Общий вид токарно-винторезного станка

заготовке. На лицевой стороне передней бабки установлена панель управления 5 механизмами и передачами коробки скоростей.

Коробку подач 3 крепят к лицевой стороне станины. В коробке подач смонтированы механизмы и передачи, позволяющие получать разные скорости движения суппортов. С левой торцевой стороны станины установлена коробка 4 сменных зубчатых колес, необходимых для наладки станка на нарезание резьбы.

Продольный суппорт 7, установленный на направляющих станины, перемещается по ним и обеспечивает продольную подачу резца. По направляющим продольного суппорта перпендикулярно оси вращения заготовки перемещается поперечная каретка, на которой смонтирован верхний суппорт 9. Поперечная каретка обеспечивает поперечную подачу резцу. Верхний поворотный суппорт можно устанавливать под любым углом к оси вращения заготовки, что необходимо при обработке конических поверхностей заготовок.

На верхнем суппорте смонтирован четырехпозиционный поворотный резцедержатель 8, в котором можно одновременно закрепить четыре резца. К продольному суппорту крепят фартук 10 станка. В фартуке смонтированы механизмы и передачи, преобразующие вращательное движение ходового валика или ходового

винта в поступательные движения суппортов. Задняя бабка 11 установлена с правой стороны станины и перемещается по ее направляющим. В пиноли задней бабки устанавливают задний центр или инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры, развертки). Корпус задней бабки смещается относительно ее основания в поперечном направлении, что необходимо при обтачивании наруж-

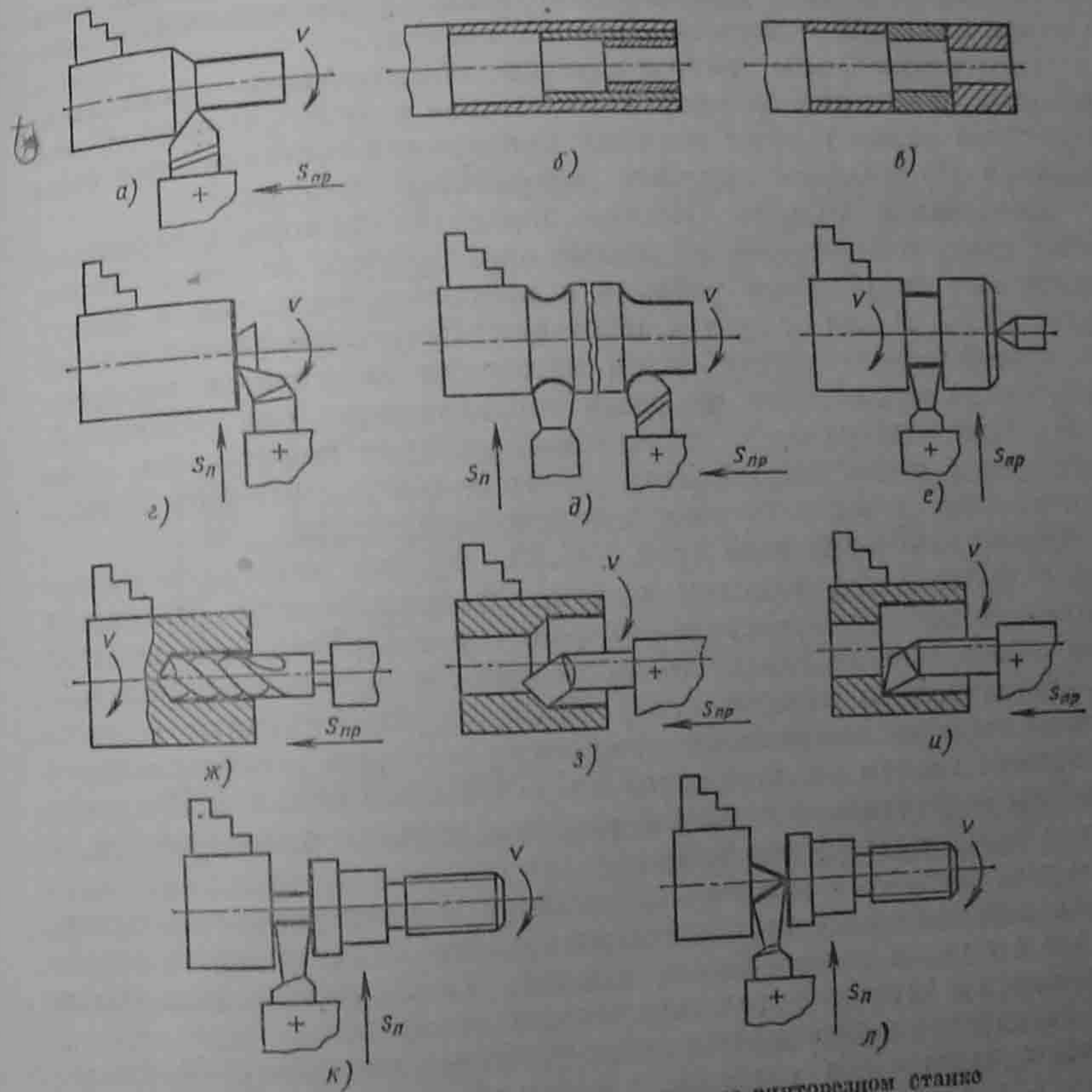


Рис. VI.33. Схемы обработки заготовок на токарно-винторезном станке

ных конических поверхностей. Для предохранения работающего от травм сходящей стружкой на станке устанавливают специальный защитный экран.

Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей. Наружные цилиндрические поверхности обтачивают прямыми или отогнутыми проходными резцами с продольной подачей (рис. VI.33, а); гладкие валы — при установке заготовки на центрах. Вначале обтачивают один конец заготовки на длину, необходимую для

установки и закрепления хомутика, а затем ее поворачивают на 180° и обтачивают остальную часть.

Ступенчатые валы обтачивают по двум схемам: деления припуска на части (рис. VI.33, б) или деления длины заготовки на части (рис. VI.33, в). В первом случае обрабатывают заготовки с меньшими глубинами резания, однако общий путь резца получается большим и резко возрастает T_0 . Во втором случае припуск с каждой ступени срезается сразу за счет обработки заготовки с большой глубиной резания. При этом T_0 уменьшается, но требуется большая мощность привода станка.

Нежесткие валы рекомендуется обрабатывать проходными резцами, у которых главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$. При обработке заготовок валов такими резцами радиальная составляющая силы резания $P_r = 0$, что снижает деформацию заготовок.

Подрезание торцов. Обычно перед обтачиванием наружных поверхностей заготовки подрезают один или оба ее торца. Торцы подрезают подрезными резцами с поперечной подачей к центру (рис. VI.33, г) или от центра заготовки. При подрезании с подачей от периферии к центру торец заготовки получается вогнутым вследствие воздействия на резец составляющих сил резания P_x и P_y . При подрезании от центра к периферии поверхность торца получается менее шероховатой, а торец выпуклым. При повторном проходе торец заготовки получается плоским.

Обтачивание галтелей (рис. VI.33, д). Эту операцию выполняют проходными резцами с закруглением между режущими лезвиями по соответствующему радиусу с продольной подачей или специальными галтельными резцами с поперечной подачей.

Протачивание канавок (рис. VI.33, е). Протачивают с поперечной подачей прорезными резцами, у которых длина главного режущего лезвия равна ширине протачиваемой канавки. Широкие канавки протачивают теми же резцами сначала с поперечной, а затем с продольной подачей.

Сверление, зенкерование, зенкование и развертывание отверстий выполняют соответствующими инструментами, закрепляемыми в шпиндели задней бабки. На рис. VI.33, ж показана схема сверления в заготовке цилиндрического отверстия.

Растачивание внутренних цилиндрических поверхностей. Растачивают расточными резцами, закрепленными в резцедержателе станка, с продольной подачей. Гладкие сквозные отверстия растачивают проходными резцами (рис. VI.33, з); ступенчатые и глухие цилиндрические отверстия — упорными расточными резцами (рис. VI.33, и). Обычно после растачивания глухого или ступенчатого отверстия на заданную длину продольную подачу выключают, включают поперечную подачу и подрезают внутренний торец (дно) отверстия.

Отрезание обработанных деталей. Отрезают отрезными резцами с поперечной подачей. При отрезании детали резцом с прямым главным режущим лезвием (рис. VI.33, к) разрушается обра-

зующаяся шейка, при этом приходится дополнительно подрезать торец готовой детали. При отрезании детали резцом с наклонным режущим лезвием (рис. VI.33, л) торец получается чистым и дополнительно его подрезать не требуется. При обработке заготовок на полуавтоматах и автоматах обработанные детали отрезают от прутка отрезными резцами с наклонным режущим лезвием.

Обтачивание наружных конических поверхностей заготовок. Обтачивают на токарно-винторезных станках несколькими способами.

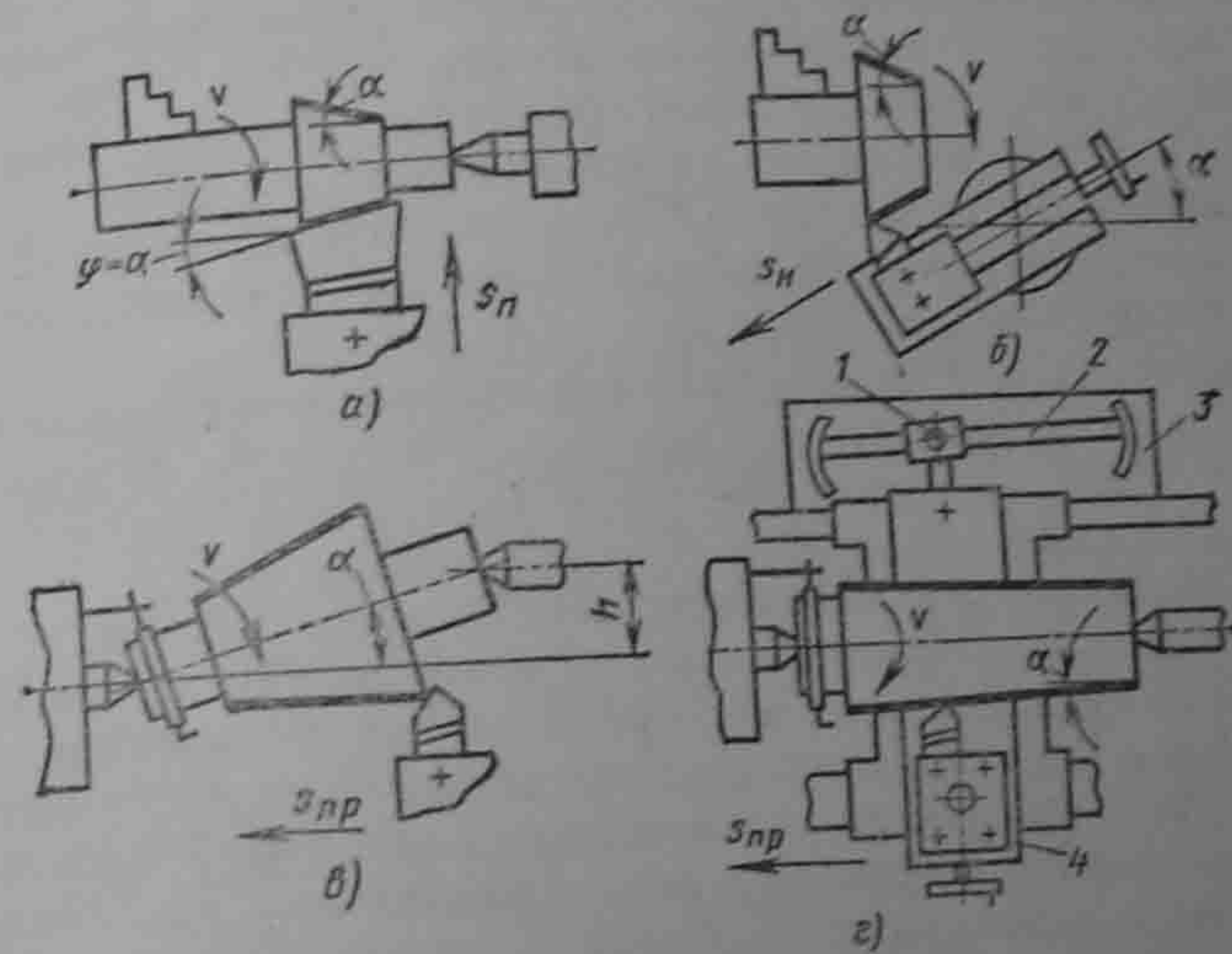


Рис. VI.34. Схемы обтачивания наружных конических поверхностей на токарно-винторезном станке

1. Широкими токарными резцами (рис. VI.34, а). ими обтачивают короткие конические поверхности с длиной образующей 25—30 мм токарными проходными резцами, у которых главный угол в плане φ равен половине угла при вершине обрабатываемой конической поверхности. Длина главного режущего лезвия резца должна быть на 1—3 мм больше длины образующей конической поверхности. Обтачивают с поперечной или продольной подачей резца. Способ наиболее широко используют при снятии фасок с обработанных цилиндрических поверхностей.

2. Поворотом каретки верхнего суппорта (рис. VI.34, б). При обработке конических поверхностей этим способом каретку верхнего суппорта поворачивают на угол, равный половине угла при вершине обрабатываемого конуса. Обрабатывают с ручной подачей верхнего суппорта под углом к линии центров станка (s_n). Этим способом обтачивают конические поверхности, длина образующей которых не превышает величины хода каретки верхнего суппорта (150—200 мм). Угол конуса обрабатываемой поверхности — любой.

Угол поворота каретки верхнего суппорта

$$\alpha = \arctg \frac{D-d}{2l},$$

где D — больший диаметр обрабатываемой конической поверхности, мм; d — меньший диаметр обрабатываемой конической поверхности, мм; l — высота конической поверхности, мм.

3. Смещением корпуса задней бабки в поперечном направлении (рис. VI.34, в). При обтачивании конических поверхностей этим способом корпус задней бабки смещают относительно ее основания в направлении, перпендикулярном к линии центров станка. Обрабатываемую заготовку устанавливают на шариковые центры. При этом ось вращения заготовки располагается под углом к линии центров станка, а образующая конической поверхности — параллельно линии центров станка. Обтачивают с продольной подачей резца длинные конические поверхности с небольшим углом конуса при вершине ($2\alpha \leq 8^\circ$).

Смещение (в мм) задней бабки в поперечном направлении

$$h = \frac{D-d}{2} \frac{L}{l},$$

где L — полная длина обрабатываемой заготовки, мм.

4. С помощью копировальной конусной линейки (рис. VI.34, г). Корпус 3 конусной линейки закрепляют на кронштейнах на станине станка. На корпусе 3 имеется призматическая направляющая 2, которую по шкале устанавливают под углом к линии центров станка. По направляющей перемещается ползун 1, связанный через рычаг с кареткой поперечного суппорта 4 станка. При этом гайку ходового винта поперечной подачи отсоединяют от каретки суппорта. Коническую поверхность этим способом обтачивают с продольной подачей. Скорость продольной подачи складывается со скоростью поперечной подачи, получаемой кареткой поперечного суппорта от ползуна, скользящего по направляющей линейки. Сложение двух движений обеспечивает перемещение резца под углом к линии центров станка. Обтачивают длинные конические поверхности с углом при вершине конуса до $30-40^\circ$.

Угол поворота направляющей конусной линейки

$$\alpha = \arctg \frac{D-d}{2l}.$$

Обтачивание внутренних конических поверхностей. Обтачивают на токарно-винторезных станках широким резцом, поворотом каретки верхнего суппорта, с конусной линейкой. Часто внутренние конические поверхности обрабатывают специальными коническими зенкерами, которые закрепляют в пиноли задней бабки.

Обтачивание фасонных поверхностей. Короткие фасонные поверхности заготовок с длиной образующей линии $30-40$ мм

обтачивают токарными фасонными резцами. По конструкции фасонные резцы подразделяют на стержневые, круглые, призматические и тангенциальные. Фасонные поверхности этими резцами обтачивают только с поперечной подачей s_n при вращательном движении заготовки v .

Фасонные поверхности на токарно-винторезных станках, как правило, обтачивают только стержневыми резцами; резцами остальных видов обтачивают фасонные поверхности на токарных полуавтоматах и автоматах.

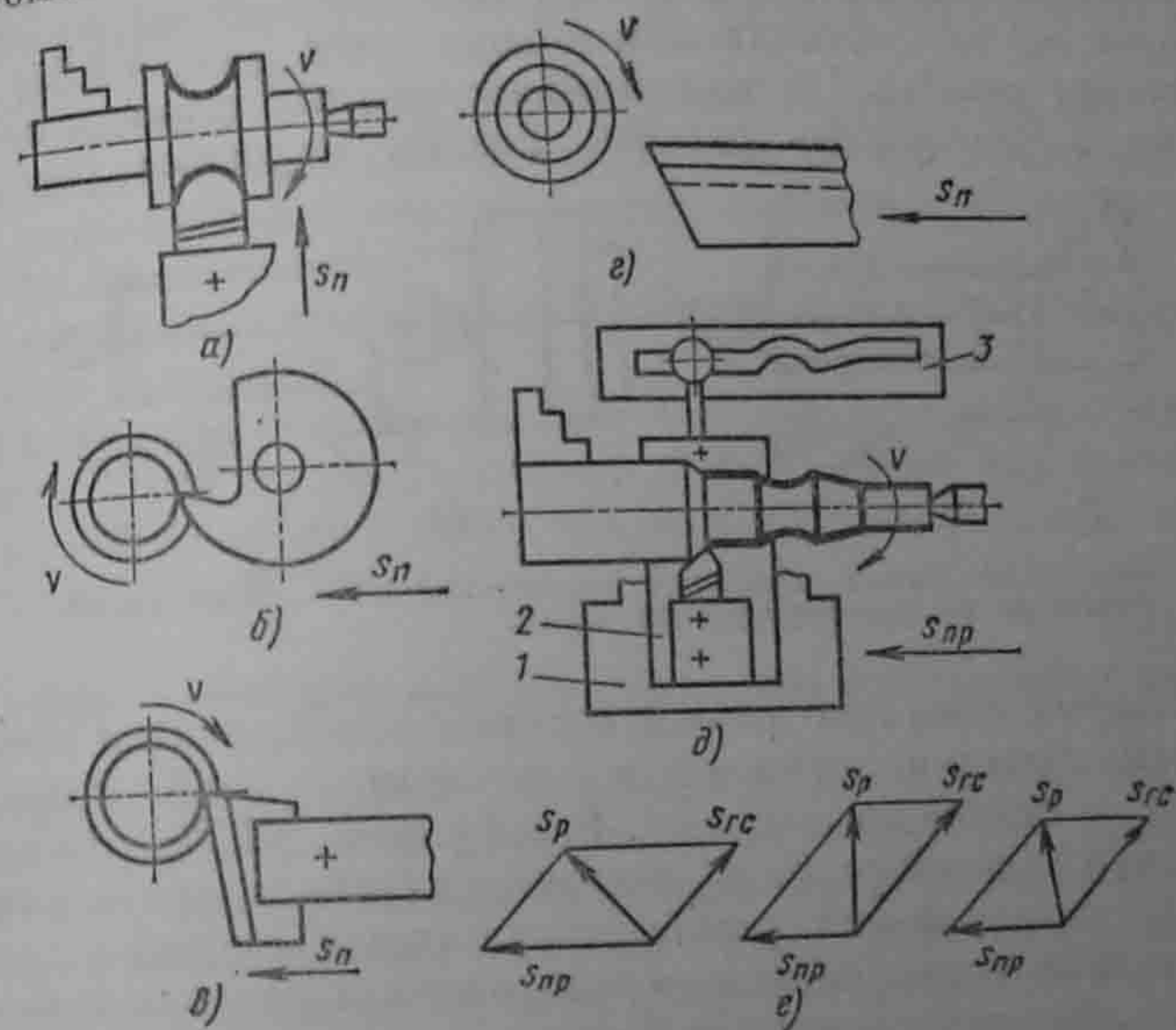


Рис. VI.35. Схемы обтачивания фасонных поверхностей: 1 — продольный суппорт; 2 — поперечный суппорт; 3 — копия

Стержневые резцы устанавливают и закрепляют в резцедержателе токарного станка (рис. VI.35, а), а круглые (рис. VI.35, б), призматические (рис. VI.35, в) и тангенциальные (рис. VI.35, г) — в специальных резцедержателях. В отличие от стержневых, круглых и призматических тангенциальные резцы устанавливают ниже линии центров станка так, чтобы каждая точка режущего лезвия резца при поперечной подаче проходила касательно к соответствующей точке фасонной поверхности обрабатываемой заготовки. Резец, проходя под заготовкой, обрабатывает фасонную поверхность до требуемого размера, т. е. напроход.

Круглые, призматические и тангенциальные резцы имеют большую стойкость и выдерживают значительно большее число переточек, чем стержневые, при сохранении формы и размеров режущего лезвия.

Длинные фасонные поверхности обрабатывают проходными резцами с продольной подачей с помощью фасонного копира, устанавливаемого вместо конусной линейки (рис. VI.35, д).

В серийном производстве для обработки фасонных поверхностей на токарных станках используют специальный гидроконтрольный суппорт вместо поперечного суппорта. Проходной резец получает $s_{пр}$ от продольного суппорта станка и s_n от подвижной каретки гидросуппорта. Наклонную подачу суппорт получает от специального копира и следящего устройства гидросуппорта. Сумма этих движений обеспечивает движение резца по сложной траектории (s_p) для обтачивания поверхности (рис. VI.35, е).

Нарезание резьбы. На токарно-винторезных станках нарезают наружные и внутренние резьбы. Резьбы нарезают резьбовыми

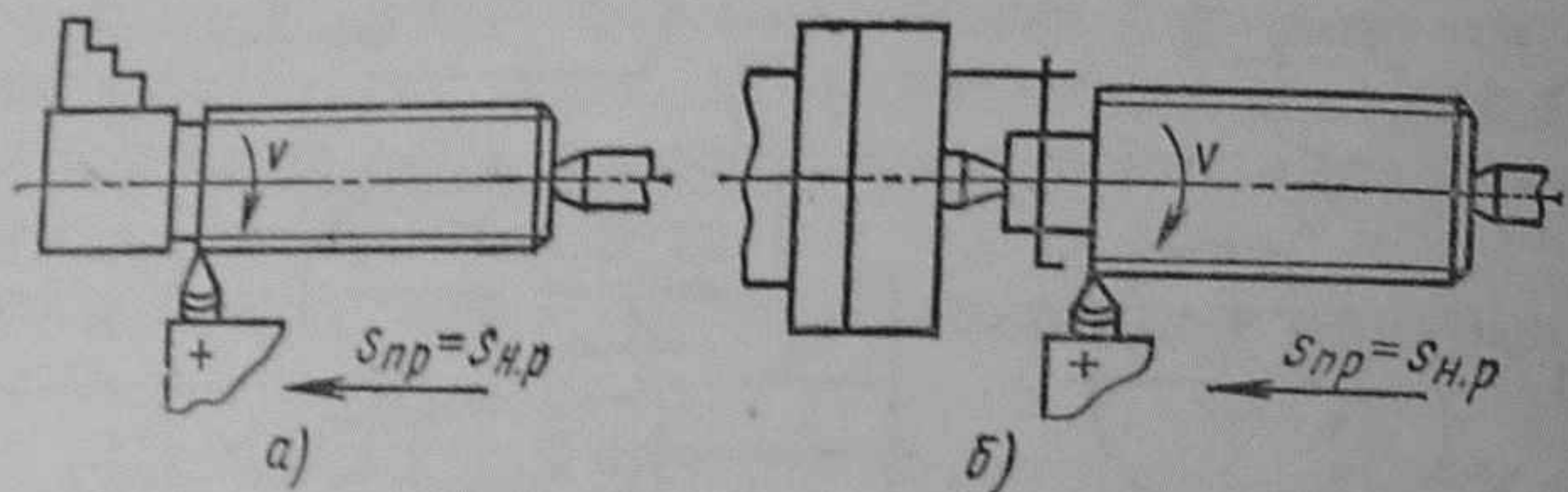


Рис. VI.36. Схемы нарезания однозаходной и многозаходной резьбы на токарно-винторезном станке

резцами, форма режущих лезвий которых определяется профилем и размерами поперечного сечения нарезаемых резьб. Резец устанавливают на станке по шаблону. Резьбу (рис. VI.36, а) нарезают с продольной подачей резца $s_{пр}$ при вращательном движении заготовки v . При нарезании резьбы продольный суппорт получает поступательное движение от ходового винта и раздвижной маточной гайки, смонтированной в фартуке станка. Это необходимо, чтобы резец получал равномерное поступательное движение, что обеспечивает постоянство шага нарезаемой резьбы.

При наладке токарно-винторезного станка на нарезание резьбы заданного шага $s_{н.р}$ необходимо рассчитать число зубьев сменных зубчатых колес гитары. Очевидно, что за каждый оборот заготовки резец должен перемещаться вдоль ее оси на величину шага нарезаемой резьбы. Отсюда уравнение кинематического баланса этих движений имеет вид

$$i_{об. шп} i_p i_{см} i_{к. п} i_{х. в} = s_{н. р},$$

где i_p — передаточное отношение реверсивного механизма коробки подач; $i_{см}$ — передаточное отношение сменных зубчатых колес гитары; $i_{к. п}$ — передаточное отношение передач коробки подач; $i_{х. в}$ — шаг резьбы ходового винта.

Отсюда

$$i_{см} = \frac{s_{н. р}}{i_p i_{к. п} i_{х. в}} = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4},$$

где z_1, z_2, z_3, z_4 — числа зубьев сменных зубчатых колес гитары.

На токарно-винторезных станках нарезают метрические, дюймовые, модульные и специальные резьбы. Нарезание многозаходных резьб на токарно-винторезном станке требует точного углового деления обрабатываемой заготовки при переходе от одной нитки нарезаемой резьбы к другой. Многозаходные резьбы нарезают следующими способами:

1) поворотом заготовки на угол при использовании поводкового патрона с прорезями, сделанными под определенными углами, в которые входит отогнутый конец хомутика; при повороте заготовки на угол винторезную цепь разрывают (выключают маточную гайку);

2) с использованием специального градуированного патрона, который позволяет одну часть патрона вместе с заготовкой повернуть относительно другой части патрона на требуемый угол (рис. VI.36, б);

3) смещением резца на шаг резьбы с помощью ходового винта верхнего суппорта;

4) с использованием нескольких резцов со смещением их относительно друг друга в осевом направлении на величину шага нарезаемой резьбы; применяют при нарезании резьбы на гладких валах (работа напроход).

5. Обработка заготовок на токарно-револьверных станках

Обработка сложных деталей требует применения большого числа режущего инструмента. При обработке таких деталей на токарно-винторезном станке затрачивается значительное время на смену инструмента, так как одновременно на станке можно установить только четыре резца (в резцедержателе) и один инструмент для обработки отверстия (в шноли задней бабки). Очевидно, что для сокращения потерь времени на смену инструмента необходимо на станке иметь устройство, которое позволило бы закреплять сразу большое число инструментов. Таким устройством является револьверная головка токарно-револьверного станка.

Токарно-револьверный станок (рис. VI.37) состоит из станины 1, передней бабки 4 с коробкой скоростей 3, коробки подач 2, поперечного суппорта 5, револьверного суппорта 7 с револьверной головкой 6, барабана 8 задних упоров и барабана 9 передних упоров. Во время наладки на станке заранее устанавливают все необходимые для обработки заготовки инструменты в резцедержателе поперечного суппорта и гнездах револьверной головки. В процессе обработки инструменты вводят в работу последовательно (один за другим) или параллельно (одновременно несколько).

Параллельная работа инструментов — многоинструментная обработка — сокращает основное время обработки, так как одновременно обрабатывается несколько поверхностей заготовки. Предварительная наладка станка сокращает вспомогательное время. И то и другое повышает производительность работы стан-

ков, которые используют при изготовлении партии одинаковых деталей. Производительность повышается также и потому, что заготовку обрабатывают по налаженным на станке упорам (бараны 8 и 9 на рис. VI.37), это позволяет оператору автоматически выдерживать диаметры и длины обрабатываемых поверхностей заготовки.

На прутковых револьверных станках детали изготавливают из прутков (круглого, квадратного, шестигранного и других поперечных сечений). Пруток-заготовку пропускают сквозь шпиндель станка и зажимают в цанговом патроне. После изготовления очередной детали отрезают от прутка. На патронных револьверных станках обрабатывают штучные заготовки: отливки, поковки и т. д., закрепляемые в трехкулачковых патронах.

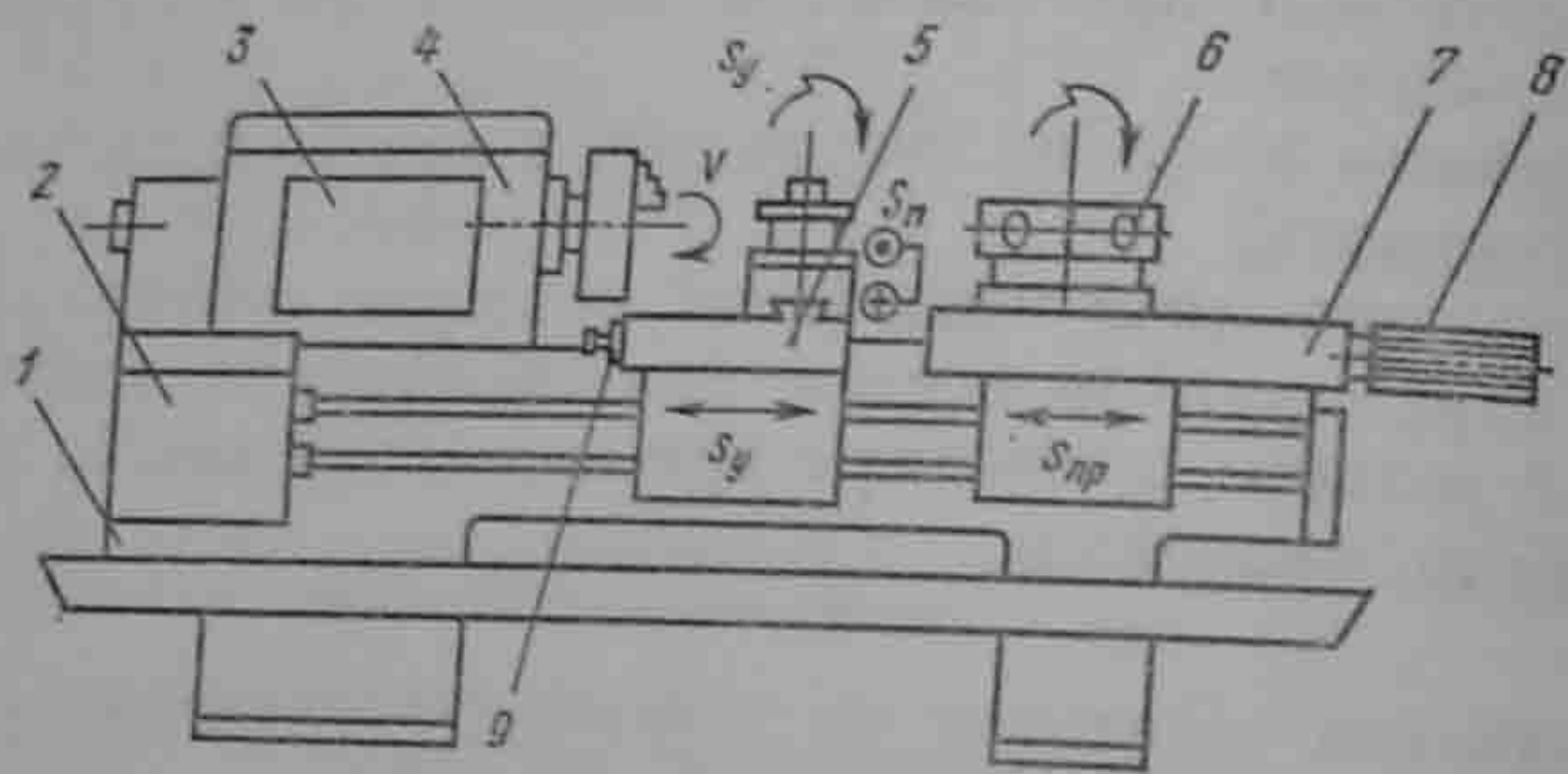


Рис. VI.37. Общий вид токарно-револьверного станка

По конструкции револьверной головки различают станки с многогранной револьверной головкой, вращающейся относительно вертикальной оси; станки с круглой головкой, вращающейся относительно горизонтальной оси, и станки с наклонной осью револьверной головки, вращающейся относительно наклонной оси.

Револьверные станки с многогранной головкой (рис. VI.37) имеют, кроме револьверной головки, один или два (передний и задний) поперечных суппорта. Все инструменты, работающие с продольной подачей (проходные и расточные резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики и т. д.), закрепляют в револьверной головке; все инструменты, работающие с поперечной подачей (отрезные, подрезные, фасонные, галтельные, прорезные и другие резцы), — в резцедержателях поперечных суппортов.

Револьверные станки с круглой головкой поперечных суппортов не имеют. Все инструменты закрепляют в гнездах револьверной головки. Поперечная подача инструментов заменяется на этих станках круговой подачей револьверной головки за счет ее медленного вращения относительно горизонтальной оси.

На токарно-револьверных станках обрабатывают детали типа штуцеров, ступенчатых валиков, фланцев, колец, гаек, болтов и т. д. На станках обтачивают наружные цилиндрические поверх-

ности, подрезают торцы, сверлят, зенкуют и развертывают отверстия, растачивают внутренние цилиндрические поверхности, обтачивают фасонные поверхности, протачивают канавки, фаски, галтели, накатывают рифления, нарезают наружные (плащками) и внутренние (метчиками) резьбы. Если станок имеет ходовой винт, можно нарезать резьбы резцами. Конические поверхности обтачивают широкими резцами или с помощью специальных копировальных приспособлений.

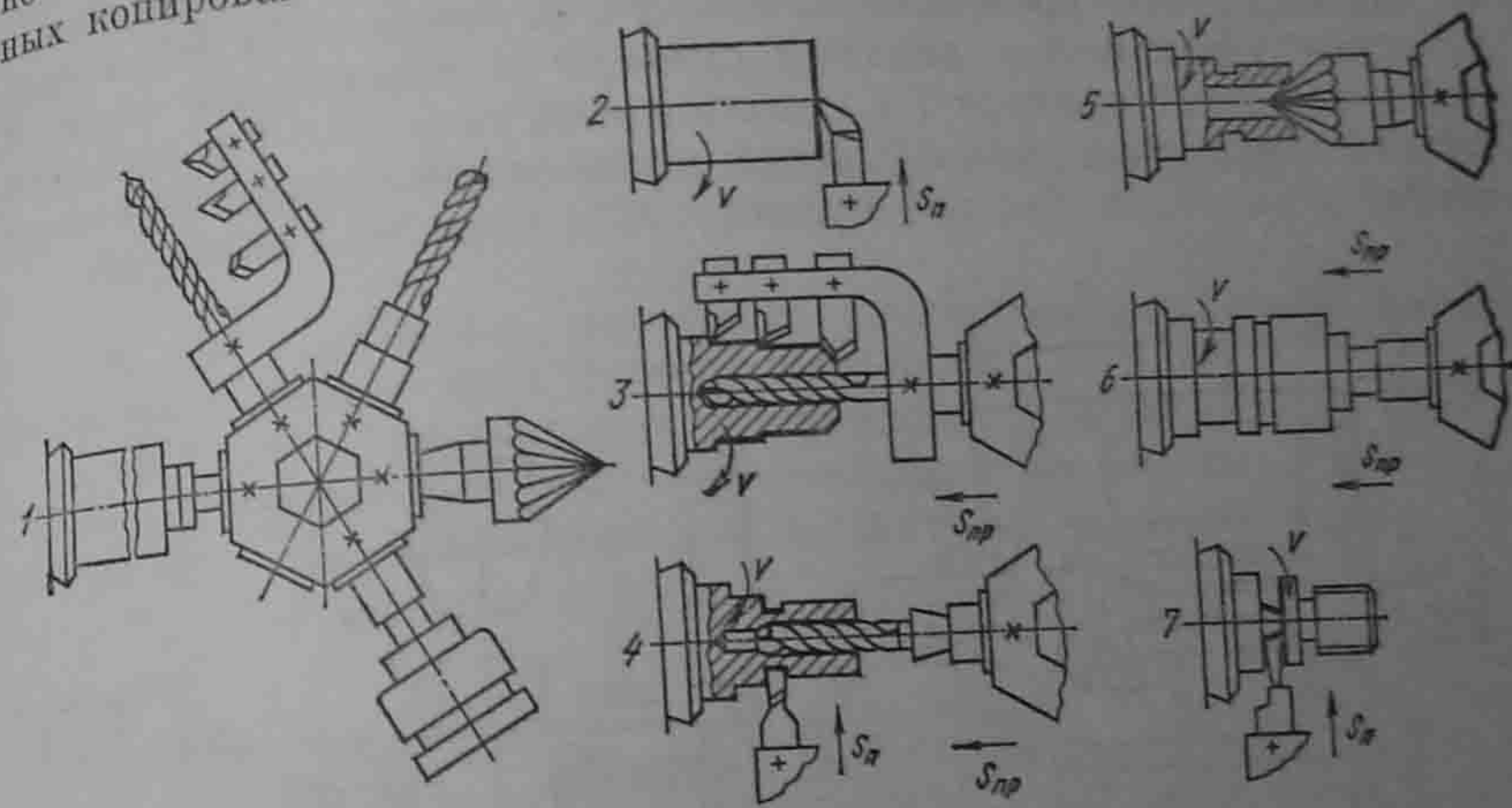


Рис. VI.38. Схемы обработки поверхностей заготовки на токарно-револьверном станке: 1 — подача прутка до упора; 2 — подрезание правого торца; 3 — обтачивание двух цилиндрических поверхностей, снятие фаски и сверление отверстия; 4 — зенкерование отверстия и протачивание кольцевой канавки; 5 — зенкование; 6 — нарезание резьбы; 7 — отрезание детали

На рис. VI.38 показана наладка револьверного станка на изготовление резьбовой пробки. Обработку всех поверхностей выполняют за семь переходов.

Поверхности заготовки в позициях 2, 4 (протачивание кольцевой канавки) и 7 обрабатывают с подачей поперечного суппорта, а в позициях 3 (обтачивание), 4 (зенкерование отверстия), 5 и 6 — с продольной подачей револьверной головки.

6. Обработка заготовок на токарно-карусельных станках

На токарно-карусельных станках обрабатывают тяжелые заготовки больших размеров, у которых отношение длины (высоты) к диаметру составляет 0,3—0,7. Это заготовки роторов водяных и газовых турбин, зубчатых колес, маховиков и т. д. Особенностью токарно-карусельных станков является наличие круглого горизонтального стола — карусели с вертикальной осью вращения. Наличие карусели облегчает установку, выверку и закрепление тяжелых заготовок на станке. Карусельные станки бывают одно-

стоечными и двухстоечными. Диаметр карусели составляет 0,5—21 м. Это позволяет обрабатывать заготовки диаметром до 24 м.

На рис. VI.39 показан общий вид двухстоечного токарно-карусельного станка. Станок состоит из карусели 12, смонтированной на станине 1, и стоек 2, соединенных между собой поперечной 6. По вертикальным направляющим стоек перемещается в вертикальной плоскости подвижная траверса 3. В зависимости от высоты обрабатываемой заготовки траверсу устанавливают на определенном уровне от плоскости карусели. На подвижной траверсе установлены верхний суппорт 5 с коробкой подач 4 и револьверный суппорт 7 с револьверной головкой 8 и коробкой подач 9. Коробки подач 4 и 9 имеют независимый привод. На правой стойке установлен боковой суппорт 10 с коробкой подач 11.

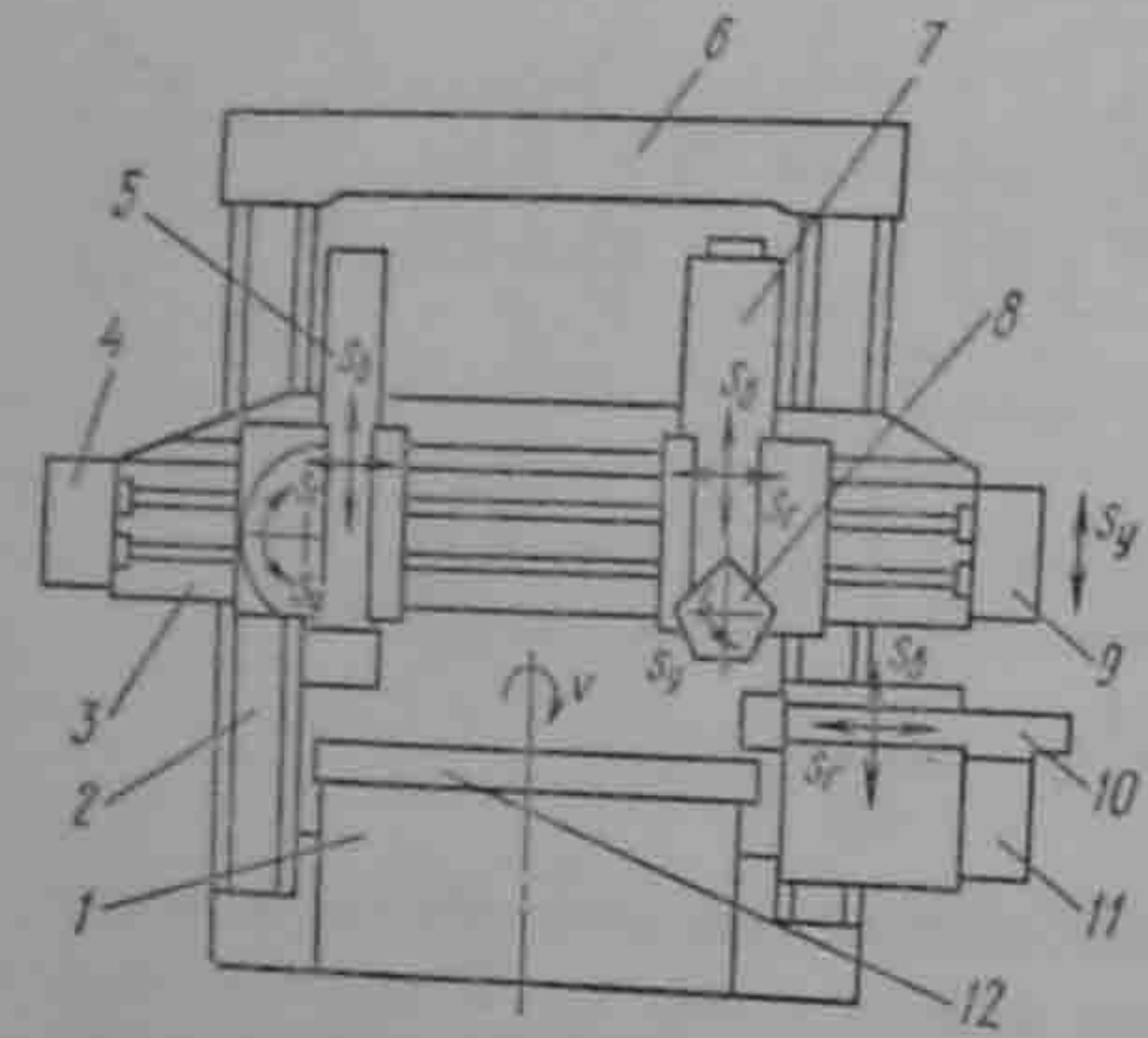


Рис. VI.39. Общий вид токарно-карусельного станка

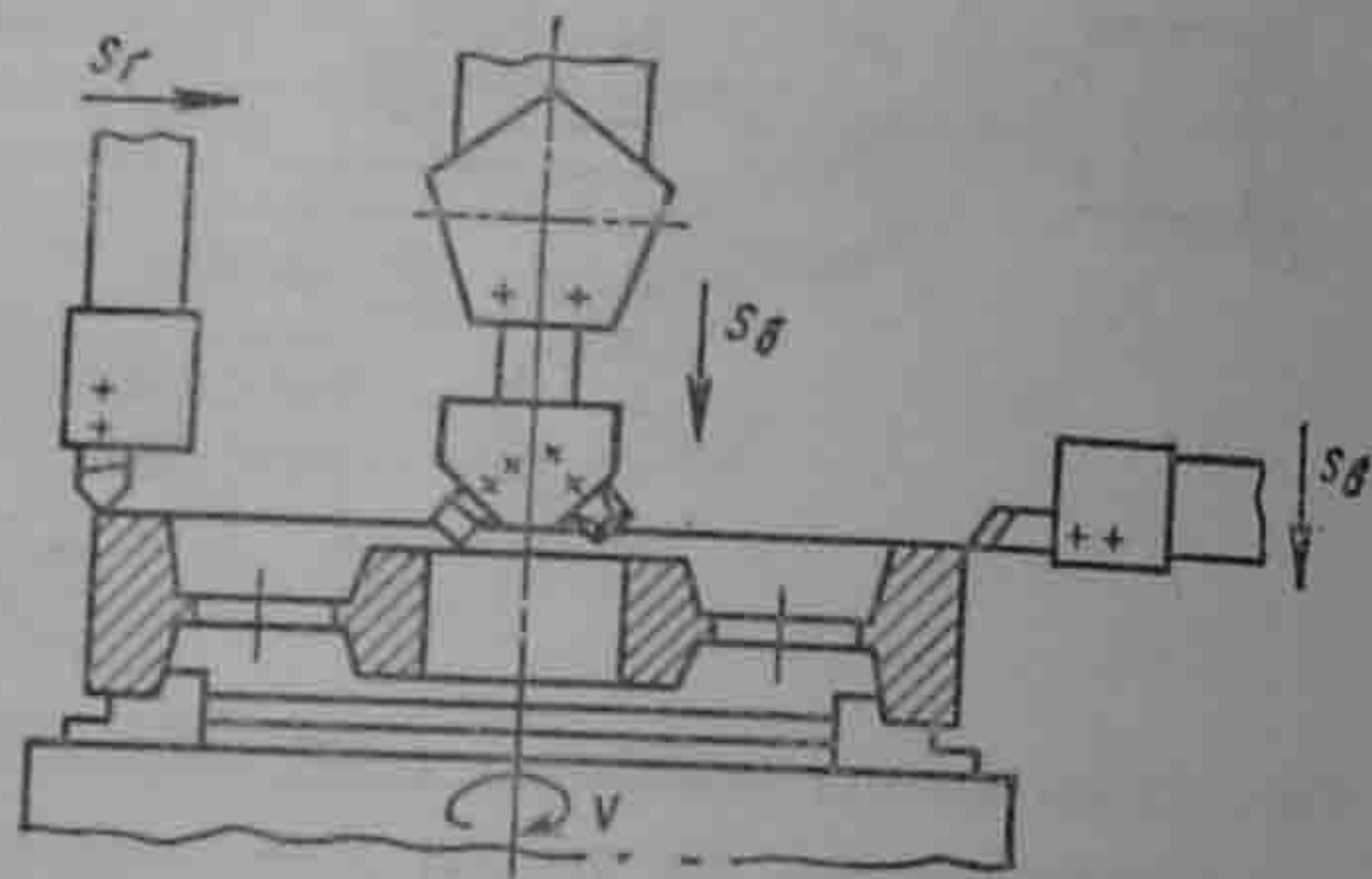


Рис. VI.40. Схема обработки заготовки на токарно-карусельном станке

Движения узлов станка показаны на рис. VI.39. Режущий инструмент закрепляют в резцедержателях верхнего и бокового суппортов и гнездах револьверной головки. Каждый из суппортов имеет горизонтальную и вертикальную подачи. В зависимости от характера обрабатываемой поверхности включают ту или иную подачу.

Одностоечные токарно-карусельные станки имеют вертикальный револьверный и боковой суппорты. На токарно-карусельных станках обтачивают наружные и растачивают внутренние цилиндрические и конические поверхности, обтачивают фасонные поверхности, сверлят, зенкеруют и развертывают отверстия, обтачивают плоские торцовые поверхности. Использование специальных приспособлений позволяет нарезать резьбы резцами, обрабатывать сложные фасонные поверхности по электрокопиру, а также фрезеровать бобышки и пазы, шлифовать плоские поверхности и выполнять другие виды обработки. На станках ведут многоинструментальную обработку одновременно нескольких поверхностей заготовки.

Зубчатое колесо большого диаметра обрабатывают одновременно несколькими инструментами (рис. VI.40). Наружную цилиндрическую поверхность обтачивают проходным резцом, закрепленным в резцедержателе бокового суппорта; подача резца — вертикальная. Торец обода колеса обтачивают подрезным резцом, который закреплен в резцедержателе верхнего суппорта; подача резца — горизонтальная. Отверстия растачивают двумя проходными расточными резцами, закрепленными в специальной державке, установленной в гнезде револьверной головки, с вертикальной ее подачей.

7. Обработка заготовок на многолезцовых токарных полуавтоматах

На многолезцовых токарных полуавтоматах обрабатывают заготовки деталей типа ступенчатых валов.

Общий вид многолезцового полуавтомата показан на рис. VI.41. Обрабатываемую заготовку устанавливают на станке на центрах: переднем в шпинделе коробки скоростей 2 передней бабки 3 и

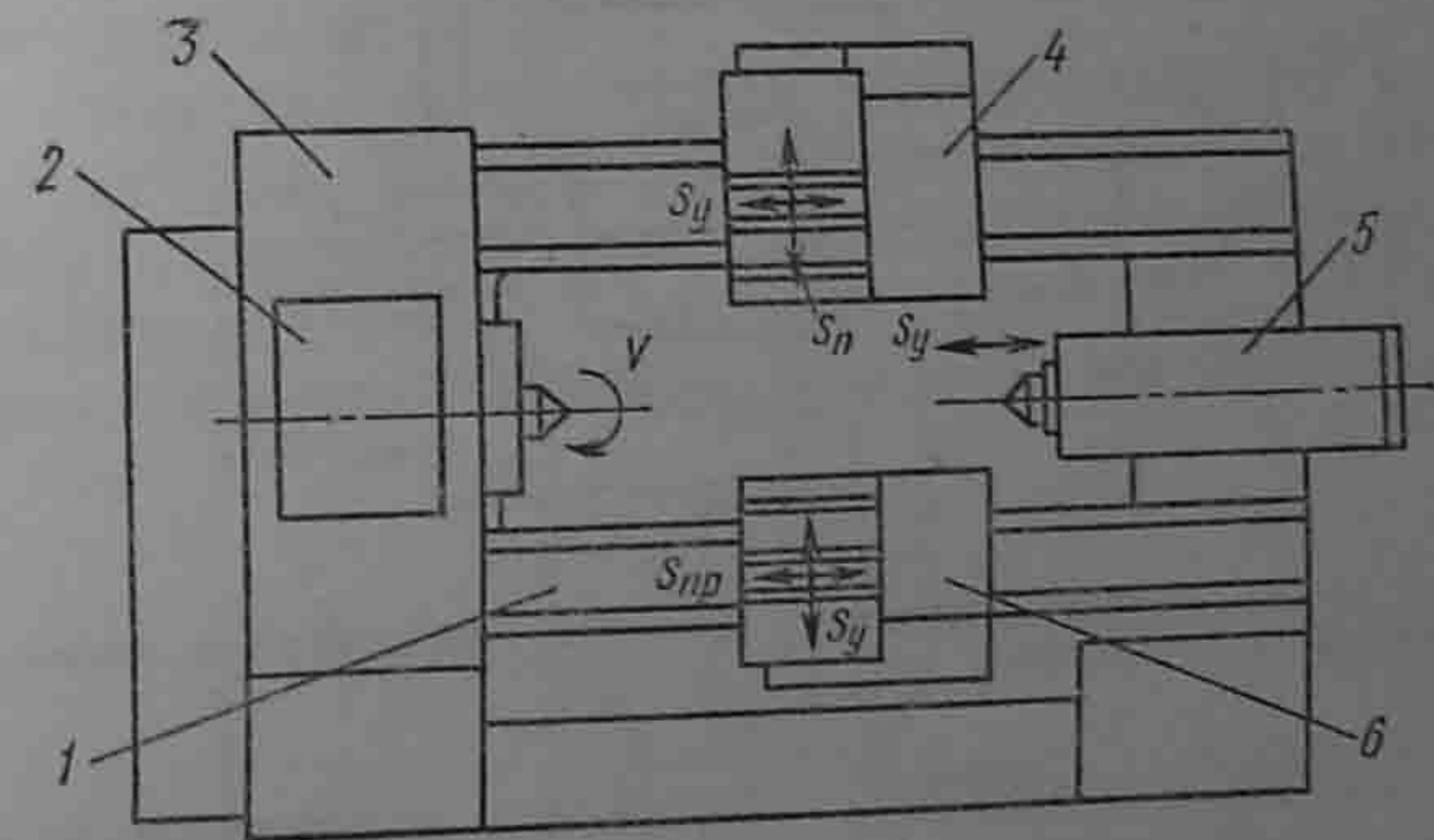


Рис. VI.41. Общий вид токарного многолезцового полуавтомата

заднем в шпindle задней бабки 5. Крутящий момент на заготовку передается кулачками специального зажимного патрона. На продольных направляющих станины 1 смонтированы нижний 6 и верхний 4 суппорты. Суппорты служат для одновременного закрепления нескольких резцов.

Особенность обработки заготовок на многолезцовых полуавтоматах состоит в том, что нижний суппорт имеет только продольную подачу, а верхний — только поперечную. Поэтому на нижнем суппорте закрепляют все резцы, работающие с продольной подачей, — проходные; на верхнем суппорте — все резцы, работающие с поперечной подачей, — подрезные, прорезные, фасонные, галтельные, для обтачивания фасок. При наладке многолезцового полуавтомата резцы устанавливают и закрепляют относительно заготовки так, чтобы одновременно обрабатывалось несколько ее

поверхностей. Быстрое и точное закрепление резцов осуществляют с помощью эталонной детали или шаблона, устанавливаемых на станке.

На токарных многорезцовых полуавтоматах обрабатывают только наружные поверхности заготовок: цилиндрические, конические, фасонные, плоские торцовые, кольцевые канавки, галтели, фаски.

На рис. VI.42, а показана обработка заготовки ступенчатого вала одновременно четырьмя проходными резцами, четырьмя прорезными резцами и одним подрезным.

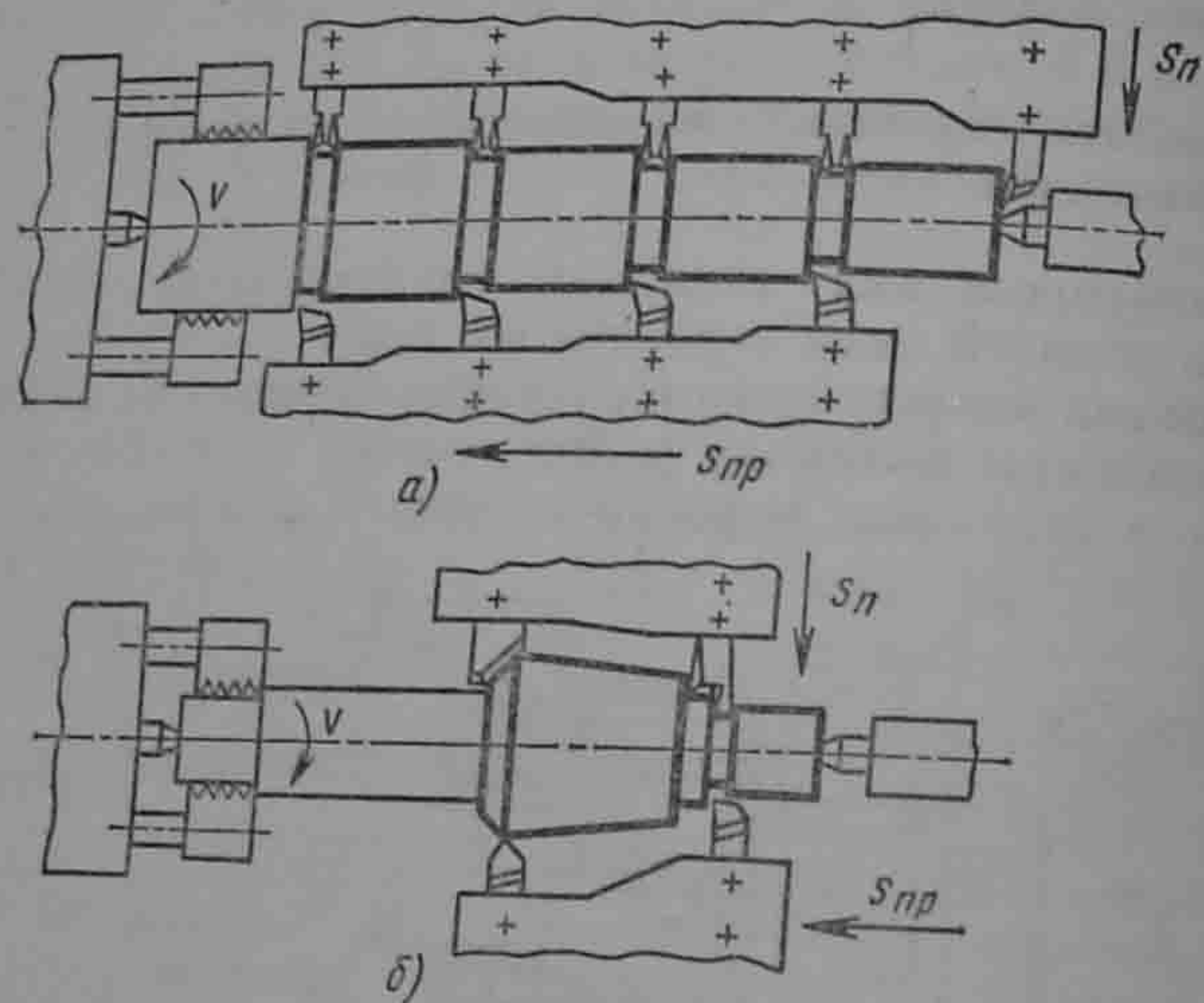


Рис. VI.42. Схемы обработки заготовок на токарном много-резцовом полуавтомате

На рис. VI.42, б показана обработка заготовки конического зубчатого колеса. На верхнем суппорте установлены резцы, работающие с поперечной подачей. На переднем суппорте установлено два резца: правый обрабатывает цилиндрическую шейку вала и левый — коническую поверхность заготовки. Резец, обрабатывающий коническую поверхность, работает по копиру, установленному на суппорте.

8. Обработка заготовок на токарных одношпиндельных автоматах

Одношпиндельные фасонно-отрезные автоматы. На этих автоматах обрабатывают детали простой формы, небольших диаметров и длин. Заготовками для изготовления деталей служат прутки. Пруток пропускают сквозь полый шпиндель автомата и закрепляют в цанговом патроне.

Автоматы имеют два-четыре поперечных суппорта (передний, задний, один вертикальный или два наклонных). На суппортах закрепляют фасонные резцы; в одном из суппортов — отрезной

резец. На рис. VI.43 показана схема обработки поверхностей заготовки на двухсупортном фасонно-отрезном автомате фасонным призматическим и отрезным резцами.

На фасонно-отрезных автоматах обрабатывают только наружные поверхности заготовок, имеющих форму тел вращения, и только с поперечной подачей резцов.

Некоторые модели автоматов имеют сверлильный суппорт, в котором закрепляют сверло. Отверстие сверлят с продольной подачей сверлильного суппорта. После окончания обработки всех поверхностей заготовки фасонными резцами отрезной резец отрезает готовую деталь от прутка, и цикл работы автомата повторяется.

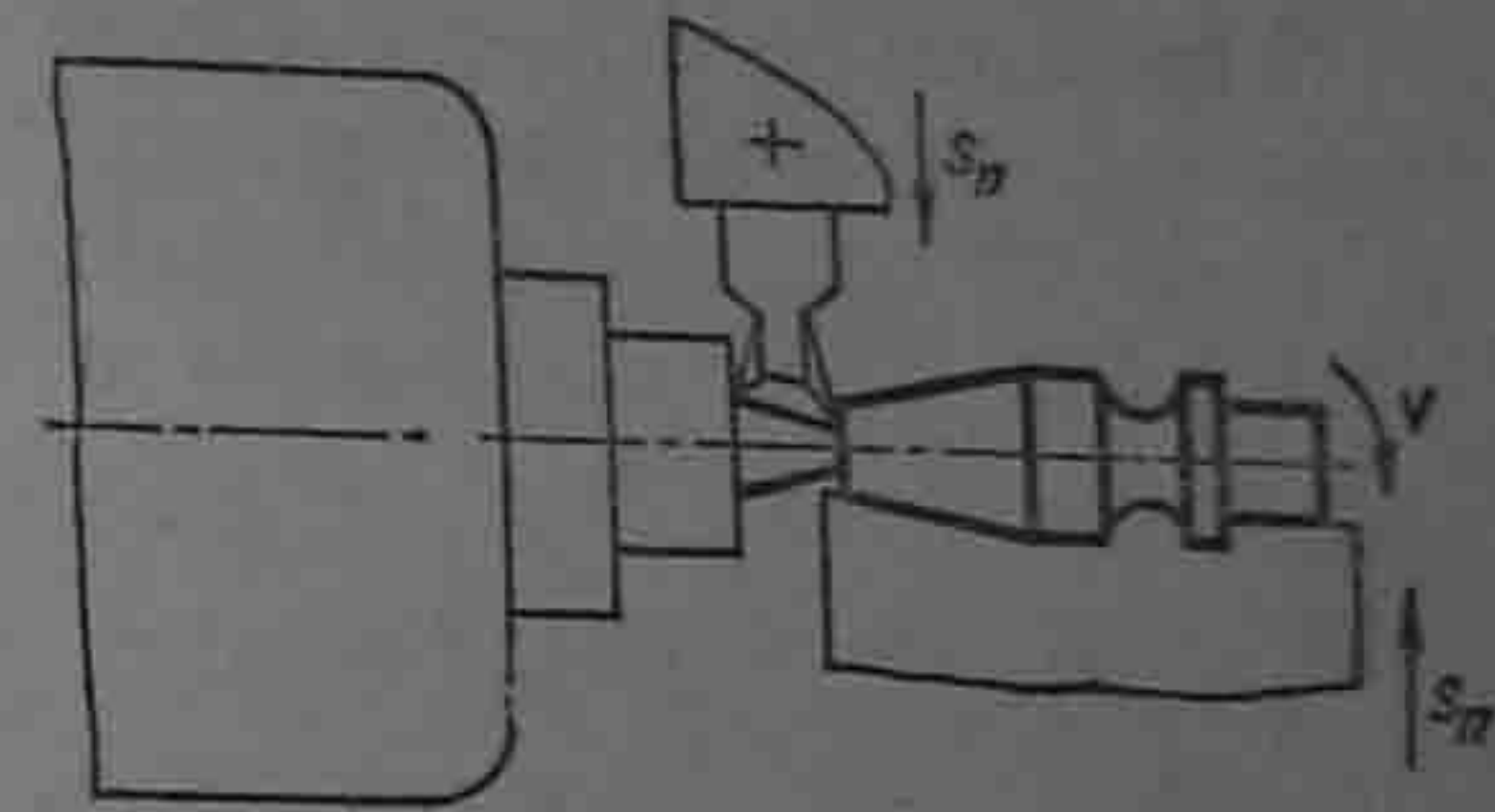


Рис. VI.43. Схема обработки заготовки на токарном одношпиндельном фасонно-отрезном автомате

Одношпиндельные продольно-фасонные автоматы. На этих автоматах обрабатывают детали сложной формы диаметром до 18—22 мм и длиной l до $20d$.

Заготовками для изготовления деталей служат точные калиброванные прутки. Пруток зажимают в цанговом патроне автомата и пропускают сквозь люнетную втулку 2 стойки 3 (рис. VI.44).

Шпиндельная бабка 1 автомата имеет продольную подачу. В некоторых моделях автоматов продольную подачу имеет шпин-

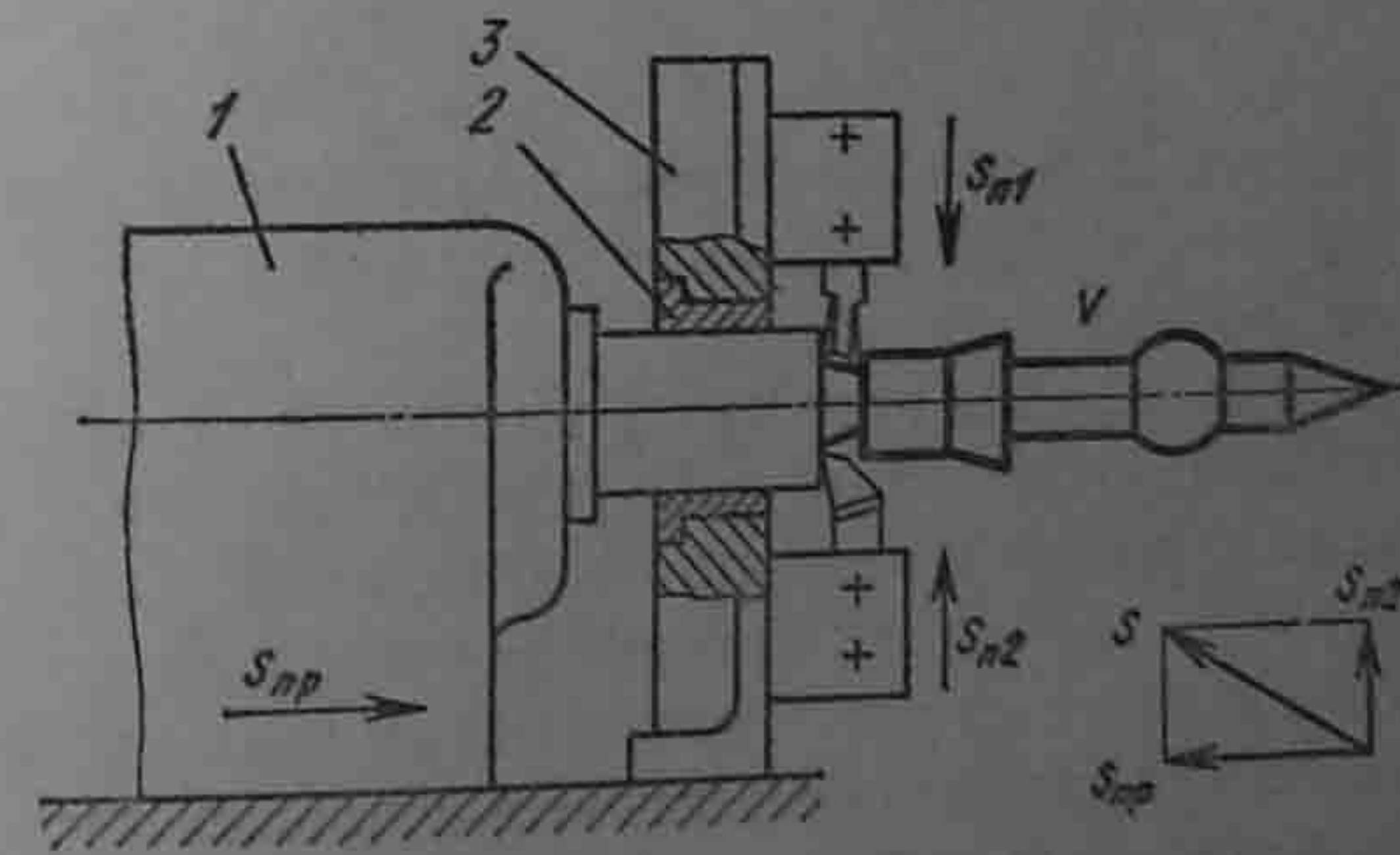


Рис. VI.44. Схема обработки заготовки на токарном одношпиндельном продольно-фасонном автомате

дель. Пруток, закрепленный в шпинделе автомата, одновременно с вращением получает еще и продольную подачу. Суппорты автомата (их может быть до пяти) имеют поперечную подачу. В зажимных устройствах суппортов закрепляют проходные резцы и один отрезной резец.

Скоростями перемещения передней бабки (прутка) и поперечных суппортов, а также моментами включения и выключения $S_{пр}$ и $S_{п}$ управляет распределительный вал автомата. Сочетание продольной подачи прутка с поперечной подачей резцов позволяет

на заготовке обтачивать наружные цилиндрические, конические и фасонные поверхности, подрезать торцы, протачивать канавки, галтели, обтачивать фаски. Использование дополнительного продольного суппорта позволяет выполнять сверлильные или резьбонарезные работы.

Поверхности заготовки обрабатывают в месте ее выхода из люнетной втулки, что исключает деформацию заготовки.

Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы. На этих автоматах обрабатывают сложные детали диаметром 8—36 мм.

Токарно-револьверный автомат (рис. VI.45) имеет шпиндельную бабку 2, как правило с цанговым патроном, зажимным и подающим механизмами.

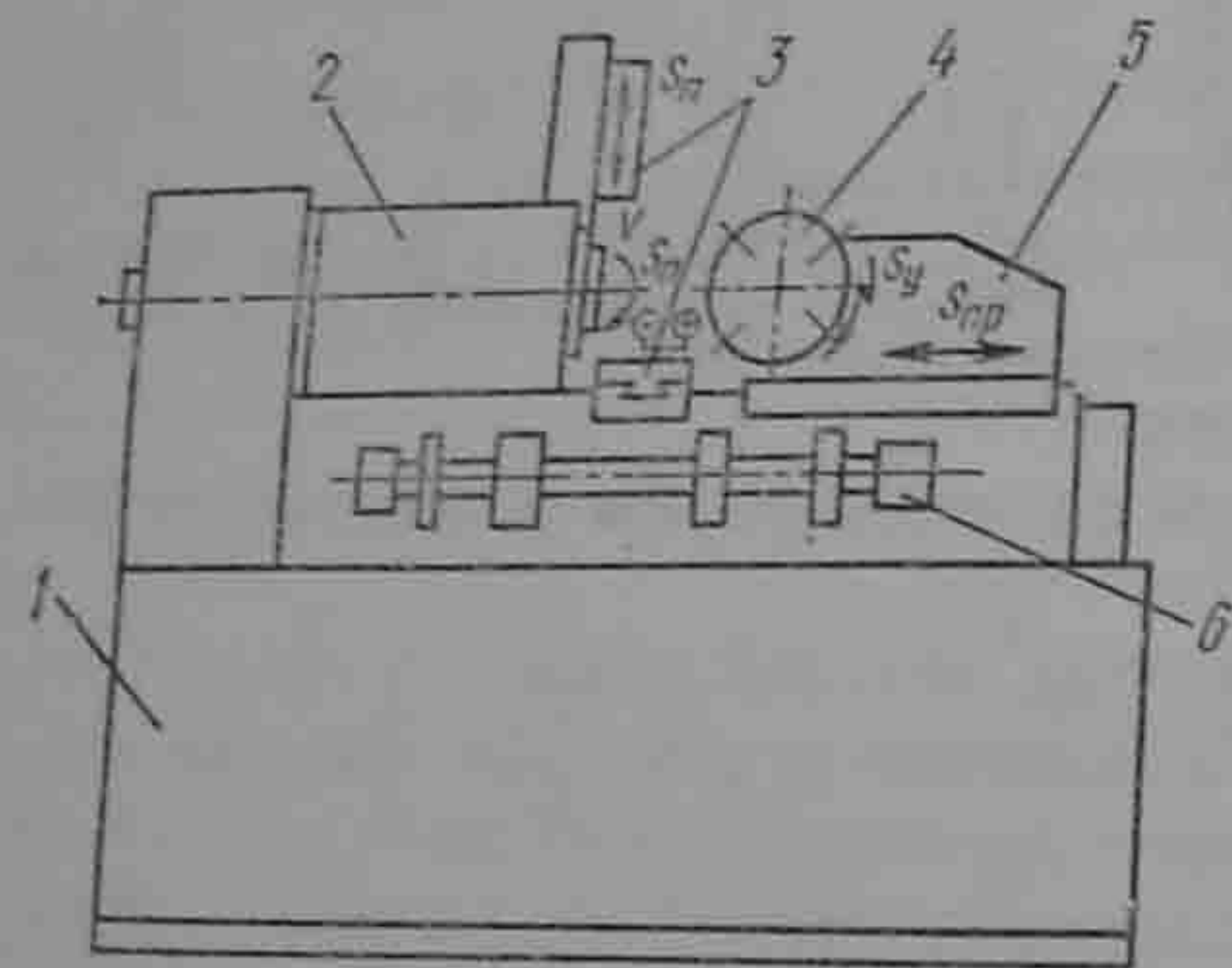


Рис. VI.45. Общий вид одношпиндельного токарно-револьверного автомата

На станине 1 и шпиндельной бабке смонтированы поперечные суппорты 3. Обычно автомат имеет два-три суппорта. Кроме поперечных суппортов автомат снабжен револьверным суппортом 5 с револьверной головкой 4, имеющей горизонтальную ось вращения. Суппорты автомата имеют только поперечную подачу, револьверная головка — только продольную. Включением, выключением и изменением скоростей вращения заготовки и перемещением суппортов и револьверной головки управляет распределительный вал 6 автомата.

Токарно-револьверный автомат работает по замкнутому циклу по принципу параллельной обработки. Обработка поверхностей заготовок на токарно-револьверном автомате аналогична обработке поверхностей заготовок на универсальных токарно-револьверных станках. Однако автоматизация всех установочных и вспомогательных движений обеспечивает высокую производительность. Автоматы используют для изготовления большой партии деталей.

На токарно-револьверных автоматах обрабатывают цилиндрические, конические и фасонные поверхности, подрезают торцы, протачивают канавки, галтели, фаски; обрабатывают отверстия сверлением, зенкерованием, зенкованием, развертыванием и растачиванием; нарезают наружную (плашками) и внутреннюю (метчиками) резьбы; накатывают рифления и т. д. Использование дополнительных устройств расширяет технологические возможности автоматов. Например, установка специального автомата канавки на головках винтов и т. д.

На токарно-револьверных автоматах инструменты, работающие с продольной подачей, закрепляют в гнездах револьверной головки; инструменты, работающие с поперечной подачей, — в зажимных устройствах поперечных суппортов.

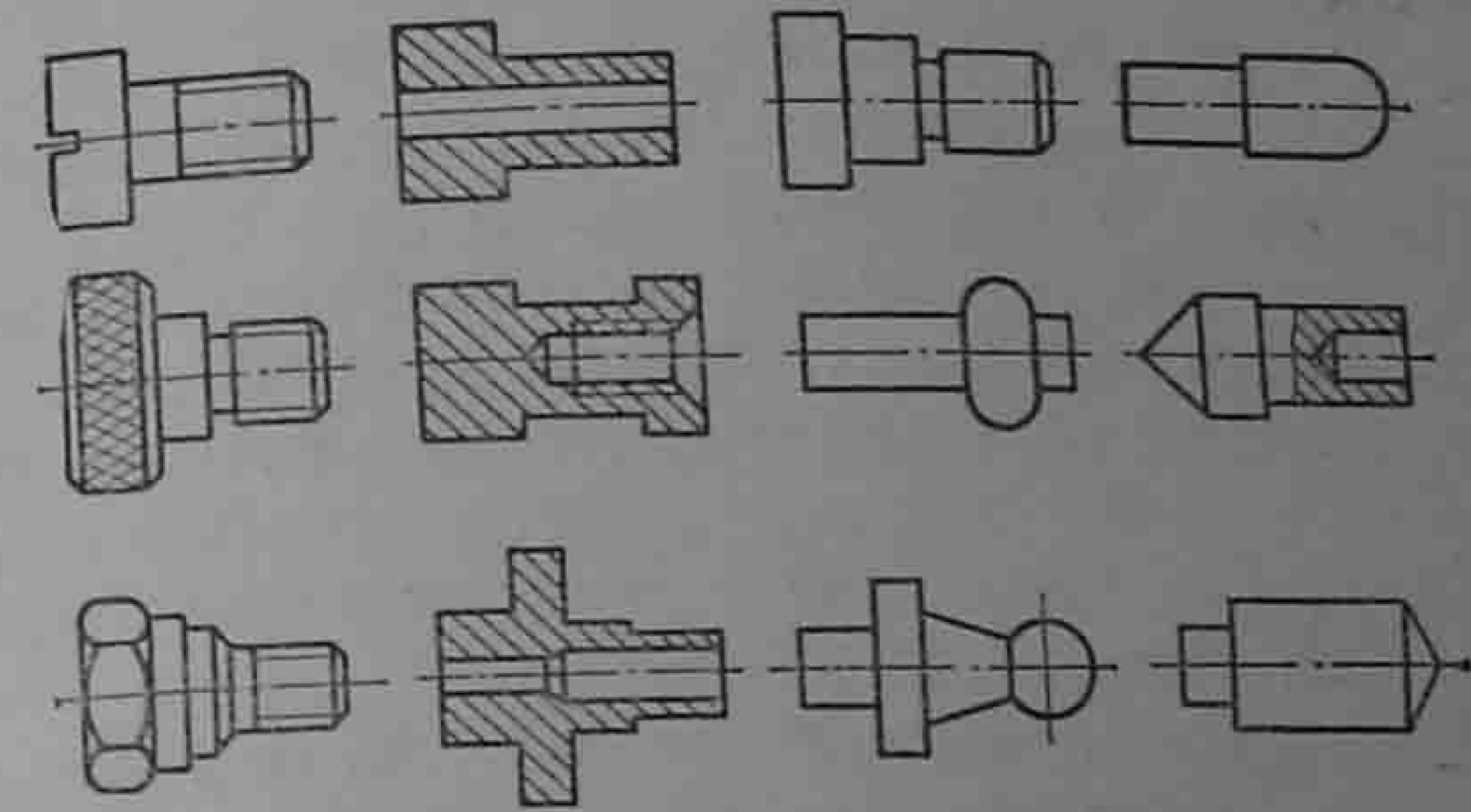


Рис. VI.46. Примеры типовых деталей, изготавливаемых на токарно-револьверном автомате

На рис. VI.46 показаны примеры типовых деталей, обрабатываемых на одношпиндельных токарно-револьверных автоматах.

9. Обработка заготовок на токарных многошпиндельных автоматах и полуавтоматах

На токарных многошпиндельных автоматах одновременно обрабатывают несколько заготовок. Число одновременно обрабатываемых заготовок равно числу шпинделей автомата. Наиболее распространены автоматы, имеющие четыре-восемь шпинделей.

Заготовками для изготовления деталей на автоматах являются прутки (прутковые автоматы) или штучные заготовки-поковки, отливки, которые закладывают в специальные емкости — магазины (магазинные автоматы).

Четырехшпиндельный автомат параллельной обработки (рис. VI.47). На станине 1 смонтированы передняя стойка 2 с коробкой скоростей 3 и задняя стойка 6. Для повышения жесткости передняя и задняя стойки соединены поперечиной 5. На торце передней стойки смонтированы поперечные (передний и задний) суппорты 4. В задней стойке закреплены упоры 7.

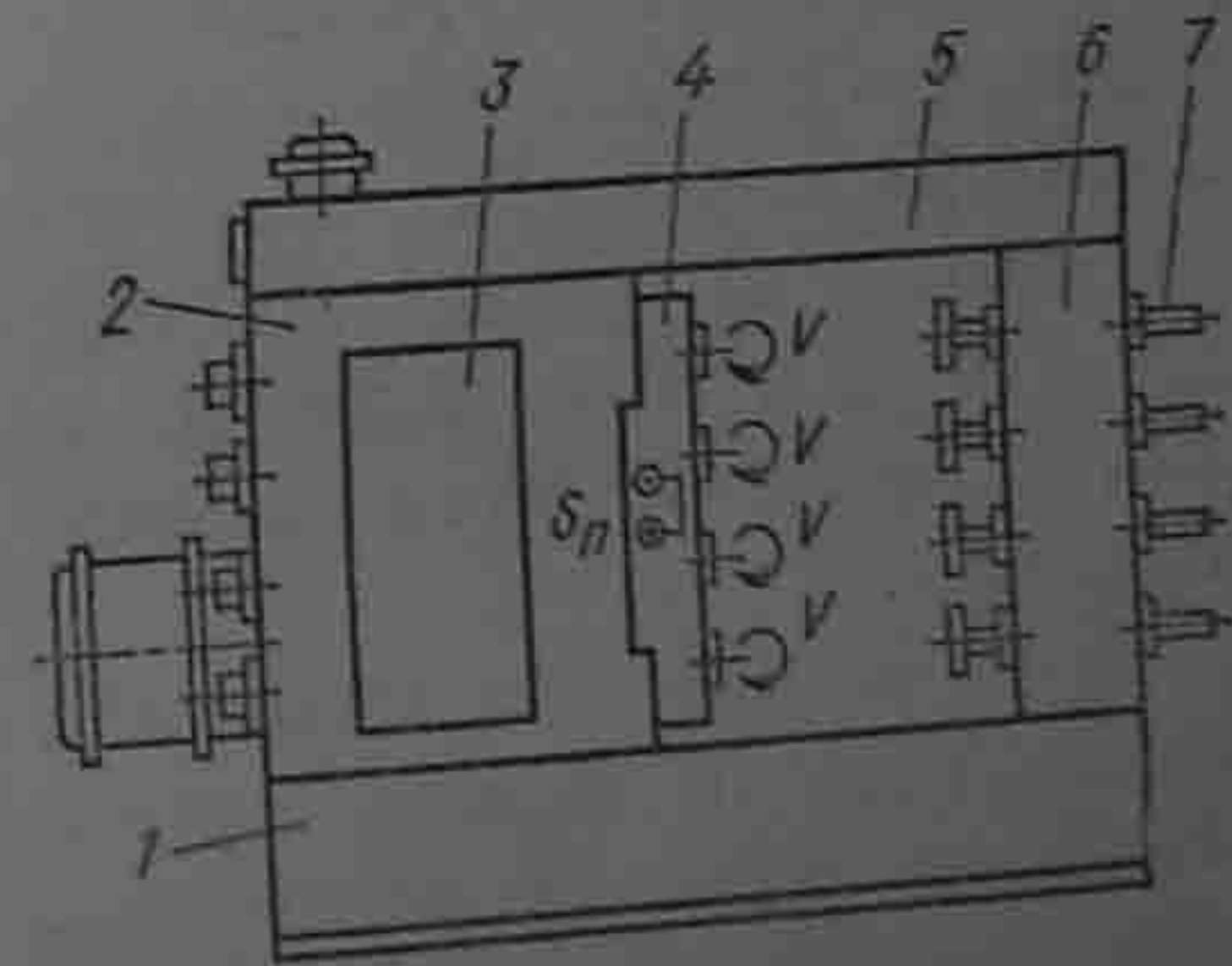


Рис. VI.47. Общий вид четырехшпиндельного токарного автомата параллельной обработки

Автомат одновременно обрабатывает четыре одинаковых детали. Заготовки-прутки пропускают сквозь полые шпиндели на длину, равную длине изготавливаемой детали. Длина вылета прутков на

шпинделей ограничивается упорами задней стойки. Прутки зажимаются цанговыми патронами шпинделей и получают вращательное движение v .

Заготовки обрабатывают четырьмя одинаковыми фасонными резцами, каждый из которых установлен в переднем поперечном суппорте против соответствующего шпинделя станка. Таким образом, все резцы одновременно получают поперечную подачу.

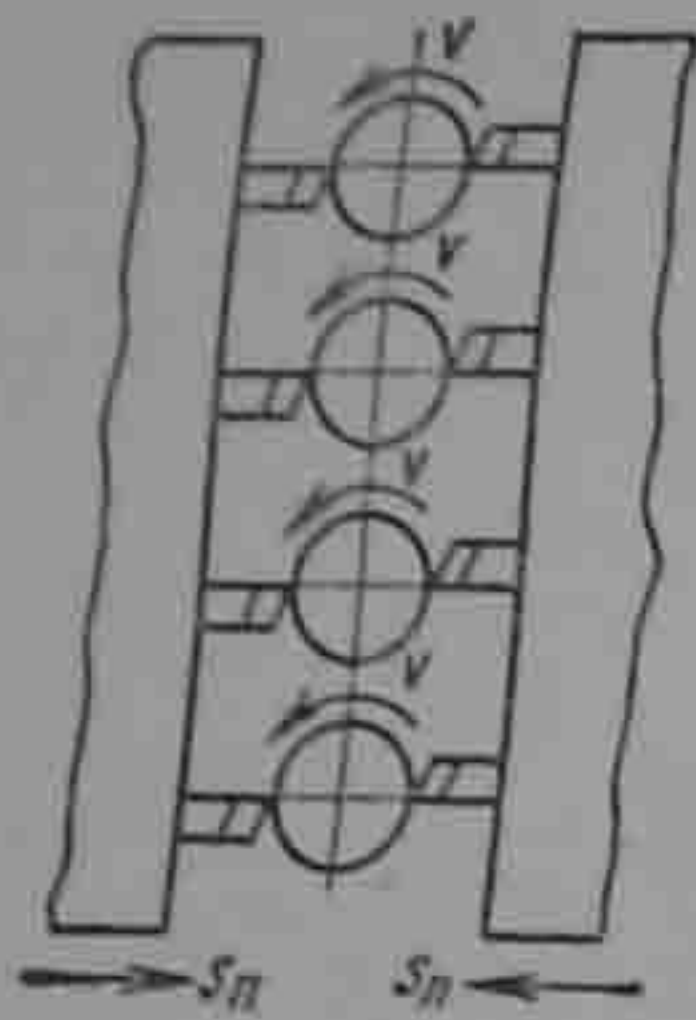


Рис. VI.48. Схема обработки заготовок на четырехшпиндельном токарном автомате параллельной обработкой

После обработки поверхностей заготовок четыре отрезных резца, установленных в заднем поперечном суппорте, отрезают готовые детали от прутков, и цикл работы автомата повторяется. Схема обработки заготовок на автомате показана на рис. VI.48.

На автоматах этого типа обрабатывают только наружные поверхности заготовок и только с поперечной подачей резцов.

Многошпиндельный автомат последовательной обработки с горизонтальным расположением шпинделей (рис. VI.49). На станине 1 смонтированы передняя 2 и задняя 6 стойки, соединенные между собой траверсой 5; в передней стойке смонтирован шпиндельный блок 3 со шпинделями; в задней стойке смонтирована коробка скоростей 7. На торцовой стороне передней стойки против каждого шпинделя установлены поперечные суппорты 4.

Между стойками расположен осевой суппорт 8 с каретками, имеющими продольное перемещение. Каретки осевого суппорта располагаются на одной оси со шпинделями, против которых они установлены.

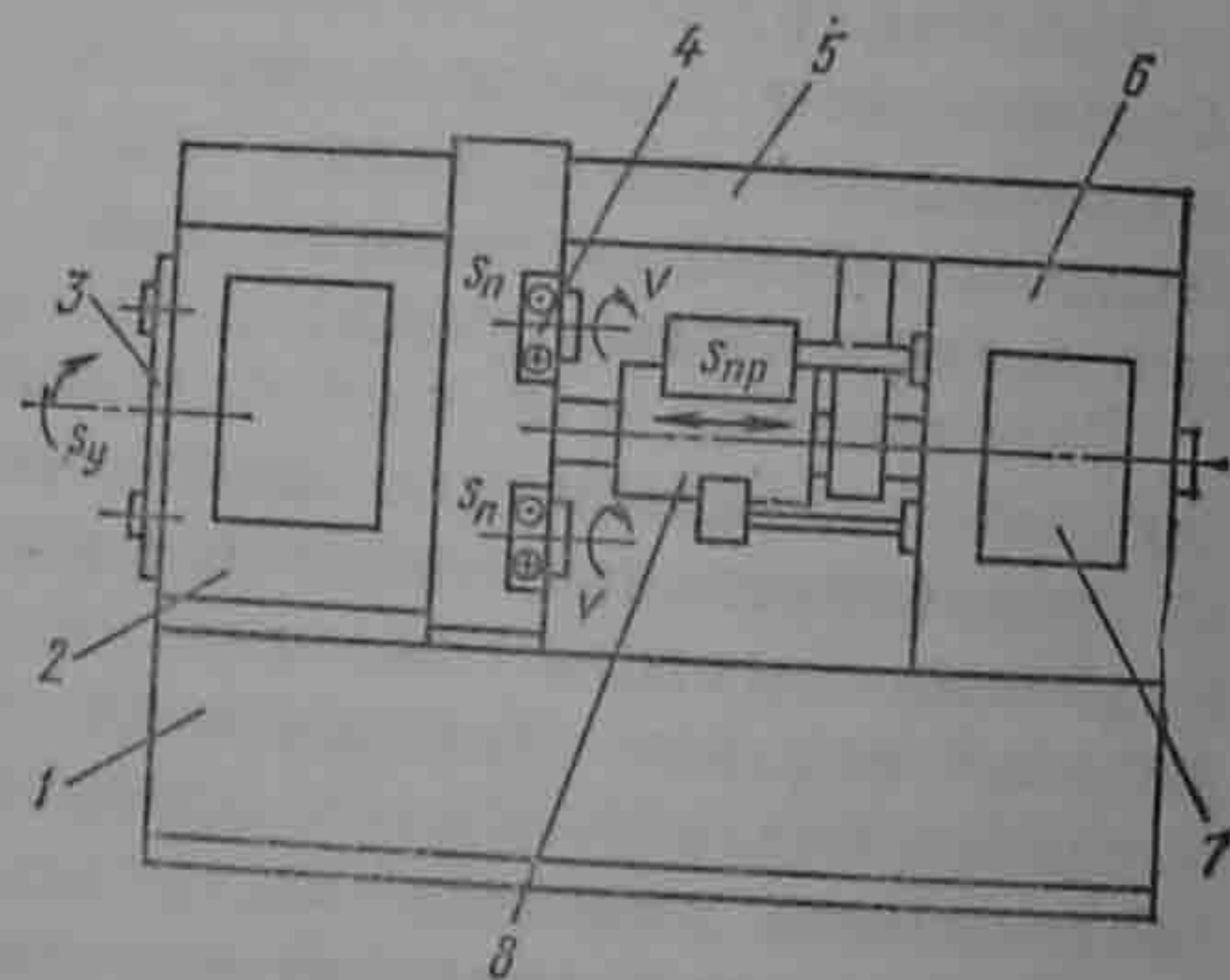


Рис. VI.49. Общий вид токарного горизонтального многошпиндельного автомата последовательной обработки

При обработке заготовок инструменты, работающие с поперечной подачей (прорезные, подрезные, фасонные, отрезные, галтельные и другие резцы), устанавливаются в зажимных устройствах поперечных суппортов; инструменты, работающие с продольной подачей (сверла, зенкеры, развертки, расточные и проходные резцы и т. д.), — в зажимных устройствах каретки.

Зажатый в шпинделе пруток, перемещаясь вместе со шпинделем, при каждом повороте шпиндельного блока занимает очередную рабочую позицию, обслуживаемую соответствующими инструментами, и заготовка последовательно подвергается всем опера-

циям обработки. Таким образом, в каждой позиции шпинделей автомата заготовка находится на разных стадиях обработки.

В предпоследней позиции шпинделя заготовка окончательно обрабатывается и отрезной резец отрезает готовую деталь от прутка. После очередного поворота шпиндельного блока на $1/n$ часть (n — число шпинделей автомата) пруток подается на длину, равную длине обрабатываемой детали. При очередном повороте блока на $1/n$ часть начинается новый цикл изготовления следующей детали. Время обработки одной детали равно времени обработки заготовки на самой продолжительной операции.

На многошпиндельных автоматах последовательного действия изготавливают детали со сложной конфигурацией наружных и внутренних поверхностей.

Вертикальный многошпиндельный полуавтомат роторной обработки (рис. VI.50). На станине 1 установлена карусель 2, в которой смонтированы шпиндели 5. На центральной колонне 3 закреплены вертикальные суппорты 4. Привод станка 6 смонтирован в станине. Обрабатываемую заготовку закрепляют в патроне шпинделя, от которого она получает вращательное движение v . Карусель вместе со шпинделями имеет медленное вращательное движение s . С такой же скоростью и в том же направлении вращается колонна вместе с суппортами. При вращении карусели и колонны заготовки обрабатываются инструментами, закрепленными в суппортах, с вертикальной подачей. За один оборот карусели и колонны обработка заканчивается.

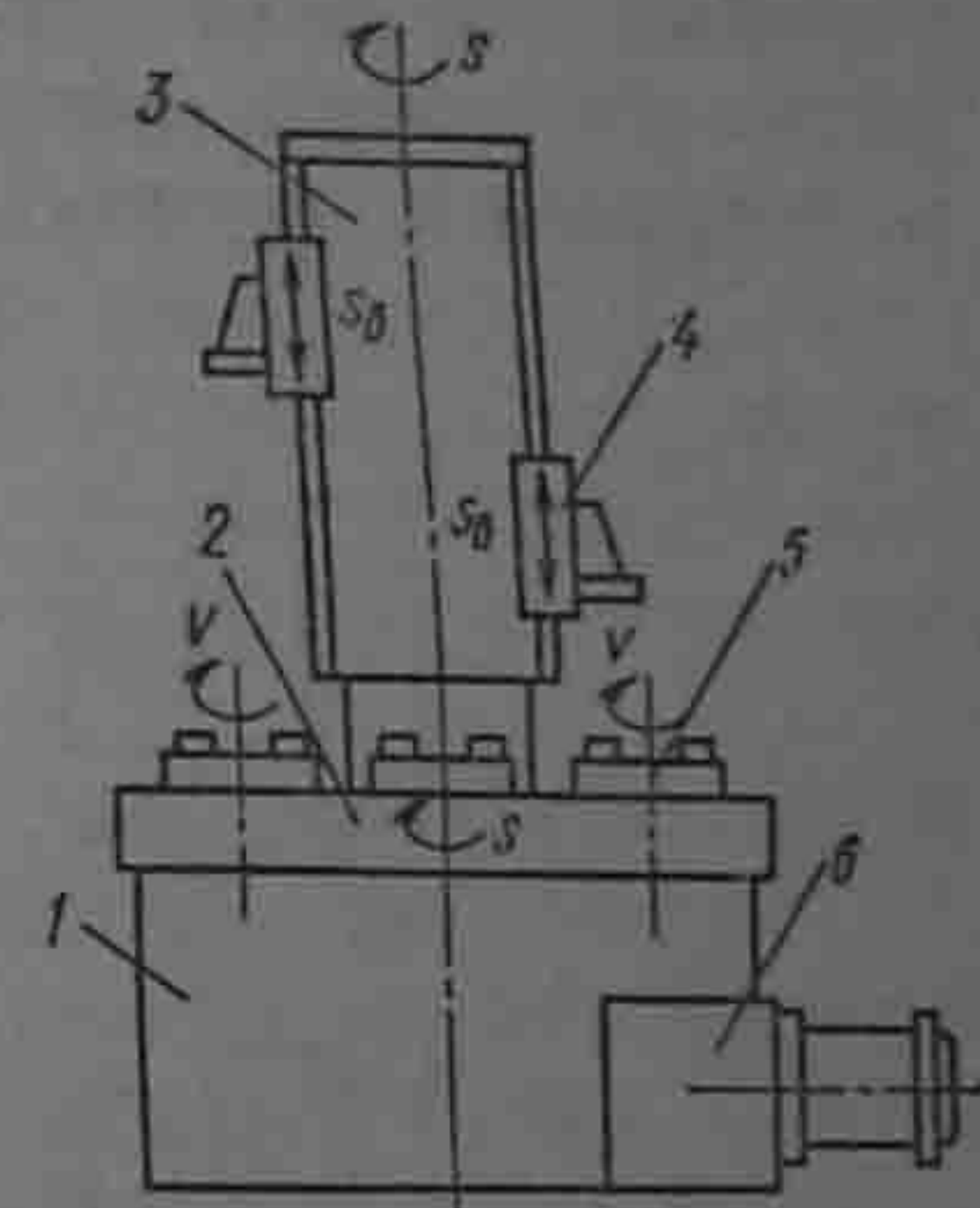


Рис. VI.50. Общий вид многошпиндельного вертикального полуавтомата роторной обработки

10. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на станках токарной группы

Под технологичностью конструкции детали (ГОСТ 18831—73) понимается «совокупность свойств конструкции детали, проявляемых в возможности оптимальных затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке ее производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте и обеспечении технологичности сборочной единицы, в состав которой она входит».

При конструировании деталей машин, обрабатываемых на станках токарной группы, необходимо учитывать следующие технологические требования.

Детали, обрабатываемые на станках токарной группы, особенно на автоматах и полуавтоматах, должны содержать наибольшее число поверхностей, имеющих форму тел вращения.

Конструкция детали должна быть такой, чтобы ее масса была уравновешена относительно оси вращения. Обработка уравнове-

шенных заготовок исключает влияние дисбаланса масс на точность изготовления поверхностей деталей. При конструировании деталей необходимо использовать нормальный ряд диаметров и длин (ГОСТ 6636—69), что позволяет применять стандартный режущий инструмент. В конструкциях следует избегать применения нежестких валов и втулок (длинных тонких валов и тонкостенных длинных втулок). Жесткая конструкция вала позволяет вести токарную обработку без применения люнетов. Жесткая конструкция втулок (стаканов, цилиндров и т. д.) позволяет

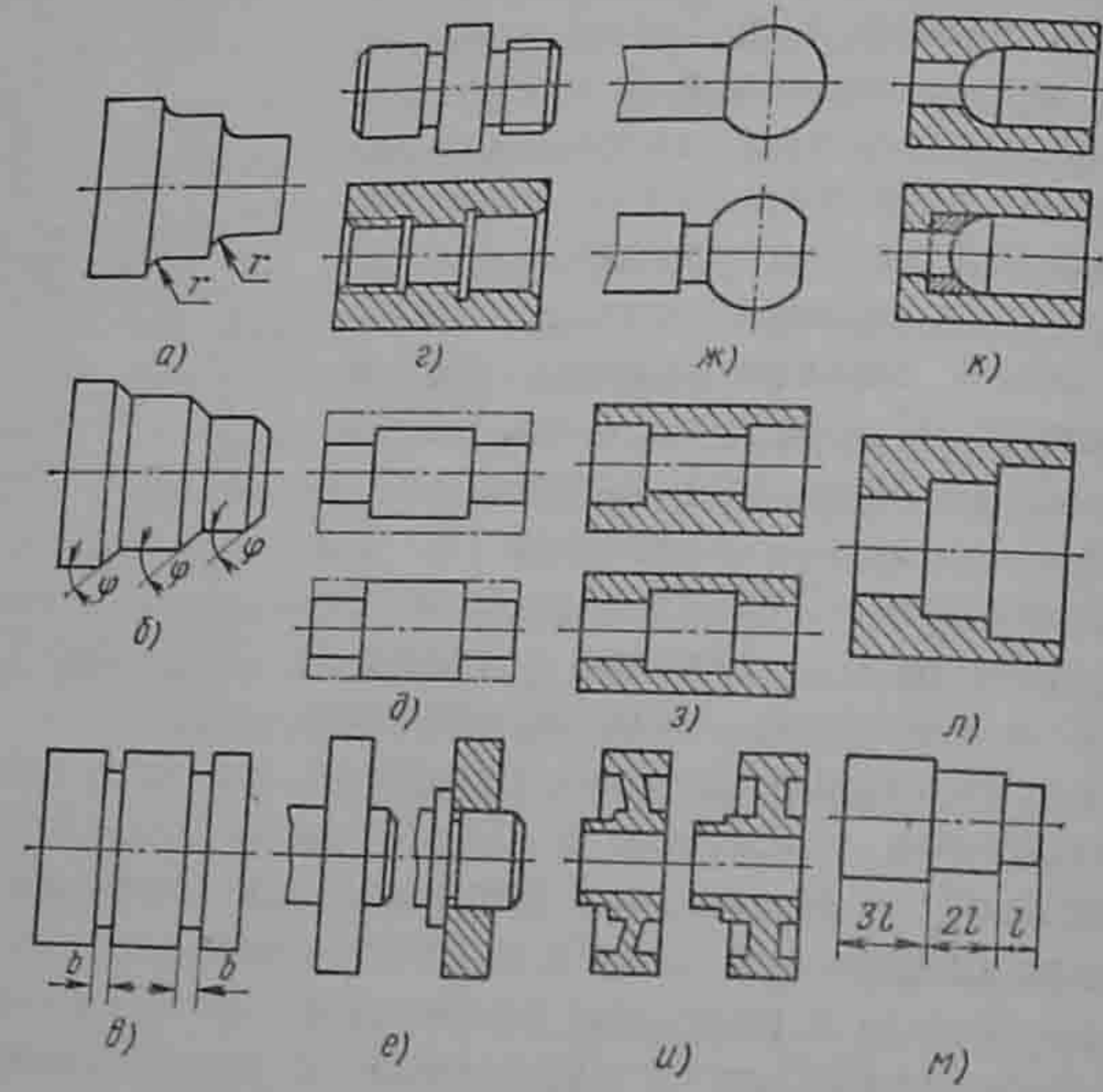


Рис. VI.51. Примеры рациональных конструкций деталей машины, обрабатываемых на станках токарной группы

обрабатывать их в кулачковых патронах, не прибегая к специальным приспособлениям. При обработке нежестких деталей погрешность геометрической формы обработанной поверхности всегда больше, чем при обработке жестких деталей.

При выполнении токарных работ большое значение имеет стандартизация и унификация размеров и форм обрабатываемых поверхностей. У ступенчатых валов и отверстий следует делать одинаковые радиусы закруглений r (рис. VI.51, а). Это позволяет все радиусы закруглений (галтели) выполнить одним галтельным резцом. Радиус галтели следует выбирать из нормального ряда радиусов, так как в соответствии с этим рядом установлен и ряд стандартных галтельных резцов.

Конические переходы между ступенями валов и фаски (рис. VI.51, б) надо обрабатывать стандартным режущим инструментом — резцами, у которых главный угол в плане $\phi = 45; 60;$

75; 90°. Вследствие постоянства ширины канавок b (рис. VI.51, в) их обрабатывают одним прорезным резцом.

Режущий инструмент должен иметь свободный вход и выход (рис. VI.51, г). Это значит, что в начале обработки поверхности режущий инструмент постепенно набирает полную глубину резания, а по окончании обработки может выйти из материала заготовки. Например, при нарезании резьбы на детали следует предусматривать фаску и канавку для входа и выхода резьбонарезного инструмента. Если поверхность заготовки шлифуют, то должны быть фаски и канавки, обеспечивающие вход и выход шлифовального круга и т. д. В отдельных случаях поверхность детали, не сопрягающуюся с поверхностью другой детали, можно не обрабатывать, что сокращает трудоемкость, время и стоимость обработки (рис. VI.51, д).

В конструкциях ступенчатых валов желательно избегать больших перепадов диаметров отдельных ступеней (рис. VI.51, е). В таких случаях целесообразно расчленить конструкцию: отдельно изготовить вал с шейкой и отдельно — кольцо. Затем кольцо можно напрессовать на шейку вала, приварить или сделать механическое крепление.

По возможности надо избегать сложных фасонных поверхностей, заменяя их более простыми. При обтачивании сферической поверхности (рис. VI.51, ж) фасонным резцом целесообразно торцы детали делать плоским, а между цилиндрической и сферической поверхностями предусматривать переходную шейку. Это упростит фасонный режущий инструмент и повысит точность изготовления поверхностей детали.

Если требуется обеспечить соосность цилиндрических поверхностей ступенчатого отверстия (рис. VI.51, з), то втулку целесообразно выполнять с внутренней выточкой. Это позволяет обе ступени обрабатывать с одной установки заготовки на станке и одним расточным резцом. Поверхность выточки не обрабатывают. Такая конструкция втулки повышает точность расположения обрабатываемых поверхностей и сокращает время обработки.

Обработка глухих отверстий, к которым предъявляют высокие требования по точности и шероховатости поверхности, затруднительна. Такие отверстия целесообразно выполнять сквозными.

Конструкция детали должна обеспечивать свободный доступ режущего инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям (рис. VI.51, и). Это требование относится к таким деталям, как маховики, фланцы, зубчатые колеса и т. п.

Значительные трудности вызывает обработка внутренних торцовых фасонных поверхностей (дно отверстия). Применение вставного дна исключает этот недостаток конструкции (рис. VI.51, к). Конструкцию втулки со ступенчатым отверстием также в ряде случаев целесообразно заменить конструкцией, состоящей из двух втулок, одна из которых запрессовывается в другую.

У ступенчатого отверстия необходимо, чтобы диаметры ступеней постепенно уменьшались по длине отверстия (рис. VI.51, *а*). В этом случае отверстие наименьшего диаметра сверлят сверлом, а остальные ступени растачивают или зенкеруют.

При обработке деталей на многолезцовых полуавтоматах необходимо диаметры ступеней вала располагать по возрастающей степени по его длине (рис. VI.51, *м*), что упрощает наладку полуавтомата. Длины ступеней вала должны быть равными или кратными длине самой короткой ступени. Это позволяет вести многолезцовую обработку, что значительно сокращает основное (технологическое) время. Ступенчатые валы целесообразно выполнять симметричными относительно середины длины. Это позволяет обрабатывать левую и правую половины вала при одной и той же наладке полуавтомата.

В торцах валов, обрабатываемых на центрах, надо предусматривать центровые технологические отверстия.

В конструкциях деталей следует избегать ребристых поверхностей, так как при их обработке возникает ударная динамическая нагрузка на резец, что снижает качество обработанных поверхностей и может быть причиной возникновения вибраций.

Участки вала, имеющие один и тот же размер, но разные посадки (допуски), необходимо разграничивать канавками. Острые грани обрабатываемых поверхностей должны быть притуплены, скруглены или с них должны быть сняты фаски.

1. Характеристика метода строгания

Технологический метод формообразования поверхностей заготовок строганием характеризуется наличием двух движений: поступательным резца или заготовки (скорость резания) и прерывистым поступательным подачи, направленным перпендикулярно вектору главного движения.

Заготовки обрабатывают на поперечно-строгальных или продольно-строгальных станках. На поперечно-строгальных станках резец совершает возвратно-поступательное движение v , а заготовка — движение поперечной подачи в горизонтальной плоскости (рис. VI.52, *а*). При некоторых видах обработки движение подачи имеет резец. На продольно-строгальных станках заготовка совершает возвратно-поступательное движение v , а режущий инструмент (рис. VI.52, *б*) — движение подачи.

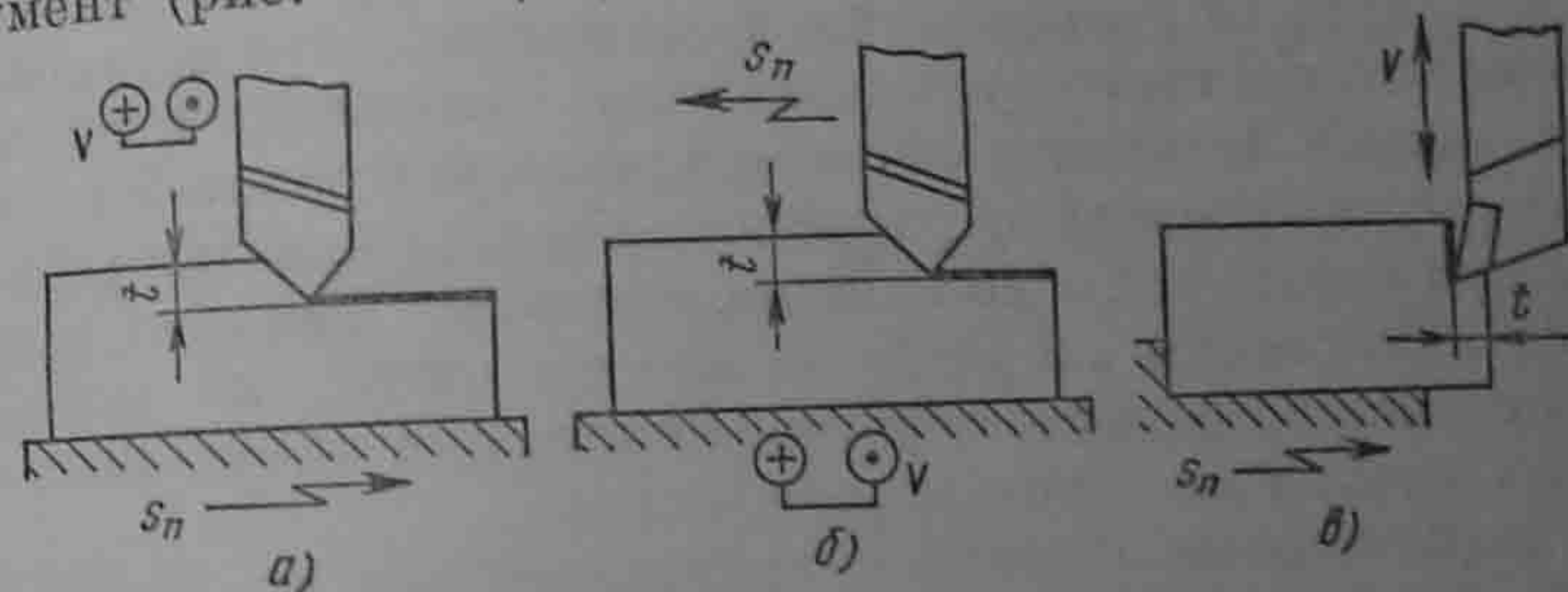


Рис. VI.52. Схемы обработки плоской поверхности на поперечно-строгальном (*а*), продольно-строгальном (*б*) и долбежном (*в*) станках

Разновидностью строгания является долбление на долбежных станках. На них заготовки обрабатывают при возвратно-поступательном движении v режущего инструмента, совершаемом в вертикальной плоскости, и движении подачи s_n заготовки в горизонтальной плоскости (рис. VI.52, *в*).

Процесс резания при строгании прерывистый, и удаление материала происходит только при прямом (рабочем) ходе. Во время обратного (холостого) хода резец работу резания не производит. Прерывистый процесс резания способствует охлаждению инструмента во время обработки заготовки, что исключает в большинстве случаев применение смазочно-охлаждающих жидкостей.

Прерывистый процесс резания приводит к значительным динамическим нагрузкам режущего инструмента, так как резец, времаясь в материал заготовки при каждом рабочем ходе, испытывает удар. Поэтому строгание осуществляют на умеренных скоростях резания, а режущий инструмент делают более массивным и прочным по сравнению с резцами, применяемыми при обработке точением. Наличие холостого хода при строгании увеличивает время обработки и снижает производительность.

Благодаря низкой производительности строгание во многих случаях заменяют фрезерованием.

Строгальные станки широко применяют в станкостроении и тяжелом машиностроении, когда необходимо обрабатывать крупные тяжелые заготовки станин, корпусов, рам, оснований, колонн и других деталей. Строгальные станки используют также во вспомогательных цехах машиностроительных заводов: ремонтных, инструментальных, опытного производства и т. д.

2. Режим резания. Силы резания

Режим резания. При строгании режим резания составляет совокупность величин: скорости резания v подачи s и глубины резания t .

Глубину резания измеряют в миллиметрах. При строгании она определяется величиной припуска, оставленного на обработку. Червовое строгание выполняют с большей глубиной резания, чем полустое и чистовое. При строгании и долблении движение подачи (мм/дв.х.) является прерывистым и осуществляется в конце обратного холостого хода заготовки или резца. Величины t и s выбирают из справочников. Задав шись глубиной резания и подачей, по эмпирической формуле определяют расчетную скорость резания. Скорость резания при строгании и долблении измеряют в метрах в минуту.

После вычисления скорости резания определяют число двойных ходов ползуна поперечно-строгального или долбежного станка или стола продольно-строгального станка.

Для строгальных станков с гидроприводом главного движения число двойных ходов ползуна (стола) в минуту

$$m = \frac{1000v_{p.x}}{L(k+1)},$$

где $L = l + (l_1 + l_2)$ — длина хода ползуна (рис. VI.53), мм; l — длина обрабатываемой поверхности заготовки, мм; $l_1 + l_2$ — длина перебега резца в обе стороны, мм; k — отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода.

Силы резания. Схема сил, действующих в процессе обработки заготовки на строгальном станке, показана на рис. VI.54. Так же как и при точении, силу резания R раскладывают на три составляющие силы: P_z ; P_y ; P_x .

Тангенциальную составляющую P_z силы резания определяют по эмпирической формуле, так же как при точении. Величины вертикальной P_y и горизонтальной P_x составляющих обычно берут в долях от силы P_z .

По силе P_z определяют эффективную мощность резания, упругую деформацию резца при рабочем ходе, размеры поперечного сечения стержня резца. По силе P_x рассчитывают механизм подачи станка; по силе P_y — упругие отжатия резца от обрабатываемой заготовки, что влияет на точность размера обработанной поверхности, и прочность механизма резцедержателя и суппорта станка.

Для продольно-строгальных станков
(в кВт) $N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 10^3}$,

где P_z — вертикальная составляющая силы резания, Н; v — скорость резания, м/мин.

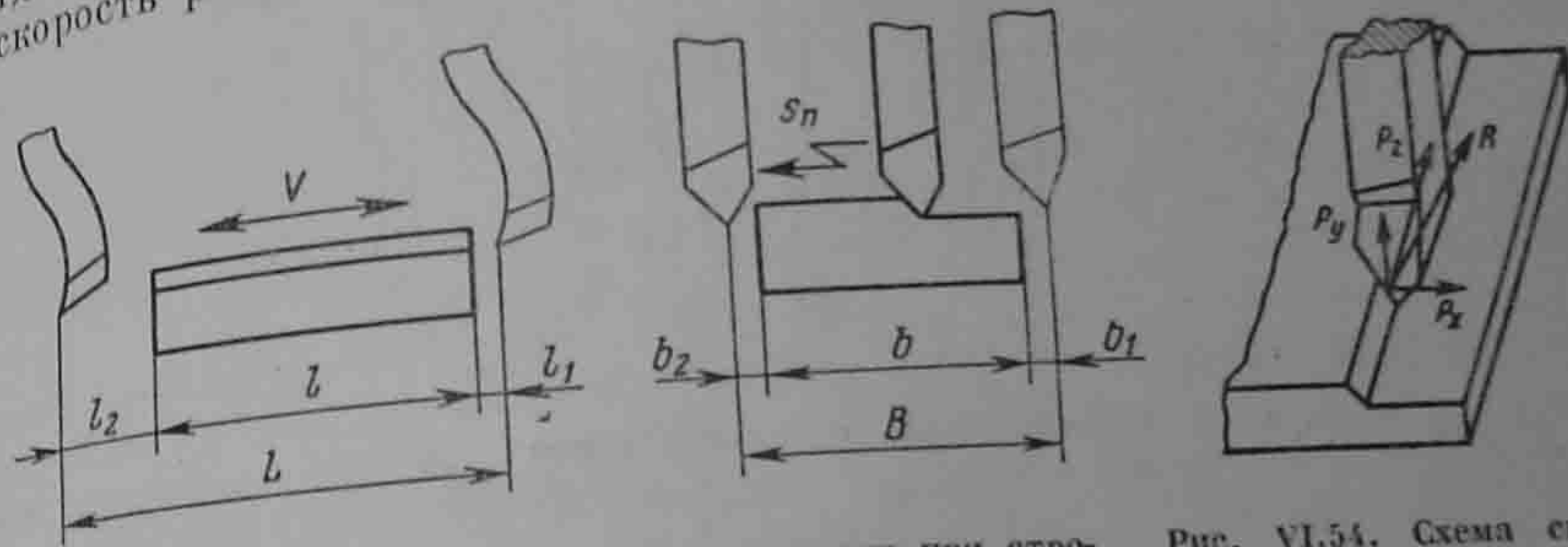


Рис. VI.53. Схемы к расчету основного времени при строгании плоской поверхности

Рис. VI.54. Схема сил, действующих при строгании

Основное (технологическое) время. Основное время (в мин) обработки поверхности заготовки на строгальном (долбежном) станке

$$T_o = \frac{B}{ms} i,$$

где B — ширина строгания (долбления), мм (рис. VI.53);

$$B = b + b_1 + b_2,$$

здесь b — ширина обрабатываемой поверхности, мм; b_1 — величина врезания резца, мм; b_2 — величина выхода резца из материала заготовки, мм; i — число проходов.

3. Строгальные и долбежные резцы

Строгальные резцы по сравнению с токарными работают в более тяжелых условиях, так как они испытывают ударную (динамическую) нагрузку. Под действием этой нагрузки резец изгибается в сторону опорной поверхности стержня.

Если вершина резца расположена слева от оси стержня, то она вследствие деформации опишет дугу, и глубина резания изменится. Во избежание этого необходимо, чтобы при деформировании вершина резца описывала дугу радиусом R , касательную к обработанной поверхности (рис. VI.55, а). Для этого вершина резца должна быть расположена между опорной поверхностью стержня и плоскостью, проходящей через ось стержня резца. Чтобы выдержать это условие, строгальные резцы выполняют изогнутыми.

В зависимости от назначения различают следующие типы строгальных резцов (рис. VI.55): проходные (б), подрезные (в), отрезные (г) и фасонные. Указанные резцы выполняют правыми и левыми, черновыми и чистовыми; их конструкции аналогичны конструкциям резцов для токарной обработки.

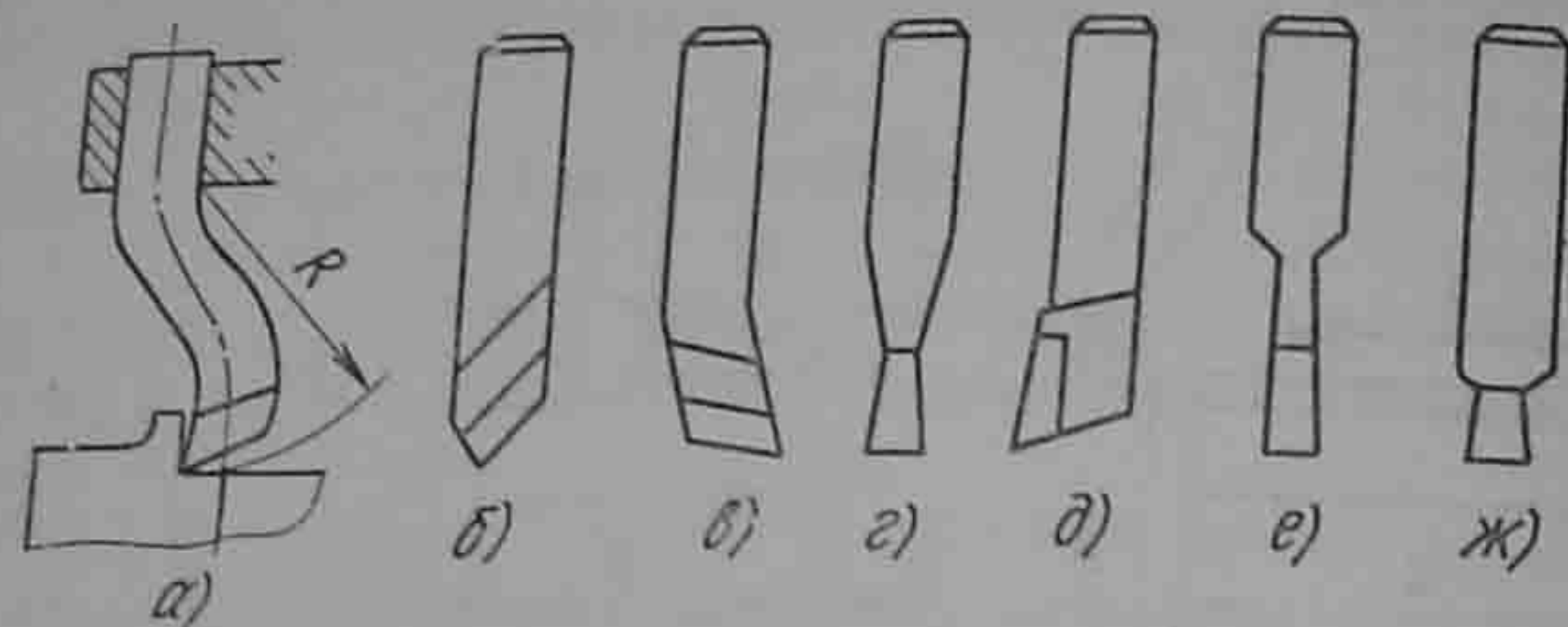


Рис. VI.55. Строгальные и долбежные резцы

Долбежные резцы изготовляют трех основных типов (рис. VI.55): проходные (д), прорезные (е) и для шпоночных пазов (ж). Долбежные резцы, как правило, изготовляют с пластинками из быстрорежущей стали.

4. Приспособления для обработки заготовок на строгальных станках

Обрабатываемые заготовки небольших размеров и простых форм закрепляют в универсальных машинных тисках, устанавливаемых и закрепляемых на столе строгального станка.

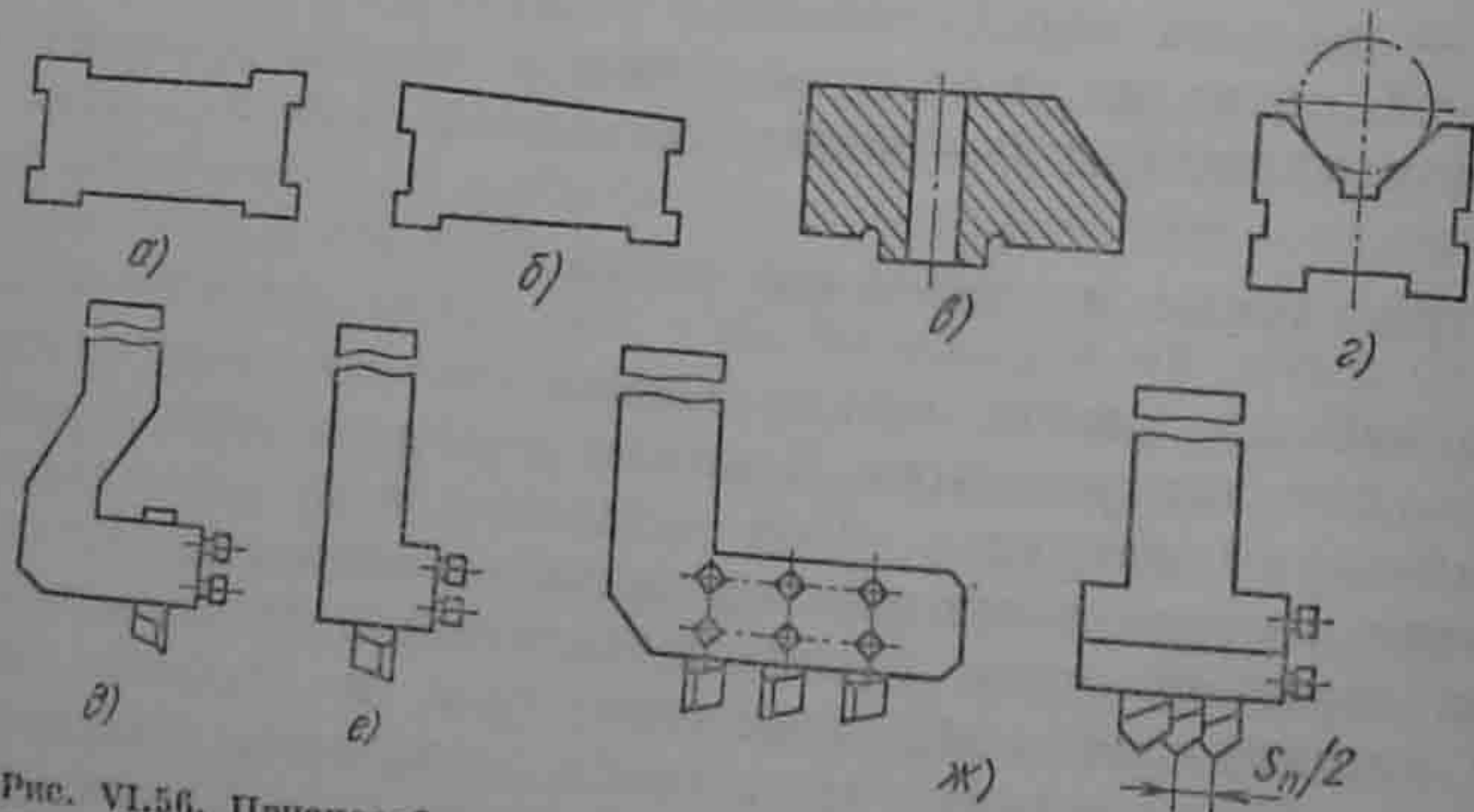


Рис. VI.56. Приспособления и резцовые державки к строгальным станкам

Заготовки больших размеров и сложных форм устанавливают непосредственно на столе станка, имеющем Т-образные пазы, и закрепляют, используя прихваты, призматические (рис. VI.56, а)

и клиновые (рис. VI.56, б) подкладки, упоры (рис. VI.56, в), призмы (рис. VI.56, г) и т. д.

Специальные приспособления при выполнении строгальных работ применяют редко. Резцы на строгальных станках закрепляют в специальных державках: однорезцовых (рис. VI.56, д, е), двух-, трех- и четырехрезцовых. На рис. VI.56, ж показана трехрезцовая державка для строгания плоской поверхности по схеме деления подачи на части. Это позволяет обрабатывать заготовки с большой величиной поперечной подачи, в то время как на каждый резец приходится $\frac{s_n}{2}$. Применяя аналогичные конструкции державок, можно строгать поверхности по схеме деления припуска на части.

5. Обработка поверхностей заготовок на строгальных и долбежных станках

Строгальные станки. Эти станки входят в седьмую группу. К ним относятся поперечно-строгальные, продольно-строгальные (одностоечные и двухстоечные), долбежные и разные строгальные станки.

Поперечно - строгальные станки используют в серийном производстве и во вспомогательных цехах машиностроительных заводов. На них обрабатывают заготовки, когда длина строгания не превышает 1000 мм. Общий вид поперечно-строгального станка показан на рис. VI.57. Фундаментная плита 1 служит для установки и закрепления станка на фундаментном основании пола. На плите закреплена станина 2 с фланцевым электродвигателем 8. В станине смонтированы коробка скоростей станка и кулисный механизм или гидропривод, обеспечивающие возвратно-поступательное движение ползуна 7 по горизонтальным направляющим станины. По вертикальным направляющим станины перемещается траверса 3 с горизонтальными направляющими. На траверсе консольно установлен стол 4 с Т-образными пазами, на котором закрепляют обрабатываемую заготовку.

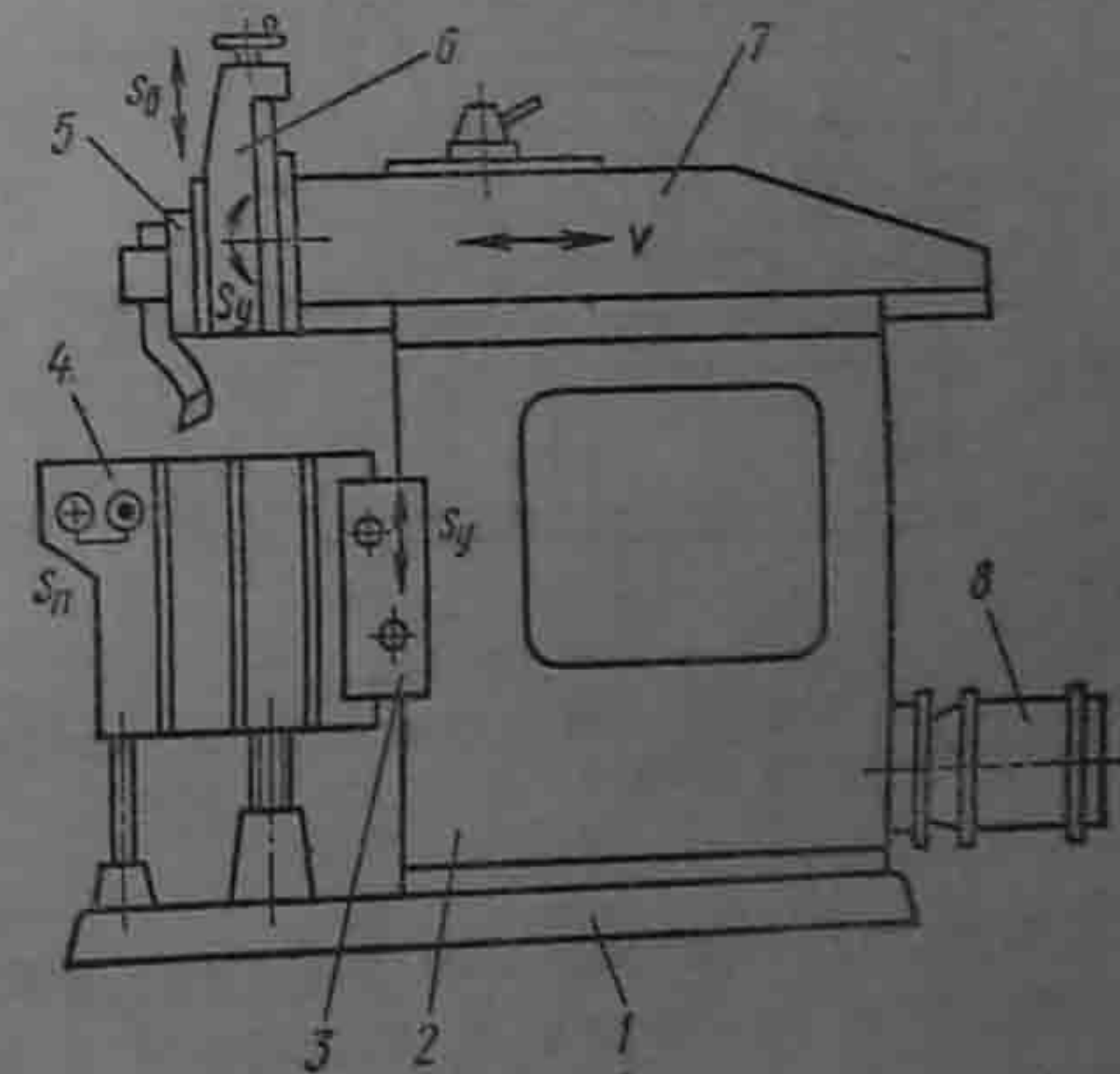


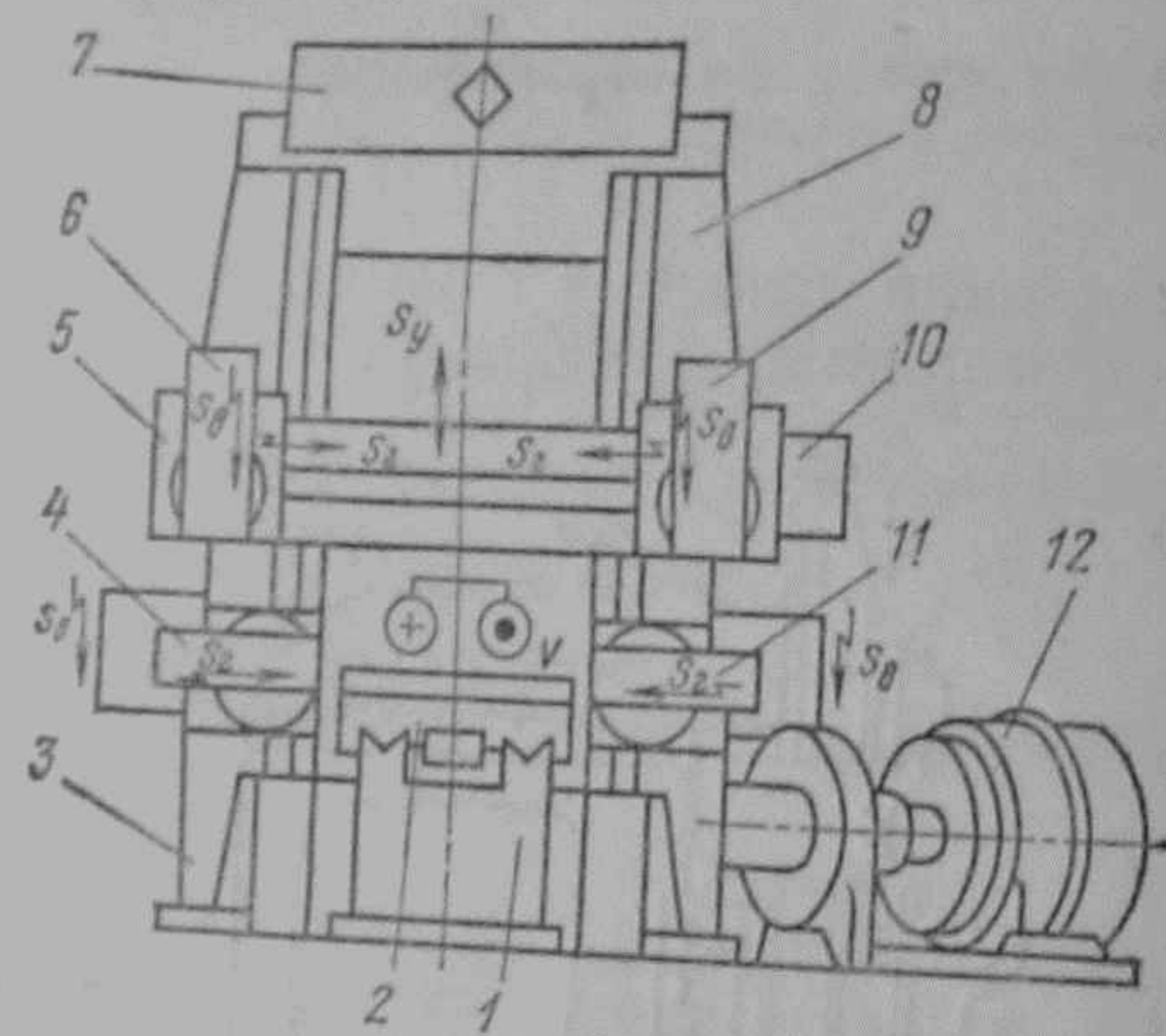
Рис. VI.57. Общий вид поперечно-строгального станка

На торце ползуна 7 закреплен вертикальный суппорт 6, который можно устанавливать под углом при строгании наклонных плоскостей. На суппорте смонтирован откидной резцедержатель 5,

в котором закрепляют строгальный резец. Резцедержатель сделан откидным и может поворачиваться на шарнирном пальце, что необходимо для свободного скольжения резца по обработанной поверхности заготовки при холостом ходе ползуна.

На продольно-строгальных станках обрабатывают крупные тяжелые заготовки. Станки характеризуются наибольшей длиной строгания (ходом стола), которая составляет 1,5—12 м, и шириной строгания, равной 0,7—4,0 м. Продольно-строгальные станки подразделяют на одностоечные и двухстоечные. На двухстоечных станках, имеющих более жесткую конструкцию, обрабатывают более крупные заготовки.

Общий вид двухстоечного продольно-строгального станка показан на рис. VI.58. Станина 1 имеет продольные горизонтальные направляющие, по



которым стол 2 совершает возвратно-поступательное движение. Стол с закрепленной на нем обрабатываемой заготовкой получает прямолинейное движение от реечной передачи, червяка и червячной рейки или от гидроцилиндра. Приводом главного движения служит электродвигатель 12.

Со станиной жестко связаны две стойки: левая 3 и правая 8, соединенные в верхней части поперечиной 7, что повышает общую

жесткость станка. По вертикальным направляющим стоек перемещается траверса 5, которую в зависимости от размера обрабатываемой заготовки устанавливают на определенном уровне от плоскости стола. На траверсе смонтированы два верхних суппорта 6 и 9, получающие поперечную подачу от коробки подач 10. Суппорты можно поворачивать в вертикальной плоскости. На суппортах установлены откидные резцедержатели для закрепления резцов. По вертикальным направляющим стоек перемещаются боковые суппорты 4 и 11, на которых также установлены откидные резцедержатели. Боковые суппорты имеют индивидуальные коробки подач.

Наличие четырех суппортов позволяет одновременно обрабатывать несколько поверхностей заготовки.

Долбежные станки характеризуются тем, что главное движение резания осуществляется в вертикальной плоскости. Это движение имеет ползун, на котором установлен резцедержатель для закрепления долбежного резца. Длина хода

ползуна обычно не превышает 200 мм. Заготовку закрепляют на столе станка, который имеет продольную и поперечную подачи. Кроме того, стол имеет круговую подачу относительно своей вертикальной оси.

На строгальных станках обрабатывают плоские поверхности — горизонтальные, вертикальные и наклонные; уступы; пазы Т-об-

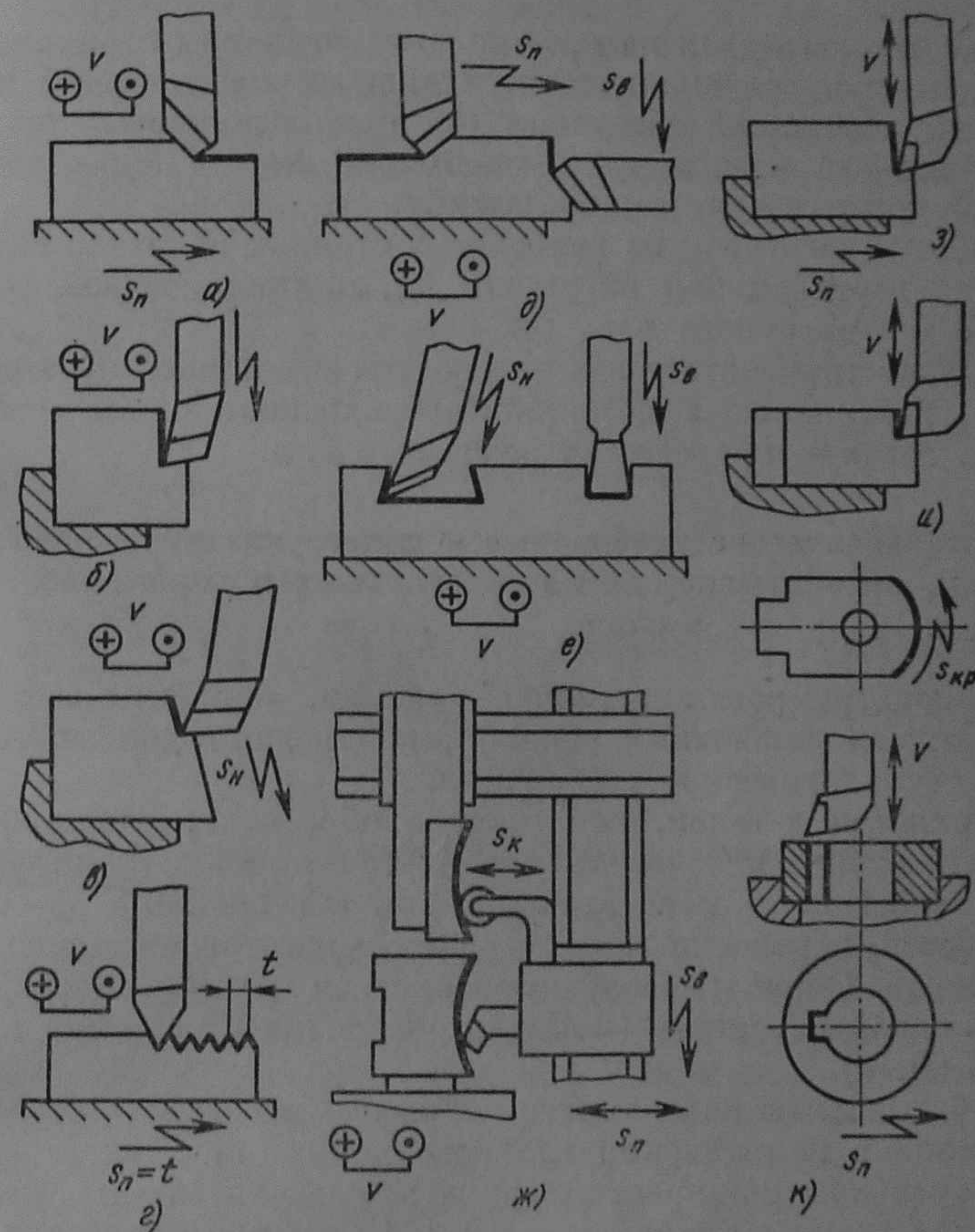


Рис. VI.59. Схемы обработки поверхностей заготовок на строгальных и долбежных станках

разные, V-образные, типа «ласточкина хвоста», призматические (прямоугольные, трапециевидальные); рифленые поверхности; фасонные поверхности (фасонными резцами или по копиру). Кроме того, на них разрезают заготовки.

На долбежных станках обрабатывают плоские вертикальные поверхности, многогранники, многогранные отверстия, наружные пазы, фасонные поверхности.

На рис. VI.59 показаны примеры обработки различных поверхностей на строгальных и долбежных станках.

Обработка заготовок на поперечно-строгальных станках показана схемами строгания горизонтальной (а), вертикальной (б) и наклонной (в) плоскостей. На рис. VI.59, г показано строгание рифлений. Наклонную плоскость обрабатывают при повороте верхнего суппорта на угол, равный углу наклона обрабатываемой плоскости, и подаче, направленной параллельно обрабатываемой поверхности.

Обработка заготовок на продольно-строгальных станках показана схемами одновременного строгания горизонтальной и вертикальной плоскостей заготовки (д); одновременного строгания призматического паза и паза «ласточкин хвост» (е); строгания фасонной поверхности (ж) по копиру.

Обработка заготовок на долбежных станках показана схемами долбления вертикальной плоскости (з), цилиндрической поверхности (и) и шпоночного паза (к).

Строгание горизонтальных плоскостей выполняют проходными резцами, вертикальных и наклонных плоскостей — подрезными резцами, пазов — прорезными резцами и т. д.

6. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на строгальных и долбежных станках

При конструировании деталей машин, обрабатываемых на строгальных и долбежных станках, необходимо учитывать следующие технологические требования.

Поверхности деталей, подлежащие обработке, целесообразно оформлять в виде плоскостей или их сочетаний в пространстве. Следует избегать в конструкциях деталей сложных фасонных поверхностей, обработка которых требует изготовления специальных копиров. Обрабатываемые поверхности целесообразно располагать в одной плоскости (АА) для обработки их за один проход (рис. VI.60, а).

Обрабатываемые поверхности должны обеспечивать свободный выход резца в направлении главного движения. При строгании уступов необходимо предусматривать разделительные канавки для выхода резца шириной $b = 10 \div 15$ мм при обработке заготовок на поперечно-строгальных станках и $b = 30 \div 40$ мм при обработке заготовок на продольно-строгальных станках (рис. VI.60, б).

Поверхности детали, расположенные под углом друг к другу, необходимо разделять канавками для выхода резца из материала заготовки (рис. VI.60, в), что обеспечит правильную сборку этой детали с сопрягаемой.

Конструкция деталей с узкими длинными поверхностями должна обеспечивать строгание их в продольном направлении, так как строгание в поперечном направлении приводит к значительным вибрациям (рис. VI.60, г). Вибрации могут возникнуть

при строгании поверхностей малой длины, когда при этом назначают большое число двойных ходов резца в минуту.

На строгальных станках нецелесообразно обрабатывать ребристые и прерывистые поверхности, так как это вызывает вибрацию системы СПИД. В крайнем случае допустимо строгание по длине ребристых поверхностей (рис. VI.60, д). Перед обработкой поверхности необходимо прострогать фаски $b \times 45^\circ$ со стороны входа и выхода резца (рис. VI.60, е). Это обеспечивает более плавное врезание резца в материал заготовки и уменьшает ударную динамическую нагрузку, а при выходе резца предотвращает скалывание материала заготовки. При строгании бортов деталей коробчатой формы необходимо для увеличения прочности и жесткости

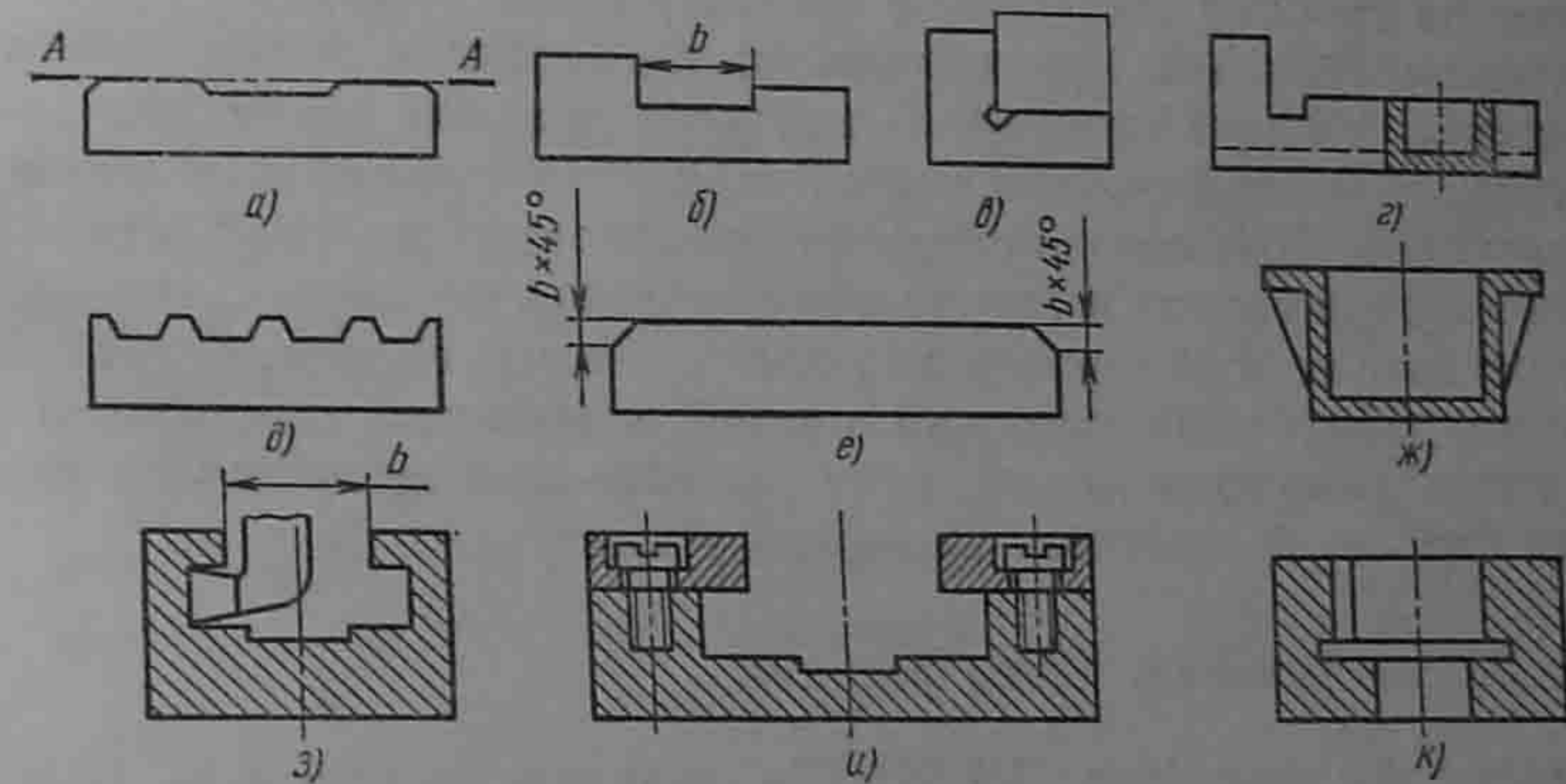


Рис. VI.60. Примеры конструкций деталей машин, обрабатываемых на строгальных станках

бортов усиливать их дополнительными внутренними или наружными (рис. VI.60, ж) ребрами жесткости, что исключает их разрушение вследствие ударной динамической нагрузки.

Пазы, обрабатываемые строганием напроход, должны быть открытыми. При строгании Т-образного паза ширина b должна обеспечивать ввод резца (рис. VI.60, з). В отдельных случаях целесообразно Т-образные пазы выполнять сборными (рис. VI.60, и).

Нежесткие конструкции необходимо усиливать ребрами жесткости, что обеспечивает более высокую точность обработки. В конструкциях деталей следует избегать обработки поверхностей, расположенных в углублениях.

При долблении несквозных шпоночных и шлицевых пазов необходимо предусматривать канавки для выхода долбежного резца (рис. VI.60, к).

Поверхности, обрабатываемые долблением, должны быть небольшой длины, так как при обработке длинных заготовок необходим большой вылет резца из резцедержателя, что приводит к значительным деформациям его и разрушению.

1. Характеристика метода сверления

Сверление — распространенный метод получения отверстий в сплошном материале. Сверлением получают сквозные и несквозные (глухие) отверстия и обрабатывают предварительно полученные отверстия с целью увеличения их размеров, повышения точности и снижения шероховатости поверхности.

Сверление осуществляют при сочетании вращательного движения инструмента вокруг оси — главного движения и поступательного его движения вдоль оси — движения подачи. Оба движения на сверлильном станке сообщают инструменту.

Процесс резания при сверлении протекает в более сложных условиях, чем при точении. В процессе резания затруднен отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости к режущим лезвиям инструмента. При отводе стружки происходит трение ее о поверхность канавок сверла и сверла о поверхность отверстия. В результате повышаются деформация стружки и тепловыделение. На увеличение деформации стружки влияет изменение скорости резания вдоль режущего лезвия от максимального значения на периферии сверла до нулевого значения у центра.

2. Режим резания. Силы резания

Режим резания (рис. VI.61). За скорость резания (в м/мин) при сверлении принимают окружную скорость точки режущего лезвия, наиболее удаленной от оси сверла:

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

где D — наружный диаметр сверла, мм; n — частота вращения сверла, об/мин.

Подача s_b (мм/об) равна величине осевого перемещения сверла за один оборот.

За глубину резания t (в мм) при сверлении отверстий в сплошном материале принимают половину диаметра сверла:

$$t = \frac{D}{2},$$

а при рассверливании

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

где d — диаметр обрабатываемого отверстия, мм.

Силы резания. В процессе резания сверло испытывает сопротивление со стороны обрабатываемого материала. Равнодействующую сил сопротивления, приложенную в некоторой точке A

режущего лезвия, можно разложить на три составляющие силы P_x , P_y и P_z (рис. VI.62).

Составляющая P_x направлена вдоль оси сверла. В этом же направлении действуют сила P_{II} на поперечное лезвие и сила трения P_{II} ленточки об обработанную поверхность. Суммарная всех указанных сил, действующих на сверло вдоль оси X , называется осевой силой, или силой подачи P_o . Радиальные силы P_y , равные по величине, но противоположно направленные, взаимно уравновешиваются.

Исследованиями установлено, что сила, действующая на поперечное режущее лезвие P_{II} , весьма значительна и составляет

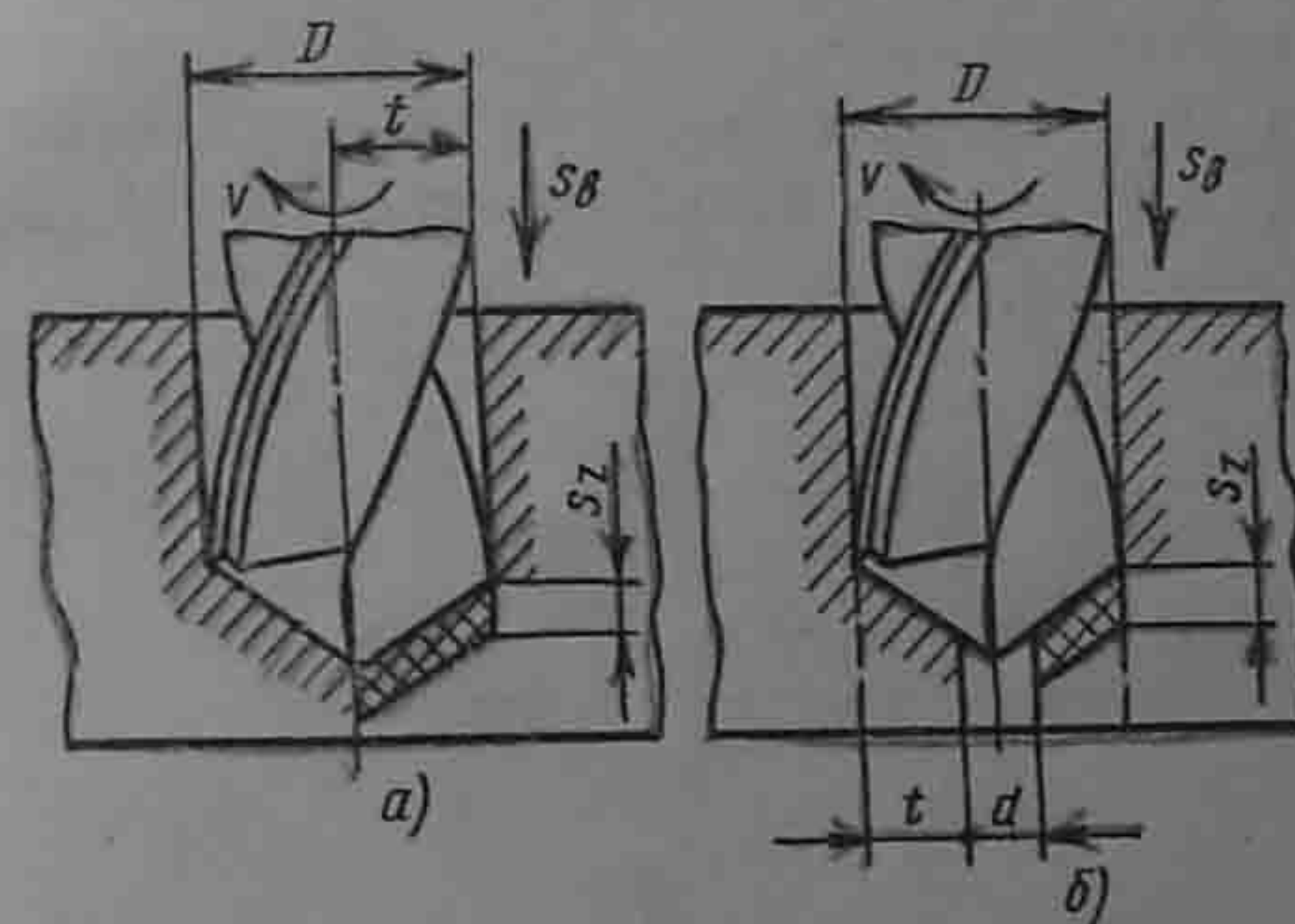


Рис. VI.61. Схемы сверления (a) и рассверливания (б)

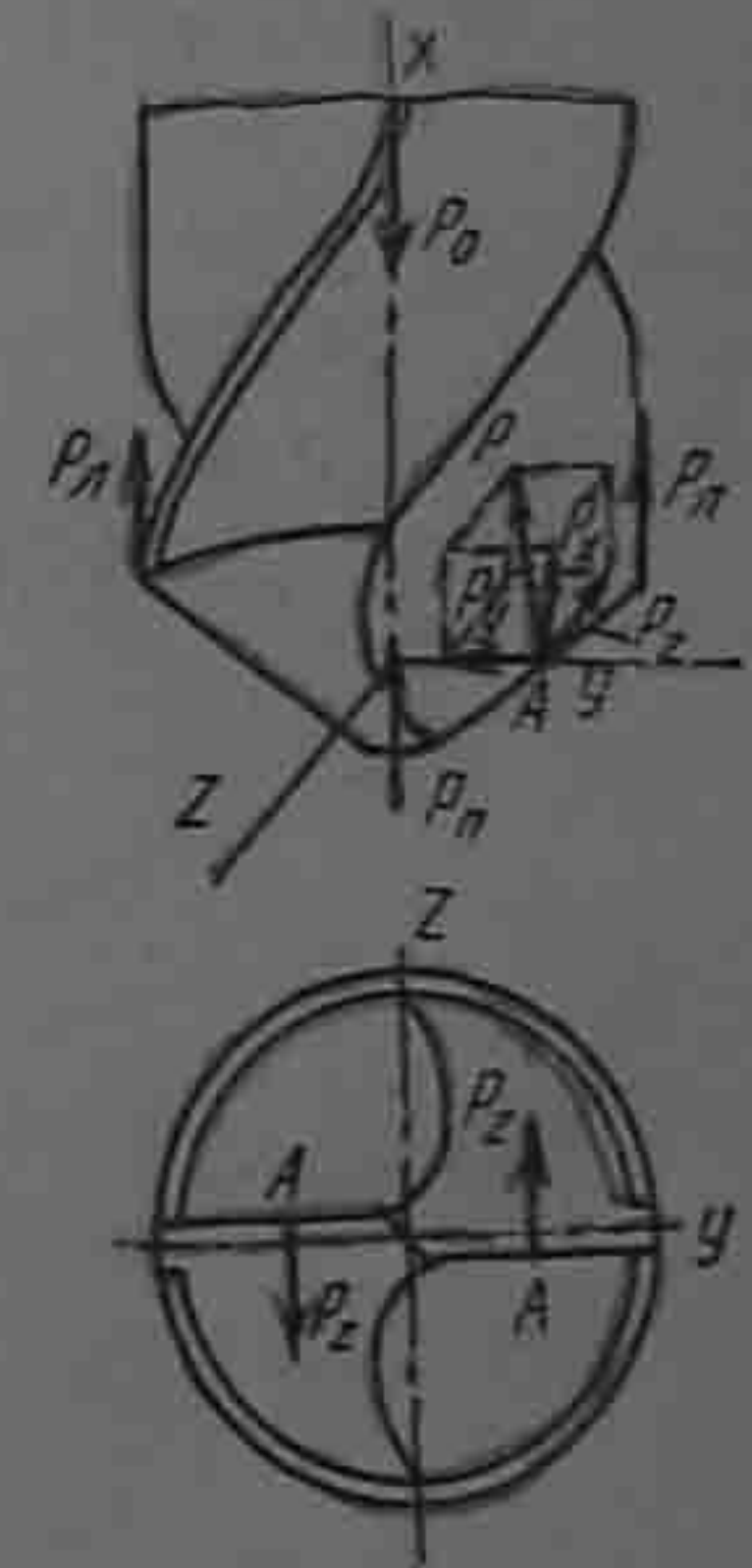


Рис. VI.62. Силы, действующие на сверло

50—55%, на главные режущие лезвия — 40—45% и на ленточки — около 3% осевой силы P_o .

Крутящий момент, преодолеваемый шпинделем сверлильного станка, в основном (80—90%) создается силой P_z .

В расчетах для определения осевой силы P_o (в Н) и крутящего момента M_K (в Н·м) используют эмпирические формулы

$$P_o = C_p D^{x_p} s_b^{y_p} K_p;$$

$$M_K = C_M D^{x_M} s_b^{y_M} K_M,$$

где C_p и C_M — постоянные коэффициенты, характеризующие обрабатываемый материал и условия резания; x_p , y_p , x_M , y_M — показатели степеней; K_p и K_M — поправочные коэффициенты на измененные условия резания.

Коэффициенты и показатели степеней приведены в справочных материалах.

Осевая сила и крутящий момент являются исходными для расчета сверла и узлов станка на прочность, а также для определения эффективной мощности. Эффективная мощность (в кВт),

затрачиваемая на резание при сверлении,

$$N_e = \frac{M_{\text{кп}} n}{60 \cdot 10^3}$$

По мощности N_e определяют мощность электродвигателя станка:

$$N_{\text{д}} = \frac{N_e}{\eta}$$

где η — к. п. д. механизмов и передач станка.

3. Режущий инструмент

Отверстия на сверлильных станках обрабатывают сверлами, зенкерами, развертками и метчиками.

Сверла. По конструкции и назначению сверла подразделяют на спиральные, центровые и специальные. Наиболее распространены

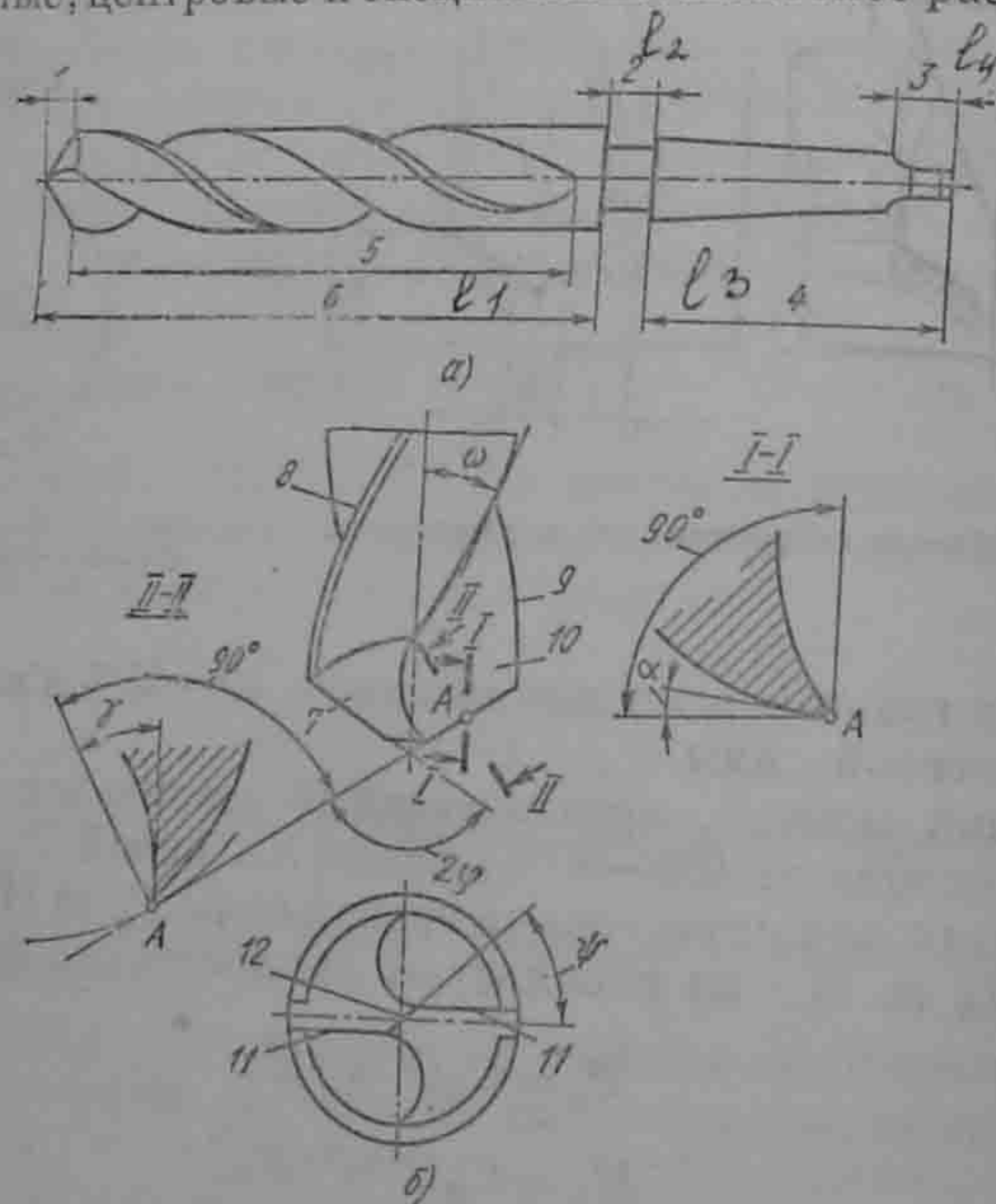


Рис. VI.63. Части (а), элементы и углы (б) спирального сверла

ным инструментом для сверления и рассверливания является спиральное сверло (рис. VI.63, а), которое состоит из четырех частей: рабочей 6, шейки 2, хвостовика 4 и лапки 3. В рабочей части 6 различают режущую 1 и направляющую 5 части с винтовыми канавками. Шейка 2 соединяет рабочую часть сверла с хвостовиком. Хвостовик 4 служит для установки сверла

в шпинделе станка. Лапка 3 является упором при выбивании сверла из отверстия шпинделя.

Элементы рабочей части спирального сверла показаны на рис. VI.63, б. Сверло имеет два главных режущих лезвия 11, образованных пересечением передних 10 и задних 7 поверхностей и выполняющих основную работу резания; поперечное режущее лезвие 12 (перемычку) и два вспомогательных режущих лезвия 9. На цилиндрической части сверла вдоль винтовой канавки расположены две узкие ленточки 8, обеспечивающие направление сверла при резании.

К геометрическим параметрам режущей части сверла относятся передний угол γ , задний угол α , угол при вершине сверла 2ϕ , угол наклона поперечного режущего лезвия ψ и угол наклона винтовой канавки ω .

Передний угол γ измеряют в главной секущей плоскости II—II, перпендикулярной к главному режущему лезвию. В разных точках режущего лезвия передний угол различен: наибольший у наружной поверхности сверла, где он практически равен углу наклона винтовой канавки ω , наименьший у поперечного режущего лезвия.

Задний угол α измеряют в плоскости I—I, параллельной оси сверла. У наружной поверхности сверла $\alpha = 8 \div 12^\circ$; по мере приближения к оси сверла задний угол возрастает до $20-25^\circ$.

Угол при вершине сверла 2ϕ измеряется между главными режущими лезвиями и имеет различную величину в зависимости от обрабатываемого материала. У стандартных сверл, применяемых при обработке разных материалов, $2\phi = 90 \div 118^\circ$; при сверлении сталей средней твердости $2\phi = 116 \div 120^\circ$.

Угол наклона поперечного режущего лезвия ψ измеряется между проекциями главного и поперечного режущего лезвий на плоскость, перпендикулярную к оси сверла. У стандартных сверл $\psi = 50 \div 55^\circ$.

Угол наклона винтовой канавки ω измеряют по наружному диаметру. Обычно $\omega = 18 \div 30^\circ$.

Стандартные спиральные сверла выпускают диаметром 0,1—80 мм.

Сверла для глубокого сверления. При сверлении глубоких отверстий ($L > 5D$) применяют специальные сверла. На рис. VI.64, а показано однолезвийное сверло с напаян-

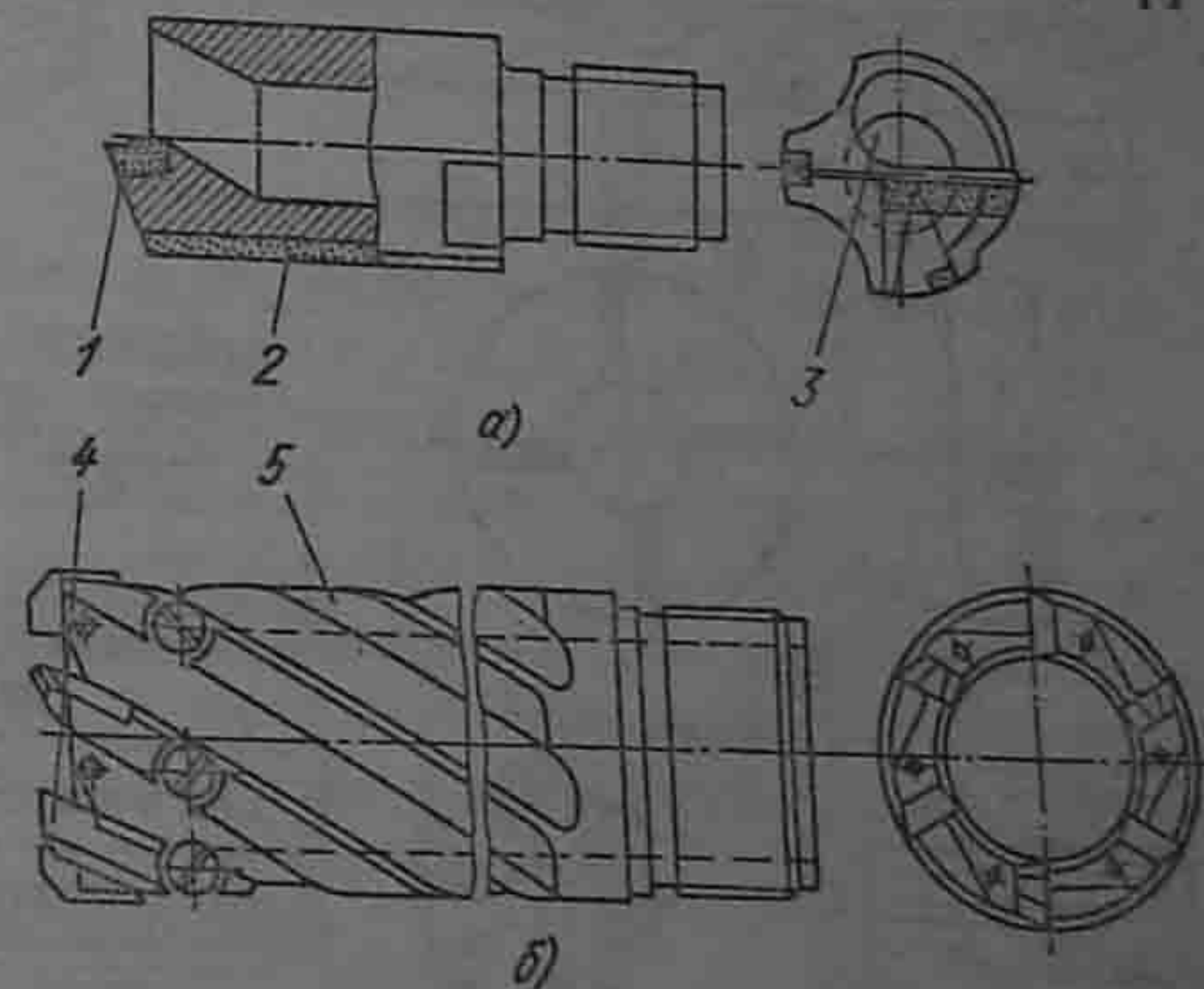


Рис. VI.64. Сверла для глубокого сверления

ной пластинкой из твердого сплава для сверления глубоких отверстий диаметром 30—80 мм. Сверло оснащено одной твердосплавной режущей пластинкой 1 и двумя направляющими пластинками 2. Охлаждающая жидкость подается в зону резания и вымывает стружку через внутренний канал 3 сверла.

Сквозные отверстия диаметром более 100 мм сверлят кольцевыми сверлами (рис. VI.64, б). Сверло состоит из полого корпуса 5 с винтовыми канавками. На его торцевой части закреплены режущие пластинки 4 (резцы), ширина которых больше толщины стенок корпуса. Режущие лезвия пластинок выступают со стороны

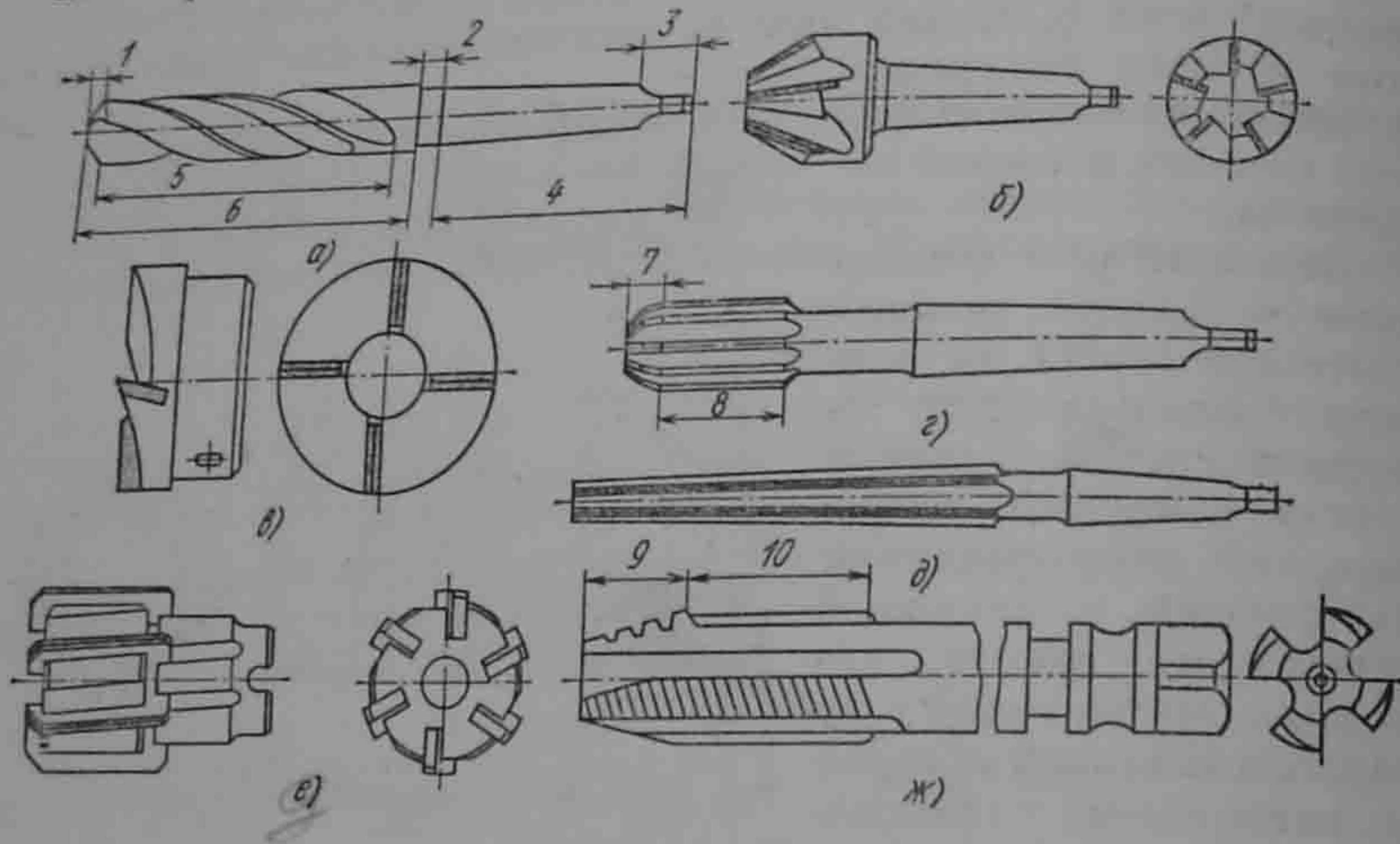


Рис. VI.65. Инструменты для обработки отверстий на сверлильных станках:
а—в — зенкеры; г—е — развертки; ж — метчик

торца, наружного и внутреннего диаметров корпуса. Число пластинок 4—8, в зависимости от диаметра сверла. Таким сверлом вырезается кольцевая канавка шириной, равной ширине пластинок. Охлаждающую жидкость подают через внутреннюю полость сверла, а стружку отводят по винтовым канавкам.

Зенкеры (рис. VI.65). Этим инструментом обрабатывают отверстия в литых или штампованных заготовках, а также предварительно просверленные отверстия. В отличие от сверл они снабжены тремя или четырьмя главными режущими лезвиями и не имеют поперечного лезвия, что повышает их прочность и жесткость. Режущая (или заборная) часть 1 выполняет основную работу резания. Калибрующая часть 5 служит для направления зенкера в отверстие и обеспечивает необходимую точность и шероховатость поверхности (2 — шейка, 3 — лапка, 4 — хвостовик, 6 — рабочая часть).

По виду обрабатываемых отверстий зенкеры делят на цилиндрические (рис. VI.65, а), конические (рис. VI.65, б) и торцовые

(рис. VI.65, в). Зенкеры бывают цельные с коническим хвостовиком (рис. VI.65, а, б) и насадные (рис. VI.65, в). Первые изготавливают диаметром до 32 мм, вторые — до 100 мм.

Развертки. Этим инструментом окончательно обрабатывают отверстия. По форме обрабатываемого отверстия различают цилиндрические (рис. VI.65, г) и конические (рис. VI.65, д) развертки. Развертки имеют 6—12 главных режущих лезвий, расположенных на режущей части 7 с направляющим конусом. Калибрующая часть 8 направляет развертку в отверстие и обеспечивает необходимую точность и шероховатость поверхности.

По способу применения различают машинные и ручные развертки. По конструкции крепления развертки делят на хвостовые и насадные. На рис. VI.65, е показана машинная насадная развертка с механическим креплением режущих пластинок в ее корпусе.

Метчики. Их применяют для нарезания внутренних резьб. Метчик (рис. VI.65, ж) представляет собой винт с прорезанными прямыми или спиральными канавками, образующими режущие лезвия, и состоит из рабочей и хвостовой частей. Рабочая часть метчика имеет режущую (заборную) 9 и калибрующую 10 части. Заборная часть производит основную работу резания, а калибрующая зачищает нарезаемую резьбу. Хвостовая часть метчика служит для закрепления метчика в патроне. Профиль резьбы метчика должен соответствовать профилю нарезаемой резьбы. Различают гаечные, машинные и ручные метчики.

4. Приспособления для обработки заготовок на сверлильных станках

При обработке на сверлильных станках применяют различные приспособления для установки и закрепления заготовок на столах станков (рис. VI.66).

Заготовки закрепляют прижимными планками (рис. VI.66, а) или в машинных тисках. При сверлении сквозных отверстий заготовку устанавливают на подкладки, что обеспечивает свободный выход сверла из отверстия. При обработке отверстий, параллельных или расположенных под углом к установочной плоскости, используют угольники: простые (рис. VI.66, б) и универсальные (рис. VI.66, в). Заготовки, имеющие цилиндрические части, закрепляют в трех- или четырехкулачковых патронах, которые крепят на столе станка. При сверлении отверстий в цилиндрических заготовках их устанавливают на призме и закрепляют струбциной (рис. VI.66, г). Для сверления нескольких точно расположенных отверстий в заготовках, обрабатываемых большими партиями, широко используют специальные приспособления — кондукторы (рис. VI.66, д). Они имеют направляющие втулки 2, обеспечивающие определенное положение режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки 1, закрепляемой в кон-

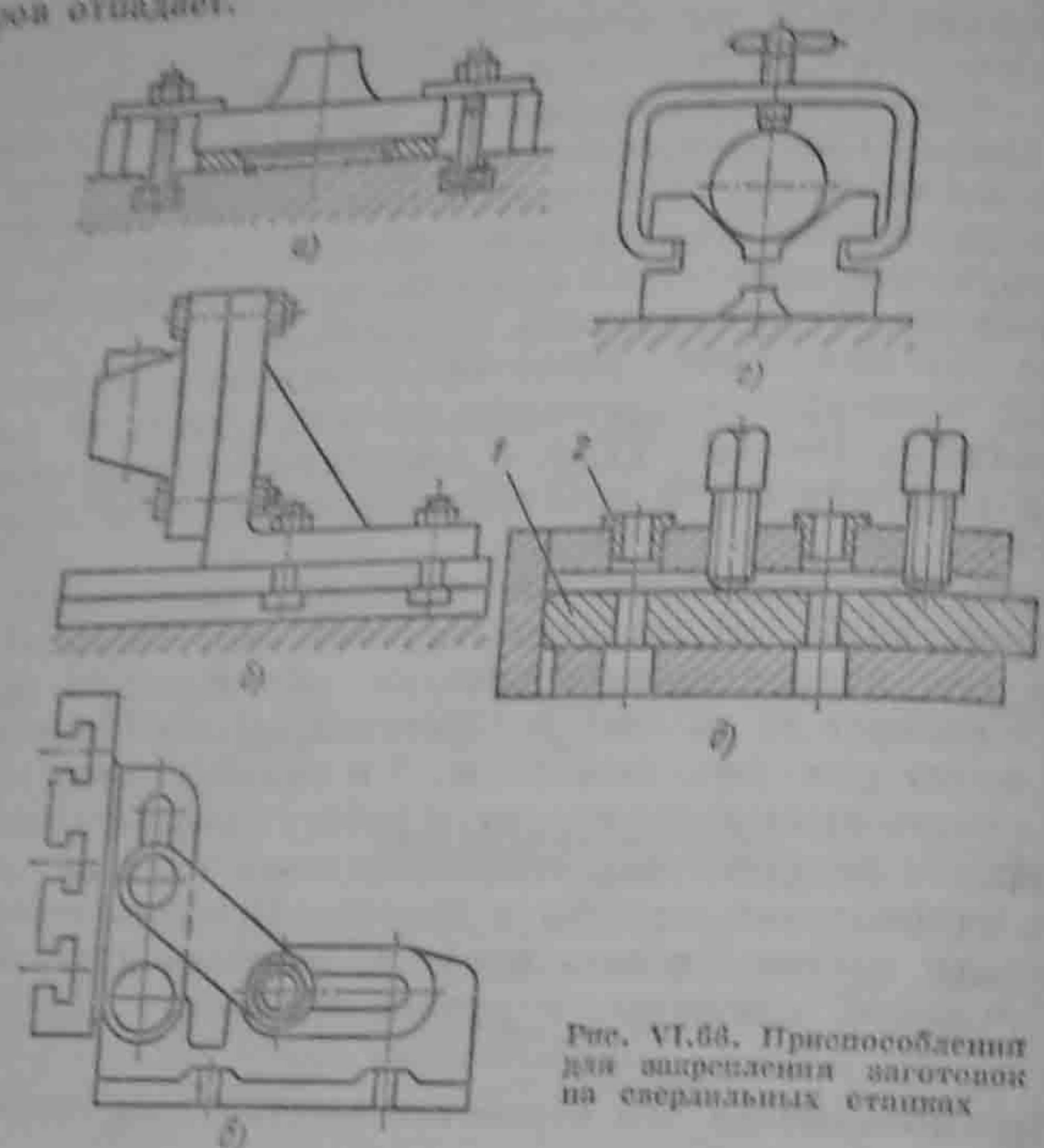


Рис. VI.66. Приспособления для закрепления заготовок на сверлильных станках

Режущий инструмент в шпинделе сверлильного станка закрепляют с помощью вспомогательного инструмента: переходных втулок, сверлильных патронов и оправок.

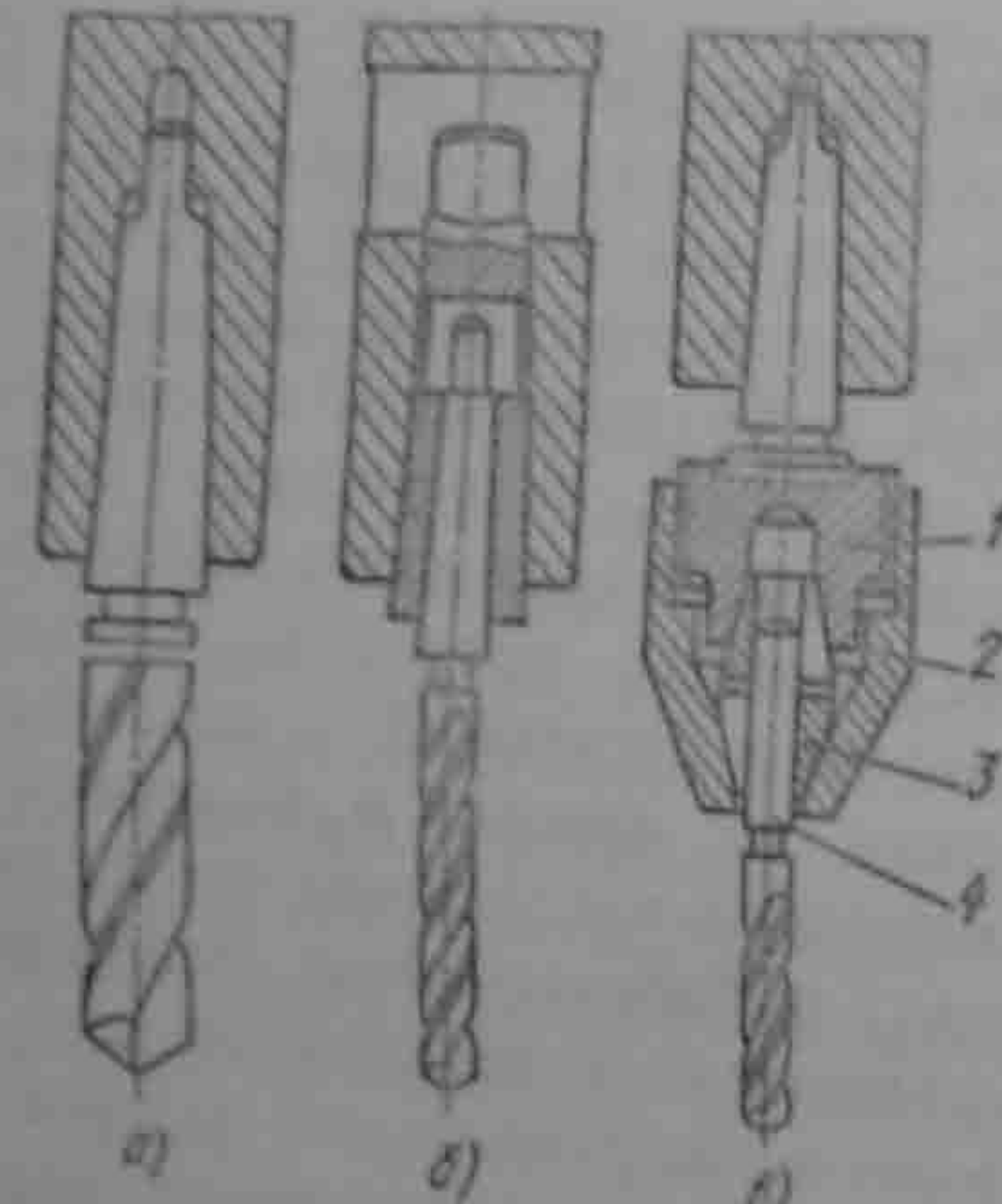


Рис. VI.67. Схемы закрепления инструмента в шпинделе станка

Режущие инструменты с коническим хвостовиком закрепляют непосредственно в шпинделе сверлильного станка (рис. VI.67, а). Если размер конуса хвостовика инструмента меньше размера конического отверстия шпинделя, то применяют переходные конические втулки (рис. VI.67, б). Инструменты с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в двух-, трехкулачковых или цапговых патронах. Закрепление режущего инструмента в цапговом патроне по-

казано на рис. VI.67, в. На резьбовую часть корпуса патрона 1 навинчивается втулка 2, в которой находится разрезная цапга 3. Цилиндрический хвостовик инструмента 4 вставляют в отверстие цапги и закрепляют вращением втулки 2 по часовой стрелке.

5. Обработка поверхностей заготовок на вертикально-сверлильных станках

На рис. VI.68 дан общий вид вертикально-сверлильного станка. На фундаментной плите 1 смонтирована колонна 2. В верхней части колонны расположена коробка скоростей 6, через которую шпинделю с режущим инструментом сообщают вращательное движение. Движение подачи (поступательное вертикальное) инструмент получает через коробку подачи 5, расположенную в кронштейне 4. Заготовку устанавливают на столе 3. Стол и кронштейн имеют установочные перемещения по вертикальным направляющим колонны 2. Совмещение оси вращения инструмента с заданной осью отверстия достигается перемещением заготовки.

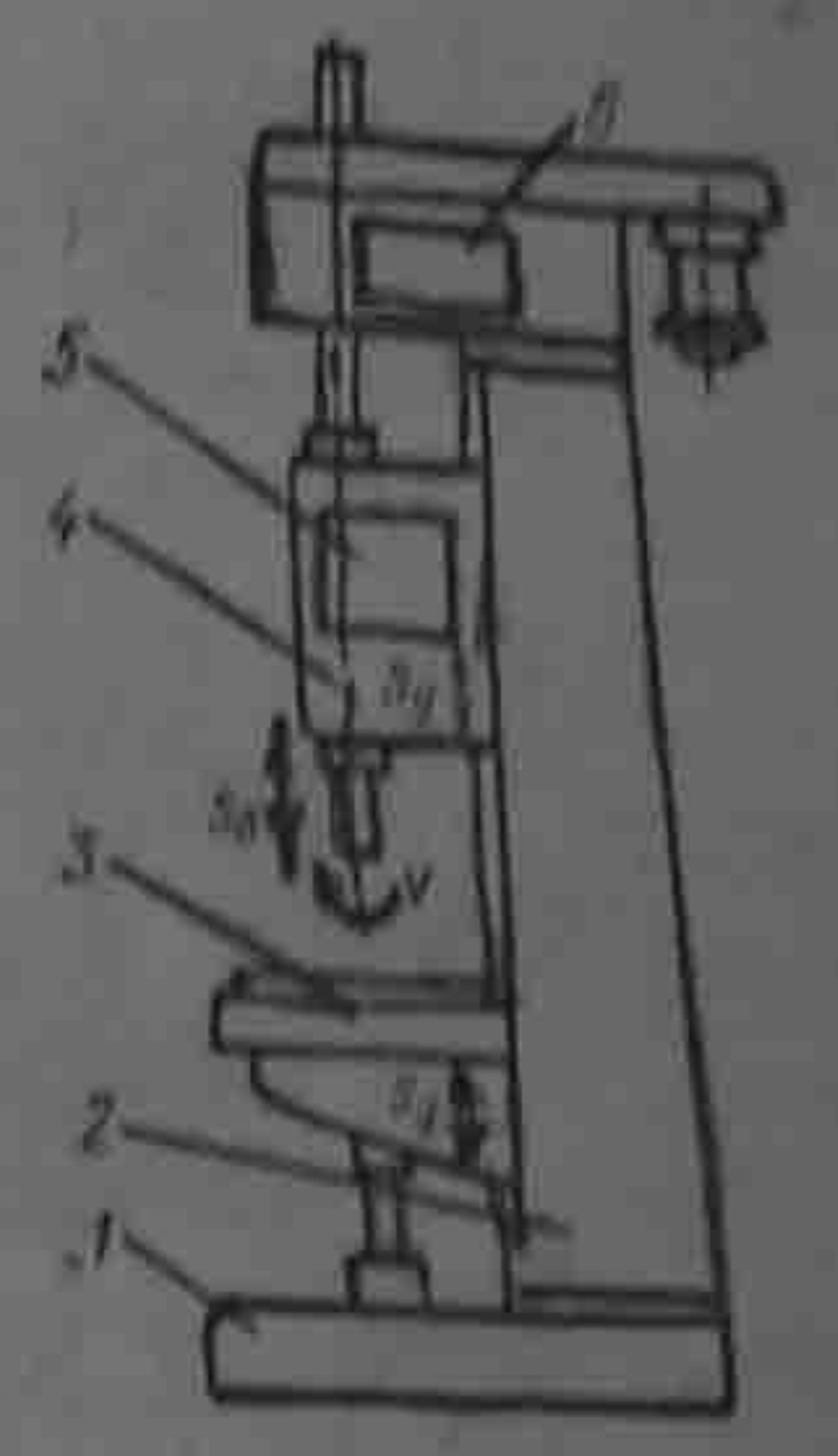


Рис. VI.68. Общий вид вертикально-сверлильного станка

На сверлильных станках выполняют сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование, нарезание резьбы и обработку сложных отверстий в заготовках небольшой массы (до 25 кг).

Сверление. На рис. VI.69, а показано сверление сквозного отверстия. Режущим инструментом является спиральное сверло. В зависимости от требуемой точности и величины партии обрабатываемых заготовок отверстия сверлят в кондукторе или по разметке.

Рассверливание. Это процесс увеличения диаметра ранее просверленного отверстия сверлом большего диаметра (рис. VI.69, б). Рассверливают обычно отверстия диаметром более 30 мм.

Необходимость предварительного сверления с последующим рассверливанием вызывается увеличением длины поперечного режущего лезвия (перемычки) у сверл большого диаметра. При работе таким сверлом в сплошном материале резко возрастает осевая сила. При малом переднем угле перемычка не режет металл, а выдавливает и скоблит его, что создает сопротивление перемещению сверла. Для устранения вредного влияния перемычки на процесс резания диаметр первого сверла должен быть больше ширины перемычки второго сверла. В этом случае перемычка второго сверла в работе не участвует, и осевая сила уменьшается.

Зенкерование. Это обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической

формы, повышения точности и снижения шероховатости многолезвийным режущим инструментом — зенкером (рис. VI.69, а) или конического отверстия разверткой (обычно после зенкерования) с целью получения поверхности высокого класса точности и малой шероховатости обработанной поверхности (рис. VI.69, б, в, г).

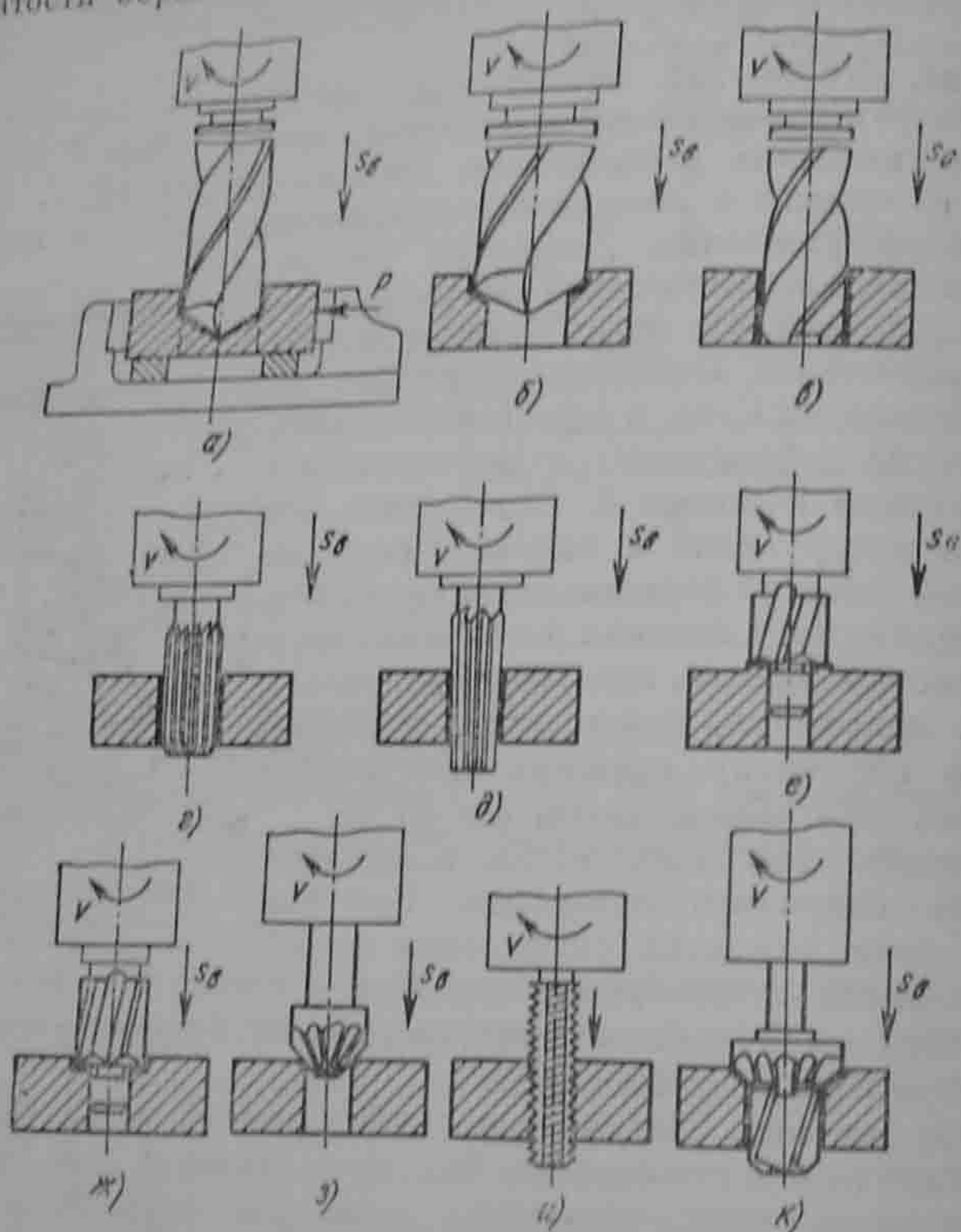


Рис. VI.69. Схемы обработки заготовки на вертикально-сверлильных станках

Цекование. Это обработка торцевой поверхности отверстия торцовым зенкером для достижения перпендикулярности плоской торцевой поверхности отверстия к его оси (рис. VI.69, е).

Зенкование. Зенкованием получают в имеющихся отверстиях цилиндрические или конические углубления под головки винтов, болтов, заклепок и других деталей. На рис. VI.69, ж, з показано зенкование цилиндрического углубления цилиндрическим зенкером (зенковкой) и конического углубления коническим зенкером.

Нарезание резьбы. Это получение на внутренней цилиндрической поверхности с помощью метчика винтовой канавки, профиль

которой соответствует профилю режущей части инструмента (рис. VI.69, и).

Обработка сложных отверстий. Сложные отверстия обрабатывают с помощью комбинированного режущего инструмента. На рис. VI.69, к показан комбинированный зенкер для обработки двух поверхностей: цилиндрической и конической.

6. Обработка поверхностей заготовок на радиально-сверлильных станках

На радиально-сверлильных станках обрабатывают несколько отверстий, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, в крупногабаритных и большой массы заготовках.

Эти станки в отличие от вертикально-сверлильных обеспечивают (без изменения положения заготовки) совмещение осей режущего инструмента и обрабатываемых отверстий перемещением шпиндельной головки.

На рис. VI.70 приведен общий вид радиально-сверлильного станка. К фундаментальной плите 1 крепят неподвижную колонну 2 с поворотной гильзой 3. На гильзе установлена траверса 4, которая может перемещаться по ней и закрепляться с помощью механизма 5 на определенной высоте в зависимости от размеров обрабатываемой заготовки. Шпиндельная головка 6, внутри которой находятся коробка скоростей 7 и коробка подач 8, перемещается по направляющим траверсы в горизонтальном направлении и вместе с траверсой поворачивается вокруг колонны. Шпиндель 9 с инструментом получает главное вращательное движение и движение подачи (поступательное вертикальное). Заготовку закрепляют на столе 10 или непосредственно на фундаментальной плите 1. Инструмент устанавливают в рабочее положение перемещением траверсы вокруг колонны, шпиндельной головки — по направляющим траверсы и шпинделя — вдоль его оси.

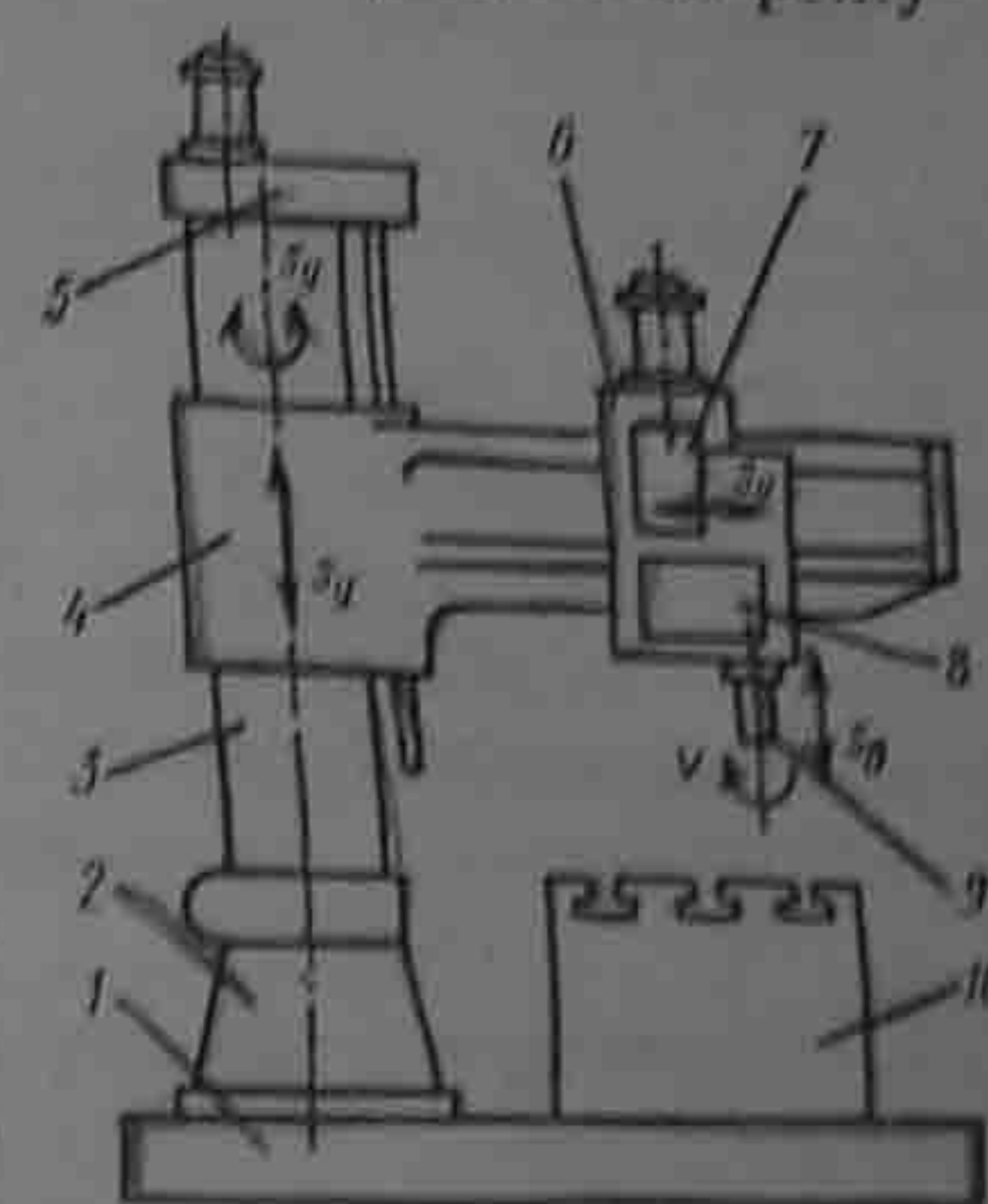


Рис. VI.70. Общий вид радиально-сверлильного станка

7. Обработка поверхностей заготовок на агрегатных станках

На агрегатных станках заготовки одновременно обрабатывают несколькими инструментами.

Агрегатные станки изготовляют из стандартных и нормализованных деталей и узлов (агрегатов). Компонировка станков весьма разнообразна. Она зависит от формы и размеров заготовок, характера выполняемых работ и т. д.

На рис. VI.71 приведена одна из разновидностей компоновки агрегатного станка.

Основными нормализованными узлами станка являются станина 1, агрегатная (силовая) головка 2 и стол 3. Заготовку крепят в приспособлении, установленном на столе станка, и обрабатывают с трех сторон одновременно многими инструментами, закрепленными в шпинделях силовых головок. Инструментальные шпиндели вращаются от приводного вала силовой головки — главное движение, а подачу вдоль оси отверстия получают вместе с корпусом силовой головки перемещением ее по направляющим станины.

На агрегатных станках наряду со сверлением растачивают отверстия, фрезеруют поверхности и т. д. Агрегатные станки являются преимущественно станками-полуавтоматами и их часто встраивают в автоматические линии. Они обеспечивают стабильную точность обработки и допускают многократное использование нормализованных деталей и узлов при перекомпоновке станка на выпуск нового изделия.

8. Сверление глубоких отверстий

Глубокие отверстия, у которых длина больше пяти диаметров, сверлят на специальных горизонтально-сверлильных станках.

Режущим инструментом являются сверла специальной конструкции (см. рис. VI.64). При сверлении глубоких отверстий обычными спиральными сверлами невозможно обеспечить прямолинейность оси отверстия. Это объясняется погрешностями при заточке спирального сверла и неравномерностью износа главных режущих лезвий, что приводит к неравенству сил резания на главных режущих лезвиях, в результате чего происходит «разбивание» отверстия и увод его оси в сторону. Кроме того, с увеличением длины отверстия затрудняются подвод смазочно-охлаждающей жидкости и отвод стружки из зоны резания.

На рис. VI.72, а показана схема сверления отверстия однолезвийным специальным сверлом на горизонтально-сверлильном станке. Заготовка 2, закрепляемая в патроне 1 и люнете 3, получает вращательное (главное) движение через коробку скоростей, расположенную в шпиндельной бабке. Сверло 9 закрепляют на резьбе в стебле 5 (трубе), второй конец последнего — в суппорте 6. Перемещением суппорта по направляющим станины сообщают сверлу продольную подачу. Смазочно-охлаждающая

жидкость под большим давлением подается насосом из резервуара 8 по трубопроводу через маслоприемник 4 к режущему лезвию сверла. Стружка отводится вместе с жидкостью через внутренний канал сверла в стружкосборник 7, где она задерживается, а жидкость стекает в отстойник резервуара 8.

При данном методе глубокого сверления весь металл, подлежащий удалению для образования отверстия заданного размера, превращается в стружку (рис. VI.72, б).

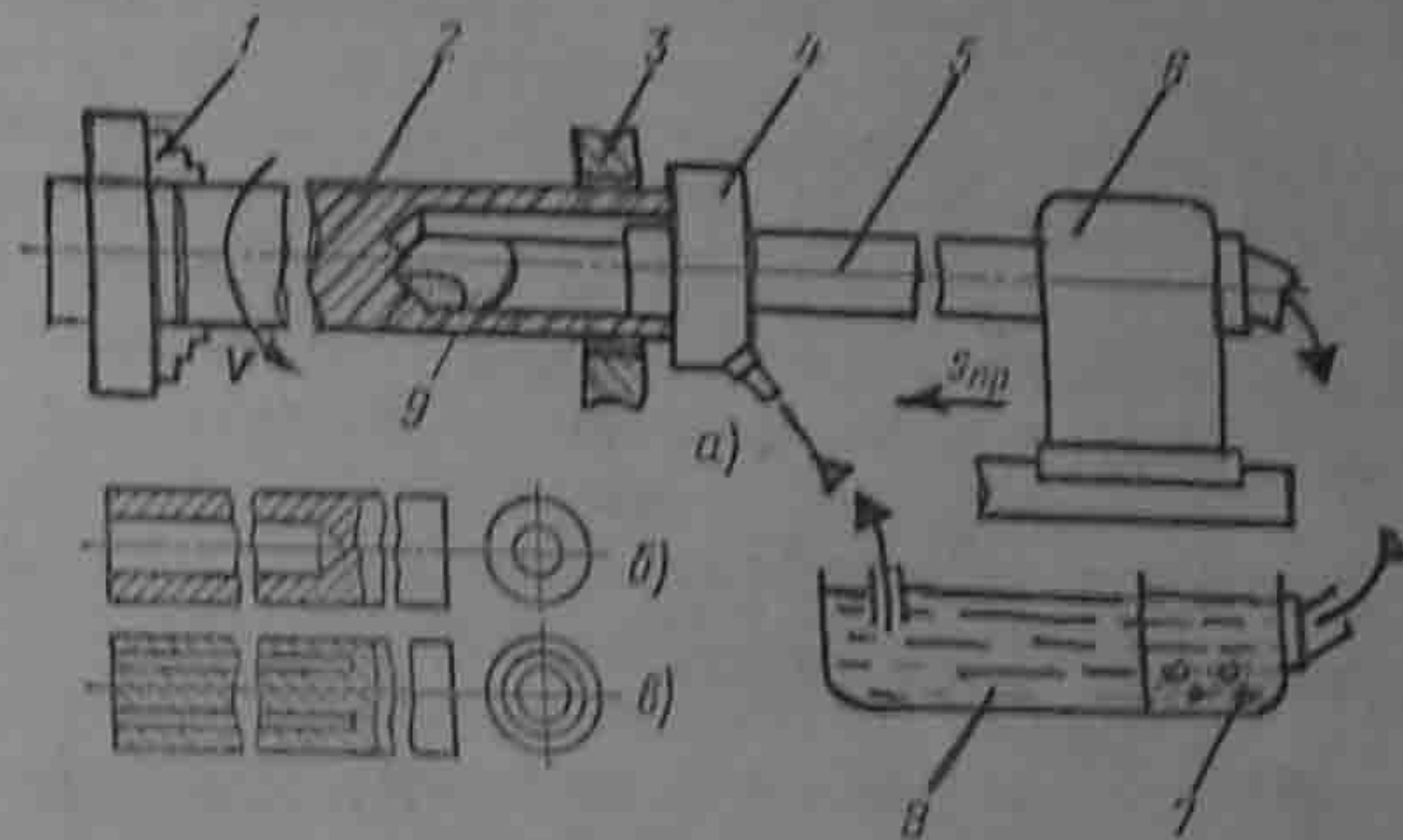


Рис. VI.72. Схема глубокого сверления

Глубокие отверстия большого диаметра ($D > 100$ мм) сверлят сверлами кольцевого типа. В процессе сверления в стружку превращается только металл кольцевой полости (рис. VI.72, в). Оставшийся после кольцевого сверления центральный стержень используют как заготовку для изготовления различных деталей.

9. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на сверлильных станках

Отверстия, к которым предъявляют высокие требования по точности изготовления, необходимо выполнять сквозными (рис. VI.73, а), а не глухими. Форма и размеры дна глухих отверстий должны соответствовать форме и размерам стандартного инструмента (рис. VI.73, б).

У ступенчатого отверстия переходы от одного диаметра к другому лучше делать коническими (рис. VI.73, в), так как уступы, расположенные под прямым углом к оси детали, значительно усложняют обработку.

Поверхность, на которой нужно сверлить отверстие, должна быть перпендикулярна его оси, иначе (рис. VI.73, г) может произойти поломка сверла. С этой целью на цилиндрических поверхностях литых деталей необходимо предусматривать плоскости, перпендикулярные к оси отверстия (рис. VI.73, д), а на заготовках из проката фрезеровать уступы (рис. VI.73, е).

Смазочные отверстия лучше располагать перпендикулярно к поверхности, на которой они должны находиться (рис. VI.73, ж). Наклонное их расположение (рис. VI.73, з) затрудняет обработку.

Глубокие отверстия (рис. VI.73, и) рекомендуется заменять двумя неглубокими (рис. VI.73, к), что обеспечивает их одновременную обработку с двух сторон на агрегатном станке.

Рекомендуется использовать ступенчатые отверстия (рис. VI.73, л) вместо двух глухих соосных отверстий (рис. VI.73, м).

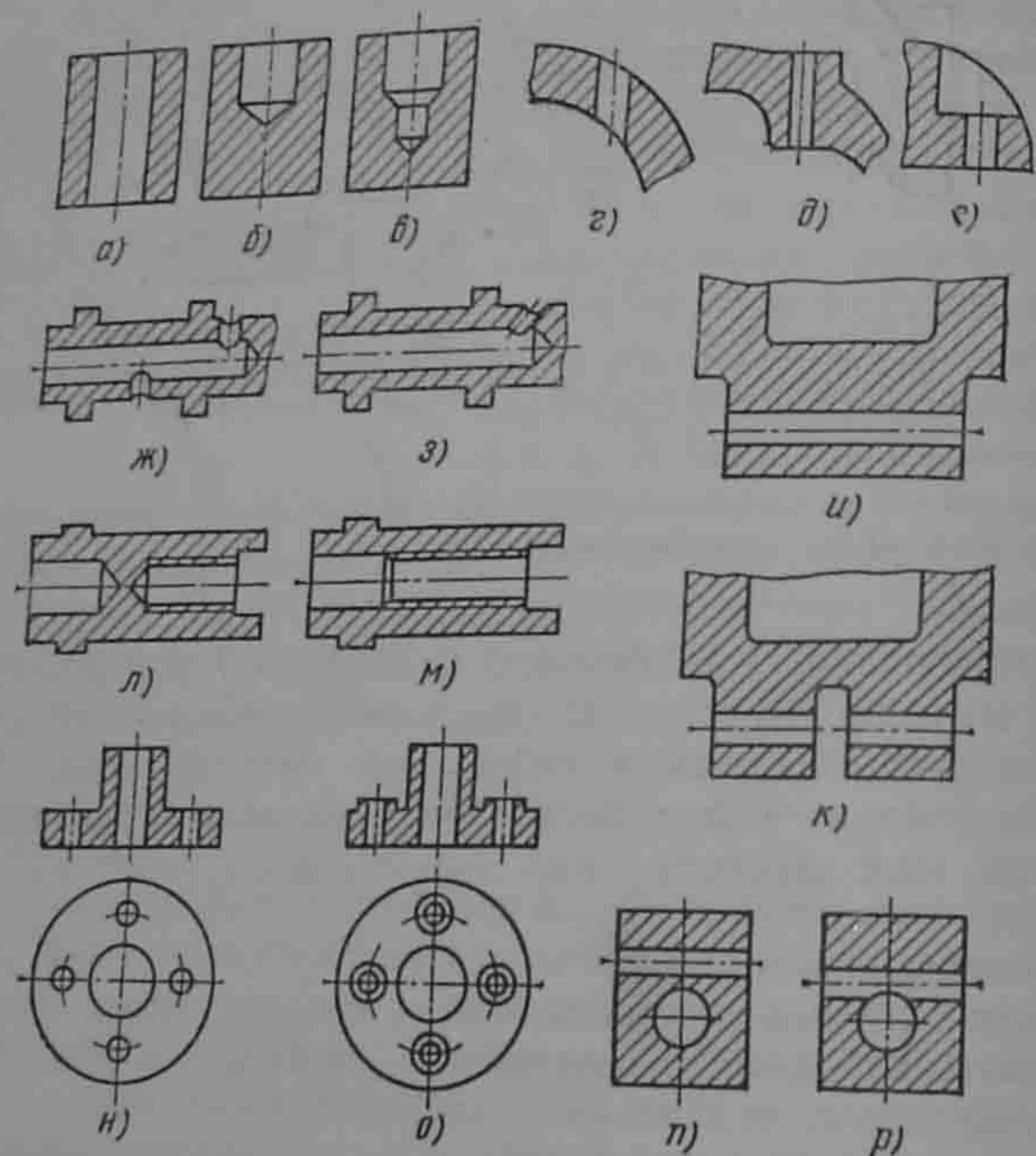


Рис. VI.73. Примеры конструкций деталей машин, обрабатываемых на сверлильных станках

исключает необходимость обработки их за две установки и устраняет погрешности, связанные с взаимным расположением отверстий.

На заготовках формы тел вращения следует предусматривать сплошную обработку торцевой поверхности фланца (рис. VI.73, н) вместо обработки торцевой поверхности каждого отверстия (рис. VI.73, о).

При проектировании нескольких отверстий их оси не должны скрещиваться (рис. VI.73, п). В конструкции, приведенной на рис. VI.73, р, режущие лезвия сверла будут работать в неодинаковых условиях, и отверстия получатся неточными.

Глава 7. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА РАСТОЧНЫХ СТАНКАХ

1. Характеристика метода растачивания

Расточные станки применяют в основном для обработки отверстий с точно координированными осями в крупно- и среднегабаритных заготовках корпусных деталей.

На расточных станках выполняют сверление, зенкерование, развертывание и растачивание отверстий, обтачивание наружных цилиндрических поверхностей резцом, подрезание торцов, нарезание резьбы и фрезерование плоскостей.

Поверхности на расточных станках формуются за счет сочетания главного вращательного движения резца или другого режущего инструмента и движения подачи, сообщаемого инструменту или заготовке. Направление подачи может быть продольным, поперечным, радиальным и вертикальным в зависимости от характера обрабатываемой поверхности.

Обработка поверхностей заготовок резцами является наиболее характерной для расточных станков.

Расточные резцы работают в менее благоприятных условиях, чем токарные. Они имеют меньшие размеры, зависящие от размера оправок, в которых их закрепляют, и диаметра обрабатываемого отверстия. Оправка с резцом под действием силы резания может изгибаться. Нежесткость инструмента является причиной вибраций в процессе резания и снижения качества обработанной поверхности. Поэтому для обеспечения высокой точности обрабатываемых поверхностей расточные станки имеют повышенную жесткость.

2. Режим резания

При работе на расточных станках (рис. VI.74) главное вращательное движение инструмента характеризуется скоростью резания.

За скорость резания (в м/мин) принимают окружную скорость вращающегося режущего инструмента

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

где D — диаметр окружности, на которой расположена точка режущего лезвия инструмента, наиболее удаленная от оси вращения, мм; n — частота вращения режущего инструмента, об/мин.

При растачивании D — диаметр обрабатываемой поверхности; при обтачивании D — диаметр обрабатываемой поверхности. При сверлении, зенкерование, развертывании и фрезеровании вместо D в формулу подставляют диаметры инструментов.

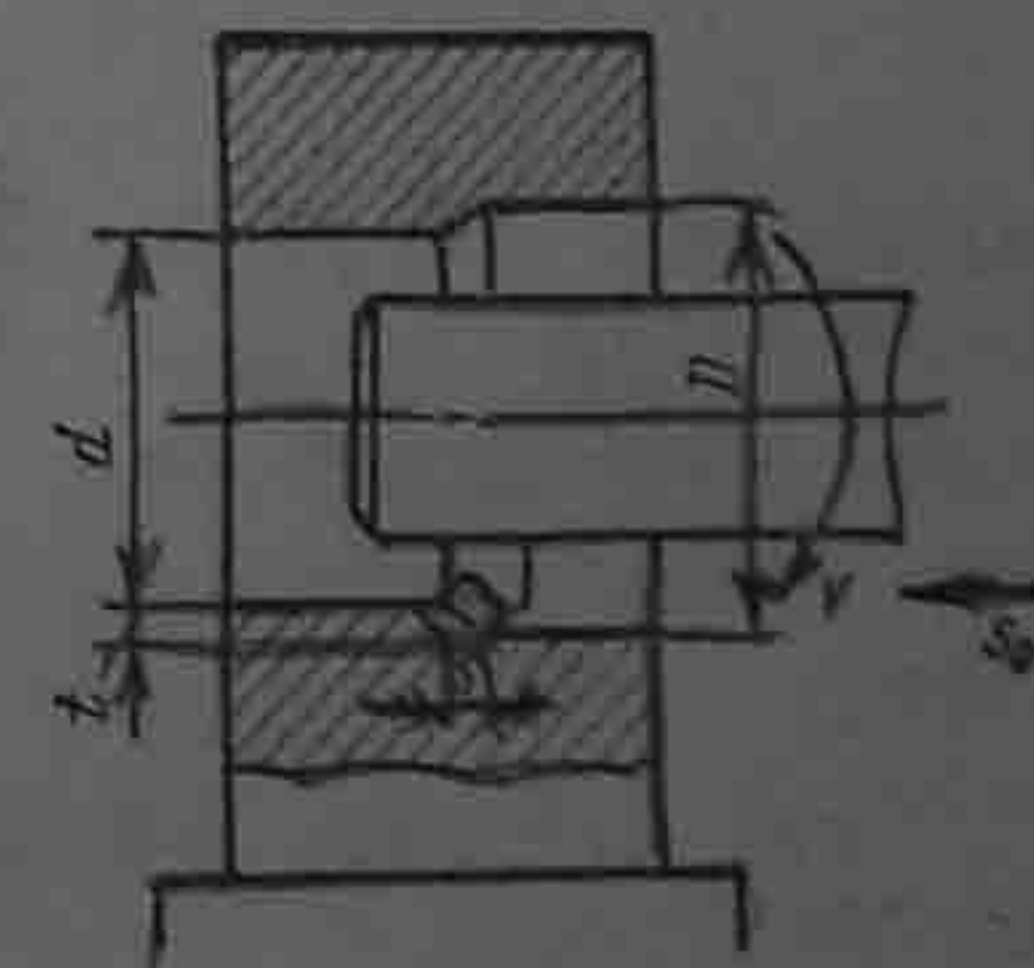


Рис. VI.74. Схема растачивания отверстий

Подача s — перемещение режущего инструмента (или заготовки) относительно обрабатываемой поверхности (измеряется в мм/мин или за один оборот шпинделя — в мм/об).
Глубина резания t (в мм) при растачивании отверстий

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

где D — диаметр отверстия после обработки, мм; d — диаметр отверстия до обработки, мм.

3. Режущий инструмент

На расточных станках для обработки поверхностей используют различные инструменты: резцы, сверла, зенкеры, развертки, метчики, фрезы.

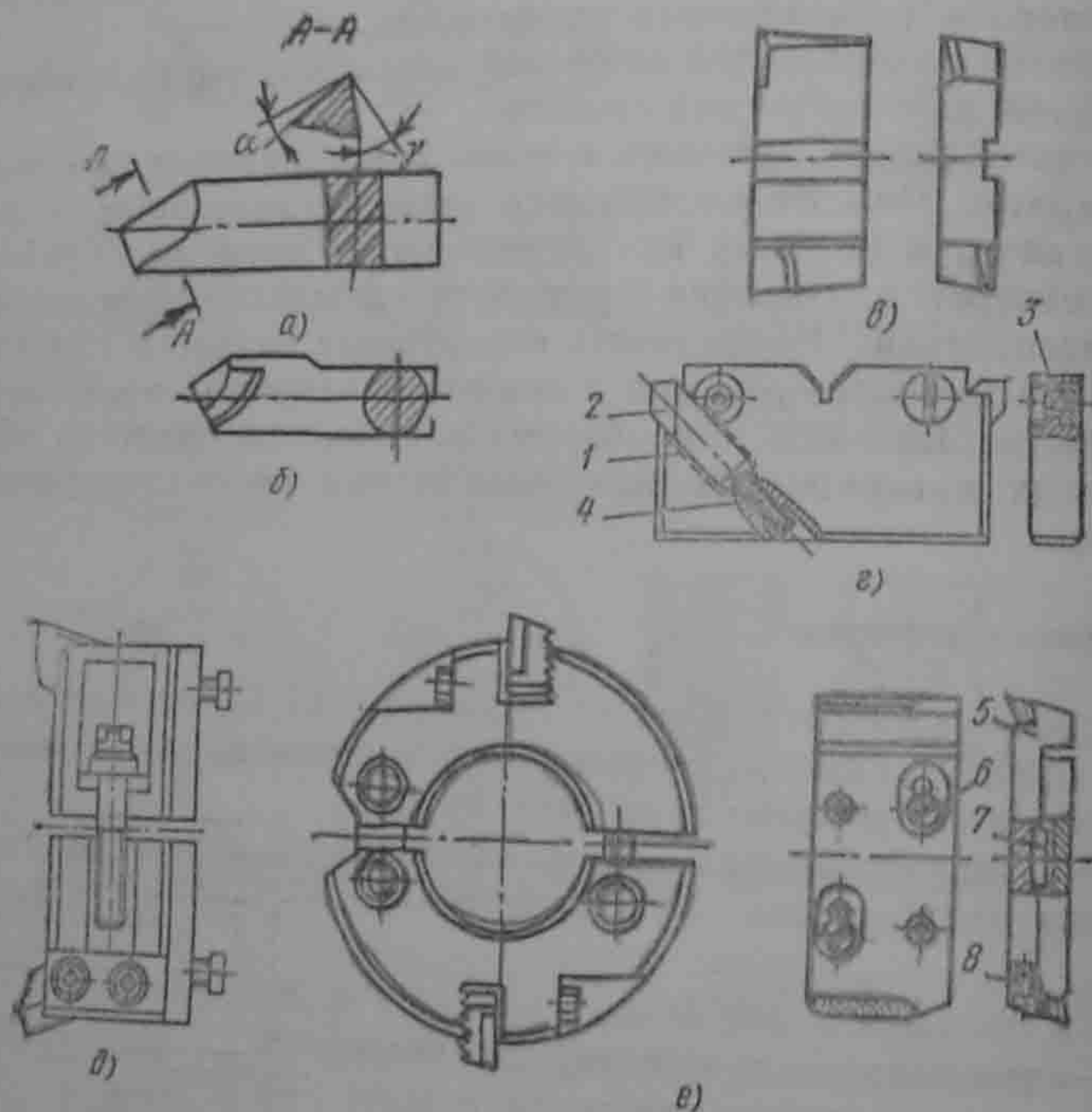


Рис. VI.75. Режущий инструмент для растачивания отверстий

В данном параграфе рассмотрены инструменты, используемые в основном на расточных станках.
Расточные резцы. По форме поперечного сечения стержня эти резцы подразделяют на квадратные, прямоугольные (рис. VI.75, а) и круглые (рис. VI.75, б).

В зависимости от вида обработки используют различные типы расточных резцов: проходные, подрезные, канавочные и резьбовые. Широко применяют пластинчатые резцы. Они являются основным инструментом для растачивания отверстий диаметром более 20 мм. Пластинчатые резцы делят на одно- и двухлезвийные (рис. VI.75, в). Для получения отверстия заданного диаметра однолезвийный пластинчатый резец необходимо соответствующим образом установить в оправке. Двухлезвийные пластинчатые резцы выполняют по размеру растачиваемого отверстия. Для установки на оправке пластинчатые резцы имеют отверстие, выполненное по диаметру оправки.

Расточные блоки (рис. VI.75, г) представляют собой сборную конструкцию, состоящую из корпуса 1 и вставных регулируемых резцов 2, закрепленных винтами 3 и 4. Резцы регулируют по диаметру растачиваемого отверстия.

Расточные головки применяют для обработки отверстий большого диаметра.

На рис. VI.75, д показана разъемная расточная головка для обработки отверстий диаметром 130—225 мм. Подрезные резцы головки предварительно устанавливаются по диаметру и торцу на заданный размер, что позволяет производить обработку ряда соосных отверстий как по диаметру, так и по торцам.

Специальные развертки. Такие развертки с нерегулируемыми и регулируемыми ножами применяют для окончательной обработки отверстий после предварительного растачивания их резцами.

Регулируемая плавающая развертка (рис. VI.75, е) имеет два ножа 5, взаимно перемещающихся по шпонке 7 и скрепленных винтами 6 при упоре в винт 8, положение которого регулируется в зависимости от заданного размера обрабатываемого отверстия. Развертка оснащена пластинками из твердого сплава.

4. Приспособления для обработки заготовок на расточных станках

Заготовки на столе расточного станка закрепляют с помощью различных универсальных приспособлений: прижимных планок, станочных болтов, угольников, призм (см. рис. VI.66, а — г).

При обработке отверстий и плоскостей, расположенных под углом к основанию заготовки или друг к другу, применяют угольники. Заготовку устанавливают на вертикальной плоскости угольника (см. рис. VI.66, б, в). Заготовки с опорными поверхностями цилиндрической формы устанавливают на призмы: короткие заготовки — на одну призму, длинные — на две.

Корпусные детали отличаются большим многообразием форм и размеров обрабатываемых поверхностей и точностью их обработки. В зависимости от этого используют различные конструкции расточных кондукторов для закрепления корпусных заготовок

вок и обеспечения правильного положения инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Режущий инструмент на расточных станках закрепляют с помощью вспомогательного инструмента: консольных оправок, двухопорных оправок и патронов. Использование вспомогательного инструмента обусловлено тем, что резец нельзя непосредственно закреплять в расточном шпинделе или радиальном суппорте. Расточные оправки имеют прямоугольные, квадратные или круглые окна для резцов, расположенные под углом 45° или 90° к оси оправки. Короткие консольные оправки предназначены для закрепления одного или двух резцов при растачивании глухих и сквозных отверстий небольшой длины.

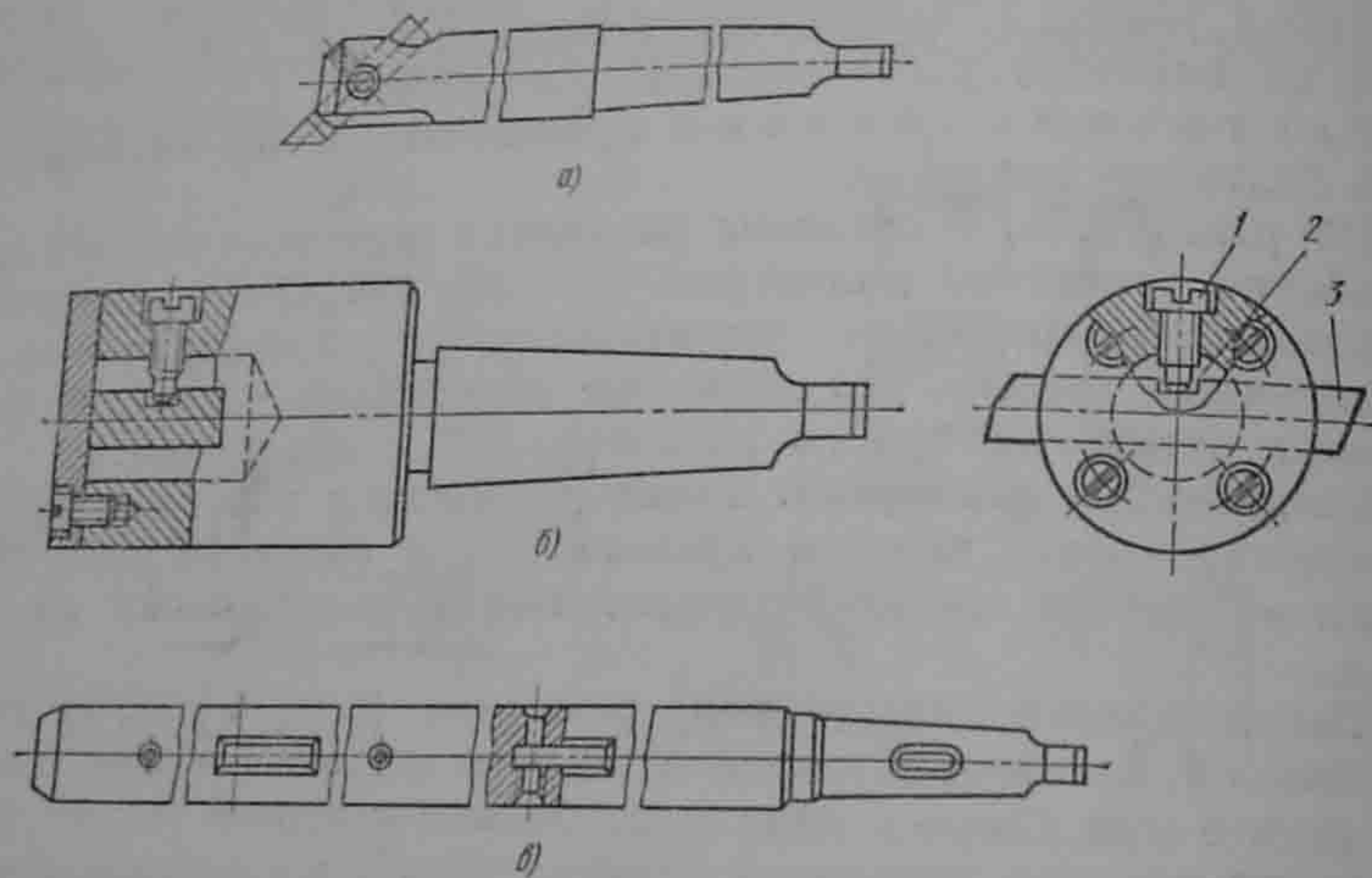


Рис. VI.76. Оправки для закрепления режущего инструмента на расточных станках

Для растачивания отверстий, находящихся на большом расстоянии от торца планшайбы станка, или нескольких соосных отверстий используют удлиненные консольные оправки (рис. VI.76, а). Применяют консольные оправки также для пластинчатых плавающих разверток (рис. VI.76, б). Пластинку 3 вставляют в гнездо оправки и винтом 1 удерживают от выпадания. В то же время благодаря наличию небольшого зазора ($0,10-0,15$ мм) между пазом 2 пластинки 3 и винтом 1 развертка может самоустанавливаться («плавать»).

Двухопорная расточная оправка (рис. VI.76, в) представляет собой длинный вал с коническим хвостовиком на одном конце для установки его в шпинделе станка. Другой конец оправки вращается во втулке люнета задней стойки станка, который является второй опорой для оправки. По длине оправки расположены окна для закрепления стержневых и пластинчатых резцов.

Для закрепления стандартных многолезвийных режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток, фрез и т. п.) на расточных станках применяют специальные оправки, переходные втулки и патроны.

5. Обработка поверхностей заготовок на горизонтально-расточных станках

Горизонтально-расточные станки относятся к числу наиболее распространенных, на их базе выполнены конструкции других универсальных и специальных расточных станков.

На рис. VI.77 показан общий вид горизонтально-расточного станка. На станине 1 установлена стойка 2, на вертикальных направляющих которой смонтирована шпиндельная бабка 3. В шпиндельной бабке расположены коробка скоростей и коробка подач. Шпиндель коробки скоростей полый, на нем закреплена планшайба 4 с радиальным суппортом 5. Внутри полого шпинделя смонтирован расточной шпиндель 6. Задняя стойка 7 с подшипником 8 предназначена для поддержания длинных расточных оправок. Подшипник 8 перемещается по задней стойке 7 синхронно со шпиндельной бабкой 3, сохраняя соосность со шпинделем.

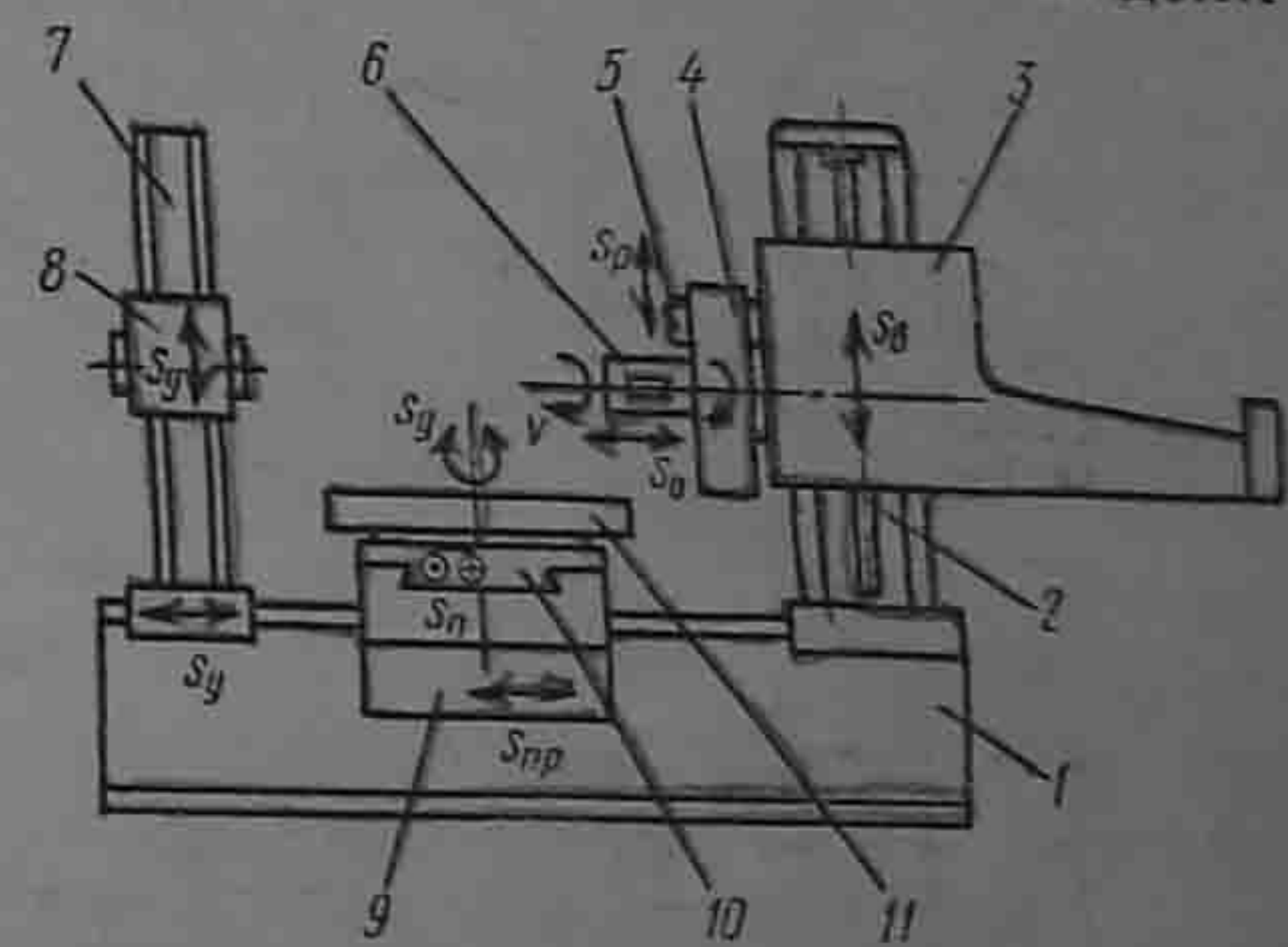


Рис. VI.77. Общий вид горизонтально-расточного станка

Заготовку устанавливают на поворотном столе 11, состоящем из двух частей: салазок 9, перемещающихся вдоль станины, и каретки 10, имеющей поперечное перемещение. Главным движением является вращение расточного шпинделя или планшайбы. Движение подачи в зависимости от характера обрабатываемых поверхностей получает стол (заготовка) или инструмент за счет осевого перемещения расточного шпинделя 6, радиального перемещения суппорта 5 или вертикального перемещения шпиндельной бабки 3 по направляющим стойки 2.

На расточных станках обрабатывают отверстия, наружные цилиндрические и плоские поверхности, уступы, канавки, режущие конические отверстия и нарезают внутреннюю и наружную резьбы резцами. Наиболее распространенным видом обработки на расточных станках является растачивание отверстий.

Растачивание цилиндрических отверстий. Растачиванием отверстий резцами исправляют форму и оси предварительно обработанных или отлитых отверстий.

Резцы закрепляют в консольной или двухопорной оправке. Использование консольной оправки целесообразно в тех случаях,

когда длина обрабатываемого отверстия $l \leq 5d$, так как с увеличением длины оправки снижается ее жесткость, что приводит к необходимости уменьшения глубины резания.

На рис. VI.78, а показана схема растачивания отверстия небольшой длины двухлезвийным пластинчатым резцом, закрепленным в консольной оправке. Заготовке сообщают продольную подачу. При небольшой длине отверстия, когда возможна работа

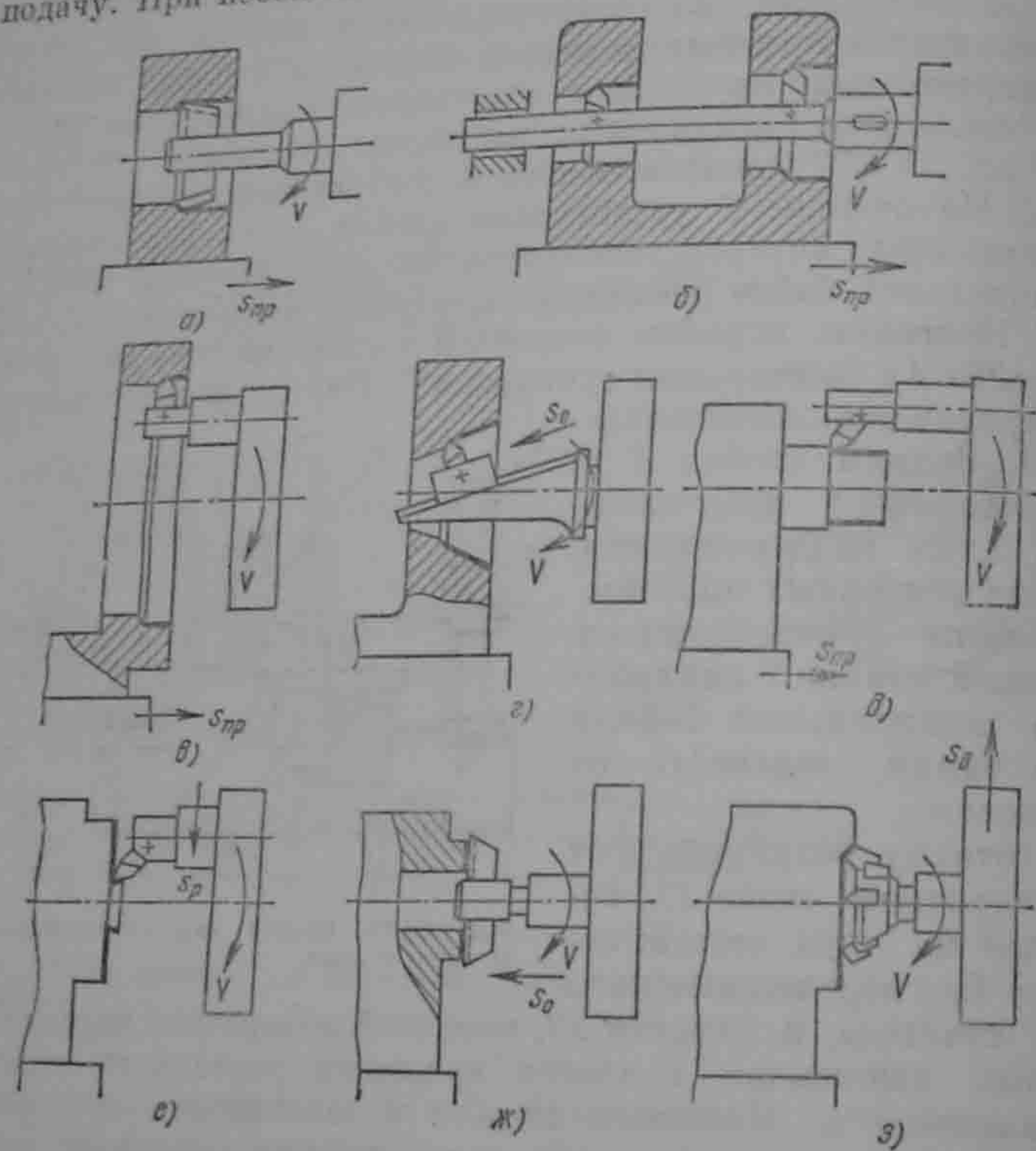


Рис. VI.78. Схемы обработки поверхностей заготовок на горизонтально-расточных станках

с короткой жесткой оправкой, растачивают при осевой подаче расточного шпинделя. Растачиванием с продольной подачей заготовки получают более правильное отверстие вследствие постоянного вылета шпинделя.

Отверстия с отношением $\frac{l}{d} > 5$ и соосные отверстия растачивают резцами, закрепленными в двухопорной оправке. При ее установке необходимо точно совместить ось шпинделя с осью втулки подшипника задней стойки.

На рис. VI.78, б показано одновременное растачивание двух соосных отверстий. Оправка с резцами получает главное враща-

тельное движение, а заготовка — продольную подачу в направлении от задней стойки к шпиндельной бабке.

Одновременное растачивание резцами нескольких отверстий повышает производительность, но не обеспечивает точности, поэтому таким способом обычно производят черновую обработку. При чистовом растачивании для обеспечения высокого качества обработки каждое отверстие рекомендуется растачивать отдельно.

Отверстия большого диаметра, но малой длины растачивают резцом, закрепленным в радиальном суппорте планшайбы (рис. VI.78, в). Планшайбе с резцом сообщают главное вращательное движение, а столу с заготовкой — продольную подачу. Отверстия диаметром более 130 мм обрабатывают расточными блоками и головками.

Растачивание параллельных и взаимно перпендикулярных отверстий. Растачивают с одной установки заготовки. После растачивания первого отверстия стол перемещают в поперечном направлении на величину, равную межцентровому расстоянию, затем растачивают второе и другие отверстия. Если требуется расточить два взаимно перпендикулярных отверстия, то после растачивания первого отверстия стол поворачивают на 90° и растачивают второе отверстие.

Растачивание конических отверстий. Конические отверстия обрабатывают расточными головками, закрепленными в расточном шпинделе, которому сообщают осевую подачу. Конические отверстия диаметром более 80 мм растачивают резцом с использованием универсального приспособления, смонтированного на радиальном суппорте планшайбы (рис. VI.78, г). В процессе обработки резец перемещается по наклонным направляющим приспособления. Конические отверстия большой длины и диаметра растачивают с помощью приспособления, установленного на двухопорной оправке.

Сверление, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование и нарезание резьбы метчиками. На расточных станках эти операции выполняют так же, как и на вертикально-сверлильных. Инструмент закрепляют в расточном шпинделе и сообщают ему главное вращательное движение и осевую подачу. Заготовка, установленная на столе станка, остается неподвижной.

Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей. Резец закрепляют на радиальном суппорте планшайбы (рис. VI.78, д) и сообщают ему главное вращательное движение, а столу с заготовкой — продольную подачу.

Подрезание торцов. Торцы подрезают двумя способами: с подачей резца в направлении, перпендикулярном или параллельном оси шпинделя.

На рис. VI.78, е показано подрезание торца проходным резцом, закрепленным на радиальном суппорте планшайбы. Резцу сообщают радиальную подачу (в направлении, перпендикулярном к оси шпинделя) перемещением суппорта планшайбы. Неболь-

шие плоскости подрезают пластинчатым резцом (рис. VI.78, ж), которому сообщают осевую подачу (в направлении, параллельном оси шпинделя) перемещением расточного шпинделя. Обработка торцовых поверхностей с радиальной подачей обеспечивает большую их точность.

Фрезерование поверхностей. На рис. VI.78, з приведен пример фрезерования вертикальной плоскости торцовой фрезерной головкой, закрепленной в расточном шпинделе. Фрезе сообщают главное вращательное движение и вертикальную подачу перемещением шпиндельной бабки.

6. Обработка поверхностей заготовок на координатно-расточных станках

На координатно-расточных станках обрабатывают точные отверстия, при этом обеспечивается большая точность расположения их осей.

На рис. VI.79 показан общий вид одностоечного координатно-расточного станка. На станине 1 смонтирована стойка 2. В верхней части стойки расположена коробка скоростей 3 и расточная головка 4 со шпинделем 5. Шпинделю с инструментом сообщают главное вращательное движение через коробку скоростей 3. Шпиндель станка имеет также вертикальное перемещение (движение подачи). Заготовку закрепляют на столе 6, имеющем салазки 7.

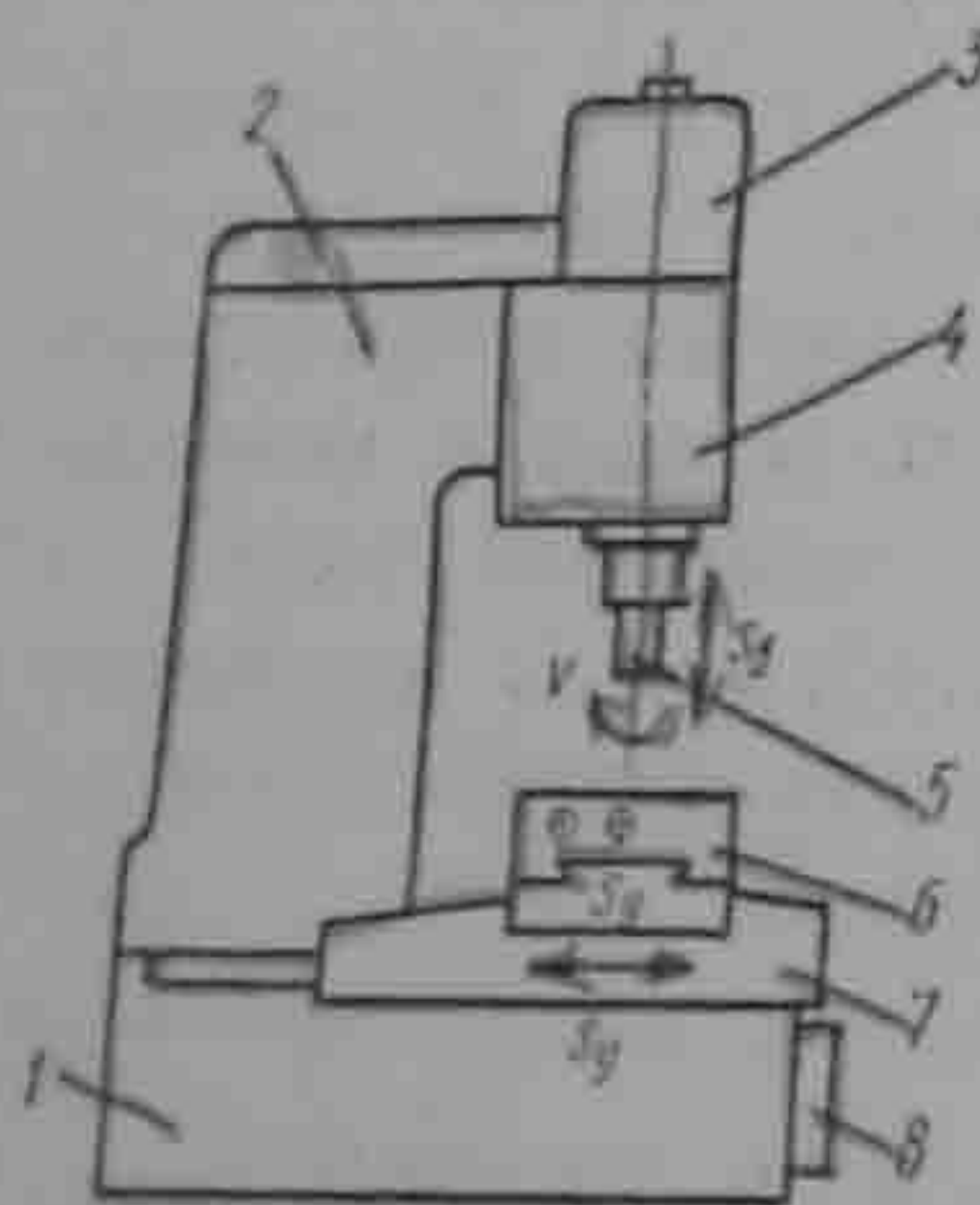


Рис. VI.79. Общий вид координатно-расточного станка

Шпиндель на заданные координаты устанавливают перемещением стола 6 в двух взаимно перпендикулярных направлениях: продольном по направляющим салазок 7 и поперечном по направляющим станины 1. Стол перемещается от привода 8. Для точного отсчета перемещений (координат) на станке имеются масштабные зеркальные валики и оптические системы. Точность установки координатных размеров достигает 0,001 мм.

Координатно-расточные станки отличаются от обычных расточных станков повышенной жесткостью. Для обеспечения высокой точности обработки фундамент этих станков изолируют от воздействия колебаний соседнего оборудования; станки устанавливают в помещении с постоянной температурой $+20^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}$).

На этих станках можно не только выполнять точные расточные работы, но и проводить точные измерения. Координатно-расточные станки применяют главным образом для изготовления изделий инструментального производства (штампов, пресс-форм, шаблонов, копиров, приспособлений).

7. Обработка поверхностей заготовок на алмазно-расточных станках

На алмазно-расточных станках окончательно обрабатывают отверстия алмазными и твердосплавными резцами.

На рис. VI.80 показан одношпиндельный алмазно-расточной станок с горизонтальным расположением шпинделя. На станине 1 установлена расточная головка 2. В головке расположен шпиндель, в котором закреплена оправка с резцом. Заготовку закрепляют на столе 3, имеющем перемещение по направляющим станины — продольную подачу, величина которой регулируется механизмом подач 4. Два соосных отверстия обрабатывают на алмазно-расточных станках двустороннего действия, имеющих две расточные головки.

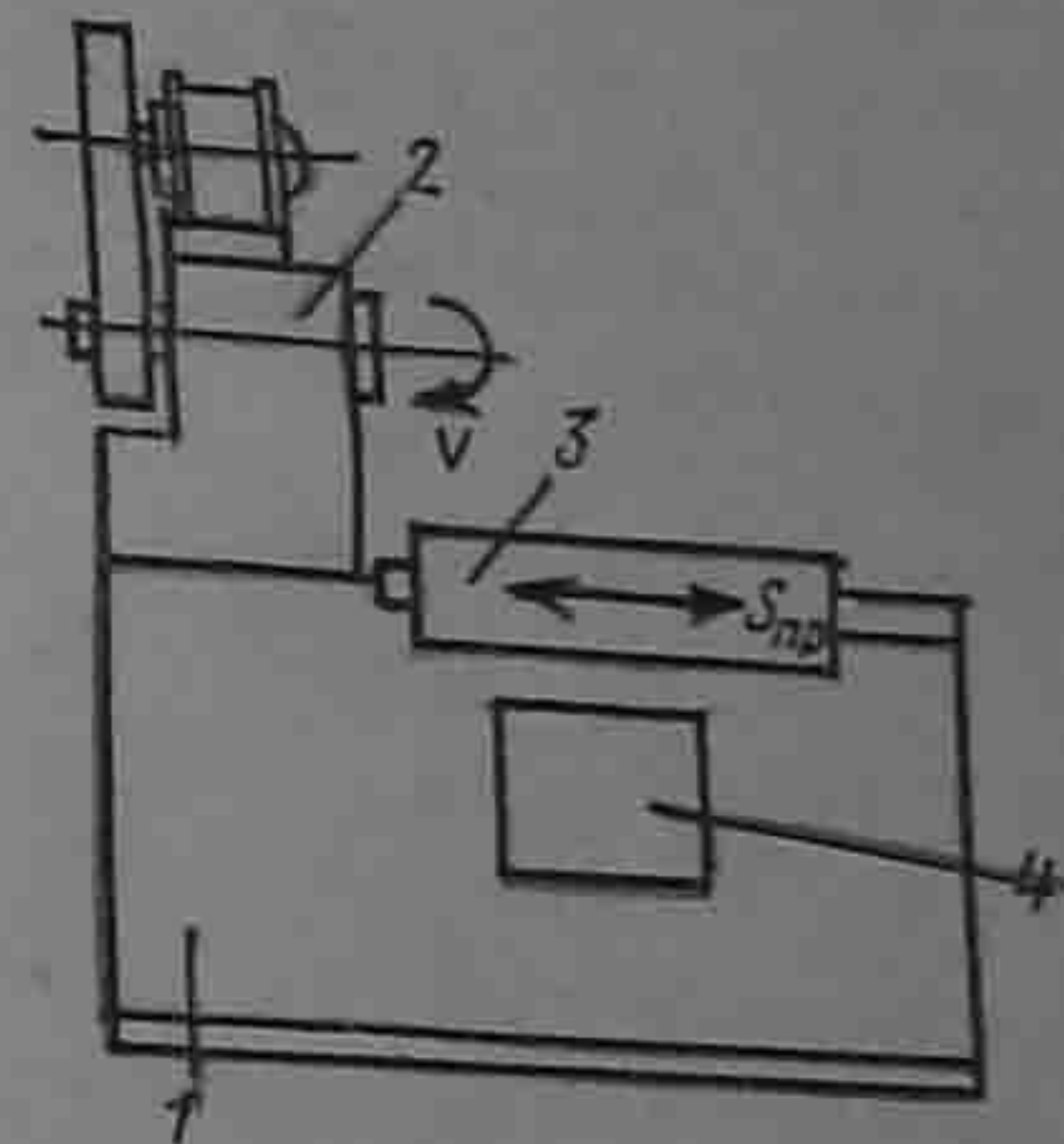


Рис. VI.80. Общий вид алмазно-расточного станка

Высокая точность и малая шероховатость обработанной поверхности обеспечиваются применением высоких скоростей резания (200—1000 м/мин), малых подач (0,01—0,1 мм/об) и глубин резания (0,05—0,2 мм). При обработке цветных металлов применяют алмазные, а при обработке черных металлов — твердосплавные резцы.

Алмазно-расточные станки широко применяют для растачивания отверстий в блоках цилиндров и гильзах тракторных, автомобильных и мотоциклетных двигателей.

8. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на расточных станках

Отверстия в корпусных деталях следует предусматривать простой формы (рис. VI.81, а). Глухие глубокие отверстия, а также конические и с выточками (рис. VI.81, б) трудно обрабатывать.

Детали с несколькими соосными отверстиями целесообразно конструировать так, чтобы их диаметры последовательно уменьшались в одном направлении (рис. VI.81, в). При этом отверстия можно одновременно растачивать за один проход резцами, установленными на двухопорной оправке.

Если в корпусной заготовке имеются внутренняя стенка или отверстия небольшого диаметра, не позволяющие ввести оправку, то такая конструкция является нетехнологичной (рис. VI.81, г). Расположение торцов следует предусматривать в одной плоскости (рис. VI.81, д), что позволит обрабатывать их за один проход. Наличие уступов в отверстиях и расположение торцовых поверхностей на разных высотах (рис. VI.81, е) затрудняют обработку.

Большое значение имеет свободный доступ ко всем элементам детали при обработке и измерении. В рекомендуемой на рис. VI.81, ж конструкции за счет увеличения диаметра отверстия *Б* облегчается доступ режущего инструмента для подрезания торца отверстия *А*. Конструкция, приведенная на рис. VI.81, з, является менее технологичной.

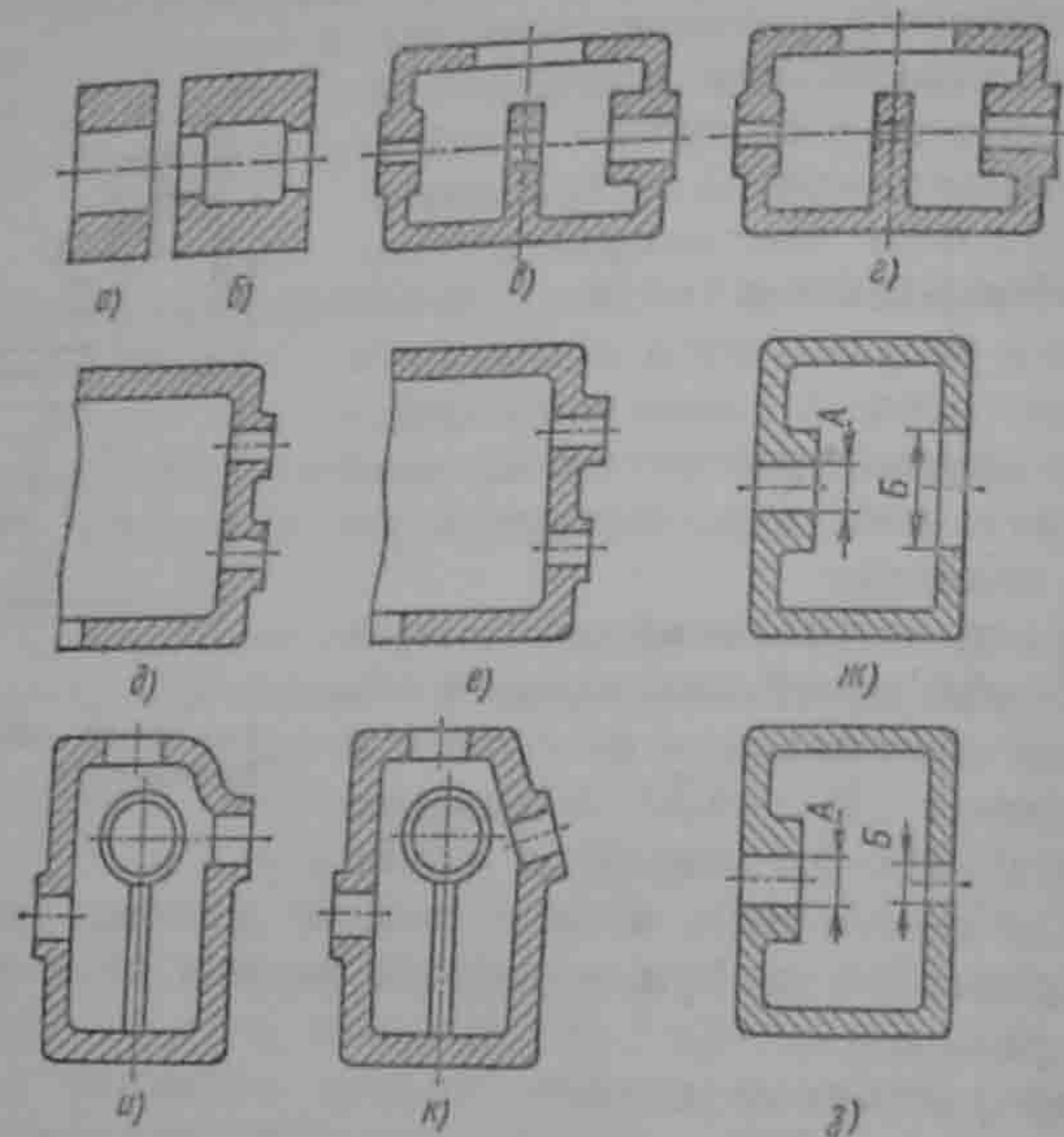


Рис. VI.81. Примеры конструкций деталей машин, обрабатываемых на расточных станках

Рекомендуется обрабатываемые поверхности располагать параллельно или взаимно перпендикулярно (рис. VI.81, и). Применение наклонных обрабатываемых поверхностей затрудняет изготовление деталей из-за сложности установки их на станке (рис. VI.81, к).

1. Характеристика метода фрезерования

Фрезерование является одним из высокопроизводительных и распространенных методов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом — фрезой.

Технологический метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется главным вращательным движением инструмента и обычно поступательным движением подачи. Подачей может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки).

На фрезерных станках обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля. Особенностью процесса фрезерования является прерывистость резания каждым зубом фрезы. Зуб фрезы находится в контакте с заготовкой и выполняет работу резания только на некоторой части оборота, а затем продолжает движение, не касаясь заготовки, до следующего врезания. Врезание зуба фрезы в заготовку сопровождается ударами, что приводит к неравномерности процесса резания, вибрациям и повышенному износу зубьев, а также отрицательно сказывается на точности и шероховатости обработанной поверхности.

На рис. VI.82 показаны схемы фрезерования плоскости цилиндрической (а) и торцевой (б) фрезами.

При цилиндрическом фрезеровании плоскостей работу выполняют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности фрезы. При торцевом фрезеровании плоскостей в работе участвуют зубья, расположенные на цилиндрической и торцевой поверхностях фрезы.

Цилиндрическое и торцевое фрезерование в зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи заготовки можно осуществлять двумя способами:

1) встречным фрезерованием (против подачи), когда направление вращения фрезы и перемещение заготовки не совпадают (рис. VI.82, в);

2) попутным фрезерованием (по подаче), когда направление вращения фрезы совпадает с направлением перемещения заготовки (рис. VI.82, г).

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до максимума, при этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать ее от стола, что приводит к вибрациям и увеличению шероховатости обработанной поверхности. Преимуществом встречного фрезерования является работа зубьев фрезы «из-под корки», т. е. фреза подходит к твердому поверхностному слою снизу и отрывает стружку при подходе к точке *В*. Недостатком является наличие начального скольжения зуба по наклепанной

поверхности, образованной предыдущим зубом, что вызывает повышенный износ фрезы.

При попутном фрезерованию зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке.

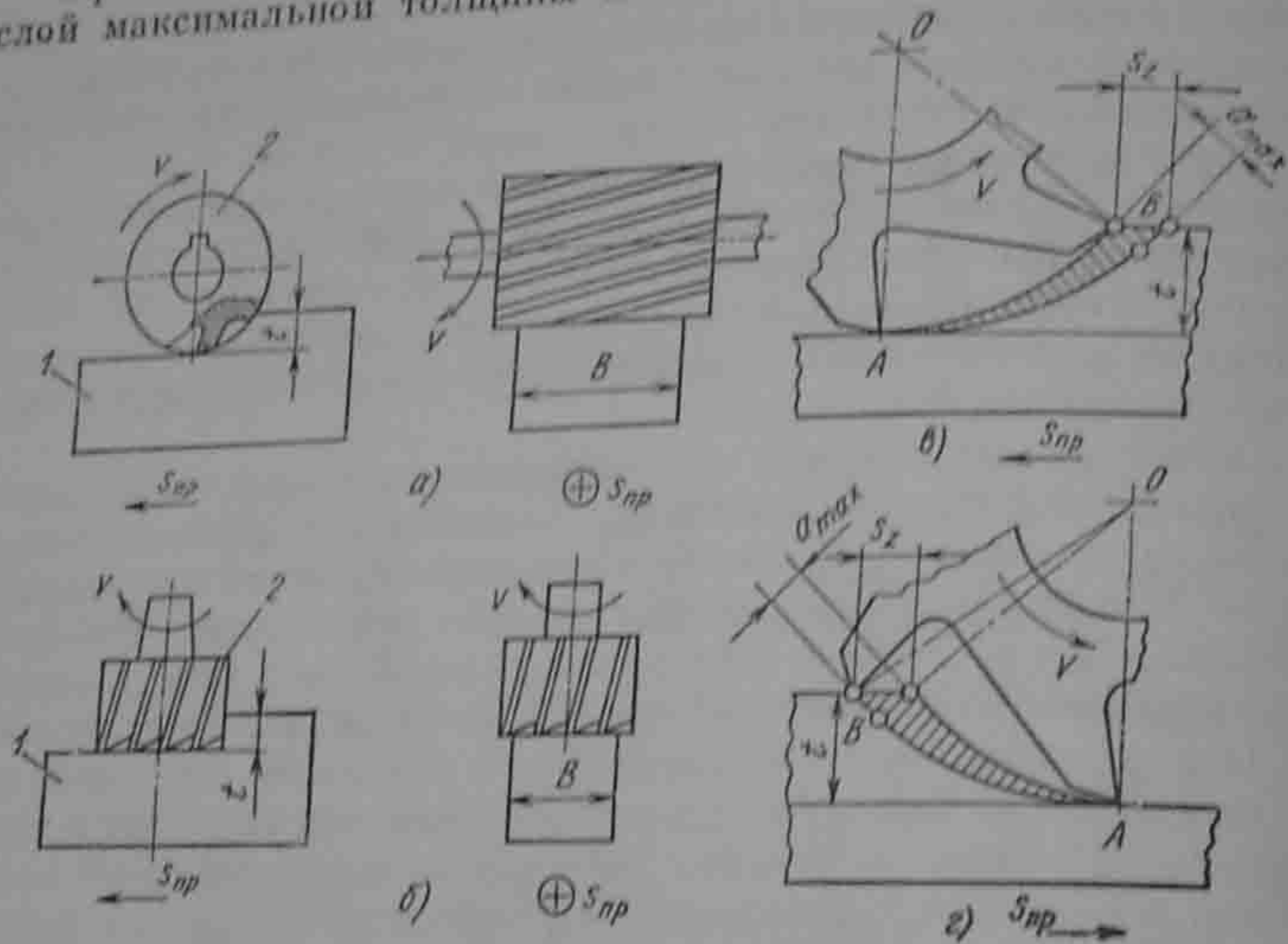


Рис. VI.82. Схемы фрезерования цилиндрической (а) и торцевой (б) фрезой, встречного (а) и попутного (б) фрезерования:

1 — заготовка; 2 — фреза

грузке. Это исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость обработанной поверхности. Сила, действующая на заготовку, прижимает ее к столу станка, что уменьшает вибрации.

2. Режим резания. Силы резания

Режим резания. К режиму резания при фрезеровании относят скорость резания v , подачу s , глубину резания t , ширину фрезерования B .

Скорость резания, т. е. окружная скорость вращения фрезы (в м/мин),

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

где D — диаметр фрезы, мм; n — частота вращения фрезы, об/мин.

Подача — величина перемещения обрабатываемой заготовки относительно вращающейся фрезы. Различают три разновидности подачи: подачу на один зуб фрезы s_z в мм/зуб — величину перемещения заготовки относительно фрезы за время ее углового поворота на один зуб; подачу на один оборот фрезы s_o —

величину перемещения заготовки относительно фрезы за один ее оборот; минутную подачу s_m — величину перемещения заготовки в минуту.

Эти подачи связаны между собой следующими зависимостями:

$$s_m = s_o n = s_z z n,$$

где z — число зубьев фрезы.

Глубина резания t (в мм) показана на рис. VI.82.

Ширина фрезерования B (в мм) — величина обрабатываемой поверхности, измеренная в направлении, параллельном оси фрезы при цилиндрическом фрезеровании и перпендикулярном к направлению подачи при торцевом фрезеровании.

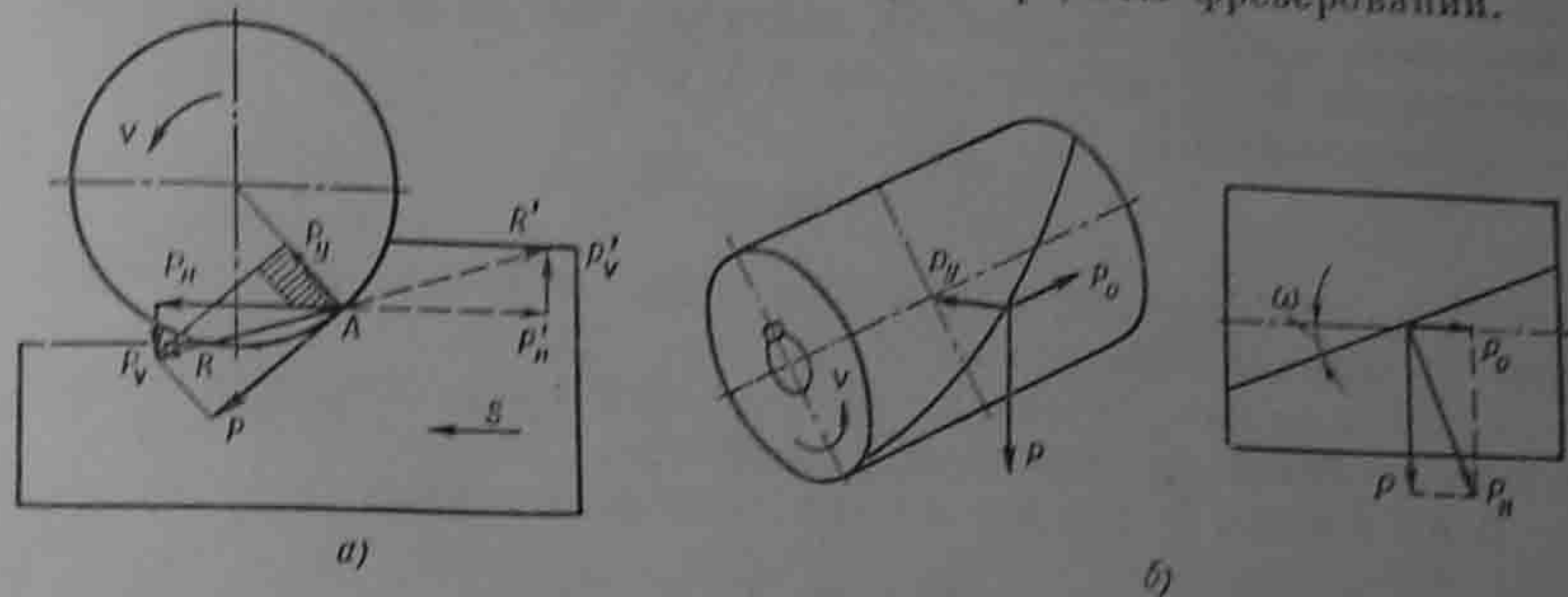


Рис. VI.83. Силы резания при работе цилиндрической фрезой

Силы резания. В процессе фрезерования каждый зуб фрезы преодолевает силу сопротивления металла резанию. Фреза должна преодолеть суммарные силы резания, которые складываются из сил, действующих на зубья, находящиеся в контакте с заготовкой. При фрезеровании цилиндрической фрезой с прямыми зубьями равнодействующую сил резания R , приложенную к фрезе в некоторой точке A , можно разложить на окружную составляющую силу P , касательную к траектории движения точки режущего лезвия, и радиальную составляющую силу P_u , направленную по радиусу (рис. VI.83, а). Силу R можно также разложить на горизонтальную составляющую силу P_n и вертикальную составляющую силу P_v .

В зависимости от способа фрезерования (против подачи или по подаче) направление и величина сил изменяются. При фрезеровании цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями в осевом направлении действует осевая сила P_o (рис. VI.83, б). Чем больше угол наклона винтовых канавок ω , тем больше будет сила P_o . При больших значениях силы P_o применяют две фрезы с разным направлением наклона зубьев. В этом случае осевые силы направлены в разные стороны и взаимно уравновешиваются.

Окружная сила P производит основную работу резания. По этой силе определяют эффективную мощность N_e и рассчитывают

детали и узлы механизма коробки скоростей на прочность. Радиальная сила $P_r = (0,6 \div 0,8) P$ действует на подшипники шпинделя и изгибает оправку, на которой крепят фрезу. Горизонтальная составляющая сила P_n действует на механизм подачи станка и элементы крепления заготовки.

Осевая сила $P_o = (0,35 \div 0,55) P$ действует на подшипники шпинделя станка и механизм поперечной подачи стола; вертикальная составляющая сила P_v — на механизм вертикальной подачи стола. При встречном фрезеровании сила P_v прижимает фрезу к заготовке, а сила реакции P'_v , действующая на заготовку и направленная вверх, стремится оторвать заготовку от стола. При попутном фрезеровании, наоборот, сила P_v отжимает фрезу от заготовки, а сила реакции P'_v , действующая на заготовку и направленная вниз, прижимает ее к столу.

Сила резания (в Н)

$$P = C_p s_r^x v t^y v_z B D^{-q_p},$$

где C_p — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки.

Коэффициент C_p и показатели степеней x_p , y_p и q_p приведены в справочниках по режимам резания.

Крутящий момент на шпинделе станка (в Н·м)

$$M = P \frac{D}{2000},$$

где P — окружная сила резания.

Эффективная мощность (в кВт)

$$N_e = \frac{Mn}{60 \cdot 10^3}.$$

3. Типы фрез

В зависимости от назначения и вида обрабатываемых поверхностей различают следующие типы фрез: цилиндрические (рис. VI.84, а), торцовые (рис. VI.84, б), дисковые (рис. VI.84, в), концевые (рис. VI.84, г), угловые (рис. VI.84, д), шпоночные (рис. VI.84, е), фасонные (рис. VI.84, ж).

Фрезы изготовляют цельными (рис. VI.84, б, д) или сборными с напайными и вставными ножами (рис. VI.84, з). Режущие лезвия могут быть прямыми (рис. VI.84, д) или винтовыми (рис. VI.84, а). Фрезы имеют остроконечную (рис. VI.84, и) или затупленную (рис. VI.84, к) форму зуба. У фрез с остроконечными зубьями передняя и задняя поверхности плоские. У фрез с затупленными зубьями передняя поверхность плоская, а задняя выполнена по спирали Архимеда; при переточке по передней поверхности профиль зуба фрезы сохраняется.

Цельные фрезы изготовляют из инструментальных сталей, корпуса напайных фрез — из конструкционных сталей; на рабо-

чие части зубьев фрез припаивают пластинки из быстрорежущих сталей и твердых сплавов. У сборных фрез зубья (ножи) выпол-

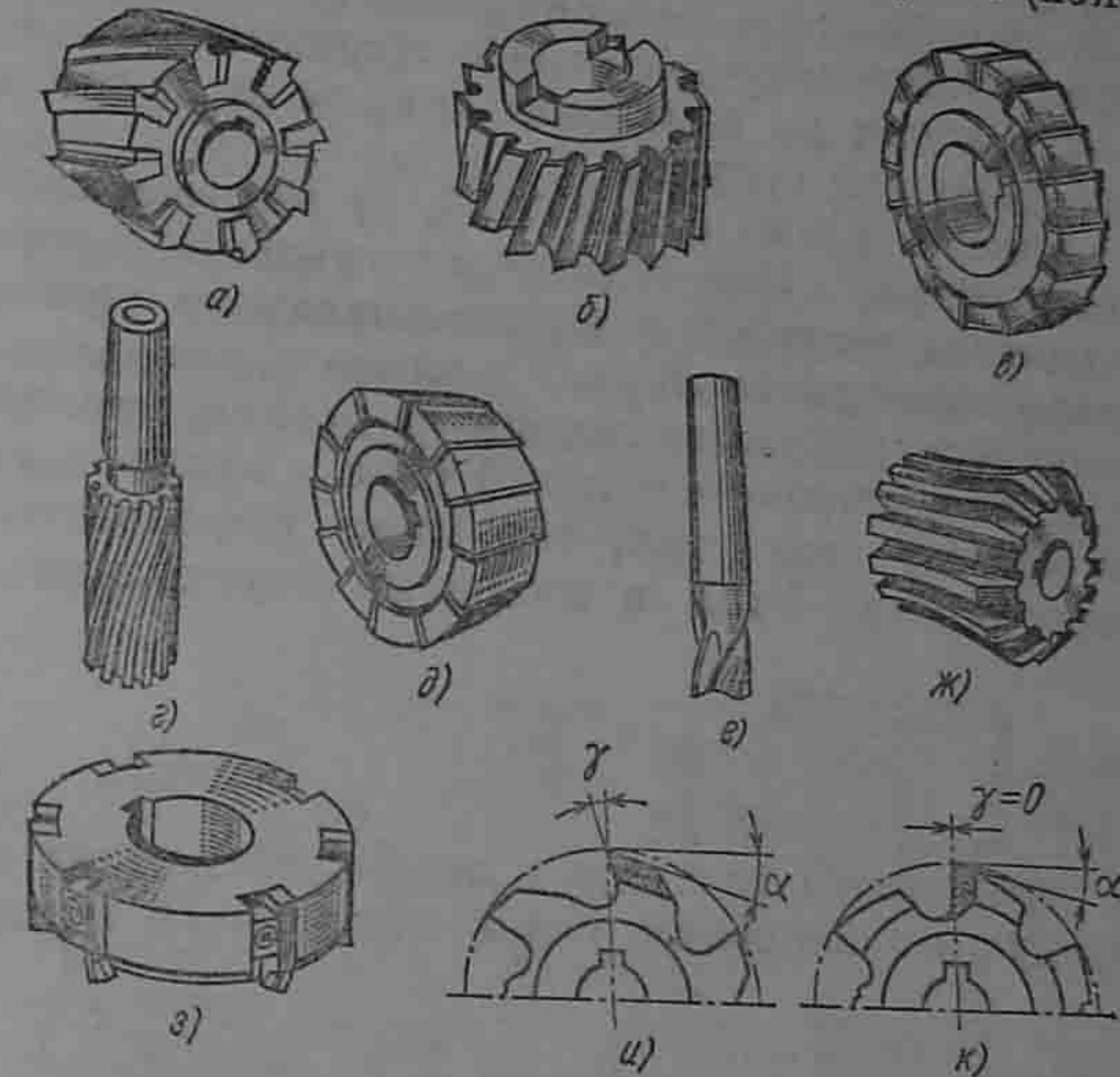


Рис. VI.84. Типы фрез

няют из быстрорежущих сталей или оснащают пластинками из твердых сплавов и закрепляют в корпусе фрезы различными механическими способами.

Элементы и геометрия фрезы. На рис. VI.85, а показана цилиндрическая фреза с винтовыми зубьями. Она состоит из корпуса 1 и режущих зубьев 2. Зуб фрезы имеет следующие элементы: переднюю поверхность 3, заднюю поверхность 6, спинку зуба 7, ленточку 5 и режущее лезвие 4.

У цилиндрических фрез различают углы: передний угол γ , измеряемый в плоскости $A-A$, перпендикулярной к режущему лезвию; главный задний угол α , измеряемый в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы; угол наклона зубьев ω . Передний угол γ облегчает образо-

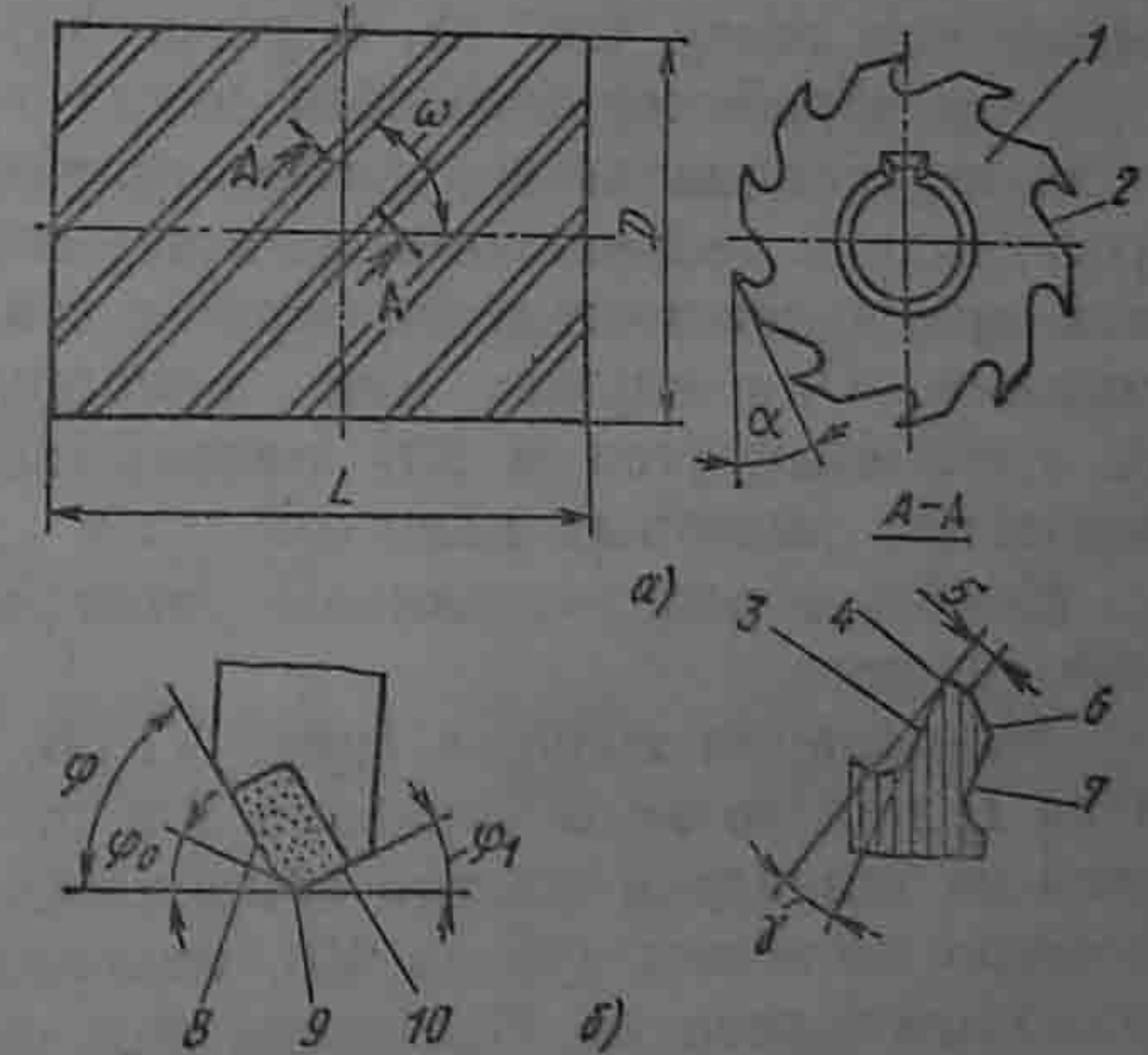


Рис. VI.85. Элементы и геометрия фрезы: D — диаметр фрезы; L — ширина фрезы

вание и сход стружки. Главный задний угол α обеспечивает благоприятные условия перемещения задней поверхности зуба относительно поверхности резания и уменьшает трение на этих поверхностях. Угол наклона зубьев ω обеспечивает более спокойные условия резания по сравнению с прямым зубом и придает направление сходящей стружке.

У зуба торцевой фрезы (рис. VI.85, б) режущее лезвие имеет более сложную форму. Оно состоит из главного режущего лезвия 8, переходного лезвия 9 и вспомогательного лезвия 10. Зуб торцевой фрезы имеет главный угол в плане φ , измеряемый между проекцией главного режущего лезвия на осевую плоскость и направлением подачи. Вспомогательный угол в плане φ_1 составляет $5-10^\circ$. Чем меньше этот угол, тем ниже шероховатость обработанной поверхности. Угол в плане на переходном режущем лезвии

$$\varphi_0 = \frac{\varphi}{2}.$$

Наличие переходного режущего лезвия повышает прочность зуба. Рекомендуемые значения углов приводятся в справочных материалах.

4. Приспособления для обработки заготовок на фрезерных станках

Для закрепления заготовок на фрезерных станках применяют универсальные и специальные приспособления. К универсальным приспособлениям относятся прихваты, угольники, призмы, машинные тиски (см. гл. 6 разд. VI).

При обработке большого числа одинаковых заготовок изготовляют специальные приспособления, пригодные только для установки и закрепления этих заготовок на данном станке. Важной принадлежностью фрезерных станков являются делительные головки. Они служат для периодического поворота заготовок на требуемый угол и для непрерывного их вращения при фрезеровании винтовых канавок.

Наиболее распространены универсальные лимбовые делительные головки.

Делительная головка (рис. VI.86, а, б). Она состоит из корпуса 1, поворотного барабана 2 и шпинделя 4 с центром. В корпусе на шпинделе жестко закреплено червячное зубчатое колесо (обычно с числом зубьев 40), находящееся в зацеплении с однозаходным червяком. Вращение шпинделю сообщают рукояткой 6. Следовательно, при одном обороте рукоятки шпиндель сделает $\frac{1}{40}$ оборота. На переднем конце шпинделя нарезана резьба для навинчивания кулачкового патрона или поводка. Делительный лимб 5 с отверстиями закреплен на полой валу, внутри которого расположен вал рукоятки 6. Для удобства пользования лимбом 5

имеется раздвижной сектор 7, состоящий из двух пожек, которые устанавливают так, чтобы между ними было необходимое число отверстий на лимбе. На шпинделе 4 закреплен лимб 3 для непосредственного деления заготовки на части.

Универсальные делительные головки позволяют осуществлять деление непосредственным, простым и дифференциальным способами.

При непосредственном способе деления червяк выводят из зацепления с червячным колесом и поворачивают заготовку вращением лимба 3, закрепленного на переднем конце шпинделя 4. Одно деление шкалы лимба соответствует повороту шпинделя на 1° .

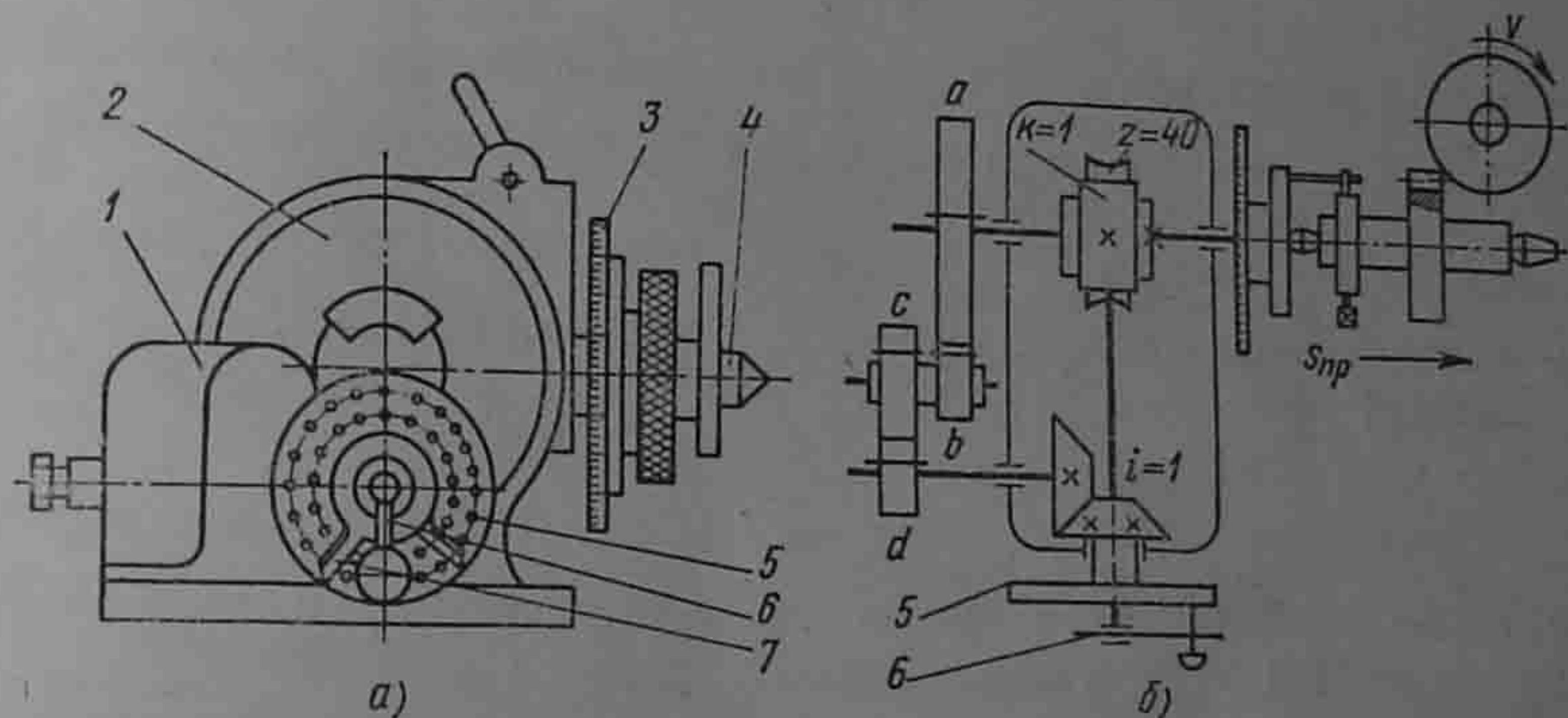


Рис. VI.86. Общий вид и схема универсальной делительной головки, настроенной на дифференциальное деление

При простом способе деление производят при закреплённом лимбе 5. Шпиндель с заготовкой поворачивают вращением рукоятки через включенную червячную передачу.

Частота вращения рукоятки n , необходимая для поворота заготовки на $\frac{1}{z}$ часть оборота,

$$n = \frac{N}{z} = \frac{40}{z},$$

где N — характеристика делительной головки — число, обратное передаточному отношению червячной пары; z — число частей, на которое надо разделить заготовку.

Если $z < 40$, то $\frac{40}{z} > 1$; тогда

$$\frac{40}{z} = A + \frac{a}{b} = A + \frac{ma}{mb},$$

где A — число целых оборотов рукоятки; a и b — числитель и знаменатель правильной простой дроби; m — общий множитель при a и b , который выбирают исходя из того, чтобы произведе-

ние tb представляло собой число отверстий, имеющих на одной из окружностей лимба 5; тогда ta — число делений на окружности лимба, соответствующее части поворота рукоятки.

Дифференциальное деление применяют в тех случаях, когда на окружности лимба такое число отверстий, которое не удовлетворяет условию простого деления. При дифференциальном способе деления заготовку поворачивают на требуемый угол вращением рукоятки относительно вращающегося делительного лимба 5, который получает вращение от шпинделя 4 через сменные зубчатые колеса (рис. VI.86, б).

При этом справедливо равенство

$$n = \frac{40}{z} = n_1 + n_2,$$

где n_1 — частота вращения рукоятки относительно делительного лимба; $n_2 = \frac{1}{z}i$ — частота вращения лимба, соответствующая повороту заготовки на $\frac{1}{z}$ оборота (z — заданное число делений; i — передаточное отношение сменных зубчатых колес).

Частота вращения рукоятки

$$n = \frac{N}{z_{пр}},$$

где $z_{пр}$ — приближенное число делений, близкое к заданному и позволяющее использовать способ простого деления.

Подставляя значения n , n_1 и n_2 в формулу, приведенную выше, получим

$$\frac{40}{z} = \frac{40}{z_{пр}} + \frac{1}{z}i,$$

или

$$i = \frac{40(z_{пр} - z)}{z_{пр}}.$$

Если $z_{пр} > z$, передаточное отношение i будет положительным; если $z_{пр} < z$ — отрицательным. При положительном i направления вращения рукоятки и делительного лимба совпадают, при отрицательном i они вращаются в противоположных направлениях.

Винтовые канавки фрезеруют при непрерывном вращении шпинделя делительной головки, которое он получает от винта продольной подачи стола универсально-фрезерного станка через сменные колеса a, b, c, d (рис. VI.87). Заготовку устанавливают в центрах делительной головки и задней бабки. В процессе обработки заготовка получает два движения — вращательное и поступательное вдоль оси. Оба движения согласованы так, что при одном обороте делительной головки заготовка делает один оборот.

Уравнение кинематического баланса цепи имеет вид

$$1 \text{ об. заг.} \cdot \frac{40}{1} \frac{1}{1} \frac{d}{c} \frac{b}{a} t_v = T_n$$

или

$$i_{см} = \frac{a c}{b d} = \frac{40 t_v}{T_n},$$

где t_v — шаг ходового винта продольной подачи стола станка; T_n — шаг нарезаемой винтовой канавки.

Стол станка с заготовкой поворачивают на угол наклона винтовой канавки β для получения винтовой канавки требуемого профиля.

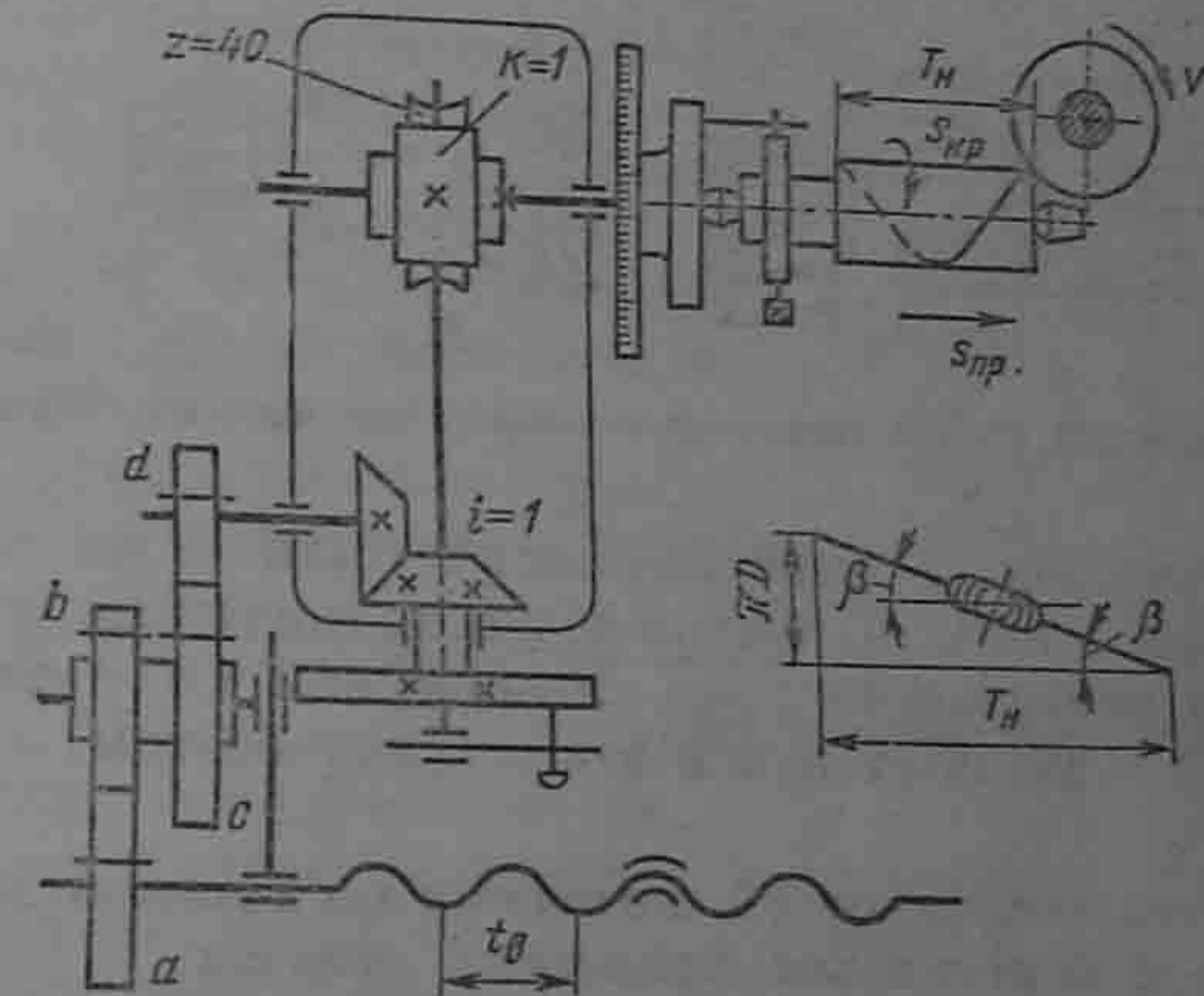


Рис. VI.87. Схема универсальной делительной головки, настроенной на фрезерование винтовых канавок

В качестве вспомогательного инструмента применяют фрезерные оправки для закрепления фрез и передачи крутящего момента от шпинделя станка на фрезу. Базой для крепления фрезы на оправке может быть ее центровое отверстие или хвостовик (конический или цилиндрический). По способу крепления в первом случае фрезы называют насадными, во втором — хвостовыми.

На рис. VI.88, а показана оправка 2 для крепления цилиндрических и дисковых фрез 3. Фрезу насаживают на оправку и соединяют с ней посредством шпонки 4. Требуемое положение фрезы на оправке обеспечивается установочными кольцами 7. Коническим хвостовиком оправку вставляют в коническое отверстие шпинделя 1 и закрепляют затяжным болтом 9. От поворота оправку удерживают сухари 8, входящие в пазы фланцев шпинделя и оправки. Другой конец оправки входит в подшипник 6 серьги 5.

Короткие концевые оправки (рис. VI.88, б) используют для крепления торцовых и дисковых фрез. Коническим хвостовиком 10 оправку закрепляют в шпинделе 1, а на другом конце оправки крепят насадную фрезу 11 с помощью шпонки 12 и винта 13. Фрезы с коническим хвостовиком 15 закрепляют в коническом

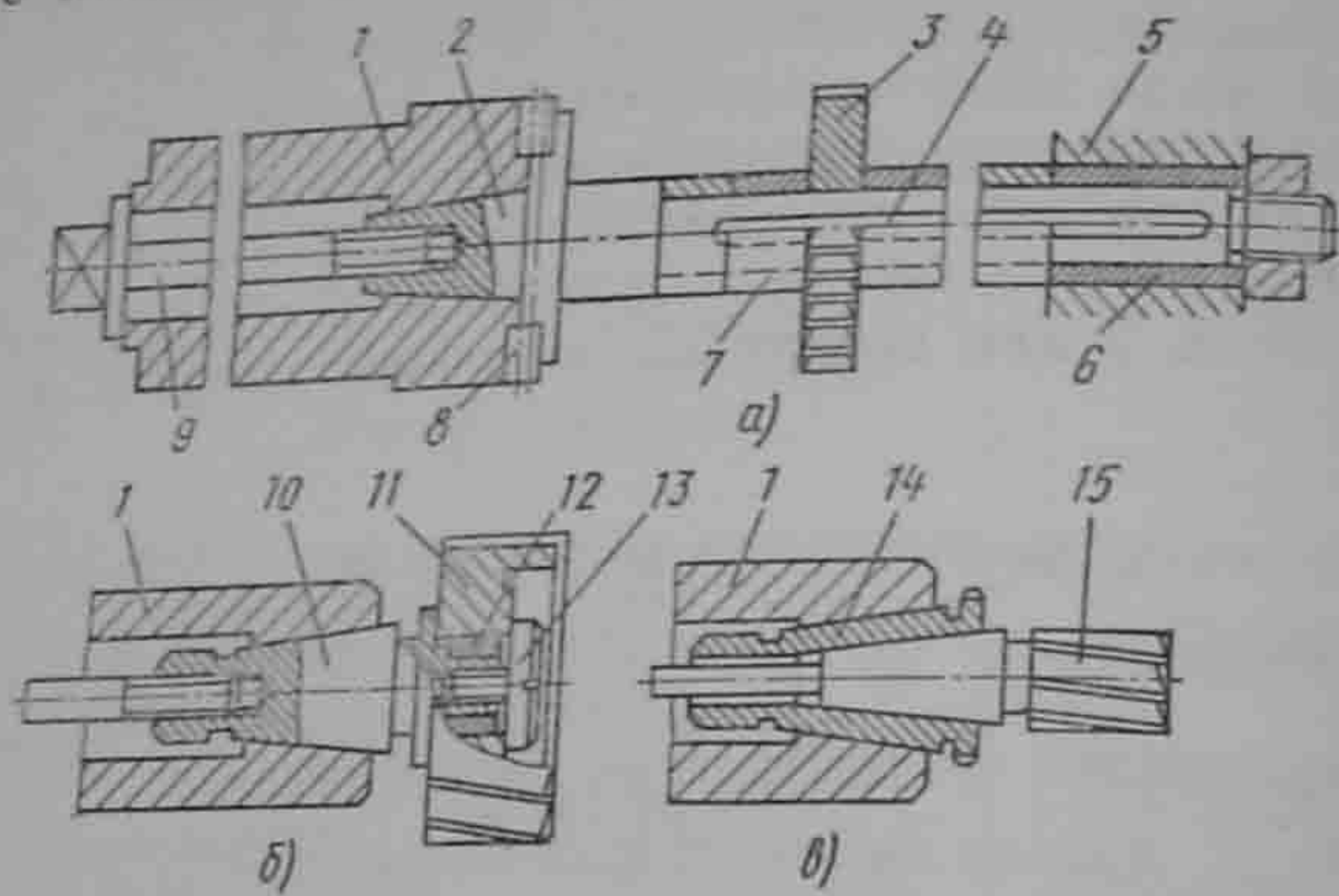


Рис. VI.88. Схемы установки и закрепления фрез на станках

отверстии шпинделя 1 непосредственно или через переходные втулки 14 (рис. VI.88, в). Фрезы с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в цанговом патроне. Конический хвостовик патрона вставляют в шпиндель станка и закрепляют болтом.

5. Обработка поверхностей заготовок на горизонтально-фрезерных и вертикально-фрезерных станках

Горизонтально-фрезерные станки. На рис. VI.89 приведен общий вид горизонтально-фрезерного станка. В станине 1 размещена коробка скоростей 2. По вертикальным направляющим станины перемещается консоль 7. Заготовка, устанавливаемая на столе 4 в тисках или приспособлении, получает подачу в трех направлениях: продольном (перемещение стола по направляющим салазок 6), поперечном (перемещение салазок по направляющим консоли) и вертикальном (перемещение консоли по направляющим станины). Главным движением является вращение шпинделя. Коробка подач 8 размещена внутри консоли. В верхней части станины расположен хобот 3. По его направляющим перемещается подвеска 5 с подшипни-

Рис. VI.89. Общий вид горизонтально-фрезерного станка

ри консоли. В верхней части станины расположен хобот 3. По его направляющим перемещается подвеска 5 с подшипни-

ком для поддержания второго конца длинной оправки с фрезой.

Горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол, называются универсальными.

Вертикально-фрезерные станки (рис. VI.90). Эти станки имеют много общих унифицированных деталей и узлов с горизонтально-фрезерными станками. В станине 1 размещена коробка скоростей 2. Шпиндельная головка 3 смонтирована в верхней части станины и может поворачиваться в вертикальной плоскости. При этом ось шпинделя 4 можно поворачивать под углом к плоскости рабочего стола 5. Главным движением является вращение шпинделя. Стол, на котором закрепляют заготовку, имеет продольное перемещение по направляющим салазок 6. Салазки имеют поперечное перемещение по направляющим консоли 7, которая перемещается по вертикальным направляющим станины. Таким образом, заготовка, установленная на столе 5, может получать подачу в трех направлениях. В консоли смонтирована коробка подач 8.

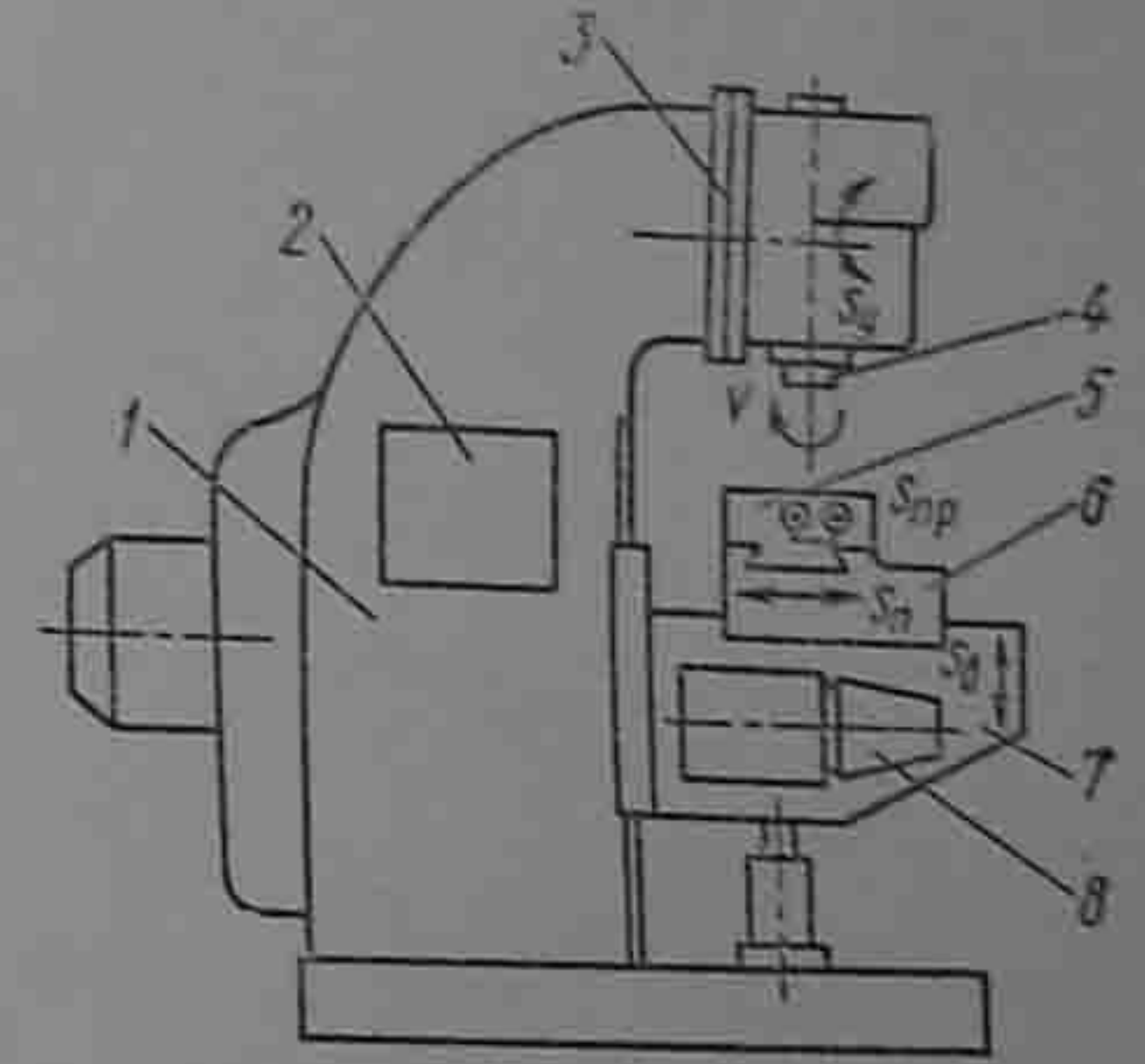


Рис. VI.90. Общий вид вертикально-фрезерного станка

На рис. VI.91 показаны схемы фрезерования поверхностей на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках. Движения, участвующие в формообразовании поверхностей в процессе резания, на схемах указаны стрелками.

○ **Горизонтальные плоскости** фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами (рис. VI.91, а) и на вертикально-фрезерных станках — торцовыми фрезами (рис. VI.91, б). Цилиндрическими фрезами целесообразно обрабатывать горизонтальные плоскости шириной до 120 мм, при этом длина фрезы должна быть немного больше ширины обрабатываемой заготовки. В большинстве случаев плоскости удобнее обрабатывать торцовыми фрезами вследствие большей жесткости их крепления в шпинделе и более плавной работы, так как число одновременно работающих зубьев торцовой фрезы больше числа зубьев цилиндрической фрезы.

○ **Вертикальные плоскости** фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами (рис. VI.91, в) и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках — концевыми фрезами (рис. VI.91, г).

○ **Наклонные плоскости и скосы** фрезеруют торцовыми (рис. VI.91, д) и концевыми (рис. VI.91, е) фрезами на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная головка

со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости. Скосы фрезеруют на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой (рис. VI.91, ж).

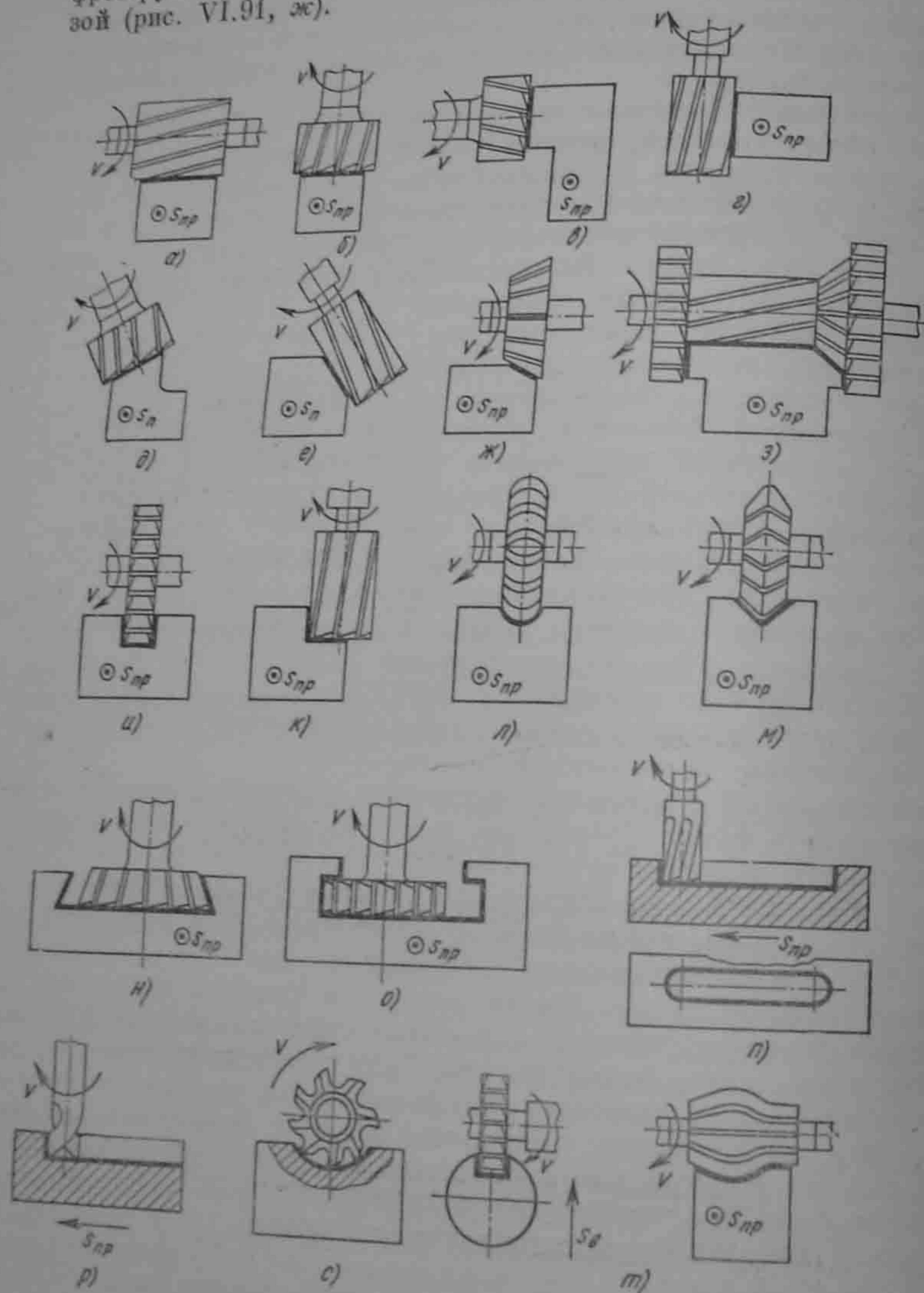


Рис. VI.91. Схемы обработки поверхностей заготовок на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. VI.91, а) на горизонтально-фрезерных стан-

ках. Точность взаиморасположения обработанных поверхностей зависит от жесткости крепления фрез по длине оправки. С этой целью применяют дополнительные опоры (подвески), избегают использования несоразмерных по диаметру фрез (рекомендуемое отношение диаметров фрез не более 1,5).

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют дисковыми (рис. VI.91, и) и концевыми (рис. VI.91, к) фрезами на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках.

Уступы и пазы целесообразнее фрезеровать дисковыми фрезами, так как они имеют большее число зубьев и допускают работу с большими скоростями резания.

Фасонные пазы фрезеруют фасонной дисковой фрезой (рис. VI.91, л), угловые пазы — одноугловой и двухугловой (рис. VI.91, м) фрезами на горизонтально-фрезерных станках.

Паз типа «ласточкин хвост» фрезеруют на вертикально-фрезерном станке за два прохода: прямоугольный паз — концевой фрезой, затем скосы паза — концевой одноугловой фрезой (рис. VI.91, н). Т-образные пазы (рис. VI.91, о), которые широко применяют в машиностроении как станочные пазы, например на столах фрезерных станков, фрезеруют обычно за два прохода: вначале паз прямоугольного профиля концевой, реже дисковой фрезой, затем нижнюю часть паза — фрезой для Т-образных пазов.

Закрытые шпоночные пазы фрезеруют концевыми фрезами (рис. VI.91, п), а открытые — концевыми или шпоночными (рис. VI.91, р) фрезами на вертикально-фрезерных станках. Точность получения шпоночного паза является важным условием при фрезеровании, так как от нее зависит характер посадки на шпонку сопрягаемых с валом деталей. Фрезерование шпоночной фрезой обеспечивает получение более точного паза; при переточке по торцовым зубьям диаметр шпоночной фрезы практически не изменяется.

Пазы под сегментные шпонки фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках дисковыми фрезами (рис. VI.91, с).

Заготовке сообщают вертикальную подачу.

Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей фрезеруют на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках фасонными фрезами соответствующего профиля (рис. VI.91, т).

Применение фасонных фрез эффективно при обработке узких и длинных фасонных поверхностей. Широкие профили обрабатывают набором из фасонных фрез.

Фрезерование цилиндрических зубчатых колес на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках рассмотрено в гл. 10 настоящего раздела.

6. Обработка поверхностей заготовок на продольно-фрезерных станках

На продольно-фрезерных станках фрезеруют поверхности заготовок большой массы и размеров (типа станин, корпусов, коробов передач, рамных конструкций и т. п.) торцовыми и концевыми фрезами. Продольно-фрезерные станки строят одностоечными и двухстоечными с длиной стола 1250—12 000 мм и шириной 400—5000 мм.

На рис. VI.92 приведен общий вид продольно-фрезерного двухстоечного станка. Стол станка 2, на котором устанавливают заготовку, имеет только одно продольное перемещение по направляющим станины 1. На каждой стойке 4 расположены фрезерные головки 3, которые могут перемещаться по их направляющим вверх и вниз. В верхней части стойки соединены поперечной 6, что повышает общую жесткость станка. По вертикальным направляющим стоек перемещается траверса 5. Две верхних фрезерных головки 3 перемещаются по направляющим траверсы и могут поворачиваться на угол до $\pm 30^\circ$. Шпиндель каждой фрезерной головки может выдвигаться в осевом направлении на 100—200 мм.

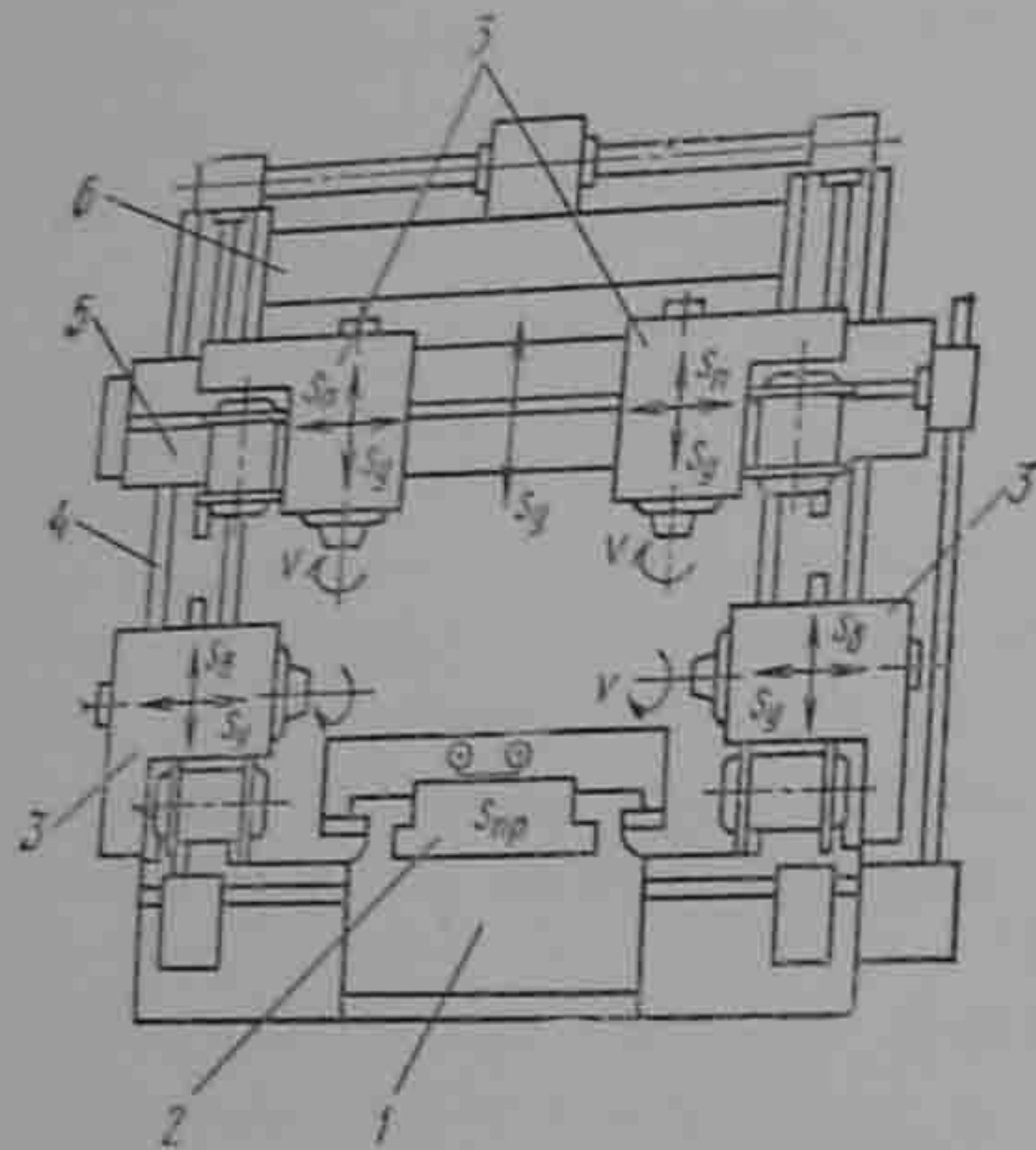


Рис. VI.92. Общий вид продольно-фрезерного двухстоечного станка

Вследствие отсутствия консоли станки этого типа имеют большую жесткость, что позволяет работать на повышенных режимах резания.

На рис. VI.93 показан пример одновременного фрезерования нескольких плоскостей концевой и торцовыми фрезами на двухстоечном продольно-фрезерном станке.

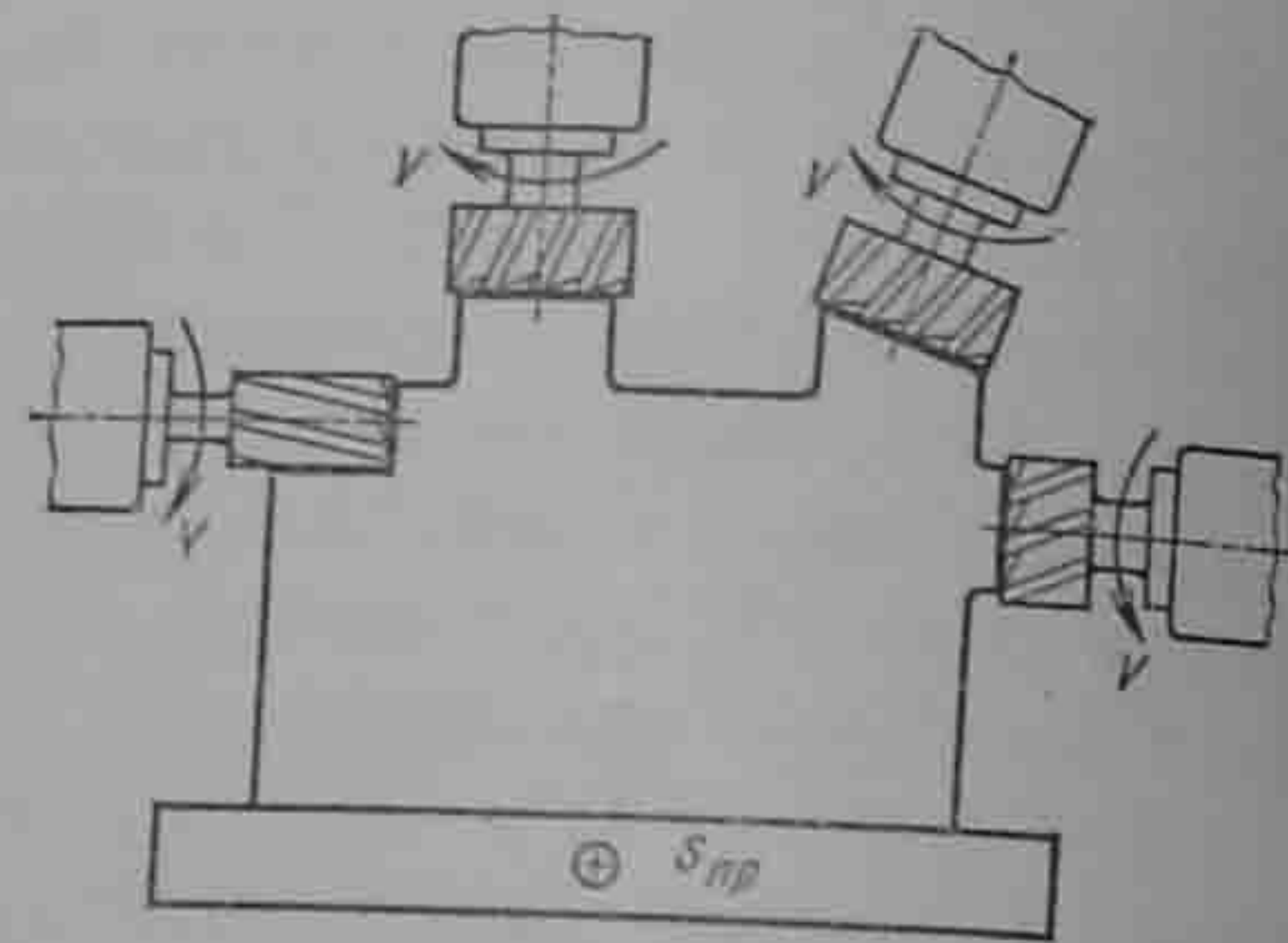


Рис. VI.93. Схема обработки заготовки на продольно-фрезерном станке

7. Обработка поверхностей заготовок на фрезерных станках непрерывного действия

На фрезерных станках непрерывного действия фрезеруют плоские поверхности при обработке больших партий заготовок

по методу непрерывного торцового фрезерования. Их подразделяют на карусельно-фрезерные и барабано-фрезерные.

Общий вид карусельно-фрезерного станка показан на рис. VI.94. На станине 1 смонтирована стойка 2, направляющая которой перемещается фрезерная головка 3 с двумя шпинделями, один из которых предназначен для чистовой обработки. Оба шпинделя имеют общий привод, но могут настраиваться на различные числа оборотов. На круглом столе 4 (карусели) с вертикальной осью вращения в приспособлениях устанавливают заготовки. Круглый стол имеет салазки 5 для установки его на направляющих станины. Заготовки устанавливают и снимают со стола без остановки станка; фрезерование ведется непрерывно.

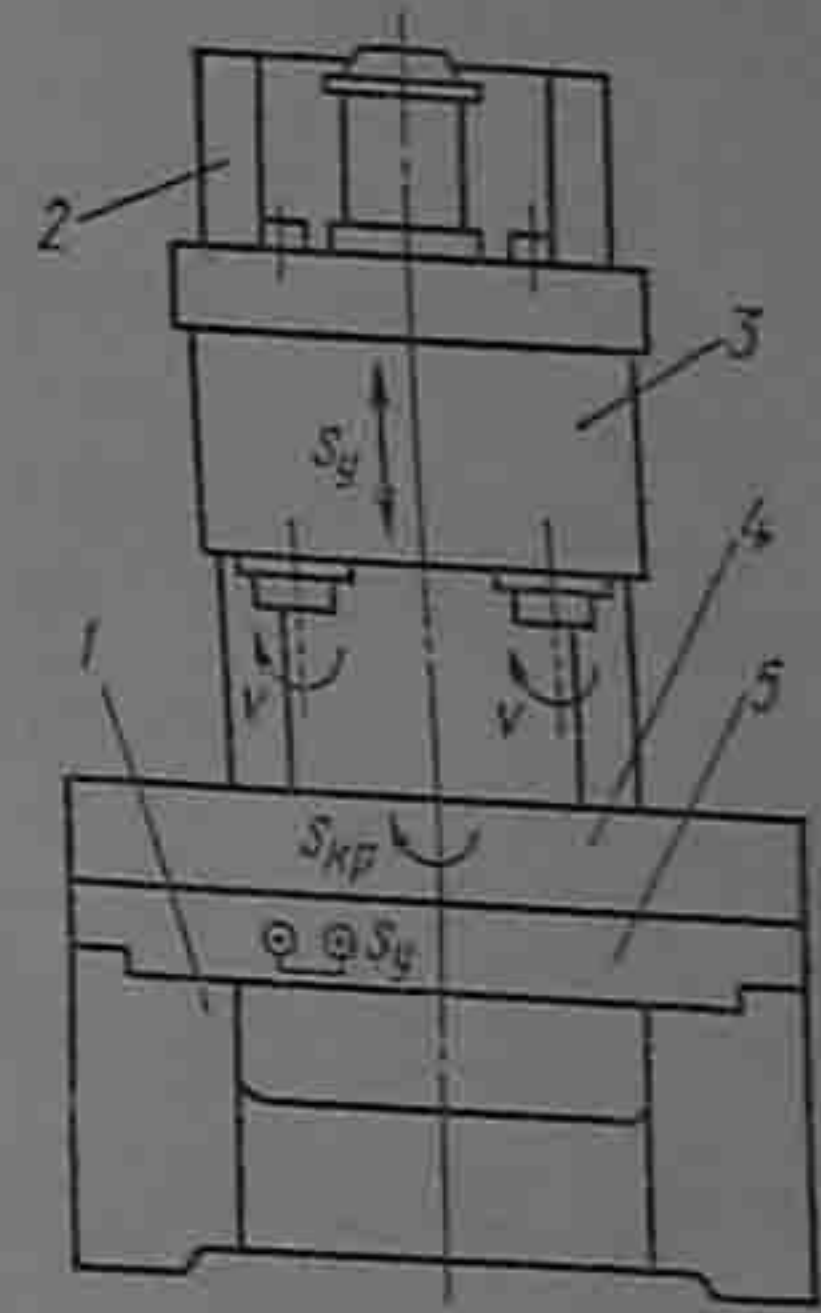


Рис. VI.94. Общий вид двухшпиндельного карусельно-фрезерного станка

Карусельно-фрезерные станки выпускают со столами диаметром 750—2000 мм.

Особенностью барабано-фрезерных станков является наличие барабана с горизонтальной осью вращения. На гранях барабана в приспособлениях устанавливают заготовки, которым медленным вращением барабана сообщают круговую подачу. Станки имеют одну или несколько фрезерных головок.

8. Обработка поверхностей заготовок на копировально-фрезерных станках

На копировально-фрезерных станках фрезеруют сложные контуры на заготовках по копиру концевыми фрезами. Различают контурное и объемное копировальное фрезерование.

Контурное копировальное фрезерование применяют для получения плоских фасонных поверхностей замкнутого криволинейного контура с прямолинейной образующей (например, плоских кулачков, шаблонов и т. п.). Объемное копировальное фрезерование применяют для получения объемных фасонных поверхностей (например, лопаток турбин, пресс-форм и т. п.).

При контурном копировальном фрезеровании заготовке или фрезе одновременно сообщают движение в двух координатных направлениях X и Y (продольную и поперечную подачи) по заданной программе — кривой копира (рис. VI.95, a). Одна из подач является задающей (на схеме — продольная) s_a , которая в процессе фрезерования контура остается постоянной; другая — следящая (на схеме — поперечная) s_c зависит от формы копира. Профиль обрабатываемой поверхности зависит от соотношения задающей и следящей подач.

Результующая подача s , иными словами — скорость перемещения фрезы по заготовке, должна совпадать со скоростью перемещения шупа по копиру и в каждый момент времени должна быть направлена по касательной к профилю копира в точке его касания со шупом.

Объемные фасонные поверхности (объемное копирование, рис. VI.95, б) фрезеруют последовательно отдельными фасонными строчками (полосками). Ширина строчки соответствует диаметру концевой фрезы. После фрезерования одной фасонной строчки по принципу контурного копирования фрезе сообщают подачу в направлении оси Z (строчечную подачу s_z), равную ширине строчки

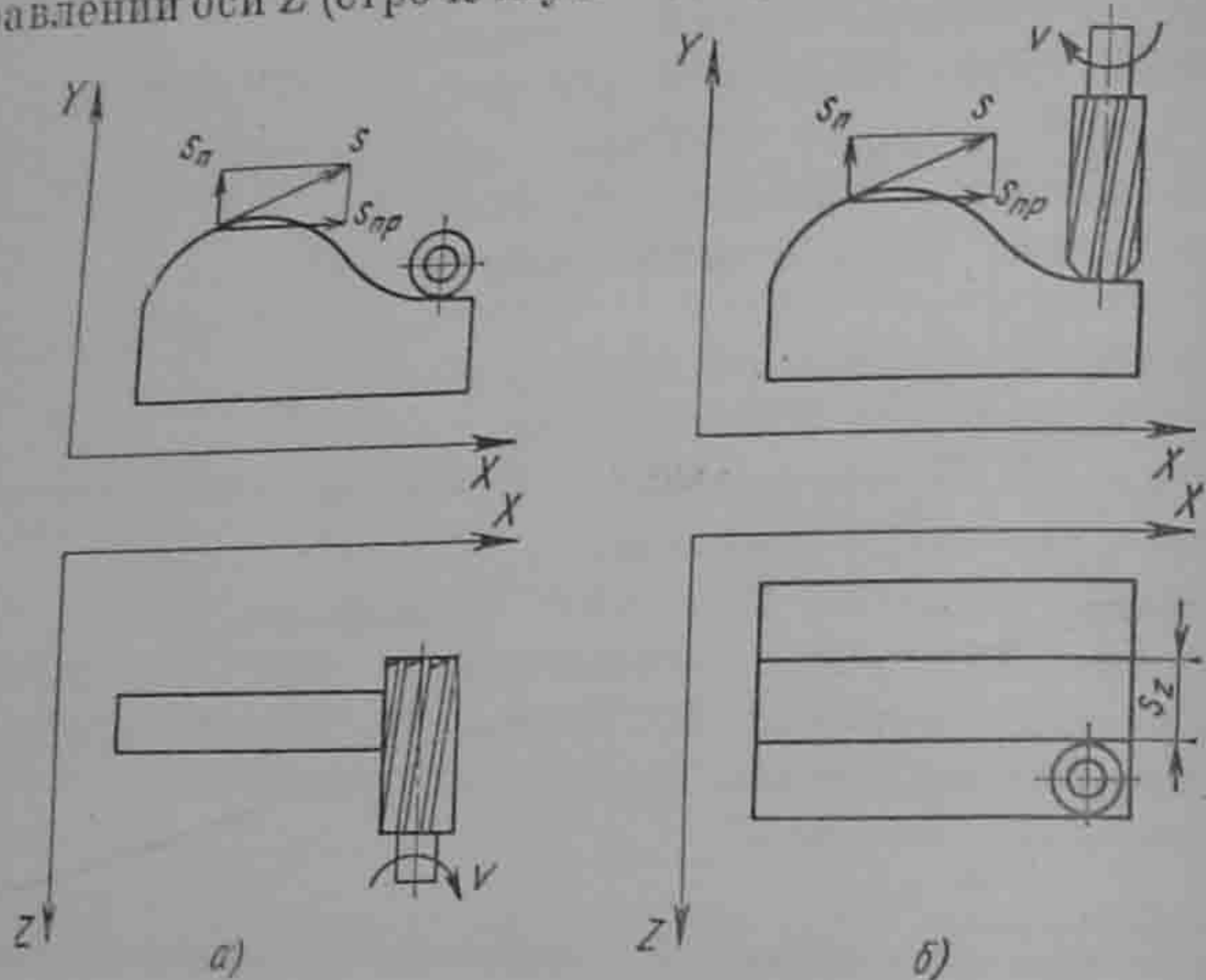


Рис. VI.95. Схемы копировального фрезерования

ки. Следующую фасонную строчку фрезеруют в обратном направлении по отношению к уже обработанной; при этом направление задающей подачи изменяется на обратное. Фасонные строчки располагаются в параллельных вертикальных (в приведенной схеме) или горизонтальных плоскостях.

В современных копировально-фрезерных станках используют механические, электромеханические и гидравлические следящие системы. В копировально-фрезерных станках с механической следящей системой изменение формы копира (задающего устройства) передается на шуп, жестко связанный с фрезой. В отличие от станков с механической следящей системой, в которых сила резания воспринимается копиром, в станках с электромеханической или гидравлической следящими системами шуп, перемещаясь по копиру, подает через усилительное устройство команды исполнительным механизмам, перемещающим рабочие органы станка.

Малые давления шупа на копира позволяют фрезеровать крутые профили, изготавливать копии из мягких, легко обрабатываемых материалов, обрабатывать на оптимальных режимах реза-

ния и обеспечивать высокую точность и малую шероховатость обработанной поверхности.

На рис. VI.96 показан общий вид копировально-фрезерного станка для объемного копирования. По направляющим станины 1 в продольном направлении перемещается вертикальный стол 6. На столе устанавливаются приспособления для закрепления заготовки и копира. На стойке 2 смонтирована фрезерная головка 3, перемещающаяся по вертикальным направляющим стойки. Фрезерная головка и жестко скрепленное с ней следящее устройство 4 со шупом 5 могут перемещаться вдоль оси шпинделя. Во время работы станка шуп 5 с усилием 1,5—2,0 Н прижимается к копиру. При изменении усилия в следящем устройстве 4 возникают электрические сигналы, которые управляют движением фрезерной головки и обеспечивают поперечную (следящую) подачу фрезы в соответствии с профилем копира.

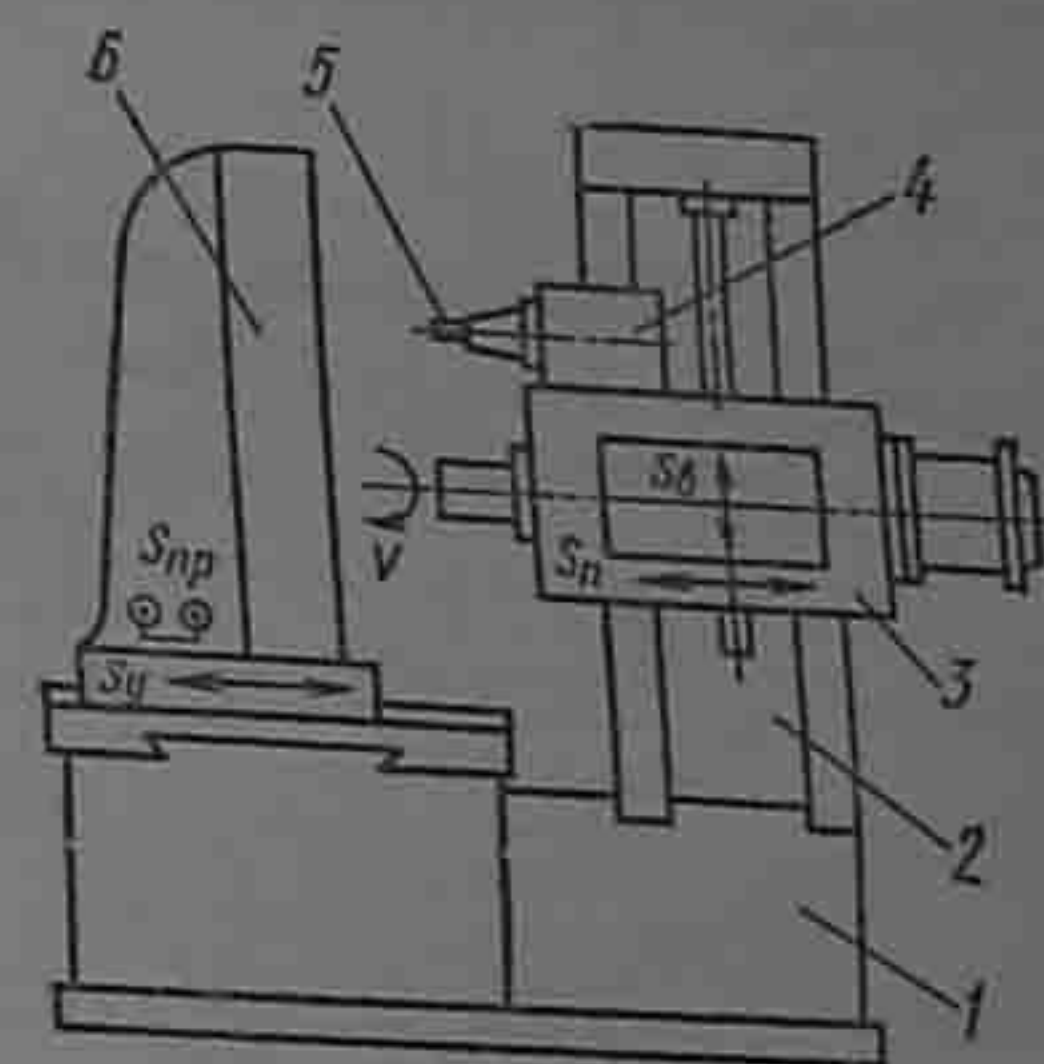


Рис. VI.96. Общий вид копировально-фрезерного станка

Объемные поверхности фрезеруют вертикальными или горизонтальными строчками.

Например, при фрезеровании вертикальными строчками задающую (вертикальную) подачу сообщают фрезерной головке. После фрезерования каждой вертикальной строчки стол перемещают в продольном направлении на ширину строчки.

9. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на фрезерных станках

Фрезеруемые поверхности на заготовках, лежащие в одной плоскости, желательно располагать на одной высоте. Детали с выступами одинаковой высоты (рис. VI.97, а) можно обрабатывать одной фрезой за один рабочий ход. При фрезеровании деталей с выступами разной высоты (рис. VI.97, б) приходится опускать и поднимать стол.

Пазы и прорези целесообразнее обрабатывать дисковыми фрезами (рис. VI.97, в), так как обработка ими производительнее, чем концевыми фрезами (рис. VI.97, г). Радиус паза R должен соответствовать стандартным размерам фрезы. Следует предусматривать открытые пазы (рис. VI.97, д); их проще изготовить и можно фрезеровать на повышенных режимах резания. При обработке закрытых пазов (рис. VI.97, е) надо предварительно засверливать отверстия для входа фрезы.

Целесообразно изготавливать разрезные втулки с плоскостями разреза, не проходящими через центр отверстия (рис. VI.97, ж). Ширину прорези необходимо выбирать с учетом использования

стандартных фрез. При конструировании выступов у деталей необходимо устанавливать их высоту с учетом допусков на литье и механическую обработку (рис. VI.97, а). Недостаточная высота выступа может привести к врезанию фрезы в поверхность, не подлежащую обработке (рис. VI.97, и).

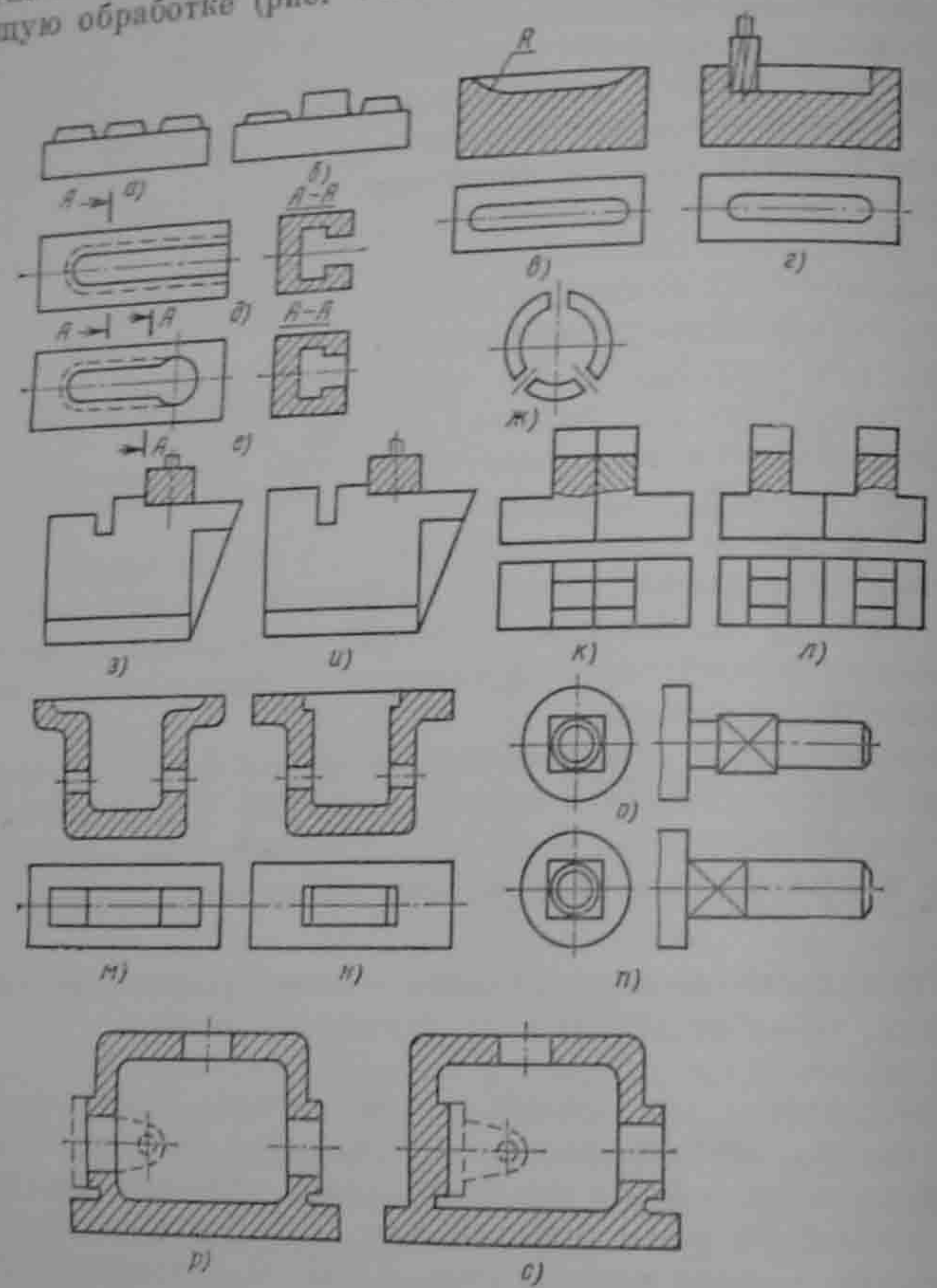


Рис. VI.97. Примеры конструкций деталей машин, обрабатываемых на фрезерных станках

Размер стороны квадрата должен быть больше диаметра примыкающей шейки валика (рис. VI.97, о). Сторону квадрата нельзя принимать равной диаметру примыкающей шейки валика (рис. VI.97, н), так как возможное при фрезеровании смещение квадрата от оси валика исключит возможность его сборки с сопрягаемой деталью.

Следует предусматривать посадочные места под фланцевые подшипники с наружной стороны корпуса, что значительно упрощает фрезерование поверхностей (рис. VI.97, р), фрезеровать внутренние площадки под подшипник крайне неудобно (рис. VI.97, с).

Желательно практиковать фрезерование нескольких заготовок одновременно. В этом случае, например, при вынесении уступа на край детали можно фрезеровать паз в двух деталях одновременно (рис. VI.97, к). Менее технологична конструкция, показанная на рис. VI.97, л. Рекомендуется предусматривать равномерную ширину фрезерования по длине обрабатываемой поверхности (рис. VI.97, м). Иначе в конструкции, показанной на рис. VI.97, н, изменение сил резания при фрезеровании приводит к погрешности размера средней части детали.

1. Характеристика метода протягивания

Протягивание — высокопроизводительный метод обработки внутренних и наружных поверхностей, обеспечивающий высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности. Протягивают многолезвийным режущим инструментом — протяжкой при ее поступательном движении относительно неподвижной заготовки (главное движение).

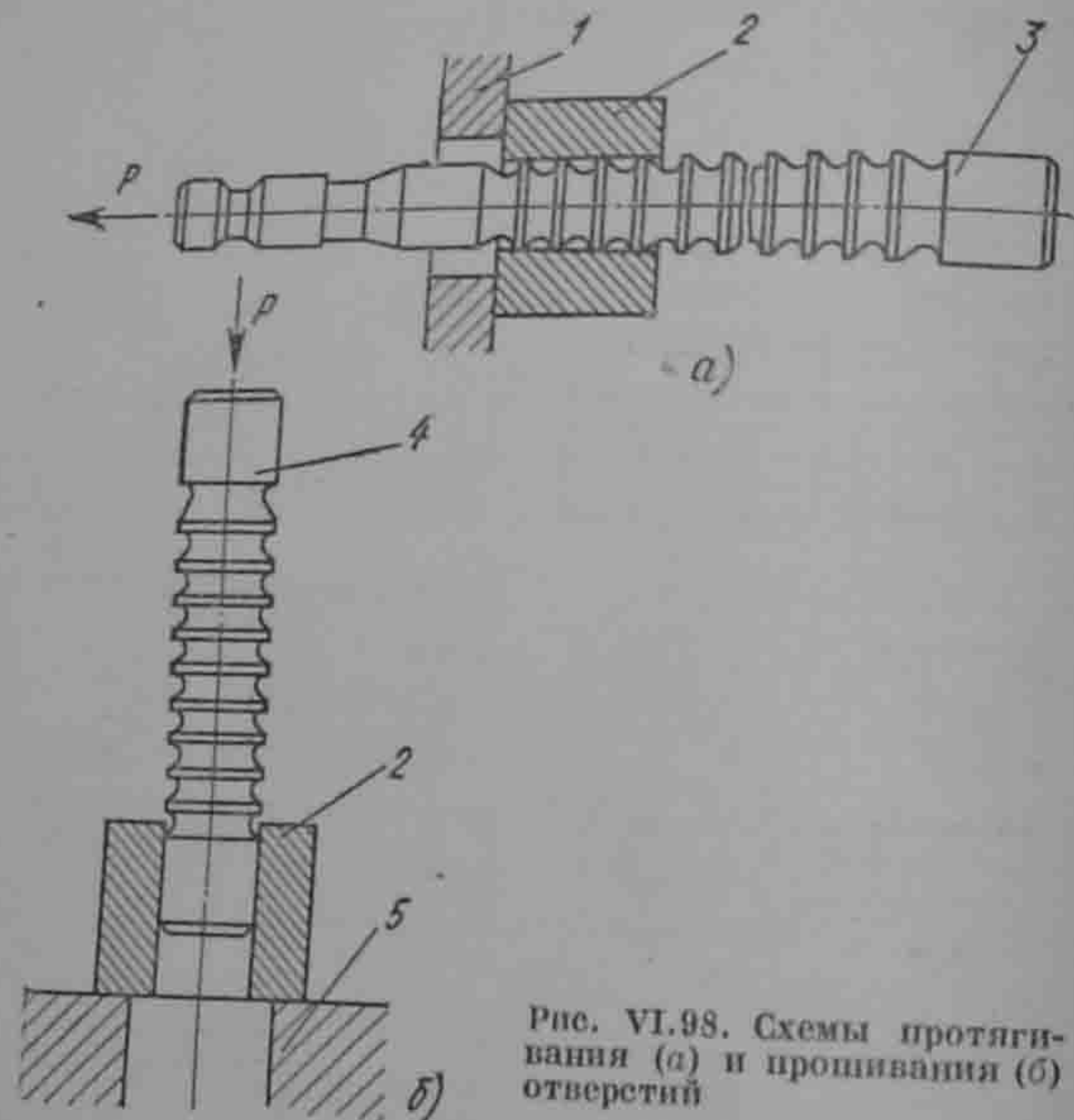


Рис. VI.98. Схемы протягивания (а) и прошивания (б) отверстий

Принцип протягивания заключается в том, что размер каждого последующего зуба протяжки больше предыдущего, при этом каждый зуб срезает с обрабатываемой поверхности заготовки стружку небольшой толщины, вследствие чего обработанная поверхность имеет малую шероховатость. Несмотря на сравнительно низкую скорость резания при протягивании, этот метод является высокопроизводительным вследствие большой суммарной длины одновременно работающих режущих лезвий.

На рис. VI.98, а, б приведены схемы протягивания и прошивания отверстий. При протягивании заготовка 2 торцевой частью опирается на кронштейн станка 1. Силой P протяжка 3 протягивается через обрабатываемое отверстие заготовки. При прошивании заготовка 2 опирается на стол прессы 5. Сила P , приложенная к торцу прошивки 4, проталкивает ее через обрабатываемое отверстие заготовки.

В отличие от протяжки, которая работает на растяжение прошивка работает на сжатие. Длина прошивки во избежание продольного изгиба не превышает 15 ее диаметров.

2. Режим резания

Скорость резания. При протягивании скоростью резания v является скорость поступательного движения протяжки относительно заготовки. Скорость резания лимитируется условиями получения обработанной поверхности высокого качества и ограничивается технологическими возможностями протяжных станков. Обычно $v = 8 \div 15$ м/мин.

Подача. Движение подачи при протягивании как самостоятельное движение инструмента или заготовки отсутствует. За величину подачи s_z , определяющую толщину срезаемого слоя отдельным зубом протяжки, принимают подъем на зуб, т. е. разность размеров по высоте двух соседних зубьев протяжки; s_z является одновременно и глубиной резания. Подача в основном зависит от обрабатываемого материала, конструкции протяжки и жесткости заготовки и составляет 0,01—0,2 мм/зуб. Оптимальные величины режима резания выбирают по справочным данным.

3. Протяжки

По характеру обрабатываемых поверхностей протяжки делят на две основные группы: внутренние и наружные. Внутренними протяжками обрабатывают различные замкнутые поверхности, а наружными — полузамкнутые и открытые поверхности различного профиля.

По форме различают круглые, шлицевые, шпоночные, многогранные и плоские протяжки. По конструкции зубьев протяжки бывают режущими и уплотняющими. В первом случае зубья имеют острые режущие лезвия, во втором — округленные, работающие по методу пластического деформирования поверхности без снятия стружки. Различают также сборные протяжки со вставными ножами, оснащенными пластинками из твердого сплава.

На рис. VI.99, а показаны элементы круглой протяжки.

Элементы круглой протяжки. Замковая часть (хвостовик) l_1 служит для закрепления протяжки в патроне тянущего устройства станка; шейка l_2 — для соединения замковой части с передней направляющей частью; передняя направляющая часть l_3 вместе с направляющим конусом — для центрирования обрабатываемой заготовки в начале резания.

Режущая часть l_4 состоит из режущих зубьев, высота которых последовательно увеличивается на толщину срезаемого слоя, и предназначена для срезания припуска.

Калибрующая часть l_3 состоит из калибрующих зубьев, форма и размеры которых соответствуют форме и размерам последнего режущего зуба, и предназначена для придания обработанной поверхности окончательных размеров, необходимой точности и шероховатости.

Задняя направляющая часть l_6 служит для направления и поддержания протяжки от провисания в момент выхода последних зубьев калибрующей части из отверстия. Для облегчения образования стружки на режущих зубьях выполняют стружколомные канавки в шахматном порядке.

Геометрия зуба протяжки. Геометрия зубьев режущей и калибрующей частей показана на рис. VI.99, б. Передние и задние

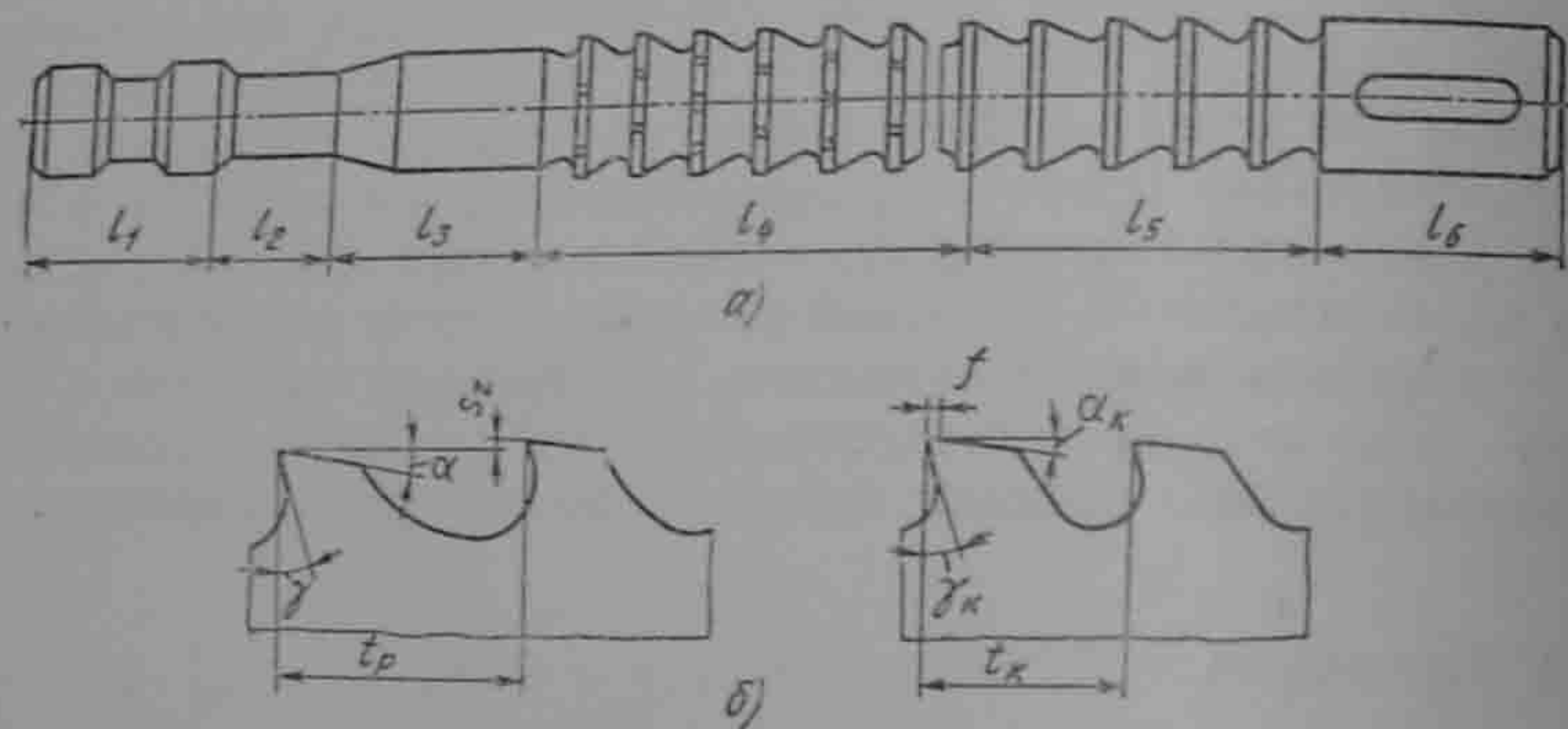


Рис. VI.99. Элементы и геометрия зуба круглой протяжки

углы протяжки измеряют в плоскости, перпендикулярной к главному режущему лезвию. Передний угол γ ($5-20^\circ$) выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, задний угол α ($1-4^\circ$) — в зависимости от класса точности обработки.

Калибрующие зубья имеют на задней поверхности фаску (ленточку) шириной $f = 0,2 \div 0,3$ мм, у которой задний угол $\alpha_k = 0^\circ$. Фаска необходима для того, чтобы после переточки по передней поверхности зуба размеры протяжки не изменялись.

Шаг режущих зубьев t_p протяжки определяют в зависимости от длины L протягиваемой поверхности, при этом исходят из того, чтобы в резании участвовало одновременно не менее трех зубьев. Шаг режущих зубьев $t_p = (1,25 \div 1,5) \sqrt{L}$ мм; шаг калибрующих зубьев $t_k = (0,6 \div 0,7) t_p$ мм.

4. Силы резания и мощность при протягивании

Сила резания при протягивании складывается из сил, приложенных ко всем одновременно участвующим в резании зубьям. Сила, действующая на каждый зуб протяжки, может быть разложена на две составляющие: P_z , направленную вдоль оси, и P_{σ} , направленную перпендикулярно оси.

Практическое значение имеет лишь осевая составляющая P_z , направленная в сторону, противоположную движению протяжки. Она создает напряжения в протяжке. Для круглых протяжек сила резания (в Н)

$$P_z = C_{P_z} s_z^{x_{P_z}} D z k_{\gamma} K_{\alpha} K_{\Pi} K_{\sigma},$$

для шпоночных и шлицевых протяжек

$$P_z = C_{P_z} s_z^{x_{P_z}} z n K_{\gamma} K_{\alpha} K_{\Pi} K_{\sigma},$$

где C_{P_z} — коэффициент, характеризующий материал заготовки и условия обработки; s_z — подача на зуб, мм; x_{P_z} — показатель степени при подаче; D — диаметр отверстия, мм; z — число одно- временно работающих зубьев протяжки; n — число шлицев; K_{γ} , K_{α} , K_{Π} , K_{σ} — соответственно коэффициенты, характеризующие влияние переднего и заднего углов, износа и смазочно-охлаждающей жидкости.

Значения C_{P_z} , x_{P_z} , K_{γ} , K_{α} , K_{Π} , K_{σ} приводятся в справочных материалах по выбору режимов резания. По силе резания P_z рассчитывают прочность протяжки на растяжение, эффективную мощность и проверяют возможность выполнения заданного процесса резания на данном станке (тяговая сила станка должна быть больше силы резания).

Эффективная мощность (в кВт)

$$N_e = \frac{P_z v}{60 \cdot 10^3}.$$

5. Обработка поверхностей заготовок на протяжных станках

Протяжные станки отличаются простотой конструкции и эксплуатации. Это обусловлено тем, что форма поверхности при обработке на протяжном станке зависит от формы режущих лезвий зубьев инструмента. Основными характеристиками протяжного станка являются тяговое усилие и длина хода протяжки. Протяжные станки имеют гидравлический привод и часто работают по полуавтоматическому циклу. В зависимости от вида обрабатываемых поверхностей их делят на станки для внутреннего и наружного протягивания; по направлению главного движения — на горизонтальные и вертикальные.

Горизонтально-протяжной станок. Этот станок для внутреннего протягивания (рис. VI.100) состоит из станины 1, насосной

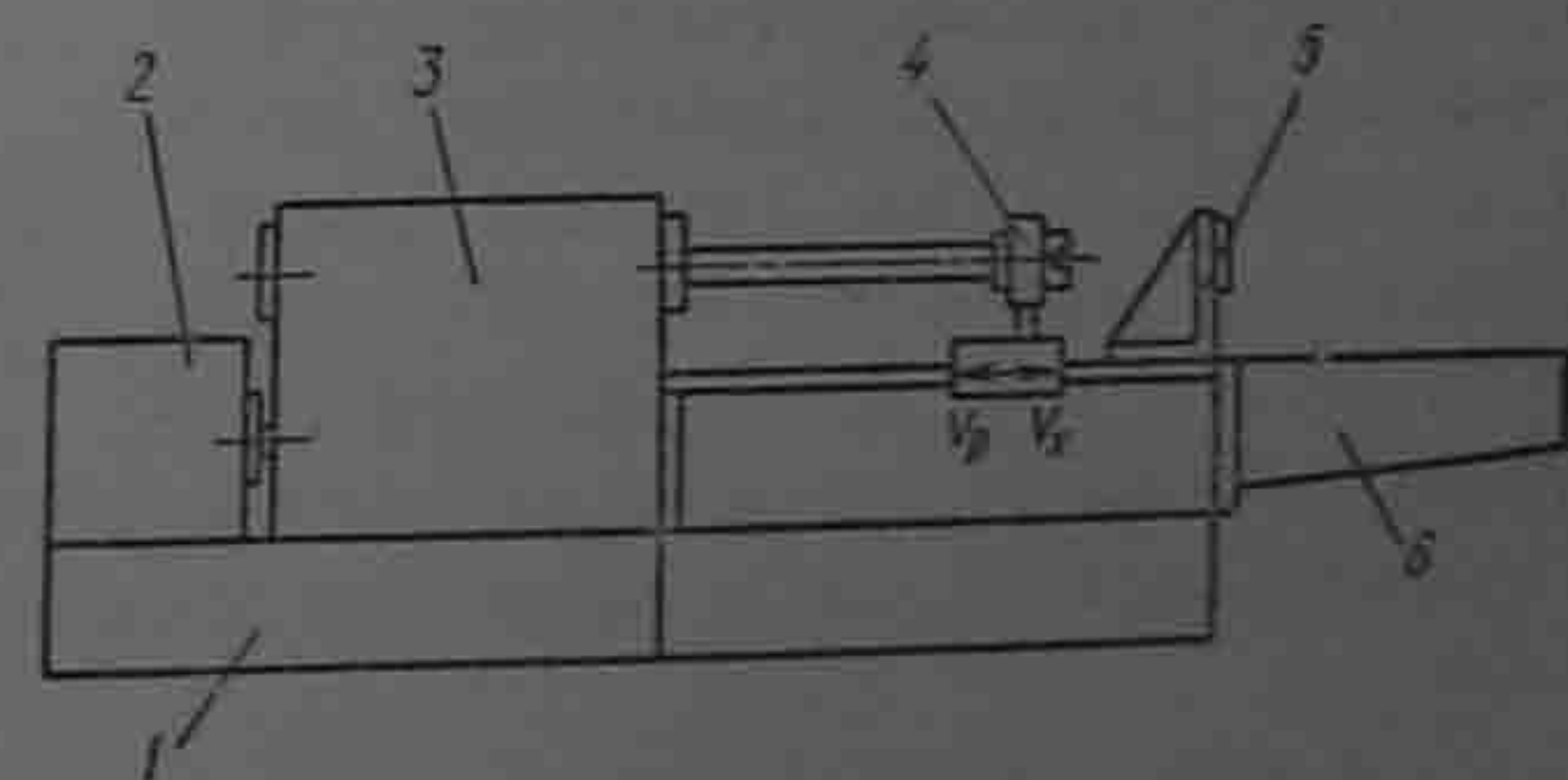


Рис. VI.100. Общий вид горизонтально-протяжного станка

станции 3, гидроцилиндра 3, каретки 4, опорного кронштейна 5 и корыта 6. Протяжку хвостовой частью вставляют в предварительно обработанное отверстие заготовки и закрепляют в патроне каретки 4. Каретка с протяжкой получает поступательное движение от штока поршня гидроцилиндра — главное движение v_p .

Заготовка при протягивании опирается торцом на опорную поверхность кронштейна 5. Поступательное движение протяжке сообщают до тех пор, пока она не выйдет из отверстия заготовки. После окончания протягивания заготовка падает в корыто 6, протяжка извлекается из каретки 4, последняя возвращается в исходное положение (холостой ход v_x) и цикл обработки повторяется.

Вертикально-протяжной станок. Этот станок для наружного протягивания (рис. VI.101) состоит из основания 1, станины 5, насосной станции 4, каретки 3, стола 2. Заготовку устанавливают в приспособлении на столе станка. Протяжку закрепляют в каретке и от гидропривода сообщают ей вертикальное поступательное перемещение — главное движение. Протяжка, опускаясь (рабочий ход v_p), обрабатывает заготовку. Обработанную заготовку снимают, и подвижная каретка быстро возвращается в исходное положение (холостой ход v_x).

Рис. VI.101. Общий вид вертикально-протяжного станка

Протяжные станки непрерывной обработки (рис. VI.102). Эти станки являются станками высокой производительности. На них обрабатывают заготовки непрерывно. Заготовки 2 устанавливают в приспособлениях замкнутой цепи 1 и сообщают им главное поступательное движение со скоростью v относительно неподвижной протяжки 3. Жесткие направляющие 4 обеспечивают параллельное перемещение цепи в зоне прохождения заготовок под протяжкой.

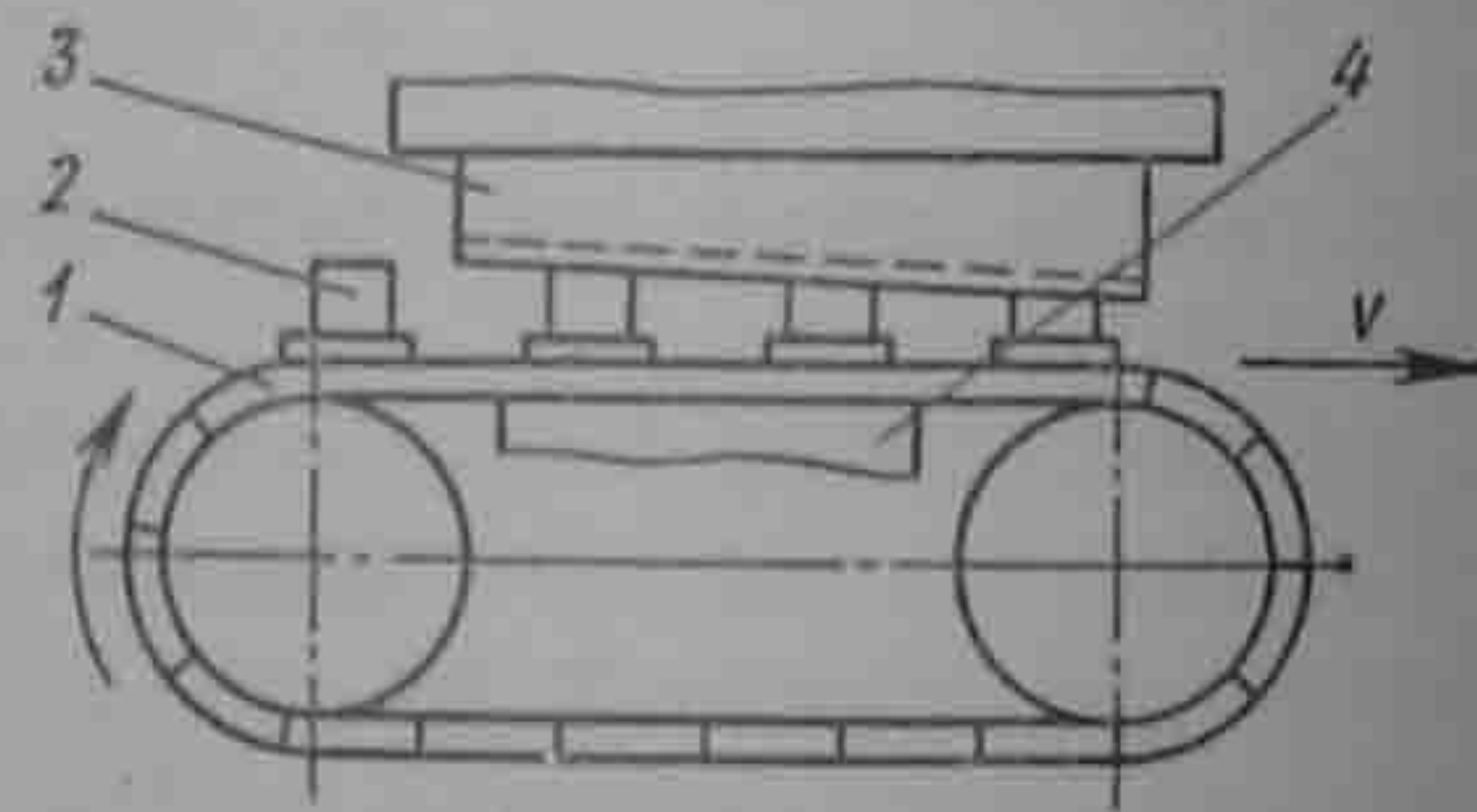


Рис. VI.102. Схема обработки заготовок на протяжном станке непрерывной обработки

при литье и штамповке, без предварительной их обработки. Обычно длина отверстий не превышает трех диаметров.

Если торец отверстия в заготовке не обработан, то для ее установки применяют приспособления со сферической опорной поверхностью (рис. VI.103, а). Заготовка в этом случае может самоустанавливаться (центрироваться) по оси протяжки, даже если торец заготовки не перпендикулярен оси отверстия. В тех случаях, когда при предыдущей обработке предусмотрено получение торца отверстия, перпендикулярного к его оси, заготовка опирается на жесткую (неподвижную) поверхность.

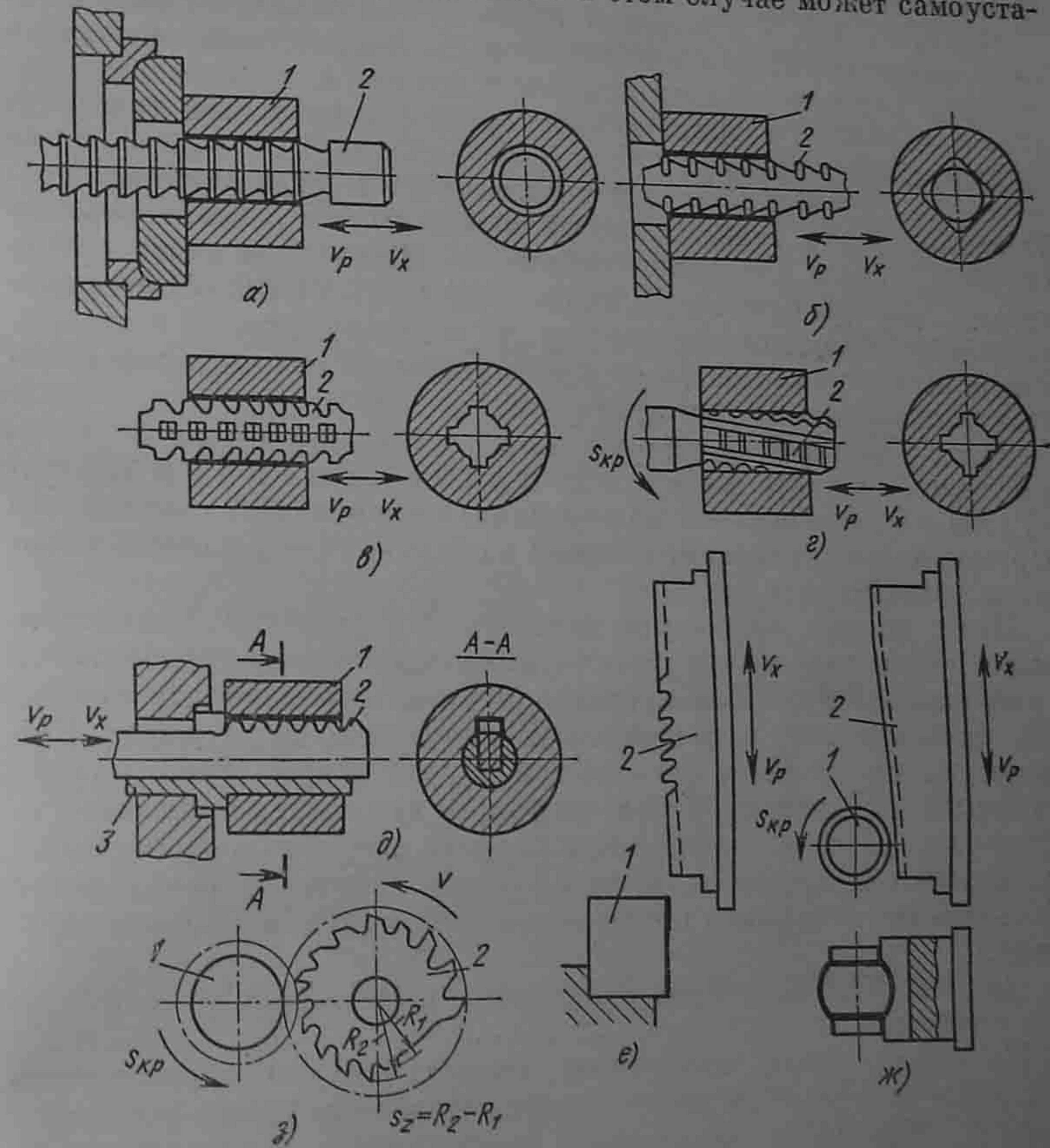


Рис. VI.103. Схемы обработки поверхностей заготовок на протяжных станках: 1 — заготовка; 2 — протяжка; 3 — направляющая втулка

Многогранные отверстия (треугольные, квадратные и т. п.) протягивают многогранными протяжками. Исходной поверхностью для протягивания является круглое отверстие.

Многогранные отверстия (треугольные, квадратные и т. п.) протягивают многогранными протяжками. Исходной поверхностью для протягивания является круглое отверстие.

На протяжных станках непрерывной обработки карусельного типа заготовки устанавливают на вращающемся круглом столе. Отверстия различной геометрической формы протягивают на горизонтально-протяжных станках для внутреннего протягивания. Размеры протягиваемых отверстий составляют 5—250 мм. Цилиндрические отверстия протягивают круглыми протяжками после сверления, растачивания или зенкерования. Применяют также протягивание отверстий, полученных

На рис. VI.103, б приведена схема протягивания квадратного отверстия.

Шлицевые отверстия с различным профилем шлицев протягивают многошлицевыми протяжками, формирующими одновременно весь профиль отверстия.

На рис. 103, в приведена схема протягивания прямых шлицев. Винтовые шлицы протягивают протяжкой, режущие зубья которой расположены по винтовой линии, с приспособлением, обеспечивающим дополнительное вращение протяжки (рис. VI.103, г) или заготовки.

Шпоночные и другие пазы протягивают протяжками, форма зубьев которых в поперечном сечении соответствует профилю протягиваемого паза. Шпоночные пазы протягивают плоской шпоночной протяжкой (рис. VI.103, д) с применением специального приспособления — направляющей втулки 3. Вдоль всей втулки прорезают прямоугольный паз, который является направляющим для протяжки.

Наружные поверхности различной геометрической формы с прямолинейной образующей протягивают на вертикально-протяжных станках для наружного протягивания, а также на станках непрерывной обработки конвейерного типа.

Протягивание наружных поверхностей успешно применяют вместо других методов обработки с целью снижения ее трудоемкости и стоимости. Наружным протягиванием можно заменить строгание, фрезерование, а в некоторых случаях и шлифование. При протягивании сложных фасонных контуров взамен фрезерования (например, плоских кулачков) не только снижается трудоемкость обработки, но и обеспечивается высокое качество обработанной поверхности. Плоские и более сложные наружные поверхности протягивают плоскими протяжками прямого и фасонного профиля.

На рис. VI.103, е приведена схема протягивания вертикальной плоскости.

На специальных протяжных станках можно обрабатывать наружные поверхности заготовок формы тел вращения плоскими (рис. VI.103, ж) и дисковыми (рис. VI.103, з) протяжками. В обоих случаях заготовке сообщают круговую подачу. Плоская протяжка имеет главное движение — поступательное, а дисковая протяжка — вращательное вокруг своей оси.

Цилиндрические и конические зубчатые колеса наружного зацепления протягивают следующим образом. Цилиндрические зубчатые колеса с прямыми зубьями и другие детали, имеющие наружные пазы, изготавливают последовательным протягиванием впадины между зубьями за один или несколько проходов на горизонтальных и вертикальных протяжных станках с делительными автоматическими устройствами. На специальных протяжных автоматах с непрерывно

вращающейся круглой протяжкой специальной конструкции нарезают цилиндрические и конические зубчатые колеса с прямыми зубьями.

6. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на протяжных станках

Обрабатывать протягиванием можно лишь отверстия с достаточно толстыми стенками равномерной толщины.

При протягивании отверстий в тонкостенных втулках с буртиками (рис. VI.104, а) возникают значительное радиальное давление и неравномерная деформация по длине обрабатываемой поверхности, приводящие к искажению формы отверстия.

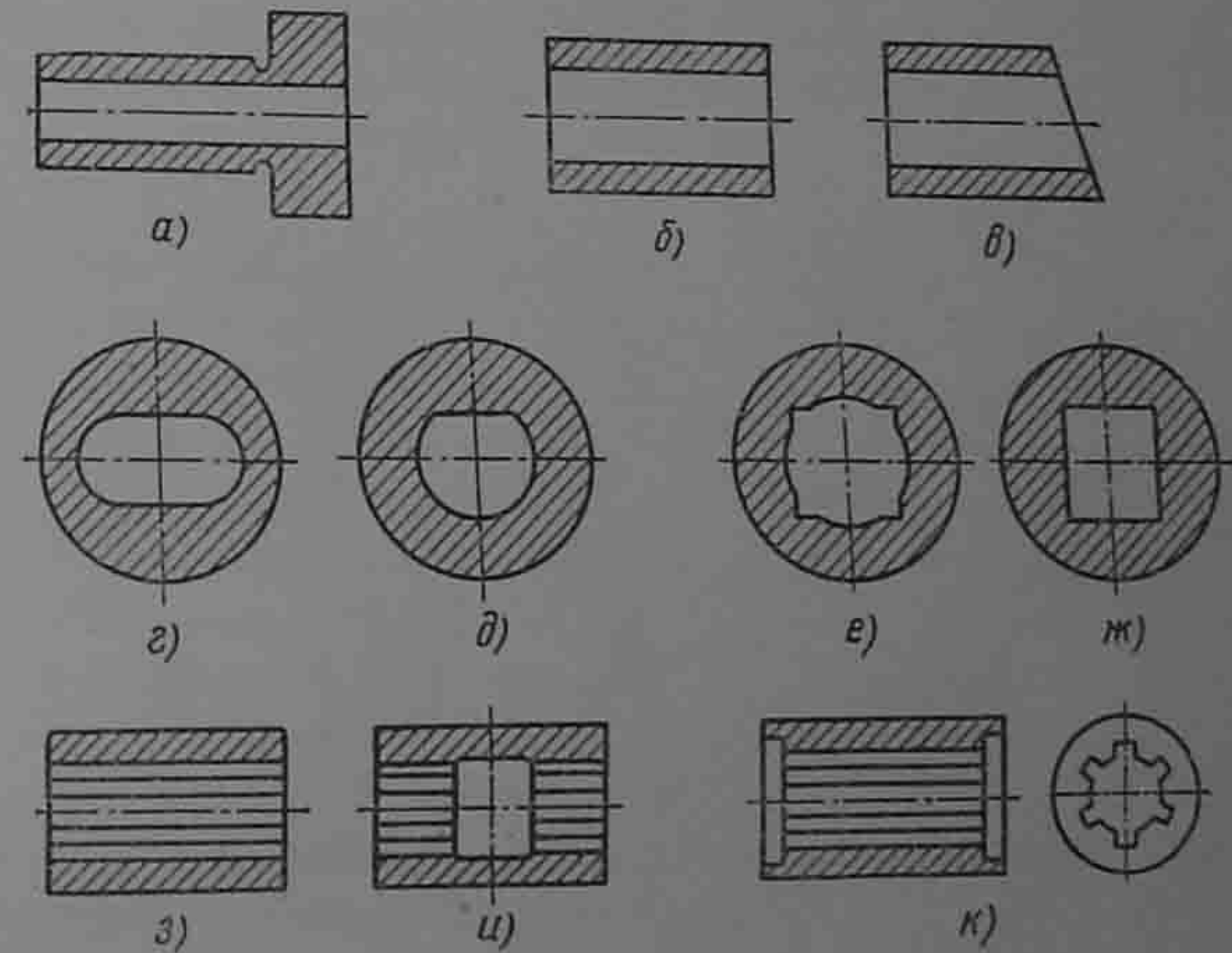


Рис. VI.104. Примеры конструкций деталей машин, обрабатываемых на протяжных станках

Торец протягиваемой заготовки должен быть перпендикулярен оси отверстия со стороны входа и выхода протяжки (рис. VI.104, б). Протягивание отверстия в заготовке с наклонным торцом (рис. VI.104, в) вызывает неравномерную нагрузку на зубья протяжки и ее перекос.

Не рекомендуется протягивать отверстия с фасонным сечением: следует максимально упрощать их форму и делать симметричными. Симметричное отверстие (рис. VI.104, г) более технологично для протягивания. Для обработки несимметричного отверстия (рис. VI.104, д) требуется протяжка сложной конфигурации.

Наиболее технологично квадратное (или восьмигранное) фасонное отверстие с неполной поверхностью боковых сторон. При

этом отверстие сверлят или растачивают до требуемого диаметра, после чего протягивают углы (рис. VI.104, е). Конструкция, показанная на рис. VI.104, ж, менее технологична.

Шлицевые отверстия не должны иметь выточек в средней части (рис. VI.104, з). Наличие в отверстии выточки (рис. VI.104, и) может привести к поломке зубьев протяжки вследствие неравномерного съема металла по длине отверстия. При подрезании торцов после протягивания шлицев необходимо на торцах отверстия предусматривать выточки (рис. VI.104, к), обеспечивающие безударную работу резца.

Глава 10. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ЗУБОРЕЗНЫХ СТАНКАХ

1. Формообразование профилей зубьев зубчатых колес

В передачах современных машин и приборов широко применяют зубчатые колеса с эвольвентным зацеплением, т. е. такие, у которых боковая поверхность зуба очерчена эвольвентной кривой. Эвольвентой называют траекторию точки прямой, катящейся по окружности без скольжения.

Различают два метода профилирования эвольвентных зубчатых колес: копирование и обкатку (огибание).

Копирование. Метод основан на профилировании зубьев фасонным инструментом, профиль режущей части которого соответствует профилю впадины нарезаемого зубчатого колеса. По методу копирования зубчатые колеса нарезают дисковой модульной фрезой на горизонтально- или универсально-фрезерных станках

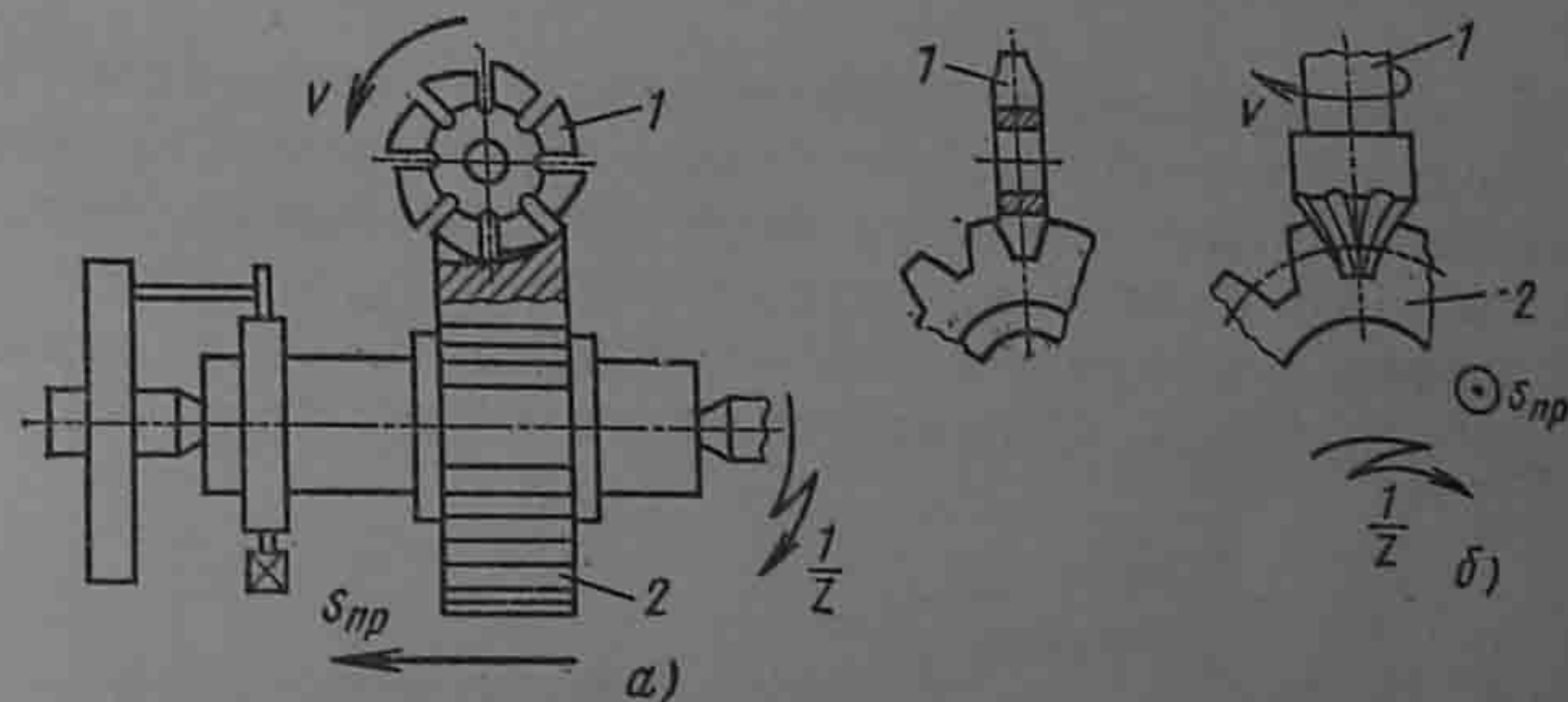


Рис. VI.105. Схемы фрезерования зубьев по методу копирования:
1 — фреза; 2 — нарезаемое колесо

(рис. VI.105, а) и пальцевой фрезой на вертикально-фрезерных станках (рис. VI.105, б) последовательно по одной впадине с использованием делительной головки.

В процессе фрезерования впадины между зубьями колеса сообщают фрезе главное вращательное движение, а заготовке — продольную подачу. По окончании фрезерования одной впадины стол отводят в исходное положение и заготовку поворачивают на $\frac{1}{z}$ часть оборота (z — число зубьев нарезаемого зубчатого колеса). Пальцевыми фрезами нарезают зубчатые колеса больших модулей и шевронные колеса.

Нарезание зубчатых колес методом копирования не обеспечивает высокой точности вследствие погрешностей фасонного инструмента и неточности делительных головок. Этот метод применяют для нарезания зубчатых колес невысокой точности. Зубонарезание методом копирования производят также долблением одновременно

всех впадин зубчатого колеса. В качестве инструмента используют резцовую головку, которая имеет столько радиально расположенных фасонных резцов, сколько впадин у нарезаемого колеса. Нарезание одновременно всех зубьев колеса по методу копирования обеспечивает высокую производительность, но в связи

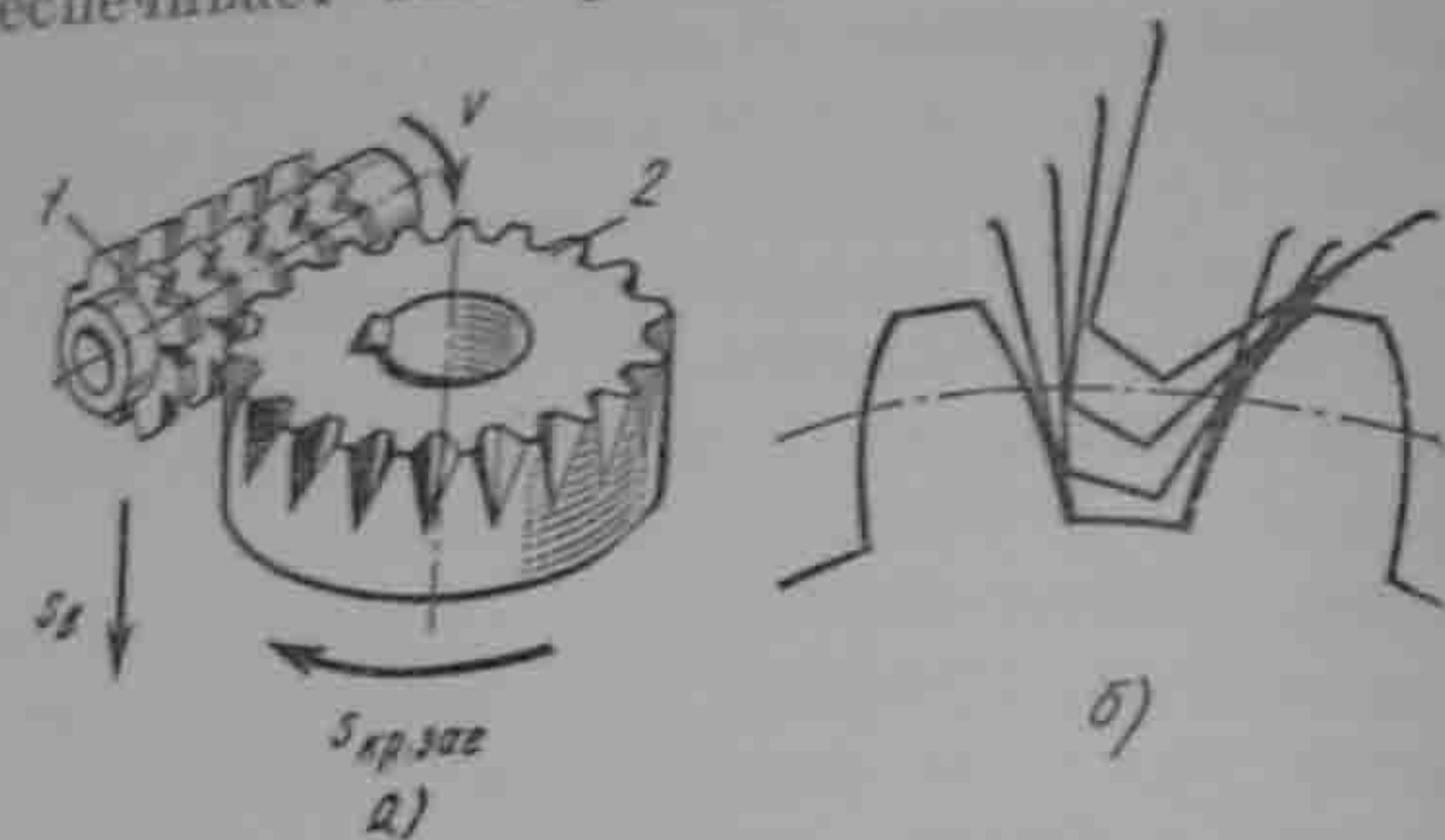


Рис. VI.106. Схема формообразования зубьев цилиндрического колеса червячной модульной фрезой:
1 — червячная модульная фреза; 2 — нарезаемое колесо

со сложностью и высокими требованиями к точности изготовления режущего инструмента этот метод имеет ограниченное применение.

Обкатка. Метод основан на зацеплении зубчатой пары, элементами которой являются режущий инструмент и заготовка. Режущие лезвия инструмента имеют профиль зуба сопряженной рейки (рис. VI.106, а) или сопряженного колеса (рис. VI.107, а).

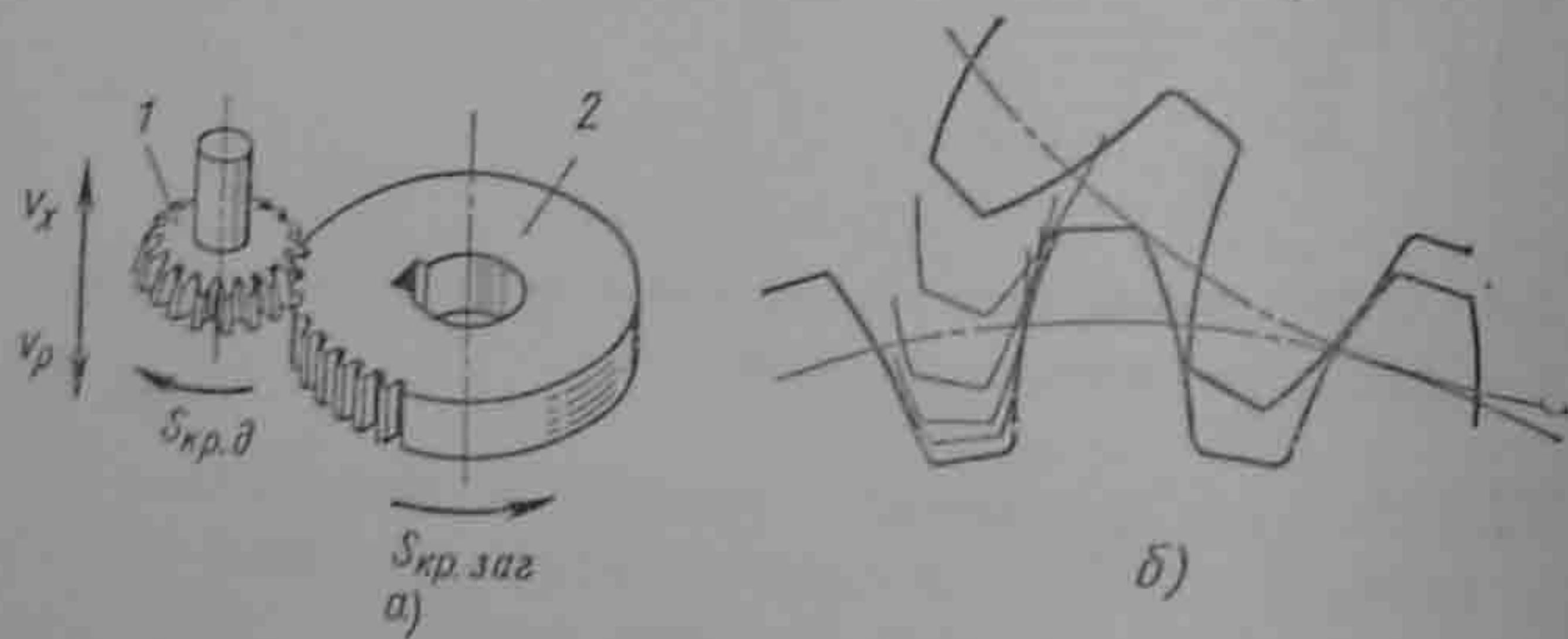


Рис. VI.107. Схема формообразования зубьев цилиндрического колеса долбяком:
1 — долбяк; 2 — нарезаемое колесо

Боковая поверхность зуба на заготовке образуется как огибающая последовательных положений режущих лезвий инструмента в их относительном движении (рис. VI.106, б и VI.107, б).

Различные положения режущих лезвий относительно формируемого профиля зубьев на заготовке получают в результате кинематически согласованных вращательных движений инструмента и заготовки на зуборезном станке.

Метод обкатки обеспечивает непрерывное формообразование зубьев колеса. Нарезание зубчатых колес этим методом получило

преимущественное распространение вследствие высокой производительности и значительной точности обработки. Наиболее широко применяют нарезание зубчатых колес методом обкатки на зубофрезерных, зубодолбежных и зубострогальных станках.

2. Режущие инструменты для нарезания зубчатых колес по методу обкатки

Червячная модульная фреза (рис. VI.108, а). Фреза представляет собой винт с прорезанными перпендикулярно к виткам канавками. В результате этого на червяке образуются режущие

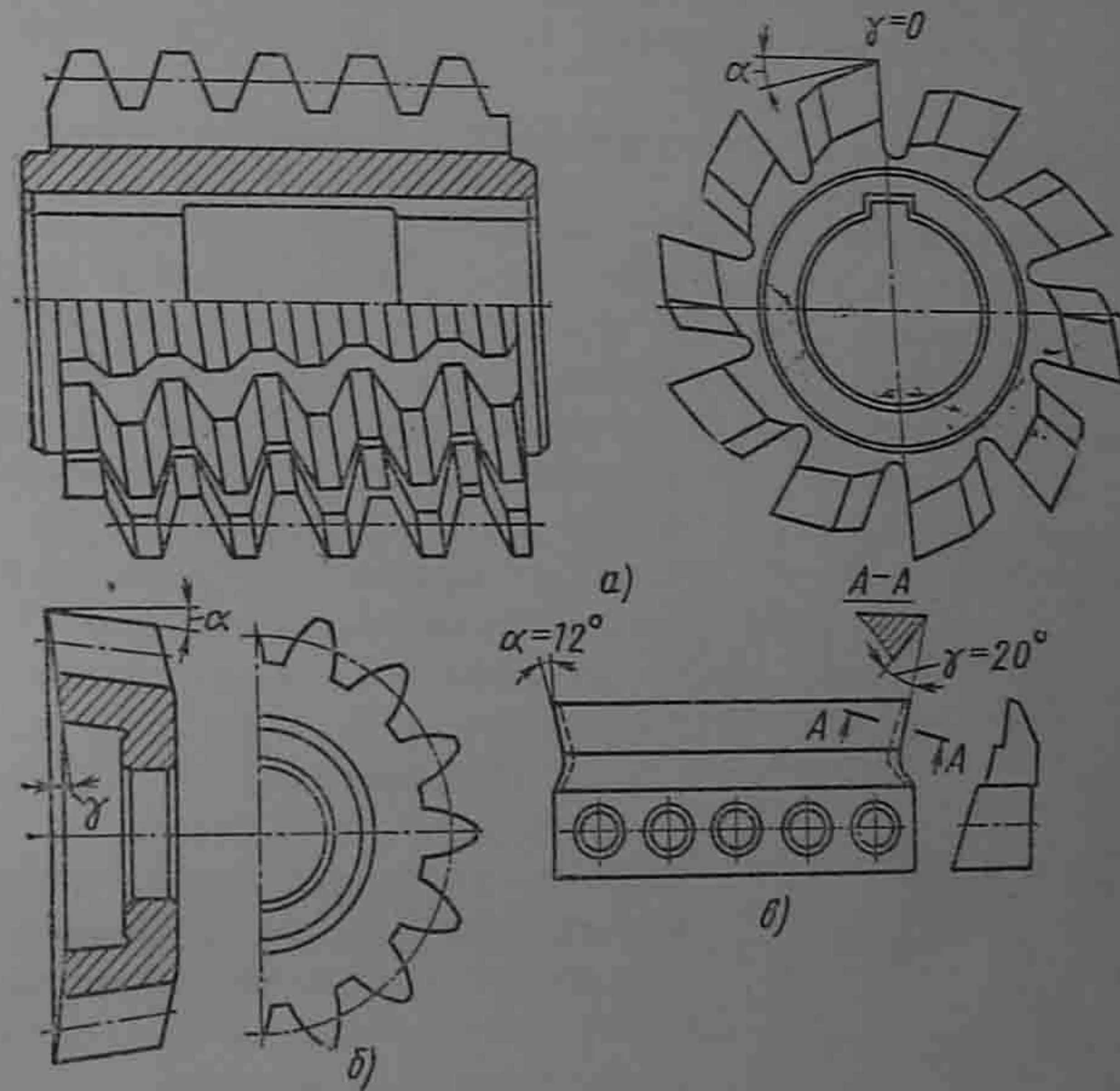


Рис. VI.108. Червячная модульная фреза (а); зуборезный долбяк (б) и зубострогальный резец (а)

зубья, расположенные по винтовой линии. Профиль зуба фрезы в нормальном сечении имеет трапециевидальную форму и представляет собой зуб рейки с задним α и передним γ углами заточки. Червячные фрезы изготовляют однозаходными и многозаходными. Чем больше число заходов, тем выше производительность фрезы, но точность ее работы при этом немного снижается. Поэтому для сохранения точности при чистовом нарезании надо применять однозаходные червячные фрезы. Многозаходные фрезы находят применение для чернового зубонарезания. Червячными модульными фрезами нарезают цилиндрические колеса с прямыми и косыми зубьями и червячные колеса.

Зуборезный долбяк (рис. VI.108, б). Долбяк представляет собой зубчатое колесо, зубья которого имеют эвольвентный профиль с задним α и передним γ углами заточки. Различают два типа долбяков: прямозубые для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями и косозубые для нарезания цилиндрических колес с косыми зубьями.

Зубострогальный резец (рис. VI.108, в). Резец имеет призматическую форму с соответствующими углами заточки и прямолинейным режущим лезвием. Режущее лезвие затачивают с передним углом $\gamma = 20^\circ$ и задним углом $\alpha = 0^\circ$. Задний угол образуется в результате наклонного закрепления резца в державке, при этом уменьшается передний угол γ . Эти резцы применяют попарно для нарезания конических зубчатых колес с прямыми зубьями.

3. Нарезание зубчатых колес на зубофрезерных станках

На зубофрезерных станках нарезают цилиндрические колеса внешнего зацепления с прямыми и косыми зубьями и червячные колеса червячной модульной фрезой по методу обкатки.

На рис. VI.109 показан общий вид зубофрезерного станка.

На станине 1 установлена неподвижная стойка 2. Фрезу, закрепленную на оправке, устанавливают в шпинделе фрезерного суппорта 3, который перемещается по вертикальному направляющему стойки. Заготовку закрепляют на оправке, устанавливая ее в шпинделе фрезерного суппорта 3, который перемещается по вертикальному направляющему стойки. Заготовку закрепляют на оправке, устанавливая ее в шпинделе фрезерного суппорта 3, который перемещается по вертикальному направляющему стойки. Заготовку закрепляют на оправке, устанавливая ее в шпинделе фрезерного суппорта 3, который перемещается по вертикальному направляющему стойки.

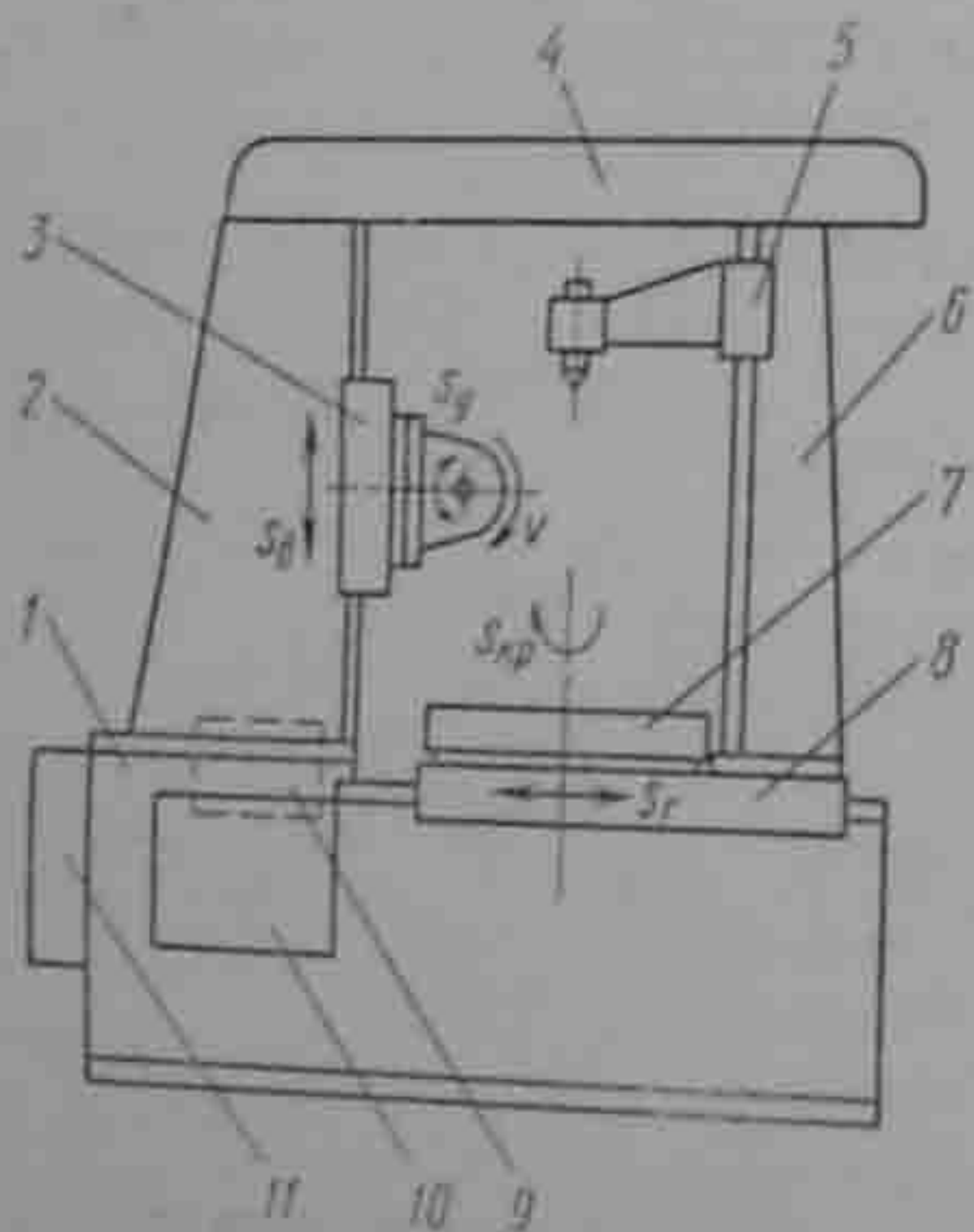


Рис. VI.109. Общий вид зубофрезерного станка

В процессе нарезания зубьев станок имеет четыре гитары сменных зубчатых колес.

С помощью гитары скоростей 9 устанавливают частоту вращения шпинделя в минуту. Гитара деления 11 (обкатки) служит для сообщения заготовке окружной скорости, необходимой для автоматического деления заготовки на заданное число зубьев. С помощью гитары подач 10 устанавливают вертикальную подачу фрезы или горизонтальную подачу заготовки. Гитара дифференциала (находится в одной коробке с гитарой подач) сообщает заготовке дополнительное вращательное движение при нарезании колес с косым зубом. Она позволяет увеличить или уменьшить

скорость вращения заготовки, которая определяется настройкой делительной гитары, и получить левый или правый наклон зубьев колеса.

Нарезание цилиндрических колес с прямыми зубьями (рис. VI.110, а). При нарезании червячная фреза вращается и

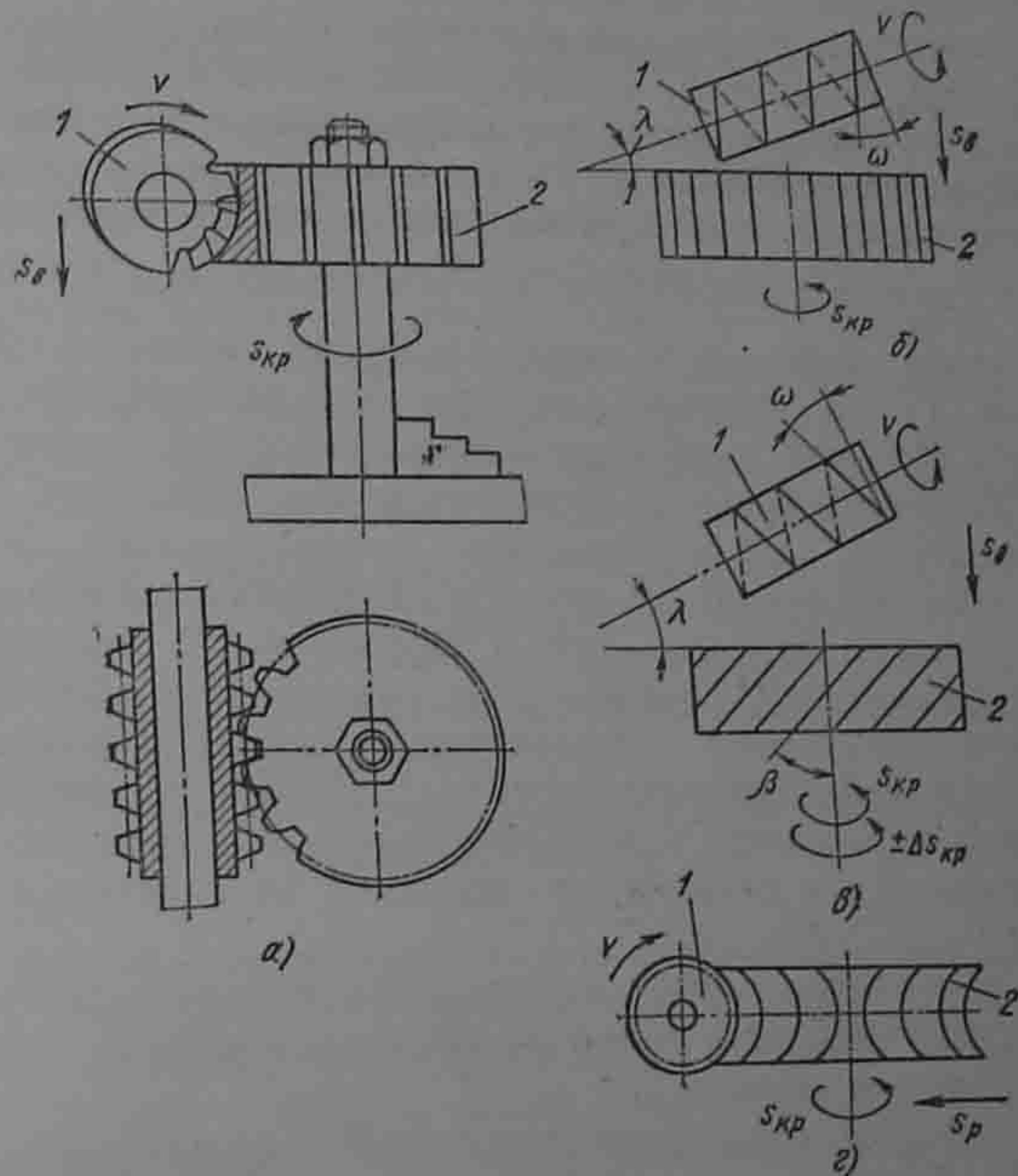


Рис. VI.110. Схемы нарезания цилиндрических зубчатых колес на зубофрезерном станке:

1 — червячная фреза; 2 — заготовка

перемещается вдоль оси заготовки. Скоростью резания при зубофрезеровании является скорость вращения фрезы, а подачей — перемещение фрезы вдоль оси вращения заготовки.

Скорость резания (в м/мин)

$$v = \frac{\pi D_{\phi} n}{1000},$$

где D_{ϕ} — наружный диаметр фрезы, мм; n — частота вращения фрезы, об/мин.

Подачу s_v измеряют в миллиметрах на один оборот заготовки и выбирают из нормативов по режимам резания в зависимости от числа зубьев, требуемой шероховатости и точности обработки. Так как червячная фреза представляет собой ряд реек, режущие лезвия которых расположены на винтовых поверхностях, червяч-

ная фреза и заготовка должны находиться в относительном движении, соответствующем зацеплению колеса с рейкой.

Вращение фрезы и заготовки связано отношением

$$\frac{n_{\text{заг}}}{n_{\text{ф}}} = A \frac{k}{z},$$

где $n_{\text{заг}}$ — частота вращения заготовки, об/мин; $n_{\text{ф}}$ — частота вращения фрезы, об/мин; A — передаточное отношение передач цепи обкатки; k — число заходов червячной фрезы; z — число нарезаемых зубьев на заготовке.

Отсюда следует, что при каждом обороте червячной фрезы заготовка должна повернуться на $\frac{k}{z}$ часть оборота. Согласованное

и непрерывное вращение заготовки и фрезы являются обкаточным движением. Таким образом, для нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями необходимы три движения: главное вращательное червячной фрезы v , круговая подача заготовки (делительное движение) $s_{\text{кр, заг}}$ и вертикальная подача фрезы $s_{\text{в}}$. Для согласования этих движений на станке настраивают кинематические цепи: скоростную, делительную и вертикальной подачи.

Кинематическая скоростная цепь связывает вращение червячной фрезы с вращением вала электродвигателя. Кинематическая цепь деления (обкатки) связывает вращение червячной фрезы с вращением заготовки; кинематическая цепь вертикальной подачи — перемещение фрезы в вертикальной плоскости с вращением заготовки.

Чтобы нарезаемые зубья имели симметричный профиль, ось вращения червячной модульной фрезы устанавливают под углом λ к торцу заготовки колеса.

При нарезании цилиндрических колес с прямыми зубьями (рис. VI.110, б) ось червячной фрезы устанавливают относительно плоскости, перпендикулярной к оси заготовки, под углом λ , равным углу подъема витков червячной фрезы ω .

Нарезание цилиндрических колес с косыми зубьями (рис. VI.110, в). При нарезании ось фрезы устанавливают под углом λ , при определении которого учитывают угол подъема витков червячной фрезы ω и угол наклона нарезаемых зубьев β :

$$\lambda = \beta \pm \omega;$$

знак «плюс» берут при разноименном наклоне зубьев фрезы и колеса, «минус» — при одноименном наклоне.

Для формообразования косого зуба необходимы три движения: вращение фрезы v , вертикальная подача фрезы $s_{\text{в}}$ и ускоренное (или замедленное) вращение заготовки $s_{\text{кр, заг}}$, которое складывается из основного и дополнительного ее вращений. Первые два движения и основное вращение заготовки осуществляются настройкой тех же кинематических цепей, что и при нарезании колес с прямыми зубьями.

При вертикальном перемещении фрезы на величину подачи $s_{\text{в}}$ зубья фрезы должны перемещаться вдоль винтовых линий зубьев колеса. Для обеспечения этого условия необходимо, чтобы заготовка совершила один дополнительный оборот, что достигается настройкой дифференциальной кинематической цепи. Дифференциальная цепь сообщает заготовке один дополнительный оборот за $\frac{T}{t_{\text{в}}}$ оборотов вертикального ходового винта фрезерного суппорта (T — шаг винтовой линии зубьев нарезаемого колеса; $t_{\text{в}}$ — шаг резьбы вертикального ходового винта фрезерного суппорта).

Суммирование основного и дополнительного вращательных движений заготовки осуществляется дифференциалом. Основное вращение заготовки зависит от отношения числа заходов червячной фрезы к числу зубьев нарезаемого колеса, а дополнительное вращение — от угла наклона нарезаемых зубьев.

Направление дополнительного вращения заготовки $\Delta s_{\text{кр, заг}}$ совпадает с направлением ее основного движения (ускоренное вращение заготовки), если направления винтовых линий зубьев нарезаемого колеса и фрезы одинаковы. Если же направления винтовых линий различны, то дополнительное вращение будет направлено в сторону, обратную основному движению (замедленное вращение заготовки).

Нарезание червячных колес (рис. VI.110, г). При нарезании ось фрезы устанавливают горизонтально ($\lambda = 0^\circ$) на высоте середины заготовки.

Для нарезания червячных колес необходимы три движения: вращение червячной фрезы v , вращение заготовки $s_{\text{кр, заг}}$ и радиальная подача заготовки $s_{\text{р}}$. Первые два движения осуществляют настройкой тех же кинематических цепей, что и при нарезании колес с прямыми и косыми зубьями. Для нарезания зуба на полную глубину заготовке сообщают радиальную подачу $s_{\text{р}}$, настраивая кинематическую цепь горизонтальной подачи. Цепь горизонтальной подачи связывает перемещение заготовки в горизонтальной плоскости с ее вращением ($s_{\text{р}}$ мм/об. заг.).

4. Нарезание зубчатых колес на зубодолбежных станках

На зубодолбежных станках нарезают цилиндрические зубчатые колеса внешнего и внутреннего зацепления с прямыми и косыми зубьями. На этих же станках можно нарезать блоки зубчатых колес с малым расстоянием между венцами колес, а также шевронные колеса. Зубчатые колеса на зубодолбежных станках нарезают долбяками по методу обкатки, в основу которого положено зацепление двух цилиндрических зубчатых колес (см. рис. VI.107, б).

Зубодолбежные станки в зависимости от расположения оси нарезаемого колеса делят на горизонтальные и вертикальные.

На рис. VI.111 показан общий вид вертикального зубодолбежного станка. Станина состоит из двух частей — нижней 1 и верхней 2. Долбьяк, закрепленный в шпинделе 6, получает вращение и одновременно возвратно-поступательное движение. Суппорт 4 перемещается по направляющим станины 2 в поперечном направлении. Заготовку закрепляют на шпинделе стола 7 и сообщают ей вращательное движение. Кроме того, заготовка имеет возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости для отвода заготовки от долбьяка во время его холостого хода. Гитара скоростей 8 предназначена для изменения числа двойных ходов в минуту долбьяка. Гитара деления 3 сообщает долбьяку окружную скорость для автоматического деления заготовки на заданное число зубьев. С помощью механизма подачи 5 устанавливают радиальную подачу долбьяка.

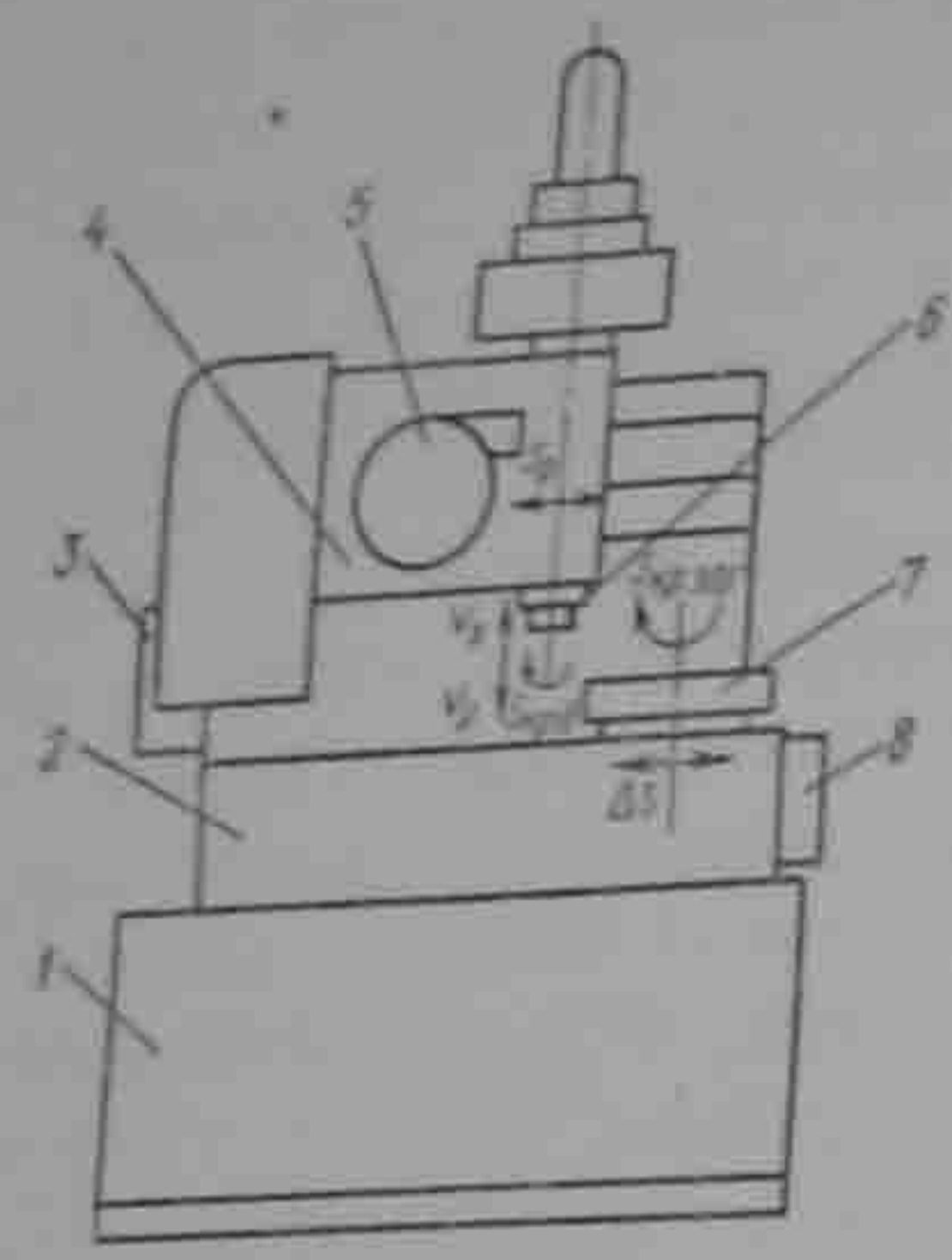


Рис. VI.111. Общий вид зубодолбежного станка

Нарезание цилиндрических колес с прямыми зубьями (рис. VI.112, а). Такие колеса нарезают прямозубыми долбьяками.

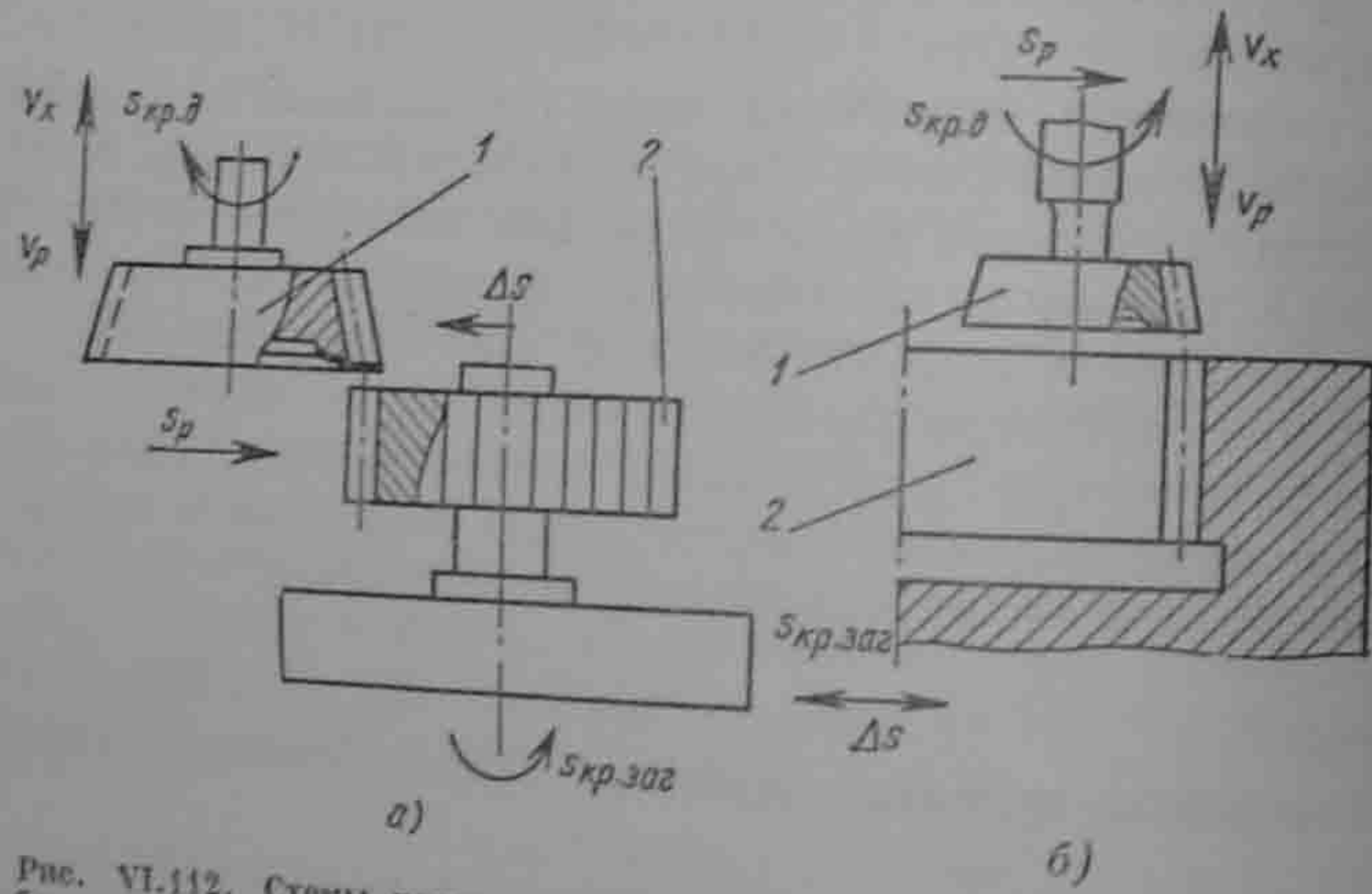


Рис. VI.112. Схемы нарезания цилиндрических колес с прямыми зубьями внешнего (а) и внутреннего (б) зацеплений на зубодолбежном станке: 1 — долбьяк; 2 — нарезаемое колесо

Главным движением, определяющим скорость резания, является возвратно-поступательное движение долбьяка. Движение долбьяка вниз является рабочим ходом v_p , движение его вверх — холостым ходом v_x . Оба движения — рабочее и холостое составляют двойной ход долбьяка.

Скорость резания (в м/мин) при зубодолблении

$$v = \frac{2Ln}{1000},$$

где L — длина хода долбьяка, мм; n — число двойных ходов долбьяка в минуту.

Долбьяк и заготовка, находясь в зацеплении, вращаются со скоростью, обратно пропорциональной числу их зубьев:

$$\frac{n_{заг}}{n_{д}} = \frac{z_{д}}{z_{заг}},$$

где $n_{заг}$ — частота вращения заготовки, об/мин; $n_{д}$ — частота вращения долбьяка, об/мин; $z_{д}$ — число зубьев долбьяка; $z_{заг}$ — число зубьев нарезаемого колеса.

Вращение долбьяка (круговая подача долбьяка $s_{кр.д}$) и вращение заготовки (круговая подача заготовки $s_{кр.заг}$) являются движением обкатки.

Круговая подача выражается длиной дуги делительной окружности долбьяка, на которую он поворачивается за один двойной ход (мм/дв. ход). Поперечным перемещением суппорта долбьяку сообщают радиальную подачу — движение врезания долбьяка в заготовку (s_p мм/об. заг). Радиальная подача сообщается до достижения полной глубины впадины между зубьями. В дальнейшем процесс нарезания происходит при постоянном межцентровом расстоянии в течение одного оборота заготовки. Для устранения трения зубьев долбьяка о заготовку во время холостого хода заготовка вместе со столом отводится от долбьяка, а в начале рабочего хода подводится к долбьяку (на схеме — движение Δs).

Нарезание цилиндрических колес с прямыми зубьями внутреннего зацепления (рис. VI.112, б). При нарезании таких колес долбьяку и заготовке сообщают те же движения, что и при нарезании колес внешнего зацепления. Различие заключается лишь в том, что при нарезании зубчатых колес внутреннего зацепления направления вращения долбьяка и заготовки одинаковы, тогда как при нарезании колес внешнего зацепления они противоположны.

Нарезание цилиндрических колес с косыми зубьями (рис. VI.113). Нарезают такие колеса косозубыми долбьяками. Для нарезания колес с косыми зубьями нужен комплект косозубых долбьяков с тем же углом наклона зубьев, как и у нарезаемых колес. Этот комплект состоит из двух долбьяков: левого — для нарезания правого колеса и правого — для нарезания левого колеса.

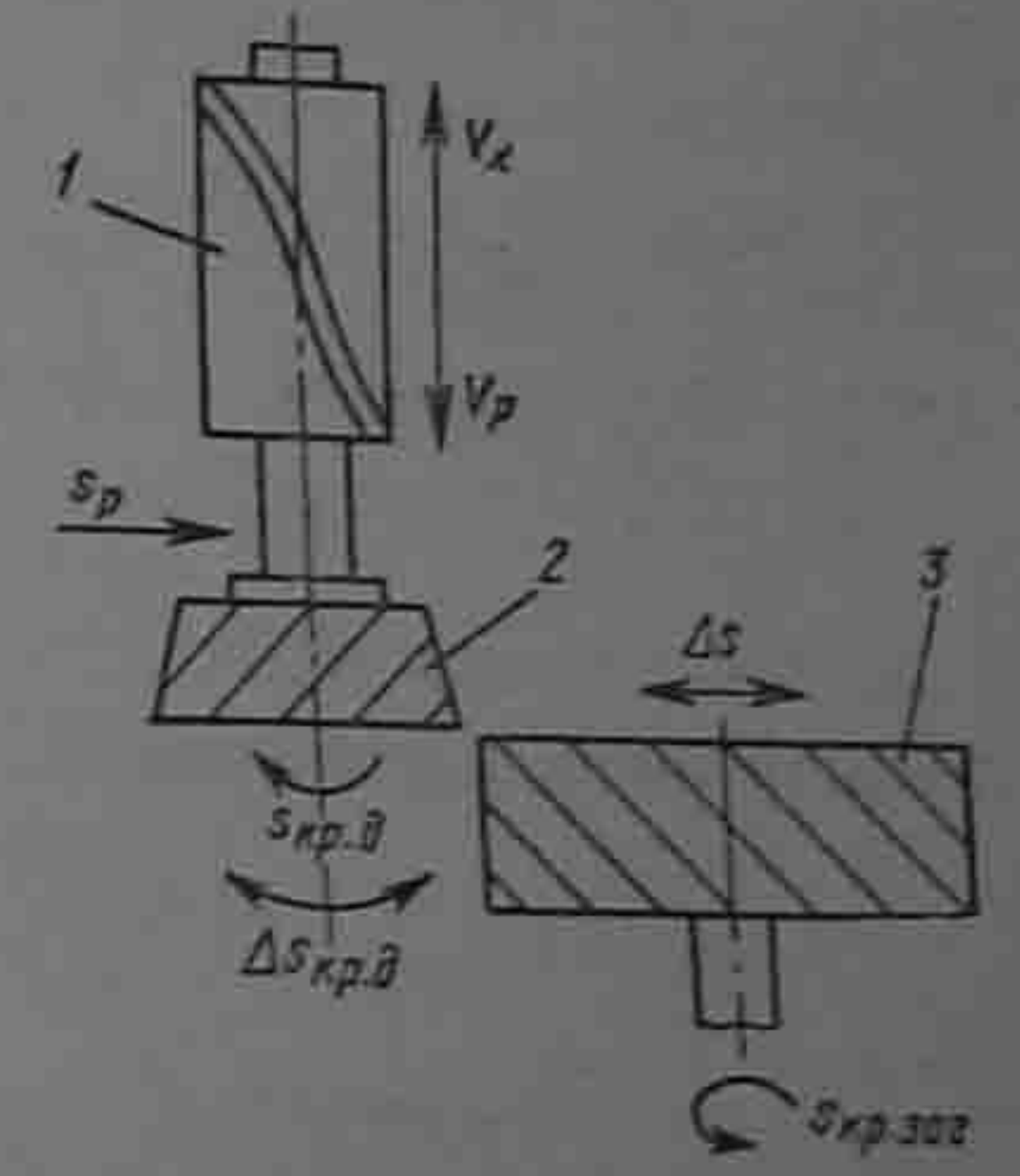


Рис. VI.113. Схемы нарезания цилиндрического колеса с косыми зубьями внешнего зацепления на зубодолбежном станке: 1 — копир; 2 — долбьяк; 3 — нарезаемое колесо

Долбяку и заготовке сообщают те же движения, что и при нарезании колес с прямыми зубьями. Дополнительно долбяку сообщают вращательное движение (дополнительную круговую подачу $\Delta s_{кр.л}$), обусловленное углом наклона зубьев и согласованное с его возвратно-поступательным движением. Дополнительное вращение долбяка обеспечивается установкой на шпинделе станка винтовых направляющих (копиров). Угол наклона винтовой линии копира должен соответствовать углу наклона зубьев нарезаемого колеса.

Цилиндрические колеса с косыми зубьями внутреннего зацепления нарезают долбяками с одноименным направлением зубьев. Преимуществом метода зубодолбления, помимо возможности нарезания колес внутреннего зацепления и блочных колес, является более высокая точность и меньшая шероховатость боковых поверхностей зубьев по сравнению с поверхностями, получаемыми при зубофрезеровании.

5. Нарезание конических колес с прямыми зубьями на зубострогальных станках

Конические зубчатые колеса на зубострогальных станках нарезают методом обкатки. В основу этого метода положено зацеп-

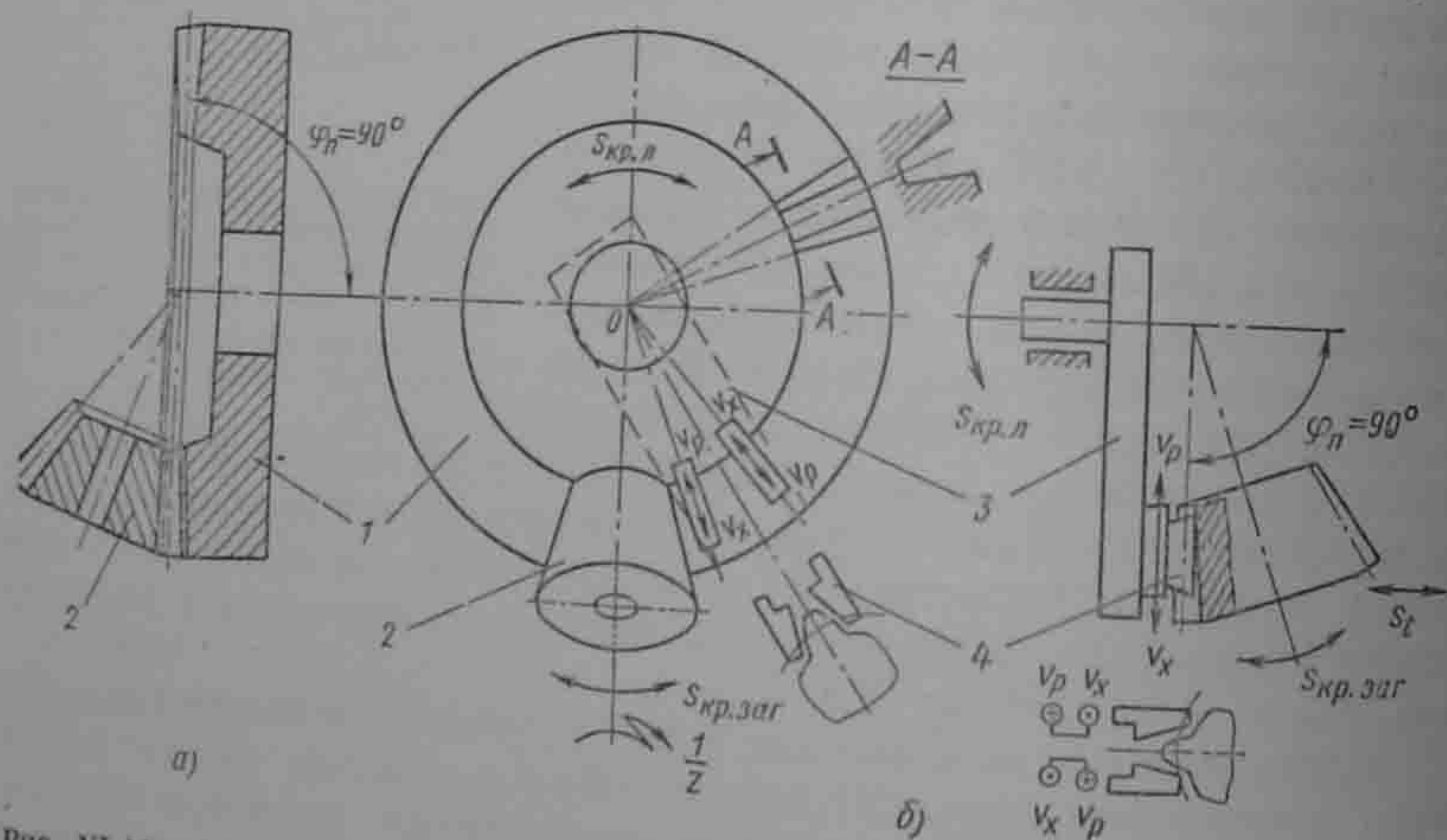


Рис. VI.114. Схема нарезания конического колеса с прямым зубом на зубострогальном станке:
1 — производящее колесо; 2 — нарезаемое колесо; 3 — люлька; 4 — зубострогальный резец

ление двух конических колес, одно из которых плоское (рис. VI.114, а). Нарезаемое коническое колесо (заготовка) находится в зацеплении с производящим плоским коническим колесом, у которого угол при вершине конуса $\varphi_n = 90^\circ$, а зубья ограничены плоскостями, сходящимися в общей вершине, и имеют форму зуба рейки,

т. е. плоское коническое колесо представляет собой кольцевую рейку. Роль производящего колеса выполняют два зубострогальных резца, образуя впадину между зубьями.

На рис. VI.115 показан общий вид зубострогального станка. На станине 1 слева расположена стойка 3 с люлькой 4. По направляющим люльки перемещаются два резцовых суппорта 5, несущих зубострогальные резцы. Резцы попеременно совершают возвратно-поступательное движение в направлении к вершине конусов корозцов в минуту устанавливая настройкой гитары скоростей 2. Люлька смонтирована на планшайбе и при обкатке вращается вокруг горизонтальной оси, имитируя вращение плоского конического колеса.

В шпинделе делительной бабки 6 на оправке закрепляют заготовку. Салазки 8 делительной бабки, перемещаясь по продольным направляющим станины, подводят заготовку к резцам и отводят ее от них. Величина подвода и отвода заготовки регулируется с помощью барабана механизма 9. Настройкой гитары деления 7 заготовке при отводе ее

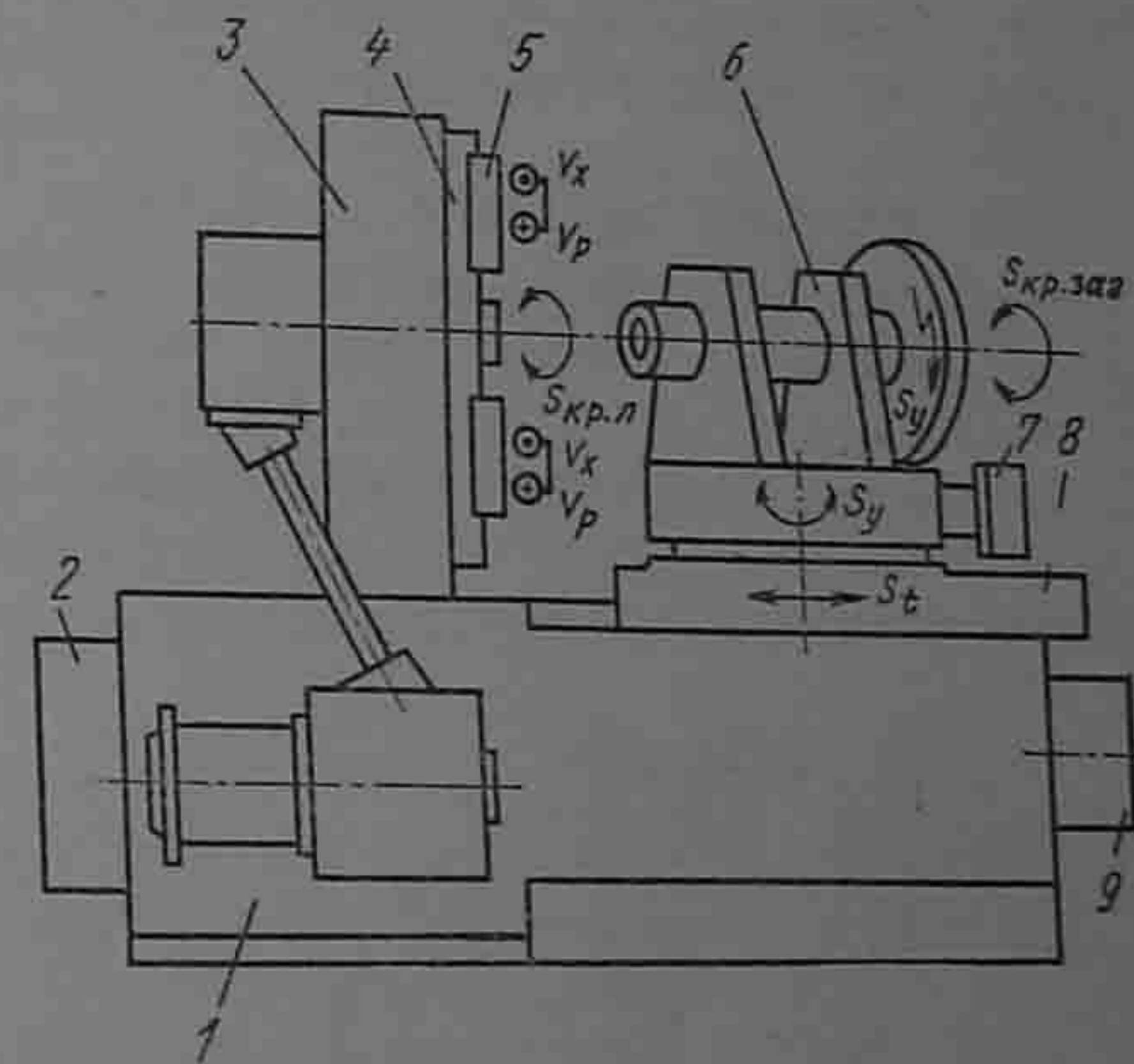


Рис. VI.115. Общий вид зубострогального станка

от резцов сообщают поворот на один угловой шаг, т. е. на $\frac{1}{z}$ оборота. Делительная бабка 6 может поворачиваться вокруг вертикальной оси для установки оси шпинделя (заготовки) под углом φ (угол при вершине конуса нарезаемого колеса) к оси люльки.

В процессе зубострогания конических колес с прямыми зубьями (см. рис. VI.114, б) главным движением является возвратно-поступательное движение резцов. Движение резцов в направлении к вершине конуса заготовки является рабочим — v_p , а обратный ход резцов является холостым — v_x . Оба движения — рабочее и холостое — составляют двойной ход резца.

Вращение заготовки (круговая подача заготовки $s_{кр.заг}$) и люльки с резцами (круговая подача люльки $s_{кр.л}$) является движением обкатки и должно соответствовать передаточному отношению

$$i = \frac{z_{II}}{z}$$

где z_{II} — фиктивное число зубьев производящего колеса; z — число зубьев нарезаемого колеса.

В результате главного и обкаточного движений на заготовке образуются две неполные впадины и один полностью обработанный зуб. После нарезания одного зуба заготовка отводится от резцов, направление вращения люльки с резцами и заготовки изменяется, затем они возвращаются в исходное положение (холостой ход). Во время отвода заготовки от резцов шпиндель бабки вместе с заготовкой поворачивается на угловой шаг $\left(\frac{1}{z} \text{ оборота}\right)$, обеспечивая деление. Затем заготовке сообщают подачу на глубину впадины, и начинается нарезание второго зуба.

6. Нарезание конических колес с круговыми зубьями на зуборезных станках

Конические колеса с круговыми зубьями (с криволинейным профилем, описанным по окружности) имеют значительные эксплуатационные преимущества (плавность и бесшумность работы, большую прочность зубьев, высокий к. п. д. и др.) по сравнению с коническими колесами с прямыми зубьями.

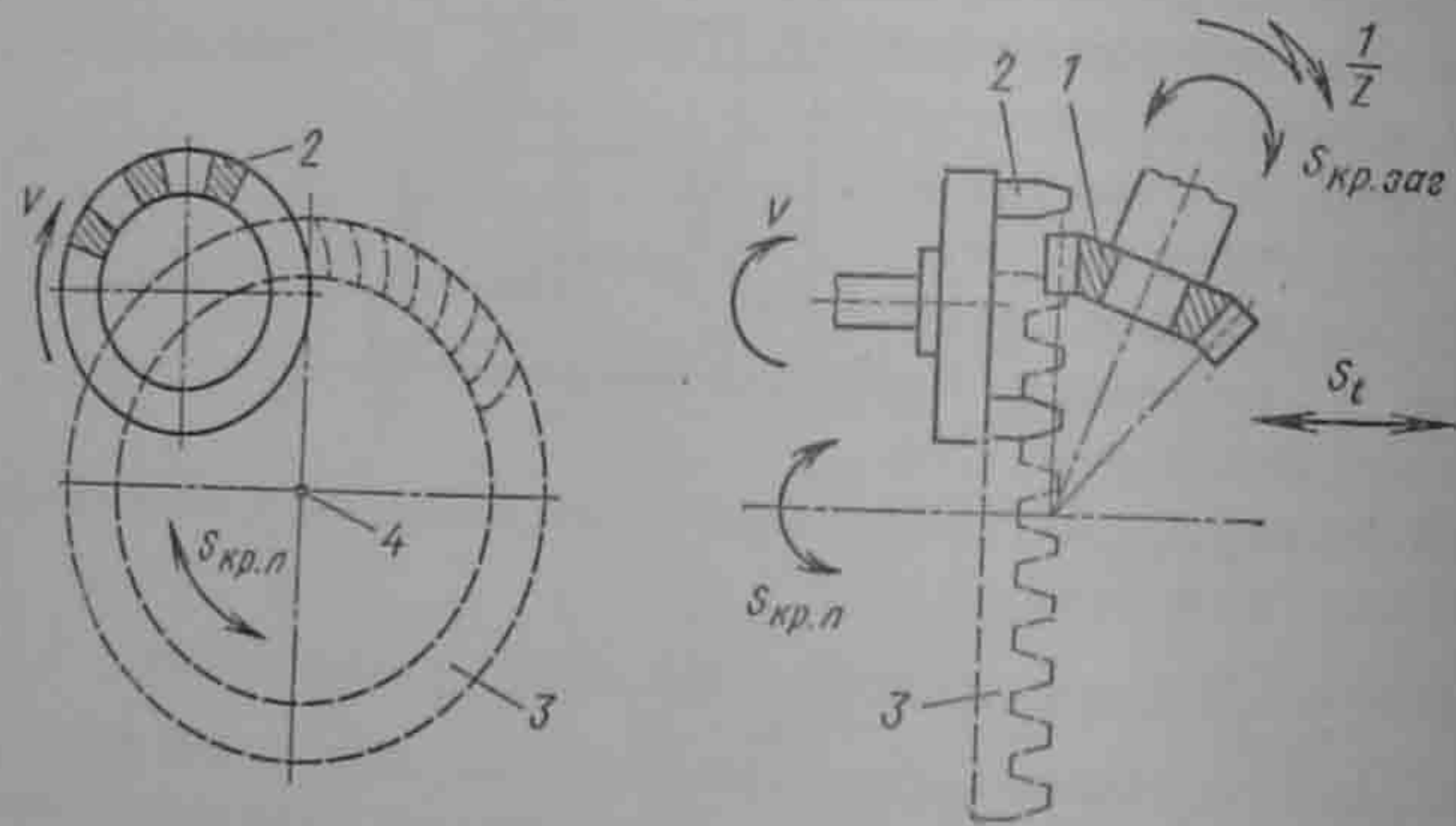


Рис. VI.116. Схема нарезания конического колеса с круговыми зубьями

Конические колеса с круговыми зубьями нарезают по методу обкатки резцовыми головками, у которых резцы расположены по окружности, на зуборезных станках специальной конструкции. Общая компоновка и конструкция зуборезного станка принципиально аналогичны зубострогальному станку для нарезания конических колес с прямыми зубьями.

На рис. VI.116 приведена схема нарезания конического колеса с круговыми зубьями. Нарезаемое коническое колесо 1 (заготовка) находится в зацеплении с плоским коническим колесом 3 с круговыми зубьями (круговой рейкой), которое является производящим колесом. Роль зубьев производящего колеса выполняют резцы резцовой головки 2, закрепленной на шпинделе люльки. Главным движением является вращение рез-

цовой головки вокруг своей оси. Вращение заготовки 1 вокруг своей оси (круговая подача заготовки $s_{кр. заг}$) и вращение резцовой головки 2 вокруг оси люльки 4 (круговая подача люльки $s_{кр. л}$) являются движением обкатки. При повороте заготовки на один зуб резцовая головка также поворачивается на угол, соответствующий одному зубу. Вращательное движение люльки продолжается до тех пор, пока не будет закончена обкатка профиля одной впадины, после чего заготовка отводится от резцовой головки, и люлька начинает вращение в обратную сторону. Заготовка продолжает вращаться в том же направлении. Когда люлька придет в исходное положение, заготовка займет угловое положение, соответствующее новой впадине. Затем заготовку подводят к резцовой головке, сообщая ей движение подачи s_t на глубину впадины, и цикл обработки повторяется.

7. Технологические требования к конструкциям зубчатых колес

Конфигурацию зубчатого колеса следует создавать из сочетания поверхностей простых геометрических форм. Несимметричное расположение элементов колеса и резкие переходы в конструкции

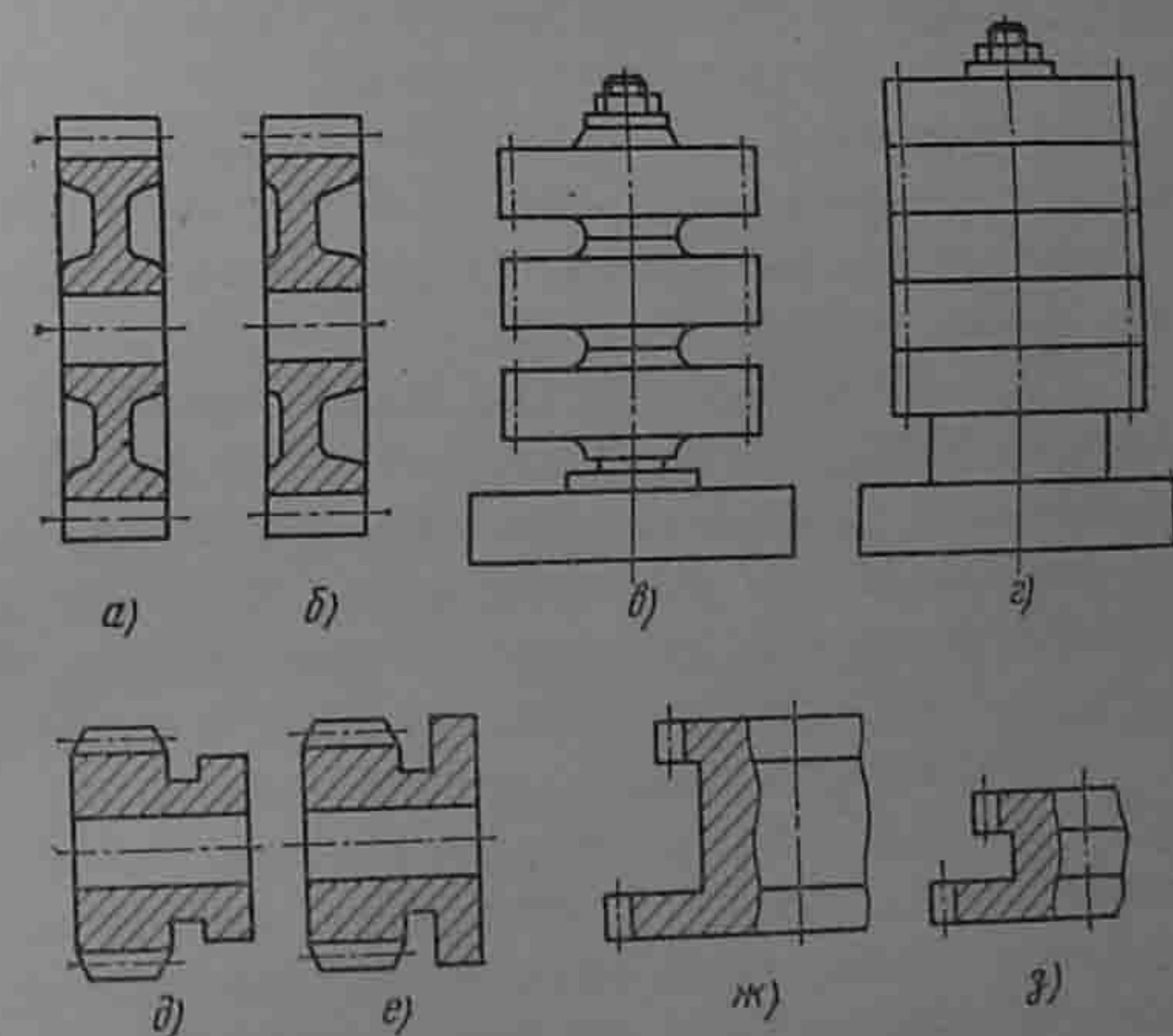


Рис. VI.117. Примеры технологических форм зубчатых колес

приводят к повышенной деформации зубьев при термической обработке (рис. VI.117, б). Термическая обработка колеса, показанного на рис. VI.117, а, не вызывает значительной деформации его зубьев.

Нарезание зубчатых колес с двусторонней ступицей одновременно на нескольких заготовках (рис. VI.117, в) вследствие нетехнологичности конструкции приводит к увеличению рабочего

хода инструмента. Форма зубчатого колеса, приведенная на рис. VI.117, *г*, дает возможность рационально нарезать колеса «пакетами».

При конструировании многовенцовых колес, а также колес с буртиками расстояние между венцами необходимо увязывать с диаметром фрезы, обеспечивая ей при нарезании колеса свободный выход (рис. VI.117, *д*). В конструкции колеса, приведенной на рис. VI.117, *е*, расстояние для выхода фрезы недостаточно.

При конструировании зубчатых колес следует также учитывать, что при нарезании блочных колес на зубофрезерных станках расстояние между зубчатыми венцами пришлось бы значительно увеличить для выхода фрезы (рис. VI.117, *ж*). При нарезании зубчатых колес на зубодолбежном станке расстояние для выхода долбяка может быть значительно уменьшено (рис. VI.117, *з*).

Глава 11. ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

1. Характеристика метода шлифования

Шлифованием называют процесс обработки заготовок резанием абразивными кругами. Абразивные зерна расположены в круге беспорядочно и удерживаются связующим материалом. При вращательном движении круга в зоне его контакта с заготовкой часть зерен срезает материал. С заготовки срезается очень большое число тонких стружек (до 100 млн. за 1 мин). Обработанная поверхность представляет собой совокупность микроследов абразивных зерен и имеет малую шероховатость. Часть зерен ориентирована так, что резать не может, но производит работу трения по поверхности резания.

Шлифовальные круги работают успешно на очень больших скоростях — до 30 м/с и более. Процесс резания каждым зерном осуществляется почти мгновенно.

В зоне резания выделяется большое количество теплоты. Мелкие частицы обрабатываемого материала, сгорая, образуют пучок искр, либо оплавляются. Абразивные зерна могут также оказывать на заготовку значительное силовое воздействие. Происходит поверхностное пластическое деформирование материала, искажение его кристаллической решетки. Деформирующая сила вызывает сдвиги одного слоя атомов относительно другого. Вследствие упругопластического деформирования материала обработанная поверхность упрочняется. Но этот эффект менее ощутим, чем при обработке металлическим инструментом.

Тепловое и силовое воздействия на обработанную поверхность приводят к структурным превращениям, изменениям физико-механических свойств поверхностных слоев обрабатываемого материала. Так образуется дефектный поверхностный слой детали. Для уменьшения тепловых эффектов материал шлифуют при обильной подаче смазочно-охлаждающих жидкостей.

Шлифование распространено очень широко. С его помощью можно производить чистовую и отделочную обработку деталей с высокой точностью. Обработке подвергают самые разнообразные материалы, а для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов формообразования. В отдельных случаях шлифование по эффективности соперничает с фрезерованием и точением.

2. Режим резания. Силы резания

Для формообразования любой поверхности шлифованием необходимо несколько движений: вращательное круга и относительные перемещения по координатным осям (рис. VI.118), которые могут быть заменены также вращательным движением вокруг осей.

Для рационального ведения шлифования необходимо назначать оптимальные режимы резания.
Скорость резания (в м/с) равна окружной скорости периферии шлифовального круга:

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60},$$

где n_k — частота вращения круга, об/мин; D_k — наружный диаметр шлифовального круга, мм.

Подачами являются перемещения заготовки или инструмента вдоль или вокруг координатных осей. Выражения и размерности подач определяются схемами шлифования. Глубина резания t (в мм) определяется толщиной слоя материала, срезаемого за один ход.

Оптимальные режимы резания выбирают по справочным данным.

Для расчета элементов шлифовальных станков, конструирования приспособлений для работы на них, оценки расчетным методом точности обработки и решения других технологических задач необходимо знать силы резания.

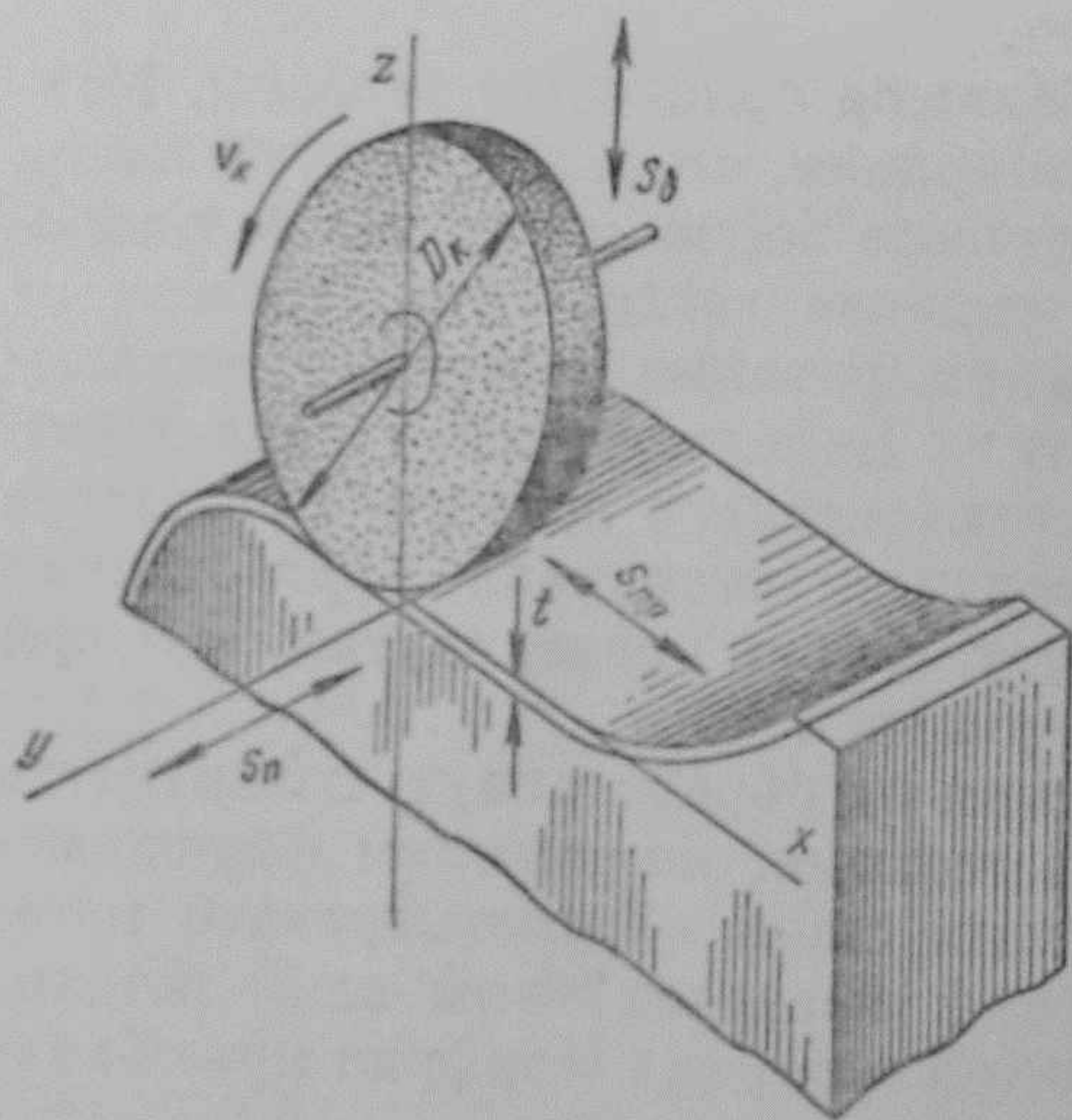


Рис. VI.118. Элементы резания при шлифовании

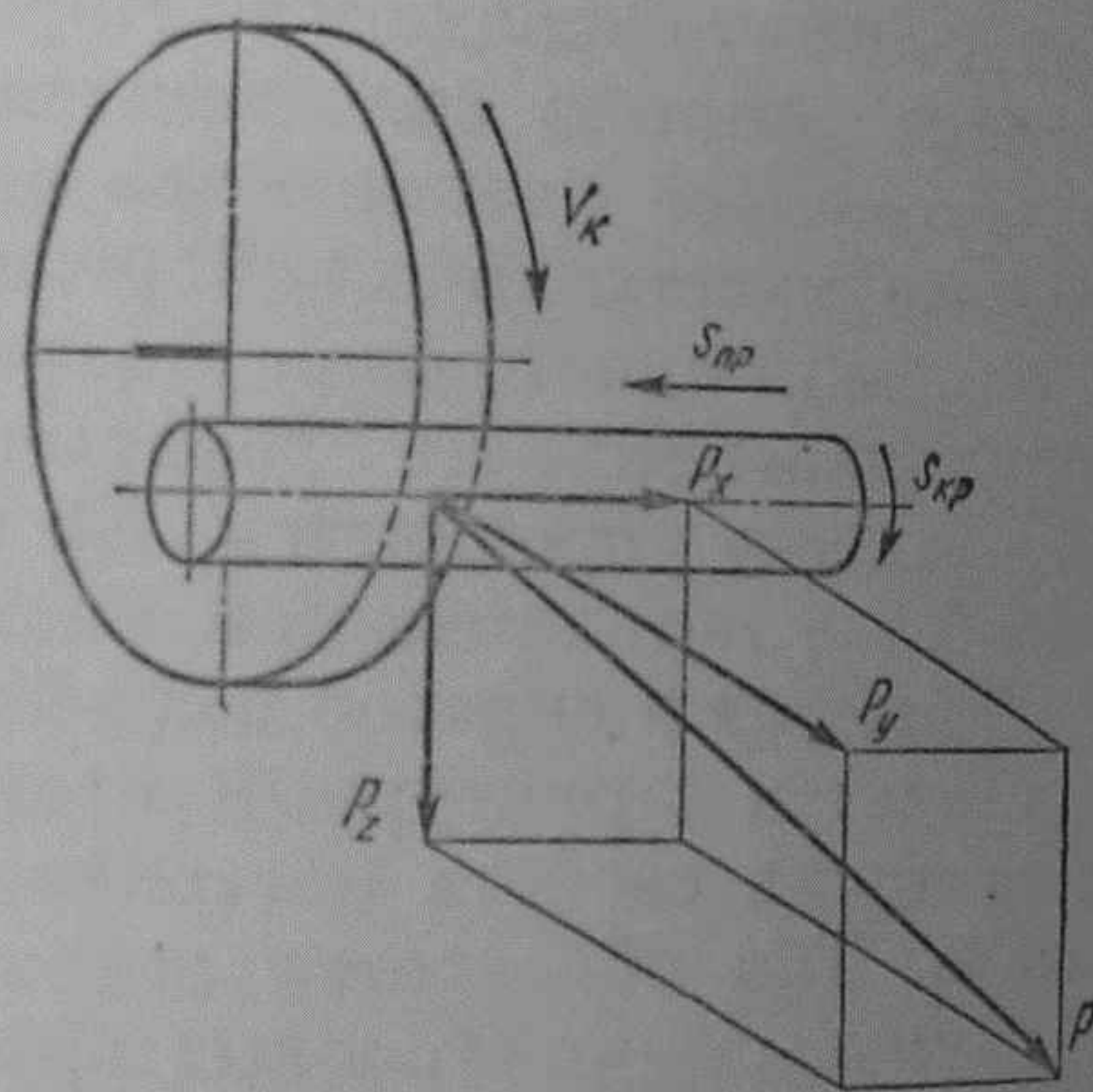


Рис. VI.119. Сила резания при шлифовании

Силы можно определять по справочным данным в зависимости от конкретных условий шлифования. Одним из основных условий является режим резания. Необходимо также знать характеристики круга и заготовки. Силы можно определять по эмпирическим формулам.

Для составляющей силы резания P_z (в Н) используют формулу вида

$$P_z = C_{P_z} v_{заг}^a s_{пр}^b t^c.$$

Коэффициент C_{P_z} и показатели степени a , b и c также обуславливаются условиями шлифования: $v_{заг} = s_{кр}$.

Радиальная составляющая силы резания

$$P_y = k P_z,$$

где k — коэффициент ($k > 1$).

Мощность электродвигателя (в кВт), приводящего во вращение шлифовальный круг,

$$N_k = \frac{P_z v_k}{10^3 \eta_1};$$

мощность (в кВт) электродвигателя для вращения заготовки

$$N_{заг} = \frac{P_z v_{заг}}{60 \cdot 10^3 \eta_2},$$

где η_1 и η_2 — соответственно к. п. д. кинематических цепей передачи вращения кругу и заготовке.

3. Основные схемы шлифования

Детали современных машин представляют собой сочетание плоских и круговых цилиндрических, конических наружных и внутренних поверхностей. Другие поверхности встречаются реже. В соответствии с формами деталей машин наиболее распространены схемы шлифования, приведенные на рис. VI.120.

Для всех технологических способов шлифовальной обработки главным движением резания v_k (в м/с) является вращение круга.

При плоском шлифовании возвратно-поступательное перемещение заготовки является продольной подачей $s_{пр}$ (в м/мин) (рис. VI.120, а). Для обработки поверхности на всю ширину b заготовка или круг должны перемещаться с поперечной подачей $s_{п}$ (в мм/дв. ход.). Это движение происходит прерывисто (периодически) при крайних положениях заготовки в конце продольного хода. Периодически производится и подача s_b (в мм) на глубину резания, которая осуществляется также в крайних положениях заготовки, но в конце поперечного хода.

При круглом шлифовании (рис. VI.120, б) продольная подача происходит за счет возвратно-поступательного движения заготовки. Подача $s_{пр}$ (в мм/об. заг.) соответствует осевому перемещению заготовки за один ее оборот. Вращение заготовки является круговой подачей $s_{кр}$ (в м/мин):

$$s_{кр} = \frac{\pi D_{заг} n_{заг}}{1000},$$

Вместе с этим режущая способность круга может оставаться достаточно высокой, так как правильно выбранный абразивный инструмент самозатачивается. Увеличивающаяся из-за износа зерен сила резания вырывает из связки круга затупившиеся зерна, а остальные зерна обнажаются и оказываются на поверхности. Полного самозатачивания кругов не происходит.

Правильному выбору связки придается большое значение. Если связка слабо удерживает зерна, то они будут удаляться с круга раньше, чем затупятся. Произойдет «осыпание» круга. При чрезмерно прочном удержании зерна сильно затупляются, а на рабочей поверхности круга появляется характерный блеск. Происходит «засаливание» круга. В том и другом случаях качество шлифуемой поверхности снижается.

Для восстановления режущих свойств абразивные инструменты правят. Сущность правки сводится к удалению затупившихся зерен и приданию шлифовальному кругу правильной геометрической формы. Чаще всего правят алмазом. Алмаз укрепляют в специальной державке и перемещают с подачей $s_{пр}$ относительно вращающегося круга. Правят при обильном охлаждении. Толщина удаляемого слоя шлифовального круга обычно не превышает 0,01—0,03 мм. Вместо единичного кристалла алмаза может быть закреплен алмазно-металлический карандаш, который состоит из ряда мелких алмазных зерен, распределенных по объему удерживающего их сплава.

Шлифовальные круги правят также правочными кругами из карбида кремния или обкаточными дисками из термостойкого или твердых сплавов. Безалмазные правочные инструменты удаляют затупившиеся зерна, вдавливаясь в рабочую поверхность круга. Время непрерывной работы инструмента между двумя правками характеризует период его стойкости. В зависимости от требований к качеству обработки и режимов резания стойкость инструмента ориентировочно составляет 5—40 мин.

6. Испытания и балансировка шлифовальных кругов

Перед установкой на шпиндель станка круги контролируют. Наличие трещин проверяют легким простукиванием деревянным молотком по торцу подвешенного круга. Если звук дребезжащий, круг должен быть забракован. На кругах диаметром свыше 150 мм должна быть обозначена максимально допустимая окружная скорость. Каждый круг предварительно испытывают на специальных станках при вращении со скоростью, в 1,5 раза превышающей указанную в маркировке.

Способ закрепления кругов определяется их размерами и формой. Шлифовальные круги с отверстиями диаметром 3—20 мм и наружным диаметром до 70 мм закрепляют на шпинделе станка с помощью винтов, ввертываемых в торец шпинделя. Круги с отверстиями большего диаметра закрепляют с помощью фланцев,

устанавливаемых на шпинделях. Некоторые типы кругов с помощью специальных веществ наклеивают на фланцы. Такой же метод закрепления используют для мелких кругов, имеющих сквозные отверстия (закрепление на шпильке).

При закреплении кругов для равномерного распределения давления по торцам необходимо предусматривать картонные прокладки между опорными поверхностями абразивного инструмента и зажимных деталей.

Если в процессе шлифования по ряду причин масса круга не будет распределена равномерно относительно оси вращения, возникает вибрация частей станка. На обработанной поверхности появляются характерные неровности. Шлифование на станке становится опасным, так как круг начинает работать с ударами и может разорваться.

Круги, устанавливаемые во фланцах, должны быть отбалансированы. Процесс балансировки предусматривает устранение неуравновешенности массы круга относительно оси шпинделя станка.

Неуравновешенность можно обнаружить с помощью разнообразных устройств, балансировочных приспособлений, установок, машин. Наиболее простым является приспособление для статической балансировки. Круг вместе с фланцами монтируют на балансировочной оправке и устанавливают на опорах так, чтобы он мог свободно поворачиваться относительно оси вращения. При статической неуравновешенности круг, поворачиваясь, устанавливается тяжелой частью вниз. В процессе балансировки неуравновешенность устраняется перемещением специальных грузиков, расположенных на фланцах либо в специальных устройствах.

После балансировки круг устанавливают вместе с фланцами на станок и предварительно правят. По окончании правки круг повторно балансируют. Наилучшие результаты дает балансировка в динамическом режиме при вращении шпинделя станка с установленным кругом. В этом случае неуравновешенность устраняется перемещением грузиков непосредственно на вращающемся фланце, либо удалением по торцу части круга со стороны «тяжелого» места.

7. Обработка заготовок на круглошлифовальных станках

Конструкции круглошлифовальных станков и их компоновка подчиняются основным схемам шлифования. Станки обеспечивают все необходимые для обработки движения и кинематические соотношения.

Круглошлифовальный станок состоит из следующих основных узлов: станины 1, стола 2, передней бабки 3 с коробкой скоростей, шлифовальной бабки 4, задней бабки 5 и привода стола 6 (рис. VI.121). Эти станки делят на простые, универсальные и врезные. Универсальные станки имеют поворотную переднюю и шлифовальную бабки. Каждую бабку можно повернуть на опре-

данный угол вокруг вертикальной оси и закрепить для последующей работы. Простые станки снабжены неповоротными бабчинками. У врезных станков отсутствует продольная подача стола, а шлифование ведется по всей длине заготовки широким абразивным кругом с поперечной подачей.

Для подачи углов круглошлифовальных станков широко используют гидравлические устройства. Возвратно-поступательное движение стола совершается с помощью гидроцилиндра и поршня. Управляют ими устройства, которые переключаются между крайними положениями. Гидравлические механизмы используют также для периодической подачи шлифовальной бабки. Они обеспечивают бесступенчатое регулирование подачи.

Крутовую подачу $s_{кр}$ заготовки обеспечивает специальный электродвигатель. Здесь используют бесступенчатое регулирование частоты вращения двигателя за счет изменения электрического сопротивления.

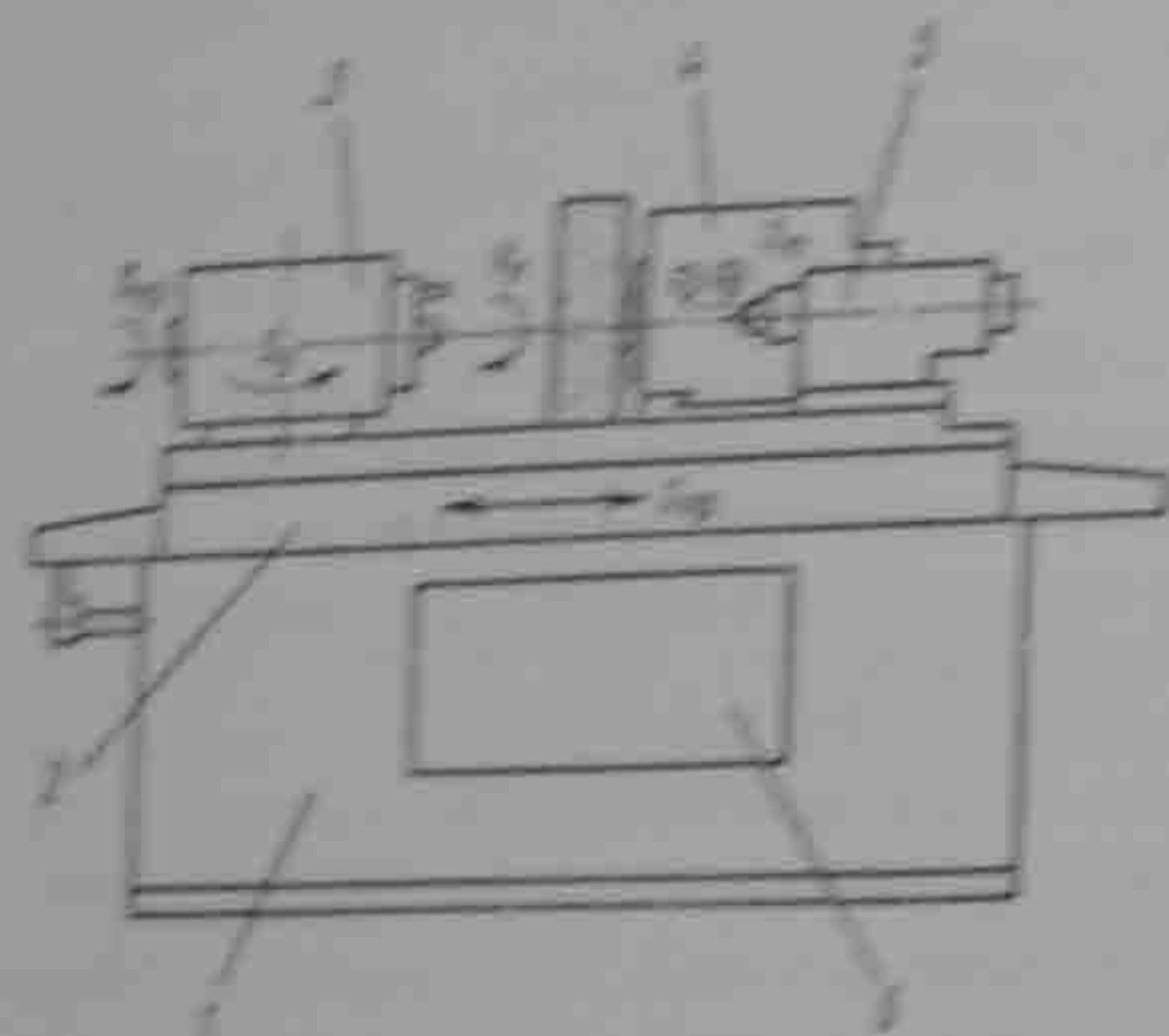


Рис. VI.121. Общий вид круглошлифовального станка

Шлифовальный круг вращается с помощью клиноременной передачи. После износа круга и уменьшения его диаметра используют другую пару шкивов.

Наиболее распространено шлифование в центрах. Для повышения точности обработки центры устанавливают неподвижно. Крутовая подача заготовки обеспечивается за счет поводкового устройства (поводок и конутик), приводимого в действие вращающейся планшайбой. Возможно поперечное закрепление заготовок в кулачковых патронах.

Крутое шлифование цилиндрических поверхностей может быть выполнено по одной из четырех схем (рис. VI.122).

При шлифовании с продольной подачей (рис. VI.122, а) заготовка вращается равномерно ($v_{кр}$) и совершает возвратно-поступательное движение ($s_{кр}$). В конце хода заготовки шлифовальный круг перемещается на $s_д$ и при следующем ходе срезается слой металла определенной глубины. Шлифуют до тех пор, пока не получат поверхность заготовки заданного размера.

Скорость v_k вращательного движения круга обеспечивает скорость резания.

Если необходимо шлифовать второй участок заготовки, станок останавливают, настраивают и регулируют упоры на столе для переключения $s_{кр}$ уже в новых положениях. Также устанавливают величину $s_д$, $s_{кр}$ и $v_{кр}$ в зависимости от требуемой шероховатости поверхности.

При шлифовании с поперечной подачей (рис. VI.122, б) заготовка вращается равномерно ($v_{кр}$) и совершает возвратно-поступательное движение ($s_{кр}$). Шлифовальный круг перемещается поперек заготовки с постоянной подачей $s_д$ (в мм/об. заг.). до достижения необходимого размера поверхности. Этот же метод используют при шлифовании фасонных поверхностей и кольцевых канавок. Шлифовальный круг направляют в соответствии с формой поверхности или канавки.

При шлифовании заготовок недостаточной жесткости возникает опасность их чрезмерных прогибов от сил резания. В этих случаях на столе устанавливают ляметы, число которых определяется конструкцией заготовки.

Для повышения производительности процесса шлифования специальными быстродействующими поводковыми устройствами,

При шлифовании заготовок недостаточной жесткости возникает опасность их чрезмерных прогибов от сил резания. В этих случаях на столе устанавливают ляметы, число которых определяется конструкцией заготовки.

Для повышения производительности процесса шлифования специальными быстродействующими поводковыми устройствами,

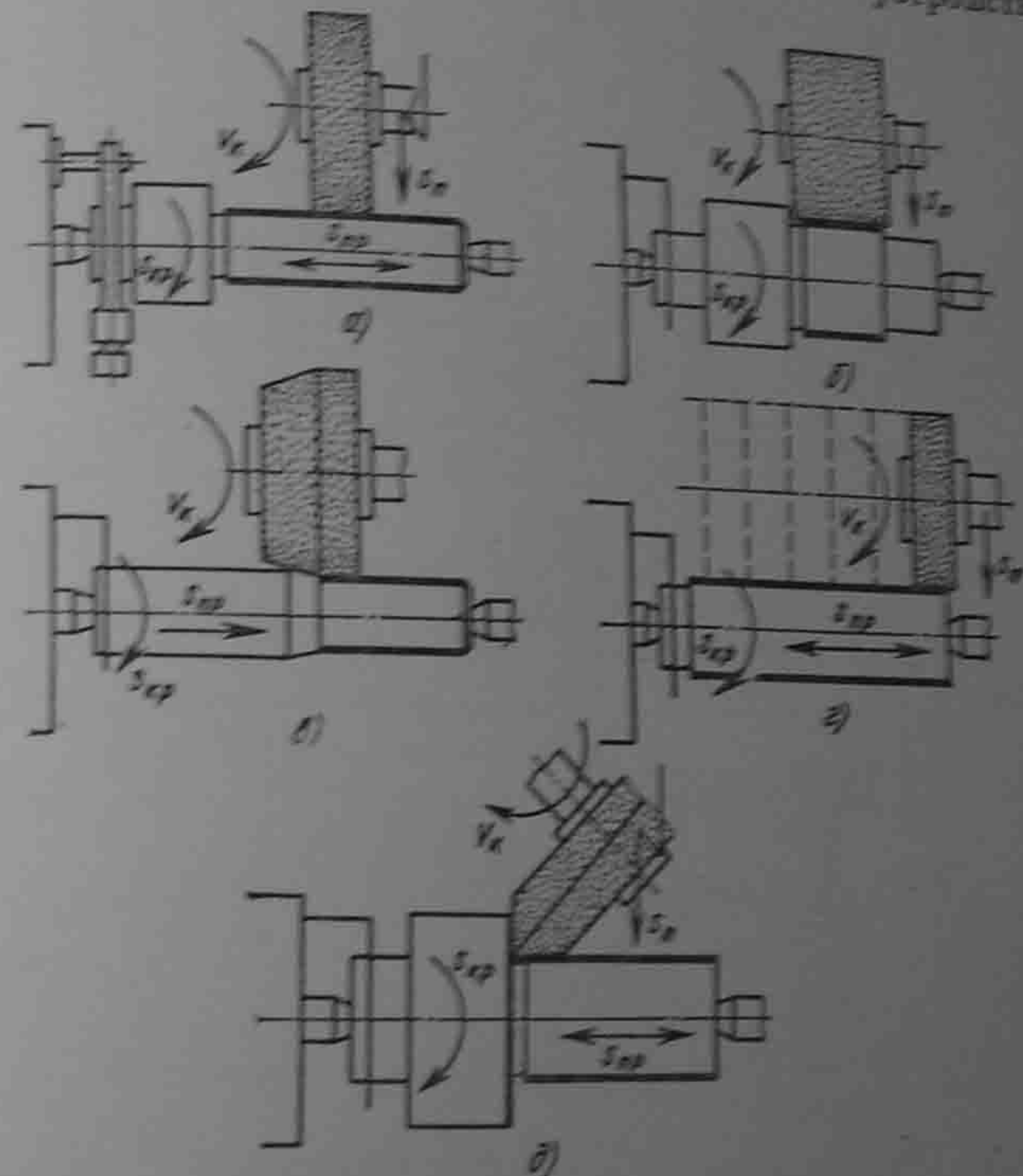


Рис. VI.122. Схемы обработки заготовок на круглошлифовальных станках

а также измерительными устройствами, которые прекращают этот процесс по достижении необходимого размера.

Производительным способом обработки является врезное шлифование (рис. VI.122, б). Его применяют при обработке жестких заготовок в тех случаях, когда ширина шлифуемого участка меньше ширины шлифовального круга. Круг перемещается с постоянной подачей $s_д$ (в мм/об. заг.) до достижения необходимого размера поверхности. Этот же метод используют при шлифовании фасонных поверхностей и кольцевых канавок. Шлифовальный круг направляют в соответствии с формой поверхности или канавки.

Глубинным шлифованием (рис. VI.122, в) за один проход снимают слой материала на всю необходимую глубину. На шлифовальном круге формируют конический участок длиной 8—12 мм. В ходе шлифования конический участок удаляет основную часть срезаемого слоя, а цилиндрический участок зачищает обработанную поверхность. Поперечная подача отсутствует. Конструктивное оформление заготовки должно обеспечивать возможность шлифования данным способом.

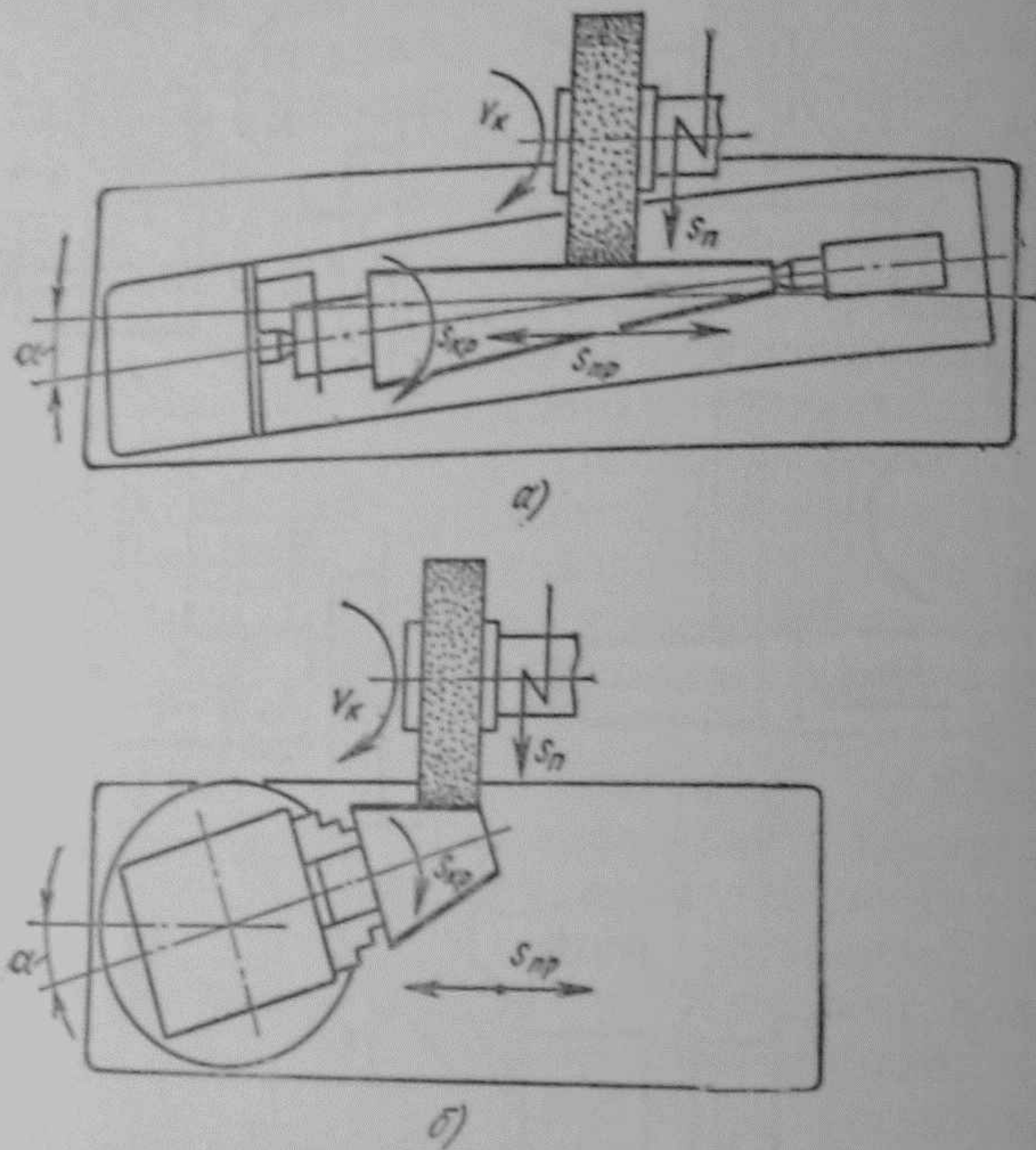


Рис. VI.123. Схемы шлифования конических поверхностей

Шлифование уступами (рис. VI.122, г) — это сочетание методов, представленных на рис. VI.122, а и б. Процесс шлифования состоит из двух этапов. На первом этапе шлифуют врезанием с подачей s_n (в мм/об. заг.), передвигая периодически стол на 0,8—0,9 ширины круга (показано штриховой линией). На втором этапе делают несколько ходов с продольной подачей s_{np} для зачистки поверхности при выключенной подаче s_n .

Во многих случаях необходимо обеспечить на деталях правильное взаимное расположение цилиндрических и плоских (торцовых) поверхностей. Для выполнения этого условия шлифовальный круг заправляют так, как показано на рис. VI.122, д, и поворачивают на определенный угол. Шлифуют коническими участками круга. Цилиндрическую поверхность обрабатывают по схеме, аналогичной схеме, показанной на рис. VI.122, а, с периодической подачей s_n на глубину резания. Обработка торцовой поверхности де-

тали заканчивается чаще всего с подачей вручную при плавном подводе заготовки к кругу.

Наружные конические поверхности шлифуют по двум основным схемам. При обработке заготовок в центрах (рис. VI.123, а) верхнюю часть стола поворачивают вместе с ними на угол α так, что положение образующей конической поверхности совпадает с направлением продольной подачи s_{np} . Далее шлифуют по аналогии с обработкой цилиндрических поверхностей.

При консольном закреплении заготовок (рис. VI.123, б) на угол α (половина угла конуса) поворачивается передняя бабка. Существуют и другие, менее распространенные методы шлифования конических поверхностей.

Основное (технологическое) время (в мин), необходимое для круглого шлифования по распространенной схеме, приведенной на рис. VI.122, а,

$$T_0 = \frac{Li}{s_{np} n_{заг}},$$

где L — длина хода стола, мм; i — число ходов.

8. Обработка заготовок на внутришлифовальных станках

Внутришлифовальные станки имеют компоновку, аналогичную компоновке круглошлифовальных станков, однако у них нет задней бабки. Инструмент расположен на консольном шпинделе шлифовальной бабки, которая установлена на столе, совершающем продольное возвратно-поступательное движение.

Внутреннее шлифование применяют для получения высокой точности отверстий на заготовках, как правило, прошедших термическую обработку. Возможно шлифование сквозных, несквозных (глухих), конических и фасонных отверстий. Диаметр шлифовального круга составляет 0,7—0,9 диаметра шлифуемого отверстия. Кругу сообщают высокую частоту вращения в минуту: она тем выше, чем меньше диаметр круга. Производительность шлифования снижается в связи с необходимостью работы с малыми подачами и глубинами резания консольно расположенного круга и частой его правкой.

На рис. VI.124, а приведена схема шлифования с закреплением заготовки в трехкулачковом патроне. Если наружная поверхность детали несимметрична относительно оси отверстия, применяют четырехкулачковые патроны или зажимные приспособления.

Технологическое назначение движений такое же, как и движений на круглошлифовальных станках, что позволяет шлифовать отверстия на всю длину либо частично. На внутришлифовальных станках также обрабатывают и внутренние торцовые поверхности. Внутренние фасонные поверхности шлифуют специально заправленным кругом методом врезания (например, фасонные кольцевые канавки различной формы).

Внутренние конические поверхности шлифуют с поворотом передней бабки таким образом, чтобы образующая конуса располагалась вдоль направления продольной подачи. Сочетание различных поверхностей образует отверстия сложных конфигураций. Современные внутришлифовальные станки позволяют обрабатывать такие поверхности с высокой степенью точности.

Заготовки больших размеров и массы шлифовать описанными методами не рационально. В этих случаях применяют планетарное шлифование (рис. VI.124, б). Заготовку закрепляют на столе станка неподвижно. Шлифовальный круг вращается вокруг своей оси, а также вокруг оси отверстия ($s_{пл}$), что аналогично круговой подаче (положение круга, совершившего в планетарном движении

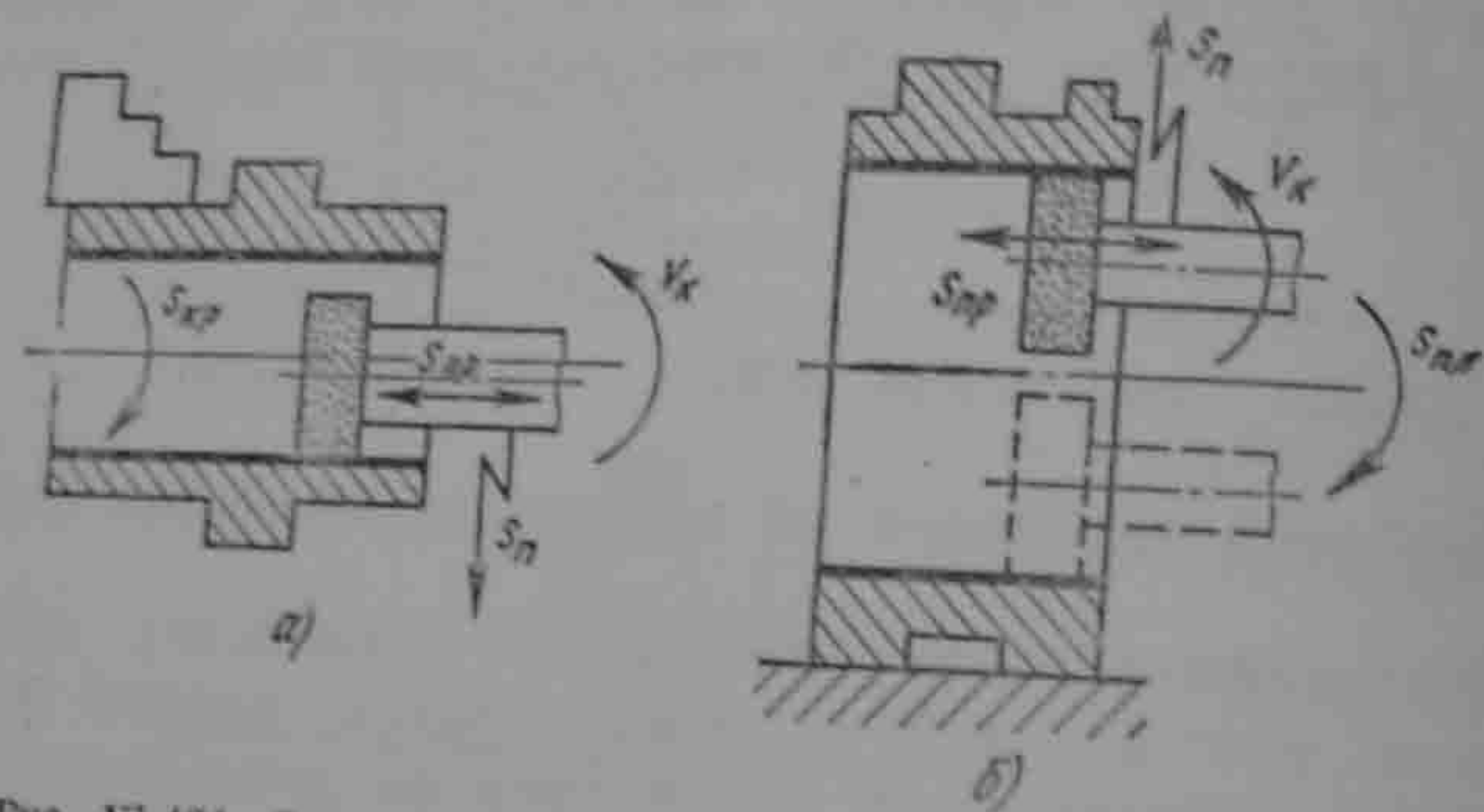


Рис. VI.124. Схемы обработки заготовок на внутришлифовальных станках

пол-оборота, показано штриховой линией). Планетарным шлифованием можно обрабатывать внутренние фасонные и торцовые поверхности, а также отверстия, положения которых определенным образом связаны друг с другом (например, на деталях типа корпусов).

Некоторые трудности вызывает шлифование отверстий малого диаметра. Для обеспечения необходимой скорости резания шлифовальный круг имеет частоту вращения, достигающую до десятков и сотен тысяч в минуту. Шлифование на более низких скоростях не обеспечивает необходимого качества обработки и снижает стойкость кругов.

9. Обработка заготовок на бесцентрово-шлифовальных станках

Процесс шлифования на бесцентрово-шлифовальных станках характеризуется высокой производительностью. Заготовку обрабатывают в незакрепленном состоянии. Для шлифования заготовок типа валов также не требуется центровых отверстий.

На станине I бесцентрово-шлифовального станка (рис. VI.125) установлены два круга: шлифовальный на бабке 2 и ведущий на бабке 4. Каждый из кругов периодически правят с помощью

механизмов 3 и 5. Заготовка вращается на ноже 6 и одновременно контактирует с обоими кругами. Для перемещения заготовки по ножи с продольной подачей бабку ведущего круга поворачивают на небольшой угол. При шлифовании заготовок с уступами бабку ведущего круга не поворачивают, она перемещается по направляющим станины с подачей $s_{пл}$ до определенного положения.

Заготовку 3 (рис. VI.126, а) устанавливают на нож 2 между двумя кругами — рабочим 1 и ведущим 4. Рабочий и ведущий круги вращаются в одном направлении, но с разными скоростями. Трение между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между ней и рабочим кругом. Вследствие этого заготовка увлекается во вращение со скоростью, близкой к окружной скорости ведущего круга.

Перед шлифованием ведущий круг устанавливают под углом θ ($1-7^\circ$) к оси вращения заготовки. Вектор скорости этого круга разлагается на составляющие, и возникает продольная подача $s_{пр}$. Поэтому заготовка перемещается по ножи вдоль своей оси и может быть прошлифована на всю длину. Чем больше угол θ , тем больше подача. Вслед за первой заготовкой сразу же может быть положена на нож для шлифования вторая, затем третья и т. д. Такие станки легко автоматизировать, установив наклонный лоток, по которому заготовки будут сползать на нож, подаваться через зону шлифования и падать в тару.

Заготовки ступенчатой формы или с фасонными поверхностями шлифуют методом врезания (рис. VI.126, б). Перед шлифованием ведущий круг отводят в сторону, заготовку укладывают на нож и затем поджимают ее ведущим кругом. Обрабатывают с поперечной подачей $s_{п}$ до получения необходимого размера детали. После шлифования обработанную деталь удаляют из зоны резания выталкивателем.

Для шлифования поверхностей методом врезания абразивный инструмент заправляют в соответствии с профилем детали.

Осевое положение заготовки определяется торцовым упором (на рис. VI.126 не показан). Для поджима к нему заготовки ведущий круг поворачивают на небольшой угол. На таких станках можно также шлифовать конические поверхности.

Аналогичный принцип работы используют при шлифовании на бесцентровых внутришлифовальных станках для обработки

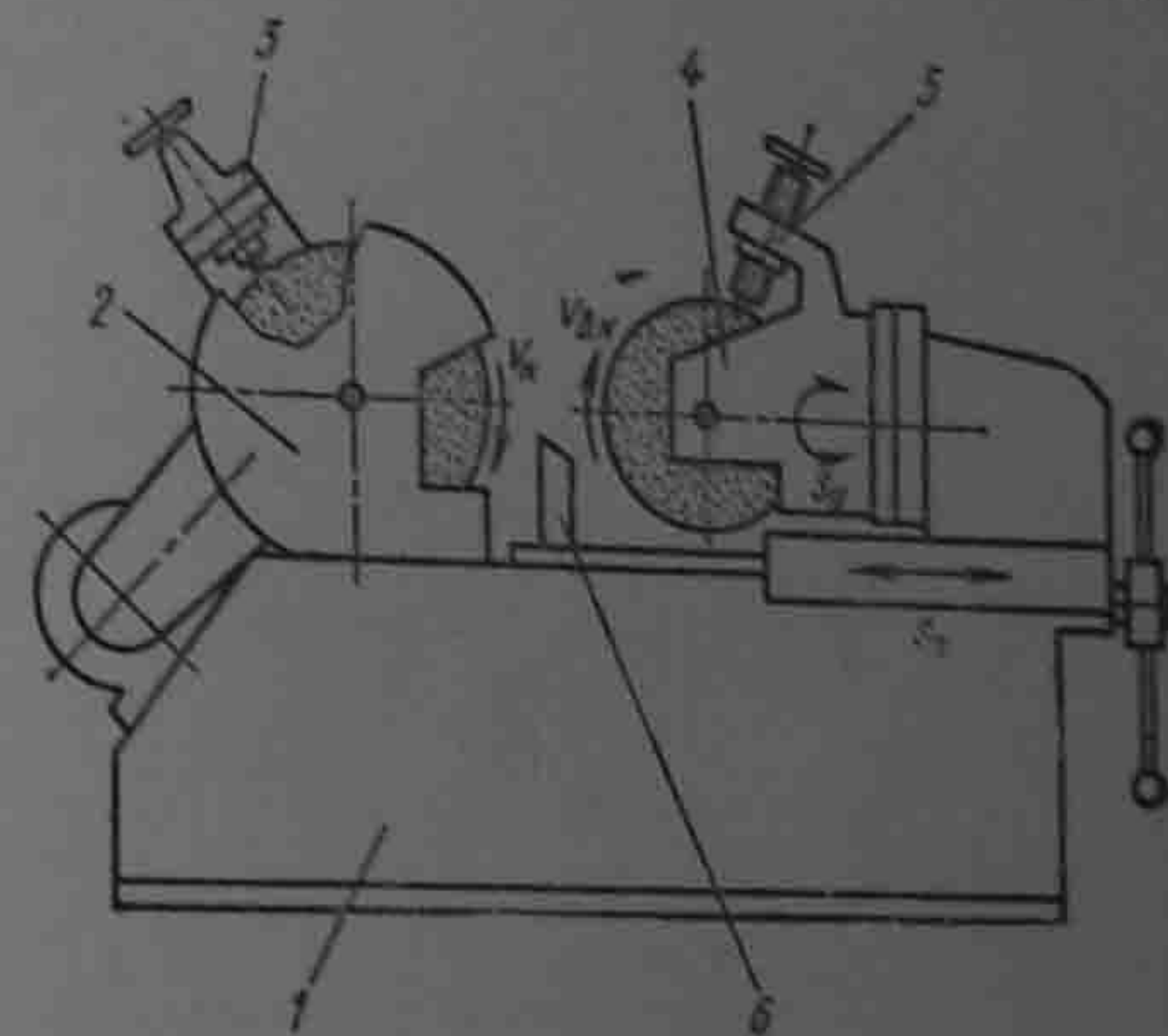


Рис. VI.125. Общий вид бесцентрово-шлифовального станка

цилиндрических и конических отверстий в заготовках, имеющих наружную цилиндрическую поверхность. Заготовку устанавли-

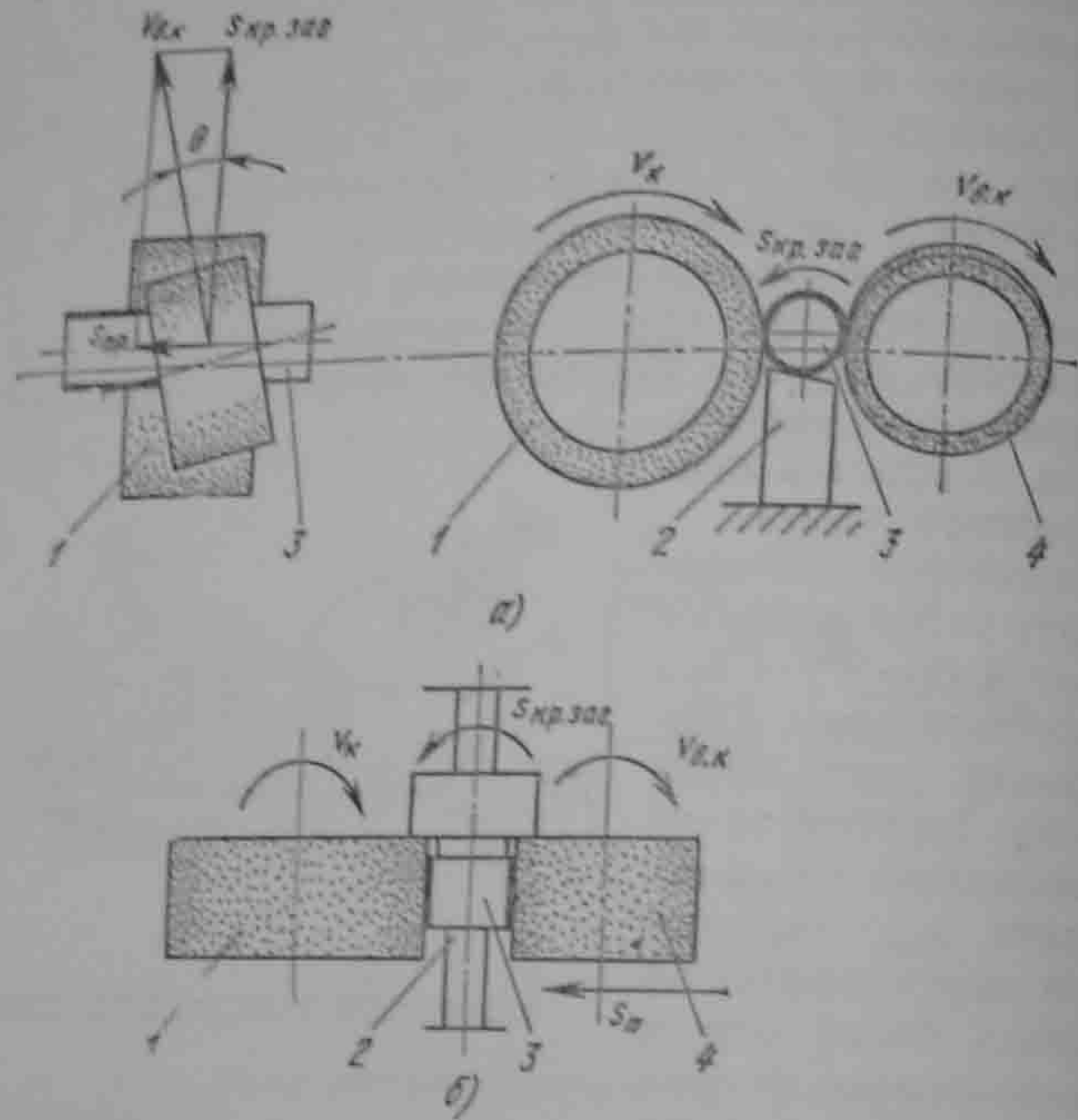


Рис. VI.126. Схемы обработки заготовок на бесцентрово-шлифовальных станках

вают по наружной поверхности между тремя вращающимися элементами: опорным роликом, прижимным роликом и ведущим барабаном. Шлифующий круг располагается в отверстии консольно и движется возвратно-поступательно вдоль оси отверстия.

10. Обработка заготовок на плоскошлифовальных станках

Плоскошлифовальный станок с прямоугольным столом состоит из станины 4, стола 3, стойки 2, шлифовальной бабки 1 и привода стола 5 (рис. VI.127).

Плоские поверхности шлифуют периферией круга. Движения подачи осуществляют приводом станка либо вручную. Продольное перемещение стола $S_{пр}$ обеспечивается чаще всего с помощью гидравлического устройства — поршня, цилиндров и органов управления.

У другого типа станков вместо возвратно-поступательного стол совершает вращательное движение. В этом случае его выполняют станка предусматривает также вращения. Компонировка такого шлифовального круга. Плоскости обрабатываются его торцевой поверхностью.

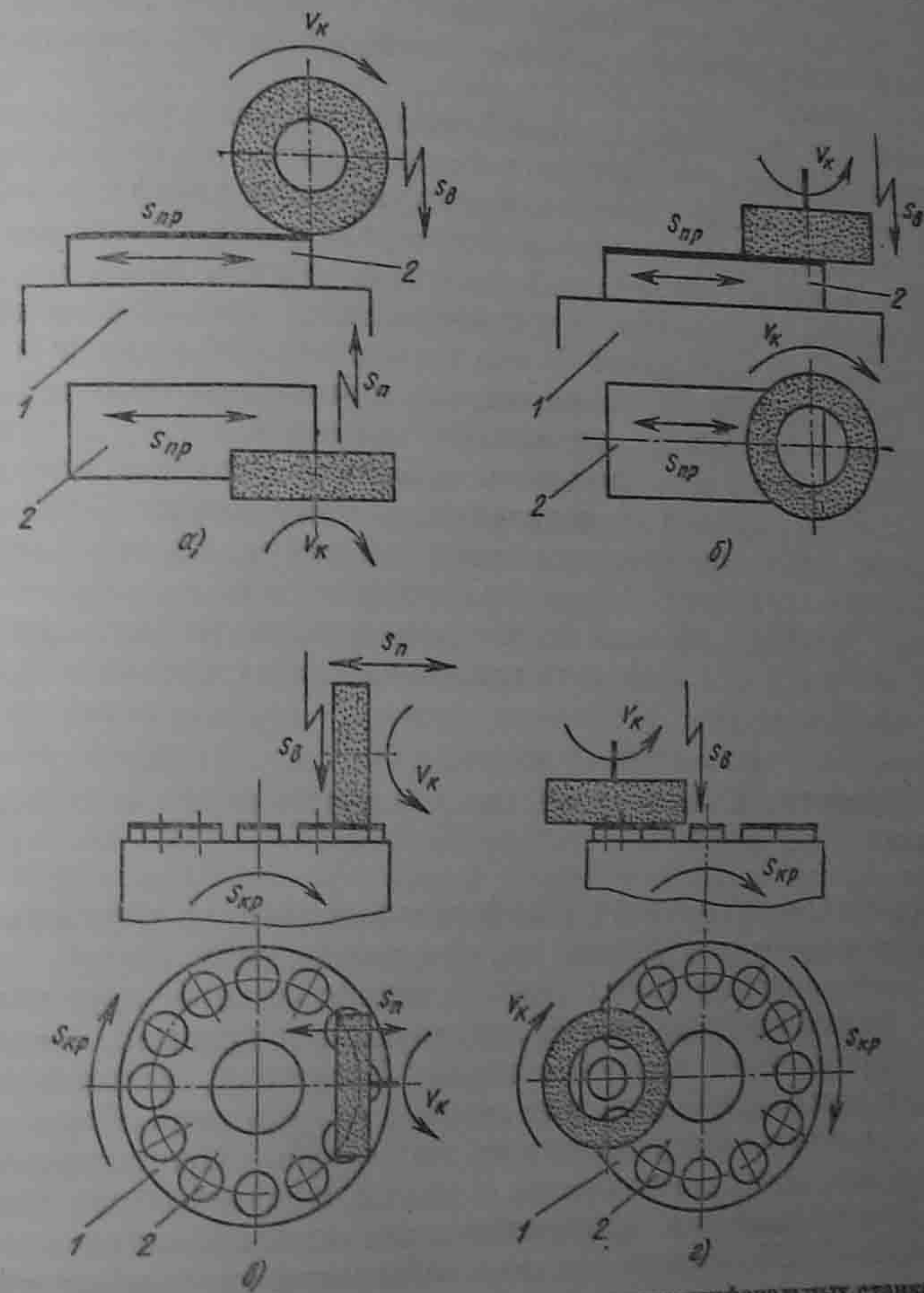


Рис. VI.128. Схема обработки заготовок на плоскошлифовальных станках

Наиболее распространены на практике четыре схемы плоского шлифования (рис. VI.128). Шлифуют периферией и торцевой поверхностью круга. Заготовки 2 закрепляют на прямоугольных или круглых столах 1 с помощью магнитных плит, а также в зажимных приспособлениях. Возможно закрепление одной или одновременно многих заготовок. Заготовки размещают на столах, затем включают ток и они притягиваются к магнитной плите.

Рис. VI.127. Общий вид плоскошлифовального станка

Прямоугольные столы совершают возвратно-поступательные движения, обеспечивая продольную подачу. Подача на глубину резания осуществляется в крайних положениях столов. Поперечная подача необходима в тех случаях, когда ширина круга меньше ширины заготовки (рис. VI.128, а).

Круговые столы (рис. VI.128, б) совершают вращательные движения, обеспечивая круговую подачу. Остальные движения совершаются по аналогии с движениями при шлифовании на прямоугольных столах.

Более производительное шлифование торцом круга, так как в работе одновременно участвует большее число абразивных зерен (рис. VI.128, б, в). Но шлифование периферией круга с использованием прямоугольных столов расширяет технологические возможности станка. Периферией круга шлифуют, например, дно паза, производят профильное шлифование, предварительно заправив по соответствующей форме шлифовальный круг, и выполняют другие работы. Меньшее тепловыделение при этом приводит к меньшему короблению шлифуемых заготовок.

Круги, работающие торцом и имеющие большие диаметры, выполняют составными из отдельных частей-сегментов. Сегменты закрепляют на массивном металлическом диске, выступ которого надежно их охватывает. При этом повышается безопасность шлифования, а глубина резания может быть достаточно большой. Становится возможным шлифовать заготовки без их предварительной обработки.

11. Обработка заготовок на специализированных и заточных станках

На специализированных шлифовальных станках обрабатывают поверхности заготовок вполне определенного вида.

На резьбошлифовальных станках шлифовальный круг заправляют по форме впадины резьбы, которую, как правило, предварительно нарезают на других станках. Заготовка, установленная в центрах резьбошлифовального станка, за один свой оборот перемещается в осевом направлении на шаг резьбы. Прошлифованная резьба имеет высокую точность и малую шероховатость поверхности. Для увеличения производительности шлифования профиль абразивного инструмента должен обеспечивать одновременную обработку нескольких витков резьбы (многониточный круг).

Некруговые цилиндрические поверхности (кулачки) шлифуют (например, в автотракторостроении) на специализированных станках-полуавтоматах (рис. VI.129). В большинстве случаев профиль кулачков очерчивается дугами окружностей нескольких радиусов или дугами окружностей и прямыми. Такие поверхности, расположенные на валах, шлифуют по копиру так, что расстояние A между центрами вала и шлифовального круга постоянно изменяется. Обработывают методом врезания. После обработки одного

кулачка шлифовальный круг устанавливают у следующего, и профиль его шлифуют по той же схеме.

Профили некоторых деталей, например турбинных лопаток, очень сложны. Для их шлифования требуется несколько копирных устройств. Обработку можно упростить, если абразивный инструмент в процессе резания будет огибать сложную форму шлифуемой поверхности. Таким инструментом является бесконечная абразивная лента. На специализированных лентошлифовальных станках используют ленту, изготовленную из бумаги или ткани с нанесенным абразивным слоем. Скорость движения ленты и давление в процессе резания зависят от обрабатываемого материала.

Соответствующие специализированные шлифовальные станки используют для обработки шлицевых валов, профилей зубьев у зубчатых колес, сложных фасонных поверхностей у штампов, пресс-форм и других деталей.

Широко используют заточные станки для обработки разнообразного режущего инструмента. При заточке на точильно-шлифовальных станках резцы устанавливают на поворотный столик или подручник, а затем вручную прижимают к шлифовальному кругу обрабатываемой поверхностью. Заточка резцов на универсально-заточных станках в поворотных тисках позволяет получать наиболее точные геометрические параметры режущей части резца.

При заточке спиральных сверл шлифовальные круги совершают ряд сложных относительных формообразующих движений. Наиболее распространенный метод заточки предусматривает вращение сверла вокруг оси и одновременно возвратно-поступательные его движения.

Для заточки некоторых видов инструмента применяют специализированные заточные станки. На таких станках можно, например, затачивать зубья плоских, круглых и шлицевых протяжек. Круговые протяжки для заточки устанавливают на столе в центрах передней и задней бабок, а плоские — в тисках или на магнитной плите. Для получения необходимых геометрических параметров зубьев шлифовальную головку поворачивают вокруг горизонтальной и вертикальной осей и в таком положении закрепляют.

12. Технологические требования, предъявляемые к заготовкам, обрабатываемым на шлифовальных станках

При шлифовании ступенчатых валов (рис. VI.130, а) необходимо предусматривать центровые отверстия 1 , а на пустотелых деталях — установочные фаски $б$, облегчающие контроль и обес-

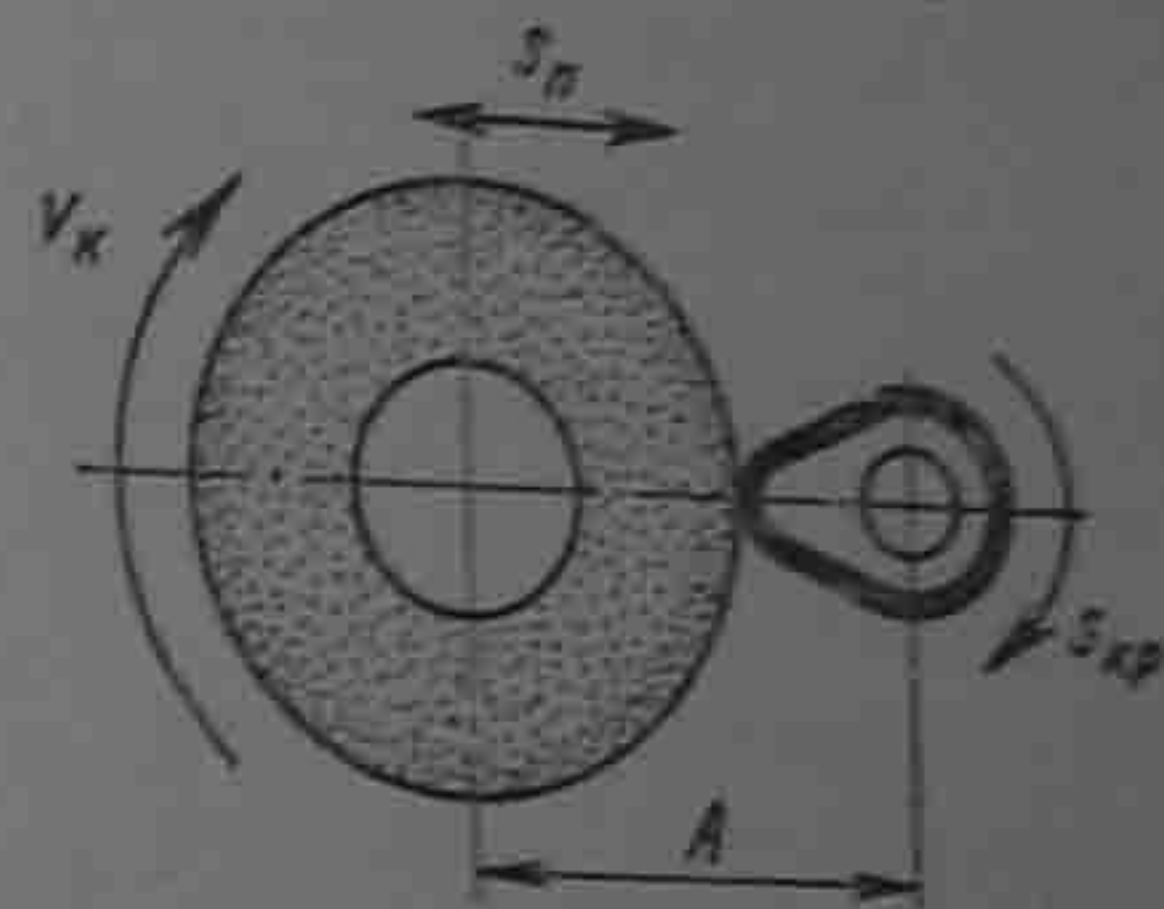


Рис. VI.129. Схема шлифования кулачков

печивающие лучшую соосность обрабатываемых участков. Между шейками вала и торцами из-за непрерывного осыпания круга образуется галтель 5. В тех случаях, когда этого нельзя допустить по условиям работы детали, предусматривают технологические канавки 2 для выхода шлифовального круга. Если необходимо

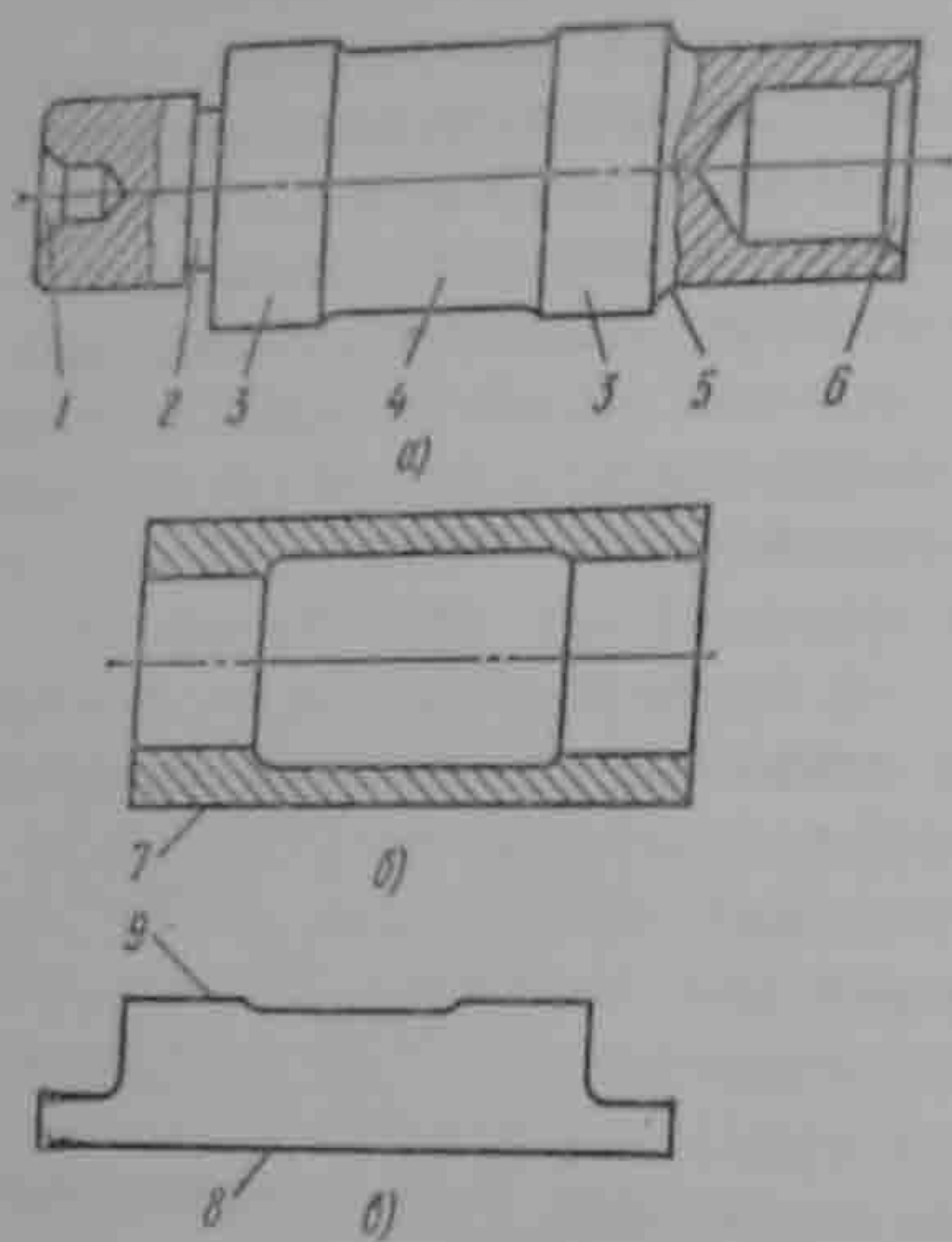


Рис. VI.130. Форма деталей, обрабатываемых на станках шлифовальной группы

оставить галтели, то на чертеже детали указывают максимально возможный радиус перехода. Следует избегать конструирования валов с большой разностью диаметров отдельных участков. Точно обработанные, например, цилиндрические поверхности 3 нужно разделять введением проточек 4, поверхности которых можно не шлифовать.

На деталях, обрабатываемых в патроне (рис. VI.130, б), надо предусматривать такие поверхности 7, которые обеспечивают правильную установку и надежное закрепление деталей при обработке. Наиболее надежно закрепление по цилиндрическим поверхностям. Поверхности точно обрабатываемых отверстий следует разделять введением выточек. Предпочтительнее жесткие детали. Закрепление в патронах тонкостенных (нежестких) деталей может вызвать большие деформации и снизить точность обработки. Шлифование отверстий малых диаметров связано с трудностями и должно назначаться в исключительных случаях.

Плоские поверхности деталей должны быть расположены перпендикулярно или параллельно (рис. VI.130, в, поверхность 9) основанию 8, на котором закрепляют заготовку. Шлифуемые поверхности желательно располагать в одной плоскости.

1. Общие сведения

Дальнейшее развитие машиностроения связано с увеличением нагрузок на детали машин, увеличением скоростей движения, уменьшением массы конструкций. Выполнить это возможно при достижении особых качеств поверхностей деталей. Однако эти качества не всегда могут быть обеспечены описанными методами. Поэтому требуется дополнительная отделочная обработка для повышения точности, уменьшения шероховатости поверхностей или для придания им особого вида, что важно для эстетических или санитарно-гигиенических целей.

Велика роль отделочной обработки в повышении надежности работы деталей машин. Для отдельных методов обработки характерны малые силы резания, небольшие толщины срезаемых слоев материала, незначительное тепловыделение. При обработке силы, прикладываемые для закрепления заготовок, относительно невелики. Поэтому заготовки деформируются незначительно. Эти технологические особенности способствуют дальнейшему развитию и широкому применению методов отделочной обработки.

Отделочными методами обработки являются тонкое обтачивание, тонкое растачивание, тонкое шлифование, полирование, притирка, абразивно-жидкостная отделка, хонингование, суперфиниширование. Распространены отделочные методы обработки зубчатых колес: зубозакругление, зубошевингование, зубохонингование, зубошлифование и зубопритирка.

2. Методы отделки поверхностей чистовыми резцами и шлифовальными кругами

Тонким обтачиванием иногда заменяют шлифование. Процесс осуществляется при высоких скоростях резания, малых глубинах и подачах. Находят применение токарные резцы с широкими режущими лезвиями, расположенными строго параллельно оси обрабатываемой заготовки. Подача на оборот заготовки составляет не более 0,8 ширины лезвия, а глубина резания — не более 0,5 мм. Это приводит к уменьшению шероховатости обрабатываемой поверхности.

Алмазными резцами обтачивают заготовки из цветных металлов и сплавов, пластмассы и другие неметаллические материалы. Обладая очень высокой стойкостью, алмазные резцы продолжительное время работают без подналадки и обеспечивают высокую точность.

Тонкое обтачивание требует применения быстроходных станков высокой жесткости и точности, а также качественной предва-

рительной обработки заготовок. Это же необходимо при тонком строгании. Применяют и тонкое фрезерование.

Тонким растачиванием заменяют шлифование, особенно в тех случаях, когда заготовки выполнены из вязких цветных сплавов, либо из стали, но являются тонкостенными. Тонкое растачивание целесообразно при точной обработке глухих отверстий или когда по условиям работы детали не допустимо, чтобы абразивные зерна оставались в порах обработанной поверхности.

Режимы резания при тонком растачивании аналогичны режимам при тонком обтачивании. Необходимо использование жестких станков и исключение вибраций шпинделей и оправок с расточным инструментом. Расточные резцы выполняют из твердого сплава или алмазов.

Тонкое шлифование производят мягким, мелкозернистым кругом при больших скоростях резания ($v_k > 40$ м/с) и очень малой глубине резания. Шлифование сопровождается обильной подачей охлаждающей жидкости. Особую роль играет жесткость станков, способных обеспечить безвибрационную работу.

Для тонкого шлифования характерен процесс «выхаживания». По окончании, например, обработки вала подача на глубину резания выключается, а продольная подача не включается. Процесс обработки, тем не менее, продолжается за счет упругих сил, возникающих в станке и заготовке, когда они были деформированы силой резания при шлифовании с подачей на глубину. В таком режиме станок работает некоторое время, силы резания постепенно уменьшаются, становясь исчезающе малыми, а точность обработки значительно повышается.

3. Полирование заготовок

Полированием уменьшают шероховатость поверхностей заготовок. Этим методом получают зеркальный блеск на ответственных частях деталей (дорожки качения подшипников), либо на деталях для декоративных целей (облицовочные части автомобилей).

Обрабатывают полировальными пастами или абразивными зернами, смешанными со смазкой. Эти материалы наносят на быстро вращающиеся эластичные круги (например, фетровые) или колеблющиеся щетки. Хорошие результаты дает полирование быстро движущимися бесконечными абразивными лентами (шкурками). Заготовку подводят к носителю пасты или абразива и перемещают так, чтобы вся поверхность подвергалась обработке. При полировании фасонных поверхностей заготовки, как правило, перемещают вручную, а при полировании плоских, цилиндрических и конических поверхностей могут быть использованы полировальные станки.

В зоне полирования одновременно происходят следующие основные процессы: тонкое резание, пластическое деформирование поверхностного слоя, химические реакции — воздействие на ме-

талл химически активных веществ, находящихся в полировочной пасте. Качество и эксплуатационные свойства полированной поверхности зависят от того, какой из указанных процессов имеет преобладающее значение. При полировании абразивной шкуркой положительную роль играет подвижность ее режущих зерен. Эта особенность шкурок приводит к тому, что зернами в процессе обработки не могут наноситься микроследы, глубина которых значительно отличается друг от друга. В ходе полирования происходит постепенный переход от процесса резания к процессу выглаживания.

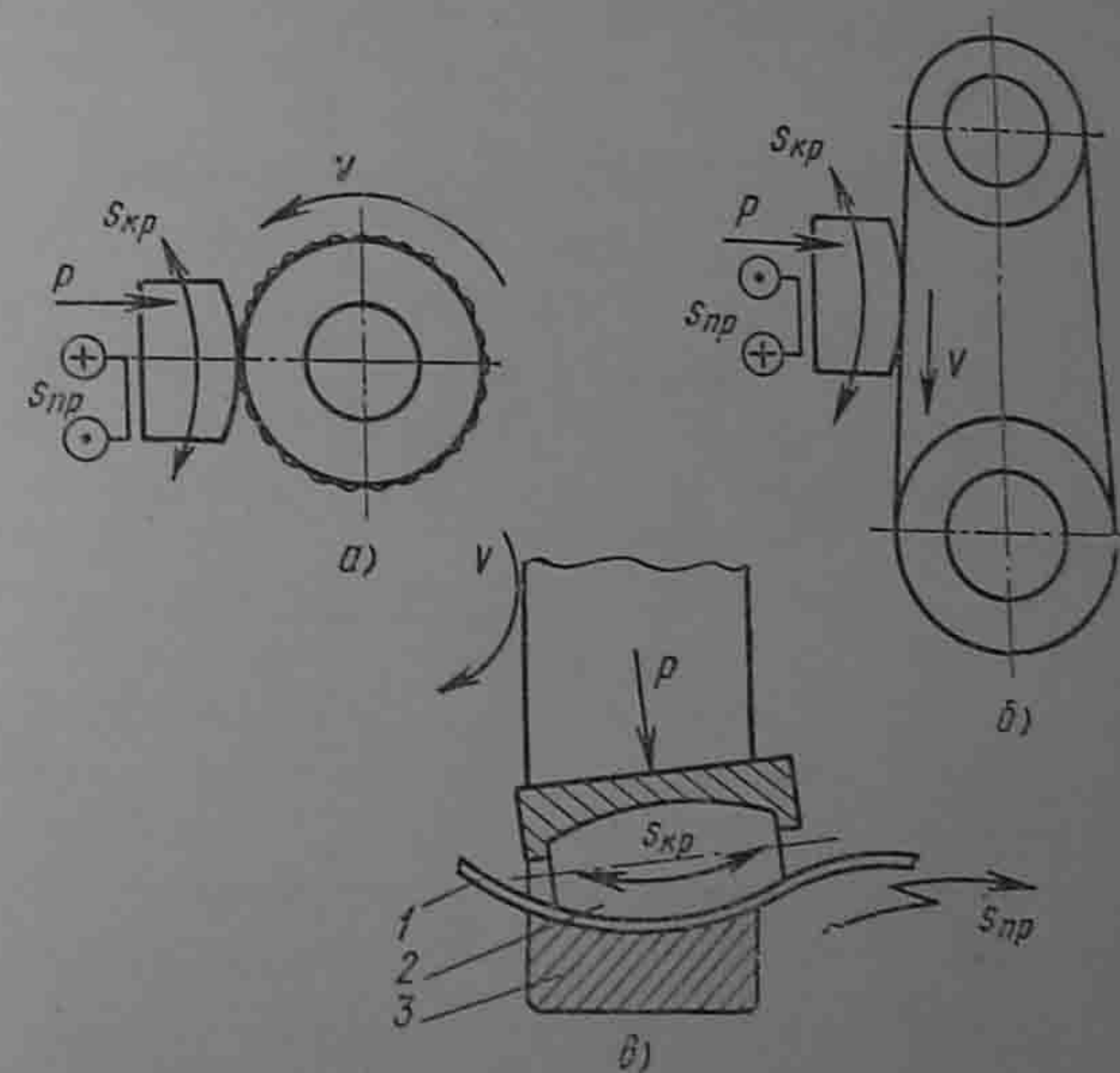


Рис. VI.131. Схемы полирования

В качестве абразивного материала применяют порошки из электрокорунда и окиси железа при полировании стали; карбида кремния и окиси железа при полировании чугуна; окиси хрома и наждака при полировании алюминия и сплавов меди. Порошок смешивают со смазкой, которая состоит из смеси воска, сала, парафина и керосина. Пасты могут содержать абразивные материалы: крокус, окись хрома, венскую известь и др. Полировальные круги изготовляют из войлока, фетра, кожи, капрона, спрессованной ткани и других материалов.

Полируют на больших скоростях (до 40—50 м/с). Заготовка поджимается к кругу усилием P (рис. VI.131, а) и совершает движения подачи $s_{пр}$ и $s_{кр}$ в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности. Полирование лентами (рис. VI.131, б) имеет ряд преимуществ. Рабочая поверхность ленты значительно превышает рабочую поверхность круга, вследствие чего происходит интенсивное рассеяние теплоты. Эластичная лента огибает всю шлифуемую поверхность. Поэтому движений подачи может не быть.

Главное движение при полировании иногда совершает и заготовка 3, имеющая, например, форму кольца с фасонной внутренней поверхностью (рис. VI.131, в). Абразивная лента 1 поджимается через полировальник 2 к обрабатываемой поверхности и периодически перемещается (движение $s_{пр}$).

Полировать можно в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Заготовки, закрепленные на транспортере, непрерывно перемещаются относительно круга или ленты. Детали снимают на ходу транспортера.

В процессе полирования не удастся исправить погрешности формы, а также отдельные местные дефекты предыдущей обработки.

4. Абразивно-жидкостная отделка

Отделка объемно-криволинейных и фасонных поверхностей обычными методами вызывает большие технологические трудности. Она требует использования сложных кинематических схем станков и дорогого режущего инструмента. Метод абразивно-жидкостной отделки позволяет решить задачу сравнительно просто.

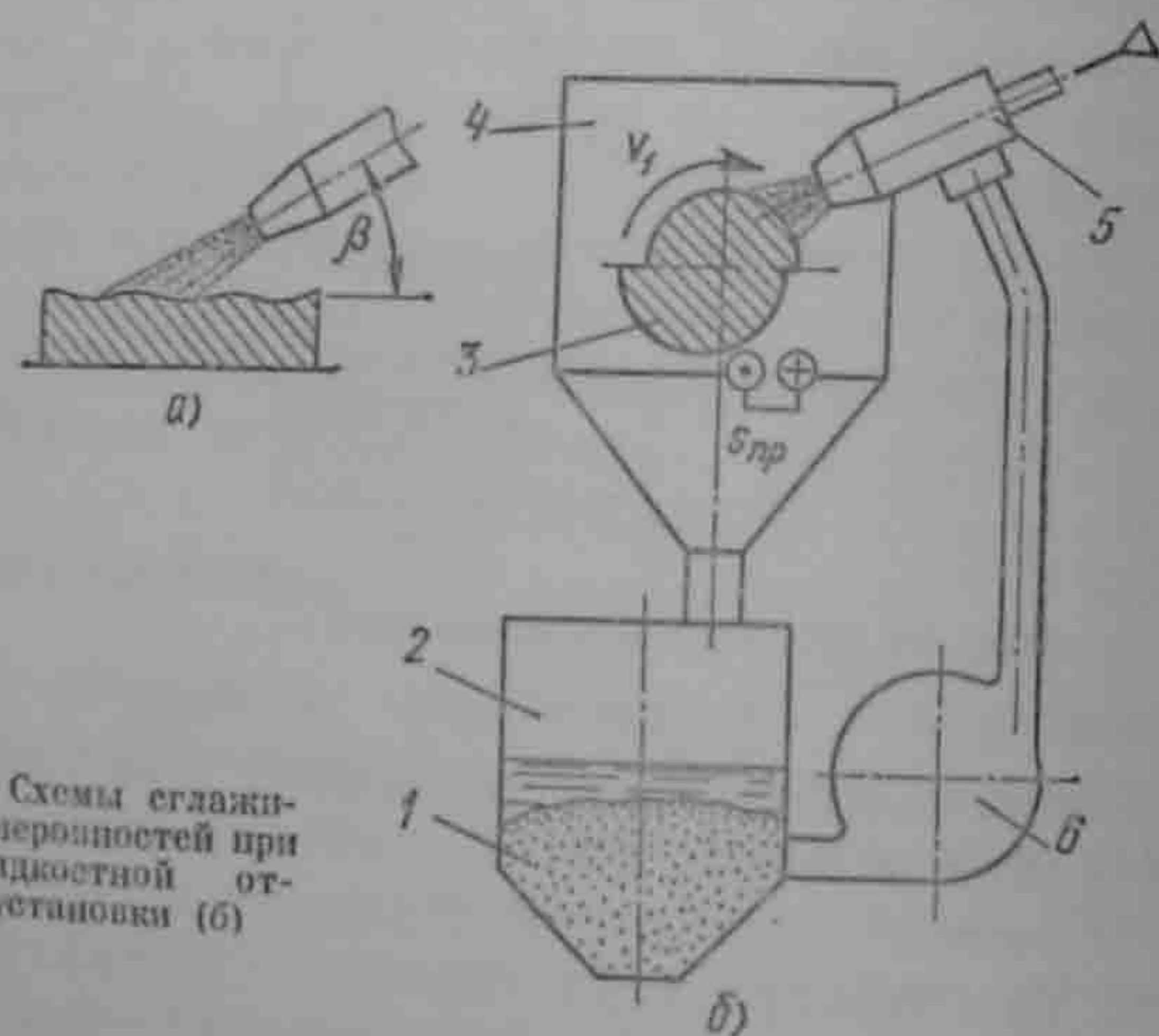


Рис. VI.132. Схемы сглаживания микронеровностей при абразивно-жидкостной отделке (а) и установки (б)

На обрабатываемую поверхность со следами предшествующей обработки подают струю антикоррозионной жидкости со взвешенными частицами абразивного порошка (рис. VI.132, а). Водно-абразивная суспензия перемещается под давлением с большой скоростью. Частицы абразива ударяются о поверхность заготовки и сглаживают микронеровности, создавая эффект полирования. Интенсивность съема обрабатываемого материала регулируют зернистостью порошка, давлением струи и углом β . Изменяя скорость полета и размер свободных абразивных зерен, можно увеличить или уменьшить степень пластической деформации и шероховатость поверхности. Одновременно с получением необходимого микрорельефа этот способ обработки создает полезное по-

верхностное упрочнение. Степень упрочнения поверхности возрастает пропорционально увеличению размера абразивных зерен в струе.

Жидкостная пленка, покрывающая обрабатываемую поверхность, играет очень важную роль. Абразивные зерна, попадающие на микровыступы, легко преодолевают сопротивление пленки и удаляют металл. Те же зерна, которые попадают на впадины, встречают большее сопротивление жидкости, и съем материала замедляется. Шероховатость поверхности уменьшается.

Водная эмульсия может подаваться на обрабатываемую поверхность совместно с воздухом. Поэтому отдельные абразивные частицы не имеют водной пленки, что немного повышает эффект резания. Если струю подают без воздуха, каждая частица абразива оказывается окруженной водной пленкой. Эффект резания в этом случае снижается, а обработанная поверхность становится более блестящей.

В качестве абразива часто применяют электрокорунд. В суспензии содержится 30—35% абразива (по массе).

На рис. VI.132, б показана схема жидкостного полирования. Обрабатываемая заготовка 3 сложного профиля перемещается (v_1 , $s_{пр}$) в камере 4 таким образом, что все ее участки подвергаются полированию. Абразивная суспензия 1, помещенная в бачке 2, подается насосом 6 в рабочую камеру через твердосплавное сопло 5. Обработанная суспензия падает обратно в бак 2 и может быть использована многократно. Более экономичной считают ту установку, которая полнее преобразует потенциальную энергию сжатого воздуха в кинетическую энергию, получаемую абразивными частицами. Для работы могут быть использованы одновременно два сопла. Наибольший съем металла получают при угле $\beta = 45^\circ$.

Метод жидкостного полирования особенно успешно применяют при обработке фасонных внутренних поверхностей. В этом случае сопло вводят в полость заготовки, которая совершает вращательные и поступательные перемещения в зависимости от профиля полируемой поверхности.

Жидкостное полирование, так же как и полирование эластичными кругами и лентами, не повышает точности размеров и формы, а только уменьшает шероховатость поверхности.

5. Притирка поверхностей

Поверхности деталей машин, обработанные на металлорежущих станках, всегда имеют отклонения от правильных геометрических форм и заданных размеров. Эти отклонения могут быть незначительными. Волнистость, неплоскостность, нецилиндричность и другие погрешности, возникающие на заготовках после обработки и невидимые невооруженным глазом, могут быть устранены притиркой (доводкой). Этим методом достигается наивысшая точность и наименьшая шероховатость поверхности.

Процесс осуществляют с помощью притиров соответствующей геометрической формы. На притир наносят притирочную пасту или мелкий абразивный порошок со связующей жидкостью. Материал притиров должен быть, как правило, мягче обрабатываемого материала. Паста или порошок внедряются в поверхность притира и удерживаются ею, но так, что при относительном движении каждое абразивное зерно может снимать весьма малую стружку. Поэтому притир можно рассматривать как очень точный абразивный инструмент, зерна которого одновременно обрабатывают всю или часть поверхности заготовки.

Притир или заготовка должны совершать разнонаправленные движения. Наилучшие результаты дает процесс, в ходе которого траектории движения каждого зерна не повторяются. Микронеровности сглаживаются за счет совокупного химико-механического воздействия на поверхность заготовки. Вначале микронеровности соприкасаются с притиром по малой контактной площади — срезаются только их вершины. Этот этап обработки характеризуется большими давлением и пластическим деформированием поверхности. С увеличением контактной площади давление уменьшается, снижается толщина слоя металла. На последнем этапе обработки удаляются в основном окисные пленки, образующиеся на поверхности.

Большую роль играет вязкость связующей жидкости. Толщина жидкостного слоя между притиром и заготовкой должна быть меньше величины выступающих из притира режущих зерен и определяется вязкостью жидкости. Если толщина жидкостного слоя будет больше размеров абразивных зерен, то процесс притирки прекратится, так как зерна не будут соприкасаться с обрабатываемой поверхностью.

В качестве абразива для притирочной смеси используют порошки алмазоборунда, карбида кремния, карбида бора, окиси хрома, окиси железа и др. Притирочные пасты состоят из абразивных порошков и химически активных веществ, например силициной и стеариновой кислот, играющих одновременно роль связующего материала.

Материалами для притиров являются серый чугун, бронза, красная медь, дерево. В качестве связующей жидкости используют машинное масло, керосин, стеарин, вазелин.

Схема притирки наружной цилиндрической поверхности притиром на рис. VI.133, а. Притир 1 представляет собой втулку с отверстиями, которые необходимы для полного прилегания притира под действием сил P к обрабатываемой поверхности по мере ее обработки. Притиру сообщают вращательное движение v_1 и одновременно поступательное движение v_2 . Взаимодействие вращательное движение заготовки 2 относительно также равнонаправленное вращательное движение v_1 . Аналогичные движения осуществляют при притирке отверстий (рис. VI.133, б), однако притиру должна равнонаправленно развигаться действием сил P . При-

веденные схемы осуществляют вручную и на металлорежущих станках.

Плоские поверхности можно притирать также вручную или на специальных доводочных станках (рис. VI.133, в). Заготовки 4 располагают между двумя чугунными дисками 3 в окнах сепаратора 5. Диски-притиры имеют плоские торцовые поверхности и вращаются в противоположных направлениях и с разными частотами вращения. Сепаратор относительно дисков расположен

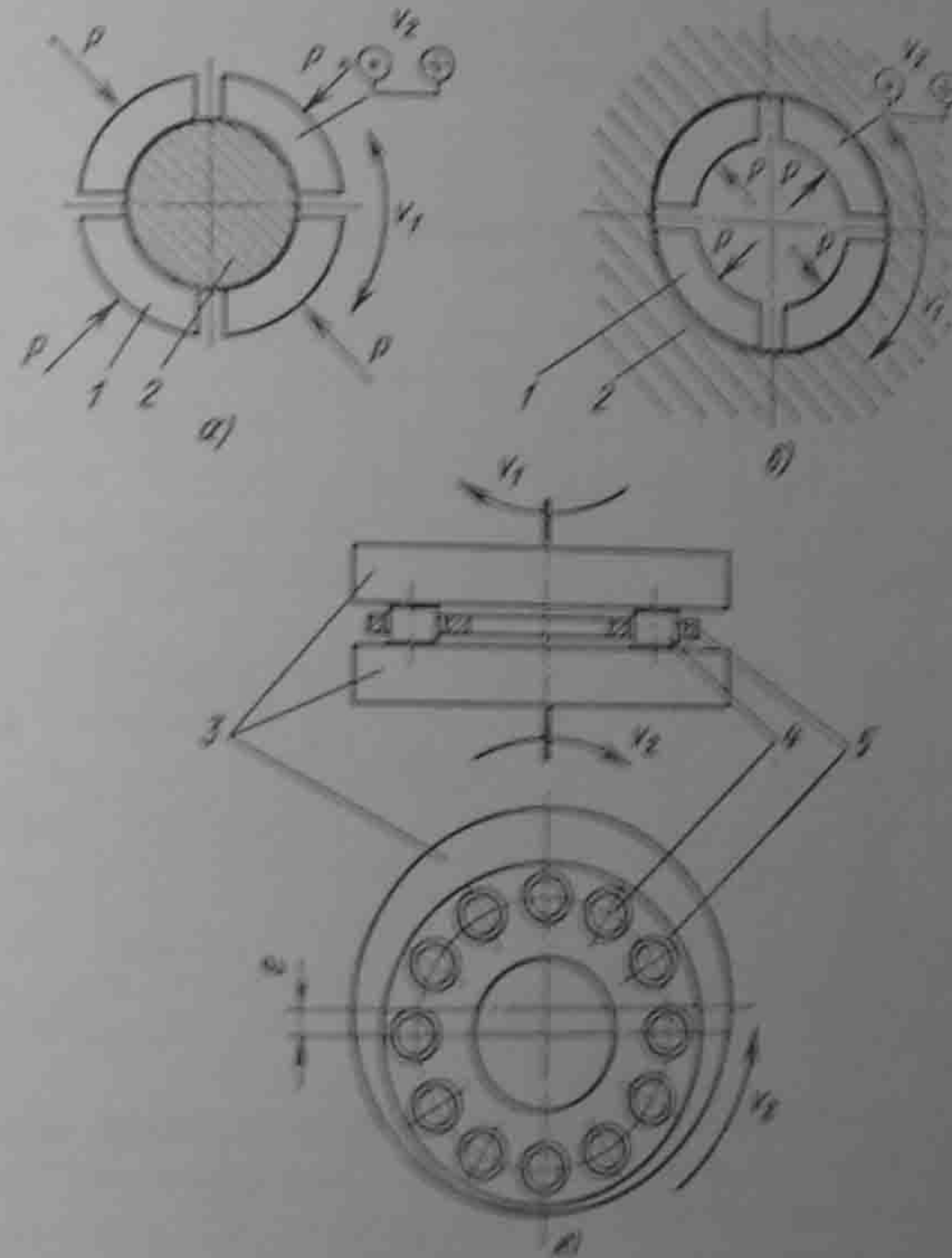


Рис. VI.133. Схемы притирки поверхностей

эксцентрично на величину ϵ . Поэтому при вращении дисков притираемые детали совершают сложные движения со скольжением, и металл снимается одновременно с их параллельных торцов. Станок можно использовать и для доводки коротких цилиндрических деталей с отверстиями, с помощью которых они ориентируются в сепараторе.

Разновидностью притирки является доведение двух соприкасающихся в собранной машине деталей до нужной плотности контакта (в частности, для герметизации). Это достигается трением одной детали о поверхность другой при наличии в стыке абразивного порошка со связующей жидкостью. По окончании процесса детали промывают.

6. Хонингование

Хонингование применяют для получения отверстий высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микропрофиля обработанной поверхности в виде сетки. Такой профиль необходим для удержания на стенках отверстия смазки при работе машины (например, двигателя внутреннего сгорания). Чаще обрабатывают сквозные и реже ступенчатые отверстия, как правило, неподвижно закрепленных заготовок.

Поверхность заготовки обрабатывают мелкозернистыми абразивными брусками, которые закрепляют в хонинговальной го-

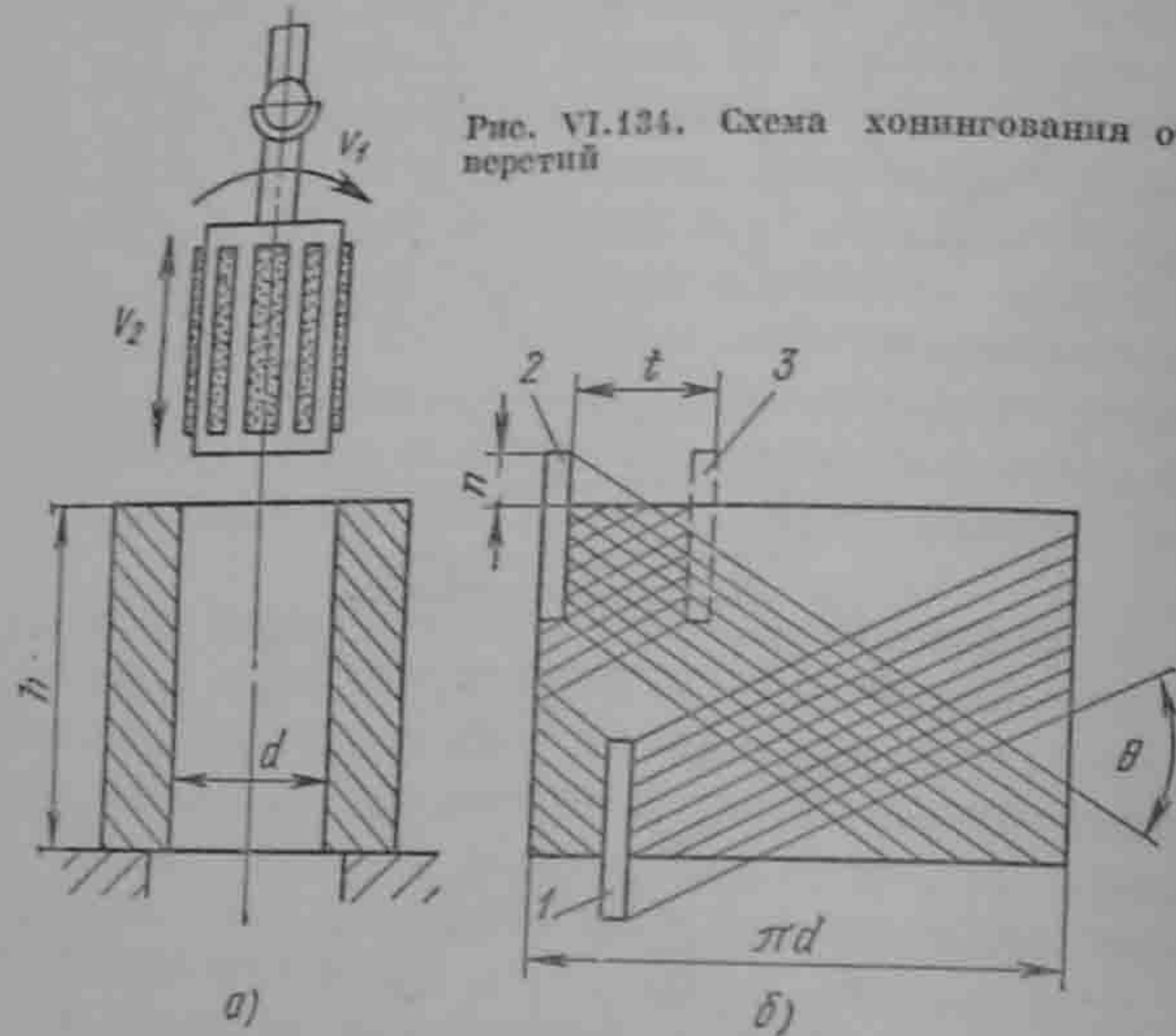


Рис. VI.134. Схема хонингования отверстий

ловке (хоне), являющейся режущим инструментом. Инструмент вращается и одновременно движется возвратно-поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия цилиндра высотой h (рис. VI.134, а). Соотношение скоростей v_1 и v_2 указанных движений составляет 1,5—10,0 и определяет условия резания. Скорость v_1 для стали составляет 45—60, а для чугуна и бронзы — 60—75 м/мин.

Описываемая схема обработки по сравнению с внутренним шлифованием имеет преимущества: отсутствует упругий отжим инструмента, реже наблюдаются вибрации, более плавная работа.

Сочетание движений v_1 и v_2 приводит к тому, что на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин — следов перемещения абразивных зерен. Угол θ пере- сечения этих следов зависит от соотношения скоростей. Поэтому необходимый вид сетки на поверхности отверстия можно полу- чать в ходе хонингования. На рис. VI.134, б дана развертка внутренней цилиндрической поверхности заготовки и схема обра- зования сетки.

Крайние нижнее 1 и верхнее 2 положения абразивных брусков устанавливаются так, чтобы у инструмента создавался перебег l . Он необходим для того, чтобы образующие отверстия получались прямолинейными и оно имело бы правильную геометрическую форму. Совершая вращательное движение, абразивные бруски при каждом двойном ходе начинают резание с новых положений 3 хода с учетом смещения l по углу. Поэтому исключается наложение траекторий абразивных зерен.

Вид сетки на обрабатываемой поверхности можно изменить дополнительными колебательными движениями, сообщаемыми инструменту механическим вибратором (вибрационное хонингование). Траектория абразивных зерен представляет собой сложную гипотическую кривую. Поэтому на обработанной поверхности возникают как бы две сетки, соответствующие черновому и чистовому хонингованию.

Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальных направлениях механическими, гидравлическими или пневматическими устройствами. Давление брусков должно контролироваться. Минимальное давление возникает при ультразвуковом хонинговании. В этом случае уменьшается засаливание брусков, так как частицы снятого металла легче отделяются от абразивов.

Хонингованием исправляются такие погрешности предыдущей обработки, как овальность, конусообразность, нецилиндричность и др., если общая величина снимаемого слоя не превышает 0,01—0,2 мм. Погрешности же расположения оси отверстия (например, увод ее или криволинейность) этим методом не исправляются, так как режущий инструмент самоустанавливается по отверстию. Это достигается шарнирным креплением инструмента в шпинделе, которое может передать только вращательное движение.

Наиболее распространены две схемы процесса хонингования, отличающиеся друг от друга методом осуществления разжима (радиальной подачи) абразивных брусков: 1) с постоянным номинальным давлением брусков на заготовку; 2) с дозированной радиальной подачей брусков на каждый двойной ход головки. Первую схему применяют чаще.

Различают предварительное и чистовое хонингование. Предварительное хонингование используют для исправления погрешностей предыдущей обработки, а чистовое — для получения малой шероховатости поверхности.

Хонинговальные бруски изготавливают из электрокорунда или карбида кремния, как правило, на керамической связке. Для чистового хонингования хорошие результаты дают бруски на бакелитовой связке. Используют бруски зернистостью 3—8, а также M20 и M28. Все шире применяют алмазное хонингование, главное преимущество которого состоит в эффективном исправлении погрешностей геометрической формы обрабатываемого отверстия.

Бруски закрепляют в державках хона приклеиванием ацетоно-целлулоидным клеем или жидким стеклом. Державки располагают равномерно по цилиндрической поверхности хонинговальной головки. Конструкции головок предусматривают расположение в них механизма радиального перемещения державок с брусками. Кроме того, головки имеют устройства для регулирования положения брусков.

Число брусков в хонинговальной головке должно быть кратно трем. Поэтому в головке всегда найдутся три бруска, которые будут обрабатывать реальную поверхность отверстия, имеющего погрешности формы от предыдущей обработки, и превращать ее в поверхность, близкую к круговому цилиндру.

Хонингование производят при обильном охлаждении зоны резания. Смазочно-охлаждающими жидкостями являются керосин, смесь керосина (80—90%) и веретенного масла (20—10%), а также водно-мыльные эмульсии. Жидкости способствуют удалению абразивных зерен, оставшихся в порах обрабатываемых поверхностей.

Для хонингования используют одно- и многошпиндельные станки. Некоторые станки оснащают устройствами, позволяющими измерять на ходу обрабатываемое отверстие и выключать станки по достижении необходимого размера отверстия.

7. Суперфиниш

Суперфинишем в основном уменьшают шероховатость поверхностей, оставшуюся от предыдущей обработки. При этом изменяются высота и вид микровыступов, обработанные поверхности имеют сетчатый рельеф, а каждый микровыступ округляется и поверхность становится очень гладкой. При этом возникают более благоприятные условия взаимодействия трущихся поверхностей. Суперфинишем обрабатывают плоские, цилиндрические (наружные и внутренние), конические и сферические поверхности из закаленной стали, реже из чугуна и бронзы.

Поверхности обрабатывают абразивными брусками, устанавливаемыми в специальной головке. Характерным для суперфиниша является колебательное движение брусков наряду с движением заготовки. Процесс резания происходит при давлении брусков $(0,5-3,0) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ и в присутствии смазки малой вязкости.

Схема обработки наружной цилиндрической поверхности приведена на рис. VI.135, а. Плотная сетка микронеровностей создается сочетанием трех движений: вращательного $s_{кр}$ заготовки, возвратно-поступательного $s_{пр}$ и колебательного брусков со скоростью v . Амплитуда колебаний брусков составляет 1,5—6,0 мм, а частота 400—1200 колебаний в минуту. Движение $s_{пр}$ ускоряет процесс съема металла и улучшает однородность поверхности. Бруски, будучи подпружиненными, самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности. Соотношение скоростей $s_{кр}$ и v в начале

обработки составляет 2—4, в конце 8—16. Процесс характеризуется сравнительно малыми скоростями резания (5—7 м/мин).

Важную роль играет смазочно-охлаждающая жидкость. Масляная пленка покрывает обрабатываемую поверхность, но наиболее крупные микровыступы (рис. VI.135, б) прорывают ее и в первую очередь срезаются абразивом. Давление брусков на выступы оказывается большим. По мере дальнейшей обработки давление снижается, так как все большее число выступов прорывает масляную пленку. Наконец наступает такой момент (рис. VI.135, в), когда давление бруска не может разорвать пленку, она становится сплошной. Создаются условия для жидкостного трения. Процесс

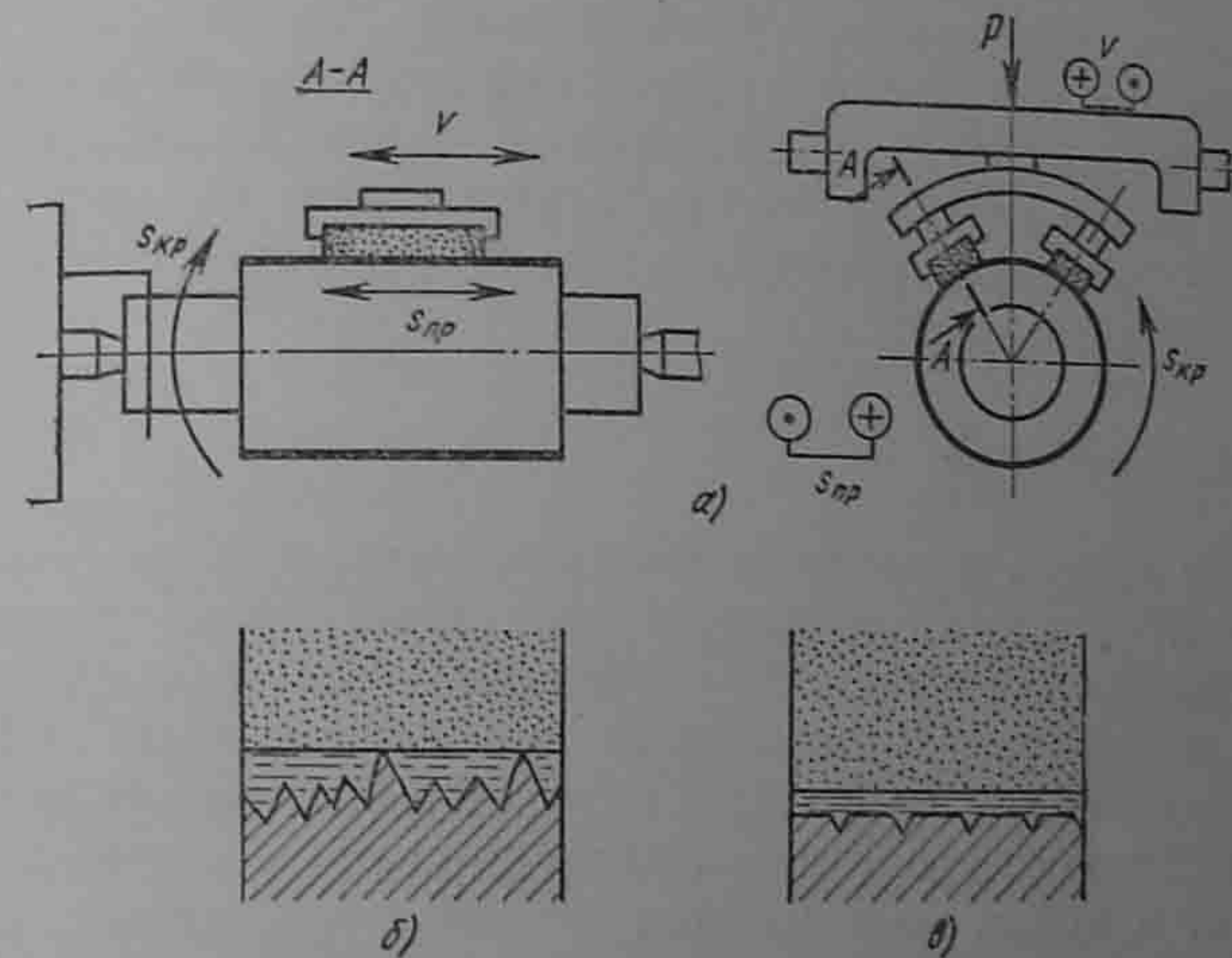


Рис. VI.135. Схемы отделки суперфинишированием

отделки автоматически прекращается. В качестве жидкости используют смесь керосина (80—90%) с веретенным или турбинным маслом (20—10%).

При обработке сталей лучших результатов достигают при применении брусков из электрокорунда, при обработке чугуна и цветных металлов — при применении брусков из карбида кремния. В большинстве случаев применяют бруски на керамической или бакелитовой связке. Большое влияние на ход процесса оказывает твердость брусков. Если твердость при обработке данного материала завышена, бруски засаливаются и плохо режут; если твердость занижена, происходит непрекращающееся самозатачивание и бруски быстро изнашиваются, поверхность оказывается низкого качества.

Применение алмазных брусков увеличивает не только производительность обработки, но и стойкость инструмента в 80—100 раз. Алмазные бруски работают на тех же режимах, что и абразивные, но с давлением, большим на 30—50%.

Величина и форма абразивных брусков зависят от размера и конфигурации обрабатываемой заготовки. Для коротких открытых участков детали длина брусков должна быть равна длине обрабатываемой поверхности или немного больше ее, при наличии уступов с двух сторон длина брусков немного меньше длины обрабатываемой поверхности. Чаще для суперфиниша применяют два бруска, а при обработке крупных деталей — три или четыре.

Обычно суперфиниширование не устраняет погрешностей формы, полученных на предшествующей обработке (волнистости, конусообразности, овальности и др.), но при усовершенствовании процесса можно снимать увеличенные слои металла, использовать особые режимы обработки. В этом случае погрешности предыдущей обработки значительно уменьшаются.

Дальнейшим развитием суперфиниша является микрофиниш, который характеризуется повышенным давлением абразивных брусков на поверхность и жесткой фиксацией их после подхода к заготовке. Микрофиниш значительно уменьшает погрешности предшествующей обработки.

8. Зубозакругление

Зубчатые колеса некоторых типов должны перемещаться вдоль валов, на которых они размещены, для сцепления с другими колесами (например, в коробках скоростей). Такое сцепление возможно, если торцовые поверхности зубьев имеют специфическую форму (закругление), благодаря которой облегчается ввод зубьев во впадины парного колеса. Удары при переключениях колес смягчаются, и зубья не ломаются.

Зубозакругление прямозубых и косозубых колес производят на специальных станках одним из методов, показанных на рис. VI.136. Наиболее рациональной формой торца зуба является бочкообразная (рис. VI.136, а). Ее получают обработкой специальной пальцевой фрезой за счет сочетания ряда движений (рис. VI.136, б). Обрабатываемое колесо вращается с постоянной скоростью, вращающаяся фреза совершает возвратно-поступательное движение с переменной скоростью вдоль оси колеса при округлении каждого зуба. Вертикальными движениями инструмента управляет копир. Аналогичные движения для получения другого вида округления совершают инструмент и заготовка при работе пальцевой фрезой со специальным профилем (рис. VI.136, в).

Чашечные торцовые фрезы с криволинейными или прямолинейными режущими лезвиями позволяют получить сферическое округление (рис. VI.136, г). Такие фрезы имеют более высокую стойкость, чем пальцевые.

Еще большую стойкость имеют дисковые фасонные фрезы (рис. VI.136, д). Профиль фрезы соответствует поперечному сечению закругляемой части зуба. В процессе обработки колесо и инструмент совершают два последовательных движения: 1) дви-

жение врезания инструмента в торец зубчатого колеса на полную глубину; 2) движение заготовки или инструмента (или того и другого) при обработке поверхности торца для получения бочкообразной формы зуба. Этот метод позволяет повысить в 2,5—3 раза производительность по сравнению с обработкой пальцевой фрезой.

Режущим инструментом для зубозакругления наряду с фрезами являются резцы. Они могут иметь прямолинейное или криволинейное режущее лезвие и предназначены для остроугольного закругления.

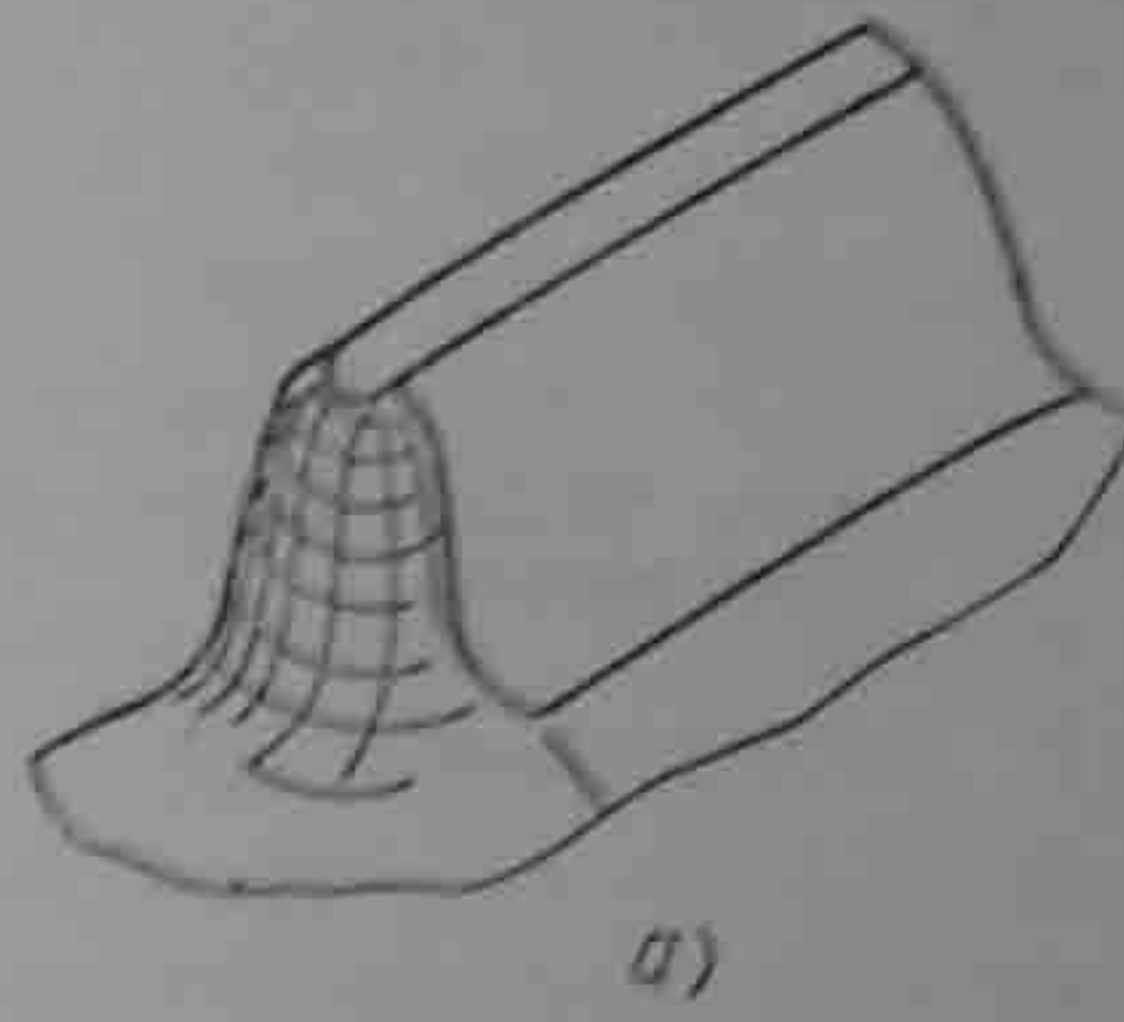
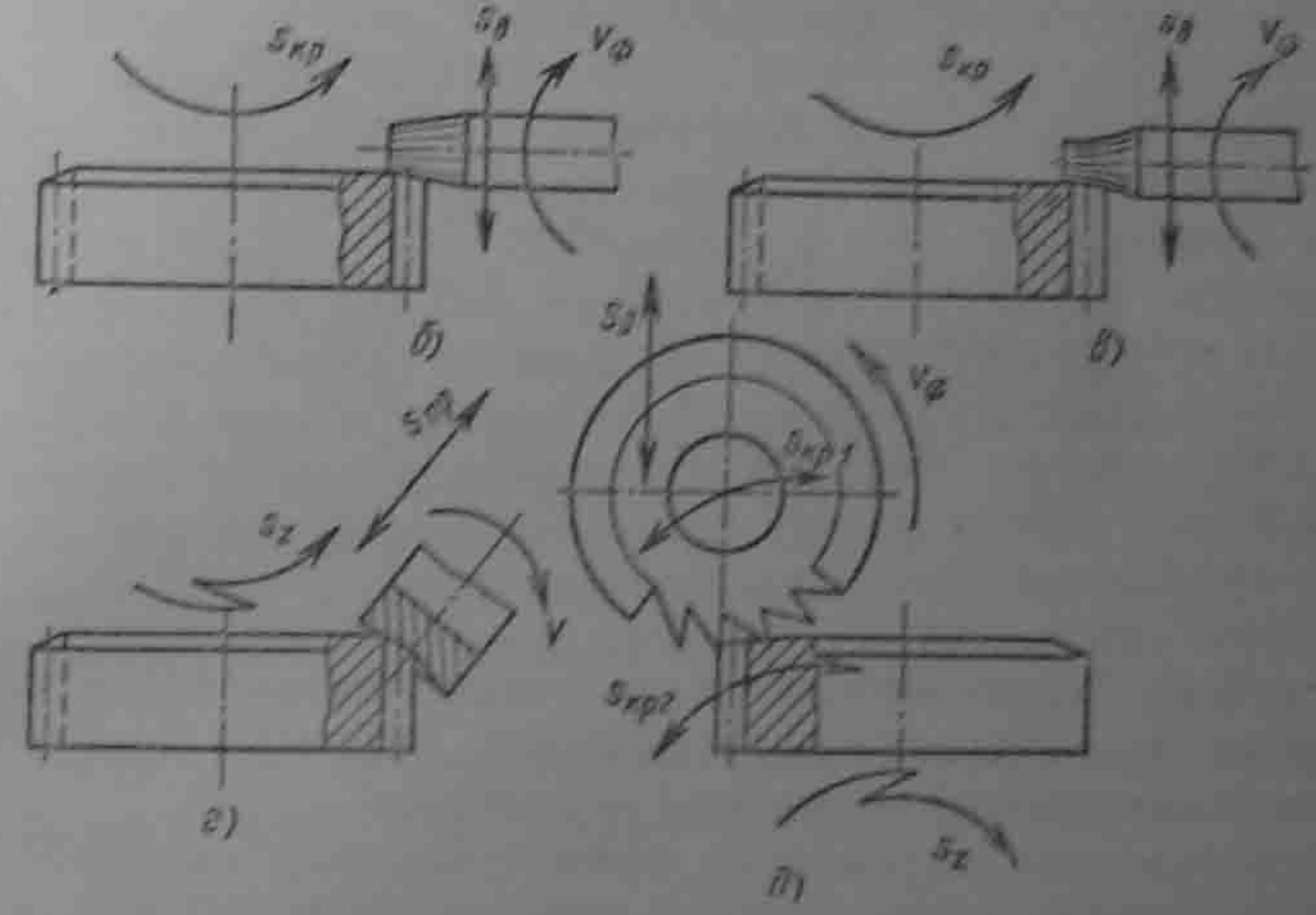


Рис. VI.136. Схемы зубозакругления



Аналогичные инструменты используют для снятия на торцах зубьев фасок, удаления заусенцев и притупления острых кромок. Наилучшим является метод снятия фасок с помощью специальных червячных фрез. Одновременно работают две фрезы, обрабатывающие оба торца зубчатого колеса. За один оборот фрезы колесо поворачивается на один зуб. Метод пригоден для снятия фасок с зубьев цилиндрических колес и конических колес с криволинейными зубьями.

Получает распространение метод снятия фасок и удаления заусенцев дисковыми или червячными абразивными кругами.

Заусенцы могут быть также удалены с помощью вращающихся металлических щеток и специальными физико-химическими методами.

9. Зубошевингование

После нарезания точность зубчатых колес для некоторых машин оказывается недостаточной. На поверхностях зубьев возникают погрешности профиля, недостаточно точным оказывается шаг зубьев и т. д. Поэтому необходима отделочная операция — шевингование. Она заключается в срезании (соскабливании) с поверх-

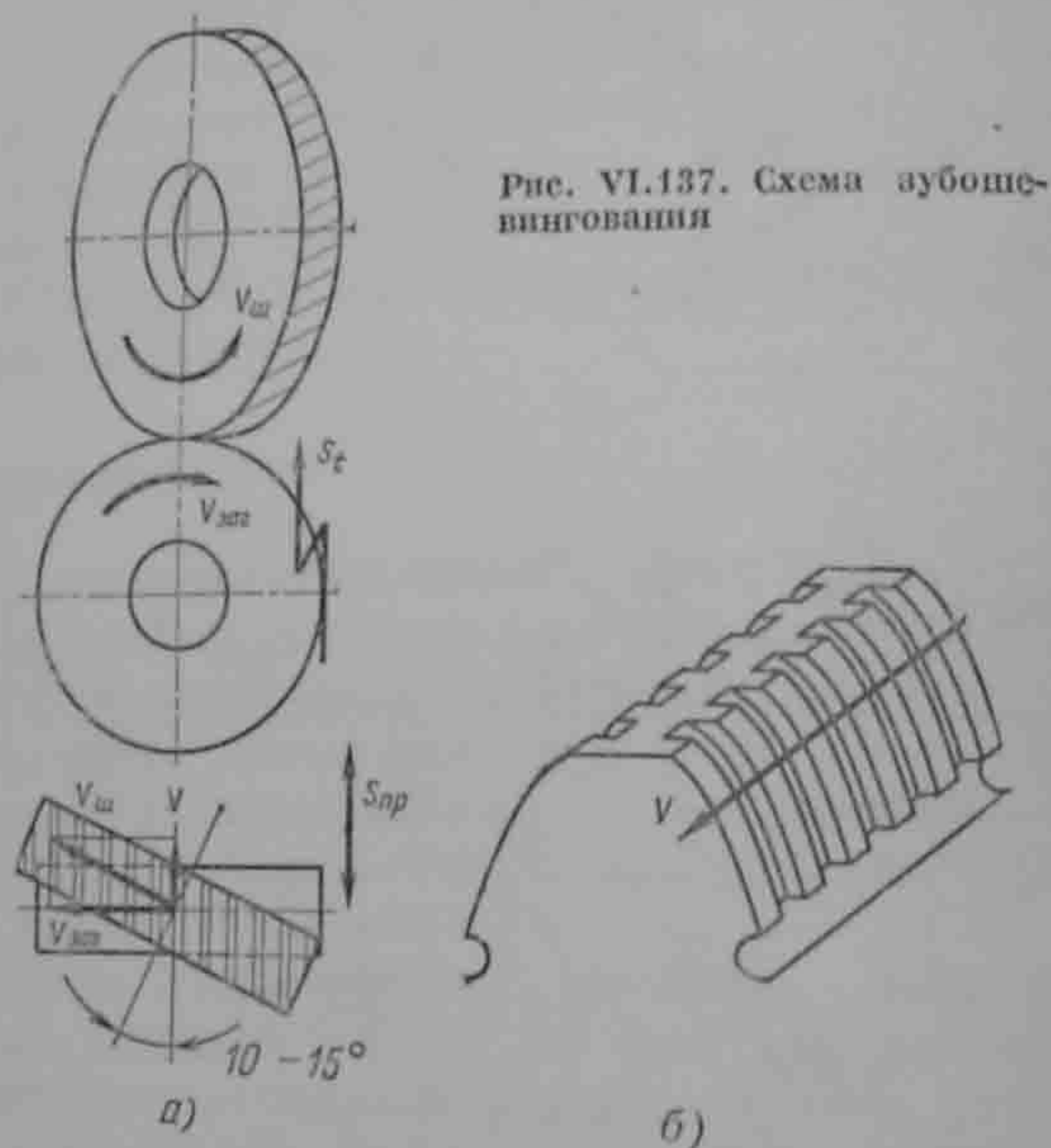


Рис. VI.137. Схема зубошевингования

ностей зубьев закаленных колес очень тонких волосообразных стружек для исправления погрешностей. Зубчатые колеса отделывают специальным инструментом — шеввером.

Предварительно нарезанное прямозубое или косозубое зубчатое колесо плотно зацепляется с шеввером (рис. VI.137, а). Скрещивание их осей обязательно. Угол скрещивания осей чаще составляет $10-15^\circ$, но в отдельных случаях может быть и меньше. При таком характере зацепления скорость $v_{ш}$ разлагается и появляется составляющая v — скорость скольжения профилей, направленная вдоль зубьев, которая обеспечивает движение резания. Шеввер режет боковыми сторонами зубьев со специальными канавками (рис. VI.137, б) для образования режущих лезвий. Следовательно, шеввер представляет собой режущее зубчатое колесо.

Шевингованием получают бочкообразную форму зуба, что предотвращает концентрацию нагрузки при зацеплении с другим

колесом на концах зубьев, обеспечивает более качественную передачу движений, облегчает сборку машин.

Из схемы шевингования следует, что инструмент и заготовка воспроизводят зацепление зубчатой винтовой пары. Кроме того, зубчатое колесо движется возвратно-поступательно и после каждого хода (или двойного хода) подается в радиальном направлении (подача s_r). Направление вращения шеввера и, следовательно, заготовки через некоторое время изменяется. Контактующая поверхность между зубьями шеввера и колеса уменьшается с увеличением угла скрещивания осей.

Схема, показанная на рис. VI.137, а, является не единственной. Существуют и другие схемы обработки зубчатых колес шеввером-колесом. Эти схемы отличаются друг от друга в основном способами подачи. Реже применяют метод обработки колес с использованием шеввера-рейки.

Для повышения точности и производительности процесса шевингования, а также стойкости инструмента, толщины снимаемых слоев должны быть минимальными: $0,04-0,08$ мм для колес с модулем $1,5-3,0$ мм и до $0,1-0,125$ мм с модулем 10 мм.

Колеса обрабатывают при обильном охлаждении сульфидфрезолом, который обеспечивает удаление стружки, смазку и охлаждение режущих лезвий. Охлаждающая жидкость постоянно очищается магнитными фильтрами.

Шевверы изготовляют с различной точностью в зависимости от требований к зубчатым колесам. Диаметр шеввера выбирают максимально возможным по размерам шевинговального станка. При этом повышаются его стойкость и точность обработки. Для повышения точности колес по шагу число зубьев шеввера не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Появились новые конструкции сборных твердосплавных шевверов для обработки закаленных зубчатых колес. Такой инструмент способствует исправлению погрешностей, вызванных не только неточностью изготовления, но и деформациями при термической обработке.

Для шевингования применяют шевинговальные станки с гидравлическим приводом для осуществления подачи s_r .

10. Зубохонингование

Закаленные зубчатые колеса подвергают отделочной обработке для снижения шероховатости боковых поверхностей зубьев, улучшения геометрических параметров колес и уменьшения шума от зацепления с другими колесами. Хонингованием также удаляют с зубьев забоины и заусенцы. Зубохонингованием погрешности самого зацепления устраняются незначительно, если слой снимаемого металла более $0,01-0,03$ мм на толщину зуба.

Процесс зубохонингования заключается в совместной обкатке заготовки и инструмента, выполненного из абразива и имеющего

форму зубчатого колеса. Зубохонингование имеет много общего с зубошевингованием. Оси заготовки и инструмента скрещиваются под углом $15-18^\circ$. При вращении зубчатой пары (рис. VI.138, а) возникает составляющая скорости скольжения профилей. Абразивные зерна хона обрабатывают боковые стороны зубьев заготовки за счет микрорезания (рис. VI.138, б). Скорость вращения пары, находящейся в зацеплении, во много раз больше скорости при шевинговании.

Зубохонингование применяют для прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес. Можно обрабатывать и незакаленные колеса. Заготовка и инструмент вращаются в плотном зацеплении. Зубчатое колесо, кроме вращения, совершает возвратно-

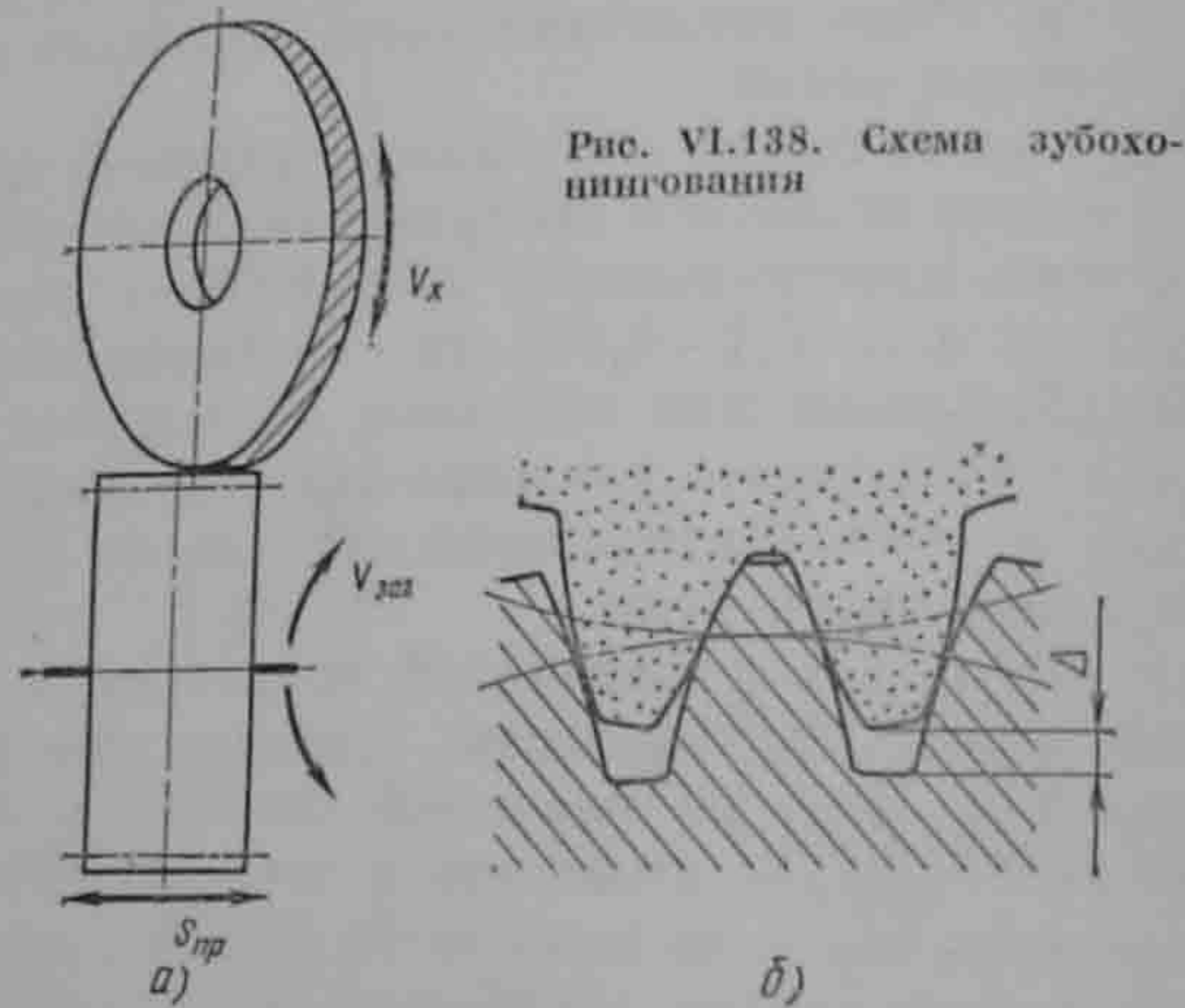


Рис. VI.138. Схема зубохонингования

поступательное движение вдоль оси (продольная подача). Направление вращения пары изменяется при каждом двойном ходе. Плотное зацепление осуществляется поджимом бабки инструмента к обрабатываемому колесу специальными пружинами или пневматическими устройствами. Подвижность бабки компенсирует неточности обрабатываемого колеса и исключает передачу больших нагрузок на инструмент. Возможно хонингование зубьев с бочкообразной формой.

Хоны изготовляют на основе эпоксидных смол с добавлением в качестве абразива карбида кремния. Такой инструмент проектируют с увеличенным наружным диаметром и с учетом износа в процессе обработки колес. Число зубьев хона не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Как следует из рис. VI.138, б, вершина зуба колеса постоянно контактирует с впадиной зуба хона. Благодаря этому уменьшается скорость изнашивания хона, а за счет постоянного внедрения головки зуба колеса во впадину хона происходит автоматическое восстановление зубьев хона. Необходима лишь периодическая

правка хона по наружной поверхности для поддержания необходимого зазора Δ . Прямозубые колеса обрабатывают косозубыми хонами, а косозубые — прямозубыми или косозубыми хонами. В производство внедряют алмазно-металлические зубчатые хоны. Стойкость их в 8—12 раз выше, чем у абразивных. Такими хонами можно обрабатывать зубчатые колеса высокой твердости. Для повышения стойкости инструментов применяют жидкостное охлаждение: смесь парафинового масла с легким машинным в отношении 7 : 1. Для интенсификации обработки добавляют абразивный микропорошок.

Зубохонинговальные станки унифицированы с зубошевинговальными. При повышенном короблении заготовок проводят повторное хонингование. Большие же погрешности не могут быть исправлены повторным хонингованием.

11. Зубошлифование

Рассмотренные методы отделки не всегда и не в полной мере могут устранить погрешности предыдущей обработки зубчатых колес. Значительные погрешности, особенно возникающие после термической обработки, устраняют зубошлифованием. Этим методом отделки получают высокую точность и малую шероховатость поверхности зубьев и обрабатывают цилиндрические и конические зубчатые колеса. Применение метода особенно целесообразно для колес, работающих с большими скоростями.

Зубья цилиндрических колес можно шлифовать двумя методами: копированием и обкаткой. Метод копирования соответствует зубонарезанию дисковой модульной фрезой. Эвольвентный профиль зуба воспроизводится абразивными кругами, имеющими профиль впадин обрабатываемого колеса (рис. VI.139, а). Круг заправляют особым копировальным механизмом. Вращающийся круг совершает возвратно-поступательное движение, обеспечивая $s_{пр}$. Шлифуют методом единичного деления. Однако большое влияние на точность колеса может оказать износ шлифовального круга: наибольшая погрешность возникает между первым и последними зубьями. Во избежание этого колесо последовательно поворачивают не на $\frac{1}{z}$, а на несколько зубьев, но так, чтобы были

прошлифованы все впадины. Тогда износ круга влияет на точность колеса меньше. Шлифуют за несколько ходов каждую впадину зуба. Метод копирования более производительен, чем метод обкатки, но менее точен.

Шлифование зубьев методом обкатки основано на принципе зацепления обрабатываемого колеса с зубчатой рейкой (рис. VI.139, б). Колесо как бы катится по воображаемой рейке, которая закреплена неподвижно, поочередно в одну и другую стороны. При этом оно совершает возвратно-вращательные, а центр его — возвратно-поступательные движения. Обрабатывают двумя

абразивными кругами, шлифующими торцы которых расположены вдоль сторон зубьев рейки. Два шлифовальных круга можно разместить в одной впадине зуба только у крупных колес. Поэтому одновременно шлифуют разноименные стороны двух соседних впадин.

Для реализации шлифования методом обкатки необходимо, кроме указанных движений, обеспечить продольную подачу для обработки зубьев по всей ширине. После обработки каждых двух

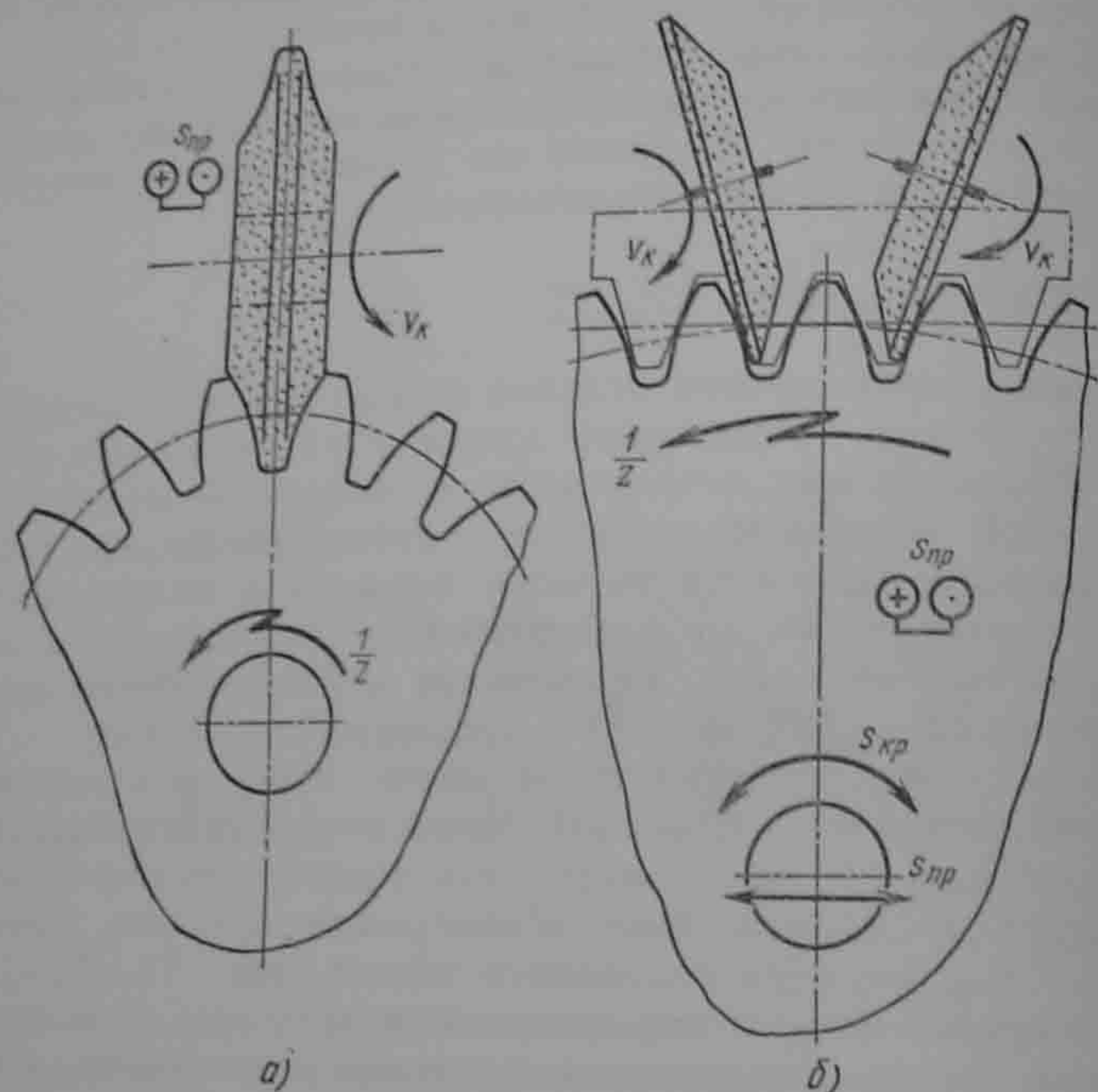


Рис. VI.139. Схемы зубошлифования

боковых поверхностей зубьев колесо поворачивается на величину углового шага ($\frac{1}{z}$). Износ кругов компенсируется механизмом, с помощью которого круги каждый раз автоматически раздвигаются после правки.

Принцип зацепления обрабатываемого колеса с рейкой используют и в тех случаях, когда зуб рейки воспроизводится одним абразивным кругом или абразивом, заправленным в виде червяка. Методом обкатки шлифуют косозубые и конические колеса, а также венцы для внутреннего зацепления.

Абразивные круги для зубошлифовальных станков выбирают в соответствии с формой зуба и видом зубчатого колеса, а также в зависимости от твердости обрабатываемого материала и характера обработки (черновая, чистовая). В процессе резания охлаж-

дающую жидкость подают обычным способом или через шлифовальный круг.

На производстве используют большое число зубошлифовальных станков различных конструкций. На многих станках можно шлифовать бочкообразные зубья.

Несмотря на преимущества, метод характеризуется сравнительно низкой производительностью и высокой стоимостью. Поэтому зубошлифование применяют в тех случаях, когда требования к точности и шероховатости боковых поверхностей зубьев трудно удовлетворить другими методами обработки.

12. Зубопритирка

Качество обработки зубчатых колес, получаемых зубошлифованием, можно улучшить зубопритиркой. Ее применяют для ответственных передач. Зубопритиркой получают поверхности высокого качества, доводя их до зеркального блеска, увеличивают плавность работы, уменьшают шум, повышают долговечность работы пары. Применяют для закаленных зубчатых колес.

Притиры выполняют в виде зубчатых колес. В зацеплении в результате давления между зубьями притира и обрабатываемого колеса мелкозернистый абразив (в смеси с маслом) внедряется в более мягкую поверхность зубьев притира и удерживается на нем. Благодаря скольжению, возникающему между зубьями при вращении пары, зерна абразива снимают с обрабатываемого колеса мельчайшую стружку.

Таким образом, при зубопритирке возникает искусственное изнашивание материала колес в соответствии с профилем зуба притира.

На рис. VI.140 представлены две схемы притирки зубьев. По схеме, показанной на рис. VI.140, а, помимо вращательного движения притира и колеса, создается возвратно-поступательное движение притира (s_{np}), что обеспечивает равномерную обработку зуба по всей ширине. Оси притира и колеса параллельны. Процесс протекает при быстром вращении притира, который ведет зубчатое колесо, и медленном движении подачи.

Наиболее распространены методы притирки тремя притирами (рис. VI.140, б). Оси двух притиров скрещиваются с осью колеса, а ось третьего — параллельна оси колеса. Такая схема повышает производительность обработки. Обрабатываемое колесо получает реверсируемое вращение и приводит в движение притиры n . Одновременно оно перемещается возвратно-поступательно с подачей s_{np} вдоль своей оси. Угол скрещивания осей составляет 3—10°. Указанные движения обеспечивают равномерную обработку на всю ширину обеих сторон зуба.

Притирают конические колеса с круговыми зубьями. Прямозубые конические колеса притирают редко.

Плотное прилегание профилей зубьев обеспечивается с помощью гидромоторов, воздействующих на шпиндели притиров.

Материалом для зубчатых притиров служит мелкозернистый серый чугун с микроструктурой мелкопластинчатого графита в перлитоферритном поле. Притиры выполняют как можно большего диаметра, чтобы по мере изнашивания их можно было многократно восстанавливать. Число зубьев притира не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Для притирки применяют жидкие абразивные смеси и пасты. Абразивные пасты обеспечивают большую производительность, чем жидкие смеси, подаваемые насосом. Пасты состоят из 40% корунда или электрокорунда и 60% вазелиновой массы; их наносят на поверхность зубьев кистью тонким слоем постоянной толщины.

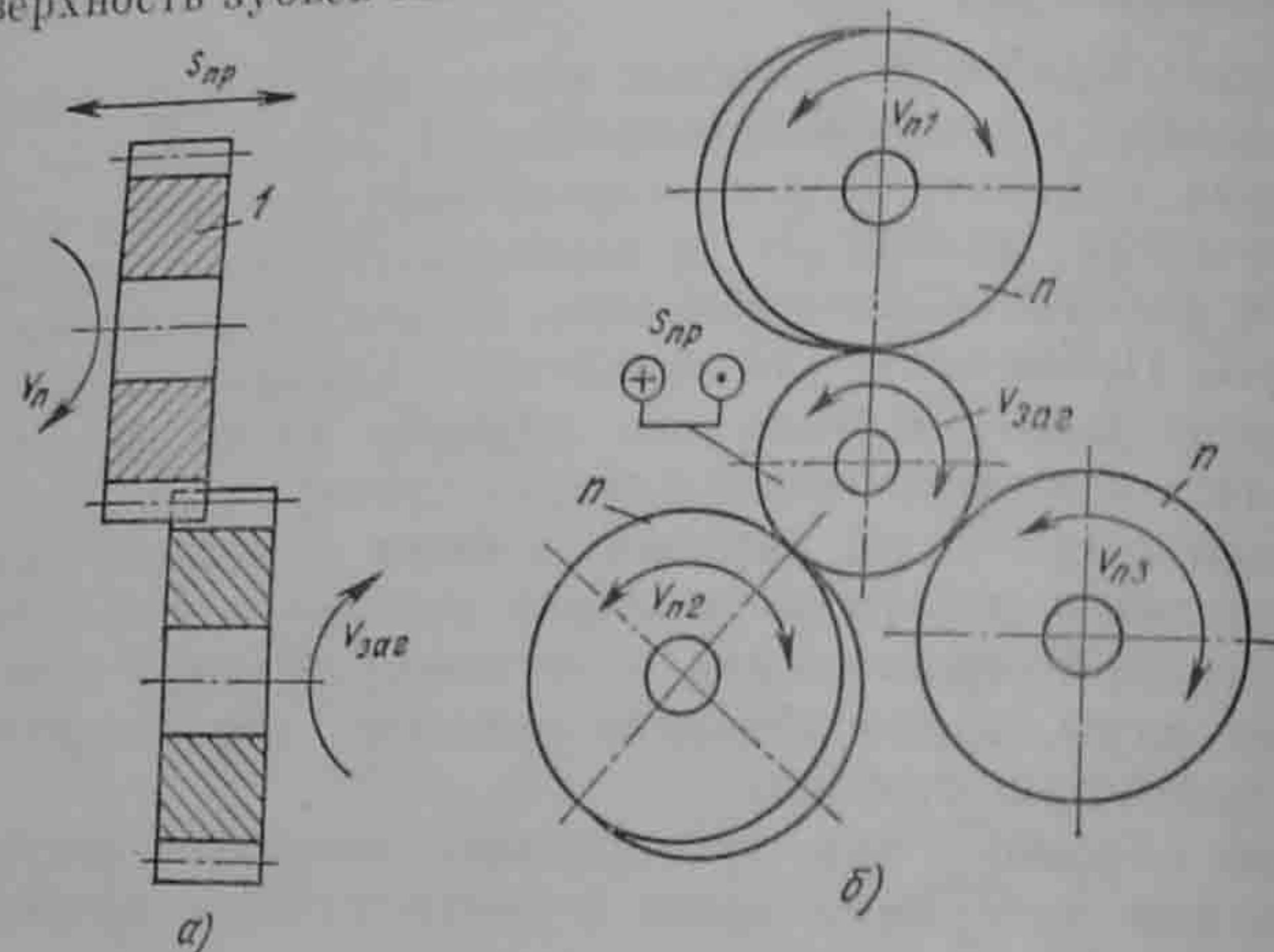


Рис. VI.140. Схемы зубопритирки:

1 — притир

Жидкую абразивную смесь готовят из одной части абразивного порошка и четырех частей густого масла.

Зубчатые колеса данным методом обрабатывают на специальных зубопритирочных станках. Возможна притирка чугунными червячными притирами больших диаметров на зубофрезерных станках.

Зубопритирка обеспечивает более высокое качество обработки, чем зубошлифование, лишь в том случае, если зубчатое колесо было изготовлено точно. Максимальная толщина слоя, удаляемого с помощью притирки, не должна быть больше 0,05 мм.

Значительные погрешности зубчатых колес исправить притиркой нельзя. Такие колеса надо предварительно шлифовать, а затем притирать.

В отдельных случаях вместо притирки применяют приработку зубьев. Она отличается от притирки тем, что колесо взаимодействует не с притиром, а с тем колесом, которое будет находиться с ним в зацеплении в собранной машине. Приработку производят с помощью абразивного материала, ускоряющего процесс взаимного сглаживания поверхностей.

1. Общие сведения о чистовой обработке пластическим деформированием

Методы обработки без снятия стружки все больше применяют при изготовлении деталей машин. Широкие перспективы применения методов объясняются их высокой производительностью, шероховатостью и необходимыми физико-механическими свойствами.

Методы чистовой обработки основаны на использовании пластических свойств металлов, т. е. способности металлических заготовок принимать остаточные деформации без нарушения целостности металла. Отделочная обработка методами пластического деформирования сопровождается упрочнением поверхности, что очень важно для повышения долговечности работы деталей. Детали становятся менее чувствительными к усталостному разрушению, у них повышается коррозионная стойкость и износостойкость сопряжений, удаляются риски и микротрещины, оставшиеся от предшествующей обработки. В ходе обработки глобидная форма кристаллов поверхности металла может измениться, кристаллы сплюсываются в направлении деформации, образуется упорядоченная структура волокнистого характера. Поверхность заготовки становится требуемой формы и размеров в результате перераспределения элементарных объемов под воздействием инструмента. Исходный объем заготовки остается постоянным.

Методами обработки без снятия стружки обрабатывают на многих металлообрабатывающих станках с помощью специальных инструментов. Созданы особые станки, на которых наряду с резанием заготовки обрабатывают пластическим деформированием. Указанные методы чистовой обработки используют для всех металлов, способных пластически деформироваться, но наилучшие результаты получают на металлах с твердостью до HB 280.

2. Обкатывание и раскатывание поверхностей заготовок

Обкатыванием и раскатыванием отделяют и упрочняют цилиндрические, конические, плоские и фасонные наружные и внутренние поверхности.

Сущность методов заключается в том, что поверхностные слои металла, контактируя с инструментом высокой твердости, в результате давления оказываются в состоянии всестороннего сжатия и пластически деформируются. Давление осуществляется не по всей обрабатываемой поверхности, а только в зоне контакта. Инструментом являются ролики и шарики, перемещающиеся относительно заготовки. Поэтому перемещается и пятно контакта.

В результате вся поверхность оказывается пластически деформированной: микронеровности сглаживаются за счет снятия микровыступов и заполнения микропадин.

Обкатывают, как правило, наружные поверхности, а раскатывают внутренние цилиндрические и фасонные поверхности. Эффективность обработки обкатыванием или раскатыванием определяется свойствами обрабатываемого металла, особенностями строения поверхности заготовки, режимами процесса и конструкцией инструмента.

На рис. VI.141 показаны распространенные схемы обкатывания и раскатывания поверхностей. К вращающейся цилиндри-

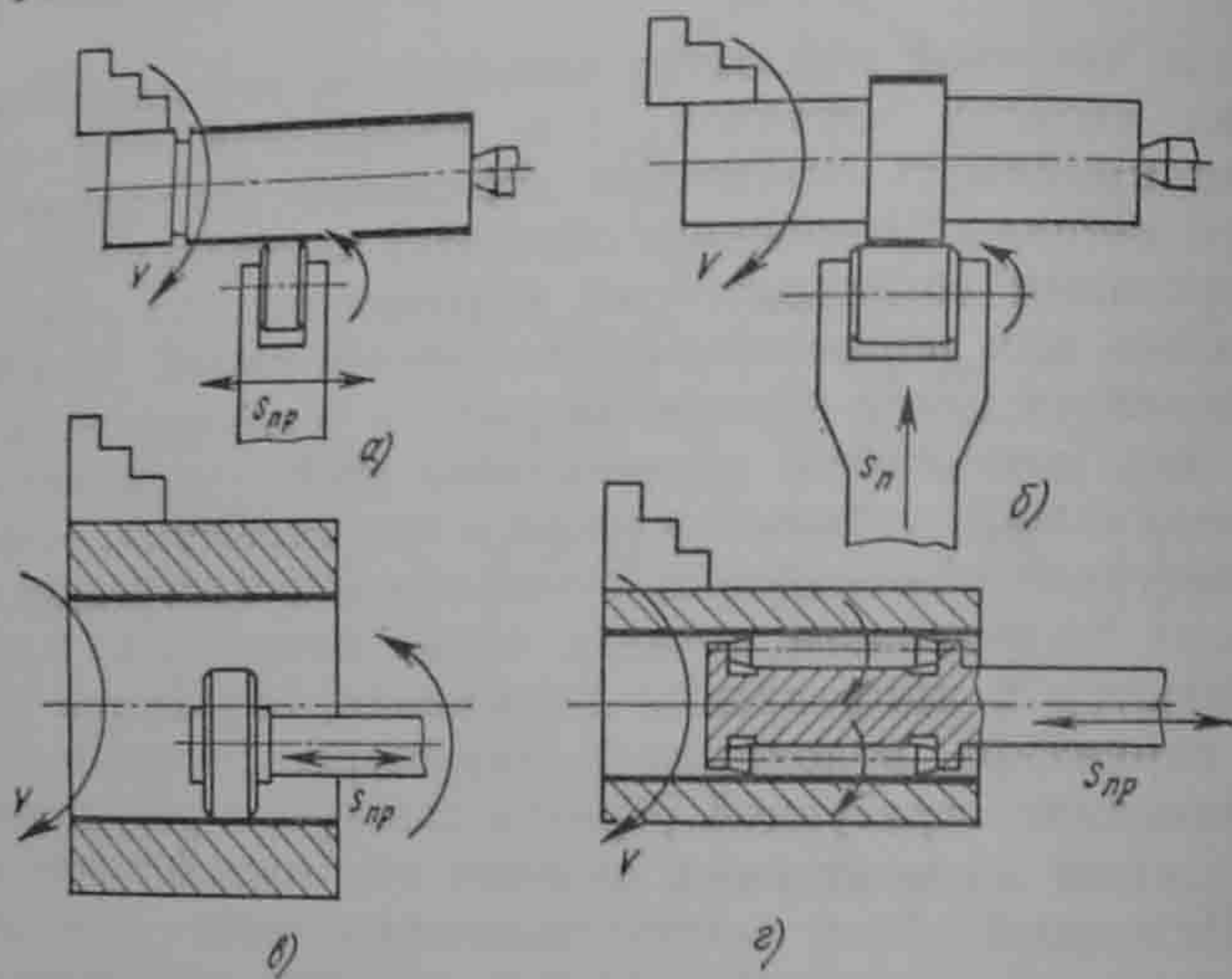


Рис. VI.141. Схемы обкатывания и раскатывания поверхностей

ческой заготовке подводят закаленный гладкий ролик-обкатку (рис. VI.141, а), который под действием рабочего усилия деформирует поверхность. Продольная подача позволяет обрабатывать всю заготовку. Аналогичным инструментом обрабатывают элементы заготовок, но с поперечной подачей (рис. VI.141, б). При раскатывании ролик-раскатку закрепляют на консольной оправке (рис. VI.141, в). Более совершенным является инструмент, который может обрабатывать сразу несколькими роликами (рис. 141, г).

Наряду с простотой обработки методы обкатывания и раскатывания обеспечивают значительную однородность форм микронеровностей. Для этого используют разнообразные конструкции инструментов, различающиеся числом и формой деформирующих частей (роликов, шариков). Наилучшие результаты обеспечивают инструменты, на которые постоянно передается упругое усилие обработки в любой точке обрабатываемой поверхности. Усилие регулируется.

Преимущество шариковых обкаток и раскаток состоит в том, что шарики самоустанавливаются в процессе обработки, требуют меньшего усилия и не проскальзывают. Однако производительность обработки шариком ниже производительности при обкатывании роликом. Галтели, фасонные и сферические поверхности обрабатывают специальными инструментами.

Поверхности обрабатывают обкатыванием и раскатыванием чаще на токарных или карусельных станках. Обкатки и раскатки устанавливают вместо режущего инструмента, при этом суппорты ноли задней бабки. Глубокие отверстия раскатывают на станках для глубокого сверления.

Так как заготовки в местах контакта с инструментом нагреваются незначительно, охлаждения не требуется. Для уменьшения трения используют смазку веретенным маслом или керосином.

Обкатыванием и раскатыванием лишь в незначительной степени исправляют погрешности предшествующей обработки. Поэтому предварительная обработка заготовок должна быть точной с учетом снятия микронеровностей и изменения окончательного размера детали. Решающую роль в достижении необходимого качества поверхности играет сила воздействия на поверхность. Чрезмерно большая сила, так же как и большое число ходов инструмента, разрушает поверхность и может привести к отслаиванию ее отдельных участков.

3. Алмазное выглаживание

Малой шероховатости поверхности и ее упрочнения можно достичь новым методом — алмазным выглаживанием. Сущность метода состоит в том, что оставшиеся после обработки резанием неровности поверхности выглаживаются перемещающимся по ней прижатым алмазным инструментом. Алмаз, закрепленный в державке, не вращается, а скользит с весьма малым коэффициентом трения. Рабочая часть инструмента выполнена в виде полусферы, цилиндра или конуса. Чем тверже обрабатываемый металл, тем меньше радиус скругления рабочей части алмаза.

Достоинства алмазного выглаживания состоят в повышении эксплуатационных свойств обработанных поверхностей, снижении шероховатости поверхности, отсутствии переноса на обрабатываемую поверхность посторонних частиц, возможности обработки тонкостенных деталей и деталей сложной конфигурации, простоте конструкции выглаживателей.

Заготовки обрабатывают на токарных станках. Державку с подпружиненным наконечником с алмазом устанавливают в резцедержателе вместо резца. Движения заготовки и инструмента аналогичны движениям заготовки и инструмента при обтачивании. Возможно выглаживание и жестко закрепленным инструментом.

Его применяют при обработке прерывистых поверхностей или для улучшения геометрической формы деталей.

Силы прижатия алмаза к обрабатываемой поверхности сравнительно малы и составляют 50—300 Н. Процесс выглаживания ведут со смазкой веретенным маслом, что в 5 раз уменьшает износ алмаза по сравнению с износом при выглаживании всухую. Применение керосина или эмульсий интенсивно изнашивает алмаз. Число ходов инструмента не должно быть более двух. Выглаживанием обрабатывают нормализованные и закаленные стали, а также цветные сплавы.

4. Калибрование отверстий

Калиброванием повышают точность отверстий и получают поверхности высокого качества. Метод характеризуется высокой производительностью.

Сущность калибрования сводится к перемещению в отверстии с натягом жесткого инструмента. Размеры поперечного сечения

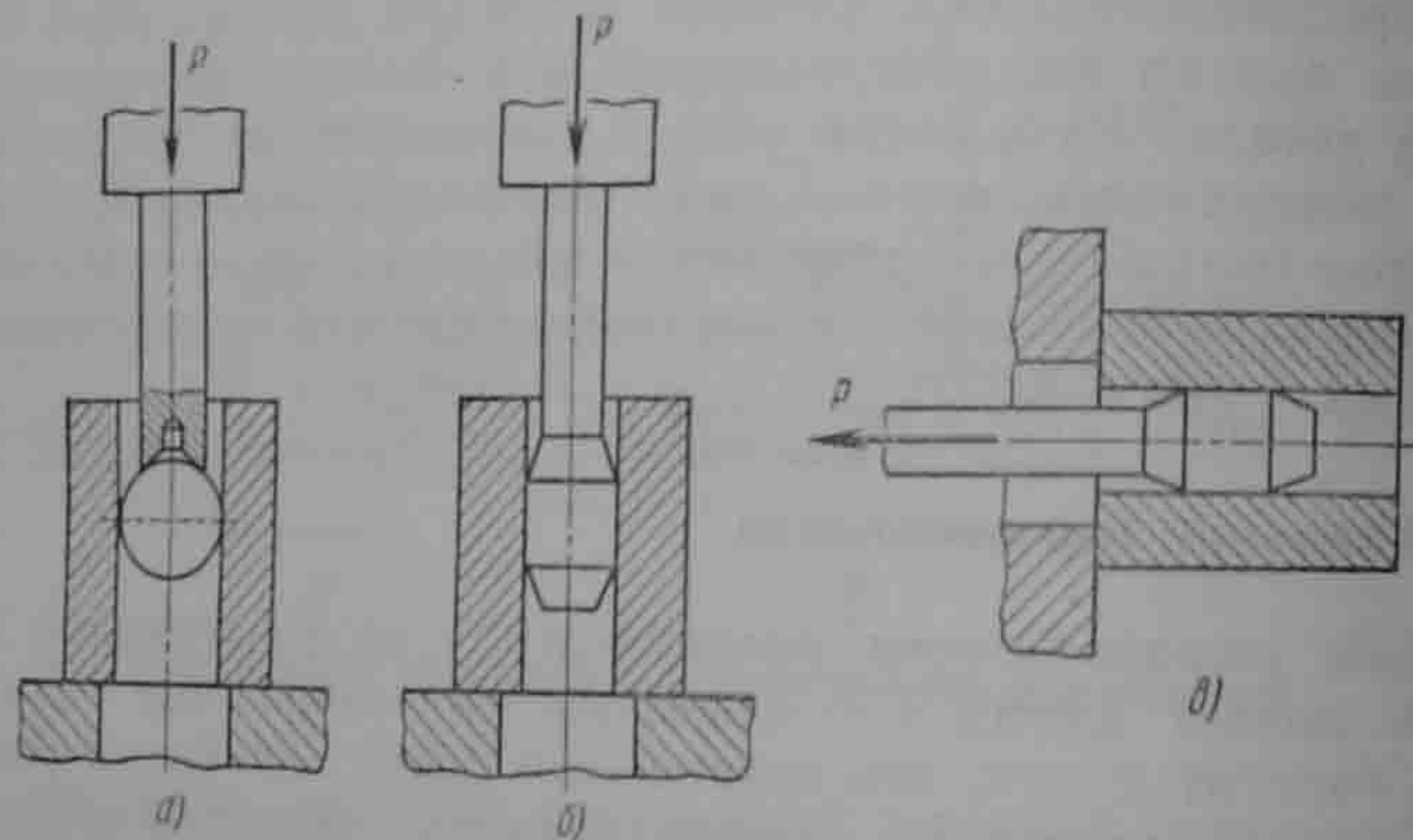


Рис. VI.142. Схемы калибрования отверстий

инструмента немного больше размеров поперечного сечения отверстия. При этом инструмент сглаживает неровности, исправляет погрешности, упрочняет поверхность.

Распространенные схемы обработки представлены на рис. VI.142. Простейшим инструментом является шарик, который проталкивается штоком (рис. VI.142, а). Роль инструмента может выполнять также оправка — дорн (рис. VI.142, б), к которому прикладывается сжимающая или растягивающая (рис. VI.142, в) сила. Заготовки обрабатывают за один или несколько ходов инструмента.

Основным технологическим параметром процесса является натяг. Заготовки обрабатывают с малыми или большими натягами. В первом случае зона пластической деформации не распространяется на всю толщину детали. Так обрабатывают толстостенные

заготовки. Во втором случае зона пластической деформации охватывает всю деталь. Так обрабатывают тонкостенные заготовки, что значительно повышает точность.

Шарики, как инструмент, не обеспечивают оптимальных условий деформирования и имеют малую стойкость. Однако их применяют из-за простоты процесса обработки и возможности его автоматизации. Калибрующие оправки выполняют одноэлементными, многоэлементными или сборными. Каждый из элементов-полюсов имеет свой размер. Деформирующие элементы изготавливают из твердого сплава или стали, закаленных до высокой твердости.

Калибруют со смазкой. Для сталей и бронзы применяют сульфозеол, для чугуна — керосин. Разработаны специальные смазки, обеспечивающие жидкостное трение. Смазки снижают рабочее усилие, повышают качество поверхности, увеличивают точность обработки и стойкость инструмента.

Отверстия калибруют на прессах (рис. VI.142, а, б) или на горизонтально-протяжных станках. Для правильного взаимного расположения инструмента и заготовки обычно применяют самоустанавливающиеся приспособления с шаровой опорой. Заготовку не закрепляют.

5. Вибронакатывание

Для повышения износостойкости деталей машин на поверхностях трения целесообразно выдавливать слабовидимые, прилегающие друг к другу канавки. В канавках размещается смазка, а также мелкие частицы, образовавшиеся в процессе изнашивания. Такие частицы значительно меньше изнашивают трущиеся поверхности. Канавки выполняют вибронакатыванием.

Упрочняющему элементу — шару или алмазу, установленному в резцедержателе токарного станка, помимо обычных движений v и $s_{пр}$ (рис. VI.143) сообщают специальным устройством дополнительные движения Δs с относительно малой амплитудой. Изменяя v , $s_{пр}$, амплитуду и частоту колебаний, можно на обрабатываемой поверхности получить требуемый рисунок. Распространение по поверхности получили рисунки с непересекающимися канавками, с не полностью пересекающимися и со сливающимися канавками. Необходимый рисунок определяют в зависимости от конкретной пары трения и условий износа. Возможно вибронакатывание внутренних и плоских поверхностей.

Развитием данного метода является вибронакатывание шаром, который, помимо указанных движений, дополнительно вращается

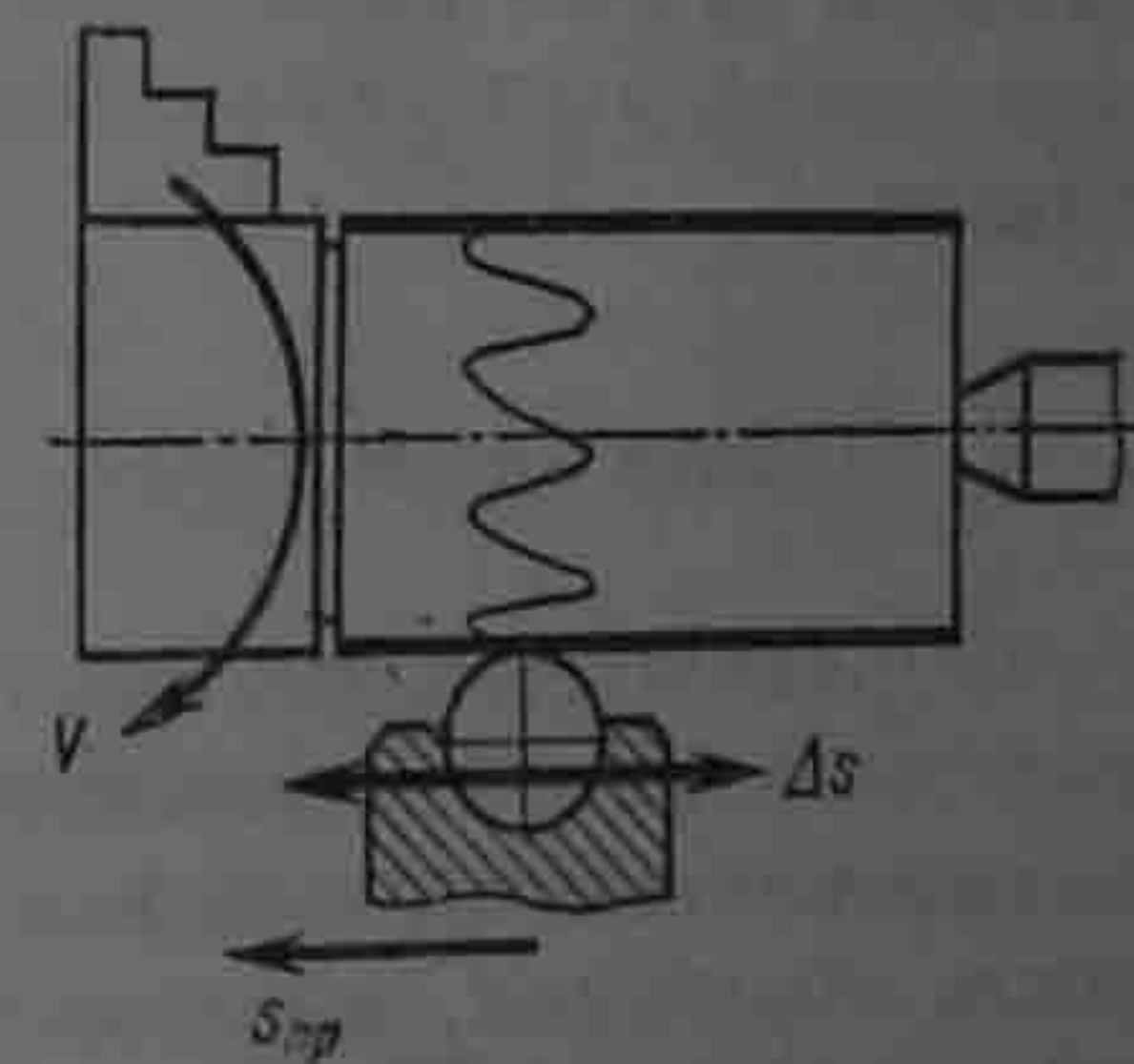


Рис. VI.143. Схема вибронакатывания

вокруг оси, не проходящей через его центр, что создает еще более сложный рисунок. Канавки упрочняют поверхность, а в некоторых случаях уменьшают предел ползучести.

6. Обкатывание зубчатых колес

Пластическое деформирование поверхностных слоев повышает работоспособность зубчатых колес. Метод отделки и упрочнения профиля зубьев, называемый обкатыванием, по существу аналогичен обкатыванию цилиндрических поверхностей роликами. Его применяют для предварительно нарезанных и незакаленных зубчатых колес. Микронеровности, оставшиеся от предшествующей обработки, снимают специальным инструментом.

Обрабатываемое зубчатое колесо вводят в плотное зацепление с тремя стальными закаленными эталонными колесами. Последние имеют полированные зубья и располагаются вокруг обкатываемого колеса. Эталонные колеса прижимаются к обкатываемому с помощью пружинных устройств. Сила прижима регламентируется. Одно из эталонных колес является ведущим и приводит во вращение обрабатываемое колесо, а через него два остальных эталонных колеса. Для равномерной обработки обеих сторон каждого зуба движение ведущего эталонного колеса, а следовательно, и всей системы колес реверсируется. Обкатывают с применением смазки на специальных зубообкатных станках.

Обкатыванием лишь частично исправляют профиль зуба и его размеры за счет выравнивания шероховатостей. Зубчатые колеса, подвергающиеся последующей термической обработке, не обкатывают.

7. Накатывание резьб, шлицевых валов и зубчатых колес

Формообразование фасонных поверхностей в холодном состоянии методом накатывания имеет ряд преимуществ. Главными из них являются очень высокая производительность, низкая стоимость обработки, высокое качество обработанных деталей. Накатанные детали имеют более высокую механическую и усталостную прочность. Это объясняется тем, что при формообразовании накатыванием волокна исходной заготовки не перерезаются, как при обработке резанием, а повторяют профиль детали. Поверхность накатанных деталей упрочняется, они становятся более износостойкими. Все эти преимущества определяют широкое применение методов накатывания, особенно при изготовлении большого числа деталей.

Профиль накатываемых деталей образуется за счет вдавливания инструмента в материал заготовки и выдавливания части его во впадины инструмента. Такие методы сочетают в себе функции черновой, чистовой и отделочной обработок. Их используют для

получения резьб, валов с мелкими шлицами и зубчатых мелко-

модульных колес. Схемы накатывания показаны на рис. VI.144. Резьбы накатывают обычно до термической обработки, хотя точные резьбы можно накатывать и после нее. Распространенным методом является формирование резьбы плашками (рис. VI.144, а). Заготовку 2 помещают между неподвижной 1 и подвижной 3 плашками, на рабочих поверхностях которых нарезаны рифления, профиль и расположение последних соответствует профилю и шагу наката и расположению последних соответствует профилю и шагу наката

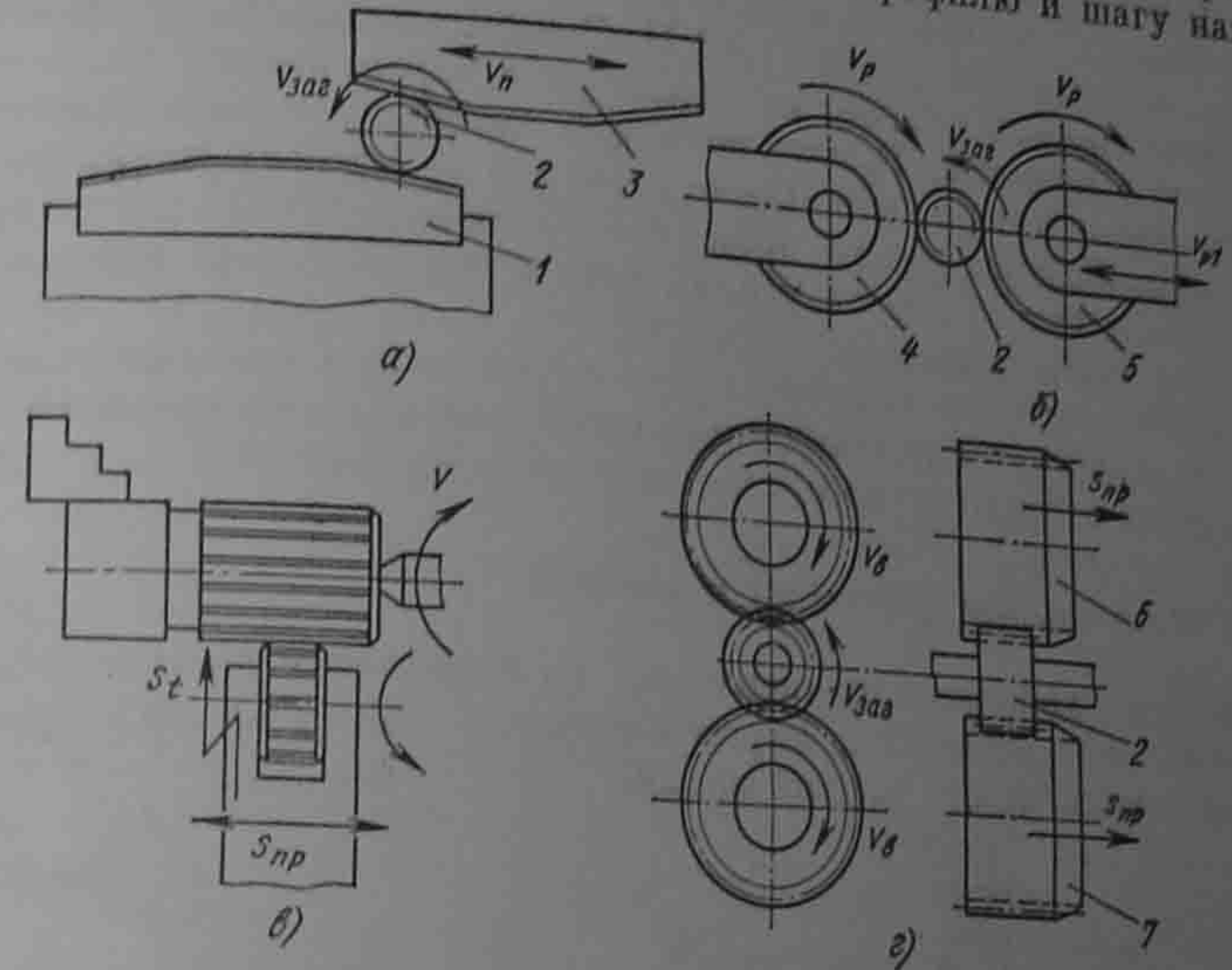


Рис. VI.144. Схемы накатывания:

а, б — резьб; в — мелких шлицев; г — мелко модульных колес

Обрабатываемой резьбы. При движении подвижной плашки заготовка катится между инструментами, а на ее поверхности образуется резьба.

Резьбу можно формировать роликами (рис. VI.144, б). Ролики 4 и 5 получают принудительное вращение, заготовка 2 свободно обкатывается между ними. Ролику 5 придается радиальное движение для вдавливания в металл заготовки на необходимую глубину. Обработка роликами требует меньших усилий, с их помощью накатывают резьбы с более крупными шагами.

Один из вариантов накатывания мелких шлицев на валах показан на рис. VI.144, в. Накатной ролик имеет профиль шлицев. Он внедряется в поверхность заготовки при вращении и поступательном продольном движении вдоль вала. Существуют более сложные схемы накатывания, когда каждая впадина шлицевого вала формируется отдельным профильным роликом.

Накатывание цилиндрических (рис. VI.144, *з*) и конических мелкозубчатых колес в 15—20 раз производительнее зубонарезания. Процесс можно осуществлять на токарных станках накатниками 6 и 7, которые закреплены на суппорте и перемещаются с подачей s_{np} . Каждый накатник имеет заборную часть для постепенного образования накатываемых зубьев на заготовке 2.

Накатные инструменты изготавливают из легированных сталей, обрабатывают термически и подвергают доводке.

Для накатывания применяют универсальное специальное оборудование. Для образования резьб служат резьбонакатные станки, развивающие давление до $2 \cdot 10^5$ Н. Эти станки автоматизированы и имеют горизонтальное, наклонное или вертикальное движение ползуна с плашкой. Резьбы роликами накатывают на автоматах.

На автоматизированном оборудовании — прессах накатывают и шлицы. Шлиценакатный пресс может заменить 10—15 шлицефрезерных станков. Рабочие усилия создаются мощными гидравлическими устройствами.

Зубчатые колеса накатывают на специальных станках. Получают распространение комбинированное накатывание (горячее накатывание с последующим холодным калиброванием).

8. Накатывание рифлений и клейм

Методом холодного накатывания на отдельных элементах деталей наносят рифления, маркировочные клейма, знаки. Производительность метода весьма велика.

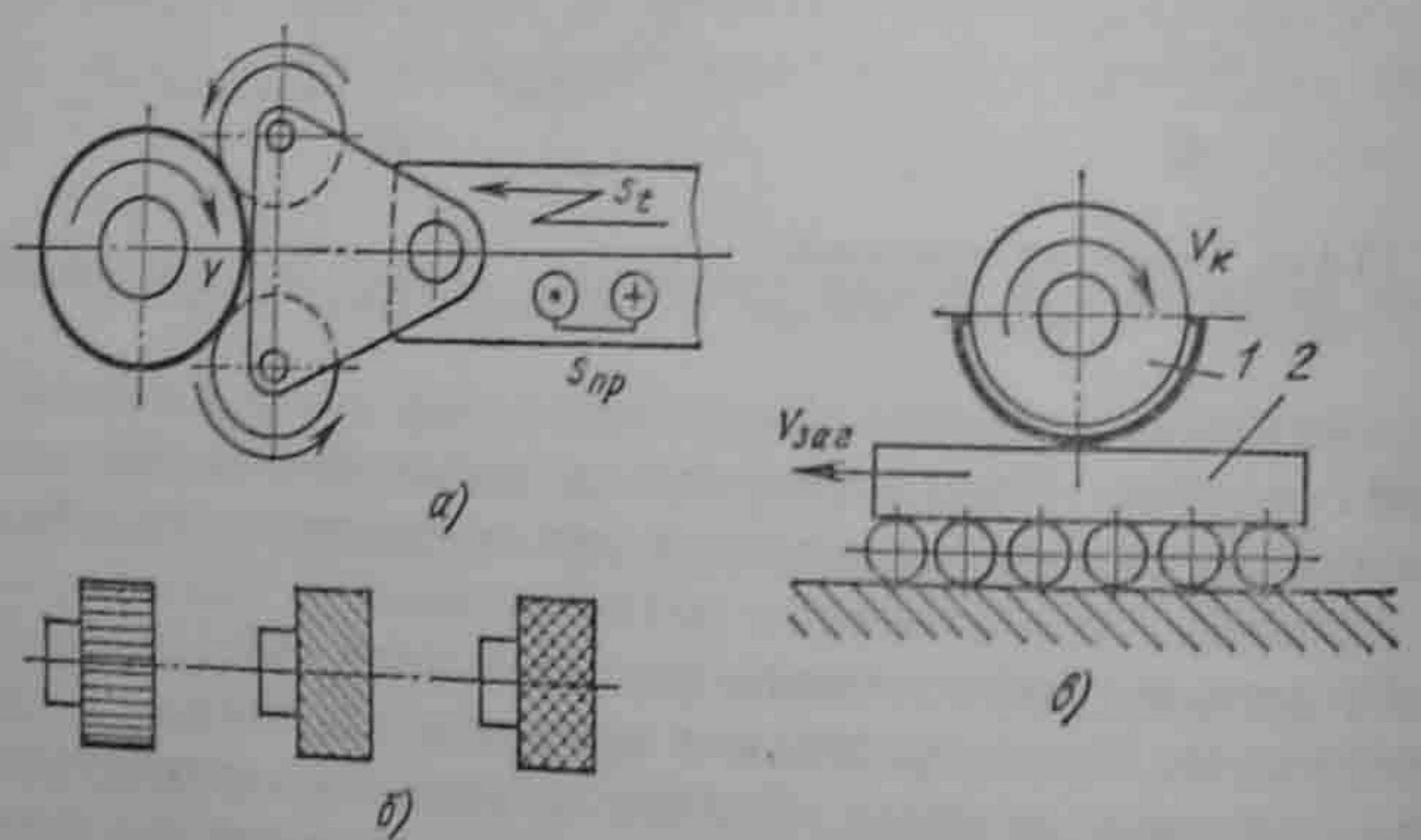


Рис. VI.145. Схемы накатывания рифлений и клейм

На рис. VI.145, *а* приведена схема накатывания рифленой поверхности. Заготовка закреплена на токарном станке, на суппорте которого установлена державка с одним или двумя накатными роликами. Ролики внедряются в поверхность заготовки (s_f) и перемещаются вдоль заготовки с рабочей подачей s_{np} . Вид рифлений (рис. VI.145, *б*) определяется характером зубчиков на роли-

ках. Крестовое рифление производят двумя роликами, один из которых имеет правое направление отпечатывающих зубчиков, а другой — левое. Оба ролика вращаются на осях самоустанавливающейся державки. Для накатывания клейм (рис. VI.145, *в*) на накатнике 1 располагают негативно выступающие знаки либо гравировать их. Заготовку 2 устанавливают на ролики для более легкого перемещения в момент накатывания. Аналогичным методом изготавливают знаки на цилиндрических поверхностях. Рифления и клейма накатывают также на специальных станках.

9. Упрочняющая обработка поверхностей деталей 7-9

Упрочняющая обработка увеличивает предел усталости деталей. Методы упрочнения основаны на ударном воздействии инструментов на весьма малых поверхностях, в результате чего возникают очень большие местные давления. Зоны, воспринявшие удары, располагаются очень близко друг к другу. В результате вся рабочая поверхность детали оказывается упрочненной, в поверхностных слоях возникают значительные напряжения сжатия.

Наиболее распространены дробеструйное и динамическое упрочнения шариками и бойками. При дробеструйной обработке готовые детали машин подвергают ударному действию потока дроби. Обрабатывают в специальных камерах. Дробинки с большой скоростью перемещаются за счет потока воздушной струи, а после удара о заготовку падают вниз и используются повторно. Их изготавливают из отбеленного чугуна, стали, алюминия, стекла и других материалов. Исходная шероховатость обрабатываемой поверхности не улучшается, но значительно повышаются другие свойства деталей. Особенно повышается долговечность у таких изделий, как рессорные листы, пружины, лопатки турбин, штоки, штампы.

Упрочнение шариками основано на их ударах по обрабатываемой поверхности. При этом используется центробежная сила шариков, свободно сидящих в отверстиях диска упрочнителя, вращающегося на шпинделе станка. Шарик наносит по поверхности многочисленные удары, пластически деформирует ее и затем мгновенно отскакивает. Каждый шарик может перемещаться в отверстии на небольшое расстояние, но отделиться от упрочнителя не может.

Аналогичный эффект упрочнения возникает от частых ударов по обрабатываемой поверхности сферическими или плоскими бойками.

1. Общие сведения

В современном машиностроении возникают технологические проблемы, связанные с обработкой новых материалов и деталей, форму и состояние поверхностного слоя которых трудно получить известными механическими методами. К таким проблемам относятся обработка весьма прочных или весьма вязких материалов, хрупких и неметаллических материалов, тонкостенных нежестких деталей, а также пазов и отверстий, имеющих размеры в несколько микрометров; получение поверхностей деталей с малой шероховатостью, с очень малой толщиной дефектного поверхностного слоя и т. д.

Подобные проблемы в большинстве своем решаются электрофизическими и электрохимическими (ЭФЭХ) методами обработки, общая условная классификация которых дана на рис. VI.1. Для осуществления размерной обработки заготовок этими методами используют электрическую, химическую, звуковую, световую, лучевую и другие виды энергии.

ЭФЭХ методы обработки успешно дополняют механическую обработку резанием, а в отдельных случаях имеют преимущества перед ней. При ЭФЭХ методах обработки механические нагрузки либо отсутствуют, либо настолько малы, что практически не влияют на суммарную погрешность точности обработки. Эти методы позволяют не только изменять форму обрабатываемой поверхности заготовки, но одновременно влиять и на состояние поверхностного слоя. Так, в отдельных случаях обработанная поверхность не упрочняется, а дефектный слой незначителен, удаляют прижоги поверхности, полученные при шлифовании и т. п. При этом повышаются износостойкость, коррозионная стойкость, прочностные и другие эксплуатационные характеристики поверхностей деталей.

Кинематика формообразования поверхностей деталей ЭФЭХ методами обработки, как правило, проста, что обеспечивает тонкое регулирование процессов и их автоматизацию.

ЭФЭХ методы обработки являются универсальными и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности. На обрабатываемость заготовок ЭФЭХ методами (за исключением ультразвукового и некоторых других методов) твердость и вязкость обрабатываемого материала практически не влияют.

В промышленности все шире применяют комбинированные методы обработки, которые в отдельных случаях дают значительно больший эффект, чем каждый из методов отдельно.

Отметим, что некоторые ЭФЭХ методы обработки еще не достаточно полно изучены и требуют дальнейших исследований.

2. Электроэрозионные методы обработки

Электроэрозионные методы обработки основаны на явлении эрозии (разрушении) электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока.

Использование электроэрозии для обработки токопроводящих материалов было предложено советскими учеными в 1943 г. К этому методу относят электроискровую, электроимпульсную и высокочастотные электроискровую и электроимпульсную обработки.

Электрический разряд между двумя электродами происходит в газовой среде или при заполнении межэлектродного промежутка диэлектрической жидкостью (керосином, минеральным маслом и т. д.). В жидкой среде процесс электроэрозии происходит интенсивнее.

При наличии потенциала на электродах межэлектродное пространство ионизируется. Когда разность потенциалов достигает определенной величины, в среде между электродами образуется канал проводимости, по которому устремляется электрическая энергия в виде импульсного искрового или дугового разряда. Благодаря высокой концентрации энергии, реализуемой во времени за 10^{-5} — 10^{-8} с, мгновенная плотность тока в канале проводимости достигает 8000 — $10\,000$ А/мм², в результате чего температура на поверхности обрабатываемой заготовки-электрода возрастает до $10\,000$ — $12\,000$ °С.

При этой температуре мгновенно оплавляется и испаряется элементарный объем металла и на обрабатываемой поверхности образуется лунка. Удаленный металл застывает в диэлектрической жидкости в виде сферических гранул диаметром $0,01$ — $0,005$ мм.

Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами окажется наименьшим. При непрерывном подведении к электродам импульсного тока процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, находящийся между электродами на расстоянии, при котором возможен электрический пробой ($0,01$ — $0,05$ мм) при заданном напряжении импульса. Для продолжения процесса необходимо сблизить электроды до указанного расстояния и тогда процесс эрозии возобновится. Электроды сближаются автоматически за счет использования следящих систем.

Кроме теплового воздействия, при электроэрозионных методах обработки на материал заготовки-электрода действуют электродинамические и электростатические силы, а также давление жидкости от явления кавитации¹, сопровождающего процесс импульсных разрядов. Совокупность тепловых и силовых факторов

¹ Кавитацией называют процесс образования газовых или воздушных пузырьков в жидкости, в частности под действием ультразвуковых колебаний. Захлопывание пузырьков вызывает гидравлические удары, способные разрушать твердые и хрупкие материалы, так как в момент захлопывания давление в пузырьках достигает нескольких сотен атмосфер.

приводит к разрушению металла и формообразованию поверхности обрабатываемой заготовки-электрода.

Электронскровая обработка. Эта обработка основана на использовании импульсного искрового разряда между двумя электродами, один из которых является обрабатываемой заготовкой (анод), а другой — инструментом (катод).

Принципиальная схема электронскрового станка с генератором импульсов RC приведена на рис. VI.146. Конденсатор C , включенный в зарядный контур, заряжается через сопротивление R от источника постоянного тока напряжением 100—200 В. Когда напряжение на электродах 1 и 3, включенных параллельно конденсатору и образующих разрядный контур, достигнет пробойного, образуется канал сквозной проводимости, через который осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором. Продолжительность импульса составляет 20—200 мкс.

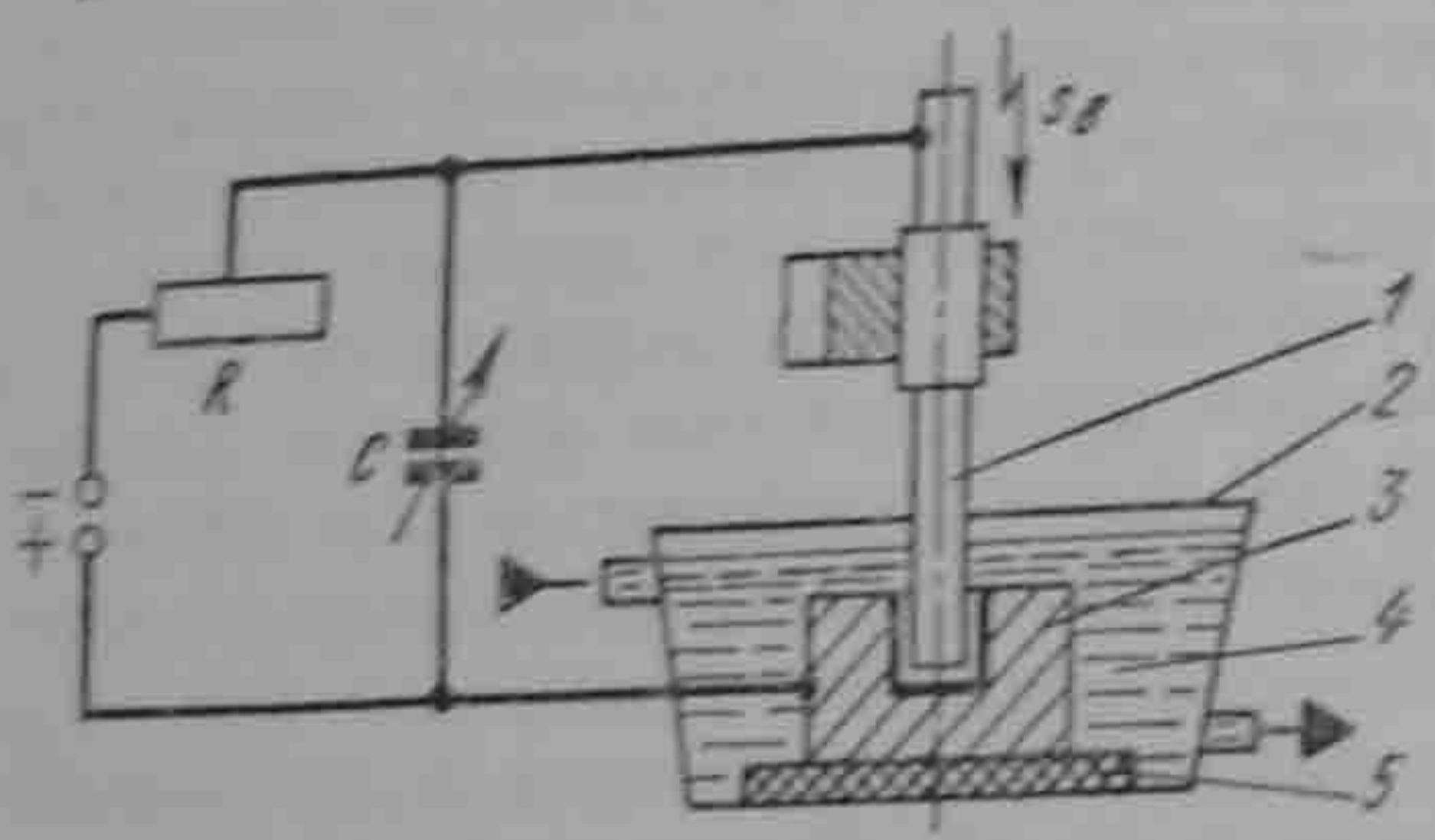


Рис. VI.146. Схема электронскрового станка:
1 — электрод-инструмент; 2 — ванна; 3 — заготовка-электрод; 4 — диэлектрическая жидкость; 5 — изолятор

При увеличении емкости конденсатора накапливаемый в нем запас энергии увеличивается и, следовательно, повышается производительность процесса. С увеличением сопротивления возрастает время зарядки конденсатора и продолжительность эрозийного цикла. Для повышения производительности процесса надо уменьшить сопротивление.

В зависимости от энергии, реализуемой в импульсе, режим обработки делят на жесткий или средний для предварительной черновой обработки и мягкий или особо мягкий для окончательной отделочной обработки. При обработке заготовок на мягких режимах достигают размеров с точностью до 0,002 мм при шероховатости поверхности, соответствующей 8—10-му классам. Заготовки обрабатывают в ваннах, заполненных диэлектрической жидкостью: керосином или жидкими минеральными маслами. Жидкость исключает нагрев электродов (инструмента и заготовки), охлаждает продукты разрушения, уменьшает величину боковых разрядов между инструментом и заготовкой, что повышает точность обработки.

Для обеспечения непрерывности процесса обработки необходимо, чтобы зазор между инструментом-электродом и заготовкой был постоянным. Для этого электронскровые станки снабжают

следящей системой и механизмом автоматической подачи инструмента. Величина подачи зависит от режима обработки. Инструменты-электроды изготовляют из латуни, меди, углеродистых и других материалов.

Электронскровым методом обрабатывают все токопроводящие материалы. Целесообразнее обрабатывать твердые сплавы, труднообрабатываемые металлы и их сплавы, тантал, вольфрам, молибден и другие материалы.

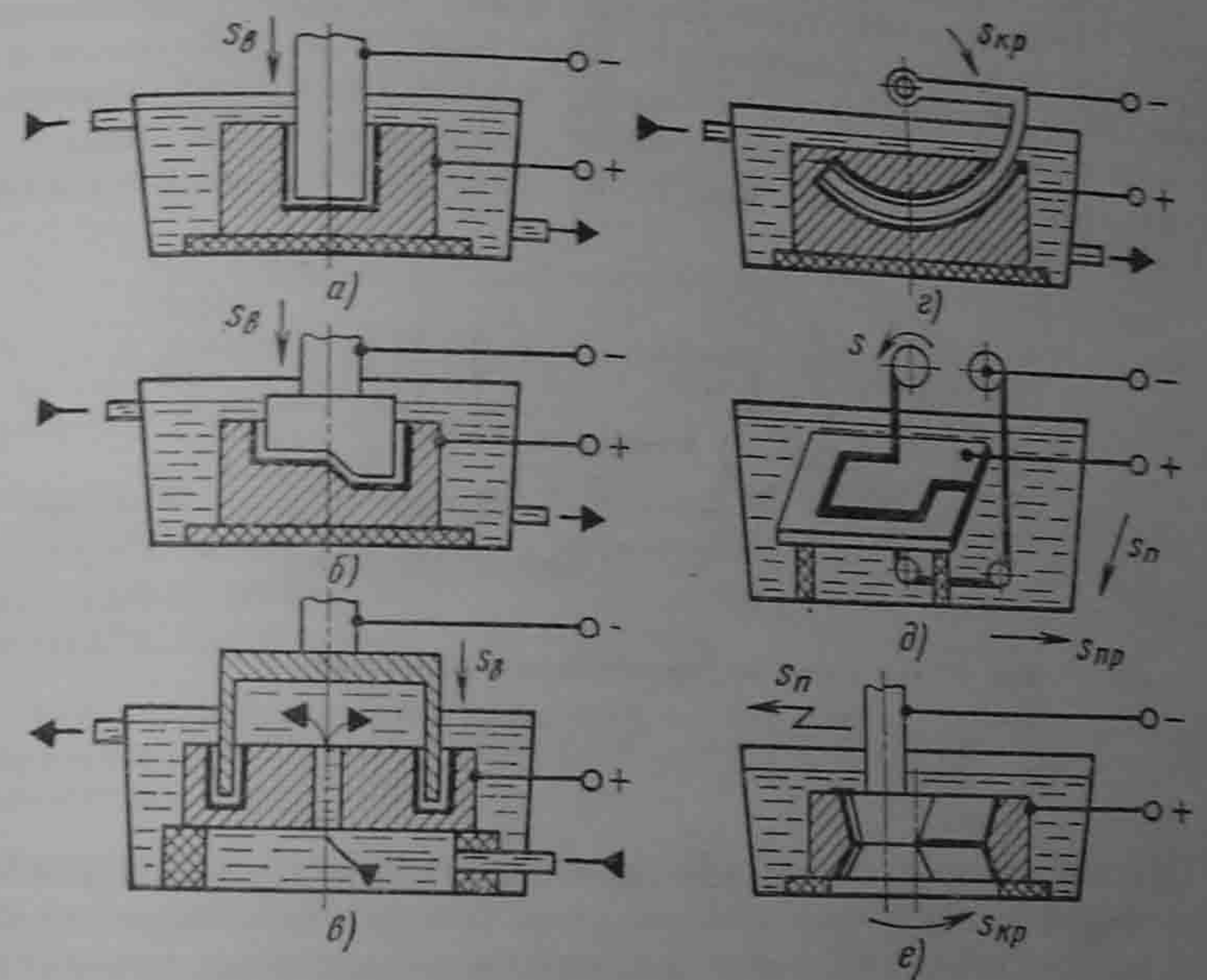


Рис. VI.147. Схемы электронскровой обработки:
а — прошивание отверстия; б — обработка фасонной полости штампа; в — прошивание отверстия по способу трепанации; г — прошивание отверстия с криволинейной осью; д — вырезание заготовки из листа; е — шлифование внутренней поверхности фильеры

Электронскровым методом (рис. VI.147) получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения (а), глухие отверстия и полости (б), фасонные отверстия и полости по способу трепанации (в), отверстия с криволинейными осями (г), вырезают заготовки из листа при использовании проволочного или ленточного инструмента-электрода (д), выполняют плоское, круглое и внутреннее (е) шлифование, разрезают заготовки, клемят и т. д.

Электронскровую обработку широко применяют для изготовления штампов, пресс-форм, фильер, режущего инструмента, деталей топливной аппаратуры двигателей внутреннего сгорания, сеток и сит, парезания резьбы и т. д.

К достоинствам метода следует отнести простоту обработки и несложность оборудования. Однако метод имеет сравнительно низкую производительность; кроме того, быстро разрушаются инструменты-электроды.

Электроимпульсная обработка. Этот метод основан на том, что полярный эффект при импульсах малой и средней продолжительности приводит к повышенной эрозии анода, что используется при электронискровой обработке. При импульсах большой продолжительности (дуговой разряд) значительно быстрее разрушается катод. Поэтому при электроимпульсной обработке применяют обратную полярность включения электродов и обрабатывают при действии униполярных импульсов, создаваемых электромашинным (рис. VI.148) или электронным генератором. Продолжительность импульсов в зависимости от типа генератора составляет 500—10 000 мкс.

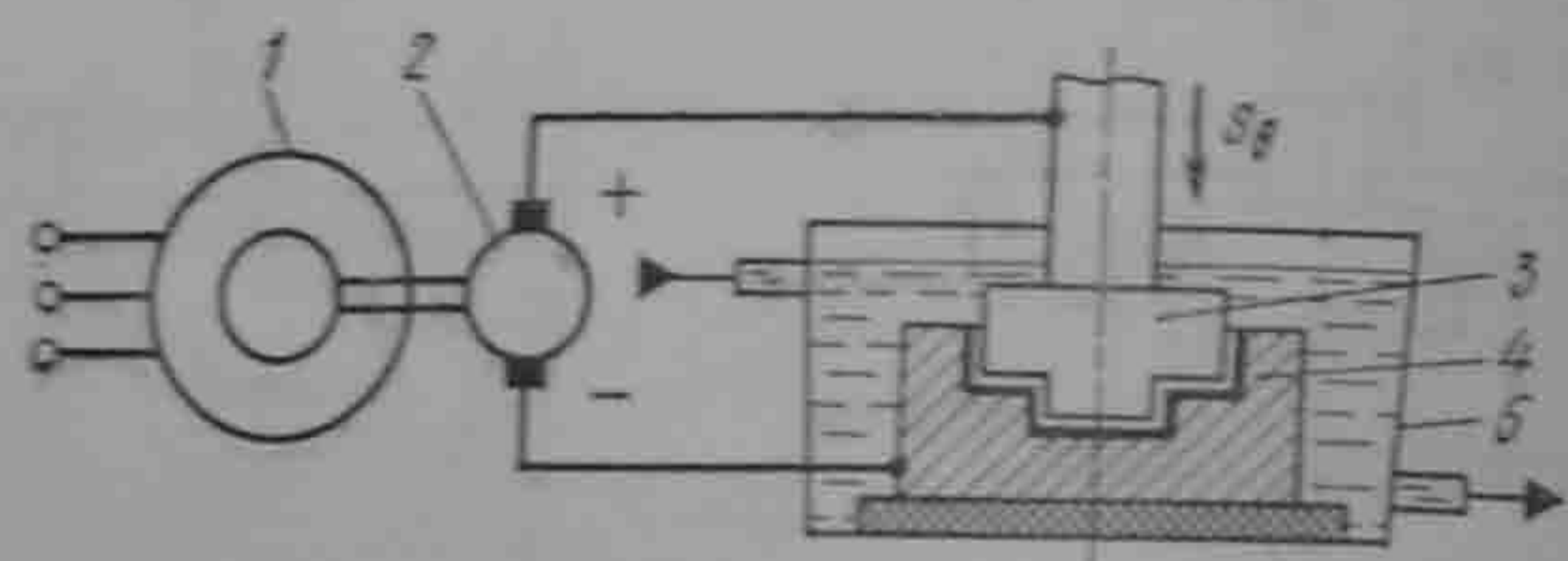


Рис. VI.148. Схема электроимпульсной обработки:
1 — электродвигатель; 2 — импульсный генератор постоянного тока; 3 — инструмент-электрод; 4 — заготовка-электрод; 5 — ванна

При электроимпульсной обработке инструменты-электроды изнашиваются значительно меньше, чем при электронискровой обработке. Большие мощности импульсов обеспечивают высокую производительность процесса. Метод наиболее целесообразно применять при предварительной обработке штампов, турбинных лопаток, фасонных отверстий в деталях из твердых, коррозионно-стойких (нержавеющих) и жаропрочных сплавов. Точность размеров и шероховатость обработанных поверхностей зависят от режима обработки.

При электроимпульсной обработке съем металла в единицу времени в 8—10 раз больше, чем при электронискровой обработке.

Высокочастотная электронискровая обработка. Для повышения точности и уменьшения шероховатости обработанных поверхностей заготовок при электроэрозионной обработке был предложен метод высокочастотной электронискровой обработки. Метод основан на использовании электрических импульсов малой энергии при частоте 100—150 кГц.

Схема высокочастотной электронискровой обработки показана на рис. VI.149. Конденсатор C разряжается при замыкании первичной цепи импульсного трансформатора прерывателем, вакуум-

ной лампой или тиратроном. Так как инструмент-электрод и заготовка включены во вторичную цепь трансформатора, то это исключает возникновение дугового разряда.

Производительность метода в 30—50 раз выше по сравнению с электронискровой при значительном увеличении точности и уменьшении шероховатости. Износ инструмента незначителен.

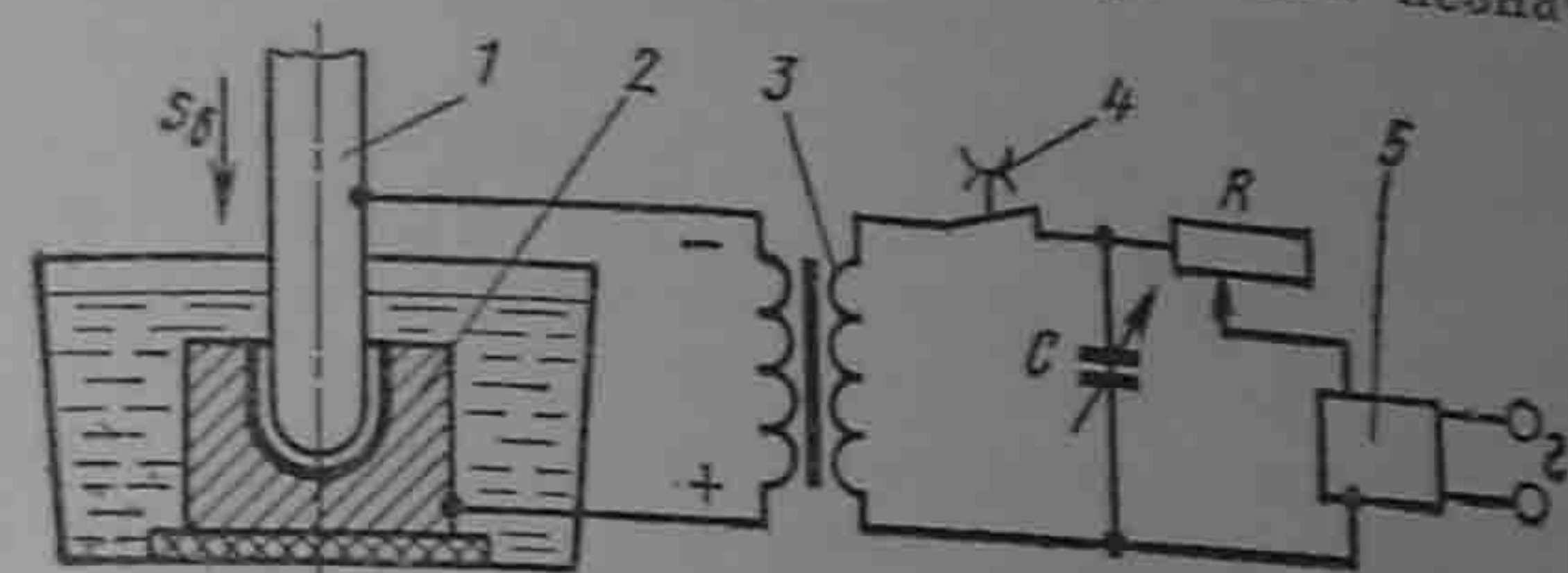


Рис. VI.149. Схема высокочастотной электронискровой обработки:

1 — инструмент-электрод; 2 — заготовка-электрод; 3 — импульсный трансформатор; 4 — прерыватель тока; 5 — выпрямитель

Высокочастотный электронискровой метод широко применяют при обработке деталей из твердых сплавов, так как он исключает структурные изменения и микротрещины в поверхностном слое материала обрабатываемой заготовки.

Для чистовой отделки широко применяют высокочастотную электроимпульсную обработку. Источником энергии служат специальные широкодиапазонные импульсные генераторы.

Электроконтактная обработка. Метод основан на локальном нагреве заготовки в месте ее контакта с инструментом-электродом и удалении размягченного или даже расплавленного металла из зоны обработки механическим способом за счет относительного движения заготовки и инструмента. Источником образования теплоты в зоне обработки являются импульсные дуговые разряды.

Инструментом-электродом является чугунный или медный диск, имеющий вращательное движение. Обрабатывают на постоянном или переменном токе напряжением 10—40 В. В процессе обработки диск охлаждается.

Электроконтактную обработку применяют при точении, сверлении и других заготовительных операциях: разрезании слитков, обдирке сложных фасонных и плоских поверхностей, очистке до-

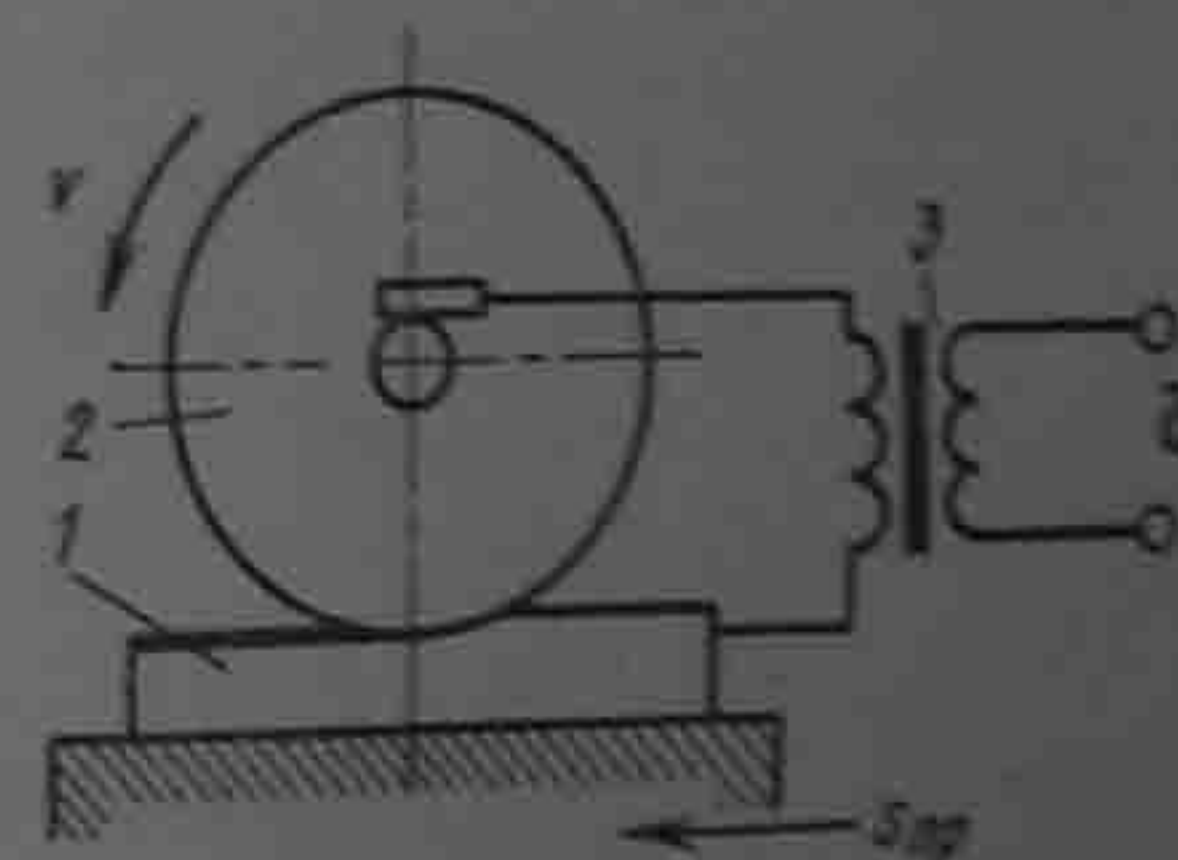


Рис. VI.150. Схема электроконтактной обработки плоской поверхности:

1 — обрабатываемая заготовка; 2 — инструмент-электрод; 3 — трансформатор

гелей от окалины и т. д. На рис. VI.150 показана схема электроконтактной обработки плоской поверхности.

Метод не обеспечивает высокой точности и низкой шероховатости, но высокопроизводителен вследствие использования больших электрических мощностей.

3. Электрохимические методы обработки

Электрохимические методы обработки основаны на явлении анодного растворения при электролизе. При прохождении постоянного электрического тока через электролит на поверхности заготовки, включенной в электрическую цепь и являющейся анодом, происходят химические реакции и поверхностный слой металла превращается в химические соединения. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

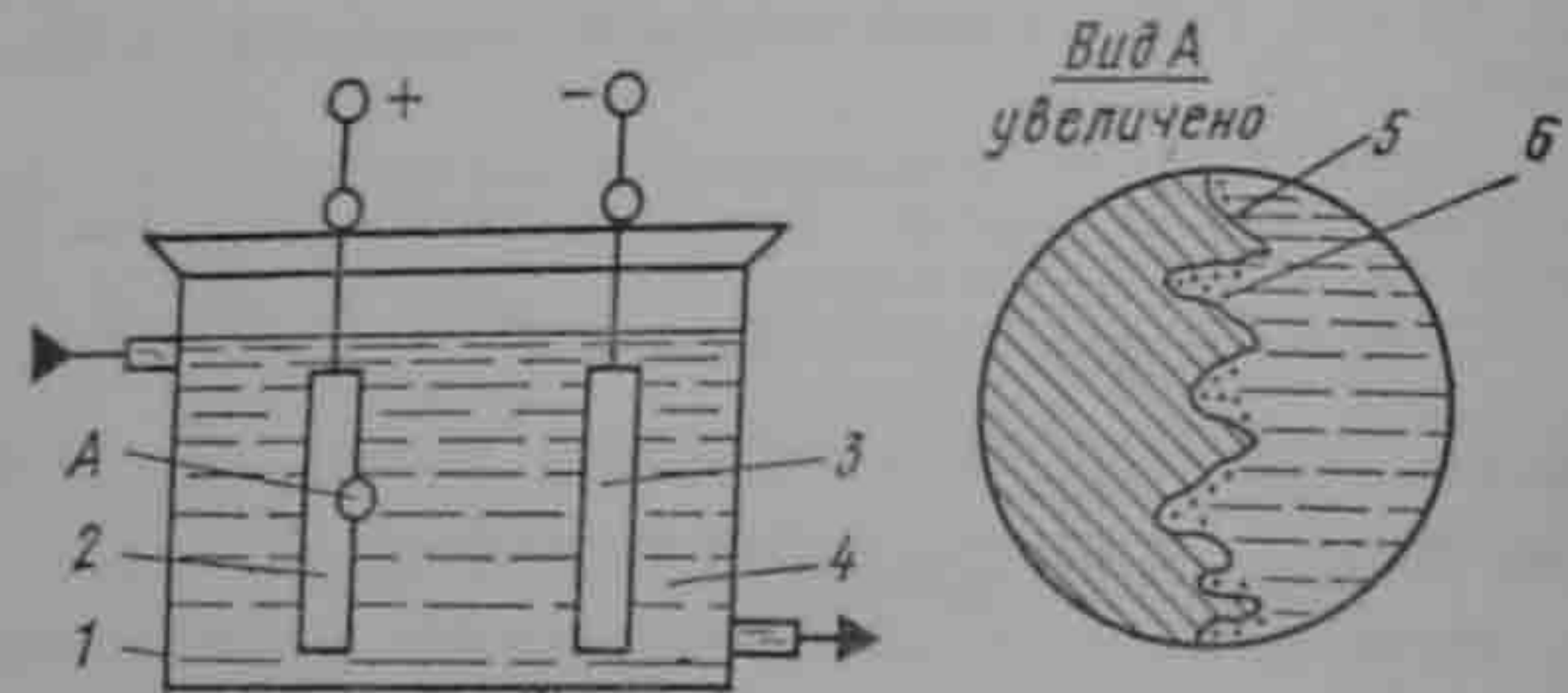


Рис. VI.151. Схема электрохимического полирования:
1 — ванна; 2 — обрабатываемая заготовка; 3 — пластина-электрод; 4 — электролит; 5 — микровыступ; 6 — продукты анодного растворения

Производительность процессов электрохимической обработки зависит в основном от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого токопроводящего материала и плотности тока.

Электрохимическое полирование. Схема обработки заготовки электрохимическим полированием показана на рис. VI.151. Обрабатывают в ванне, заполненной электролитом. В зависимости от обрабатываемого металла или сплава электролитом служат растворы кислот или щелочей. Обрабатываемую заготовку подключают к аноду; вторым электродом-катодом служит металлическая пластина из свинца, меди, стали и т. п. Для большей интенсивности процесса электролит подогревают до температуры 40—80 °С.

При подаче напряжения на электроды начинается процесс растворения материала заготовки-анода. Растворение происходит главным образом на выступах микронеровностей поверхности вследствие более высокой плотности тока на их вершинах. Кроме того, впадины между микровыступами заполняются продуктами растворения: окислами или солями, имеющими пониженную проводимость. В результате избирательного растворения, т. е. большей скорости растворения выступов, микронеровности сглажи-

ваются и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск. Электрополирование улучшает электрофизические характеристики деталей, так как уменьшается глубина микротрещин, поверхностный слой обработанных поверхностей не деформируется, исключаются упрочнение и термические изменения структуры, повышается коррозионная стойкость.

Электрополирование позволяет одновременно обрабатывать партию заготовок по всей их поверхности. Этим методом получают поверхности деталей под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, изготавливают тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделывают детали.

Электрохимическая размерная обработка. Особенностью метода является обработка в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток, образуемый обрабатываемой заготовкой-анодом и инструментом-катодом.

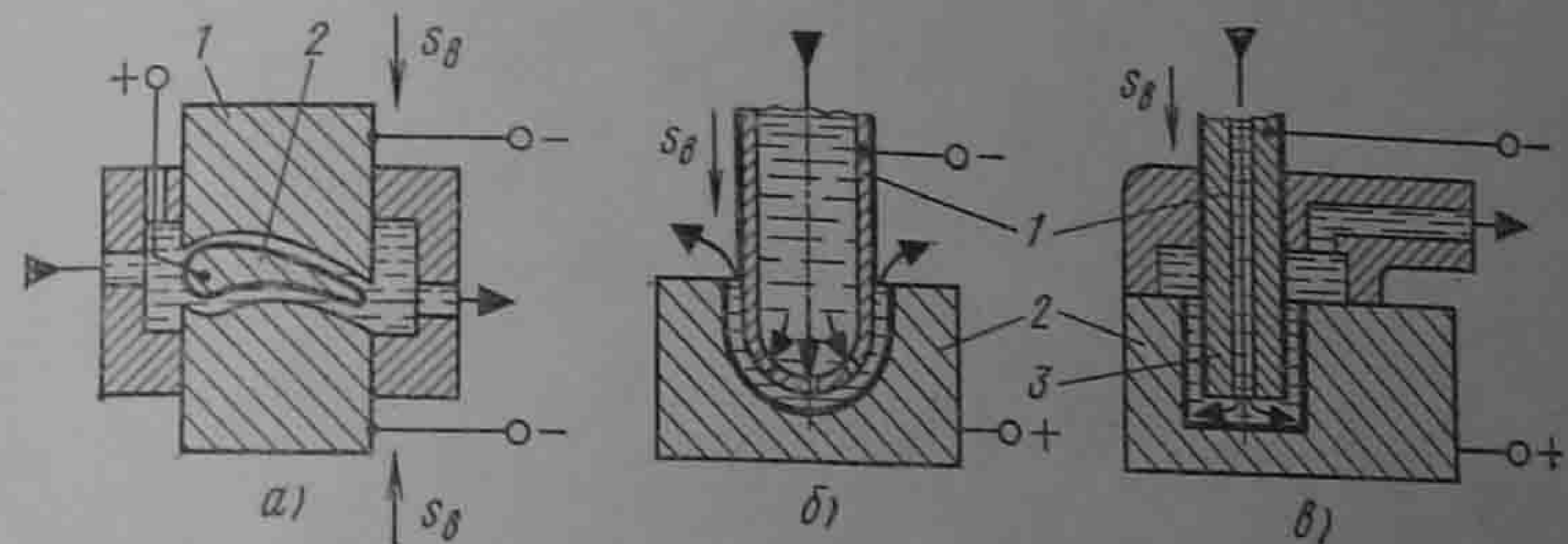


Рис. VI.152. Схема электрохимической размерной обработки:
1 — инструмент-электрод; 2 — заготовка; 3 — изолятор

Струя электролита, непрерывно подаваемого в межэлектродный промежуток, растворяет образующиеся на заготовке-аноде продукты анодного растворения (соли) и удаляет их из зоны обработки. При этом способе одновременно обрабатывается вся поверхность заготовки, находящаяся под активным воздействием катода, что обеспечивает высокую производительность процесса. Участки заготовки, не требующие обработки, изолируются. Инструменту придается форма, обратная форме обрабатываемой поверхности.

Для размерной электрохимической обработки используют нейтральные электролиты. Наиболее широко применяют растворы солей NaCl , NaNO_3 и Na_2SO_4 , нейтральность которых обеспечивается добавлением в электролит слабого раствора соляной кислоты.

На рис. VI.152 показаны схемы обработки заготовок в струе проточного электролита: турбинной лопатки (а), штампа (б) и схема прошивания сквозного цилиндрического отверстия (в).

Этим методом обрабатывают заготовки из высокопрочных сплавов, карбидных и других труднообрабатываемых материалов.

Поскольку при обработке отсутствует давление инструмента на заготовку, то обрабатывают нежесткие, тонкостенные детали, при этом достигают высокого качества обработанной поверхности.

Электроабразивная и электроалмазная обработка. Особенность электроабразивной обработки состоит в том, что инструментом-электродом является шлифовальный круг, выполненный из абразивного материала на электропроводящей связке (бакелитовой связке с графитовым наполнителем).

Принципиальная схема электроабразивной обработки показана на рис. VI.153. Как видно из схемы, между заготовкой-анодом и шлифовальным кругом-катодом имеется межэлектродный зазор за счет зерен, выступающих из связки. В этот зазор подается за счет зерен, выступающих из связки. В этот зазор подается за счет зерен, выступающих из связки. В этот зазор подается за счет зерен, выступающих из связки.

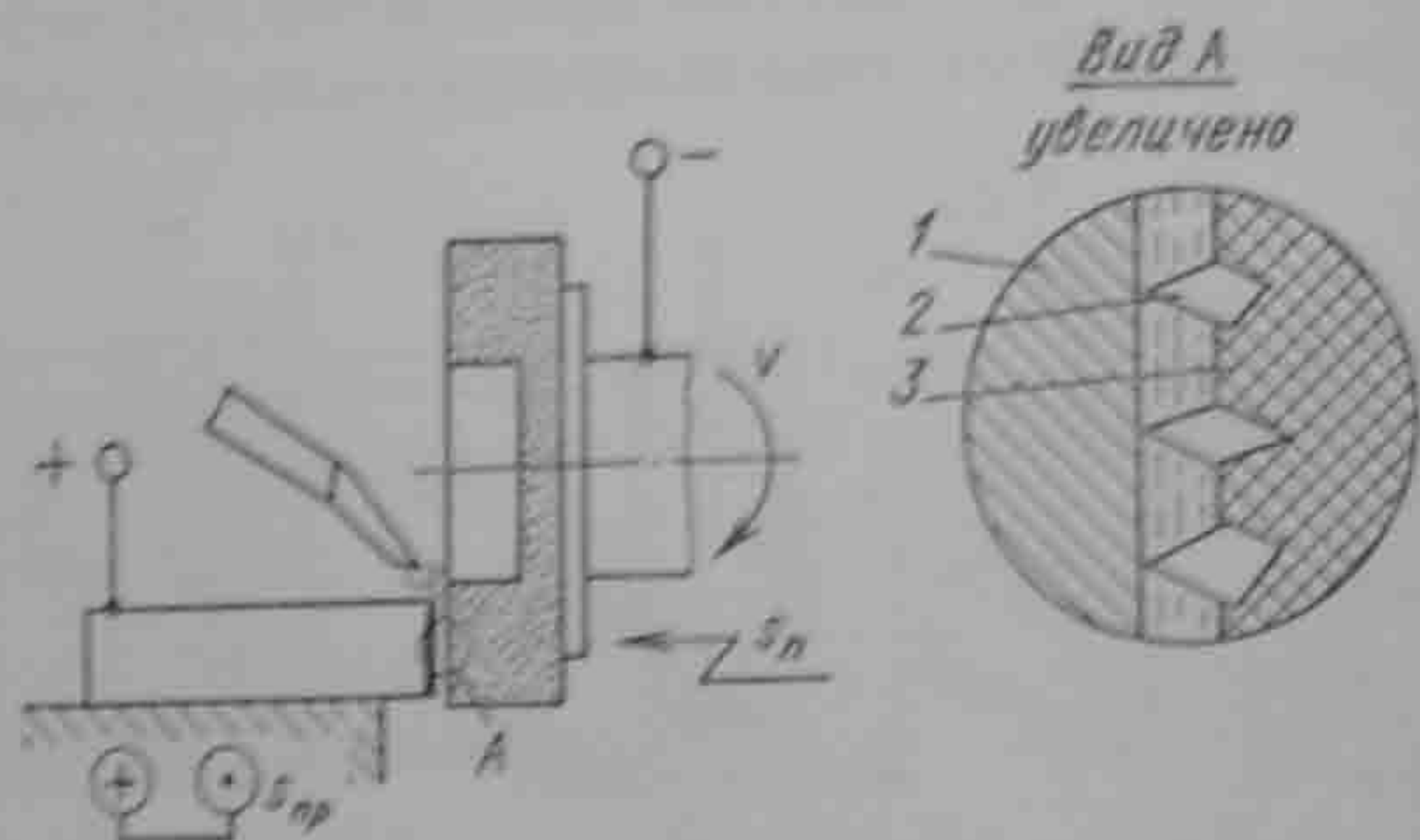


Рис. VI.153. Схема электроабразивного шлифования:
1 — заготовка; 2 — абразивные зерна; 3 — связка шлифовального круга

удаляются абразивными зернами, для чего шлифовальный круг имеет вращательное движение, а заготовка возвратно-поступательное, т. е. движения, соответствующие процессу механического шлифования.

При электроабразивной обработке около 85—90% припуска удаляется за счет анодного растворения и лишь 10—15% за счет механического воздействия.

Электроалмазную обработку ведут по той же схеме, но с применением электропроводящих алмазных кругов. При этом методе обработки около 75% припуска удаляется за счет анодного растворения и 25% за счет механического воздействия алмазных зерен. Производительность электроалмазной обработки выше, чем электроабразивной.

При электроабразивной и электроалмазной обработке шероховатость поверхности меньше, чем при обычном шлифовании абразивными или алмазными кругами. Поэтому эти методы применяют для отделочной обработки труднообрабатываемых материалов, а также нежестких заготовок, так как усилия резания здесь незначительны.

Электрохонингование. Принципиальная схема электрохонингования показана на рис. VI.154. Кинематика процесса обработки идентична кинематике процесса хонингования абразивными головками. Различие состоит в том, что обрабатываемую заготовку устанавливают в ванне, заполненной электролитом, и подключают к аноду. Хонинговальную заготовку подключают к катоду. Кроме того, хонинговальная головка оснащена не абразивными брусками, а липовыми, ольховыми или пластмассовыми.

Продукты анодного растворения удаляются с обрабатываемой поверхности заготовки брусками за счет вращательного и возвратно-поступательного движений хонинговальной головки. Для более активного удаления продуктов анодного растворения в электролит добавляют абразивные материалы.

Предварительно обрабатывают обычно в растворе электролита NaNO_3 , в который добавляют абразивные материалы зернистостью не более M28.

Окончательно обрабатывают в том же электролите, но с добавлением в качестве абразива окиси хрома. После удаления припуска с обрабатываемой поверхности осуществляется процесс ее «выхаживания» при выключенном электрическом токе для полного удаления анодной пленки с обработанной поверхности.

Электрохонингование обеспечивает более низкую шероховатость поверхности, чем хонингование абразивными брусками. Поверхность получает зеркальный блеск. Производительность электрохонингования в 4—5 раз выше производительности механического хонингования.

4. Анодно-механическая обработка

Анодно-механическая обработка основана на сочетании электротермических и электрохимических процессов и занимает промежуточное место между электроэрозионными и электрохимическими методами. Принципиальная схема анодно-механической обработки показана на рис. VI.155.

Обрабатываемую заготовку подключают к аноду, а инструмент — к катоду. В зависимости от характера обработки и вида обрабатываемой поверхности в качестве инструмента используют металлические диски, цилиндры, ленты, проволоку. Обрабатывают в среде электролита, которым чаще всего служит водный раствор жидкого натриевого стекла. Заготовке и инструменту за-

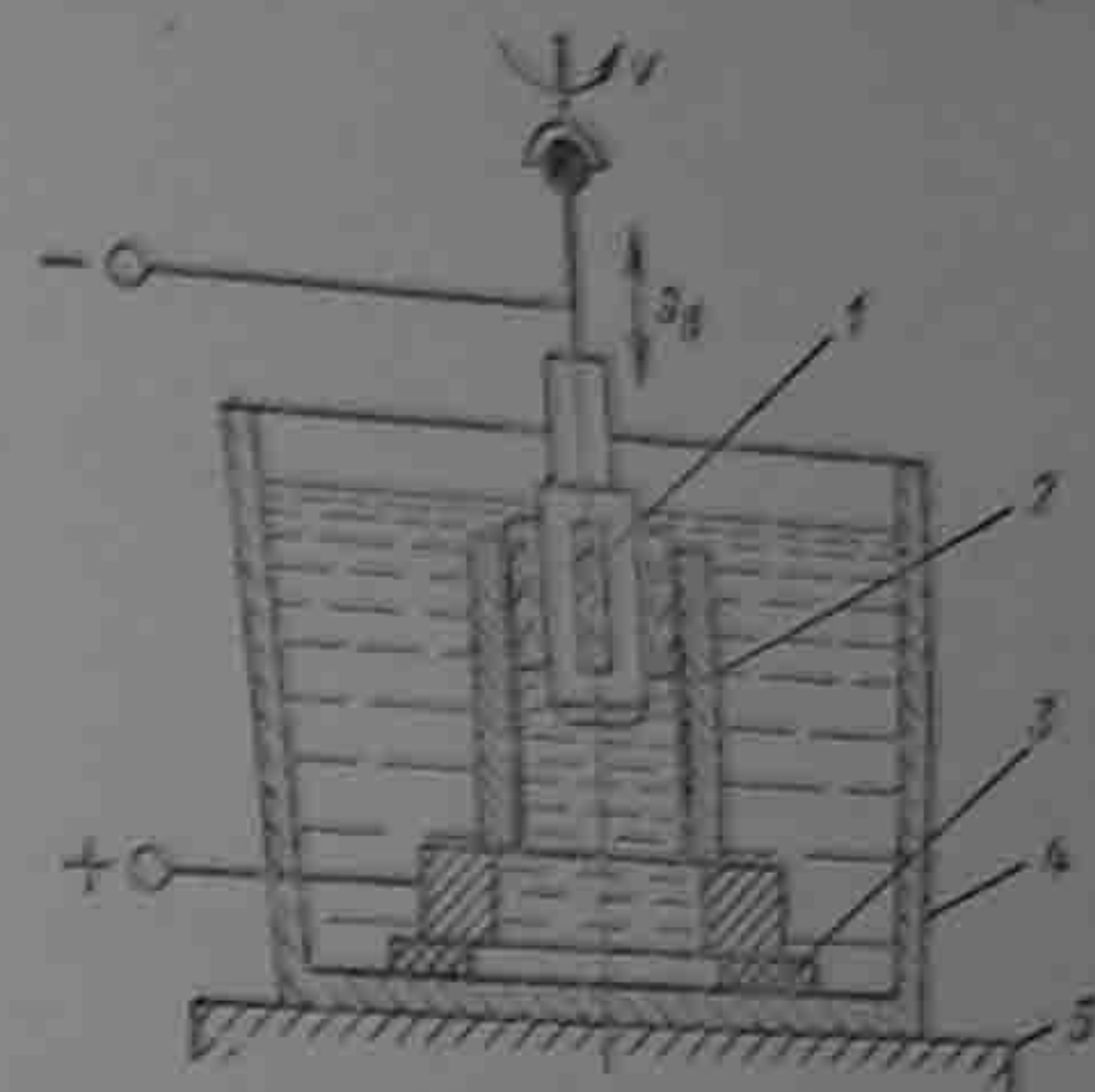


Рис. VI.154. Схема электрохонингования цилиндра:

1 — хонинговальная головка; 2 — заготовка цилиндра; 3 — изолятор; 4 — ванна; 5 — стол хонинговального станка

дают движения, как при обычных методах механической обработки резанием, т. е. скорость резания и подачу. Электролит подают в зону обработки через сопло.

Так как заготовка является анодом, а инструмент катодом, то при пропускании через раствор электролита постоянного электрического тока происходит процесс анодного растворения, присущий электрохимической обработке. При соприкосновении инструмента-ката-

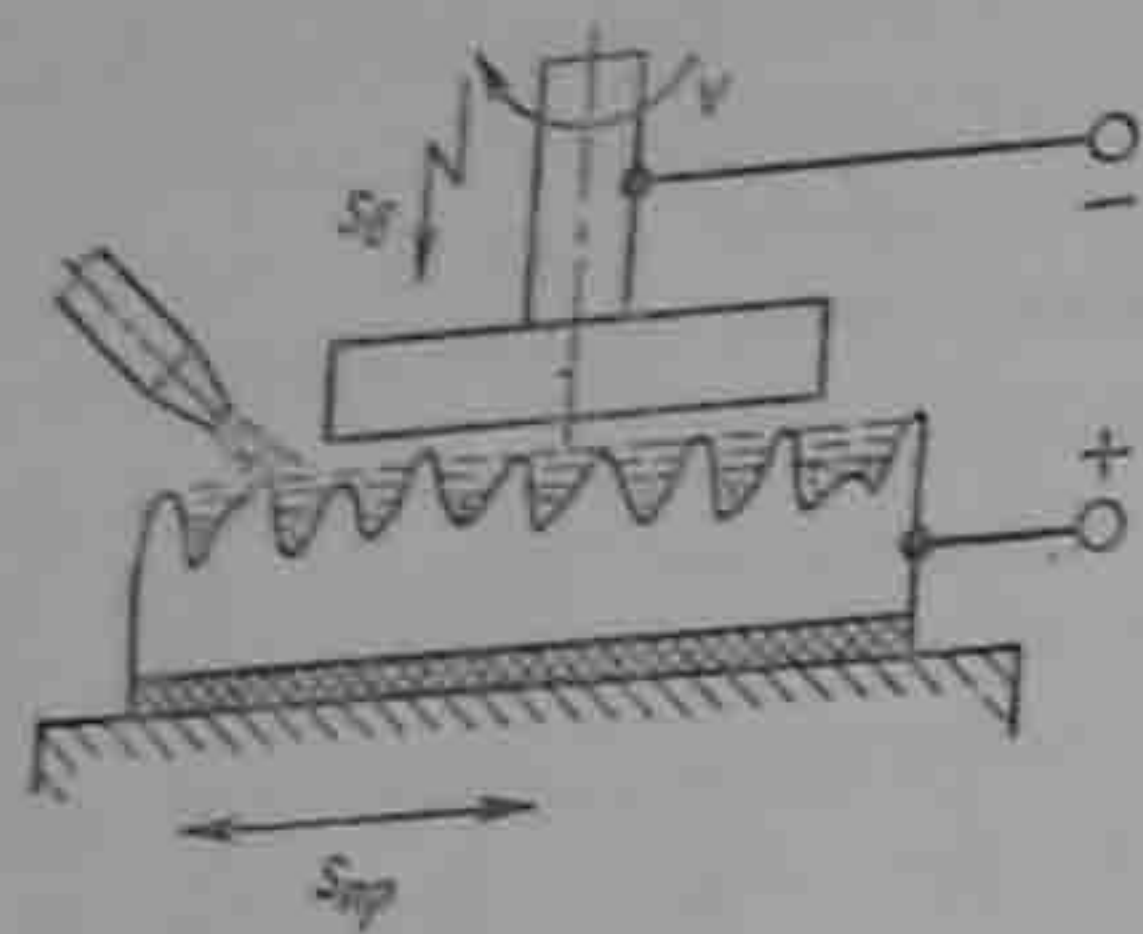


Рис. VI.155. Схема анодно-механической обработки плоской поверхности

да с микронеровностями обрабатываемой поверхности заготовки-анода происходит процесс электроэрозии, присущий электроискровой обработке. Кроме того, при пропускании электрического тока металл заготовки разогревается в точках контакта ее с инструментом, как это имеет место при электроконтактной обра-

ботке, и обрабатываемый материал размягчается. Продукты электроэрозии и анодного растворения удаляются из зоны обработки за счет относительных движений инструмента и заготовки.

Обрабатывают на переменных электрических режимах. При предварительной обработке заготовки задают жесткий режим, при котором превалирует процесс электроэрозии, обеспечивающий

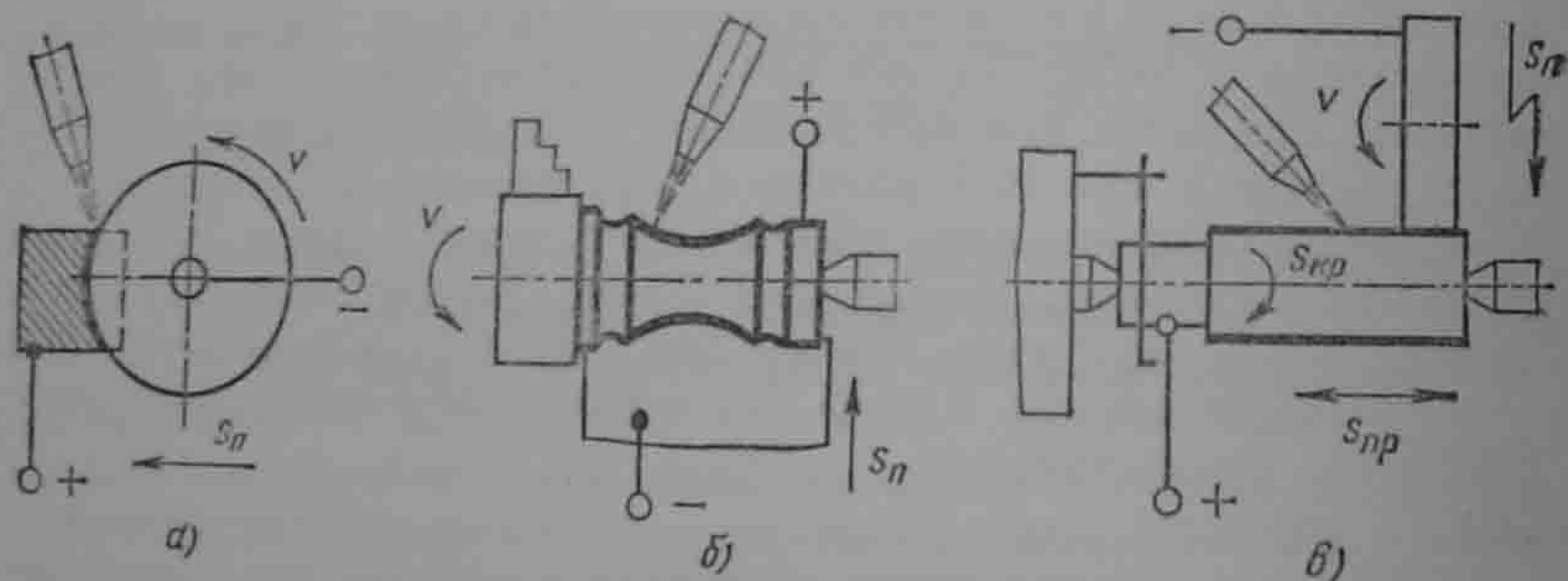


Рис. VI.156. Анодно-механическое разрезание (а), точение (б) и шлифование (в)

высокую производительность. При окончательной обработке переходят на мягкий режим, при котором превалирует процесс анодного растворения, обеспечивающий высокую точность и качество обрабатываемой поверхности.

Анодно-механическим методом обрабатывают все токопроводящие материалы, высокопрочные и труднообрабатываемые металлы и сплавы, твердые сплавы, вязкие материалы и др.

Анодно-механической обработкой (рис. VI.156) разрезают заготовки на части (а), прорезают пазы и щели, точат поверхности

тел вращения (б), шлифуют плоские поверхности и поверхности, имеющие форму тел вращения (в), полируют поверхности, затачивают режущий твердосплавный инструмент и т. д.

5. Химические методы обработки

Сущность химической обработки заключается в направленном разрушении металлов и сплавов травлением их в крепких растворах кислот и щелочей.

Перед травлением заготовки предварительно обрабатывают, т. е. тщательно очищают поверхности от окалины и масла. Затем поверхности заготовок, не подлежащие обработке, защищают химически стойкими покрытиями (окрашивают лаками и красками, применяют химические и гальванические покрытия, светочувствительные эмульсии). Иногда необрабатываемые поверхности защищают резиной.

Подготовленные заготовки опускают в ванну с раствором кислоты или щелочи в зависимости от материала, из которого они изготовлены. Незащищенные металлические поверхности заготовок подвергаются травлению.

Чтобы скорость травления была постоянной во времени, концентрацию раствора поддерживают неизменной, а для большей интенсивности процесса травления раствор подогревают до температуры 40—80 °С. После обработки заготовки промывают, нейтрализуют, еще раз промывают горячей содовой водой, сушат и снимают защитные покрытия.

Химическим травлением получают местные утонения на жестких заготовках, ребра жесткости, извилистые канавки и щели, «вафельные» поверхности, обрабатывают поверхности, труднодоступные для режущего инструмента, и т. д.

Химико-механическая обработка. Этим способом обрабатывают заготовки из твердых сплавов. Заготовки приклеивают специальными клеями к пластинам и опускают в ванну, заполненную суспензией, состоящей из раствора сернистой меди и абразивного порошка. В результате обменной химической реакции на поверхности заготовок выделяется рыхлая металлическая медь, а кобальтовая связка твердого сплава переходит в раствор в виде соли, освобождая тем самым зерна карбидов титана и вольфрама.

Медь вместе с карбидами сошлифовывается присутствующим в растворе абразивным порошком. В качестве инструмента используют чугунные диски или пластины. Карбиды удаляются за счет наличия относительных движений инструмента и заготовок.

Химико-механическую обработку применяют для разрезания и шлифования пластинок из твердого сплава, доводки твердосплавного инструмента.

6. Ультразвуковая обработка

Ультразвуковая обработка (УЗО) материалов является разновидностью механической обработки. УЗО основана на использовании физического явления магнитоstriction, т. е. способности ферромагнитных металлов или сплавов изменять размеры поперечного сечения и длину сердечника в переменном магнитном поле. Эффектом магнитоstriction обладают никель, железокобальтовые сплавы (пермендюр), железоалюминиевые сплавы (альфер), ферриты и другие материалы.

При возникновении электромагнитного поля размеры поперечного сечения сердечника уменьшаются, а так как объем его остается неизменным, то длина сердечника увеличивается. При исчезновении поля первоначальные размеры сердечника восстанавливаются.

При УЗО используют колебания электромагнитного поля с ультразвуковой частотой 16—30 кГц. Амплитуда колебаний сердечника составляет 5—10 мкм. Для увеличения амплитуды колебаний к сердечнику крепят длинный тонкий стержень-концентратор (резонансный волновод переменного поперечного сечения), что позволяет получить амплитуду колебаний его торца до 40—60 мкм. К концентратору крепят рабочий инструмент-пуансон.

Заготовки обрабатывают в ванне, заполненной суспензией, состоящей из воды и абразивного материала. Из абразивных материалов чаще используют карбиды бора и кремния, электрокорунд.

Колебательные движения пуансона передаются абразивным зернам, получающим значительные ускорения в направлении обрабатываемой поверхности заготовки. Ударяясь о поверхность обрабатываемого материала, абразивные зерна скалывают его микрочастицы. Большое число одновременно ударяющихся абразивных зерен, а также высокая частота повторения ударов (до 30 тыс. раз в 1 с) обуславливают интенсивный съем материала.

Кавитационные явления в жидкости способствуют интенсивному перемешиванию абразивных зерен под инструментом, замене изношенных зерен новыми, а также разрушению обрабатываемого материала.

Принципиальная схема ультразвуковой установки показана на рис. VI.157. Заготовку 3 помещают в ванну 1, заполненную абразивной суспензией 2. К заготовке подводят инструмент-пуансон 4, закрепленный на концентраторе 5. Концентратор закреплен в магнитоstrictionном сердечнике 7, установленном в кожухе 6, через который пропускают воду для охлаждения сердечника. Колебания δ сердечника возбуждает генератор 8 ультразвуковой частоты и источник постоянного тока 9.

Абразивную суспензию прокачивают через ванну 1 насосом 11, откачивающим суспензию из резервуара 12 и подающим ее по

патрубку 10 снова в ванну, что исключает оседание абразивного порошка на дне ванны.

Между пуансоном и обрабатываемой поверхностью заготовки обеспечивают постоянный зазор $\sim 0,05-0,08$ мм. Иногда при УЗО пуансон поджимают к обрабатываемой заготовке с небольшим усилием (3—60 Н).

Ультразвуковым методом обрабатывают хрупкие твердые материалы: стекло, керамику, ферриты, кремний, кварц, драгоценные минералы, в том числе алмазы, твердые сплавы, цементированные и азотированные закаленные стали, титановые сплавы, вольфрам и др.

Ультразвуковым методом обрабатывают (рис. VI.158) сквозные и глухие отверстия любой формы поперечного сечения (а, б), фасонные полости (в), разрезают заготовки на части (г), профилируют наружные поверхности, гравировку, прошивают отверстия с криволинейными осями, нарезают резьбы и т. д.

Рабочими движениями для указанных видов обработки являются: скорость резания v — движение абразивных зерен в направлении обрабатываемой поверхности и движение подачи: s_p при

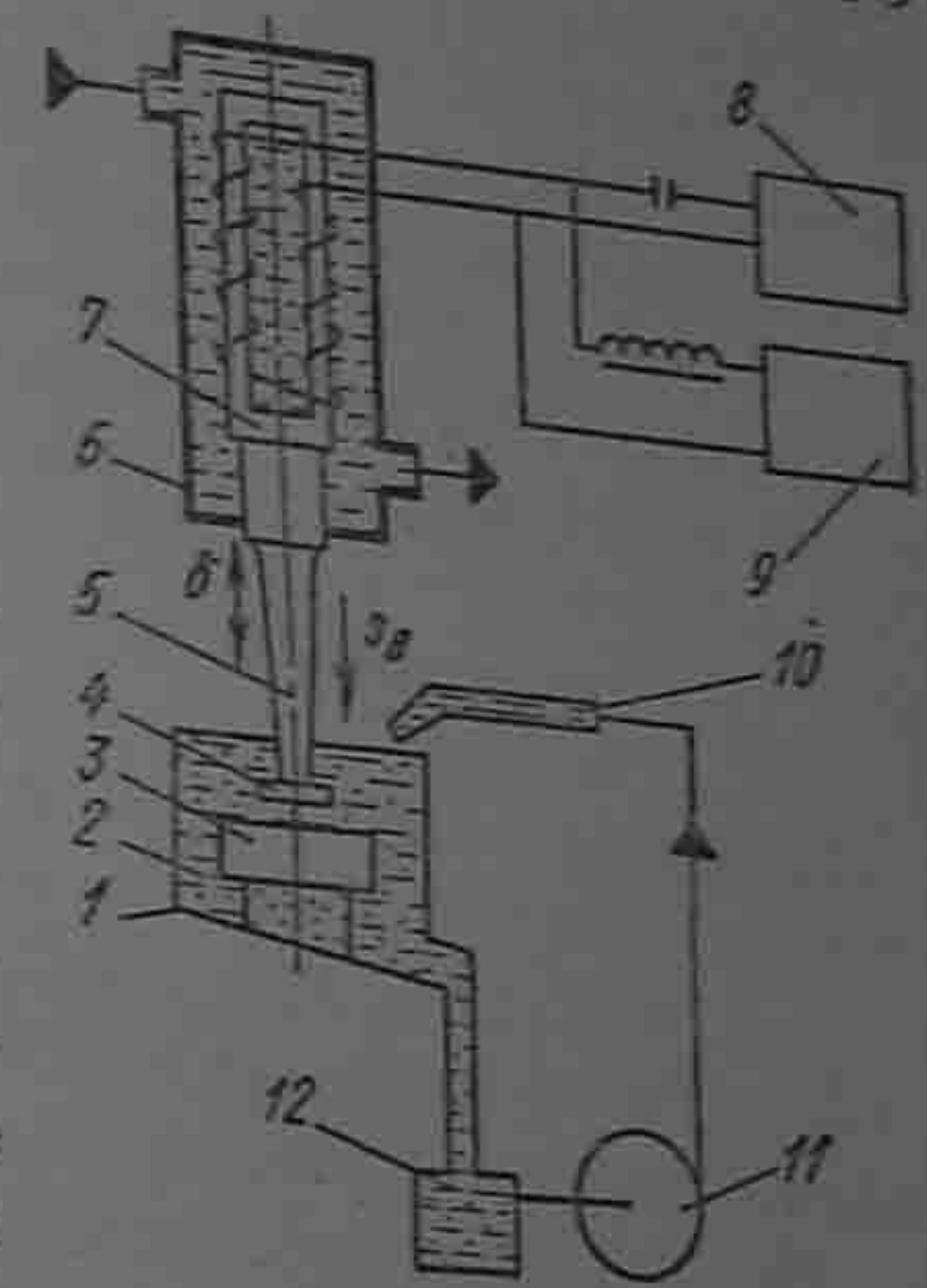


Рис. VI.157. Принципиальная схема станка для ультразвуковой обработки

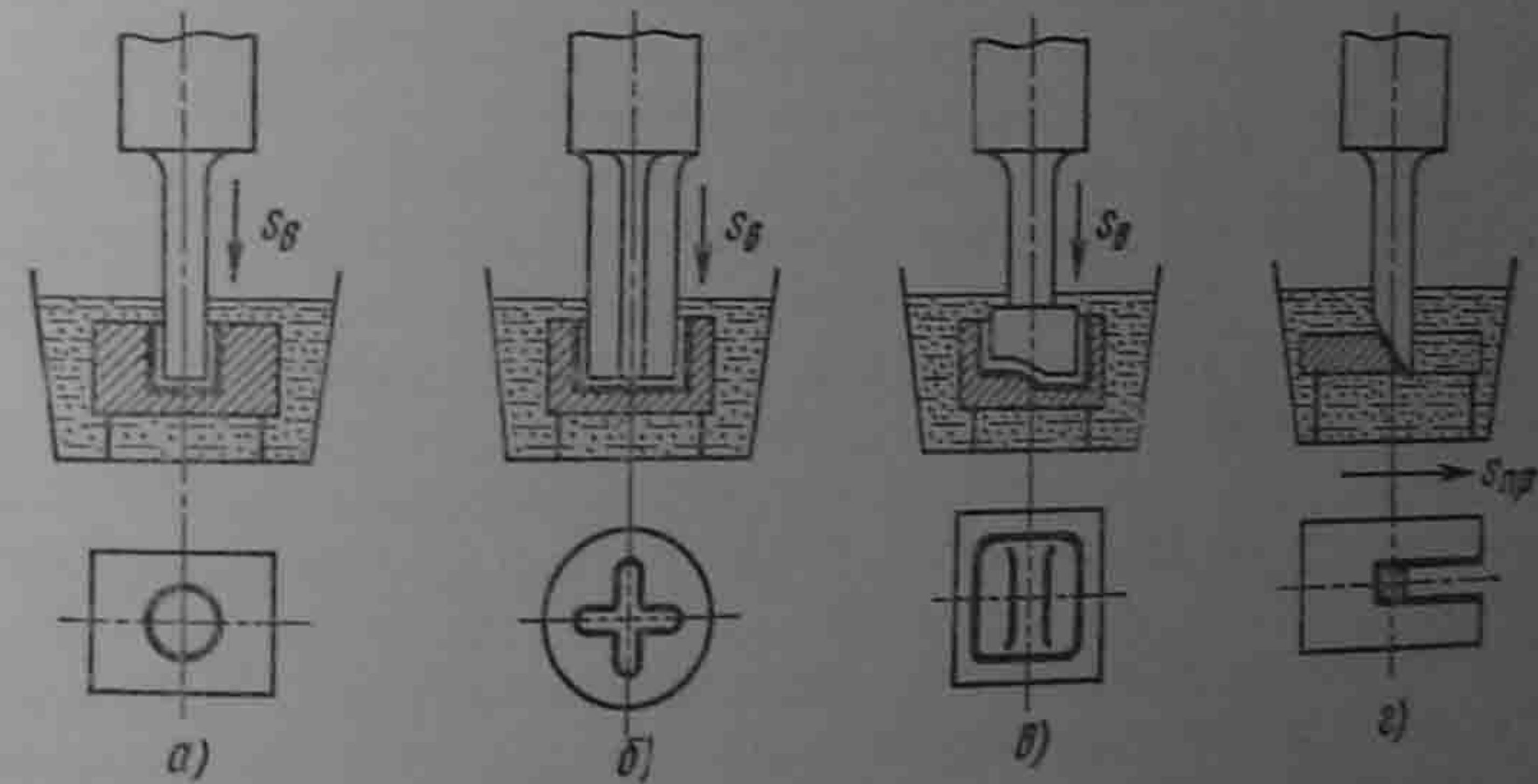


Рис. VI.158. Схемы ультразвуковой обработки поверхностей заготовок: а и б — прошивание цилиндрического и фасонного отверстий; в — обработка внутренней полости; г — разрезание

обработке отверстий, полостей; $s_{пр}$ при разрезании заготовок; $s_{пр}$ и s_p при разрезании заготовок по сложной траектории. Рабочие инструменты для обработки отверстий диаметром 0,5—20 мм выполняют сплошными; диаметром 20—100 мм — по-

лыми (обработка по способу трепанации). Пазы долбят, и заготовки разрезают ножевидными пуансонами; внутренние полости обрабатывают пуансонами, форма торцов которых обратна форме обрабатываемой поверхности и т. д. Инструменты изготовляют из закаленных ($HRC\ 35-40$), но вязких материалов.

Точность размеров и шероховатость поверхностей, обработанных ультразвуковым способом, зависят от зернистости используемых абразивных материалов и соответствуют точности и шероховатости поверхностей, обработанных шлифованием. Используя микропорошки, можно снизить шероховатость поверхности и довести ее до шероховатости, соответствующей полированию.

7. Лучевые методы обработки

К лучевым методам формообразования поверхностей заготовок деталей машин относятся электронно-лучевая, светолучевая (лазерная) и плазменная обработки.

Электронно-лучевая обработка. Метод основан на превращении кинетической энергии пучка электронов в тепловую. Высокая плотность энергии сфокусированного электронного луча позволяет обрабатывать заготовки за счет нагрева, расплавления и испарения материала с узколокального участка.

Схема установки для электронно-лучевой обработки (электронная пушка) показана на рис. VI.159. В вакуумной камере 1 установки вольфрамовый катод 11, питаемый от источника накала 14, обеспечивает эмиссию свободных электронов. Электроны формируются в пучок специальным электродом и под действием электрического поля, создаваемого высокой разностью потенциалов между катодом 11 и анодом 10, ускоряются в вертикальном направлении. Затем луч электронов проходит через систему юстировки 9, диафрагму 8, корректор изображения 7 и систему магнитных линз 6, которые окончательно формируют поток электронов в луч малого диаметра и фокусируют его на поверхности заготовки 4. Луч по поверхности заготовки перемещается отклоняющей системой 5.

Работу установки в импульсном режиме обеспечивает импульсный генератор 12 в сочетании с импульсным трансформатором 13. Обрабатывают в вакууме порядка 10^{-6} мм рт. ст. Обрабатываемую заготовку 4 закрепляют в зажимном устройстве 3 координатного стола 2, который обеспечивает перемещение заготовки в горизонтальной плоскости в продольном и поперечном направлениях.

Для размерной обработки заготовок установка работает в импульсном режиме, что обеспечивает их локальный нагрев. В зоне обработки температура достигает $6000\ ^\circ C$, а на расстоянии 1 мм от кромки луча она не превышает $300\ ^\circ C$. Продолжительность импульса и интервалы между ними подбирают исходя из того, чтобы за один цикл успел нагреться и испариться металл только под лучом, а теплота не успела бы распространиться на всю заготовку. Поэтому установки работают в режиме, при котором продолжительность импульса составляет $10^{-4}-10^{-6}$ с, а частота импульсов составляет несколько микрометров.

Электронно-лучевой метод наиболее перспективен при обработке отверстий диаметром от 1 мм до 10 мкм, прорезании пазов, разрезании заготовок, изготовлении тонких пленок и сеток из фольги и т. д. Обрабатывают труднообрабатываемые металлы и сплавы (тантал, вольфрам, цирконий, коррозионно-стойкие стали), а также неметаллические материалы (рубины, керамику, кварц, полупроводниковые и другие материалы).

Преимущества электронно-лучевой обработки обуславливают целесообразность ее применения: возможность создания локальной концентрации высокой энергии, широкое регулирование и управление тепловыми процессами, обработка любых материалов, повышенная чистота среды, что позволяет обрабатывать легко окисляющиеся активные материалы, отсутствие инструмента, обработка труднодоступных мест заготовок. Недостатком метода является относительная сложность и громоздкость оборудования.

Кроме указанных способов обработки, электронный луч позволяет наносить покрытия на поверхности заготовок в виде пленок толщиной от нескольких микрометров до десятых долей миллиметра. Электронный луч применяют также для распыления различных материалов.

Светолучевая (лазерная) обработка. Метод основан на тепловом воздействии светового луча высокой энергии на поверхность обрабатываемой заготовки. Источником светового излучения является лазер — оптический квантовый генератор (ОКГ).

Созданы конструкции твердотельных, газовых и полупроводниковых ОКГ. Работа оптических квантовых генераторов основана на принципе стимулированного генерирования светового излучения.

Атом вещества, имея определенный запас энергии, находится в устойчивом энергетическом состоянии и располагается на определенном энергетическом уровне. Для выведения атома из устойчивого (стабильного) энергетического состояния его необходимо возбудить.

Возбуждение («накачку») активного вещества осуществляют световой импульсной лампой. Возбужденный атом, получив дополнительный фотон от системы накачки, излучает сразу два

фотона, в результате чего происходит своеобразная цепная реакция генерации лазерного излучения.

Для механической обработки используют твердотельные ОКГ, рабочим элементом которых является рубиновый стержень, состоящий из окиси алюминия, активированного 0,05% Cr. Рубиновый ОКГ работает в импульсном режиме, генерируя импульсы когерентного монохроматического красного света.

Схема рубинового ОКГ показана на рис. VI.160. Рубиновый стержень 6 установлен в корпусе 3 лазера. Торцы стержня строго параллельны и перпендикулярны к его оси. Левый торец покрыт плотным непрозрачным слоем серебра; правый — посеребрен, но полупрозрачен и имеет коэффициент пропускания света около 8%. Источником света для возбуждения атомов хрома служит ксеноновая импульсная лампа 4 с температурой излучения около 4000 °С. Лампа питается от батареи конденсаторов 2, а источником тока служит элемент 1. Лампа включается пусковым устройством 5.

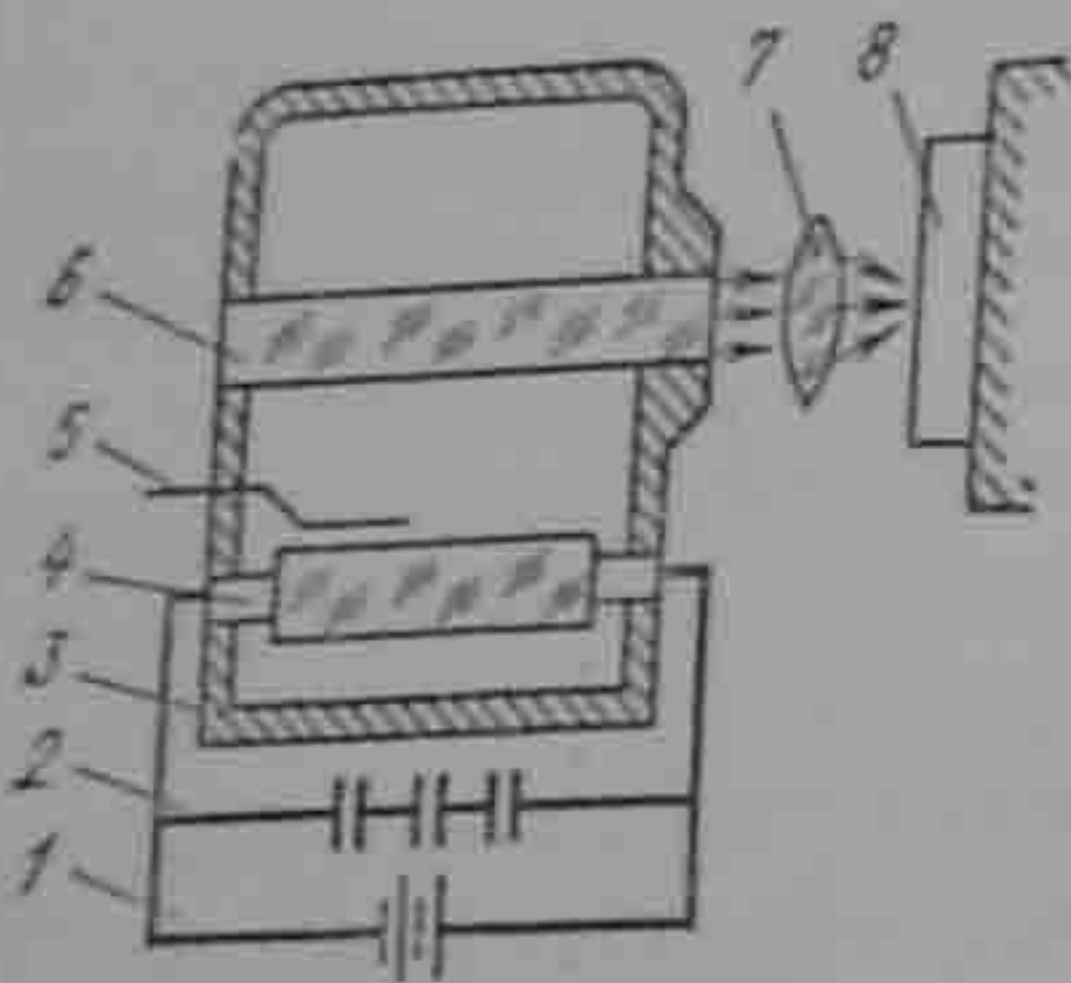


Рис. VI.160. Схема оптического квантового генератора

При включении пускового устройства электрическая энергия, запасенная в батарее конденсаторов, преобразуется в световую энергию импульсной лампы. Свет лампы с помощью отражателя корпуса фокусируется на рубиновый стержень, в результате чего атомы хрома приходят в возбужденное состояние. Из этого состояния они могут возвратиться в нормальное, излучая фотоны с длиной волны 0,69 мкм (красная флуоресценция рубина).

От взаимодействия фотонов с возбужденными атомами образуются лавинообразные потоки фотонов в различных направлениях. Наличие торцовых зеркальных поверхностей рубинового стержня приводит к тому, что при многократном отражении усиливаются свободные колебания только в направлении оси стержня за счет стимулирования возбужденными атомами.

Спустя 0,5 мс, более половины атомов хрома приходит в возбужденное состояние, система становится неустойчивой и вся запасенная в стержне рубина энергия одновременно высвобождается и кристалл испускает ослепительный яркий красный свет. Лучи света имеют высокую направленность. Расходимость луча обычно не превышает 0,1°. Системой оптических линз 7 луч фокусируется на поверхности обрабатываемой заготовки 8.

Энергия светового импульса ОКГ обычно невелика и составляет 20—100 Дж. Но эта энергия выделяется в миллионные доли секунды и сосредоточивается в луче диаметром около 0,01 мм. В фокусе диаметр светового луча составляет всего несколько микрометров, что обеспечивает температуру около 6000—8000 °С. В результате этого поверхностный слой материала заготовки, находя-

щейся в фокусе луча, мгновенно нагревается, расплавляется и испаряется.

Лазерную обработку применяют для прошивки сквозных и глухих отверстий, разрезания заготовок на части, вырезания заготовок из листового материала, прорезания пазов и т. д.

Светолучевым методом можно обрабатывать любые материалы. Например, в алмазе обрабатывают отверстие диаметром 0,5 мм в течение долей секунды, а алмаз массой 2 карата разрезают пополам менее чем за 1 с.

Светолучевая обработка имеет преимущества перед электронно-лучевой. Для обработки заготовок не требуется создания вакуума, рентгеновского излучения. Конструкция управления процессом, значительно проще конструкции электронных пушек.

К недостаткам светолучевого метода обработки можно отнести отсутствие надежных способов управления движением луча и необходимость перемещения заготовки, недостаточную мощность излучения при значительной мощности импульсной лампы, низкий к. п. д. рубиновых ОКГ, перегрев рубинового стержня и трудности его охлаждения, сравнительно невысокую точность обработки.

Плазменная обработка. Сущность плазменного метода формообразования поверхностей состоит в том, что плазму¹, имеющую температуру 10 000—30 000 °С, направляют на обрабатываемую поверхность заготовки.

Плазму получают в плазменных головках (рис. VI.161). Дуговой разряд 3 возбуждается между вольфрамовым электродом 5 и медным электродом 4, выполненным в виде трубы и охлаждаемым проточной водой. В трубу подают газ (аргон, азот и др.) или смесь газов. Обжимая дуговой разряд, газ при соединении с электронами ионизируется и выходит из сопла головки в виде ярко светящейся струи 2, которая направляется на обрабатываемую заготовку 1.

Плазменным методом обрабатывают любые материалы: прошивают отверстия, разрезают заготовки, вырезают их из листового материала, строгают и точат.

При прошивании отверстий, разрезании и вырезании деталей головку устанавливают перпендикулярно поверхности заготовки; при строгании и точении — под углом 40—60°. Плазменные головки применяют для сварки, пайки, наплавки и создания защитных покрытий на деталях.

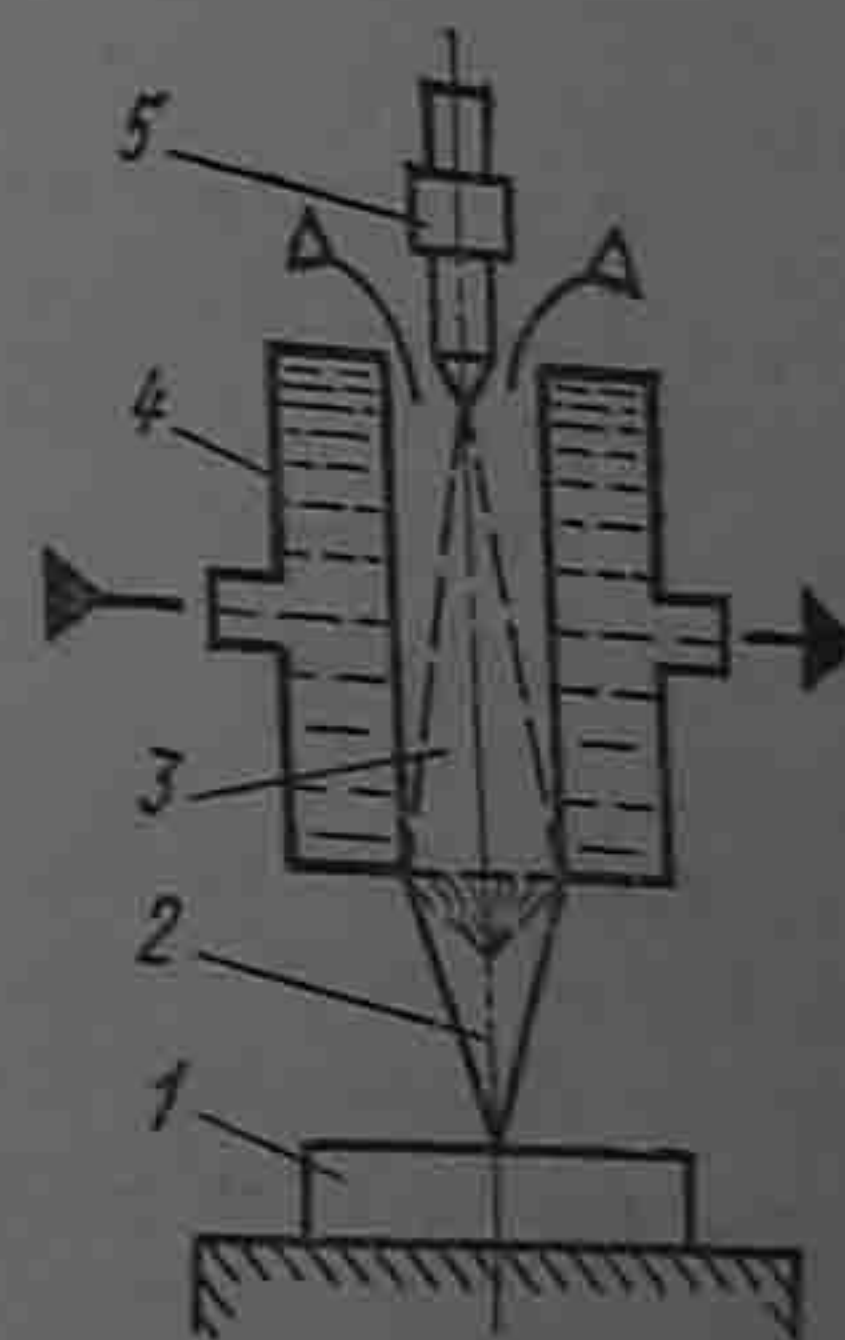


Рис. VI.161. Схема плазменной головки

¹ Плазмой называют полностью ионизированный газ.

1. Общие сведения

Автоматизация является одним из основных направлений развития металлообрабатывающей промышленности. Автоматизация будет шире и глубже охватывать все виды производства, а также организацию и управление производством.

Автоматизация производства повышает производительность труда, качество выпускаемой продукции и облегчает условия работы на металлорежущих станках. Сущность автоматизации заключается в замене ручного управления производственными процессами машинным управлением, выполняемым без участия человека.

Автоматизируют отдельные механизмы металлорежущих станков — включение и выключение подач, отводы и подводы частей станков, загрузку станков заготовками и т. д. Созданы новые станки-автоматы, на которых за максимально короткое время без вмешательства человека совершаются все рабочие — а главное, вспомогательные движения. Совершенствование органов управления станками привело к созданию и дальнейшему развитию рабочих машин, осуществляющих все движения по программе. Такие станки можно быстро переналаживать на изготовление другого изделия. Управляющий орган станка может давать весьма большое число команд. Станки с программным управлением можно объединять в автоматические линии, которые, в свою очередь, могут обслуживаться электронно-вычислительными машинами.

Большое распространение получают автоматические линии из агрегатных станков. Такие линии создают для обработки конкретных деталей. Автоматические линии могут быть объединены в более сложные системы, которые образуют автоматические заводы. Такие предприятия являются высшей формой автоматизации.

Создание станков-автоматов непрерывного действия позволяет в еще большей степени повысить производительность труда. Это достигается совмещением по времени рабочих и вспомогательных движений при одновременной обработке нескольких изделий. Указанные станки могут быть также скомпонованы в автоматические линии непрерывного действия.

При автоматизации производства процесс изготовления изделия расчленяют на отдельные операции, каждую из которых выполняет автоматическое устройство в виде механизма или станка (принцип дифференциации). Все механизмы или станки работают одновременно. Вместе с тем эти устройства объединяют в автоматически действующие комплексы (принцип концентрации), представляющие собой станки, линии или заводы. Но какой бы слож-

ной ни была автоматически действующая система, она работает на базе рассмотренных станков и использует те принципы работы, которые характерны для них.

2. Автоматизация производства на базе станков с программным управлением

Наряду с автоматическими станками, которые управляются кулачками, копирами, упорами и успешно работают в механических цехах заводов, созданы автоматические станки с программным управлением. Их основное достоинство состоит в сокращении времени, простоте переналадки и возможности использования в цехах с быстрой сменой объектов производства.

Металлорежущие станки оснащаются следующими видами программного управления: цикловым (ЦПУ) и числовым (ЧПУ). Станки с ЦПУ имеют позиционную систему с панелями упоров, отключающих подачу суппорта или ползуна. Такую систему используют, например, для обработки заготовок типа ступенчатых валов. Программа задается расстановкой специальных стержней-штекеров в гнездах панели, расположенной в отдельном пульте системы ПУ. Панель позволяет запрограммировать 60—120 различных переходов. Во время работы оператор может видеть на световом табло действительное положение рабочих органов станка.

Система позволяет использовать специальную программную карту, содержащую инструкцию для оператора. Это освобождает рабочего от использования чертежей и вычислений. Для получения максимального эффекта на станках с данной системой применяют быстросменную инструментальную наладку с предварительной установкой инструмента.

Современные станки оснащают также системой ЧПУ. Программа задается с помощью чисел в закодированном виде на программноносителе — перфорированной или магнитной ленте. Система может перемещать рабочие органы станка по одной, двум или трем координатам. При ЧПУ на перфорированной ленте может быть зафиксировано практически неограниченное число команд, определяющих последовательность и величину перемещений подвижных элементов рабочих органов станка. Последовательность реализации программы на станках с ЧПУ представлена на рис. VI.162. Режущие инструменты настраивают на размер в станках с ПУ предварительно на специальном приборе вне станка. Применение таких станков предъявляет новые требования к конструированию деталей и составлению чертежей. Чертеж должен отражать процесс обработки в трех измерениях. Размеры, проставленные на чертеже, должны облегчать составление технологической карты и программы обработки.

Примером одной из систем с ЧПУ служит токарный станок модели 1К62П. Применение станка экономически целесообразно

для обработки фасонных деталей с годовым выпуском всего 160—220 шт. Аналогичные системы с ПУ созданы для станков сверлально-расточной группы. На них выполняют сверление, зенкерование, растачивание, развертывание, резьбонарезание, фрезерование.

Следующим этапом автоматизации является оснащение станков с ЧПУ устройствами для размещения (магазинами) и автоматической смены инструмента. Это позволяет последовательно выполнять различные переходы, осуществляемые разнообразными режущими инструментами без снятия заготовки со станка. В магазинах размещается 20—100 инструментов. Режущий инструмент по команде от программы подается в рабочее положение в любой последовательности с помощью специальной автоматической руки. На смену инструмента затрачивается несколько секунд, что позволяет обрабатывать, например, сложные корпусные детали с четырех сторон. При этом значительно упрощаются приспособления для закрепления заготовок и направления инструмента.

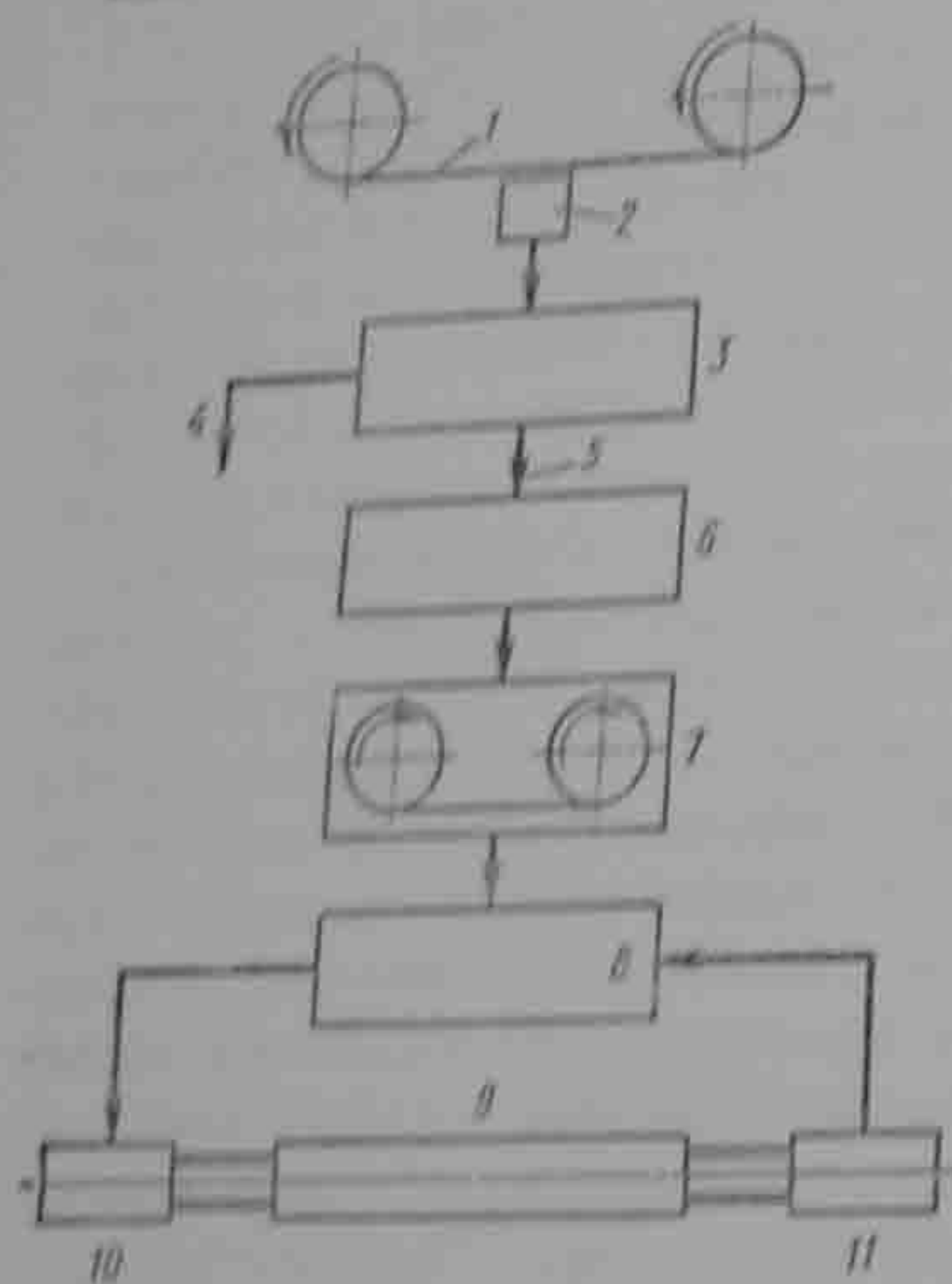


Рис. VI.162. Последовательность реализации программы на станках с ЧПУ:

1 — перфолента; 2 — считывающее устройство; 3 — промежуточное запоминающее устройство; 4 — канал выдачи команд на включение работы агрегатов станка (изменение частоты вращения шпинделя, подача); 5 — канал выдачи путевой информации; 6 — интерполатор; 7 — промежуточное запоминающее устройство; 8 — устройство для устранения расфокусировки; 9 — суппорт (варетка); 10 — исполнительные органы станка с приводом; 11 — узел измерений.

Отличительной особенностью таких (многооперационных) станков является наличие двух столов и более. В то время, как на одном столе происходит обработка, на втором происходит выверка и закрепление заготовки. Поэтому время на смену заготовок даже сложной конфигурации составляет не более 30 с.

Аналогичный принцип заложен и в работу механизмов смены инструмента. Во время обработки заготовки определенным инструментом автоматическая рука с двумя захватными органами по программе производит поиск следующего инструмента в магазине, извлечение его, транспортирование в зону загрузки в рабочий шпиндель. Затрата времени на смену инструмента составляет 3—6 с.

На многооперационных станках заготовки обрабатывают с повышенной точностью. Инструмент настраивается на размер вне станка, положение его очень точно фиксируется в рабочем шпин-

деле. Эффективность использования таких станков возрастает с увеличением сложности обрабатываемых заготовок.

Высшей формой организации работы станков с ЧПУ является создание комплексных автоматизированных участков с централизованным управлением от электронно-вычислительных машин (ЭВМ). Использование станков с ЧПУ и программирование их с применением ЭВМ открывает перспективу распространения их автоматизации на функции планирования и управления производством и даже на конструирование изделий.

На таких участках можно не только осуществлять групповое управление рабочими циклами станков, но и автоматически комплектовать и сменять режущий и вспомогательный инструменты, наиболее рационально планировать работы и автоматизировать транспортно-складские операции и контроль готовых изделий. Один из таких участков, например, предназначен для комплексной механической обработки деталей типа тел вращения — валов, гильз, стаканов, втулок, дисков, фланцев, зубчатых колес. Участок обслуживает транспортно-складская система.

В отдельных случаях ЭВМ используют для корректирования программы работы станков. Это целесообразно, например, когда измерительная машина контролирует исходные заготовки и определяет толщину слоев металла, удаляемого в стружку при механической обработке. ЭВМ определяет по данным измерительной машины режимы обработки и автоматически вносит их в программу. На базе таких участков и линий создают автоматические заводы.

3. Автоматические линии из агрегатных станков

Применение агрегатных станков и автоматических линий из них значительно увеличивает производительность труда. Создание новых автоматических линий является важным направлением развития отечественного станкостроения.

Автоматические линии представляют собой систему устройств, состоящую из группы взаимосвязанных синхронно работающих станков, транспортных механизмов и приборов. В основе компоновки лежит принятый для обработки заготовок технологический процесс, который предусматривает определенные режимы резания, поверхности для установки и закрепления заготовки, вид охлаждающей жидкости и т. д., а главное, — последовательность выполнения технологических операций.

В состав автоматической линии для механической обработки заготовок, как правило, входят следующее оборудование и устройства:

- 1) металлорежущие станки-автоматы и агрегаты для выполнения технологических операций;
- 2) механизмы для фиксации и закрепления заготовок на рабочих позициях в определенном положении;

3) устройства для транспортирования заготовок от станка к станку;

4) механизмы для поворота заготовок, если это требуется по характеру обработки;

5) устройства для загрузки заготовок и для накопления деталей и питания последующих участков линии;

6) устройства для удаления стружки;

7) приборы и аппаратура для контроля и сортировки деталей;

8) аппаратура управления.

Автоматические линии komponуют из возможно меньшего числа оборудования. Этого добиваются применением многоинструментных и многопозиционных станков, многолезцовых автоматов и полуавтоматов. Агрегатные станки устанавливают в линии так, чтобы можно было одновременно обрабатывать заготовки с двух или трех сторон. Продолжительность обработки на каждой позиции линии примерно одинакова. По окончании обработки на всех позициях линии инструмент отходит в исходное положение, а транспортное устройство перемещает каждую из заготовок на следующую позицию. В автоматических линиях способ транспортирования зависит от конструкции и размеров заготовок, характера применяемого оборудования и методов обработки. В линиях из агрегатных станков для транспортирования заготовок чаще применяют шаговый транспортер.

Современные автоматические линии оснащены системой принудительной замены режущего инструмента, что повышает надежность работы всего комплекса оборудования. Рядом с линиями устанавливают шкафы с набором режущего инструмента и приспособлениями для его настройки вне станка. Для уменьшения простоев, связанных с остановкой отдельных станков, применяют накопители различных типов. Такие накопители располагают между отдельными группами станков линии. Если один из участков (например, № 2) линии вышел из строя, то предыдущий участок № 1 подает обработанные на нем заготовки в накопитель, а последующий участок № 3 продолжает работать, потребляя заготовки из накопителя, установленного перед ним. В автоматических линиях наблюдается стремление к совмещению функций транспорта между участками линий с функциями межоперационных накопителей. Линии из агрегатных станков komponуют небольшими участками (из 6—9 станков).

Автоматическое оборудование оснащают быстросменным взаимозаменяемым режущим инструментом и устройствами для его подналадки. Стойкость инструмента повышают за счет применения новых режущих материалов, рациональной конструкции и охлаждающей жидкости. На некоторых автоматических линиях норма подачи охлаждающей жидкости на один шпиндель в минуту составляет 100—200 л. При этом стойкость инструмента повышается на 10—12%.

Автоматические линии из агрегатных станков совершенствуют по следующим основным направлениям. При компоновке агрегатных станков и линий используют максимально возможное число нормализованных узлов и деталей. Их доля в линиях составляет 65—70%. Это снижает время проектирования и изготовления линий. Привод подачи для агрегатных станков линии является типовым. Для подачи используют гидравлические, пневматические, пневмогидравлические и электрохимические устройства. Усилия на инструментах контролируют; имеются предохранители против поломок. Заготовки с транспортера подают в рабочую зону с помощью унифицированной загрузочной «ручки» — автооператора. Применение сменных захватов позволяет использовать подобное загрузочное устройство для различных деталей.

Для расширения технологических возможностей линии и обработки на ней других деталей, схожих с основными по форме и размерам, линия должна быть переналаживаемой. Последовательная смена инструментов, поворот и координатные перемещения обрабатываемой заготовки в таких линиях осуществляются с помощью системы числового программного управления. При этом увеличиваются технологические возможности станков в линии за счет создания дополнительных устройств. Появляются станки с револьверными головками и устройствами для автоматической смены инструмента.

Автоматическими линиями из агрегатных станков можно управлять непосредственно электронно-вычислительной машиной. Такая машина по определенному циклу включает пускатели электродвигателей. Имеются также пульты ручного управления, с помощью которых возможна работа линии в режиме ручного или наладочного управления. К машине можно подключать теле-тайпы, печатающие ведомость команд, передаваемых от ЭВМ. Например, передается предупреждение оператору, что через 10 циклов работы линии требуется смена инструмента. Теле-тайп отмечает все моменты времени, связанные с пусками и остановками линии, фиксирует все неполадки, возникающие в работе станков и приборов.

Материальные затраты на создание автоматических линий окупаются значительным повышением производительности труда по сравнению с производительностью обычного производства. Так, на автоматических линиях валов и роторов электродвигателей производительность труда повысилась в 6 раз, объем продукции с 1 м² площади увеличился в 1,4 раза, себестоимость продукции снизилась на 35%. На автоматической линии подшипников качения число производственных рабочих уменьшилось в 2 раза, производственный цикл сокращен с 45 до 3—5 суток, повысилась производительность труда и качество подшипников.

Критериями эффективности автоматических линий служат следующие технико-экономические показатели:

- 1) более высокая производительность;
- 2) меньшая себестоимость изготовления деталей;
- 3) быстрая окупаемость вложенных средств;
- 4) меньшее число обслуживающего персонала;
- 5) стабильность и улучшение качества обработки;
- 6) меньшая производственная площадь;
- 7) ритмичность выпуска продукции;
- 8) удобство обслуживания.

Современные автоматические линии становятся все более производительными. Внедрены линии, на которых заготовки обрабатывают при их непрерывном движении в процессе транспортировки. Такие автоматические системы являются наиболее совершенными.

4. Адаптивное управление работой металлорежущих станков

Точность и производительность при обработке на металлорежущих станках можно повысить за счет оснащения их адаптивными (самонастраивающимися) системами, позволяющими автоматически корректировать режимы обработки и настройку станка при изменении условий обработки.

Если, например, на предварительно настроенном токарном станке при обработке нескольких заготовок каждый раз изменяется глубина резания, то это не повлияет на подачу или скорость резания. На станке же с адаптивным управлением изменение глубины резания автоматически вызовет изменение условий обработки.

В современных адаптивных системах можно измерять размеры заготовок в процессе обработки и после нее. В зависимости от результатов измерений команды посылаются на подналадку режущих инструментов. Аналогично технологическая система будет реагировать на изменение шероховатости, т. е. произойдет автоматическая регулировка станка для обеспечения заданной шероховатости поверхности. При работе адаптивных систем обеспечиваются максимальный съем металла, наибольшая производительность станка и другие параметры в заданных пределах.

В наиболее совершенных системах с числовым программным управлением содержатся устройства адаптивного управления. При этом значительно упрощается программирование работы станков: технолог приближенно решает задачу, а система, определяя с помощью специальных датчиков условия резания, сама выбирает наиболее целесообразные условия работы.

Одна из адаптивных систем работает таким образом, что при резании постоянно оценивается деформация какой-либо детали металлорежущего, например фрезерного, станка. Если фреза затупилась, то увеличивается сила резания и, следовательно, сила, действующая на станок. Это отметит датчик, который следит за деформацией детали и по его команде уменьшится подача.

В результате автоматически уменьшаются погрешности обработки, станок работает без перегрузок, повышается стойкость инструмента.

В некоторых станках используют метод компенсации погрешностей на станках с автоматическим рабочим циклом. Он основан на том, что информацию о погрешностях обработанной детали используют для коррекции траектории инструмента при обработке последующих деталей. Траектория корректируется в ограниченном числе точек.

В отдельных случаях адаптивная система дает информацию о крутящем моменте на шпинделях металлорежущих станков. Измерительные устройства могут быть встроены в узлы станков существующих типов.

В связи с тем, что в отдельных случаях на точность работы станков сильно влияет нагрев их отдельных частей, необходимо предусматривать компенсацию температурных деформаций. Структурная схема работы такой системы дана на рис. VI.163. Наружный диаметр кольца 1 контролируется в процессе обработки прибором 2, сигналы которого поступают в блок управления 4. Внутренний диаметр кольца, изменяющийся в связи с температурными деформациями, контролируется прибором 3, сигналы которого также поступают в блок управления 4 и складываются или вычитаются (в зависимости от нагревания или охлаждения заготовки в процессе обработки) с сигналами управляющего прибора 3. Результирующий сигнал выдается на исполнительный механизм, например суппорт станка 5.

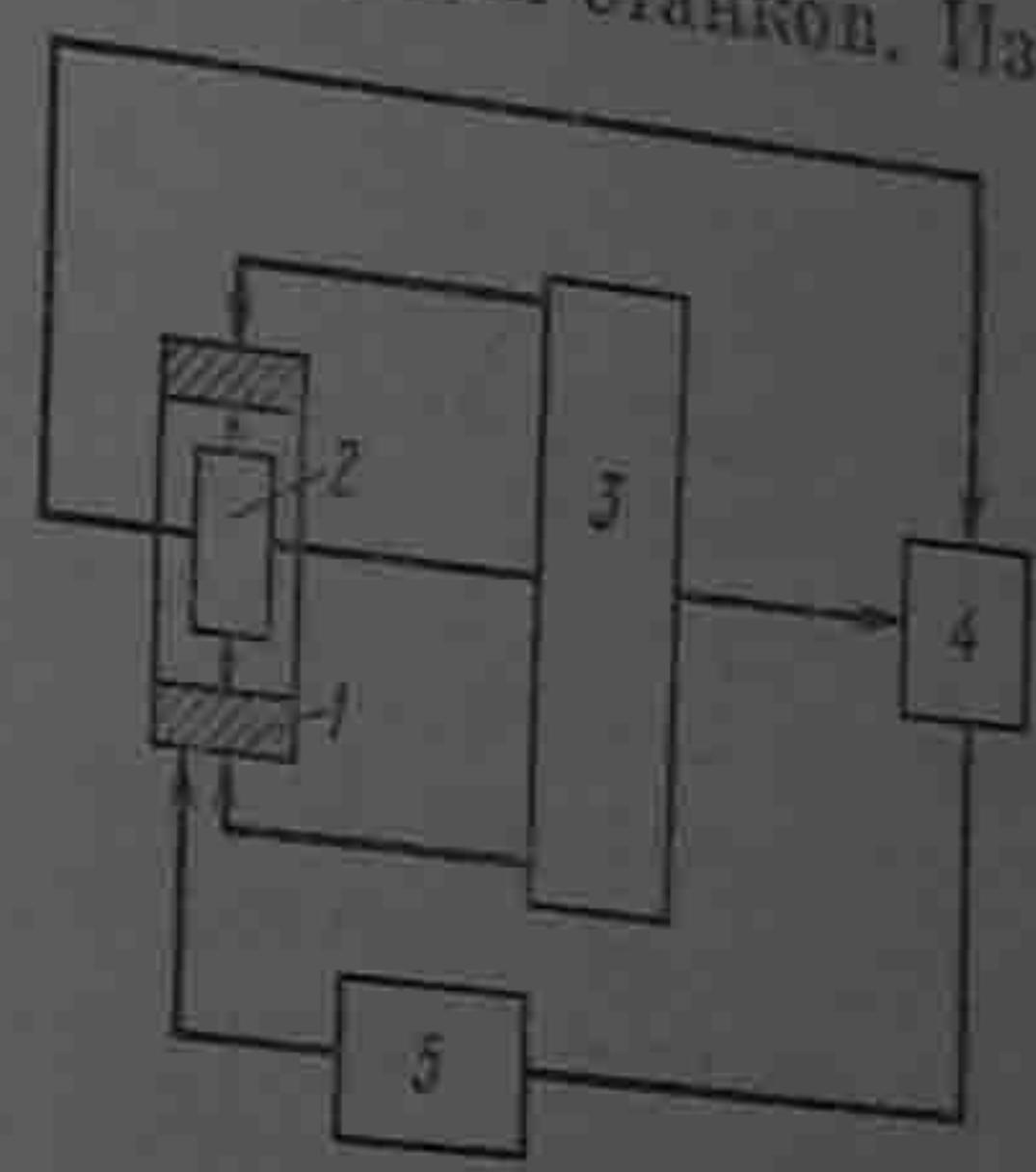


Рис. VI.163. Структурная схема работы адаптивной системы

В одной из систем, разработанных для станков с ЧПУ, в качестве критерия используют максимальную производительность. В систему поступает текущая информация о крутящем моменте на шпинделе, подаче и скорости вращения шпинделя. На основе этой информации специальные устройства вычисляют необходимую подачу на зуб, глубину резания, стойкость инструмента и мощность главного привода. Соответствующие корректирующие сигналы подаются на исполнительные органы станка. В результате этого поддерживается наиболее рациональный режим резания.

Существуют адаптивные системы, позволяющие в процессе обработки оценивать износ режущего инструмента. В качестве датчиков используют пневматические, фотозлектрические и другие устройства.

Таким образом, адаптивные системы позволяют автоматически поддерживать те условия работы, которые необходимы для получения деталей нужного качества с заданной производительностью.

Судя по рисунку

Глава 1. ОСНОВЫ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

1. Способы получения и технологические свойства порошков

Металлокерамика, или порошковая металлургия — отрасль технологии, занимающаяся производством металлических порошков и деталей из них. Сущность порошковой металлургии заключается в том, что из металлического порошка или смеси порошков прессуют заготовки, которые затем подвергают термической обработке — спеканию.

Порошковой металлургией можно получать детали из особо тугоплавких металлов, из нерастворимых друг в друге металлов (вольфрам и медь, железо и свинец и т. д.), пористые материалы и детали из них, детали, состоящие из двух (биметаллы) или нескольких слоев различных металлов и сплавов.

Металлические порошки состоят из очень мелких частиц (0,5—500 мкм) различных металлов и их окислов. Порошки получают механическим и физико-химическим путем.

Для механического измельчения твердых и хрупких материалов применяют шаровые, вибрационные мельницы и бегуны. Порошки из пластичных и легкоплавких металлов и сплавов получают различными способами, основанными на раздуве жидкого материала струей воды или газа. Механическим путем, как правило, получают порошки из отходов основного производства.

К физико-химическим способам получения порошков относят восстановление окислов металлов, электролиз и др.

Окислы металлов можно восстанавливать газообразными или твердыми восстановителями. Наибольшее практическое применение нашли газообразные углеродистые и углеводородистые соединения (природный газ, доменный, углекислый газ) и водород. Электролизом водных растворов солей получают тонкие и чистые порошки различных металлов и сплавов. Порошки из редких металлов (тантала, циркония, титана и др.) получают электролизом расплавленных солей. Режимы и технология изготовления порошков физико-химическим путем приведены в справочной литературе.

Основными технологическими свойствами порошков являются текучесть, прессуемость и спекаемость.

Текучесть — способность порошка заполнять форму. Текучесть ухудшается с уменьшением размеров частиц порошка и по-

вышением влажности. Количественной оценкой текучести является скорость вытекания порошка через отверстие диаметром 1,5—4,0 мм в секунду.

Прессуемость характеризуется способностью порошка уплотняться под действием внешней нагрузки и прочностью сцепления частиц после прессования. Прессуемость порошка зависит от пластичности материала частиц, их размеров и формы и повышается с введением в его состав поверхностно-активных веществ. Под спекаемостью понимают прочность сцепления частиц в результате термической обработки прессованных заготовок.

2. Металлокерамические материалы

Порошковой металлургией получают различные конструкционные материалы для изготовления заготовок и готовых деталей. Большое применение находят материалы со специальными свойствами.)

Из антифрикционных металлокерамических материалов изготавливают подшипники скольжения для различных отраслей промышленности. В антифрикционных материалах с пористостью 10—35% металлическая основа является твердой составляющей, а поры, заполняемые маслом, графитом или пластмассой, играют роль мягкой составляющей. Пропитанные маслом пористые подшипники способны работать без дополнительной смазки в течение нескольких месяцев, а подшипники со специальными «карманами» для запаса масла — в течение 2—3 лет. Во время работы подшипника масло нагревается, вытесняется из пор, образуя смазочную пленку на трущихся поверхностях. Такие подшипники широко применяют в машинах для пищевой промышленности, где попадание смазки в продукцию недопустимо.

Для пористых антифрикционных материалов используют железо-графитовые, железо-медно-графитовые, бронзо-графитовые, алюминий-медно-графитовые и другие композиции. Процентный состав этих композиций зависит от эксплуатационных требований, предъявляемых к конструкциям деталей.

Фрикционные материалы представляют собой сложные композиции на медной или железной основе. Коэффициент трения можно повысить добавкой асбеста, карбидов тугоплавких металлов и различных окислов. Для уменьшения износа в композиции вводят графит или свинец. Фрикционные материалы обычно применяют в виде биметаллических элементов, состоящих из фрикционного слоя, спеченного под давлением с основой (лентой или диском).

Коэффициент трения по чугуну без смазки для фрикционных материалов на железной основе 0,4—0,6. Они способны выдерживать температуру в зоне трения до 500—600° С. Применяют фрикционные материалы в тормозных узлах и узлах сцепления (в самолетостроении, автомобилестроении и т. д.).

1. Приготовление смеси

Из высокопористых материалов изготавливают фильтры и другие детали. В зависимости от назначения фильтры выполняют из порошков коррозионно-стойкой стали, алюминия, титана, бронзы и других материалов с пористостью до 50%. Металлические высокопористые материалы получают спеканием порошков без предварительного прессования или прокаткой их между вращающимися валками при производстве пористых лент. В порошки добавляют вещества, выделяющие газы при спекании.

Металлокерамические твердые сплавы характеризуются высокой твердостью, теплостойкостью и износостойкостью. Поэтому из них изготавливают режущий и буровой инструменты, а также наносят на поверхность быстрознашивающихся деталей и т. д.

Основой изготовления твердых сплавов являются порошки карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC). В качестве связующего материала применяют кобальт. Процентное соотношение указанных материалов выбирают в зависимости от их назначения.

Порошковой металлургией изготавливают алмазно-металлические материалы, характеризующиеся высокими режущими свойствами. В качестве связующего для алмазных порошков применяют металлические порошки (медные, никелевые и др.) или сплавы. Наибольшей твердостью характеризуются материалы из карбидов бора (эльбор).

Из жаропрочных и жаростойких материалов изготавливают детали, работающие при высоких температурах. Эти материалы должны иметь высокую жаропрочность, стойкость против ползучести и окисления. Металлические сплавы на основе никеля, титана, тантала, вольфрама и других элементов отвечают этим требованиям при работе до температур 850—900° С.

При более высоких температурах (до 3000° С) можно использовать тугоплавкие и твердые соединения типа окислов, карбидов, боридов и др. Однако эти материалы имеют высокую хрупкость и поэтому в чистом виде не могут быть использованы в качестве конструктивных материалов для изготовления различных деталей.

Применение порошковой металлургии позволяет повысить пластичность этих хрупких тугоплавких соединений. В качестве металлической связки выбирают металлы и сплавы, жаропрочность которых близка жаропрочности тугоплавких соединений. Они должны не образовывать химических соединений, быть мало растворимыми в тугоплавких соединениях, а также иметь близкие значения коэффициентов линейного расширения, теплопроводности и модуля упругости.

Технология изготовления жаропрочных конструктивных материалов характеризуется отдельными специфическими особенностями.

Порошковую металлургию широко применяют для получения материалов со специальными электромагнитными свойствами (постоянные магниты, магнитодиэлектрики, ферриты и т. д.).

Процесс приготовления смеси состоит из классификации порошков по размерам частиц, смешивания и предварительной обработки группам просеиванием на ситах, а более мелкие разделяют воздушной сепарацией. В металлические порошки — порошки — воз-рафин, стеарин, олеиновую кислоту и др.), облепители (пластификаторы (плавкие присадки, улучшающие процесс спекания, и различные летучие вещества для получения деталей с заданной пористостью. Для повышения текучести порошок иногда предварительно гранулируют. Подготовленные порошки смешивают в шаровых, барабанных мельницах и других смешивающих устройствах.

Предварительную механическую или термическую обработку (например, отжиг) применяют для повышения технологических свойств порошков.

2. Способы формообразования заготовок и деталей

Заготовки и детали из металлических порошков формуют прессованием (холодное, горячее, гидростатическое) и прокаткой.

Холодное прессование. В пресс-форму 2 засыпают определенное количество подготовленного порошка 3 и прессуют пуансоном 1 (рис. VII. 1, а). В процессе прессования увеличивается контакт между частицами, уменьшается пористость, деформируются или разрушаются отдельные частицы. Прочность получаемой заготовки обеспечивается силами механического сцепления частиц порошка, электростатическими силами притяжения и трения. С увеличением давления прессования прочность возрастает. Давление распределяется неравномерно по высоте прессуемой заготовки из-за влияния сил трения порошка о стенки пресс-формы. Это является причиной получения заготовок с различной прочностью и пористостью по высоте. В зависимости от габаритных размеров и сложности прессуемых заготовок применяют одно- и двустороннее прессование. Односторонним прессованием (рис. VII. 1, а) изготавливают заготовки простой формы с отношением высоты к диаметру меньше

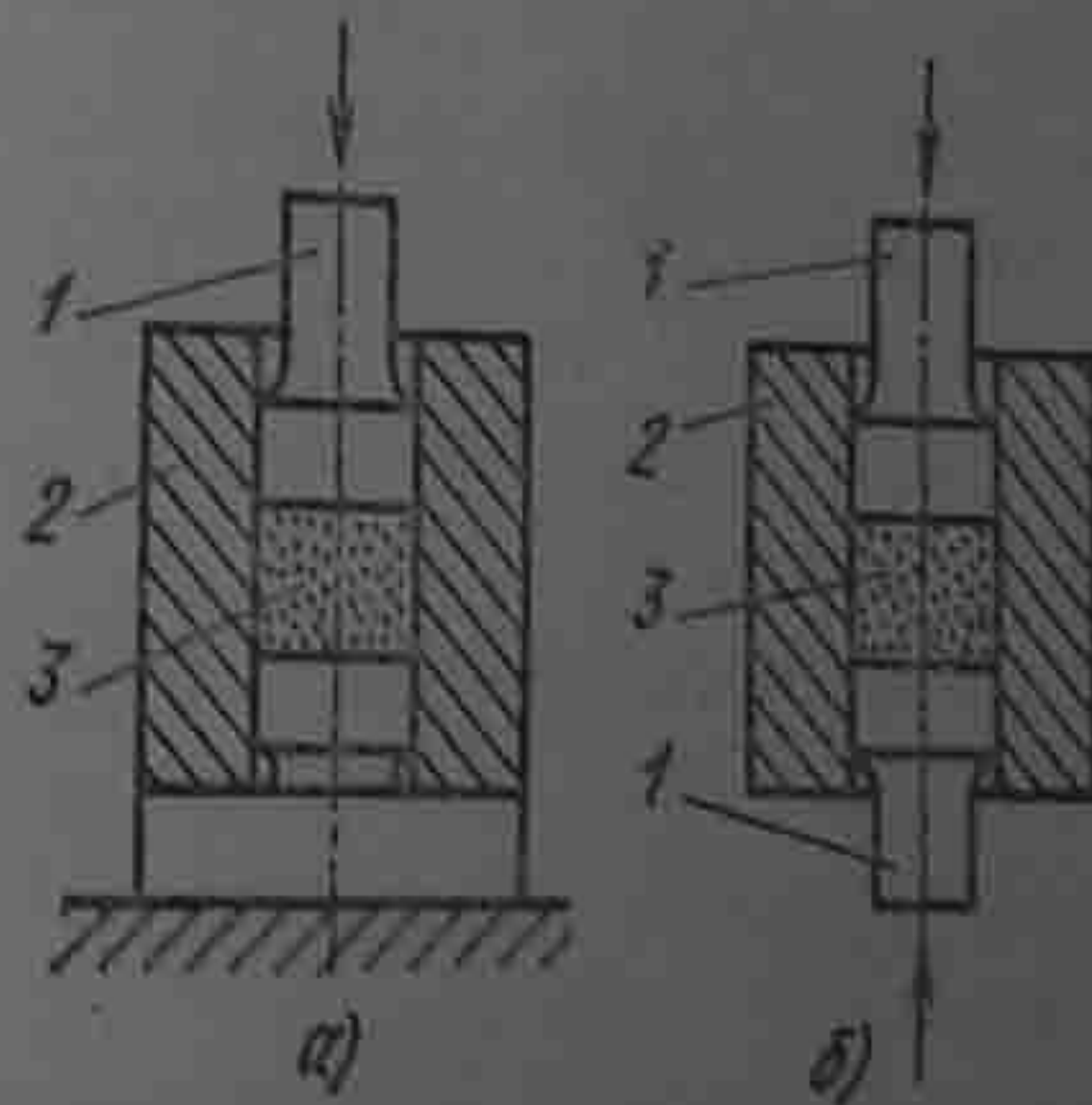


Рис. VII.1. Схемы холодного прессования:
а — одностороннее; б — двустороннее

единицы и заготовки типа втулок с отношением диаметра к толщине стенки меньше трех, вследствие чего обеспечивается равномерная плотность получаемых заготовок. Двусторонним прессованием (рис. VII. 1, б) получают заготовки сложной формы. При этом требуемое давление для получения равномерной плотности уменьшается на 30—40%.

При извлечении детали из пресс-формы ее размеры увеличиваются. Величина упругого последствия в направлении прессования составляет 0,3—0,5% и 0,1—0,2 — в направлении, перпендикулярном прессованию. Указанное необходимо учитывать при расчете исполнительных размеров пресс-форм.

Давление прессования составляет 200—1000 МПа в зависимости от требуемой плотности, размеров, формы прессуемой детали, вида прессуемого порошка и других факторов. Использование вибрационного прессования позволяет резко (в 50—100 раз) уменьшить потребное давление. Рабочие детали пресс-форм изготавливают из высоколегированных, инструментальных сталей и твердых сплавов.

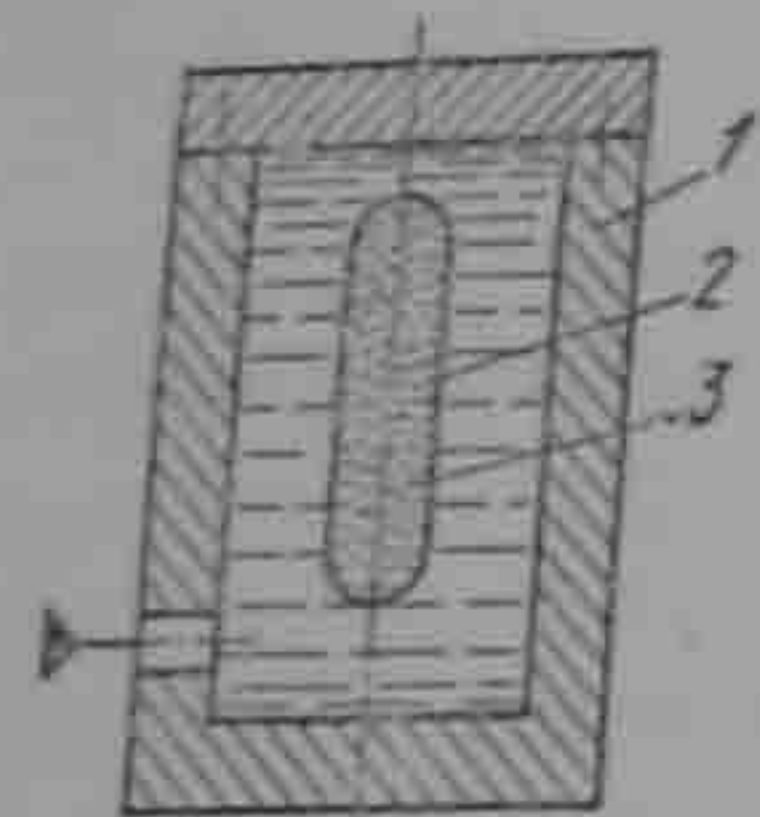


Рис. VII.2. Схема гидростатического прессования

Горячее прессование. При таком прессовании технологически совмещаются процессы формообразования и спекания заготовки с целью получения готовой детали. Горячим прессованием получают детали из твердых сплавов и специальных жаропрочных материалов. Изготавливаемые детали характеризуются высокой прочностью, плотностью и однородностью материала.

При горячем прессовании применяют графитовые пресс-формы. Высокая температура порошка позволяет значительно уменьшить необходимое давление. Горячее прессование имеет и существенные недостатки: низкую производительность, малую стойкость пресс-форм (4—7 прессовок), необходимость проведения процесса в среде защитных газов, которые ограничивают применение данного способа.

Гидростатическое прессование. Это прессование применяют для получения металлокерамических заготовок, к которым не предъявляют высоких требований по точности. Сущность процесса заключается в том, что порошок 3, заключенный в эластичную резиновую или металлическую оболочку 2, подвергают равномерному и всестороннему обжатию в специальных герметизированных камерах 1 (рис. VII. 2). Давление жидкости достигает 3000 МПа, что обеспечивает получение заготовок высокой прочности и плотности. При гидростатическом прессовании отпадает необходимость в применении дорогостоящих пресс-форм. Габаритные размеры изготавливаемых заготовок зависят от конструкции герметизированной камеры.

Выдавливание. Этим способом изготавливают прутки, трубы и профили различного сечения. Процесс получения заготовок

заключается в выдавливании порошка через комбинированное отверстие пресс-формы. В порошок добавляют пластификатор до 10—12% от массы порошка, улучшающий процесс соединения частиц и уменьшающий трение порошка о стенки пресс-формы. Профиль изготавливаемой детали зависит от формы калибровального отверстия пресс-формы. Полые профили получают выдавливанием на гидравлических и механических прессах.

Прокатка. Этот способ — один из наиболее производительных и перспективных способов переработки металлокерамических материалов. Порошок непрерывно поступает из бункера 1 в зазор между валками (рис. VII. 3, а). При вращении валков 3 происходит обжатие и вытяжка порошка 2 в ленту 4 определенной толщины. Процесс прокатки может быть совмещен со спеканием и окончательной обработкой полученных заготовок. В этом случае лента прокатки проходит через проходную печь для спекания, а затем поступает на прокатку, обеспечивающую заданную ее толщину.

Прокаткой получают ленты из различных металлокерамических материалов (пористых, твердосплавных, фрикционных и др.). За счет применения бункеров с перегородкой (рис. VII. 3, б) изготавливают ленты из различных материалов (двухслойные).

Прокаткой из металлических порошков изготавливают ленты толщиной 0,02—3,0 мм и шириной до 300 мм. Применение валков определенной формы позволяет получить прутки различного профиля, в том числе и проволоку диаметром от 0,25 мм до нескольких миллиметров.

3. Спекание и окончательная обработка заготовок

Спекание проводят для повышения прочности предварительно полученных заготовок прессованием или прокаткой. В процессе спекания вследствие температурной подвижности атомов порошков одновременно протекают такие процессы, как диффузия, восстановление поверхностных окислов, рекристаллизация и др. Температура спекания обычно составляет 0,6—0,9 температуры плавления порошка однокомпонентной системы или ниже температуры плавления основного материала для порошков, в состав которых входит несколько компонентов. Процесс спекания рекомендуется проводить за три этапа: I — нагрев до температуры 150—200° С (удаление влаги); II — нагрев до 0,5 температуры спекания (снятие упругих напряжений и активное сцепление

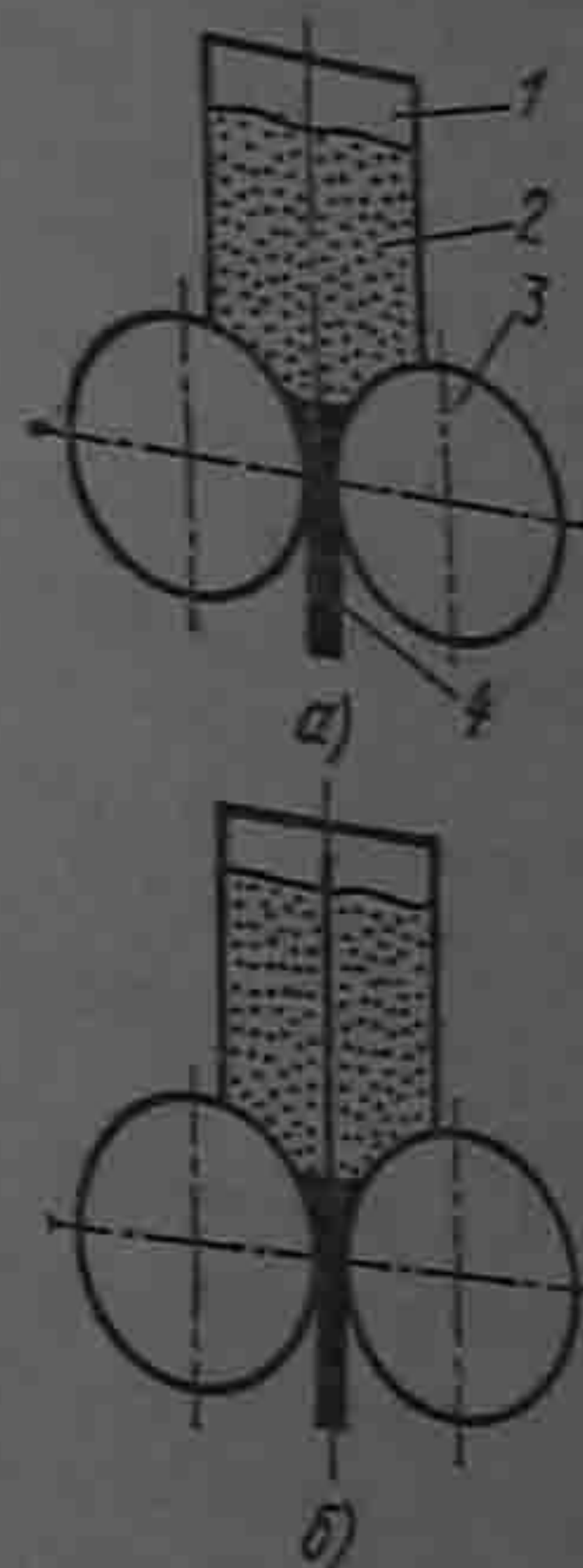


Рис. VII.3. Схема прокатки порошков

части); III — окончательный нагрев до температуры спекания. Время выдержки после достижения температуры спекания по всему сечению составляет 30—90 мин. Увеличение времени и температуры спекания до определенных значений приводит к увеличению прочности и плотности в результате активизации процесса образования контактных поверхностей. Превышение указанных технологических параметров может привести к снижению прочности за счет роста зерен кристаллизации.

Для спекания используют электрические печи сопротивления или печи с индукционным нагревом. Для предотвращения окисления спекают в нейтральных или защитных средах, а для повышения плотности и прочности получаемые заготовки повторно прессуют и спекают. Требуемой точности достигают с помощью отделочных операций: калибрования и обработки резанием.

Калибруют заготовки дополнительным прессованием в специальных стальных пресс-формах или продавливанием пруткового материала через калиброванное отверстие. При этом повышается точность и уплотняется поверхностный слой заготовки.

Обработку резанием (точение, сверление, фрезерование, нарезание резьбы и т. д.) применяют в тех случаях, когда прессованием нельзя получить детали заданных размеров и форм. Особенностью механической обработки является пористость металлокерамических заготовок. Не рекомендуется применять обычные охлаждающие жидкости, которые, впитываясь в поры, вызывают коррозию. Пропитка маслом пористых заготовок перед обработкой также нежелательна, так как в процессе резания масло вытекает из пор и, нагреваясь, дымит.

При обработке резанием используют инструмент, оснащенный пластинками из твердого сплава или алмаза. Для сохранения пористости при обработке необходимо применять хорошо заточенный и доведенный инструмент.

4. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям деталей из металлических порошков

Технологический процесс изготовления деталей из металлических порошков характеризуется отдельными специфическими особенностями, которые необходимо учитывать при проектировании этих деталей.

При проектировании деталей с высокими требованиями по точности исполнительных размеров необходимо предусматривать припуск на их дальнейшую механическую обработку. Наружные и внутренние резьбы следует изготавливать обработкой резанием. В конструкциях деталей необходимо избегать выступов, пазов и отверстий, расположенных перпендикулярно оси прессования (рис. VII.4, а, 1). Их следует заменять соответствующими элементами, расположенными в направлении прессования

(рис. VII.4, б, 5), или изготавливать обработкой резанием. Процесс прессования деталей сопровождается обработкой резанием. Процесс нельзя допускать значительной разностенности (рис. VII.4, а, 2), которая вызывает коробление и образование трещин.

При незначительной разностенности в процессе прессования получают более равномерную плотность по высоте детали (рис. VII.4, б, 6). Длинные тонкостенные конструкции (рис. VII.4, а, 3) необходимо заменять на равнозначные по эксплуатационным показателям с учетом прессуемой детали (рис. VII.4, б, 7). Толщина стенок должна быть не менее 1 мм.

Для свободного удаления заготовки пресс-форма должна иметь незначительную конусность. При проектировании конических поверхностей необходимо исходить из удобства извлечения заготовки (рис. VII.4, б, 8), обратная конусность недопустима (рис. VII.4, а, 4). Радиусы перехода сопрягающихся поверхностей должны быть не менее 0,2 мм.

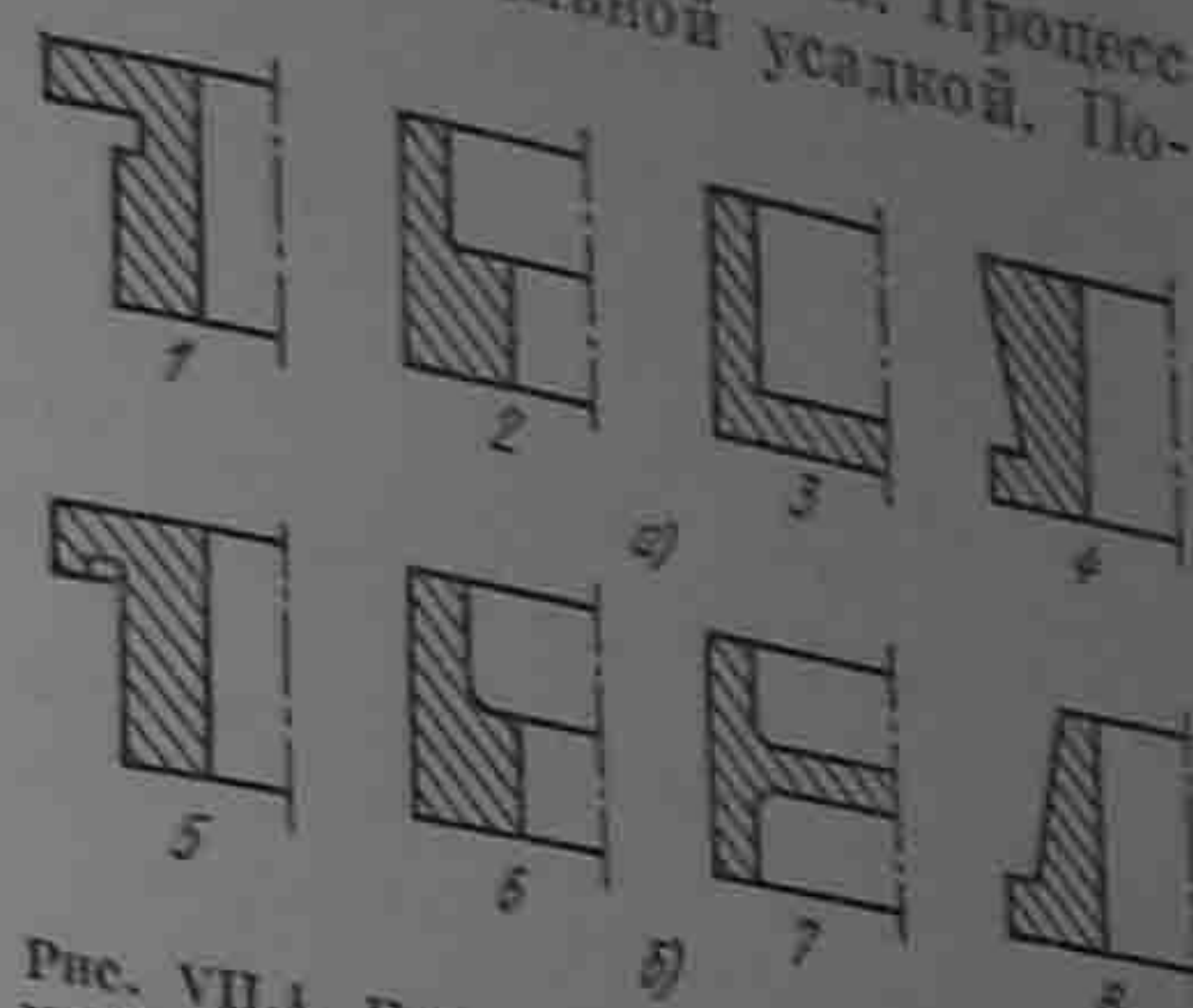


Рис. VII.4. Примеры конструктивного оформления металлокерамических деталей: а — нетехнологические конструкции; б — технологические конструкции

Глава I. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

1. Классификация пластмасс и способов их переработки

Бурное развитие всех отраслей промышленности, а также необходимость повышения надежности и качества выпускаемых машин и изделий потребовали создания новых материалов.

Неметаллические материалы — пластические массы (пластмассы), резину, стекло, древесину и др. применяют почти во всех отраслях промышленности. Широкое внедрение неметаллических материалов в машиностроении и приборостроении обусловлено их ценными специфическими свойствами.

Пластмассы характеризуются малой плотностью и относительно высокой механической прочностью, высокой химической и коррозионной стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами. Благодаря своим ценным свойствам пластмассы уже сейчас используют в машиностроении и приборостроении не как заменители черных и цветных металлов, а как самостоятельные машиностроительные материалы. Применением их достигается экономия большого количества дорогостоящих цветных металлов, повышение стойкости деталей, работающих на трение и в агрессивных средах, снижение массы изделий и машин, уменьшение трудоемкости изготовления деталей.

Важным преимуществом технологического процесса переработки пластмасс является возможность совмещения процесса получения исходного материала с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, формообразования заготовки и получения готовой продукции. Конечный продукт переработки пластмасс в машиностроении, как правило, называют деталью, хотя в отдельных случаях применяют дополнительную обработку (зачистку заусенцев, обработку резанием и др.). При переработке пластмасс на специализированных заводах конечный продукт называют также изделием. Процесс изготовления пластмассовых деталей (изделий) характеризуется высоким коэффициентом использования материала (0,85—0,95), малой трудоемкостью, высокой механизацией и автоматизацией.

К пластмассам относят неметаллические материалы, представляющие собой сложные композиции высокомолекулярных соединений. Они характеризуются значительной молекулярной массой, т. е. состоят из очень больших молекул, именуемых макро-

молекулами. По геометрической структуре макромолекулы разделяют на линейные, разветвленные и пространственные (сшитые). В зависимости от расположения и взаимосвязи макромолекул полимеры могут находиться в аморфном и кристаллическом состояниях. Наличие кристаллической фазы у полимеров оказывает большое влияние на их физико-механические свойства. Так, при переходе полимера из аморфного в кристаллическое состояние повышается его прочность, теплостойкость. Существенное влияние на полимерные материалы оказывает воздействие на них теплоты.

Под действием теплоты аморфные полимеры можно перевести из твердого (стеклообразного) состояния в высокоэластическое и вязкотекучее состояние (рис. VIII.1).

Из диаграммы для аморфного полимера видно, что в нижнем температурном интервале вещество находится в стеклообразном состоянии, т. е. деформация мала и увеличивается пропорционально температуре. Выше температуры стеклования T_c вещество переходит в высокоэластическое состояние, а выше температуры текучести T_T вещество становится вязкотекучим. Температура стеклования T_c характеризует теплостойкость полимерного материала.

Итак, две точки на термомеханической кривой (T_c и T_T) характеризуют температурные области, соответствующие трем физическим состояниям полимера. Эти температуры являются важнейшими характеристиками, позволяющими назначать температурные интервалы формования деталей из полимеров.

Термомеханические кривые для кристаллических полимеров имеют иной, чем для аморфных полимеров, вид. Отдельные полимеры с увеличением температуры разлагаются, не переходя в вязкотекучее состояние.

Пластмассы в зависимости от поведения при повышенных температурах подразделяют на две основные группы: термопластичные полимеры (термопласты) и терморезистивные (реактопласты).

Термопласты (полиэтилен, капрон, винипласт, полистирол, фторопласт, органическое стекло и др.) размягчаются и плавятся при повышении температуры и вновь затвердевают при охлаждении. Переход термопластов из твердого или высокоэластического состояния в вязкотекучее и обратно может происходить неоднократно без изменения их химического состава, что имеет решающее значение при выборе способов переработки термопластов.

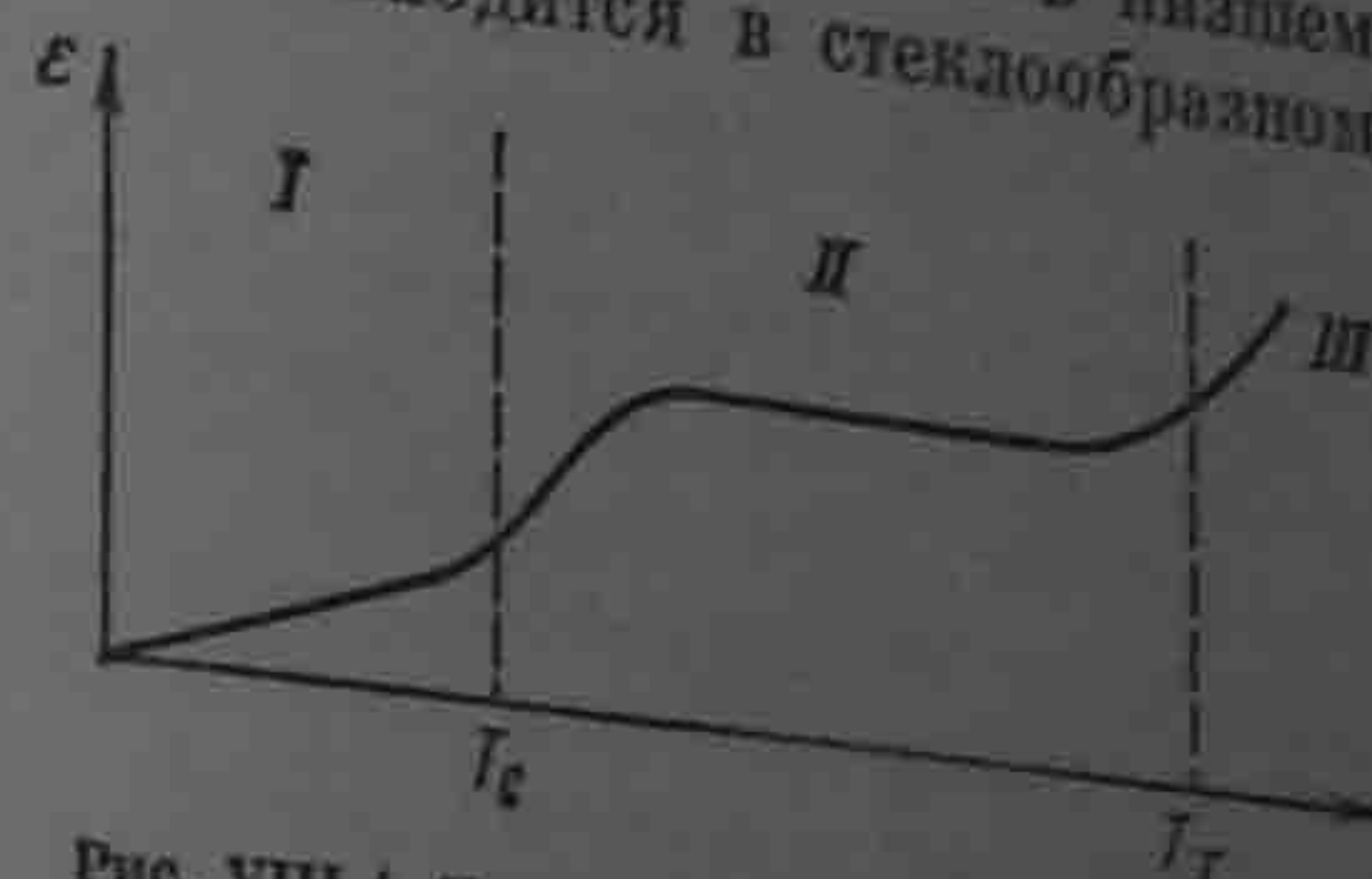


Рис. VIII.1. Термомеханическая кривая аморфного полимера:
I — зона стеклообразного состояния; II — зона высокоэластического состояния; III — зона вязкотекучего состояния; T_c — температура стеклования; T_T — температура текучести; ε — деформация

образный материал 2. При замыкании пресс-формы под действием усилия пресса пуансон 1 создает давление на прессуемый материал (рис. VIII.2, б). Под действием этого давления и теплоты от нагретой пресс-формы материал размягчается и заполняет формообразующую полость пресс-формы. После определенной выдержки пресс-форма раскрывается и с помощью выталкивателя 5 из нее извлекается готовая деталь 4 (рис. VIII.2, в).

Процесс полимеризации (отвердения) сопровождается выделением летучих составляющих полимеров и паров влаги. Для удаления газов в процессе прессования выполняют так называемую подпрессовку, заключающуюся в переключении гидропресса после определенной выдержки на обратный ход, в подъеме пуансона на 5—10 мм и выдержке его в таком положении в течение 2—3 с. После этого пресс-форма снова смыкается. При прессовании крупных толстостенных деталей из материалов с повышенной влажностью подпрессовку проводят дважды.

Время выдержки под прессом, зависящее от вида перерабатываемого материала и толщины прессуемой детали, выбирают из расчета 0,5—2,0 мин на 1 мм толщины стенки. Технологическое время прессования может быть сокращено за счет предварительного подогрева материала в специальных шкафах. Температура и давление прессования зависят от вида перерабатываемого реактопласта.

Пресс-форму обычно нагревают до требуемой температуры электрическими нагревателями и в некоторых случаях горячим паром. При прессовании рабочую температуру пресс-формы поддерживают постоянной с помощью автоматически действующих приборов.

Для загрузки в полость пресс-формы определенного количества пресс-материала используют объемную дозировку или дозировку по массе. Применяют также поштучную дозировку (загружают определенное количество таблеток). Прессуют на гидравлических прессах. При выпуске большого числа деталей используют прессы, работающие по автоматическому циклу.

Прямым прессованием получают детали средней сложности и небольших габаритных размеров из термореактивных материалов с порошкообразным и волокнистым наполнителями.

Литьевое прессование отличается от прямого тем, что прессуемый термореактивный материал загружают не в полость пресс-формы, а в специальную загрузочную камеру 2 (рис. VIII.3). Под действием теплоты от пресс-формы прессуемый материал превращается в вязкотекучее состояние и за счет давления со стороны пуансона 1 выжимается из загрузочной камеры 2 в полость матрицы пресс-формы через специальное отверстие в литниковой плите 3. После отвердения готовую деталь 4 извлекают из полости пресс-формы 5 с помощью выталкивателя 6.

Литьевое прессование позволяет получить детали сложной конфигурации с глубокими отверстиями, в том числе и резьбовыми.

В отличие от прямого прессования при данном способе возможна установка тонкой и сложной арматуры. За счет перетекания прессуемого материала через калиброванное отверстие структура изготавливаемых деталей получается более равномерной. Как правило, отпадает необходимость в подпрессовке, так как образующиеся газы могут выходить в зазор между литниковой плитой и матрицей пресс-формы.

К недостаткам литьевого прессования по сравнению с прямым относится несколько больший расход пресс-материала, так как после окончания прессования в загрузочной камере остается часть необратимого пресс-материала.

Форма и размеры изготавливаемых деталей зависят от формообразующих деталей пресс-форм. Поэтому к ним предъявляют высокие требования по точности и качеству поверхности. Формообразующие детали изготавливают из высоколегированных конструкционных или инструментальных сталей с последующей закалкой до высокой твердости. Для повышения износостойкости и улучшения внешнего вида деталей формообразующие элементы пресс-формы полируют и хромируют.

Прессованием на плитах многоэтажных прессов получают листы и плиты из термореактивных материалов (текстолита, стекловолокнита и др.). Заготовки материала (из хлопчатобумажной ткани, стеклоткани и др.) пропитывают смолой и укладывают между горячими плитами многоэтажных прессов. Число уложенных слоев ткани определяет толщину получаемых листов и плит. Выдержка при прессовании зависит от толщины изготавливаемых плит. Габаритные размеры прессуемых плит ограничиваются мощностью гидравлического пресса.

Профильным прессованием получают трубы, прутки круглого и фасонного сечений из термореактивных материалов. Сущность процесса заключается в том, что через калиброванное отверстие продавливают прессуемый материал. В последнее время данный способ заменяют более совершенным и прогрессивным — непрерывным выдавливанием.

Получение деталей литьем. Литье под давлением является высокопроизводительным и эффективным технологическим способом массового производства деталей из термопластов. Перерабатываемый материал из загрузочного бункера 8 подается дозатором 9 в рабочий цилиндр 6 с электронагревателем 4 (рис. VIII.4). При движении поршня 7 определенная доза материала поступает в зону обогрева, а уже расплавленный материал через сопло 3 и литниковый канал — в полость пресс-формы 1, в которой формируется изготавливаемая деталь 2. В рабочем (наг-

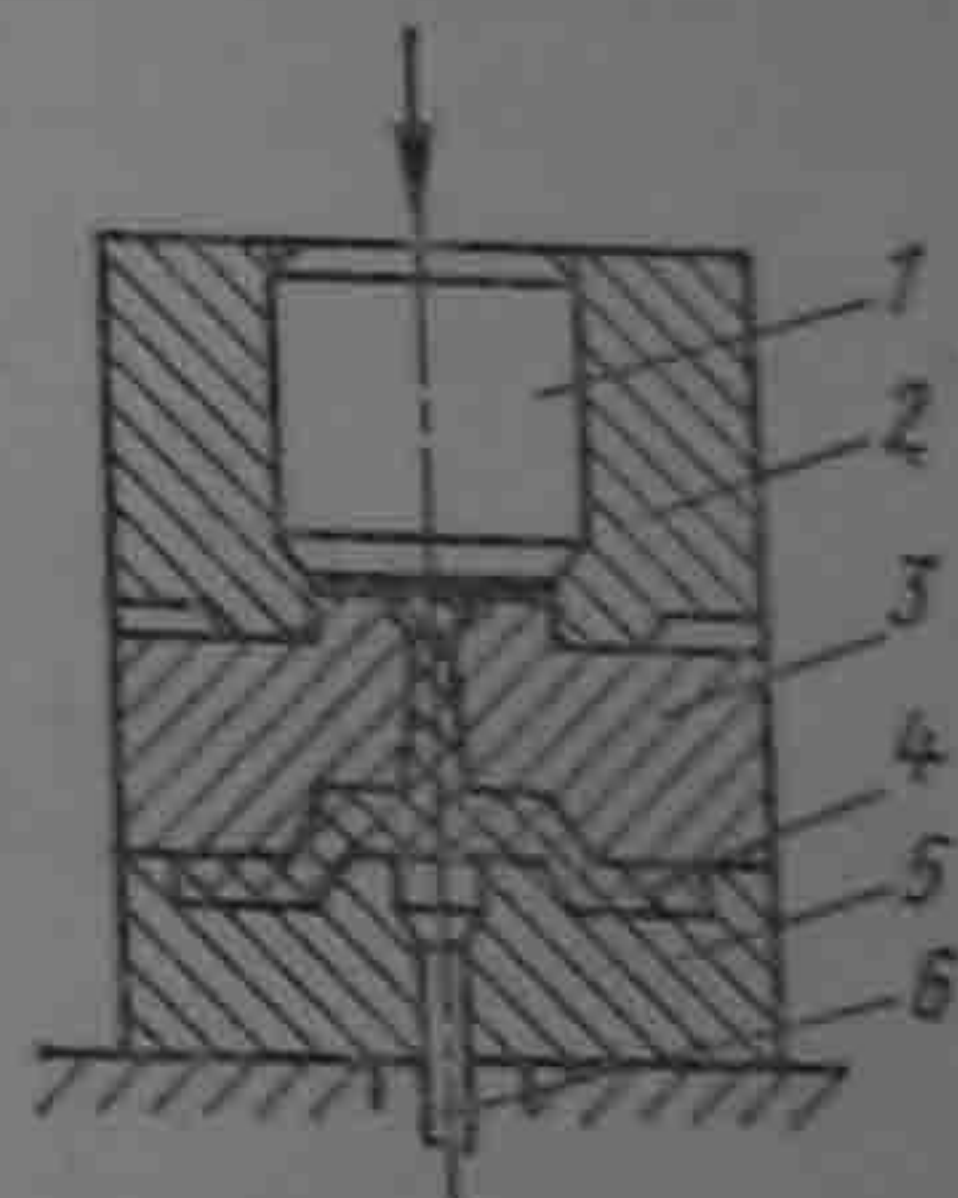


Рис. VIII.3. Схема литьевого прессования

ревательном) цилиндре на пути потока расплава установлен рассекатель 5, который заставляет расплав протекать тонким слоем у стенок цилиндра. Это ускоряет прогрев и обеспечивает более равномерную температуру расплава. При движении поршня материала попадает в рабочий цилиндр. Для предотвращения перегрева выше температуры $50-70^{\circ}\text{C}$ в процессе литья пресс-форма охлаждается проточной водой. После затвердевания материала пресс-форма размыкается и готовая деталь с помощью выталкивателей извлекается из нее.

Литьем под давлением получают детали сложной конфигурации с различными толщинами стенок, ребрами жесткости, с резьбами и т. д.

Для литья под давлением применяют литейные машины, позволяющие механизировать и автоматизировать процесс полу-

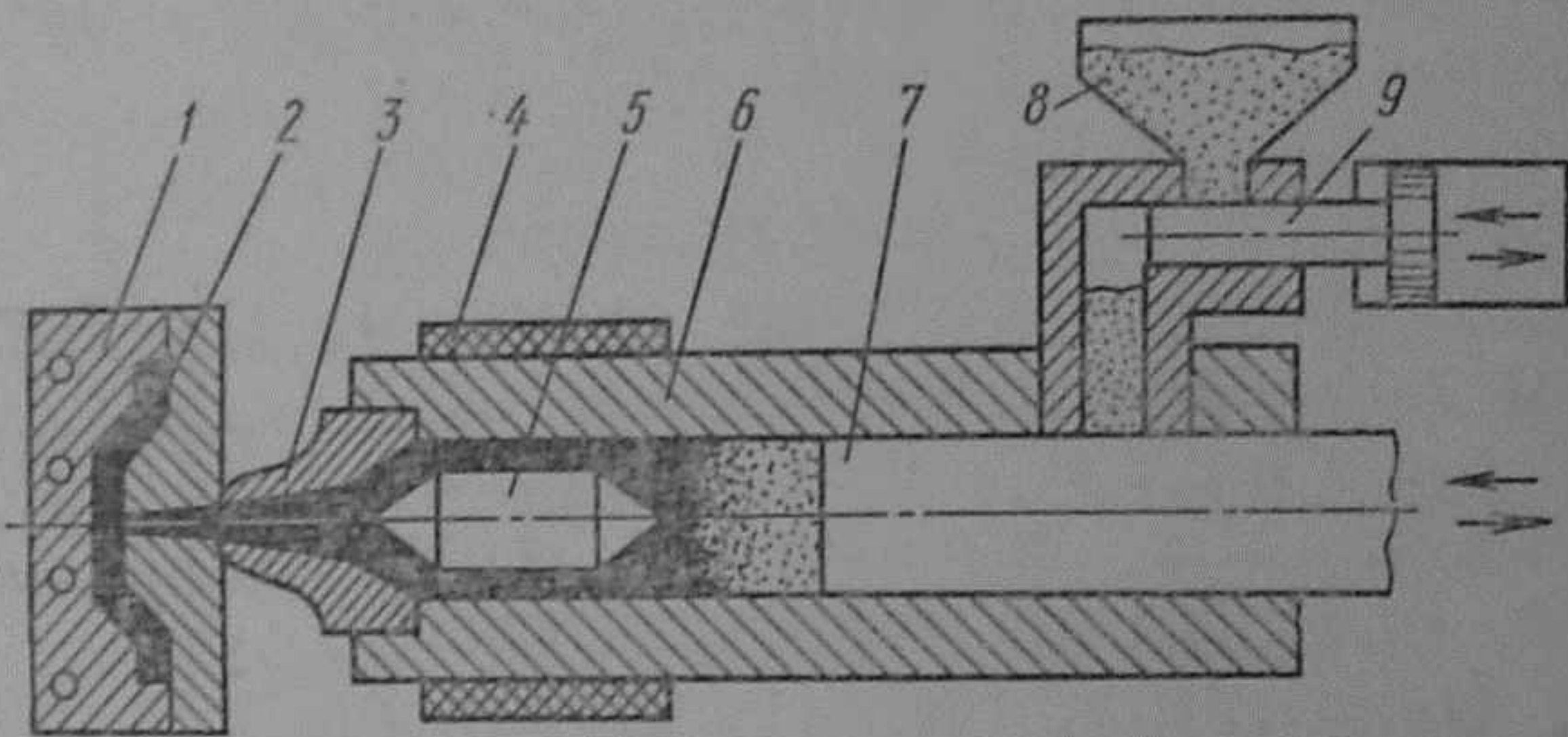


Рис. VIII.4. Схема литья под давлением

чения пластмассовых деталей. Производительность процесса литья в 20—40 раз выше производительности прессования. Поэтому литье под давлением является одним из основных способов переработки пластических масс в детали.

Качество отливаемых деталей зависит от температур пресс-формы и расплава, удельного давления прессования, продолжительности выдержки под давлением и т. д.

Литьем под давлением получают также детали из отдельных видов терморезистивных материалов (с хорошими вязкотекучими свойствами). При этом используют специальное оборудование и технологическую оснастку (пресс-формы).

Центробежным литьем получают крупногабаритные и толстостенные детали, имеющие форму тел вращения (трубы, кольца, шкивы, зубчатые колеса и т. д.). Сущность технологического процесса заключается в том, что расплавленный полимер заливают в форму, которой задается вращательное движение. Под действием центробежных сил расплавленный полимер плотно прижимается к внутренней поверхности формы и при дальнейшем вращении затвердевает. Этот способ принципиально не отличается от центробежного литья металлов.

Для предотвращения окисления расплавленного полимера во время заливки используют вакуумное центробежное литье, что немного усложняет технологический процесс.

Получение деталей выдавливанием. Выдавливание широко применяют для получения труб различных профилей, лент и пленок, для нанесения защитных оболочек на провода, кабели и т. д. Выдавливание осуществляют на специальных червячных машинах. Перерабатываемый термопластичный материал в виде порошка или гранул из бункера 1 попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2 (рис. VIII. 5). Червяк, имеющий нарезку с изменяющимся шагом и глубиной гребешков (резьбы), продвигает материал, перемешивает и уплотняет его. За счет передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязкотекучее состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие головки 6. Расплавленный материал проходит через радиальные канавки оправки 5. Оправку применяют для получения отверстия при выдавливании труб.

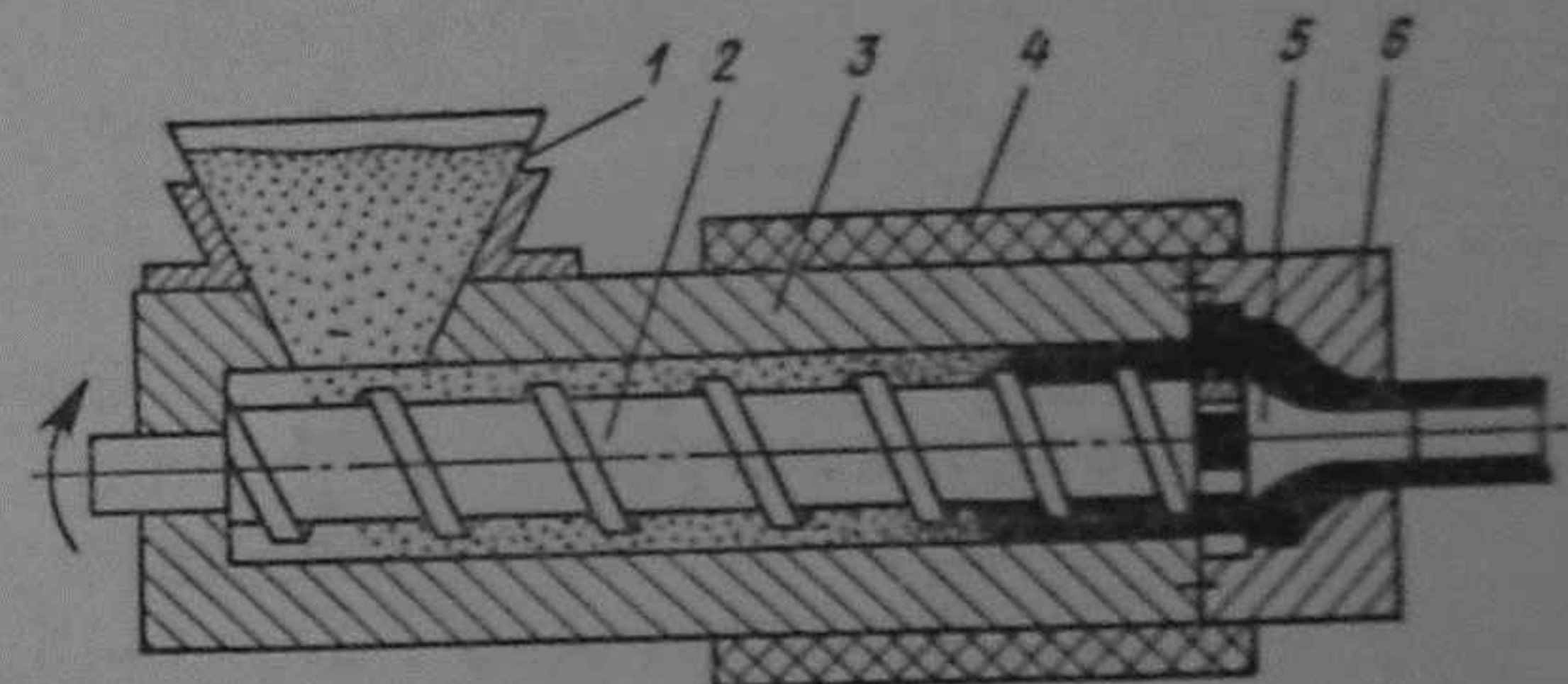


Рис. VIII.5. Схема непрерывного выдавливания

Основными характеристиками, определяющими процесс выдавливания, является диаметр червяка, отношение его длины к диаметру, скорость вращения и профиль нарезки.

Современные машины имеют червяки с отношением длины к диаметру 20—30 при диаметре 20—300 мм. Частоту вращения червяка регулируют в широких пределах (20—200 об/мин). В машинах с частотой вращения червяка до 1000 об/мин материал расплавляется только за счет трения частиц порошка между собой, трения о стенки цилиндра и червяка.

В зависимости от типа перерабатываемого термопласта и геометрической формы выдавливаемых профилей применяют машины с одним или двумя червяками. Червяки могут быть однозаходные или многозаходные, с постоянным или переменным шагом, с постоянной или изменяющейся глубиной нарезки.

Размеры и профиль выдавливаемых заготовок определяются конструкцией головки и оправки.

Для нанесения защитных покрытий из полимерных материалов через оправку пропускают соответственно проволоку или кабель.

Процесс выдавливания применяют также для получения полых изделий (бутылок, флаконов и т. д.). При изготовлении полых изделий выходящая из головки горячая труба зажимается

в разъемной пресс-форме. Через оправку в трубу подается сжатый воздух, который и раздувает зажатый отрезок трубы в пресс-форме до требуемой конфигурации. Охлаждение происходит при полном контакте пластмассовой детали с внутренними стенками пресс-формы.

Выдавливание является высокопроизводительным, автоматизированным и прогрессивным технологическим процессом. Данным способом перерабатывают до 65% термопластичных полимерных материалов.

Получение пленок и листов. Разновидностью способа непрерывного выдавливания является выдавливание пленок и листов из термопластичных мягких материалов (полиэтилена, полипропилена и др.). При получении пленок используют способ раздува. Расплавленный материал продавливают через кольцевую щель насадкой головки. Получают заготовку в виде рукава, которую раздувают сжатым воздухом до определенного диаметра. После охлаждения пленку подают на намоточное приспособление и сматывают в рулон. Способ раздува позволяет получить пленку толщиной до 40 мкм.

Для получения листового материала используют плоские щелевые головки шириной до 1600 мм. Выходящее из щелевого отверстия полотно проходит через валки гладильного и тянущего устройств, здесь же происходит предварительное охлаждение; окончательное охлаждение листа — на рольгангах. Готовую продукцию сматывают в рулоны или режут на листы определенного размера с помощью специальных ножниц. Листы и пленки из более жестких термопластичных материалов, например из поливинилхлорида, получают преимущественно каландровым способом, сущность которого заключается в том, что размягченный материал пропускают между валками, в результате чего получают пленку (лист) заданной толщины (до 0,05 мм).

Пленки из нитратоцеллюлозы, ацетата целлюлозы, вискозы получают на поливочных машинах. Сущность процесса заключается в том, что на движущуюся ленту конвейера через щелевое отверстие подают разведенный в растворителе полимер. В специальных камерах растворитель испаряется, а затвердевшая полимерная пленка сматывается в рулоны. Способ полива имеет серьезные недостатки (сложность установки, большой расход растворителей, пожароопасность производства и др.), поэтому его используют только для получения пленок (фото- и кинопленок), для которых другие способы непригодны.

3. Способы переработки пластмасс в детали в высокоэластическом состоянии

Для получения многих крупногабаритных деталей наиболее целесообразным является переработка листовых термопластичных материалов. Технологический процесс получения деталей основан

на использовании свойств термопластов, нагретых до высокоэластического состояния. Основными технологическими способами являются пневматическая формовка, вакуумная формовка и штамповка.

Пневматическая и вакуумная формовка. Сущность формовки деталей заключается в следующем (рис. VIII. 6): предварительно разогретую и зажатую в рамку 2 заготовку 3 плотно прижимают к матрице 4 верхней камерой 1 и формуют с помощью сжатого воздуха (при пневмоформовке) или под давлением атмосферного воздуха (при вакуум-формовке). После охлаждения готовую деталь сжатым воздухом удаляют с матрицы. При пневмо- и вакуумной формовке матрицу предварительно подогревают до 40—60° С.

Листовые материалы нагревают главным образом в электрических нагревательных шкафах, оснащенных контролирующими

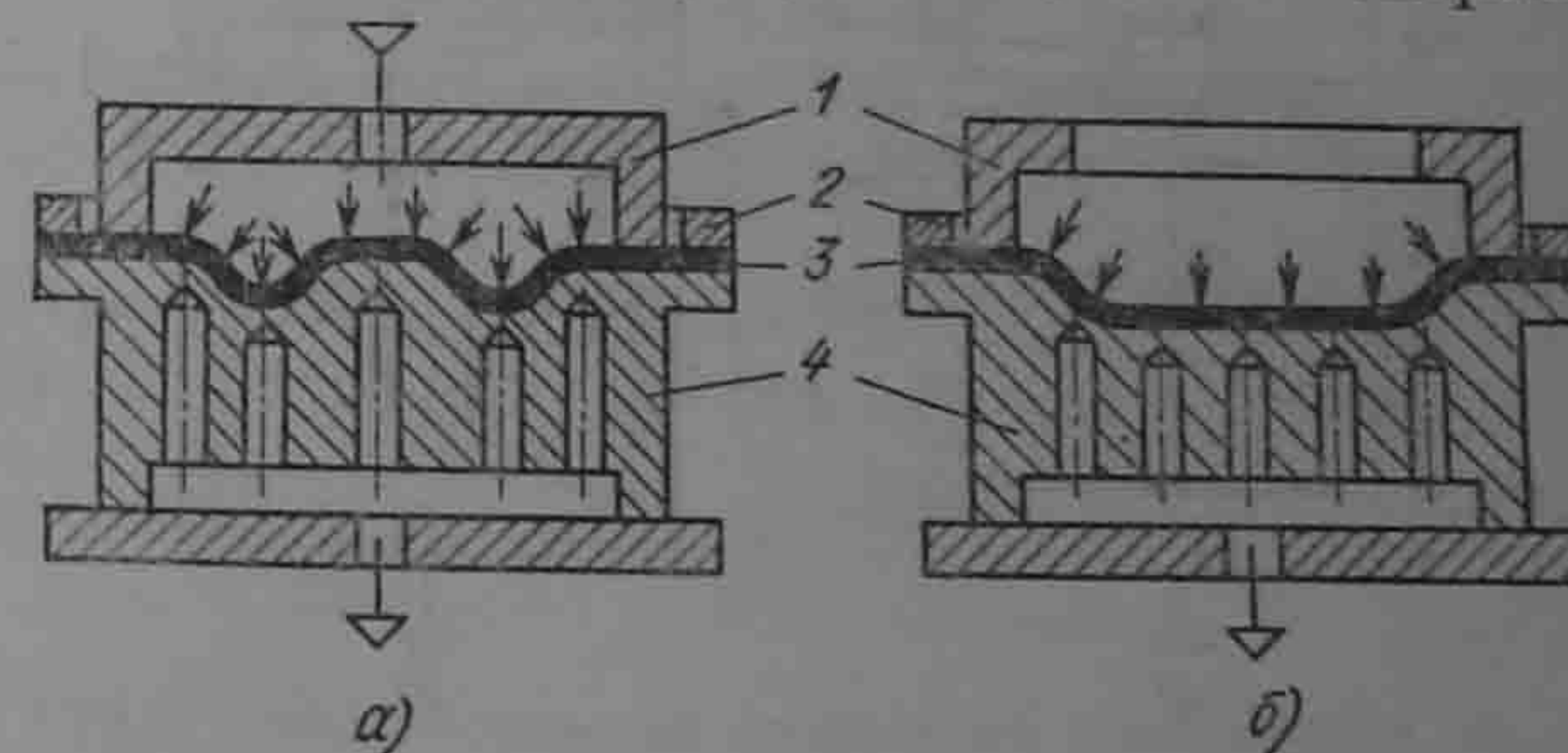


Рис. VIII.6. Схемы пневматической (а) и вакуумной (б) формовки

и автоматически регулирующими приборами. Необходимым условием является равномерный нагрев листовых заготовок. В противном случае на различных участках материала будет неодинаковая пластичность, что вызовет брак при формовке из-за разрывов, трещин, коробления и т. д. Для равномерного нагрева шкафы оснащают вентилятором для перемешивания воздуха. Температура нагрева зависит от вида перерабатываемого материала.

Особенностью вакуумной формовки является простота установки и обслуживания. Однако небольшой перепад давления препятствует применению этого метода для получения толстостенных (более 2,5 мм) и сложных конфигураций деталей, а также деталей из жестких термопластов.

Пневматическая формовка позволяет получать детали сложных пространственных конфигураций и различных толщин в зависимости от давления подаваемого воздуха. Для предотвращения быстрого и неравномерного охлаждения, возможного возникновения внутренних напряжений формуют подогретым до 50—70° С сжатым воздухом.

Разновидностью пневматической формовки является изготовление деталей без применения матрицы или пуансона. Разогретый

лист зажимают в кольцо и с помощью сжатого воздуха или под действием атмосферного давления получают сферическое изделие. Поскольку формуют без соприкосновения с формообразующими деталями, получаемые детали имеют высокую прозрачность (колпаки кабин самолетов, детали для оптики и светотехники). В производственных условиях часто применяют комбинированное формообразование, при котором совмещают операции выдувания и пневматического обжима, а также, если необходимо, протяжки, штамповки, обрессовки и т. д.

Формовка в универсальных камерах является высокопроизводительным и экономичным способом получения деталей различной сложности. Для формовки применяют специальные универсальные камеры, состоящие из двух частей:

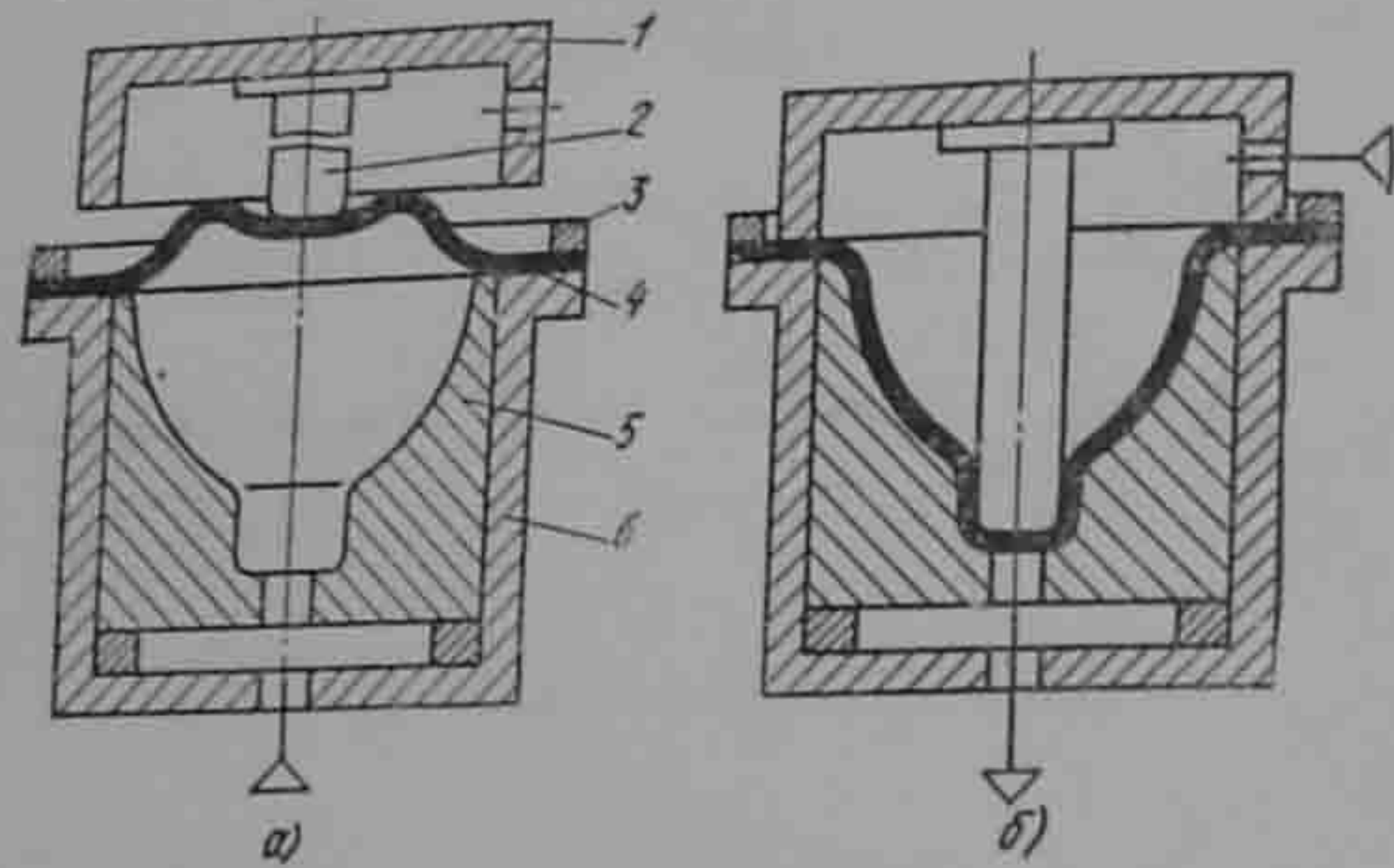


Рис. VIII.7. Схема комбинированной формовки деталей в универсальной камере:

а — предварительная вытяжка заготовки; б — формообразование детали пуансоном и сжатым воздухом

верхней и нижней (рис. VIII. 7). В верхней камере 1 устанавливают пуансон 2, в нижней камере 6 — матрицу 5. В камерах имеются отверстия для подачи и выпуска воздуха. Пуансоны и матрицы делают сменными и используют для получения самых разнообразных деталей.

При поднятой верхней камере заготовка 4, разогретая и закрепленная с помощью кольца 3, выдувается вверх давлением сжатого воздуха, подаваемого в нижнюю камеру (рис. VIII. 7, а). Затем опускается верхняя камера с пуансоном и вытягивается заготовка. В результате подачи сжатого воздуха в верхнюю камеру происходит окончательное формообразование заготовки, т. е. плотное прилегание формуемой заготовки к поверхности матрицы (рис. VIII. 7, б). В случае остывания заготовки к моменту смыкания камер, ее подогревают, подавая в верхнюю камеру горячий воздух. При полном смыкании верхней и нижней камер готовую деталь вырубают по контуру. По окончании формовки деталь охлаждают холодным воздухом и выталкивают из матрицы за счет подачи сжатого воздуха в нижнюю камеру.

Штамповка. Штампуют главным образом детали незамкнутой пространственной формы (козырьки, обтекатели, стекла кабин и т. д.). Термопластичный листовый материал, разогретый до определенной температуры, формуют с помощью пуансона и матрицы (штамповка). При штамповке изменяются форма и размеры листовых заготовок за счет перемещения и перераспределения объема материала.

Штампуют на обычных гидравлических или механических прессах. Пуансоны и матрицы изготовляют из дерева и других неметаллических материалов при производстве небольшого числа деталей и из металлов — при массовом производстве.

В зависимости от материала, из которого изготовляют пуансоны, различают два основных вида штамповки: жестким и эластичным пуансонами.

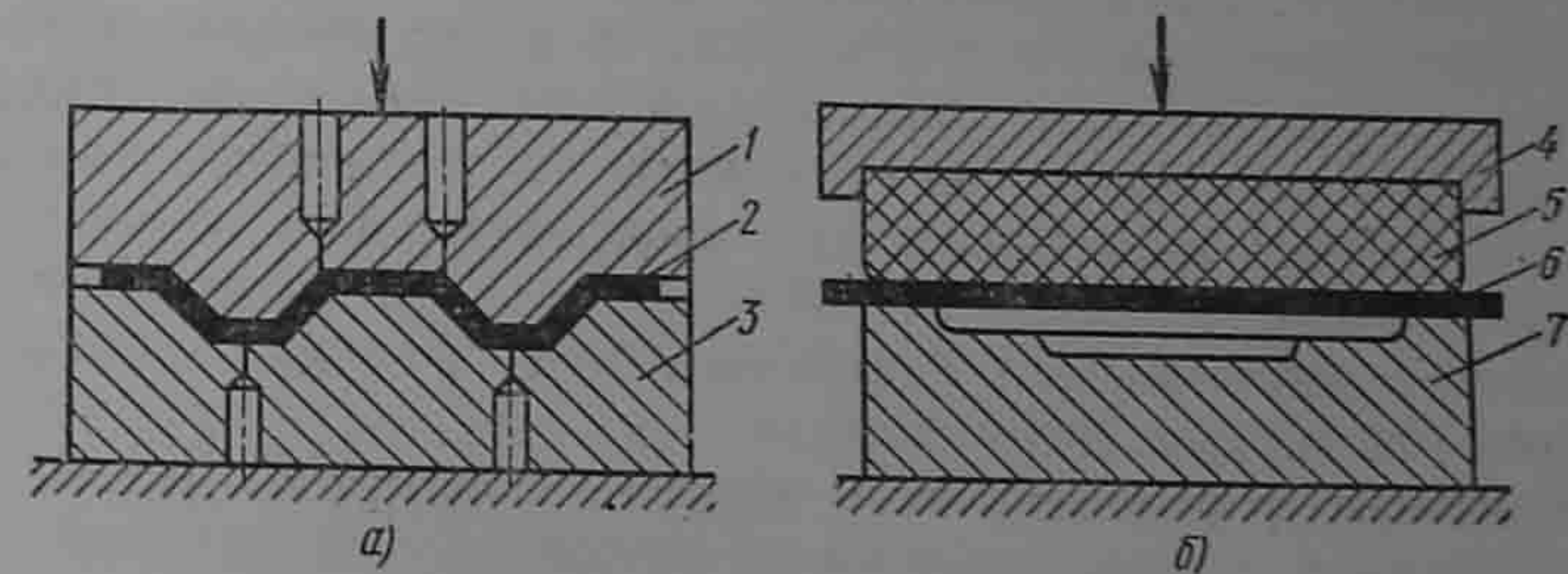


Рис. VIII.8. Схемы штамповки жестким (а) и эластичным (б) пуансонами

Штамповка жестким пуансоном и матрицей показана на рис. VIII. 8, а. Зазор между пуансоном 1 и матрицей 3 равен толщине штампуемого материала 2 с допуском $\pm 10\%$; необходимое взаимное расположение пуансона и матрицы обеспечивается направляющими. При штамповке оптических материалов (органического стекла) пуансон и матрицу оклеивают мягким материалом (замшей или байкой). В пуансоне и матрице делают отверстия для выхода воздуха.

Штамповкой эластичным пуансоном получают детали из листовых термопластов, имеющих небольшие углубления и четкий рисунок. Предварительно разогретую заготовку 6 помещают на форму 7 (рис. VIII. 8, б). Плоский резиновый пуансон 5, смонтированный в обойму 4, опускают на заготовку и к нему прилагают давление. Штампуют на гидравлических или винтовых прессах.

При штамповке, как и при других видах формообразования материалов в высокоэластичном состоянии, качество получаемых деталей зависит от точного соблюдения технологического процесса.

4. Получение деталей из жидких полимеров

С технологической точки зрения удобно использовать отдельные полимерные материалы, находящиеся в жидком состоянии при комнатной температуре. В первую очередь это относится к производству крупногабаритных деталей из стеклопластиков. Стеклопластики состоят из связующей смолы, наполнителя и в некоторых случаях отвердителя и ускорителя отвердевания.

По технологическим соображениям в качестве связующего предпочитают полиэфирные и эпоксидные смолы. Эти смолы характеризуются высокой адгезией к наполнителю и способностью отвердевать при комнатной температуре с приложением незначительного давления или без давления за счет добавления к ним отвердителей и ускорителей отверждения (перекиси бензола, нафтената кобальта, полиэтиленполиамин и др.).

Высокая прочность стеклопластиков в значительной степени зависит от применяемых наполнителей (стеклоткани, стекловолокна, стекломатов и др.). В отдельных случаях в состав стеклопластиков вводят пластификаторы и красители.

К основным способам изготовления деталей из стеклопластиков относятся контактная формовка, вихревое напыление, центробежная формовка и намотка.

Контактная формовка. Этим способом формуют крупногабаритные детали с наполнителями из стеклотканей и стекломатов. Применяют формы из дерева, гипса и легких сплавов. Форма должна точно воспроизводить наружный или внутренний контур детали.

Перед формовкой на рабочие поверхности формы наносят разделительный слой (поливиниловый спирт, нитролаки, целлофановую пленку и др.), предотвращающий прилипание связующего к поверхности формы. По разделительному слою наносят слой связующего, затем слой предварительно раскроенной стеклоткани, которую тщательно прикатывают резиновым роликом к поверхности формы. Этим достигаются плотное прилегание ткани к поверхности формы, удаление пузырьков воздуха и равномерное пропитывание стеклоткани связующим. Затем снова наносят связующее, стеклоткань и т. д. до получения заданной толщины. Отверждение происходит при комнатной температуре в течение 5—50 ч, в зависимости от вида связующего. Время отверждения сокращают увеличением температуры до 60—120° С. После отверждения готовую деталь извлекают из формы и в случае необходимости подвергают дальнейшей обработке (обрезке кромок, окраске и т. д.).

Особенностями контактной формовки являются простота оснастки и возможность получения деталей любых размеров и форм. Однако этот метод малопроизводителен, качество получаемых деталей недостаточно высокое из-за неравномерной укладки наполнителя и связующего и к нему предъявляют определенные

требования по технике безопасности. Поэтому контактную формовку применяют в опытных и мелкосерийном производствах.

При выпуске деталей большими сериями применяют автоклавную формовку, сущность которой заключается в том, что форму с деталью накрывают резиновым чехлом и помещают в герметический резервуар (автоклав). С помощью пара или воды в автоклаве создают определенное давление.

Крупногабаритные детали из стеклопластиков с замкнутым полым профилем (полые рамы фильтр-прессов, диски, кронштейны и т. д.) изготавливают стирометодом. На тонкостенный поливинилхлоридный чехол, размеры которого соответствуют размерам изготавливаемой детали, наматывают стекловолокно. Заготовку укладывают в разогретую до 100—120° С пресс-форму. Под действием давления воздуха, разогретого внутри шланга, заготовка растягивается по полости пресс-формы. В пространство между чехлом и пресс-формой за счет создания вакуума засасывается связующее.

Приведенные способы формовки используют в основном для изготовления деталей из стеклопластиков с длиноволокнистыми наполнителями. При применении измельченных наполнителей процесс изготовления деталей удается механизировать. Наполнитель и связующее подают под давлением сжатого воздуха.

Вихревое напыление. Таким способом изготавливают крупногабаритные детали из стеклопластиков (кузова легковых и грузовых автомобилей, корпуса лодок, емкости и др.). Стекловолокно и полиэфирную смолу с отвердителем и ускорителем отверждения наносят на форму специальным пульверизатором. Смола смачивает стекловолокно в вихревом потоке, образованном сжатым воздухом. Стекловолокно со связующим, нанесенные на форму, вручную уплотняют роликом.

Высокой степенью механизации отличается напыление с помощью передвижной установки, в которой смонтированы режущее устройство для стекловолокна, вентилятор, распылитель и емкости для связующего, отвердителя и ускорителя. Стекловолокно режут на отдельные куски длиной 10—90 мм. Распылитель имеет три сопла: центральное для подачи стекловолокна и два боковых (одно служит для подачи связующего и отвердителя, другое — связующего и ускорителя отверждения). Смешение компонентов происходит на поверхности формы или перед ней в воздухе.

Центробежная формовка. Этим способом получают детали больших габаритных размеров, имеющие форму тел вращения, толщиной 2—15 мм, диаметром до 1 м и высотой до 3 м.

Стекловолокно и связующее равномерно подают во вращающуюся форму. После формовки в форму помещают резиновый мешок, с помощью которого создается давление на заготовку. В таком состоянии происходит отверждение стеклопластика при определенной температуре.

Намотка. Этим способом получают стеклотекстолитовые трубы. Основной деталью является металлическая оправка, на которую перед намоткой укладывают пленку, облегчающую снятие труб. При намотке оправка совершает вращательное и возвратно-поступательное движения. Стекловолокно или стеклоленту смазывают связующим. Отформованную трубу покрывают защитной целлофановой пленкой и отправляют в камеру отверждения.

Основным недостатком производства крупногабаритных деталей из стеклопластиков является невысокая производительность труда, повышение которой возможно за счет механизации технологического процесса.

Способность жидких полимеров отвердевать при комнатной температуре используют для изготовления технологической оснастки. Из эпоксидных компаундов изготавливают, например, шаблоны, штампы, пресс-формы и т. д. Сущность процесса изготовления такой оснастки заключается в следующем. Вокруг эталонной детали (мастер-модели) заливают эпоксидный компаунд, состоящий из эпоксидной смолы, отвердителя и наполнителя. После отверждения мастер-модель извлекают из отливки. Полученные формообразующие поверхности (шаблонов, штампов и т. д.) не требуют дальнейшей механической обработки.

5. Способы получения деталей из пластмасс в твердом состоянии

Большое число деталей в машиностроении и приборостроении получают из пластмасс в твердом состоянии. В качестве заготовок служат листовые материалы, трубы, прутки, профили различного сечения. Иногда возникает необходимость в дополнительной обработке деталей, полученных прессованием, литьем под давлением и другими технологическими способами. В зависимости от способа воздействия на заготовку, используемого инструмента и оборудования применяют два основных способа переработки: разделительную штамповку и механическую обработку резанием.

Разделительная штамповка. При разделительной штамповке в материале заготовки возникают силы, превышающие предел прочности. В результате этого происходит полное или частичное отделение одной части заготовки от другой.

При изготовлении пластмассовых деталей из листовых материалов разделительной штамповкой применяют следующие операции: вырубку, пробивку, отрезку, надрезку, разрезку, обрезку, зачистку. Наибольшее применение получили операции вырубки, пробивки и разрезки.

Вырубка — операция, предназначенная для полного отделения материала по замкнутому (наружному) контуру. Продуктом вырубki является готовая деталь. Нередко вырубка совмещается с пробивкой, т. е. с получением пазов или отверстий в детали. Эти операции выполняют с помощью различных штампов.

Разрезка — это операция, необходимая для разделения на большое число заготовок или деталей (прессованных, литых и т. д.). Разрезкой также получают заготовки из листа. Операции разделительной штамповки выполняют с предварительным подогревом заготовки или без подогрева.

При штамповке на поверхности среза возможно образование трещин и сколов. Для предотвращения этих явлений применяют двухступенчатые пуансоны. С помощью пуансона меньшего диаметра получают предварительное отверстие. Основной (калибрующий) пуансон окончательно формирует отверстие.

Детали из пластмасс штампуют на оборудовании с небольшим рабочим усилием: гидравлических и механических прессах.

Особенности обработки пластмасс резанием. Обработку пластмасс резанием применяют в качестве отделочной операции после предварительного формообразования или как самостоятельный способ изготовления деталей из поделочных материалов.

Особенностью получения пластмассовых деталей прессованием, литьем и другими способами является значительное колебание усадки при затвердевании материала. Это снижает точность получаемых деталей. Для достижения заданной точности применяют дополнительную механическую обработку. Кроме того, обработкой резанием удаляют литниковую систему, заусенцы. Необходимо, однако, иметь в виду, что при механической обработке нарушается поверхностная смоляная пленка. Это приводит к снижению химической стойкости и повышению влагопоглощения пластмассовых деталей. Поэтому обработку следует применять только в необходимых случаях.

Особенности строения и физико-механические свойства пластмасс существенно влияют на технологию их обработки, конструкцию режущего инструмента и приспособлений.

Пластмассы имеют более низкие механические характеристики по сравнению с металлом. Это свойство пластмасс можно было бы использовать для повышения скорости резания. Однако низкая теплопроводность пластмасс приводит к концентрации теплоты, образующейся в зоне резания. В результате этого происходит интенсивный нагрев режущего инструмента, размягчение или оплавление термопластов, обугливание или прижог реактопластов в зоне резания. При обработке деталей из термопластов максимальная температура процесса не должна превышать $60-120^{\circ}\text{C}$; деталей из реактопластов — $120-160^{\circ}\text{C}$. Образующаяся теплота при обработке пластмасс отводится в основном через инструмент.

Стойкость режущего инструмента различна в зависимости от типа обрабатываемого материала. Незначительный износ наблюдается при обработке термопластов без наполнителя. При обработке терморепактивных материалов, особенно со стеклянными и другими подобными наполнителями, стойкость режущего инструмента значительно снижается. Заготовки из термопластов

(органического стекла, полистирола, фторопласта и т. д.) можно обрабатывать режущими инструментами из углеродистых и быстрорежущих сталей. Материалы, оказывающие абразивное действие, обрабатывают инструментами, оснащенными твердым сплавом, алмазом, эльбором.

При обработке терморезистивных материалов со слоистыми и волокнистыми наполнителями охлаждающие жидкости не приносят пользы из-за возможности набухания поверхностей материалов.

Процесс стружкообразования при обработке пластмасс характеризуется меньшими силами резания (по сравнению с обработкой металлов). Образующаяся при обработке терморезистивных пластмасс пылевидная и элементная стружка плохо сходит с передней поверхности инструмента. Поэтому канавки для отвода стружки делают более емкими и полируют во избежание ее прилипания. Геометрия режущего инструмента характеризуется большими величинами переднего и заднего углов.

Пластмассы обрабатывают на специальном или универсальном металлорежущем оборудовании.

Резку применяют для получения заготовок из листовых материалов. Материал толщиной менее 3 мм разрезают приводными ножницами различных конструкций. Материалы толщиной более 3 мм, особенно листы из терморезистивных материалов, разрезают твердосплавными фрезами или отрезными алмазными шлифовальными кругами. Стойкость алмазного круга в 40—50 раз выше стойкости твердосплавных фрез. Качество реза значительно выше — отсутствуют сколы, трещины и расслоения разрезаемого материала. Скорость резания алмазным кругом составляет 20—25 м/с, подача — 350—450 мм/мин с охлаждением 3%-ным раствором кальцинированной соды в воде.

Токарные пластмассовые детали производят на токарных и токарно-револьверных станках. Режимы резания и геометрия режущих инструментов во многом зависят от вида обрабатываемого материала.

Термопластичные материалы (органическое стекло, поливинилхлорид и др.) обрабатывают со скоростью резания $v = 300 \div 1000$ м/мин, подачей $s = 0,1 \div 0,2$ мм/об и глубиной резания $t = 0,1 \div 0,5$ мм; стеклотекстолиты различных марок — с $v = 100 \div 300$ м/мин, $s = 0,1 \div 0,5$ мм/об, $t = 0,5 \div 4,0$ мм.

Геометрия режущего инструмента: $\alpha = 10 \div 25^\circ$, $\varphi = 45^\circ$, $\lambda = 0$ для термопластов и реактопластов; $\gamma = 10 \div 20^\circ$ для термопластов и $\gamma = 0 \div 10^\circ$ для реактопластов.

Передние поверхности резцов затачивают без фасок и стружечных канавок. Для улучшения условий схода стружки переднюю поверхность полируют.

Критерием изнашивания резцов, так же как и при обработке металлов, служит износ по задней поверхности. При обработке термопластов величину износа принимают равной 0,1—0,3 мм; для реактопластов — 0,2—0,6 мм. При использовании резцов,

оснащенных алмазами, допустимая величина износа уменьшается до 0,1—0,15 мм.

Фрезерование является наиболее распространенной операцией механической обработки пластмасс. Фрезерованием получают плоские и фасонные поверхности, пазы и уступы; удаляют литники и заусенцы у деталей, изготовленных прессованием, литьем и другими способами. Как правило, используют универсальное фрезерное оборудование.

К обработке пластмассовых деталей на фрезерных станках предъявляют следующие основные требования: обрабатываемая заготовка должна быть плотно прижата к опорной поверхности и жестко закреплена на столе станка или в приспособлении; при фрезеровании слоистых пластиков во избежание расслаивания необходимо применять попутное фрезерование; режущий инструмент, его геометрические параметры и режимы резания должны отвечать условиям высокопроизводительной обработки.

К фрезам для обработки пластмасс предъявляют специфические требования: большой угол наклона винтовой канавки ($\omega = 20 \div 25^\circ$), что обеспечивает плавность их работы и улучшает отвод стружки; по возможности минимальное число зубьев ($z = 2 \div 4$) для обеспечения больших подач на зуб. Кроме того, уменьшение числа зубьев позволяет увеличить объем канавок, что также значительно облегчает сход и удаление образующейся стружки.

Термопластичные материалы обрабатывают, как правило, цельными фрезами из быстрорежущей стали; терморезистивные материалы — фрезами со вставными ножами из твердого сплава.

Режимы резания, как и при точении, выбирают в зависимости от типа обрабатываемой пластмассы и материала режущего инструмента.

Сверление. Отверстия в деталях из пластмассы сверлят на обычных сверлильных станках. В качестве режущего инструмента применяют спиральные и перовые сверла из быстрорежущей стали, сверла, оснащенные пластинками из твердого сплава, цельнотвердосплавные сверла, циркульные вырезные резцы, трубчатые сверла и алмазные трубчатые сверла-коронки.

При сверлении должно быть обеспечено непрерывное удаление стружки. Заедание стружки вызывает интенсивное выделение теплоты, что отрицательно влияет на процесс обработки. В зоне резания поверхность термопластичного материала оплачивается, а терморезистивного — обугливается. Для предотвращения перегрева во время сверления (особенно глухих отверстий) сверло несколько раз выводят из зоны обработки.

Отверстия диаметром более 10 мм рекомендуется сверлить в два-три приема: предварительно сверлом диаметром 5—6 мм, а затем сверлом пужного диаметра.

Термопластичные материалы обрабатывают сверлами из быстрорежущей стали; терморезистивные материалы — сверлами из

быстрорежущей стали и сверлами, оснащенными пластинками из твердого сплава, или цельнотвердосплавными сверлами. Конструкцию сверла и геометрию режущей части выбирают с учетом свойств и структуры обрабатываемого материала, диаметра отверстия, глубины сверления и технологических требований к точности и качеству отверстий.

Отверстия малого диаметра сверлят сверлами с углом при вершине $2\phi = 30 \div 60^\circ$. Достоинством сверл с малым углом при вершине является плавный вход и выход сверла, отсутствие сколов и выкрашивания кромок отверстия. Однако при этом увеличивается время врезания и выхода сверла, ухудшается теплоотвод, что является недостатком сверл данной конструкции.

Наибольшее применение нашли сверла с углом при вершине $2\phi = 60 \div 90^\circ$. Сверла с углом при вершине $2\phi > 90^\circ$ используют значительно реже и в основном для обработки термореактивных пластмасс и получения глухих отверстий.

Для повышения стойкости применяют сверла с двойной заточкой при вершине $2\phi = 70^\circ$ и $2\phi_0 = 35^\circ$. Такая заточка позволяет успешно использовать быстрорежущие спиральные сверла для обработки пластмасс, характеризующихся высокими абразивными свойствами.

Задний угол сверла рекомендуется выбирать по возможности большим. Это способствует снижению трения и изнашивания сверла. При заточке сверл по задним поверхностям не допускается наличие фасок с нулевым задним углом. Для получения отверстий в деталях из текстолита, гетинакса, органического стекла, стекло-

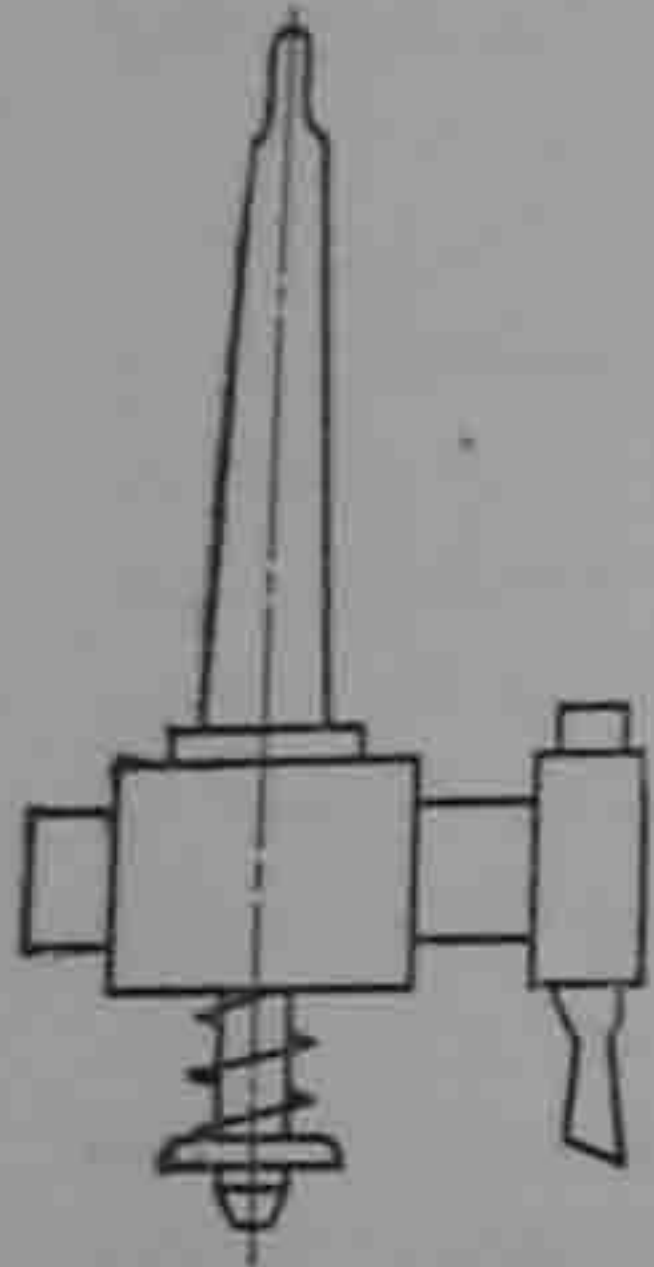


Рис. VIII.9. Схема головки для кольцевого сверления (циркулярный резец)

текстолита и других материалов толщиной до 15 мм и диаметром более 30 мм применяют циркулярные вырезные резцы (рис. VIII.9).

При обработке отверстий, к которым предъявляют требования по точности и качеству поверхности, следует применять твердосплавные сверла. Стойкость их в десятки и даже сотни раз превышает стойкость сверл из быстрорежущей стали.

Нарезание резьбы является одной из трудновыполнимых операций, так как из-за незначительной прочности пластмасс происходит скалывание и срыв гребешков резьбы. По этим причинам рекомендуют получать резьбы при формообразовании деталей прессованием или литьем под давлением, хотя это часто значительно усложняет конструкцию пресс-формы.

В необходимых случаях наружные резьбы нарезают плашками, фрезами, резцами; внутренние — азотированными или хромированными метчиками. Резьбу нарезают, используя смазывающие материалы (машинное масло или парафиновое масло в смеси с керосином). Не рекомендуется назначать большие скорости резания, так как при этом возможно скалывание материала.

Резьбы больших размеров нарезают на токарно-винторезных станках. Глубину резания не рекомендуют назначать более 0,1 мм, допустимый износ резца — 0,2 мм. В противном случае происходит выкрашивание и срыв ниток резьбы. Значительно повышаются производительность и точность при нарезании резьбы абразивным кругом, заправленным под углом профиля резьбы. Так, резьбошлифованием удается получить наружную резьбу по 2-му классу точности. Производительность повышается в 2—4 раза по сравнению с нарезанием резьбы резцами.

Применение метчиков, изготовленных из твердого сплава, позволяет повысить точность нарезания внутренних резьб по сравнению с метчиками из быстрорежущих сталей. Стойкость таких метчиков в 20—40 раз выше быстрорежущих.

Шлифование применяют как окончательную операцию для достижения необходимой точности и заданной шероховатости поверхности. Термореактивные материалы обрабатывают абразивными кругами; термопластичные материалы — предпочтительно эластичными кругами с добавлением паст из отмученной пемзы с водой. Шлифование выполняют на универсальных шлифовальных станках. Заусенцы зачищают ленточно-шлифовальными станками.

Полированием удаляют следы механической обработки, выводят матовые пятна и получают гладкие блестящие поверхности. Полируют кругами из хлопчатобумажных и шерстяных тканей. Полируют в две стадии: предварительно и окончательно. Предварительное полирование проводят с пастами, окончательное — без паст. Во избежание перегревов, прижогов и изменения цвета поверхности нельзя допускать сильного прижима заготовки к кругу во время полирования. Мелкие детали полируют в галтовочных барабанах.

6. Способы получения неразъемных соединений из пластмассовых деталей

Неразъемные соединения отдельных пластмассовых деталей получают сваркой и склеиванием. Сварку применяют только для соединения термопластичных материалов; склеивание — для получения неразъемных соединений различных пластмассовых деталей и соединений пластмассовых деталей с деталями из других конструкционных материалов.

Сварка. В процессе сварки деталей в местах соединения термопластичный материал нагревается до вязкотекучего состояния. Сваривание происходит главным образом вследствие диффузии частей молекулярных цепей одного объема пластмассы в другом.

В зависимости от используемых источников нагрева способы сварки пластмасс можно разбить на две группы. К первой группе относят способы сварки, в которых используется теплота посторонних источников нагрева: нагретым газом; нагретым инстру-

ментом; нагретым присадочным материалом. Ко второй группе относят способы сварки, в которых теплота генерируется внутри пластмассы при преобразовании различных видов энергии: трения; т. в. ч.; ультразвуковых колебаний.

Сварку нагретым газом применяют при соединении толстостенных листовых материалов из поливинилхлорида, виннипласта, полиэтилена, полипропилена, полиамидов, полистирола и т. д. (трубы, емкости, ванны для травления, различная химическая аппаратура и т. д.). Сваривают с использованием присадочного материала (в некоторых случаях без него). Теплоносителем является воздух, азот, углекислый газ и др.

В процессе сварки в зону соединения свариваемых деталей 3 из сопла специального сварочного пистолета 2 под определенным углом направляют струю горячего газа (рис. VIII.10). Одновременно к месту сварки под давлением подается сварочный пруток 1,

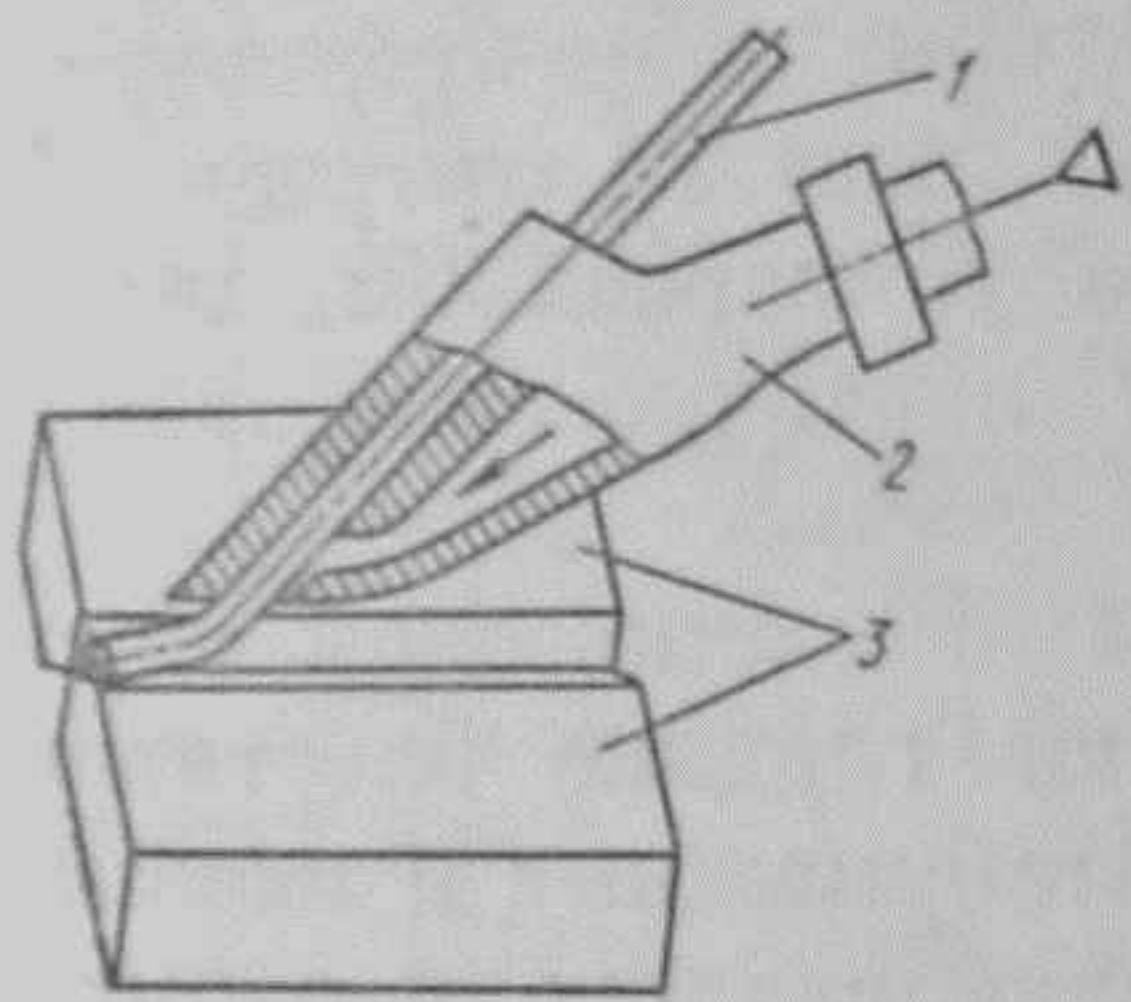


Рис. VIII.10. Схема сварки нагретым газом с использованием присадочного прутка

изготовленный из того же материала, что и свариваемые детали. Сварочный пруток расплавляется, образуя сварной шов. Диаметр прутка зависит от толщины заготовок и способа разделки кромок; качество свариваемого шва — от температуры нагретого газа, диаметра прутка, расстояния наконечника сварочного пистолета до шва, скорости укладки прутка, угла его наклона и т. д.

Данным способом сваривают детали практически любых размеров и конфигураций. Без присадочного материала сваривают за счет размягчения и сдавливания роликами кромок деталей, соединяемых внахлестку.

Сварку нагретым инструментом применяют для соединения труб, пленок и листов. Свариваемые поверхности нагревают до вязкотекучего состояния металлическим инструментом, после чего соединяют под небольшим давлением. В зависимости от вида соединяемых деталей применяют различные конструкции нагревательных инструментов. При соединении длинных заготовок используют вращающиеся ролики, для сварки коротких заготовок (например, полиэтиленовых мешков) — инструменты в виде ножей.

Сварка нагретым присадочным материалом заключается в непрерывной подаче расплавленного присадочного материала в зону сварки. За счет теплоты, отдаваемой присадочным материалом соединяемым деталям, их поверхности оплавляются, образуя прочный непрерывный шов. Данный способ используют для соединения деталей встык, внахлестку и соединения пленочных материалов. При сварке пленок соединение выполняют за счет давления вращающихся роликов.

Сварку трением используют для соединения толстостенных деталей, имеющих форму тел вращения (труб, прутков и т. д.). Нагрев происходит за счет выделения теплоты при трении соприкасающихся поверхностей. Сваривают на специальных сварочных установках с вращением одной или двух соединяемых деталей, в некоторых случаях — на токарных станках. В этом случае одну деталь закрепляют в трехкулачковом патроне 1, вторую с помощью специального приспособления 2 удерживают во вращающемся центре задней бабки станка 3 (рис. VIII.11). Для равномерного разогрева концы соединяемых деталей должны иметь сферическую или коническую форму.

Для сварки трением наиболее пригодны материалы с широкими температурными интервалами вязкотекучего состояния (полистирол, поликарбонат, поливинилхлорид, полиамины и т. д.).

Сварка т. в. ч. основана на нагреве свариваемых участков заготовки высокочастотным электрическим полем, создаваемым специальными генераторами. Сваривают либо на машинах типа прессов, либо на установках роликового типа. Промышленность выпускает разнообразные специализированные и универсальные сварочные машины и установки с использованием т. в. ч. Сварка т. в. ч. позволяет получить соединения высокой прочности, равной прочности основного материала. Высокая производительность способа сварки обуславливает его применение в условиях крупносерийного и массового производства.

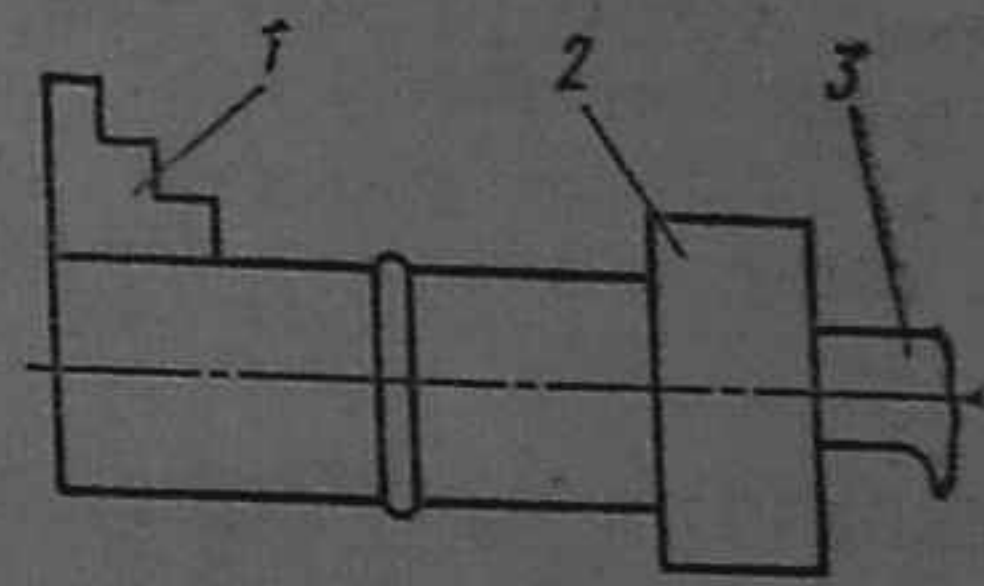


Рис. VIII.11. Схема сварки трением

Ультразвуковая сварка пластмасс является одним из наиболее перспективных способов соединения пластмассовых деталей. Впервые такой способ сварки был разработан в МВТУ им. Баумана под руководством проф. Г. А. Николаева. В отличие от сварки металлов при сварке пластмасс ультразвуковые колебания подаются в направлении прилагаемого давления. Энергия механических колебаний от волновода переходит в тепловую, что приводит к нагреву зоны контакта соединяемых деталей до температуры вязкотекучего состояния. Для сварки пластмасс применяют машины, аналогичные машинам для сварки металлов.

Основными отличительными чертами ультразвуковой сварки пластмасс являются возможность сваривать по поверхностям, загрязненным различными продуктами; локальное выделение теплоты только в зоне контакта, что исключает возможность перегрева; возможность выполнения соединений в труднодоступных местах (рис. VIII.12). Кроме того, при соблюдении технологических режимов на свариваемых поверхностях не остается следов от инструмента.

Ультразвуковые колебания стали применять не только для сварки пластмасс, но и для соединения пластмасс с металлами.

На рис. VIII.13 приведены примеры таких соединений. Металлическую деталь 3 надевают на выступающий штифт пластмассовой детали 2, на который накладывают ультразвуковой инструмент — волновод 1 (рис. VIII.13, а). Под действием ультразвуковых колебаний выступающая часть штифта размягчается и деформируется инструментом в две слитые полусферические головки.

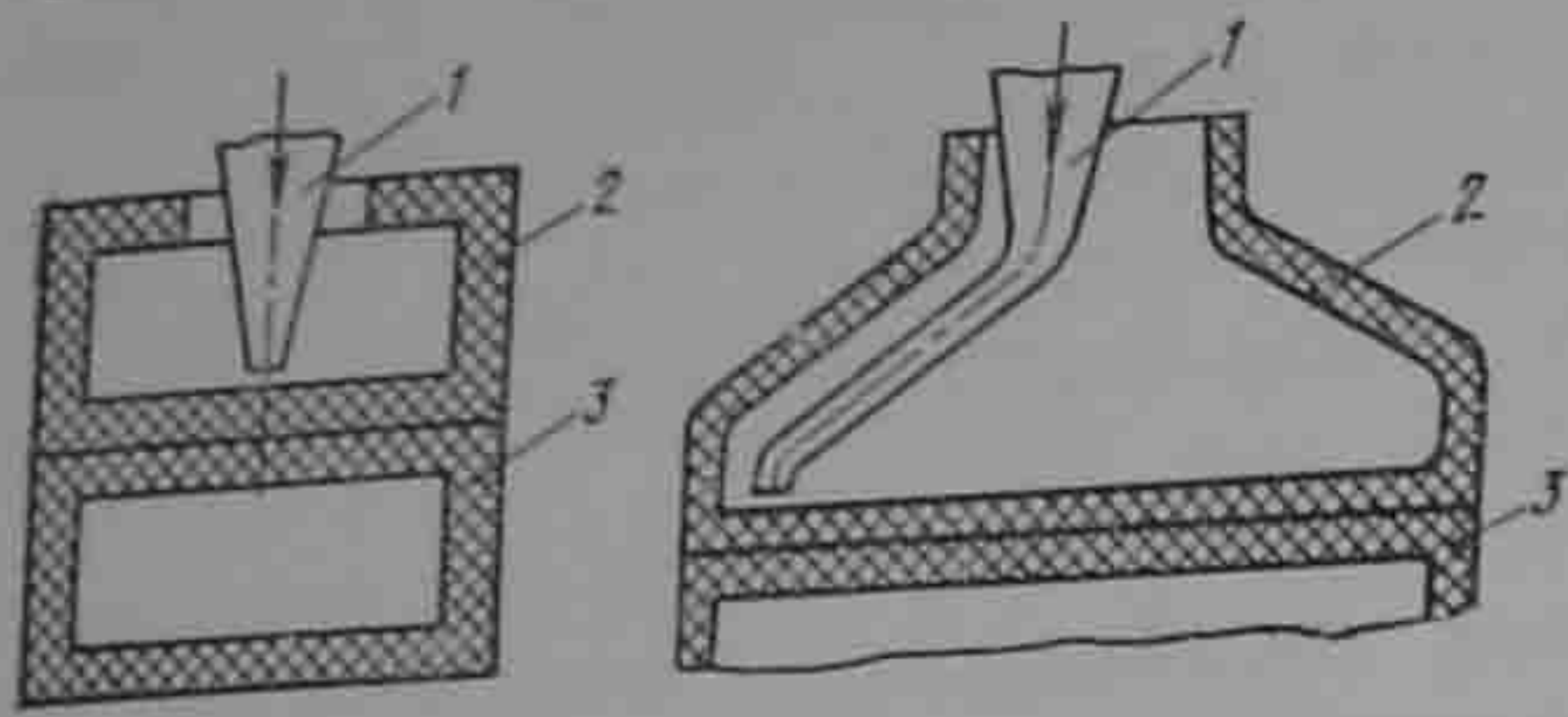


Рис. VIII.12. Схемы ультразвуковой сварки в труднодоступных местах:

1 — волновод; 2 — деталь со сложным доступом к месту сварки; 3 — нижняя деталь

диаметра запрессовываемой детали. При включении ультразвука и приложении давления со стороны волновода 1 в зоне контакта металлической 3 и пластмассовой 2 деталей выделяющаяся теплота расплавляет пластмассовую деталь. Под давлением металлическая деталь равномерно погружается в расплавленный материал. При снятии ультразвуковых колебаний расплавленная масса быстро твердеет и благодаря усадке при охлаждении прочно закрепляет металлическую деталь.

На рис. VIII.13, б показан пример использования ультразвука для запрессовки металлических деталей в пластмассовые (штифты, винты, крючки и т. д.). В пластмассовых деталях выполняют предварительно отверстие, диаметр которого меньше

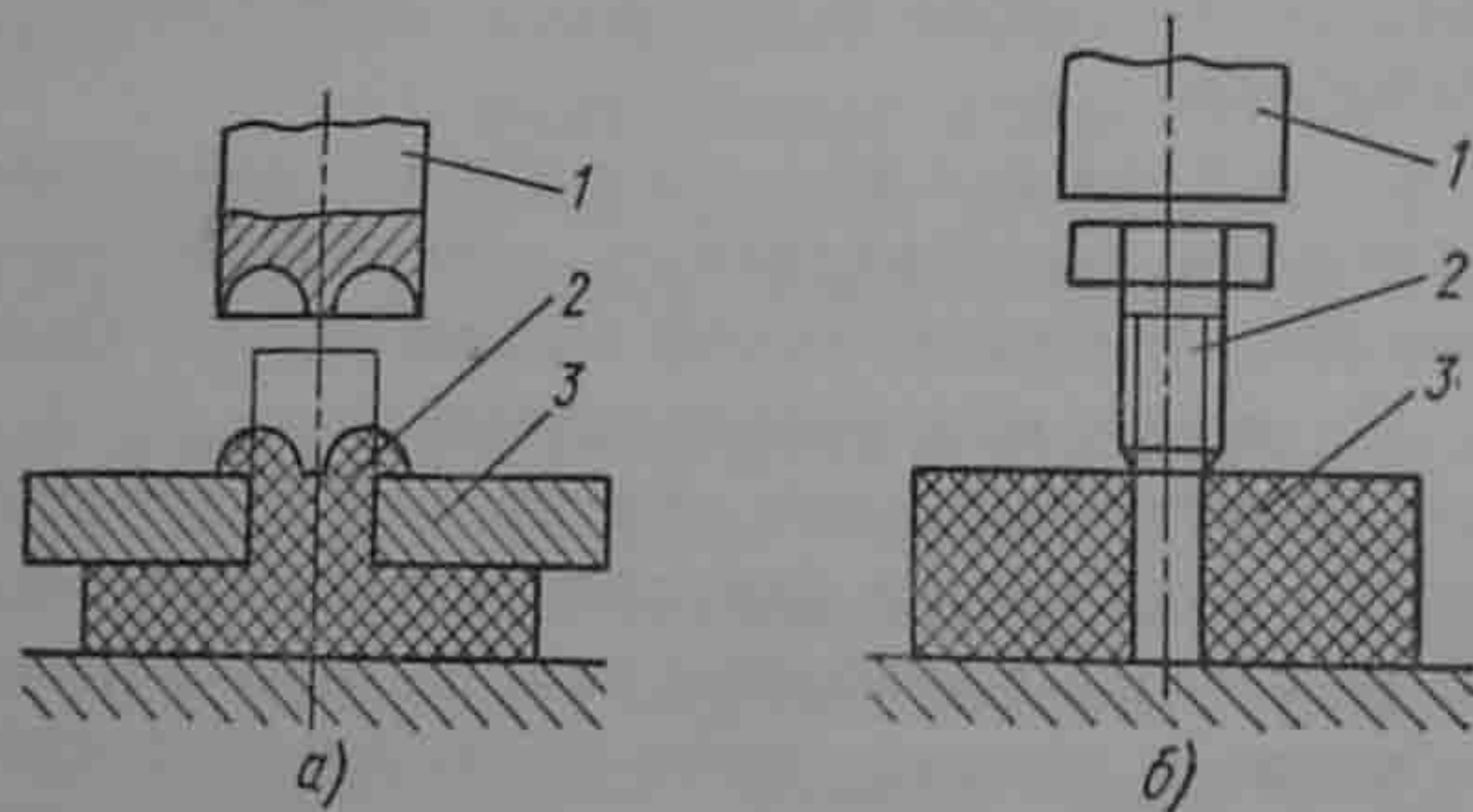


Рис. VIII.13. Схемы соединения разнородных деталей с помощью ультразвука

Склеивание. С помощью клея получают неразъемные соединения деталей из однородных и неоднородных по химической структуре пластмасс, а также соединения с металлами, деревом, кожей и т. д.

Детали из термопластичных материалов соединяют между собой преимущественно с помощью растворителей или специальных клеев. Например, полистирол склеивают бензолом или раствором полистирола в бензоле, органическое стекло, винилпласт — дихлорэтаном, ацетоном или растворами этих материалов

в растворителях. Склеиваемые поверхности хорошо подгоняют друг к другу, обезжиривают. После нанесения растворителя дают небольшую выдержку для размягчения склеиваемых поверхностей, соединяют с небольшим давлением и дают выдержку в течение 2—6 ч.

Склеивание полиэтилена, полипропилена и других неполярных пластмасс связано с определенными трудностями. Для их соединения проводят предварительную химическую обработку поверхностей (например, раствором двуххромовокислого калия в концентрированной серной кислоте). После этого полиэтилен можно склеивать полиуретановыми и фенолформальдегидными клеями, у которых температура отверждения ниже температуры размягчения пластмассы. Детали из термореактивных материалов склеивают клеями на основе фенолформальдегидных, полиуретановых, эпоксидных и других смол. Эти клеи отвердевают за счет добавок специальных отвердителей при комнатной и повышенной температурах.

Широко применяют клеи БФ-2, БФ-4, ВИАМ-Б-3, ПУ-2 и др. Для склеивания деталей, работающих при повышенных температурах, используют термостойкие клеи: ВС-10Т, ВС-350, ВК-32-250, Эпоксид-П, Эпоксид-Пр, ВКТ-3 и др. Температура и время выдержки регламентируются определенным технологическим режимом склеивания.

7. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям пластмассовых деталей

Конструктивные особенности деталей из пластмасс обусловлены физико-механическими и технологическими свойствами и способами их получения. Прочностные и точностные характеристики пластмассовых деталей во многом зависят от их конструктивного оформления.

При проектировании деталей (особенно изготовляемых литьем под давлением и прессованием) необходимо учитывать следующие основные особенности.

Процесс изготовления деталей сопровождается большой усадкой. Поэтому в конструкциях не допускается значительной разностенности, которая вызывает коробление деталей и образование трещин (рис. VIII.14, а, 1—3). На рис. VIII.14, б, 7—9 приведены примеры замены нетехнологичных утолщений равностенными конструкциями.

Для термопластичных материалов, получаемых литьем под давлением, толщину стенок рекомендуется выбирать равной 0,5—2 мм при разностенности не более 1 : 3. Толщина деталей из термореактивных пластмасс должна составлять 2—6 мм.

Для повышения жесткости в конструкциях деталей необходимо вводить ребра жесткости. Толщина ребер жесткости у их основания должна быть равной толщине основной стенки детали

(рис. VIII.14, 6, 7, 12). Для малогабаритных деталей роль ребер жесткости могут выполнять выступы (рис. VIII.14, 6, 10) или впадины (рис. VIII.14, 6, 12). Правильная конструкция опорной поверхности повышает жесткость всей конструкции, особенно в случае крупных корпусных деталей. С этой целью сплошные поверхности (рис. VIII.14, а, 2, 4) необходимо заменять поверхностями с выступающими буртиками (рис. VIII.14, б, 8, 10).

Отверстия в деталях оформляются соответствующими стержнями в пресс-формах. Стержни являются основной причиной появления внутренних напряжений в деталях, так как они затрудняют свободную усадку материала. Если возможно, по конструктивным соображениям детали необходимо выполнять с большой конусностью (рис. VIII.14, б, 10). Сквозные отверстия

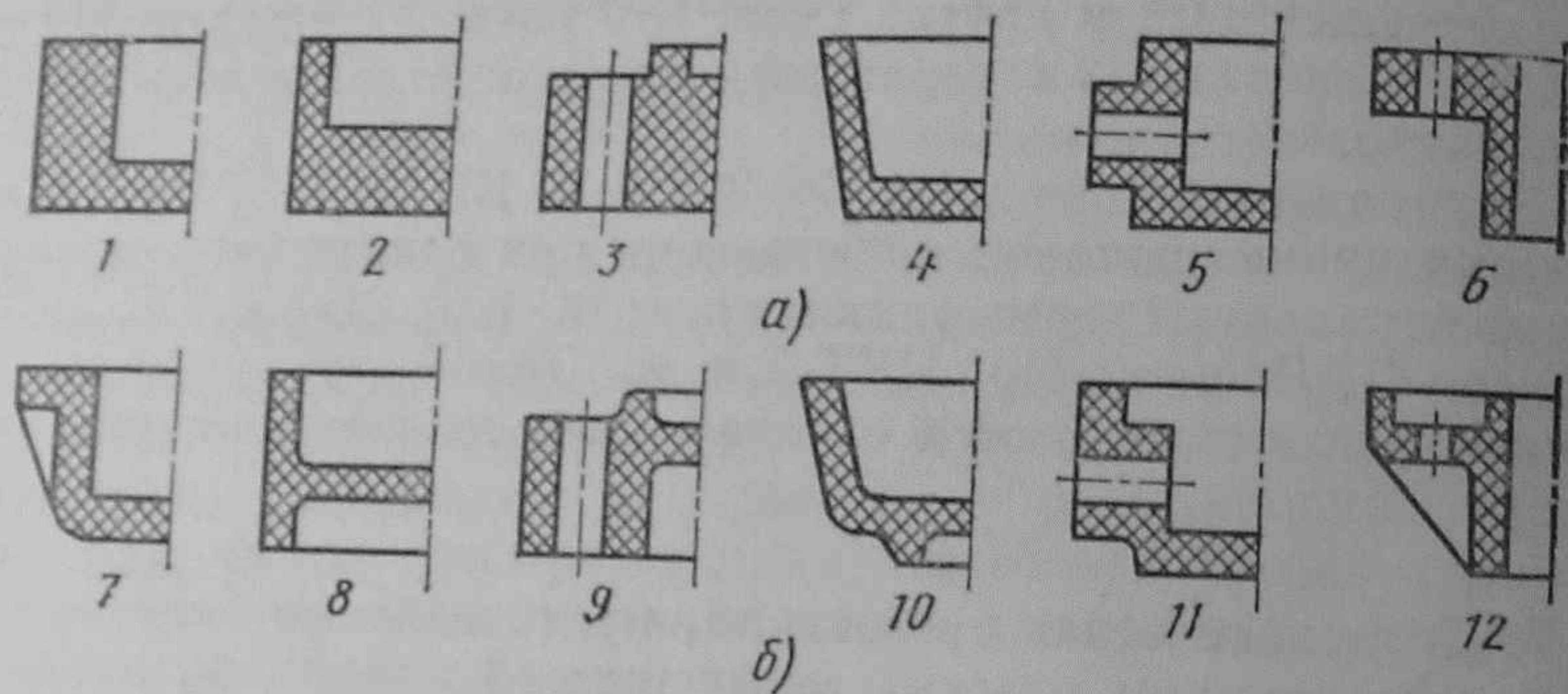


Рис. VIII.14. Примеры конструктивного оформления пластмассовых деталей:
а — нетехнологичные конструкции; б — технологичные конструкции

лучше располагать не в сплошных массивах (рис. VIII.14, а, 6), а в специальных бабышках с тонкими стенками (рис. VIII.14, б, 12), что снижает усадку и усиливает обхвата стержней.

В конструкциях деталей не следует делать острых углов в местах сопряжения поверхностей, так как это может привести к образованию трещин. Минимальные радиусы сопряжений для деталей, получаемых прессованием, 1—2 мм, а для получения литьем под давлением — 0,5—1,0 мм.

Детали с боковыми выступами (рис. VIII.14, а, 5) следует конструировать так, чтобы обеспечить их свободный выем и не делать сложных разборных пресс-форм (рис. VIII.14, б, 11).

Прессованием и литьем под давлением получают наружные и внутренние резьбы, не требующие дальнейшей механической обработки. Минимально допустимый диаметр резьбы для деталей из термопластов и пресс-порошков равен 2,5 мм, для волокнистых материалов — 4 мм; минимальный шаг резьбы — 0,5 мм.

Для облегчения извлечения детали из пресс-формы на наружных и внутренних формообразующих поверхностях ее необходимо предусматривать технологические уклоны.

Армирование значительно расширяет область применения пластмассовых деталей. Металлическую арматуру необходимо располагать по центру детали или равномерно, так как в результате усадки материала неизбежно коробление и деформирование ее. Арматуру в виде винтов и гаек (рис. VIII.15, а, б) крепят с помощью кольцевых буртиков или канавок. Для предотвращения проворачивания относительно оси вращения на наружных поверхностях арматуры делают рифления или насечку. Мелкую

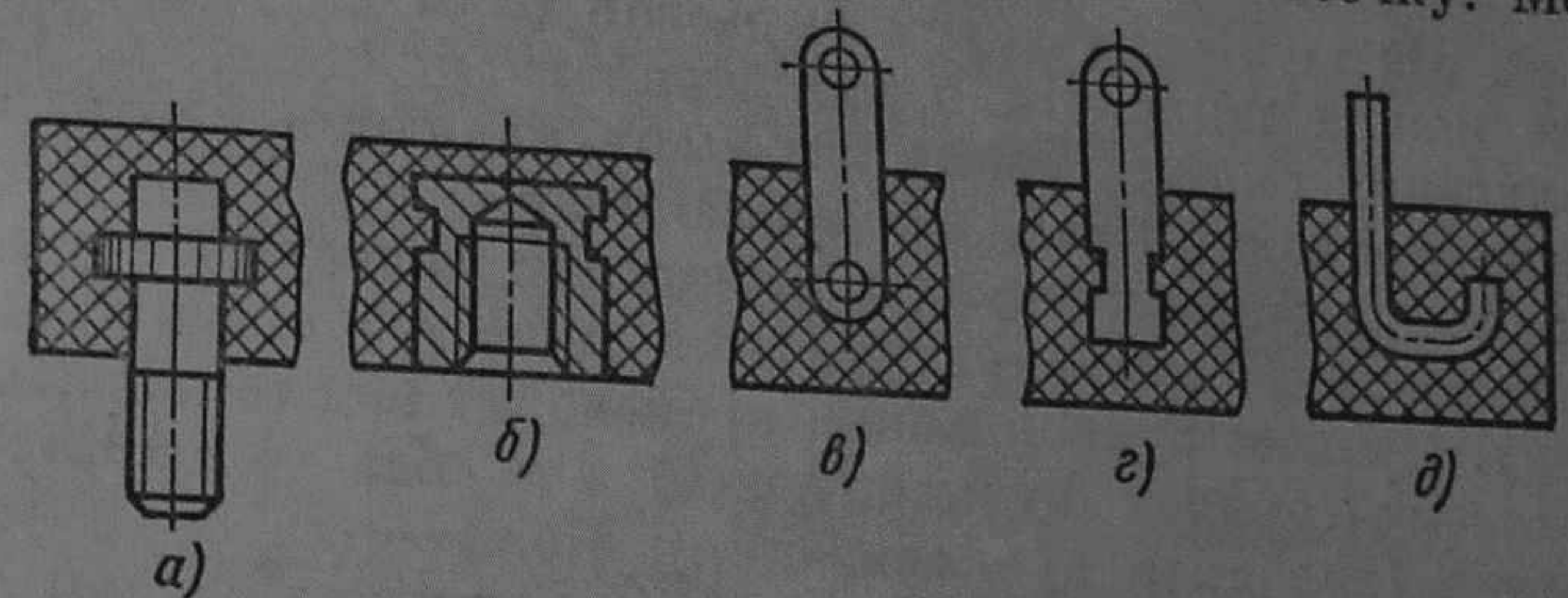


Рис. VIII.15. Примеры армирования пластмассовых деталей

арматуру крепят с помощью боковых вырезов или отверстий (рис. VIII.15, в, г). Проволочную арматуру закрепляют за счет расплющивания или загибания второго конца (рис. VIII.15, д). Арматуру следует надежно фиксировать в пресс-форме. Необходимо избегать возможного затекания материала в гнезда для установки арматуры.

8. Техника безопасности при работе с пластмассами

Для обеспечения нормальных условий труда, предотвращения возможностей травматизма и профессиональных заболеваний должны быть выполнены основные нормативные требования по технике безопасности.

1. Для защиты работающих от действия вредных газов и пыли и уменьшения степени загрязнения воздуха помещений производственные агрегаты и рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжной вентиляцией. Кроме того, в цехах по переработке пластмасс должна быть общеобменная вентиляция, состоящая из вытяжной и приточной систем.

2. В цехах и на участках при работе с воспламеняющимися веществами должен быть выполнен комплекс мероприятий по пожарной безопасности.

3. Производственное оборудование и установки должны иметь надежную систему заземления, нагревательные элементы должны быть изолированы и защищены.

4. Основные и вспомогательные процессы должны быть всемерно механизированы и автоматизированы.

5. Каждый работающий должен знать основные правила техники безопасности, учитывающие особенности устройства оборудования и характер выполняемых операций.

1. Состав, свойства и области применения резины

Резина является продуктом химической реакции (вулканизации) натуральных и синтетических каучуков. Натуральные каучуки получают из каучукодержащих соков отдельных сортов растений. Из-за ограниченной сырьевой базы натуральные каучуки не нашли широкого промышленного применения. Сырьем для получения синтетических каучуков являются нефть, нефтепродукты, природный газ, древесина и др.

Для превращения каучука в резину его подвергают вулканизации. В качестве вулканизирующего вещества обычно используют серу. Процесс вулканизации происходит под температурным воздействием (горячая вулканизация) или без температурного воздействия (холодная вулканизация). Количество серы определяет эластичность резиновых изделий. Так, мягкие резины содержат 1—3% S от массы каучука; твердые резины (эбонит) — до 30% S. Добавки к каучуку хлористой серы обеспечивают холодную вулканизацию.

Невулканизированные каучуки растворяются в органических растворителях (бензине, бензоле и др.), в результате чего их используют для получения резинового клея. Перед вулканизацией смешивают каучук, вулканизирующие вещества и другие компоненты. Для снижения расхода каучука, улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств изделий в состав резиновых смесей вводят различные компоненты.

Наполнители уменьшают расход каучука, улучшают эксплуатационные свойства изделий. Наполнители подразделяют на порошкообразные и ткани. В качестве порошкообразных наполнителей применяют сажу, окись цинка, тальк, мел и др. К тканевым наполнителям относят хлопчатобумажные, шелковые и другие ткани. В некоторых случаях для придания высокой прочности изделиям их армируют стальной проволокой или сеткой, стеклянной или капроновой тканью. Количество наполнителя зависит от вида выпускаемых изделий.

Мягчители (парафин, стеариновая кислота, какифоль и др.) служат для облегчения процесса смешивания резиновой смеси придания резине мягкости и морозоустойчивости.

Для замедления процесса окисления в резиновые смеси добавляют **противостарители** (вазелин, ароматические амины и др.). Процесс вулканизации ускоряют введением в смесь окиси цинка, свинцового глета и др.

Красители (охра, пентисернистая сурьма, ультрамарин и др.) вводят в смесь в количестве до 10% от массы каучука.

Специфические свойства резины — высокая эластичность, способность к большим обратимым деформациям, стойкость к дей-

ствию активных химических веществ, малая водо- и газопроницаемость, хорошие диэлектрические и другие свойства обусловили ее применение во всех отраслях народного хозяйства. В машиностроении применяют разнообразные резиновые технические изделия: ремни — для передачи вращательного движения с одного вала на другой; шланги и напорные рукава — для передачи жидкостей и газов под давлением; сальники, манжеты, прокладочные кольца и уплотнители — для уплотнения подвижных и неподвижных соединений; муфты, амортизаторы — для гашения динамических нагрузок; транспортные ленты — для оснащения погрузочно-разгрузочных устройств и др.

2. Технологические способы изготовления резиновых технических изделий

Технологический процесс изготовления резиновых технических изделий состоит из отдельных последовательных операций: приготовления резиновой смеси, формования и вулканизации.

Подготовка резиновой смеси. Процесс подготовки заключается в смешивании входящих в смесь компонентов. Перед смешиванием каучук переводят в пластическое состояние. Это достигается за счет многократного пропускания его через специальные вальцы, предварительно подогретые до 40—50° С. Находясь в пластическом состоянии, каучук обладает способностью хорошо смешиваться с другими компонентами.

Пластифицированный каучук и другие компоненты смешивают в червячных или валковых смесителях и получают однородную пластическую массу. Необходимо иметь в виду, что первым компонентом при приготовлении смесей вводят противостаритель, последним — вулканизатор или ускоритель вулканизации.

Резиновую смесь перерабатывают в изделия с использованием давления: каландрированием, непрерывным выдавливанием, прессованием, литьем под давлением. Технологические процессы переработки сырой резины в изделия по существу подобны тем, которые были рассмотрены при формообразовании деталей из пластмасс.

Каландрирование. Этот процесс применяют для получения резиновой смеси в виде листов и лент, прорезиненных лент, а также для соединения листов резины и прорезиненных лент (дублирование). Каландрирование выполняют на многовалковых машинах — каландрах. Валки каландров снабжают системой внутреннего обогрева или охлаждения, что позволяет регулировать температурный режим. Листы резины, полученные прокаткой на каландрах, сматывают в рулоны и используют затем в качестве полуфабриката для других процессов формообразования резиновых изделий. Во избежание слипания резины в рулонах ее посыпают тальком или мелом при выходе из каландра.

При получении прорезиненной ткани в зазор между валками каландров 3 одновременно пропускают пластифицированную сырую резину 4 и ткань 2 (рис. VIII.16). Резиновая смесь поступает в зазор между верхними и нижним валками, обвалакивает средний валок и поступает в зазор между средним и нижним валками, через который проходит и ткань. Средний валок вращается с большей скоростью, чем нижний. Разница скоростей обеспечивает втирание резиновой смеси в ткань. Толщина резиновой пленки на ткани регулируется зазором между валками каландра. Многослойную прорезиненную ткань получают путем пропускания определенного количества листов однослойной прорезиненной ткани через валки каландра. Полученную ткань наматывают на барабан 1 и затем вулканизируют.

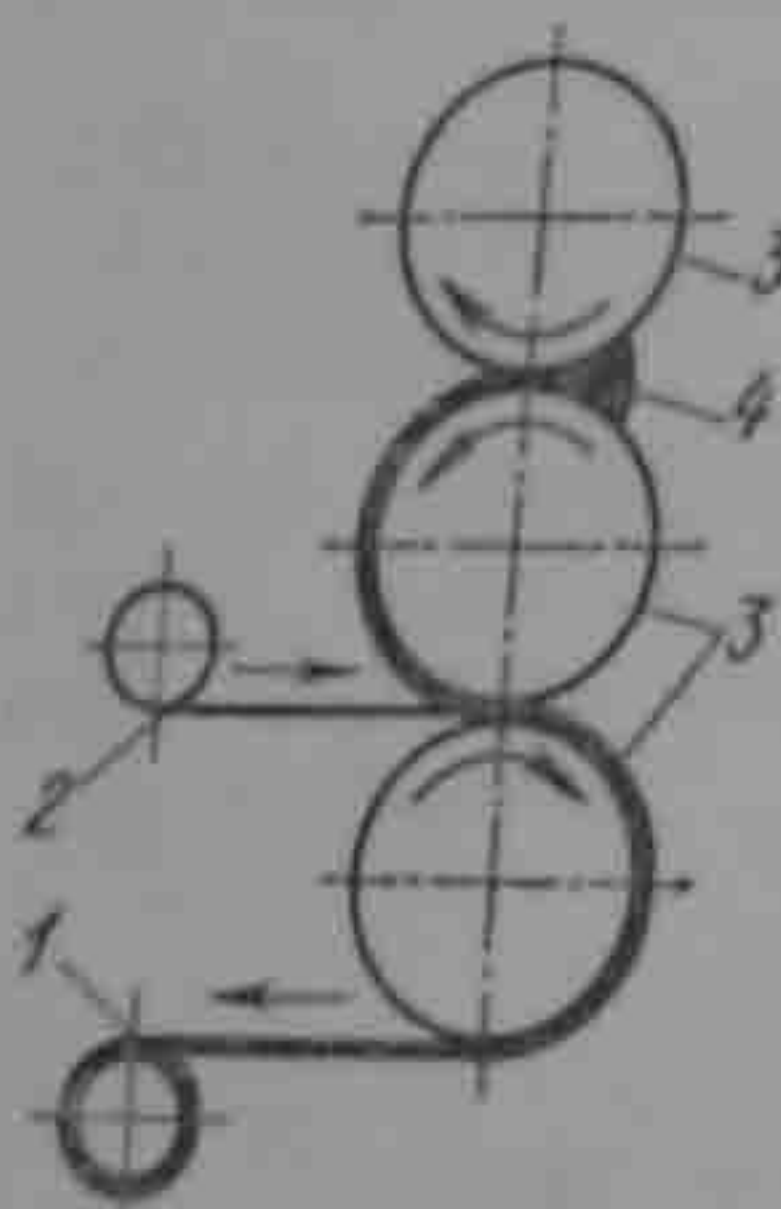


Рис. VIII.16. Схема получения прорезиненных тканей

Непрерывное выдавливание. Этот способ используют для получения профилированных резиновых изделий (труб, прутков, профилей различного сечения, например профилей для остекления). Изделия непрерывным выдавливанием изготавливают на прессах червячного типа. Таким способом покрывают резиной металлическую проволоку.

Прессование. Этот способ является одним из основных способов получения фасонных изделий (манжет, уплотнительных колец, клиновых ремней и т. д.). Прессуют в металлических формах. Применяют два способа прессования: горячее и холодное. При горячем прессовании резиновую смесь закладывают в горячую пресс-форму и прессуют на гидравлических прессах с обогреваемыми плитами. Температура прессования — 140—155° С. При прессовании одновременно происходят формообразование и вулканизация изделий. Высокопрочные детали (например, клиновые ремни) после формования подвергают дополнительной вулканизации в специальных приспособлениях-пакетах.

Холодным прессованием получают изделия из эбонитовых смесей (корпуса аккумуляторов батарей, детали для химической промышленности и т. д.). После прессования заготовки отправляют на вулканизацию. В состав эбонитовой смеси входят каучук и значительное количество серы (до 30% от массы каучука). В качестве наполнителей применяют размельченные отходы эбонитового производства.

Литье под давлением. Этим способом получают изделия сложной формы. Под давлением резиновая смесь при температуре 80—120° С поступает через литниковое отверстие в литейную форму. За счет этого цикл вулканизации значительно сокращается.

Вулканизация является завершающей операцией при изготовлении резиновых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безручко И. И., Зубцов М. Е., Балакина Л. П. Обработка металлов давлением. Учебное пособие для механических специальностей вузов. Л., «Машиностроение», 1967. 311 с.
2. Брыцких Е. А. Технология пластических масс. Учебное пособие для химических техникумов. Изд. 2-е. Л., «Химия», 1974. 351 с.
3. Вероман В. Ю. Размерная ультразвуковая обработка материалов. М.—Л., Машгиз, 1961.
4. Левинсон Е. М., Лев В. С. Обработка металлов импульсами электрического тока. М.—Л., Машгиз, 1961. 92 с.
5. Лепетов В. А. Резиновые технические изделия. Учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов. Изд. 2-е. М.—Л., «Химия», 1965. 472 с.
6. Николаев Г. А., Ольшанский Н. А. Специальные методы сварки. М., «Машиностроение», 1975. 232 с.
7. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. Учебник для вузов. М., «Машиностроение», 1976. 560 с.
8. Раковский В. С., Саклинский В. В. Порошковая металлургия в машиностроении. Изд. 3-е, испр. и доп. М., «Машиностроение», 1973. 126 с.
9. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. Под ред. проф. В. А. Кривоухова. М., «Машиностроение», 1967. 655 с.
10. Технология и оборудование контактной сварки. Под ред. Б. Д. Орлова. М., «Машиностроение», 1975. 536 с.
11. Технология металлов и других конструкционных материалов. Под ред. проф. Н. П. Дубинина. М., «Высшая школа», 1969. 701 с.
12. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. академика Б. Е. Патона. М., «Машиностроение», 1974. 767 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоматизация штамповки 143
 Автоматы многоспиральные последовательной обработки 466, 467
 — — многоспиральные роторной обработки 467
 — — односпиральные продольно-фасонные 463, 464
 — — односпиральные фасонно-отрезные 462, 463
 — — токарно-револьверные 464, 465
 — — четырехспиральные параллельной обработки 465, 466
 Агломерация 34
 Алюминий 21, 22
 Аустенит 13
 Аэрация 306

Б

Балки резания тепловой 408, 409
 Блок колес зубчатых 434
 Бажы 100—102
 Бронза 23

В

Вагранка 200, 201
 Валки 27, 28
 Вибрации автоколебания 415—416
 — — вынужденные 415, 416
 Валзарт 86
 Валы 169, 171
 Валочение 52, 169—171
 Выбор заготовки 115
 Выдавливание 622, 623
 Выдавливание комбинированное 145—147.
 Усилие удельное 146
 — — обратное 145
 — — прямое 144, 145
 Выпрямители сварочные 278
 Вырубка 152, 153, 643
 Высадка 108, 137
 Вытяжка 95, 155—159

Г

Генераторы сварочные 277, 278
 Гибка 111, 153—155
 — Усилие 155
 Глинозем 72, 73
 Глубина резания 390, 494, 505
 Горелки газосварочные 308
 ГОСТ 1435-74 421
 ГОСТ 2246-70 280, 310
 ГОСТ 2424-75 548
 ГОСТ 2770-74 434
 ГОСТ 2789-73 418
 ГОСТ 3882-74 423
 ГОСТ 6638-69 468
 ГОСТ 6995-66 366

ГОСТ 8050-76 291
 ГОСТ 9087-69 285
 ГОСТ 9466-75 282
 ГОСТ 9467-75 282
 ГОСТ 10051-75 282, 342, 343
 ГОСТ 10052-75 282
 ГОСТ 10157-73 291
 ГОСТ 10594-74 278
 ГОСТ 14034-74 449
 ГОСТ 18831-73 467
 ГОСТ 19265-73 422
 Гравитация 34
 Графит 14

Д

Дегазация стали вакуумная 64, 65
 Деформация горячая 86, 87
 — — горячая неполная 86
 — — пластическая 8, 9, 80, 81
 — — упругая 8, 9, 80
 — — холодная 85, 86
 Диаграмма состояния Fe—Fe₃C 14—17
 Дуликс-процесс 54, 55

Ж

Жидкотекучесть 12

З

Затворы воляные 306, 307
 Зенкерование 487, 488
 Зенкеры 484, 485
 Зенкование 488
 Зерно 7, 8

И

Изготовление форм безопочное 222, 223
 — — в кессонах 220
 — — в опоках 218, 219
 — — в стержнях 222
 — — по шаблону 219, 220
 Излучение 91
 Интервал температурный 17, 89

К

Калибрование 653, 654
 Калибровка объемная 141, 142
 — — плоскостная 141
 Калибры закрытые 98
 — — открытые 98
 Канавка аусенечная 123
 Кантователь 118
 Ковка машинная 107, 111, 112, 115, 116
 — — ручная 107
 Механизация 118
 Коковость металла 12

Кокс 30
 Конвекция 91
 Конвертер кислородный 43—46
 Контроль качества поковок 142
 Копирование 531, 532
 Коробление 263
 Коэффициент трения 96
 — — усадки 400
 Кремний 39
 Криолит 73, 74
 Критерий износа 411

Л

Латушь 23, 24
 Лигатура 201
 Ледебурит 14
 Ликвация 12, 61, 62, 186, 187, 264
 Литье вакуумным всасыванием 259
 — — в кокиль 248—252
 — — в формах оболочковых 244, 245
 — — выжиманием 261
 — — жидкой штамповкой 261
 — — непрерывное 259
 — — под давлением 253—255, 631, 632
 — — по моделям выплавляемым 245—248
 — — центробежное 257—259, 632, 633

М

Магний 75—77
 Макромолекулы линейные 626, 627
 — — пространственные 627
 — — разветвленные 627
 Манипулятор 118
 Маркировка стали 20
 Материалы высокопористые 620
 — — жаропрочные, жаростойкие 620
 — — металлокерамические 620
 — — огнеупорные 30, 31
 — — формовочные 175
 — — фрикционные 619
 Машины горизонтально-ковочные 132—134
 Машины для сварки конденсаторной 329
 — — стыковой 328
 — — точечной 328, 329
 — — шовной 329
 Метод насания 388, 389
 — — копирования 388
 — — обкатки 389
 — — следов 388
 Метчики 485
 Механизация штамповки 143
 Механизм перебора 436
 Модифицирование 202
 Молоты бесшаботные 129
 — — гидравлические 129, 130
 — — паровоздушные штамповочные 113, 129, 130
 — — пневматические 112
 — — фрикционные с доской 129
 Момент крутящий 403, 506
 Мощность электродвигателя станка 403
 — — аффективная 403

Н

Нагрев металла 88—90
 Накатка колес зубчатых 138, 139
 Намотка 640
 Наплавка под флюсом автоматическая 342, 343
 — — т. в. ч. 343
 — — электродом вольфрамовым 343
 — — электродом металлическим 342
 — — электродом неплавящимся 343
 — — электрошлаковая 343
 Напыление вихревое 639
 Нарезание резьбы 456—457
 Нарост 403—405

О

Обжим 159, 160
 Обкатка 532, 533
 Обкатывание 583—585
 Обработка высокочастотная электронно-лучевая 596, 597
 — — плазменная 609
 — — светолучевая 607—609
 — — химико-механическая 603
 — — электроабразивная 600
 — — электроалмазная 600
 — — электроимпульсная 596
 — — электроискровая 594—596
 — — электроконтактная 597, 598
 — — электронно-лучевая 606, 607
 — — электрохимическая 599, 600
 Обработка металла шлаком 64
 Обработка термическая 15—17
 Обрезка аусенца 139
 Опoка литейная 175
 Осадка 108
 Отбортовка 159
 Отрезка 151, 152
 Отрубка 110, 111
 Очистка отливок гидроспектральной 241
 — — дробеметная 241
 — — дробеструйная 241
 Очистка поковок 140

П

Пайка в печах 361
 — — газопламенная 363
 — — диффузионная 358
 — — индукционная 361
 — — капиллярная 358
 — — контактно-реактивная 359
 — — паяльниками 363, 364
 — — реактивно-флюсовая 359
 — — с нагревом радиационным 362
 — — сопротивлением 361
 — — экзотермической 362
 Пайка-сварка 359
 Передаточное отношение 431
 Передача винтовая 431, 434
 — — зубчатая 431
 — — реечная 431
 — — ременная 430
 — — цепная 430, 431
 — — червячная 431
 Переплавление вакуумно-дуговой 66, 67
 — — электрошлаковой 65, 66
 Перлит 14
 Печи индукционные 198
 — — камерная 91, 92
 — — методические 92, 93
 — — электрические сопротивления 93, 198, 199
 — — электродуговые 198
 — — электроиндукционные 55, 56
 — — электронно-лучевые 67, 199, 200
 — — электроплавильные 51—54
 Пламя газосварочное 309, 310
 Пластичность 10
 Плита модельная 208—210
 Поверхность обрабатываемая 387
 — — обработанная 387
 — — резания 387
 Подача 390, 494, 504, 505, 523
 Поковка кованая 107
 Поликристалл 7
 Полирование 598, 599, 645
 Подуавтомат 5Д32 440—442
 Порошок металлический 618, 619
 Провка поковок 140
 Превращения аллотропические 4
 Прессование гидростатическое 622
 — — горячее 622
 — — литейное 630, 631

— на листах многотажных прессов 431
 — — профильное 631
 — — прямое 629, 630
 — — холодное 621, 622
 Прессуемость 619
 Пресс-форма 253, 254
 Прессы винтовые фрикционные 134, 135
 — — гидравлические 113, 114
 — — горизонтально-винтовые кривошипные 130—132
 — — двойного действия 166, 167
 — — простого действия 166, 167
 Привод 429, 430
 Прокат листовой 97
 — — сортовой 96, 97
 — — специальный 97
 Прокатка бесслитовая 102
 — — бесшовных труб 102
 — — непрерывная 99, 102
 — — поперечная 95
 — — поперечно-винтовая 95, 96
 — — продольная 95
 — — листов толстых 101
 — — листов тонких 101, 102
 Ротация 108, 109
 Ротационное профилирование 172, 173
 Ротационный процесс мартеновский 48—50
 Ротационность 9, 10
 Ротационная 110

Р

Роты давящие без утонения 164, 165
 — с утонением 165
 Ротационное закругление 122
 Ротация 485
 Ротационное сверление 488
 Ротационная гонка 109
 Ротационные меры заготовки исходной 123
 Ротационная масса 641
 Ротационные ванны газовые 187, 263
 — — песчаные 263
 — — усадочные 263
 — — шлаковые 264
 Ротационная затка 103, 109, 110, 137—139
 Ротационное шлифование 583—585
 Ротационное исследование металла 50
 — — стали 42, 53
 Ротационный металл 160, 161
 Ротационное переливание 487
 Ротационное шлифование 497—499
 Ротационные формы внедрения 6
 — — замещения твердые 6
 Ротационное шлифование 202
 Ротационное шлифование алюминия 74, 75
 Ротационное шлифование огневого 70, 71
 Ротационное электролитическое 71
 Ротационные ролики 628—629
 Ротационная резка 472, 480
 Ротационная вибрационная 417, 418
 Ротационная воздушно-дуговая 314
 Ротационная газокислородная 311—313
 Ротационная дуговая электрическая 314
 Ротационная кислородно-флюсовая 313, 314
 Ротационная плазменно-дуговая 314, 315
 Ротационные расточки 494, 495
 Ротационная установка 86
 Ротационные термостаты керамические 93
 — — металлические 93
 Ротационные железные 32
 Ротационные комплексные 32
 Ротационные марганцевые 32
 Ротационные медные 68
 Ротационные окисленные 68
 Ротационные сульфидные 68
 Ротационные хромовые 32
 Ротационные заготовительные 125—127
 Ротационные штамповочные 127, 128

Сварка автоматическая 284—289
 — — аргодуговая 291—294
 — — в атмосфере углекислого газа 294—296
 — — газом нагретым 646
 — — газофлюсовая 310
 — — давлением 268
 — — инструментом нагретым 646
 — — контактная многоточечная 322, 323
 — — косвенной дугой 270
 — — материалом нагретым присадочным 646
 — — мушкетером плавящимся 300, 301
 — — на обратной полярности 270
 — — на прямой полярности 270
 — — неплавящимся электродом 270
 — — оплавлением 319, 320
 — — плавлением 268
 — — плавящимся электродом 270
 — — полуавтоматическая 289, 290
 — — проволокой электродной 300
 — — рельефная 323
 — — роликовая 324, 325
 — — сопротивлением 318
 — — т. в. ч. 647
 — — трением 647
 — — трехфазной дугой 270
 — — ультразвуковой 647, 648
 — — электродом пластинчатым 300
 Свариваемость 12, 269
 Сверла 482—484
 Сверление 487, 643, 644
 Свойства металлов 8, 9, 11, 12
 — — сплавов 8, 9, 11, 12
 Сера 39, 40
 Силы резания 401—403, 472, 473, 480, 481, 505, 506
 Система литниковая 177
 Скорость кристаллизации 6
 — — нагрева 90
 — — резания 389, 390, 493, 504, 523, 535, 539, 546
 Скручивание 111
 Слитки особоистых металлов 28
 — — стальные 28
 — — цветных металлов 28
 — — чистых металлов 28
 Смесь формовочная 175
 Соединения накладочные 375
 — — стыковые 373
 — — тавровые 375
 — — угловые 375
 Сортамент 96, 97
 Свариваемость 619
 Сплавы алюминиевые 21, 22, 196
 — — литейные медные 195
 — — магниевые 22, 23, 196, 197
 — — медные 23, 24
 — — титановые 24
 — — тугоплавкие 197
 Сталь быстрорежущая 422
 — — инструментальная 193, 421, 422
 — — кипящая 62, 63
 — — конструкционная 193
 — — полуспокойная 63
 — — со специальными свойствами 193, 194
 — — спокойная 61, 62
 Стан автоматический 103
 — — дуо 99
 — — кварто 99
 — — многоклетевой 99
 — — непрерывный 101, 102
 — — одноклетевой 99
 — — пилгримовый 103
 — — поперечно-винтовой прокатки 105, 106
 — — поперечной прокатки 104, 105

— — прокатный 98
 — — раскатной 102, 103
 Станки вертикально-протяжные 526
 — — вертикально-фрезерные 513—515
 — — горизонтально-протяжные 525, 526
 — — горизонтально-фрезерные 512, 513
 — — долбежные 476—478
 — — протяжные 526—529
 — — строгальные 475—476
 — — 1А616 437—440
 — — 3151 442—444
 Стержень литейный 175
 Стирометод 639
 Стойкость инструмента 411, 412
 Стружка надлома 399
 — — скалывания 399
 — — сливная 398
 Стружкообразование 398

Т

Твердость 10
 Текучесть 618, 619
 Температура плавления сплава 17
 Температура спекания 623, 624
 — — стеклования 627
 — — текучести 627
 Термопласты 627
 Титан 24, 77—79
 Точение 642, 643
 Трансформаторы сварочные 275—277
 Трещины горячие 183
 — — холодные 183

У

Угол захвата 96
 — — сдвига 398
 Уклоны штамповочные 122
 Уплотнение смеси формовочной встряхиванием 214, 215
 — — на пескоструйной формовочной машине 216
 — — пескоструйной 215
 — — прессованием 214
 Упрочнение 85
 Усадка линейная 183—185
 — — объемная 185, 186
 Усиление вырубки 153
 — — пробивки 153
 Устройство индукционное электронагревательное 93, 94
 — — нагрева электроконтактного 94

Ф

Феррит 14
 Флюсы 29, 33, 201, 202, 285, 286
 Форма литейная 175
 Формовка автоклавная 639
 — — вакуумная 635
 — — в универсальных камерах 636

— — контактная 638, 639
 — — пневматическая 635
 — — центробежная 639
 Фосфор 39
 Фрезерование 500, 643

Ц

Цекование 488
 Цементит 14
 Центры кристаллизации 7

Ч

Чертежковки 114, 115
 Чугун аустенитный 191
 — — высокопрочный 190, 191
 — — жаростойкий 191
 — — ковкий 191—193
 — — легированный 190
 — — литейный 28, 40
 — — магнитный 191
 — — немагнитный 191
 — — пердедельный 28, 40
 — — с большим электросопротивлением 191
 — — серый 187—190
 — — со специальными свойствами 191

Ш

Шероховатость поверхности 418, 419
 Шихта металлическая 201
 Шлак кислый 29
 — — основной 29
 Шлам красный 73
 Шлифование 645
 Штампы последовательного действия 161, 162
 — — совмещенного действия 162, 163
 Штамповка высокоскоростная 165, 166
 — — в закрытых штампах 120, 121
 — — в открытых штампах 120
 — — в подкладных штампах 111
 — — жестким пуансоном и матрицей 637
 — — изотермическая 135, 136
 — — листовая 82, 83
 — — на вальцах ковочных 136
 — — на машинах горизонтально-гибочных 137
 — — на машинах ротационно-ковочных 136, 137
 — — объемная 82, 83
 — — пуансоном эластичным 637
 — — средами эластичными 163, 164
 Штейн 69, 70

Э

Электролизер 74
 Электрохонингование 601

Я

Ящик стержневой 177, 210

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3	Глава 4. Производство цветных металлов	68
РАЗДЕЛ I			
СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ			
Глава 1. Кристаллизация металлов и сплавов	4	1. Цветные металлы и их значение в народном хозяйстве	68
1. Кристаллическое строение металлов	4	2. Производство меди	68
2. Кристаллическое строение сплавов	5	3. Производство алюминия	71
3. Кристаллизация сплавов	6	4. Производство магния	75
4. Свойства металлов и сплавов	8	5. Производство титана	77
5. Диаграмма состояния	12	РАЗДЕЛ III	
6. Влияние примесей	17	ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	
7. Основы классификации сталей и их маркировка	18	Глава 1. Физико-механические основы обработки металлов давлением	80
8. Цветные металлы и сплавы	21	1. Сущность обработки металлов давлением	80
РАЗДЕЛ II			
ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ			
Глава 1. Современное металлургическое производство	25	2. Виды обработки металлов давлением	82
1. Роль металлов и металлургической промышленности в народном хозяйстве	25	3. Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла	83
2. Современное металлургическое производство и его продукция	26	Глава 2. Нагрев металлов перед обработкой давлением	88
3. Материалы для производства металлов и сплавов	28	1. Термический режим	88
Глава 2. Производство чугуна	32	2. Нагревательные устройства	91
1. Материалы, применяемые в доменном производстве, и их подготовка и плавка	32	Глава 3. Прокатное производство	95
2. Выдавка чугуна	35	1. Общие положения	95
Глава 3. Производство стали	42	2. Продукция прокатного производства	96
1. Сущность процесса	42	3. Инструмент и оборудование для прокатки	97
2. Производство стали в конвертерах	42	4. Технология производства основных видов проката	100
3. Производство стали в мартеновских печах	43	Глава 4. Ковка	107
4. Производство стали в электропечах	46	1. Общие положения	107
5. Разливка стали	54	2. Основные операции ковки и применяемый инструмент	107
6. Кристаллизация и строение сталей и сплавов	56	3. Оборудование для ковки	111
7. Способы повышения качества металла	60	4. Технологическая разработка процесса ковки	114
80	63	Глава 5. Горячая объемная штамповка	119

5. Оборудование для горячей объемной штамповки и его технологические особенности	128
6. Специализированные процессы получения поковок и заготовок	136
7. Вспомогательные операции горячей объемной штамповки	139
8. Технологические особенности штамповки высоколегированных сталей и труднодеформируемых сплавов	142
9. Автоматизация и механизация горячей объемной штамповки	143
Глава 6. Холодная штамповка	144
1. Холодное выдавливание	144
2. Холодная высадка	147
3. Холодная формовка	148
4. Холодная листовая штамповка	149
Глава 7. Методы производства машиностроительных профилей	168
1. Прессование	168
2. Волочение	169
3. Производство гнутых профилей	172
РАЗДЕЛ IV	
ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Глава 1. Общие сведения	174
1. Основные этапы процесса изготовления отливки	174
2. Основы конструирования отливки	177
Глава 2. Свойства литейных сплавов	179
1. Механические свойства литейных сплавов	179
2. Образование отливки в литейной форме	180
3. Литейные свойства сплава	182
4. Сплавы, применяемые для отливок	187
Глава 3. Плавка сплавов	198
1. Печи для плавки сплавов	198
2. Плавка сплавов в плавильных печах	201
Глава 4. Технология изготовления форм, стержней и отливок	203
1. Модельный комплект	203
2. Формовочные и стержневые смеси и их приготовление	210
3. Изготовление литейной формы	213
4. Изготовление форм	218
5. Особенности изготовления форм для отливок из разных сплавов	224
6. Особенности конструирования внешней поверхности отливки	227
7. Способы изготовления стержней	230
8. Сборка форм	233
9. Особенности конструирования полости отливки, образующейся стержнем	234
10. Заливка форм сплавом	237
11. Выбивка отливок из песчаной формы	237
12. Формовочно-заливочный контейнер и полуавтоматическая поточная линия	238
13. Очистка и обрубка отливок	240
14. Термическая обработка отливок	242

Глава 5. Специальные способы литья	244
1. Литье точных отливок в разовых формах	244
2. Литье в металлические формы	248
Глава 6. Технический контроль	262
1. Брак отливок и причины его возникновения	262
2. Исправление литейных дефектов в отливках	263
РАЗДЕЛ V	
ОСНОВЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Глава 1. Общие сведения	266
1. Общая характеристика сварочного производства	266
2. Физические основы получения сварного соединения	267
Глава 2. Сварка плавлением	270
1. Дуговая сварка. Сущность процесса	270
2. Понятие об электрической дуге и ее свойствах	271
3. Источники сварочного тока	273
4. Ручная дуговая сварка	278
5. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом	284
6. Сварка в атмосфере защитных газов	290
7. Сварка и обработка материалов плазменной струей	296
8. Электрошлаковая сварка	298
9. Сварка электронным лучом в вакууме	301
10. Газовая сварка	304
11. Термохимическая резка металлов	310
Глава 3. Сварка давлением	316
1. Электрическая контактная сварка. Сущность процесса	316
2. Стыковая сварка	317
3. Точечная сварка	320
4. Шовная или роликовая сварка	324
5. Сварка аккумулированной энергией	325
6. Оборудование для контактной сварки	327
7. Радиочастотная сварка	329
8. Холодная сварка	330
9. Термокомпрессионная сварка	332
10. Сварка трением	332
11. Ультразвуковая сварка	334
12. Сварка взрывом	336
13. Диффузионная сварка в вакууме	337
14. Газопрессовая сварка	339
Глава 4. Нанесение износостойких и жаростойких покрытий	342
1. Наплавочные работы	342
2. Материалы для наплавочных работ	343
3. Металлизация	344
Глава 5. Технология сварки различных металлов и сплавов	346
1. Свариваемость металлов и сплавов	346

2. Сварка углеродистых и легированных конструкционных сталей	350
3. Сварка высокохромистых сталей	351
4. Сварка азотистых хромоникелевых сталей	351
5. Сварка чугуна	352
6. Сварка меди и ее сплавов	353
7. Сварка алюминия и его сплавов	355
8. Сварка тугоплавких металлов и сплавов	357

Глава 6. Пайка металлов и сплавов	358
1. Физическая сущность процесса пайки	358
2. Материалы для пайки	360
3. Способы пайки	361

Глава 7. Контроль качества сварных и паяных соединений	365
1. Виды дефектов в сварных и паяных соединениях	365
2. Виды контроля	365

Глава 8. Технологичность сварных соединений, заготовок и узлов	371
1. Понятие о технологичности	371
2. Выбор материала	371
3. Выбор типа сварного соединения	373
4. Выбор формы свариваемых элементов	375
5. Выбор способа сварки	376
6. Выбор способа уменьшения сварочных деформаций и напряжений	379

**РАЗДЕЛ VI
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Глава 1. Физико-механические основы обработки металлов резанием	384
1. Классификация движений в металлорежущих станках. Схемы обработки резанием	384
2. Методы формообразования поверхностей деталей машин	387
3. Элементы резания и геометрия срезаемого слоя	389
4. Элементы токарного проходного реза	392
5. Координатные плоскости для определения углов реза	393
6. Углы токарного реза	393
7. Резание как процесс последовательного деформирования срезаемого слоя металла	396
8. Виды стружек и их усадка	398
9. Силы резания	400
10. Наростообразование при резании металлов	403
11. Упрочнение при обработке резанием	405
12. Тепловые явления процесса резания	407
13. Трение, износ и стойкость инструмента	410
14. Охлаждение и смазка при обработке резанием	412
15. Вибрации при резании материалов	415
16. Точность обработки и качество обработанной поверхности	418
17. Производительность и выбор режима резания	419

Глава 2. Инструментальные материалы	421
1. Общая характеристика свойств инструментальных материалов	421
2. Инструментальные стали	421
3. Металлокерамические (твердые) сплавы	422
4. Минералокерамика	424
5. Абразивные материалы	424
6. Алмазный инструмент	425

Глава 3. Основные сведения о металлорежущих станках	426
1. Развитие советского станкостроения	426
2. Классификация металлорежущих станков	426
3. Приводы и передачи станков	429
4. Механизмы металлорежущих станков	434
5. Кинематические схемы металлорежущих станков	437
6. Автоматы и полуавтоматы	445

Глава 4. Обработка заготовок на станках токарной группы	446
1. Характеристика метода точения	446
2. Токарные резцы	446
3. Приспособления для обработки заготовок на токарных станках	448
4. Обработка заготовок на токарно-винторезных станках	450
5. Обработка заготовок на токарно-револьверных станках	457
6. Обработка заготовок на токарно-карусельных станках	459
7. Обработка заготовок на многорезцовых токарных полуавтоматах	461
8. Обработка заготовок на токарных одношпиндельных автоматах	462
9. Обработка заготовок на токарных многошпиндельных автоматах и полуавтоматах	465
10. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на станках токарной группы	467

Глава 5. Обработка заготовок на строгальных станках	471
1. Характеристика метода строгания	471
2. Режим резания. Силы резания	472
3. Строгальные и долбежные резцы	473
4. Приспособления для обработки заготовок на строгальных станках	474
5. Обработка поверхностей заготовок на строгальных и долбежных станках	475
6. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на строгальных и долбежных станках	478

Глава 6. Обработка заготовок на сверлильных станках	480
1. Характеристика метода сверления	480
2. Режим резания. Силы резания	480
3. Режущий инструмент	482
4. Приспособления для обработки заготовок на сверлильных станках	485
5. Обработка поверхностей заготовок на вертикально-сверлильных станках	487
6. Обработка поверхностей заготовок на радиально-сверлильных станках	489

7. Обработка поверхностей заготовок на агрегатных станках	489
8. Сверление глубоких отверстий	490
9. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на сверлильных станках	491

Глава 7. Обработка заготовок на расточных станках	493
--	-----

1. Характеристика метода растачивания	493
2. Режим резания	493
3. Режущий инструмент	494
4. Приспособления для обработки заготовок на расточных станках	495
5. Обработка поверхностей заготовок на горизонтально-расточных станках	497
6. Обработка поверхностей заготовок на координатно-расточных станках	500
7. Обработка поверхностей заготовок на алмазно-расточных станках	501
8. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на расточных станках	501

Глава 8. Обработка заготовок на фрезерных станках	503
--	-----

1. Характеристика метода фрезерования	503
2. Режим резания. Силы резания	504
3. Типы фрез	506
4. Приспособления для обработки заготовок на фрезерных станках	508
5. Обработка поверхностей заготовок на горизонтально-фрезерных и вертикально-фрезерных станках	512
6. Обработка поверхностей заготовок на продольно-фрезерных станках	516
7. Обработка поверхностей заготовок на фрезерных станках непрерывного действия	516
8. Обработка поверхностей заготовок на координатно-фрезерных станках	517
9. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на фрезерных станках	519

Глава 9. Обработка заготовок на протяжных станках	522
--	-----

1. Характеристика метода протягивания	522
2. Режим резания	523
3. Протяжки	523
4. Силы резания и мощность при протягивании	524
5. Обработка поверхностей заготовок на протяжных станках	525
6. Технологические требования к конструкциям деталей машин, обрабатываемых на протяжных станках	529

Глава 10. Обработка заготовок зубчатых колес на зуборезных станках	531
---	-----

1. Формообразование профилей зубьев зубчатых колес	531
2. Режущие инструменты для нарезания зубчатых колес по методу обкатки	533
3. Нарезание зубчатых колес на зубофрезерных станках	534
4. Нарезание зубчатых колес на зубодолбежных станках	537
5. Нарезание конических колес с прямыми зубьями на зубострогальных станках	540

6. Нарезание конических колес с круговыми зубьями на зуборезных станках	542
7. Технологические требования и конструкциям зубчатых колес	543

Глава 11. Обработка заготовок на шлифовальных станках	545
--	-----

1. Характеристика метода шлифования	545
2. Режим резания. Силы резания	545
3. Основные схемы шлифования	547
4. Абразивные инструменты	548
5. Износ и правка шлифовальных кругов	549
6. Испытания и балансировка шлифовальных кругов	550
7. Обработка заготовок на круглошлифовальных станках	551
8. Обработка заготовок на внутришлифовальных станках	555
9. Обработка заготовок на бесцентрово-шлифовальных станках	556
10. Обработка заготовок на плоскошлифовальных станках	558
11. Обработка заготовок на специализированных и заточных станках	560
12. Технологические требования, предъявляемые к заготовкам, обрабатываемым на шлифовальных станках	561

Глава 12. Методы отделочной обработки поверхностей заготовок	563
---	-----

1. Общие сведения	563
2. Методы отделки поверхностей чистовыми резцами и шлифовальными кругами	563
3. Полирование заготовок	564
4. Абразивно-жидкостная отделка	566
5. Притирка поверхностей	567
6. Хонингование	570
7. Суперфиниш	572
8. Зубозакругление	574
9. Зубошевингование	576
10. Зубохонингование	577
11. Зубошлифование	579
12. Зубопритирка	581

Глава 13. Методы обработки заготовок без снятия стружки	583
--	-----

1. Общие сведения о чистовой обработке пластическим деформированием	583
2. Обкатывание и раскатывание поверхностей заготовок	583
3. Алмазное выглаживание	585
4. Калибрование отверстий	586
5. Виброкатывание	587
6. Обкатывание зубчатых колес	588
7. Накатывание резьб, шлицевых валов и зубчатых колес	588
8. Накатывание рифлений и клеев	590
9. Упрочняющая обработка поверхностей деталей	591

Глава 14. Электрофизические и электрохимические методы обработки	592
---	-----

1. Общие сведения	592
2. Электроэрозионные методы обработки	593
3. Электрохимические методы обработки	598
4. Анодно-механическая обработка	601
5. Химические методы обработки	603

6. Ультразвуковая обработки	604
7. Лучевые методы обработки	606

<i>Глава 13. Основные направления автоматизации производства механических цехов</i>	
1. Общие сведения	610
2. Автоматизация производства на базе станков с программным управлением	611
3. Автоматические линии на агрегатных станках	613
4. Адаптивное управление работой металлорежущих станков	616

РАЗДЕЛ VII

ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

<i>Глава 1. Основы порошковой металлургии</i>	
1. Способы получения и технологические свойства порошков	618
2. Металлокерамические материалы	619
<i>Глава 2. Изготовление металлокерамических деталей</i>	
1. Приготовление смеси	621
2. Способы формообразования заготовок и деталей	621
3. Спекание и окончательная обработка заготовок	623
4. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям деталей из металлических порошков	624

РАЗДЕЛ VIII

ПРОИЗВОДСТВО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

<i>Глава 1. Изготовление деталей из пластмасс</i>	
1. Классификация пластмасс и способов их переработки	626
2. Способы переработки пластмасс в детали в вязкотекучем состоянии	629
3. Способы переработки пластмасс в детали в высокоэластическом состоянии	634
4. Получение деталей из жидких полимеров	638
5. Способы получения деталей из пластмасс в твердом состоянии	640
6. Способы получения неразъемных соединений из пластмассовых деталей	645
7. Технологические требования, предъявляемые к конструкциям пластмассовых деталей	649
8. Техника безопасности при работе с пластмассами	651
<i>Глава 2. Изготовление резиновых технических изделий</i>	
1. Состав, свойства и области применения резины	652
2. Технологические способы изготовления резиновых технических изделий	653
Список литературы	655
Предметный указатель	656

ИБ № 484

Антон Михайлович ДАЛЬСКИЙ,
Ирина Александровна АРУТЮНОВА,
Тамара Михайловна БАРСУКОВА,
Леонид Николаевич БУХАРКИН,
Николай Петрович ДУБИНИН,
Валентин Петрович КАШИРЦЕВ,
Илья Георгиевич КРЕМЕНСКИЙ,
Эдуард Леонидович МАКАРОВ,
Евгений Александрович ПОПОВ,
Юрий Александрович СТЕПАНОВ

Редактор издательства Ю. Л. Маркиз
Технический редактор Л. А. Макарова
Корректор Ж. Л. Суходолова
Переплет художника А. Я. Михайлова

Сдано в набор 18/V 1976 г. Подписано к печати 8/XII 1976 г. Т-20848
Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 1. Усл. печ. л. 41,5. Уч.-изд. л. 44,25. Тираж 125 000 экз. Заказ 660.
Цена 1 р. 73 к. в переплете № 5
1 р. 76 к. в переплете № 7.

Издательство «Машиностроение»,
107885, Б-78, 1-й Басманный пер., 3

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Гатчинская ул., 26.

ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ