


Белорусский национальный технический университет

Механико-технологический факультет

Кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов»

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 Пантелеенко Ф.И.

« » 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан МТФ

 Иванов И.А.

« » 2021 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**СВАРКА, ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ
И РЕЗАНИЕМ**

по специальности 1-42 01 01 - «Металлургическое производство и
материалообработка» (по направлениям)

Составитель: Сидоров В.А.

Рассмотрено и утверждено
на заседании Совета механико-технологического факультета
«31» мая 2021 г., протокол №12.

Перечень материалов

ЭУМК включает в себя презентации лекций (файлы *.pdf), и видеоматериалы(файлы*.mp4), методические указания к выполнению лабораторных работ - журнал лабораторных работ (файлы * .pdf), раздел контроля знаний и вспомогательный раздел.

Пояснительная записка

Цели ЭУМК. Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) является основой для изучения дисциплины «Сварка, обработка металлов давлением и резанием» студентами металлургических специальностей.

Особенности структурирования и подачи материалов. В соответствии с программой курса в ЭУМК изложены сведения о современных технологиях сварки, обработке металлов давлением и резанием.

Рассмотрены механические свойства конструкционных материалов, технологии изготовления машиностроительных деталей с заданными формами и свойствами из металлов и сплавов сваркой, обработкой давлением и резанием. Рассмотрены электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Комплекс полученных знаний обеспечит универсальный подход к изучению и применению на практике этих современных технологий.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК. Требования к системе: IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации, дисковод CD-ROM, программная среда - Windows. Открытие электронного издания производится посредством запуска соответствующих файлов.

Электронный учебно-методический комплекс
по учебной дисциплине «Сварка обработка металлов давлением и резанием»
для металлургических специальностей

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Сварка обработка металлов давлением и резанием» для металлургических специальностей составлен доцентом кафедры «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» БНТУ Сидоровым В.А. в полном соответствии с учебной программой дисциплины. Он включает в себя презентации лекций, методические указания к выполнению лабораторных работ - журнал лабораторных работ, раздел контроля знаний, а также видеоматериалы.

Презентации лекций составлены при использовании следующих основных источников:

- Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; [под ред. А.М. Дальского]. - 5-е изд., исправленное. - М.: Машиностроение, 2004. - 512 с., ил.
- Технология конструкционных материалов. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Е. А. Астафьева, Ф. М. Носков, Г. Ю. Зубрилов. – Электрон. дан. (11 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.
- Технология конструкционных материалов Учебник для технических специальностей вузов / О.С. Комаров и др.; [под общ. ред. О.С. Комарова]. - Минск, Новое знание, 2005. - 539 с.: ил.
- Металловедение и технология конструкционных материалов/ Комаров О.С. Керженцева Л.Ф. Демченко Е.Б. Урбанович Н.И. Горохов В.А. Лабораторный практикум: учебное пособие / О.С. Комаров и др.; [под ред. О.С. Комарова]. - Минск: Новое знание, 2016. -308 с.
- ЭУМК Технология конструкционных материалов/ Демченко Е.Б. –Минск: БНТУ, 2019.
- Графические, фото- и видео- материалы интернет-сайтов.

Сидоров В.А.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел 1 Механические свойства материалов и методы их определения.....	5
Раздел 2 Обработка металлов давлением.....	25
Раздел 3 Сварочное производство.....	81
Раздел 4 Обработка металлов резанием.....	158
Раздел 5 Технология электрофизических и электрохимических методов обработки материалов.....	231
Журнал лабораторных работ.....	264
Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.....	304
Информационно-методическая часть.....	308

Механические свойства материалов и методы их определения

Доцент кафедры «Порошковая металлургия, сварка и
технология материалов» МТФ БНТУ
к.т.н., доцент В. А. Сидоров

Механические свойства материалов

- *Механическими свойствами* металлов называют свойства, которые выявляются испытаниями при воздействии внешних нагрузок. В результате таких испытаний определяют количественные характеристики механических свойств. Эти характеристики необходимы для выбора металлов и режимов их термообработки, расчетов на прочность, контроля и диагностики их прочностного состояния в процессе эксплуатации. При проведении механических испытаний стремятся воспроизвести такие условия воздействия на материал, которые имеют место при эксплуатации изделия, изготовленного из этого материала.

Многообразие условий службы материалов обуславливает проведение большого числа механических испытаний. Основными признаками, позволяющими классифицировать виды механических испытаний, являются:

- способ нагружения (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, срез и др.);
- скорость нагружения (статическая, динамическая);
- протяженность процесса испытания во времени (кратковременная, длительная).

Механические свойства материалов

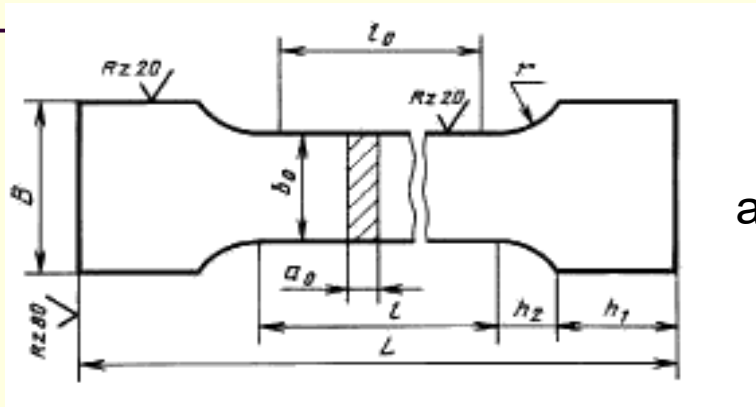
- *Прочность* – сопротивление материала нагрузке, деформации и разрушению.
- *Упругость* – свойство материала восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки.
- *Пластичность* – свойство материала получать большие деформации без разрушения.
- *Хрупкость* - свойство материала разрушаться без заметного поглощения механической энергии в необратимой форме.
- *Твердость* – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела.

- *Вязкость* - свойство материала, не разрушаясь, поглощать в заметных количествах механическую энергию в необратимой форме.
- *Изнашиваемость* - свойство материала подвергаться поверхностному разрушению или повреждению под воздействием внешнего трения.
- *Износостойкость* – сопротивление материалов деталей машин и других трущихся изделий износу.
- *Выносливость* - свойство материала выдержать, не разрушаясь, большое число повторно- переменных напряжений. Постепенное разрушение материала при большом числе повторно- переменных напряжений называется *усталость*.
- *Ползучесть* – способность материала медленно и непрерывно деформироваться при постоянном напряжении и повышенной температуре.

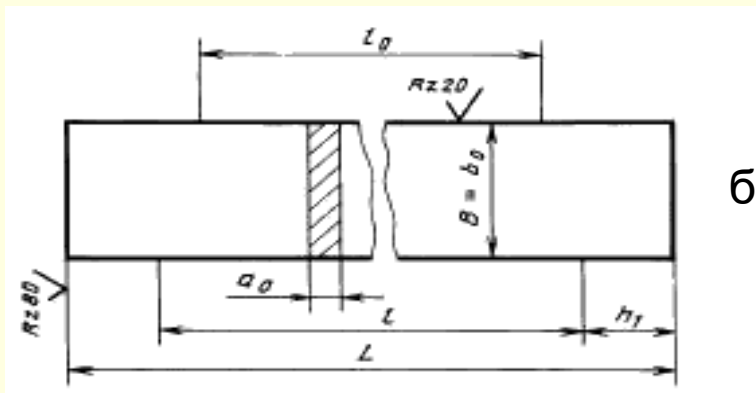
Механические испытания и механические свойства металлов

- **Механическое испытание металла** подразумевает определённую последовательность операций, проводимых на специальном испытательном оборудовании с целью выявления количественных показателей механических свойств металла.
- **Виды механического нагружения:**
Виды (схемы) механического нагружения в испытаниях принято связывать с характером деформаций образцов, подвергаемых испытаниям. При этом выделяются следующие основные виды деформаций: **растяжение; сжатие; сдвиг; кручение; изгиб.**
- **Испытания на одноосное растяжение** – наиболее широко используемый вид испытания для оценки механических свойств металлов и сплавов. Одноосное растяжение сравнительно легко подвергается анализу, позволяет по результатам одного опыта определять сразу несколько важных механических характеристик металла, являющихся критерием его качества и необходимых для конструкторских расчетов.
- Методы испытания на растяжение стандартизированы. Имеются стандарты на испытания при комнатной температуре (ГОСТ 1497-84), при повышенных до 1200 °С (ГОСТ 9651-84) и пониженных до минус 100 °С (ГОСТ 11150-84) температурах.

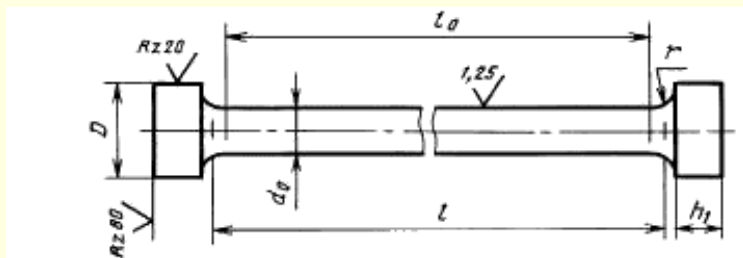
Образцы для испытания на растяжение: *а* – плоский образцы с головками; *б* – плоские образцы без головки; *в* – круглый цилиндрический



а



б



в



Внешний вид испытательных разрывных машин разных производителей



Машинная диаграмма растяжения малоуглеродистой стали

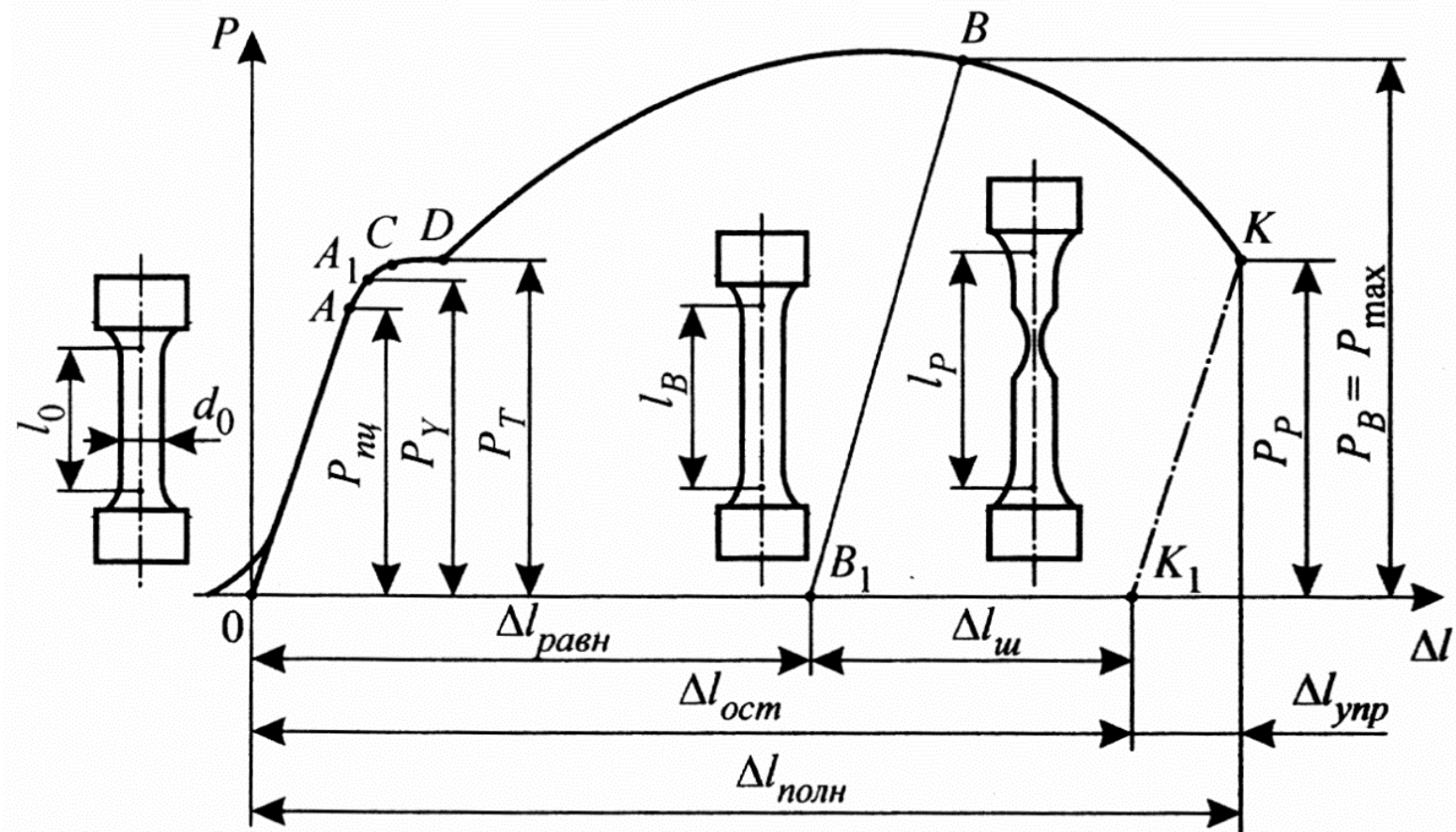
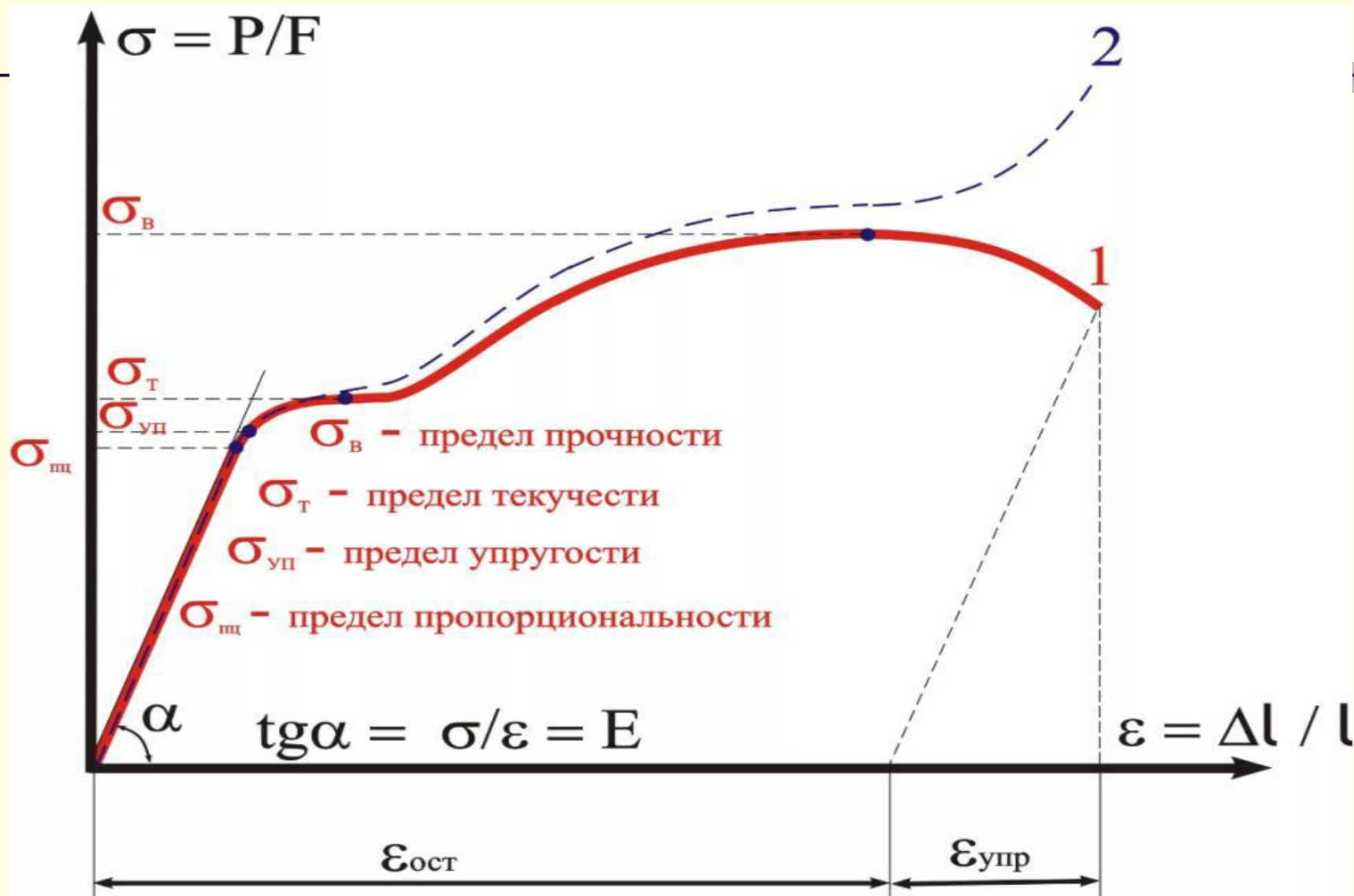


Диаграмма условных напряжений



Характеристики прочности и пластичности при растяжении

Характеристики прочности при растяжении:

- предел пропорциональности
- предел упругости
- предел текучести - физический σ_T (соответствует площадке текучести) и условный $\sigma_{0,2}$
- временное сопротивление при разрыве
- Истинное сопротивление разрыву

$$\sigma_{пц} = P_{пц} / F_0$$

$$\sigma_{0,05} = P_{0,05} / F_0$$

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0$$

$$\sigma_{\epsilon} = P_{max} / F_0$$

$$S_K = P_K / F_K$$

Характеристики пластичности при растяжении:

относительное удлинение после разрыва δ

$$\delta = \frac{(l_K - l_0)}{l_0} \cdot 100 \%$$

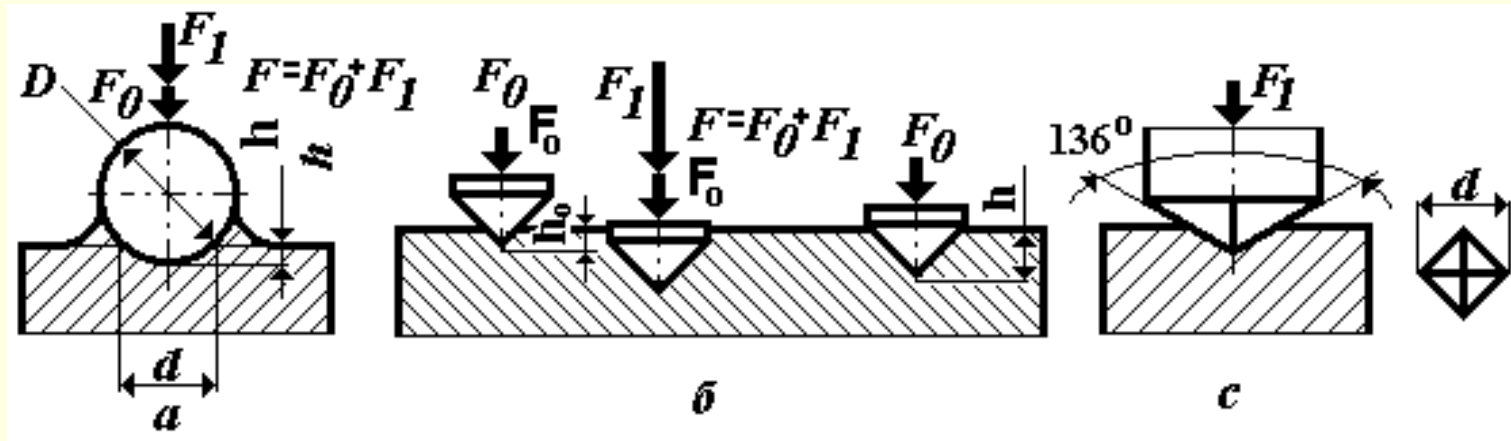
относительное сужение после разрыва ψ .

$$\psi = \frac{(F_0 - F_K)}{F_0} \cdot 100$$

Определение твердости

- Основными методами определения твердости являются методы внедрения в поверхность испытываемого металла стандартных наконечников из твердых недеформируемых материалов под действием статических нагрузок:
- *Определение твердости по Бринелля* (ГОСТ 9012-59 «[Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю](#)»)
- *Определение твердости по Виккерсу* (ГОСТ 2999-75 «[Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу](#)»)
- *Определение твердости по Роквелла* (ГОСТ 9013–59* (ИСО 6508-86) «[Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу](#)»)

Определение твердости



Схемы определения твердости образца методами:
а – Бриннеля; б – Роквелла; в – Виккерса; F_0 – предварительная нагрузка; F_1 – основная нагрузка; D – диаметр шарика; d – диаметр или длина диагонали отпечатка; h_0 – глубина предварительного вдавливания наконечника; h – глубина вдавливания шарика или наконечника.

Метод микротвердости

Для измерения твердости тонких слоев материалов, структурных составляющих, металлических покрытий, фольги применяют метод микротвердости (ГОСТ 9450—60). По существу он не отличается от метода Виккерса, однако при этом используют малые нагрузки вдавливания: 0,049 (5), 0,098 (10), 0,196 (20), 0,49 (50), 0,98 (100), 1,962 (200), 4,9 (500) Н (гс). Значение нагрузки вдавливания подбирается таким образом, чтобы минимальная толщина образца или слоя была больше длины диагонали отпечатка в 1,5 раза.

Основным индентором при определении микротвердости является четырехгранная алмазная пирамида с квадратным основанием.

- Однако применяют инденторы и другой формы. Так, например, трехгранную пирамиду с основанием в виде равностороннего треугольника используют для определения микротвердости более $10\ 000\ \text{H}/\text{мм}^2$ ($1019\ \text{кгс}/\text{мм}^2$) под нагрузкой вдавливания менее $0,098\ \text{H}$ ($10\ \text{гс}$).
- Четырехгранную пирамиду с ромбическим основанием применяют для материалов с малой толщиной и для контроля анизотропии.
- Для увеличения точности измерения микротвердости используют индентор Кнуппа, представляющий собой четырехгранную алмазную пирамиду, в основании которой лежит не квадрат, а параллелограмм, одна диагональ которого в 7 раз больше другой

Метод кинетической (универсальной) твердости

Метод *кинетической твердости* основан на непрерывном плавном вдавливании индентора с регистрацией диаграммы деформирования в координатах нагрузка P — глубина внедрения индентора t . Такая диаграмма, содержащая ветви нагружения и разгрузки, позволяет проследить процесс упругопластического деформирования во времени.

Основные преимущества этого метода испытания на твердость заключаются в возможности:

- разделения упругой и пластической составляющих общей упругопластической деформации при вдавливании индентора;
- определения невосстановленной и восстановленной твердости;
- испытания материалов с высокими упругими свойствами, значительно уменьшающими геометрические параметры отпечатка после разгрузки;
- автоматизированного испытания при взаимодействии испытательного прибора с компьютером.



Внешний вид твердомеров: а – цифровой твердомер по Бринеллю (производитель Time Group Inc); б – цифровой твердомер по Роквеллу 600MRD; в – Твердомер по Виккерсу SP-5 с видео измерением

а



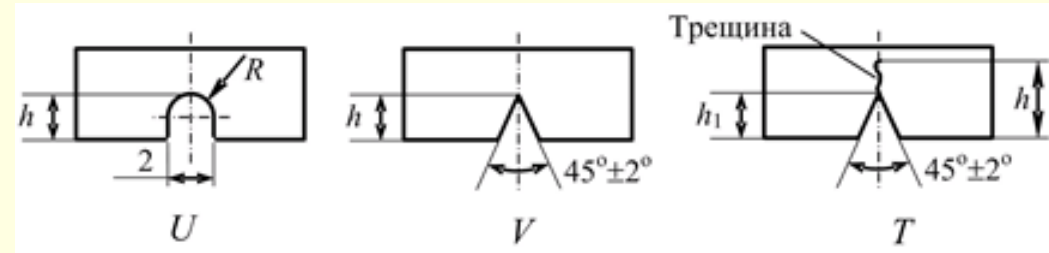
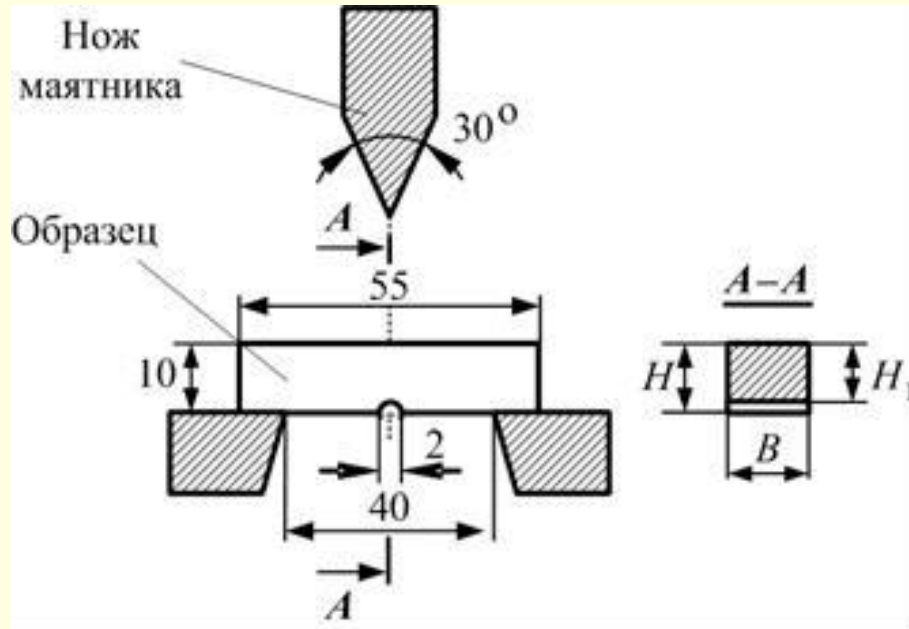
б



в



Основным **динамическим испытанием** является метод испытания на ударный изгиб в соответствии с **ГОСТ 9454–78 «Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах».**



Внешний вид копра для проведения испытаний образцов на ударную вязкость: а – маятниковый копер Zwick/Roell, Германия; б – маятниковый копер Точприбор, Россия

а



б



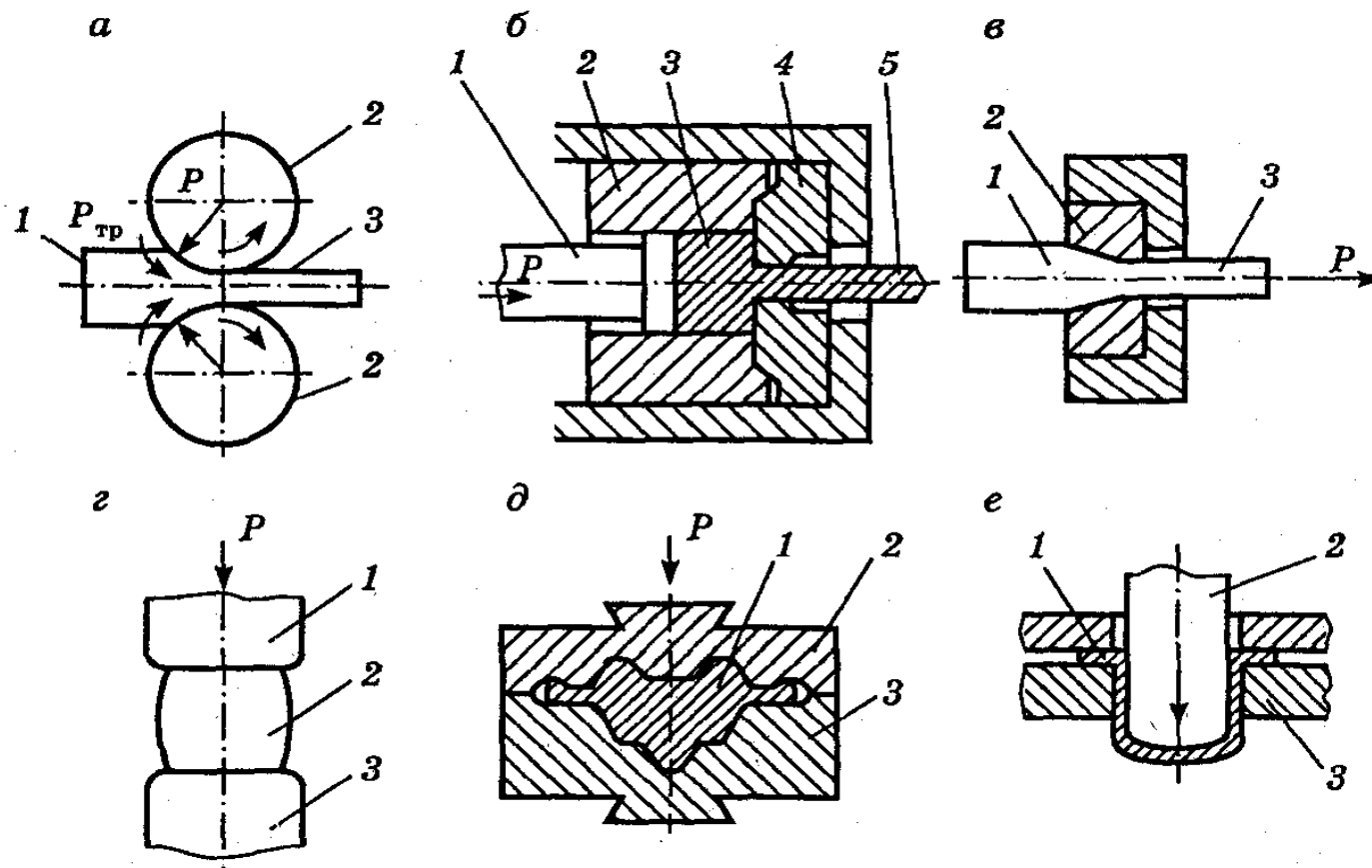
Обработка металлов давлением (технология получения изделий пластическим деформированием)

Доцент кафедры «Порошковая металлургия,
сварка и технология материалов» МТФ БНТУ
к.т.н., доцент В. А. Сидоров

Основы теории обработки металлов давлением

- *Обработкой металлов давлением (ОМД)* называют группу технологических процессов, в результате которых под влиянием приложенных внешних сил происходит изменение формы заготовок без нарушения их сплошности.
- Основной задачей всех видов обработки давлением является придание металлу желаемой формы посредством процесса пластической деформации. В результате изменяются не только форма и размеры заготовки, но и структура и свойства исходного металла.

Виды обработки металлов давлением



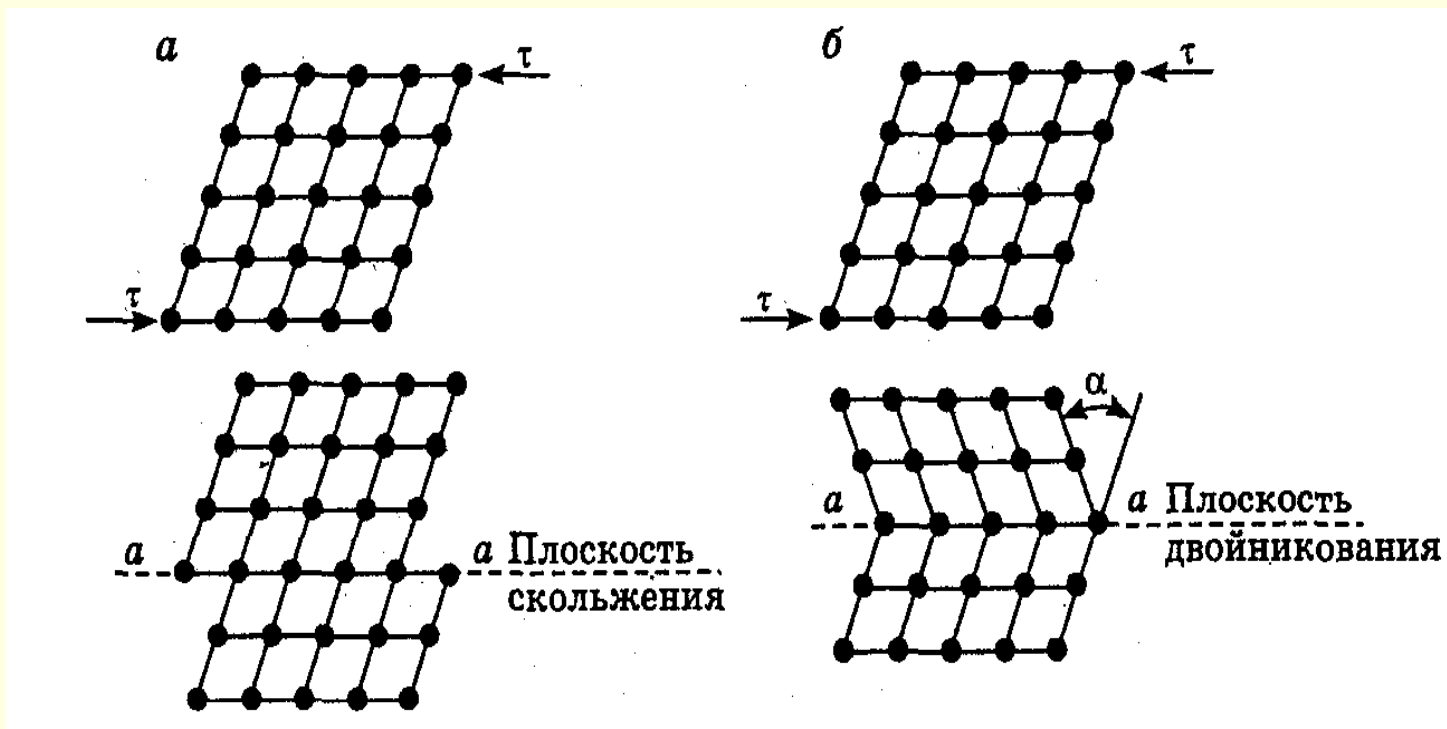
а — прокатка (1 — заготовка; 2 — валок; 3 — изделие); **б** — прессование (1 — пуансон; 2 — контейнер; 3 — заготовка; 4 — матрица; 5 — изделие); **в** — волочение (1 — заготовка; 2 — волока; 3 — изделие); **г** — ковка (1, 3 — верхний и нижний бойки; 2 — заготовка); **д** — объемная штамповка (1 — заготовка; 2, 3 — верхняя и нижняя половины штампа); **е** — листовая штамповка (1 — заготовка; 2 — пуансон; 3 — матрица)

- При обработке металлов давлением в заготовке под действием внешних сил возникают напряжения. Если они невелики, происходит *упругая деформация*, при которой атомы металла смещаются от положений устойчивого равновесия на очень малые расстояния, не превышающие межатомные.
- С увеличением внешней нагрузки напряжения в заготовке растут, что ведет к смещению атомов от положений устойчивого равновесия на расстояния, значительно превышающие межатомные. После снятия нагрузки атомы занимают новые места устойчивого равновесия, поэтому форма тела не восстанавливается.
- Такое необратимое изменение формы тела называется *пластической деформацией*.
- Способность металла подвергаться пластической деформации называется *пластичностью*.

■ Общая пластическая деформация поликристаллического тела складывается из деформаций двух видов — **внутрикристаллитной и межкристаллитной**.

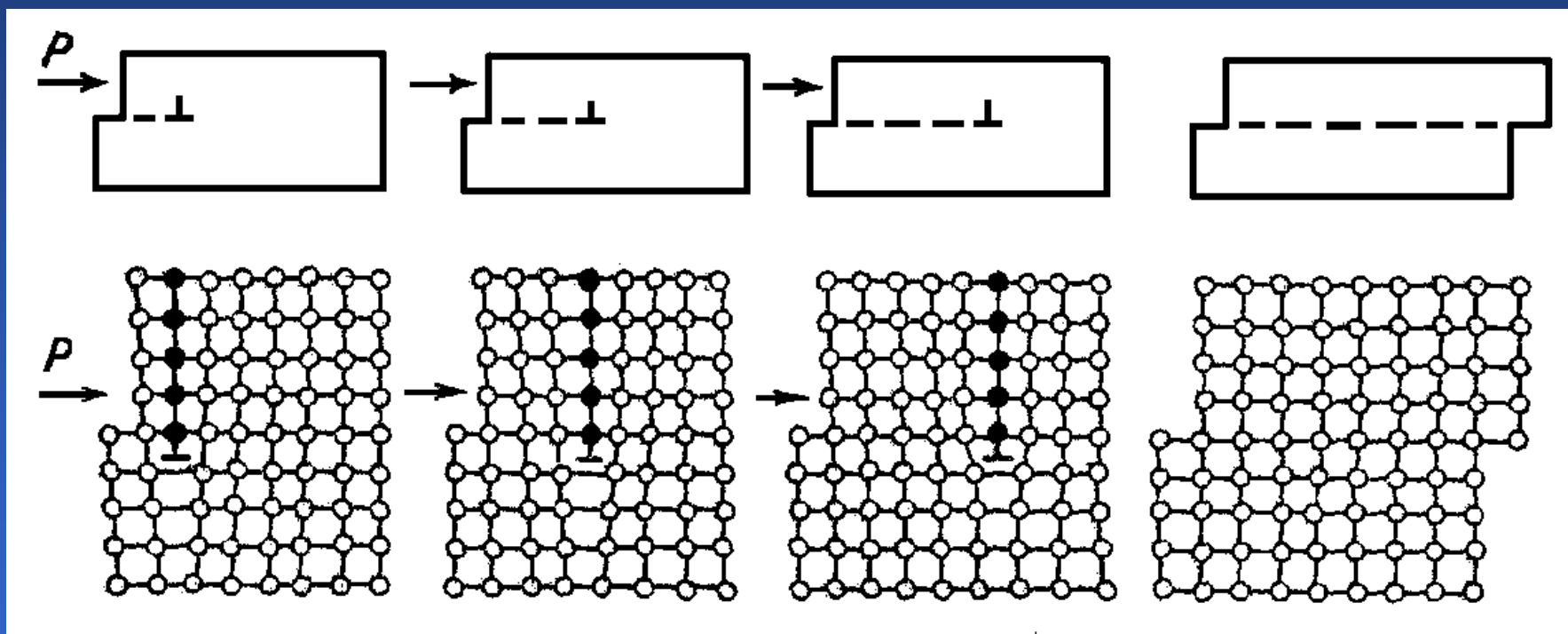
■ При **внутрикристаллитной деформации** пластическая деформация в **отдельно взятом зерне** происходит в основном за **счет скольжения** одних тонких атомных слоев кристаллита относительно других (рис. 16.2, *a*), причем их относительное смещение составляет примерно 10...23 нм. Смещения совершаются по кристаллографическим плоскостям (*a* — *a*), наиболее плотно упакованным атомами и называемым **плоскостями скольжения**. Скольжение атомных слоев происходит в первую очередь по тем плоскостям, которые наклонены по отношению к направлению действия усилия сжатия *P* на 45° (рис. 16.3, *a*), так как по этим направлениям действуют максимальные касательные напряжения.

Схема механизма пластической деформации: *а* — скольжением; *б* — двойникованием

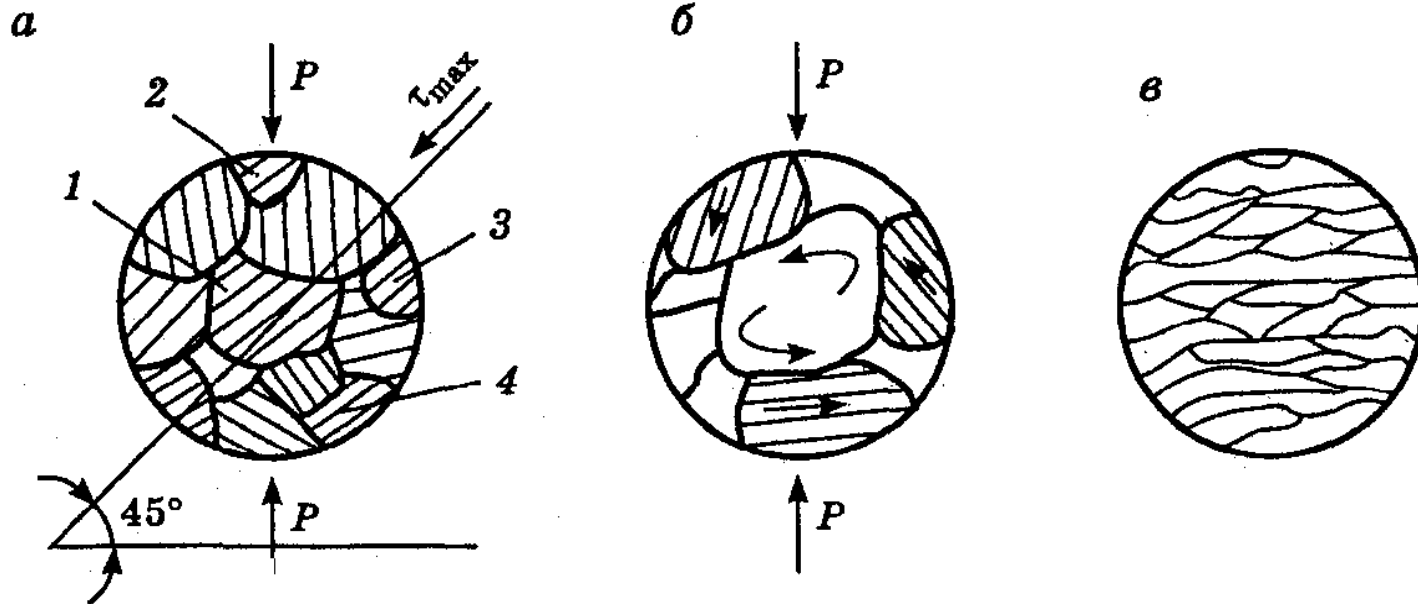


-
- Процесс двойникования состоит в смещении **группы атомов** относительно плоскости $a-a$, называемой *плоскостью двойникования*, в результате которого часть кристаллита занимает положение, зеркально отражающее положение его не деформированной части.

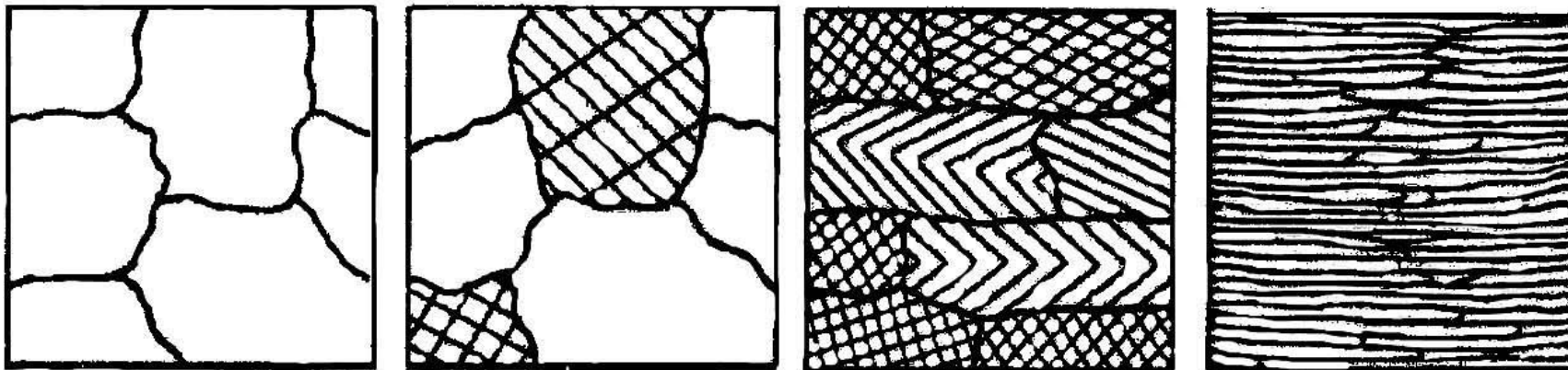
Схема сдвига на один параметр решетки верхней части зерна относительно его нижней части при движении дислокации через всю плоскость скольжения



Поликристаллическое строение металла (а),
межкристаллитная деформация (б) и вытянутая
форма деформированных кристаллитов (в)



Изменение микроструктуры поликристаллического металла при деформации



а

б

в

г

а – исходное состояние ($\varepsilon = 0 \%$);
б – $\varepsilon = 1 \%$; в – $\varepsilon = 40 \%$; г – $\varepsilon = 80-90 \%$

Упрочнение (наклеп)

- При пластической деформации в металле возникают **дополнительные дислокации**, происходит их пересечение и накопление на границах зерен, в результате чего образуются осколки кристаллитов. Это затрудняет дальнейшую деформацию, вызывает повышение прочности и твердости металла, снижение пластичности и изменение физико-химических свойств.
- **Явление повышения упругих свойств металла и снижение пластичности в результате пластического деформирования называется *наклепом*, или *упрочнением*.**
- Наклеп наблюдается в основном в процессе холодной пластической деформации металлов и сплавов.

■ *Холодная деформация* сопровождается упрочнением металла в полном объеме, так как процессы разупрочнения (рекристаллизация, возврат) не успевают протекать.

■ При *неполной горячей деформации (теплая)* происходят частичное восстановление искаженной кристаллической структуры и уменьшение остаточных напряжений в металле. Осуществляется при температуре $T = (0,25...0,3) T_{пл}$. При неполной горячей пластической деформации металл упрочняется в меньшей степени, чем при холодной, и приобретает строчечную и волокнистую структуру.

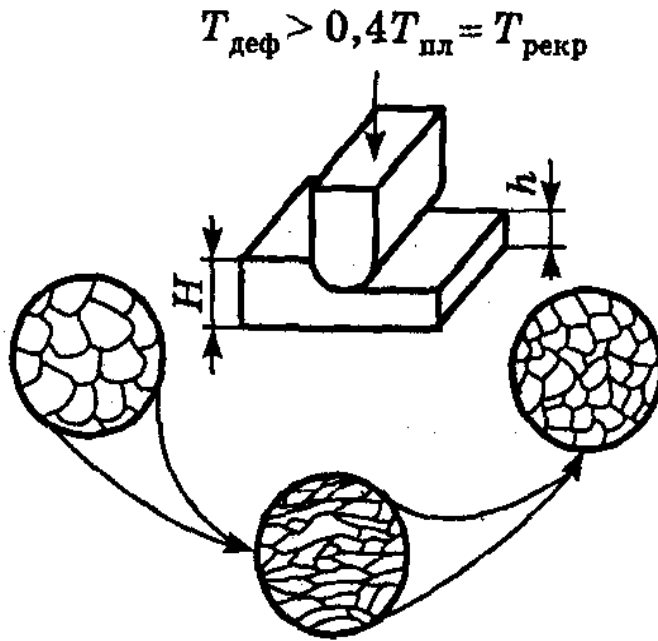
■ *Горячая деформация* характеризуется таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, (т.е. зарождения и роста новых равноосных зерен с неискаженной кристаллической структурой), при котором рекристаллизация успевает произойти во всем объеме металла. Она проводится при температуре $T > 0,4 T_{пл}$. **Рекристаллизация полностью ликвидирует строчечную структуру и упрочнение деформированного металла.** При горячей деформации волокнистое строение металла сохраняется, так как вытянутые деформацией неметаллические включения при рекристаллизации не изменяются.

Деформация металлов:

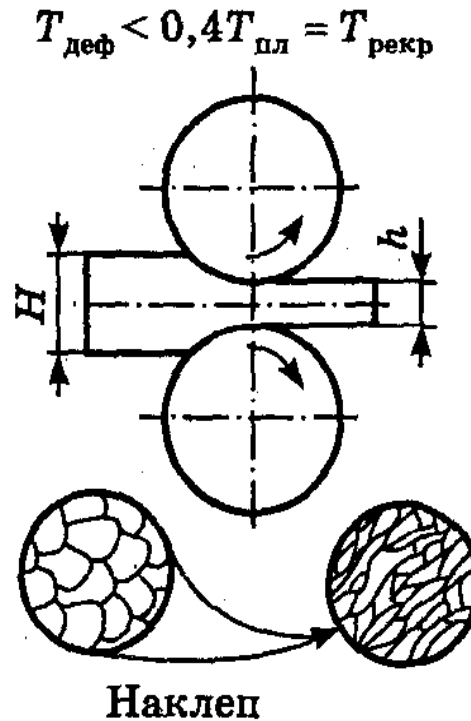
a — горячая; *б* — холодная;

в — зависимость свойств металла от степени деформации

a



б



в



Факторы влияющие на пластичность металлов

- *Температура*

- *Степень и скорость деформации* оказывают на металл одновременно упрочняющее и разупрочняющее действия.

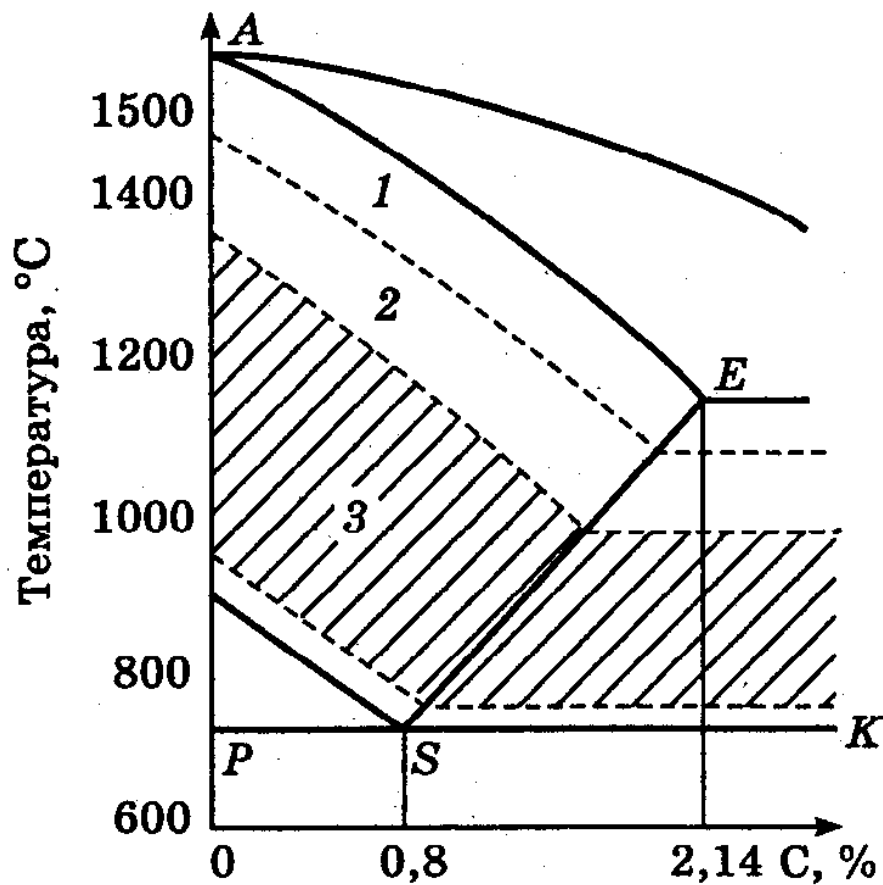
- *Химический состав сплава* заготовок под ОМД регламентируется ГОСТом (снижают пластичность металла - азот, кислород, водород, сера и фосфор).

- *Микроструктура*: размер зерна, равноосность и равномерность зерен, наличие и отсутствие в стали перлита, цементита и т.д.

- *механическая схема деформации.*

Нагрев и режимы нагрева металла

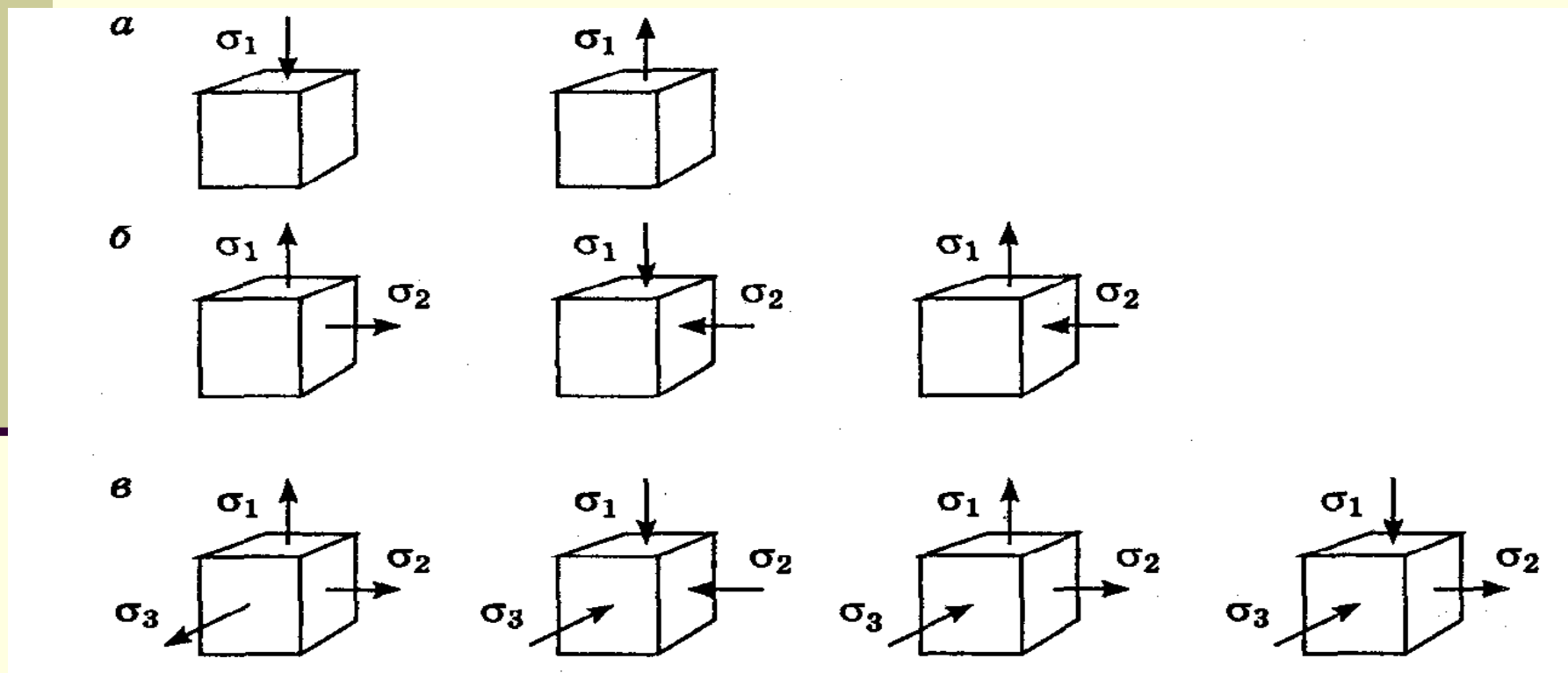
1 — пережог; 2 — перегрев; 3 — область горячей обработки давлением



Влияние степени деформации

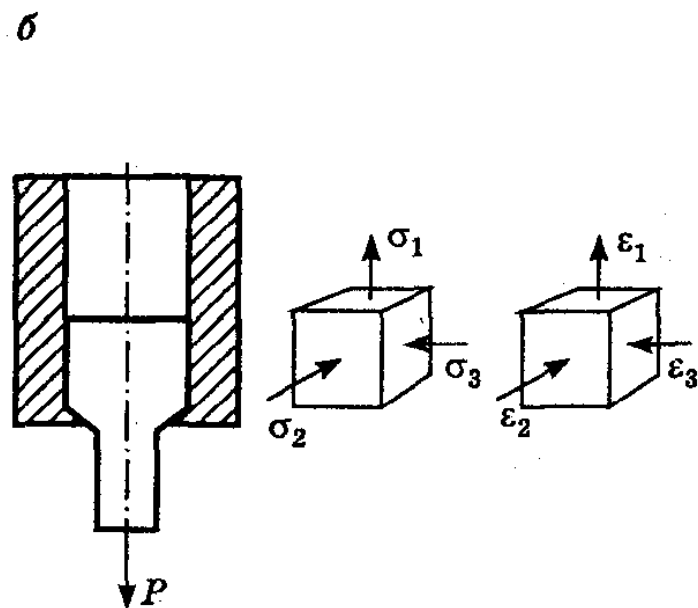
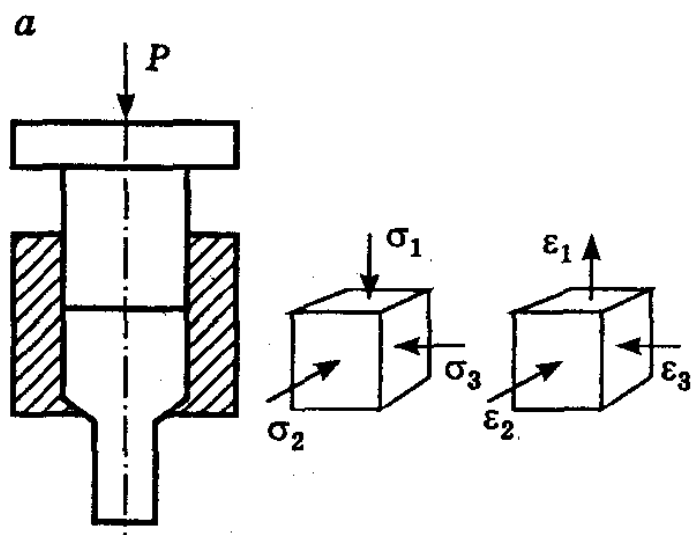


Обзор различных видов напряженно-деформированного состояния: а — одноосное (линейное) напряженное состояние; б — двухосное (плоское) напряженное состояние; в — трехосное (объемное) напряженное состояние

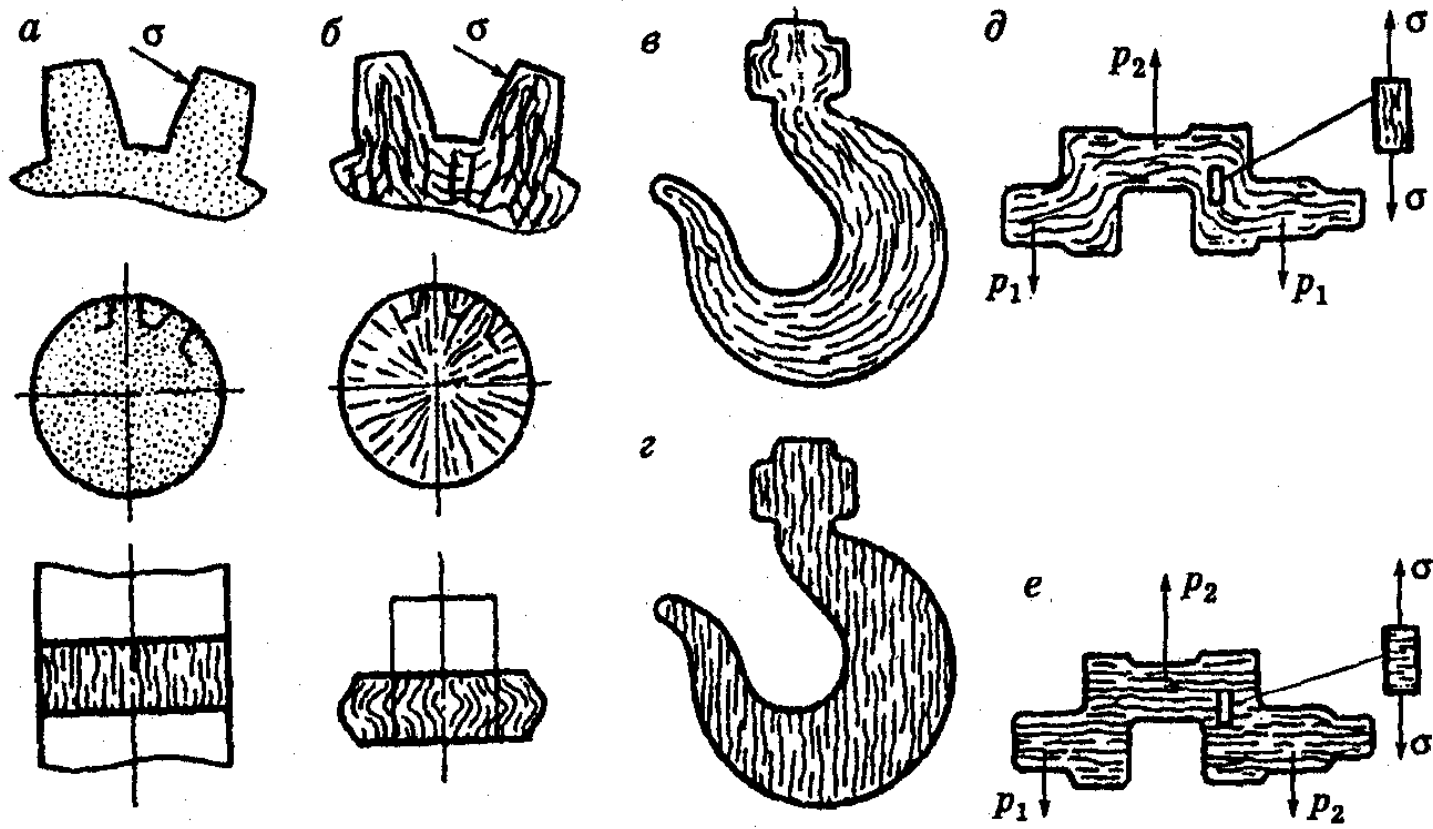


Влияние схемы деформации

а – при прессовании; б – при волочении



Влияние ОМД на микроструктуру

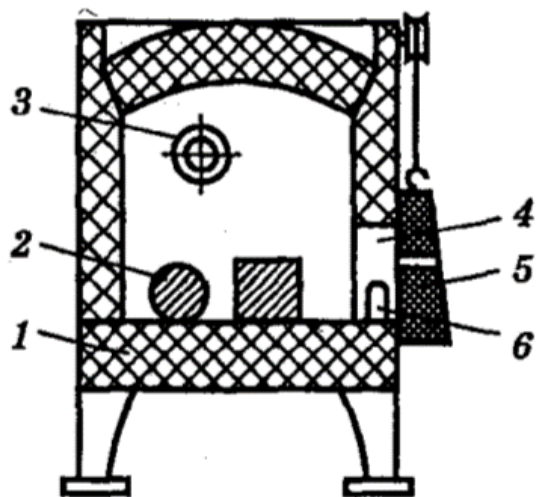


Нагревательные устройства

На заводах применяют различные по принципу действия и конструкции нагревательные устройства. Они классифицируются:

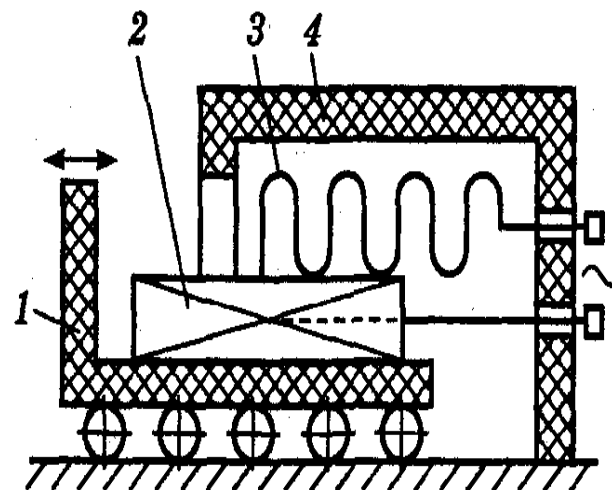
- по номинальной (максимальной рабочей) температуре,
- способу нагрева,
- конструктивным признакам (режим загрузки-выгрузки заготовок).
- По *способу нагрева* нагревательные устройства делятся на пламенные и электрические (косвенного, прямого контактного нагрева и индукционного нагрева)
- По *принципу работы* нагревательные устройства бывают периодического и непрерывного действия (методические).

Нагревательные устройства



а

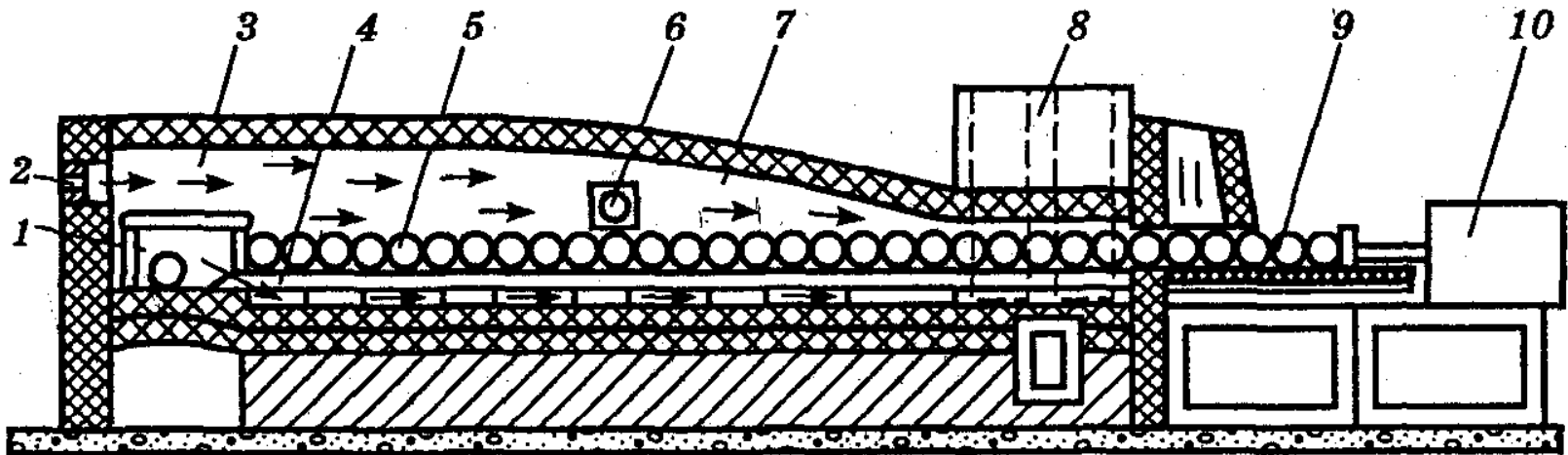
а) камерная нагревательная печь



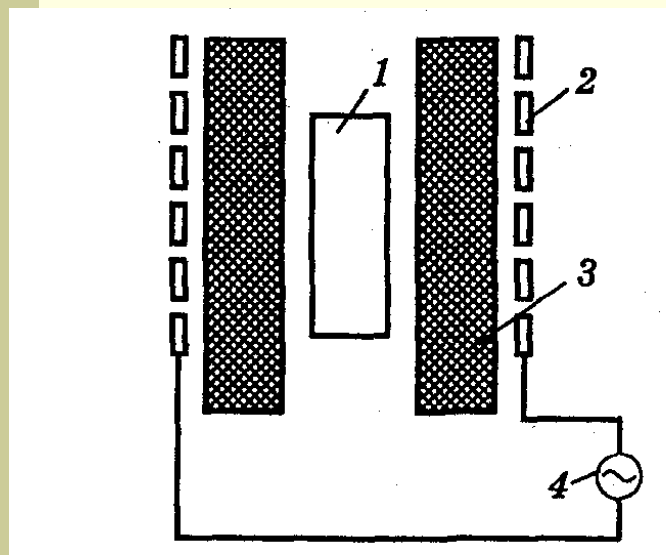
б

б) камерная электропечь с выдвижным ПОДОМ

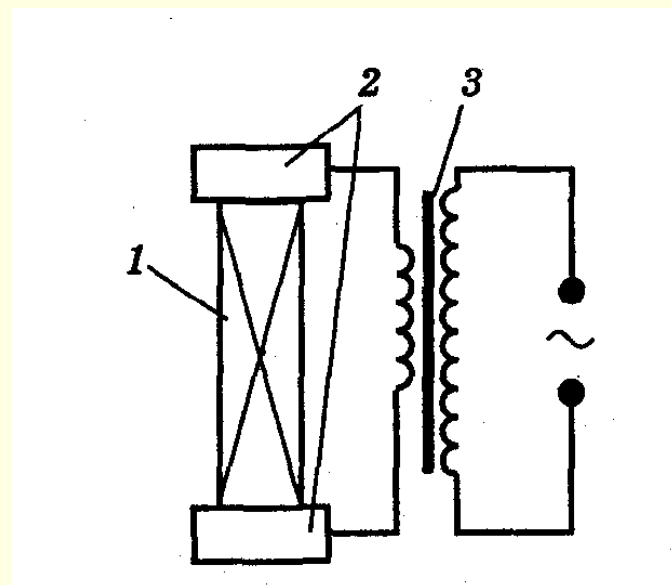
Полуметодическая пламенная печь



Нагревательные устройства



а)



б)

а-схема установки индукционного нагрева

б -схема электроконтактной установки
(1-заготовка)

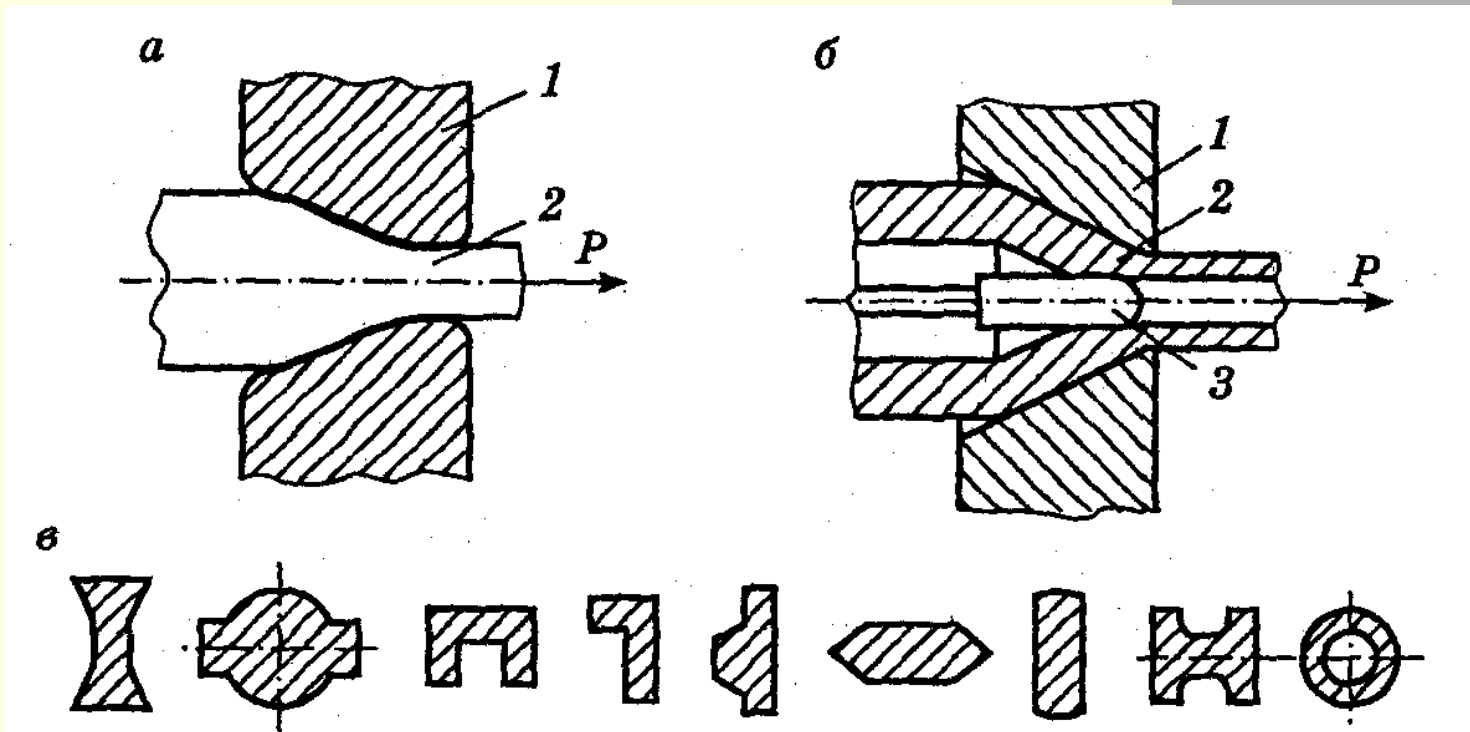
Виды обработки металлов давлением.

Волочение

- ***Волочение*** — процесс обработки давлением, при котором пластическая деформация заготовки в холодном состоянии осуществляется за счет ее протягивания через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом *волокой*, или *фильерой*.

Виды обработки металлов давлением.

Волочение



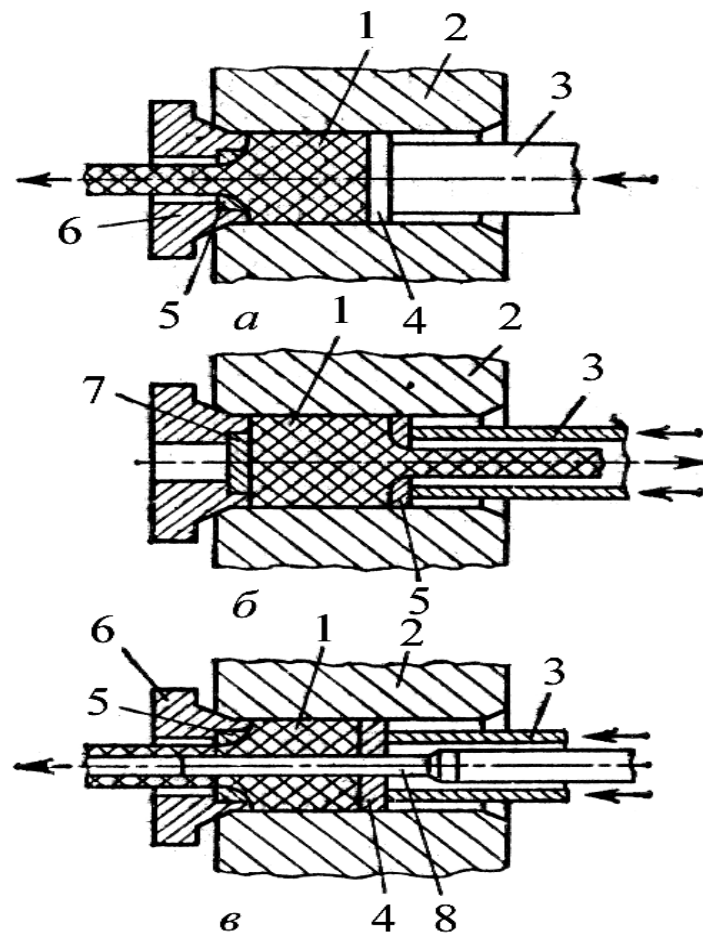
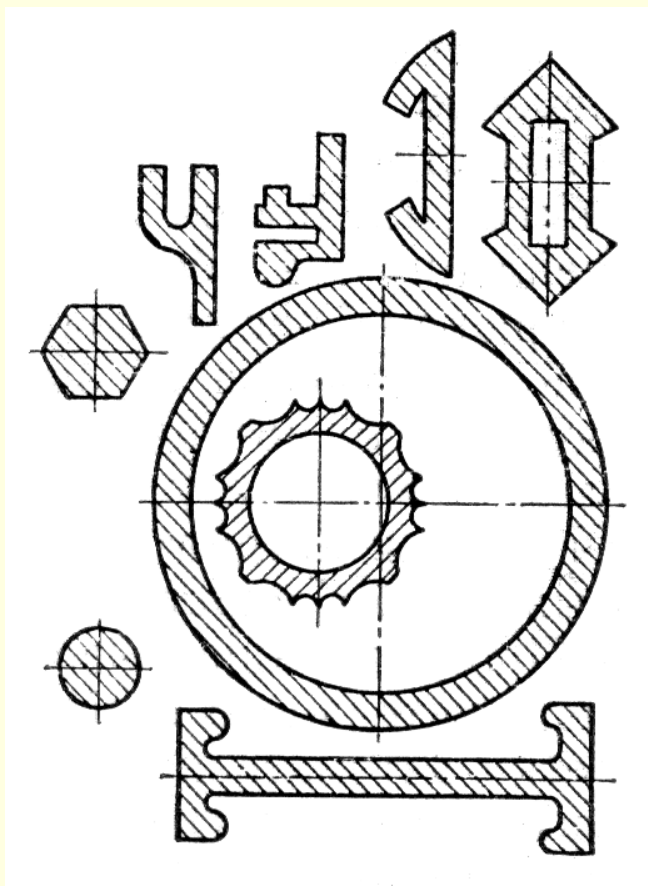
Схемы волочения прутка (а), трубы (б) и примеры профилей, получаемых волочением (в):

1 — фильера; 2 — заготовка; 3 — оправка

Прессование

- *Прессование* — способ обработки металлов давлением, при котором металл выдавливают из замкнутой полости через отверстие инструмента, называемого *матрицей*, в результате чего получают изделие с сечением по форме отверстия матрицы
- При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию, благодаря чему имеет высокую пластичность.

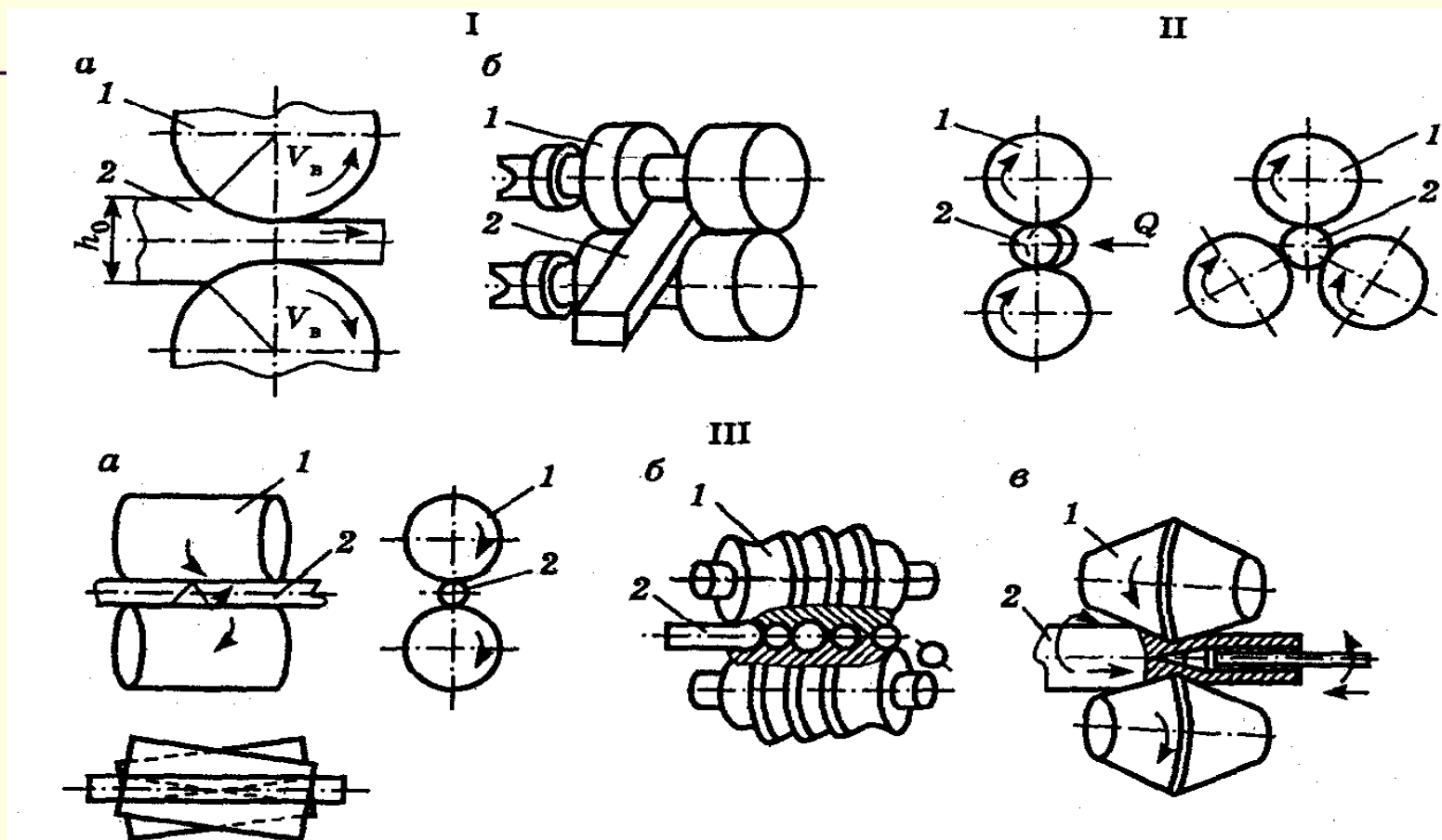
Прессование (виды изделий и схемы прессования)



Прокатка

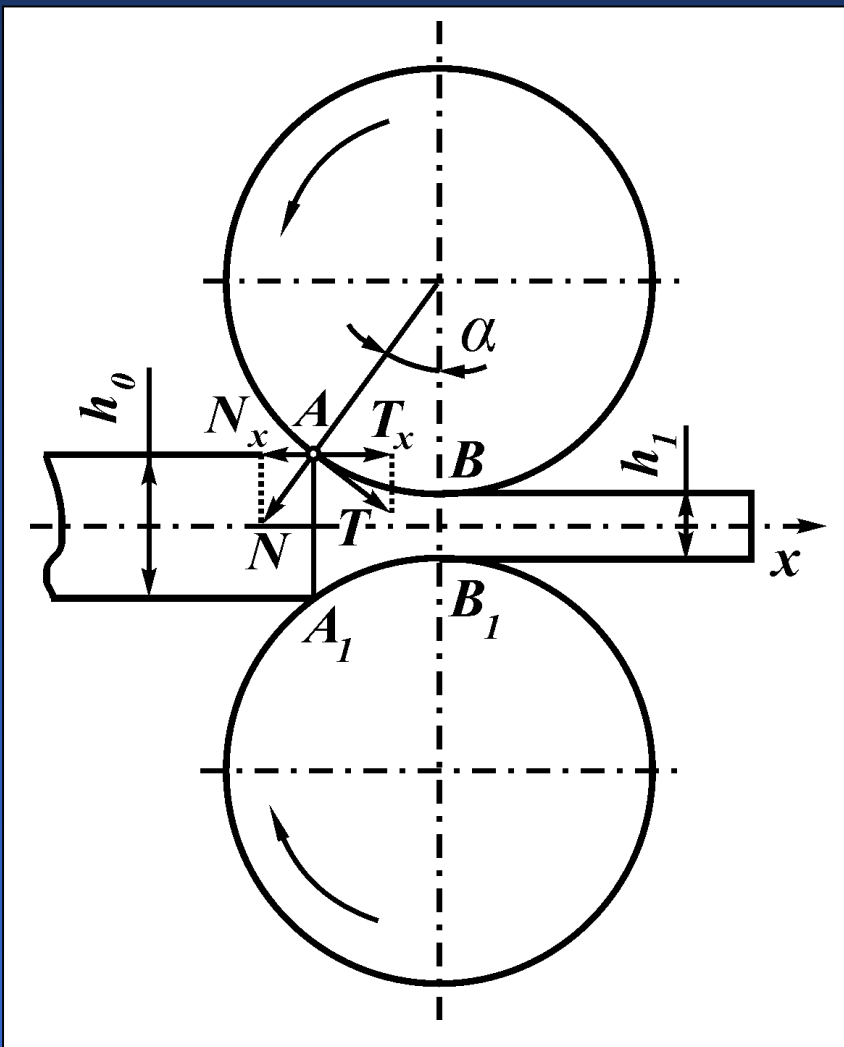
Прокаткой называют вид обработки давлением, при котором металл пластически деформируется вращающимися гладкими или имеющими соответствующие канавки (ручьи) валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. При этом получают *прокат* — готовые изделия или заготовки для последующей обработки ковкой, штамповкой, прессованием, волочением или резанием. В прокат перерабатывают до 80 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов и сплавов

Виды прокатки



I — продольная прокатка (а — в гладких валках; б — в калибрах); II — поперечная прокатка; III — поперечно-винтовая (косая) прокатка (а — в гладких валках; б — в спиральных валках; в — винтовая (косая) прокатка труб)

Определение угла захвата заготовки прокатными валками



Спроектировав силы трения T и нормальные силы N на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками:

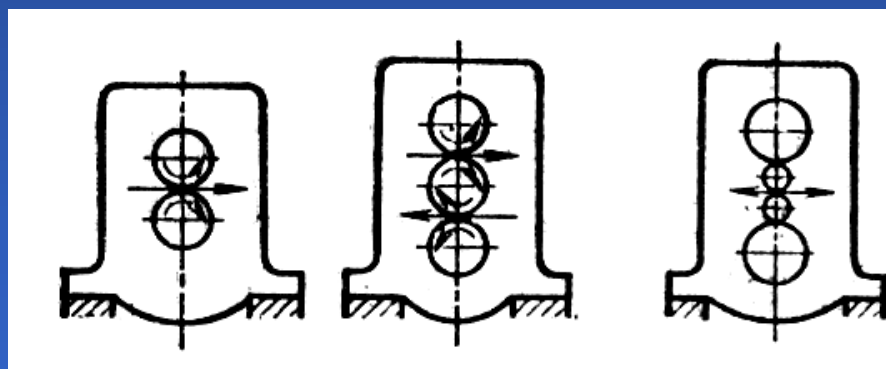
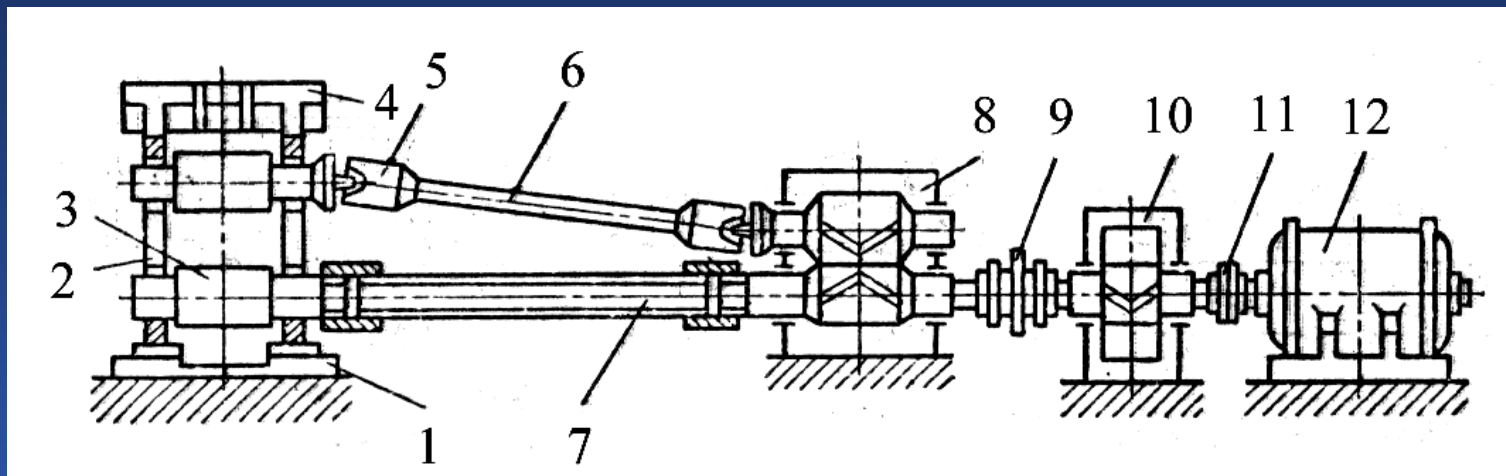
$$T_x > N_x.$$

Условие захвата металла можно выразить: $T \cdot \cos\alpha > \sin\alpha$.

Выразив силу трения T через нормальную силу N и коэффициент трения f : $T = f \cdot N$ и, подставив это выражение в условие захвата, получим:

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

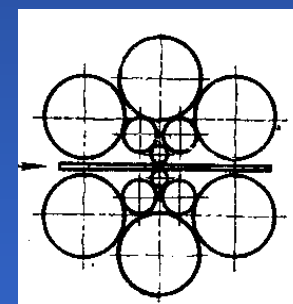
Схема прокатного стана и классификация прокатных станов по числу валков



а

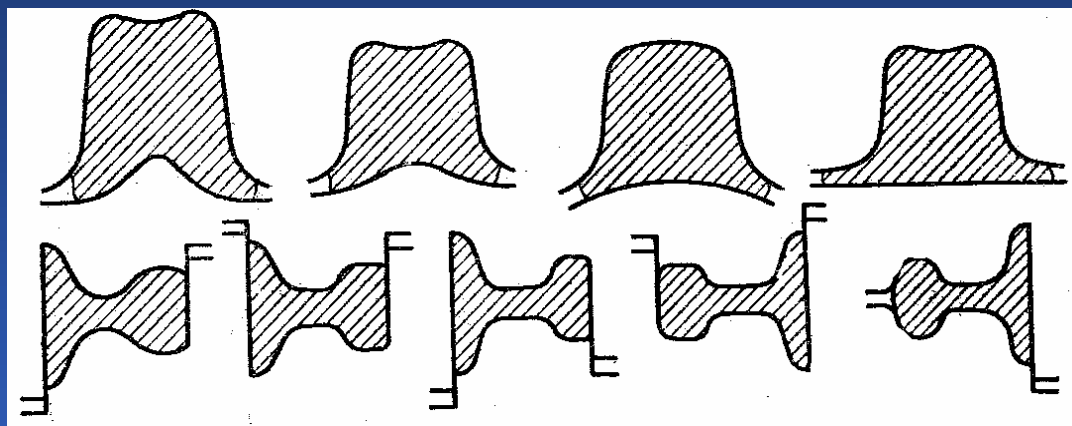
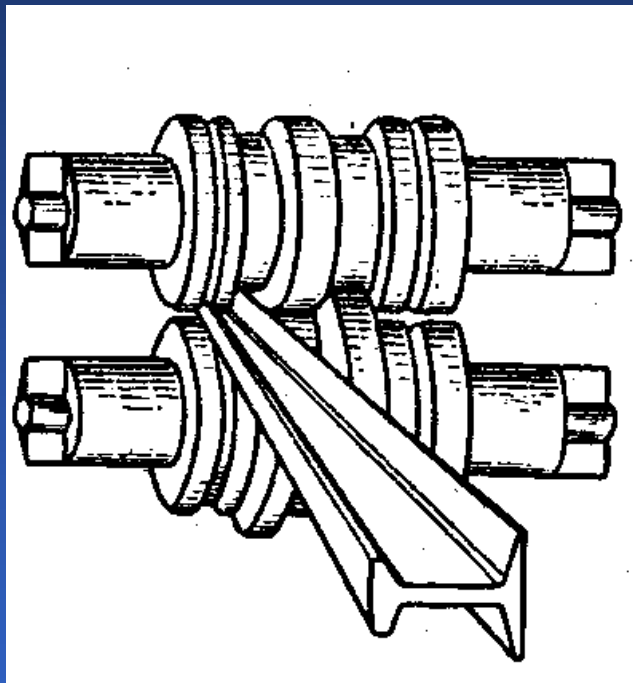
б

в

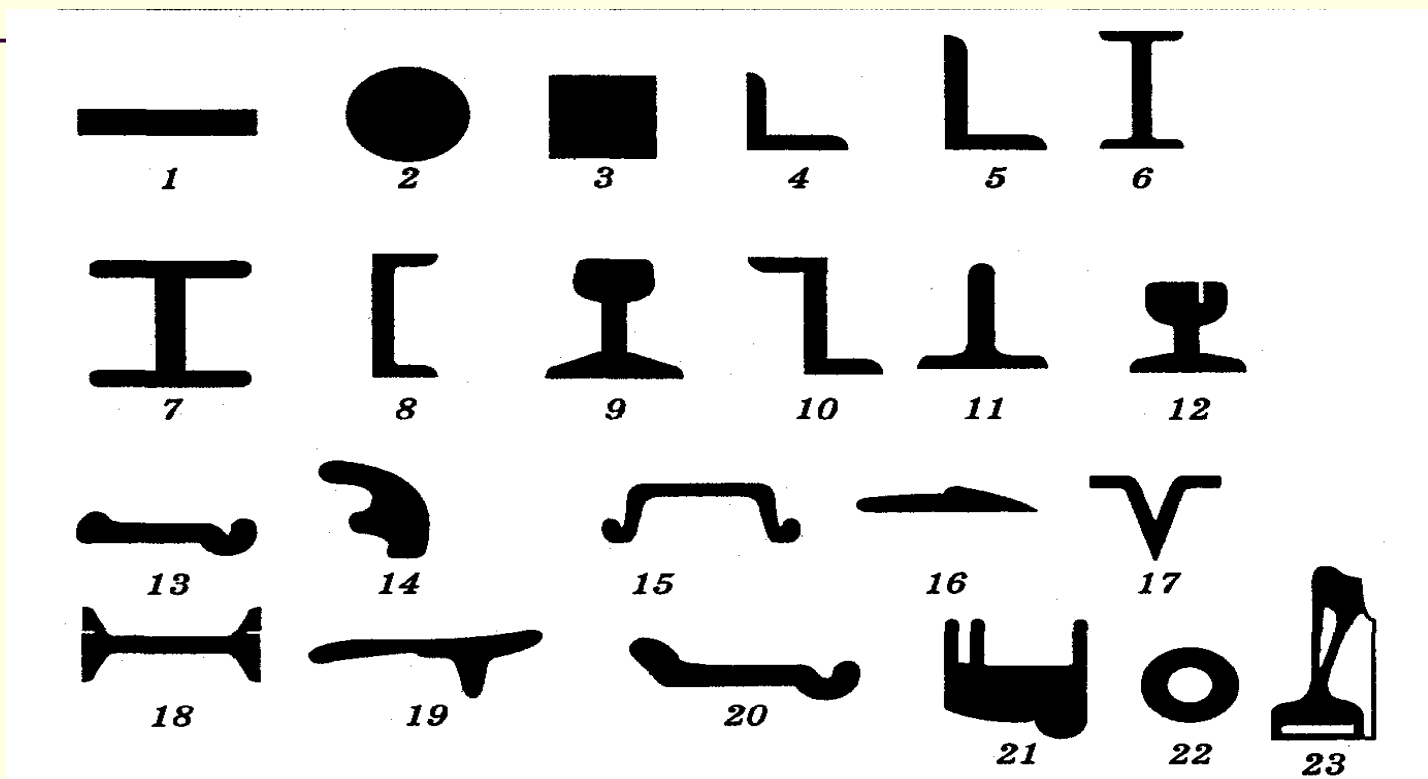


г

Прокатные валки и система калибров для получения рельсов



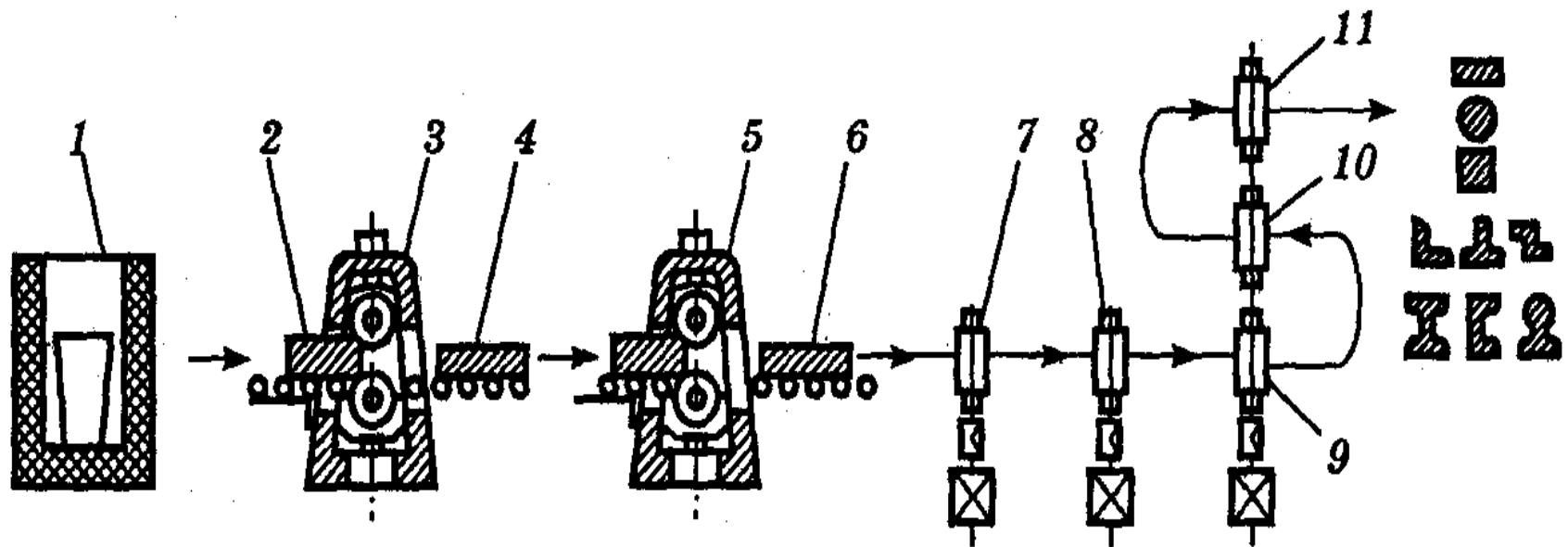
Сортаментом прокатного стана называется совокупность профилей (форм поперечных сечений), прокатываемых на данном стане.



1 — полосовая, или листовая, сталь; 2 — круглая сталь; 3 — квадратная сталь; 4 — угловая равнобокая сталь; 5 — угловая неравнобокая сталь; 6 — двутавровая балка нормальная; 7 — широкополочная двутавровая балка; 8 — швеллер; 9 — рельс; 10 — зетовая сталь; 11 — тавровая сталь; 12 — рельс трамвайный; 13 — автообод; 14 — бортовое кольцо; 15 — шпунтовая свая; 16 — лемешная сталь; 17 — шпора трактора; 18 — шпунт; 19 — сталь для башмака (гусеницы трактора); 20 — сталь для обода колеса грузового автомобиля; 21 — бандаж; 22 — труба; 23 — колесо

Технология производства сортового проката

~~(схема прокатного производства сортового проката)~~

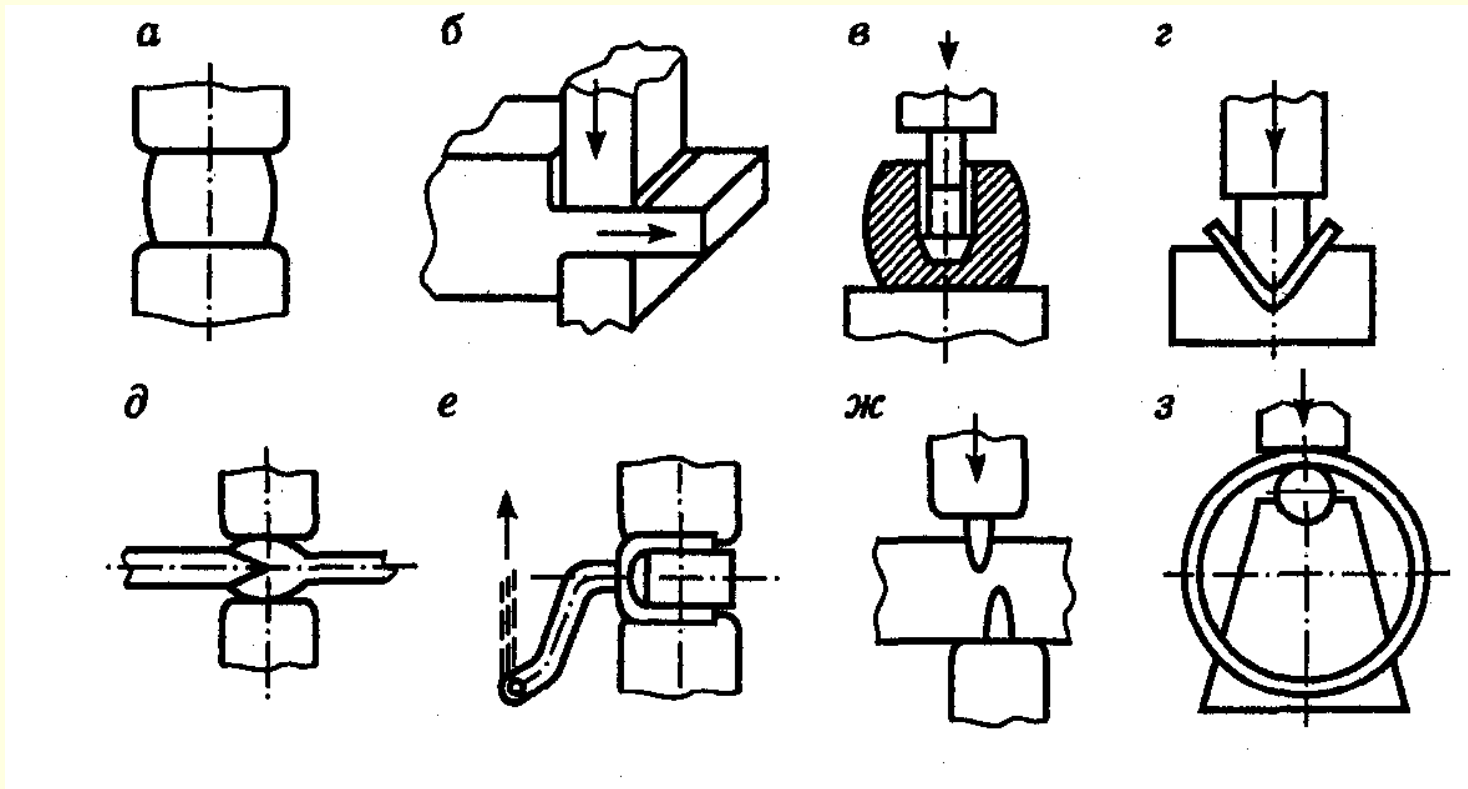


Ковка

■ **Ковка** — один из способов обработки металлов давлением, при котором инструмент оказывает многократное воздействие на нагретую заготовку, в результате чего она, деформируясь, постепенно приобретает заданную форму и размеры.

Мелкие поковки массой менее 50 кг и средние массой 50...400 кг в единичном и мелкосерийном производствах выполняют ковкой, поскольку их изготовление штамповкой экономически нецелесообразно из-за высокой стоимости и длительности изготовления штампов. Для изготовления поковок используют слитки, блюмы и сортовой прокат.

Основные операции машинной КОВКИ

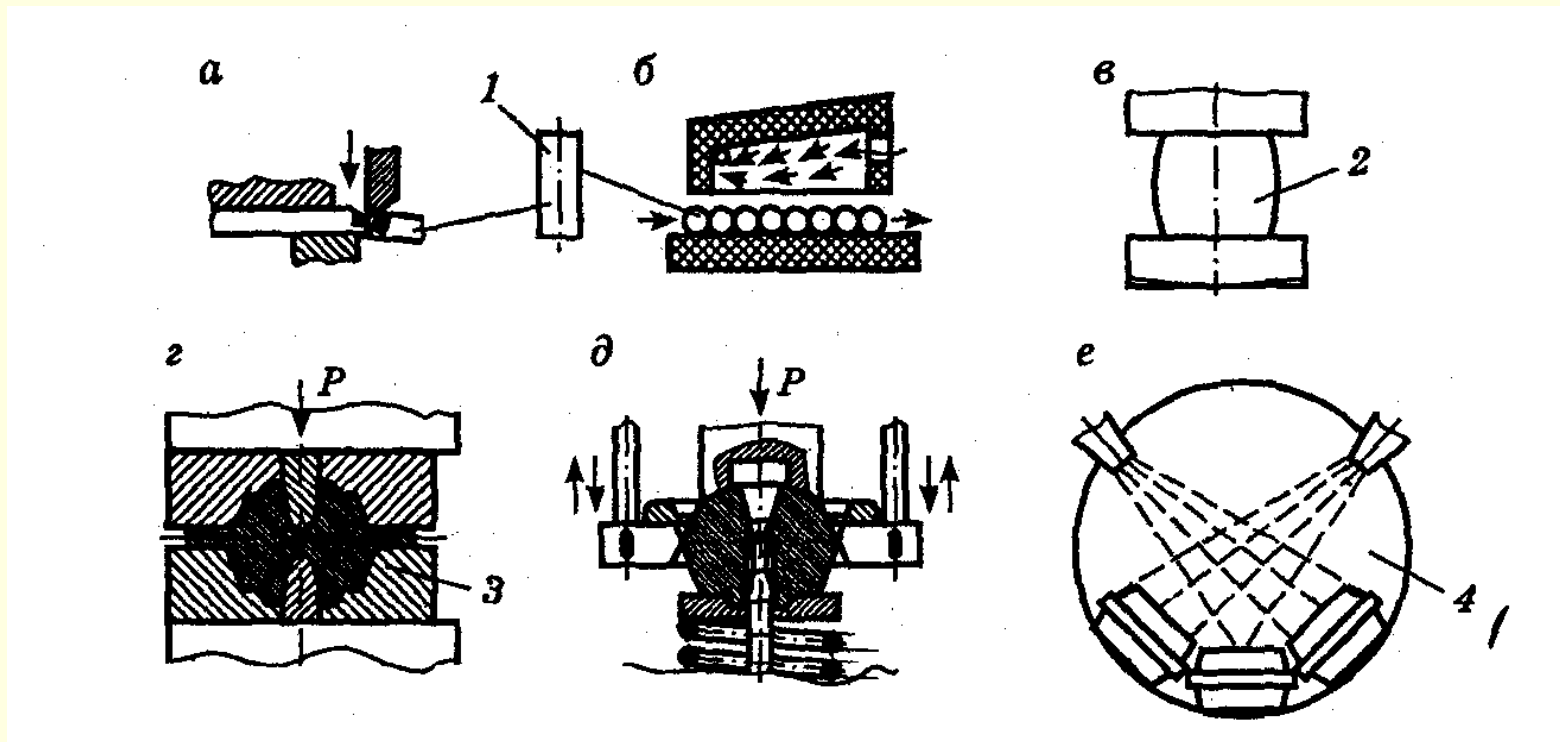


а — осадка; *б* — протяжка; *в* — прошивка; *г* — гибка; *д* — сварка; *е* — скручивание; *ж* — отрубка; *з* — раскатка

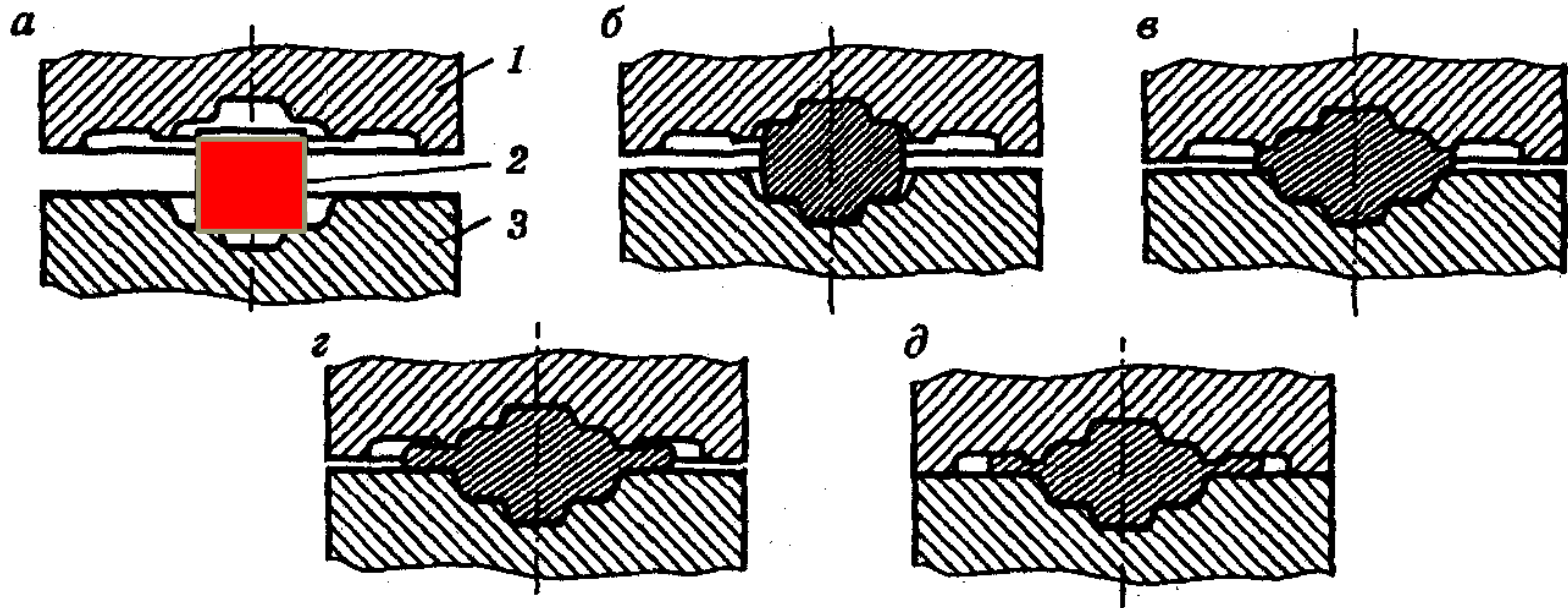
Штамповка

- **Штамповкой** называют процесс обработки материалов давлением в специальном инструменте — *штампе*.
- При штамповке заготовка приобретает заданные форму и размеры путем заполнения материалом рабочей полости штампа. Она обеспечивает достаточно высокую точность размеров и качество поверхности поковок, но ее целесообразно применять при крупносерийном и массовом производстве, так как только тогда оправдаются затраты на дорогостоящие штампы.
- Различают горячую и холодную объемные, листовую и специальные виды штамповки.

Схема техпроцесса горячей объемной штамповки:
а — резка заготовки на пресс-ножницах; *б* — нагрев заготовки; *в* — осадка заготовок; *г* — штамповка; *д* — обрезка облоя и прошивка отверстия; *е* — очистка поковки от окалины



Стадии процесса штамповки



a — начальная стадия; *б* — стадия осадки; *в* — одновременное течение металла в полость штампа и облой; *г* — заполнение углов; *д* — доштамповка
1, 3-верхняя и нижняя части штампа 2- заготовка

Операции, которые производят с поковкой после ее штамповки, называют *отделочными*.

К ним относятся:

- обрезка облоя,
- пробивка отверстий,
- термическая обработка,
- очистка от окалины.,
- правка, калибровка
- контроль качества.

Отделочные операции

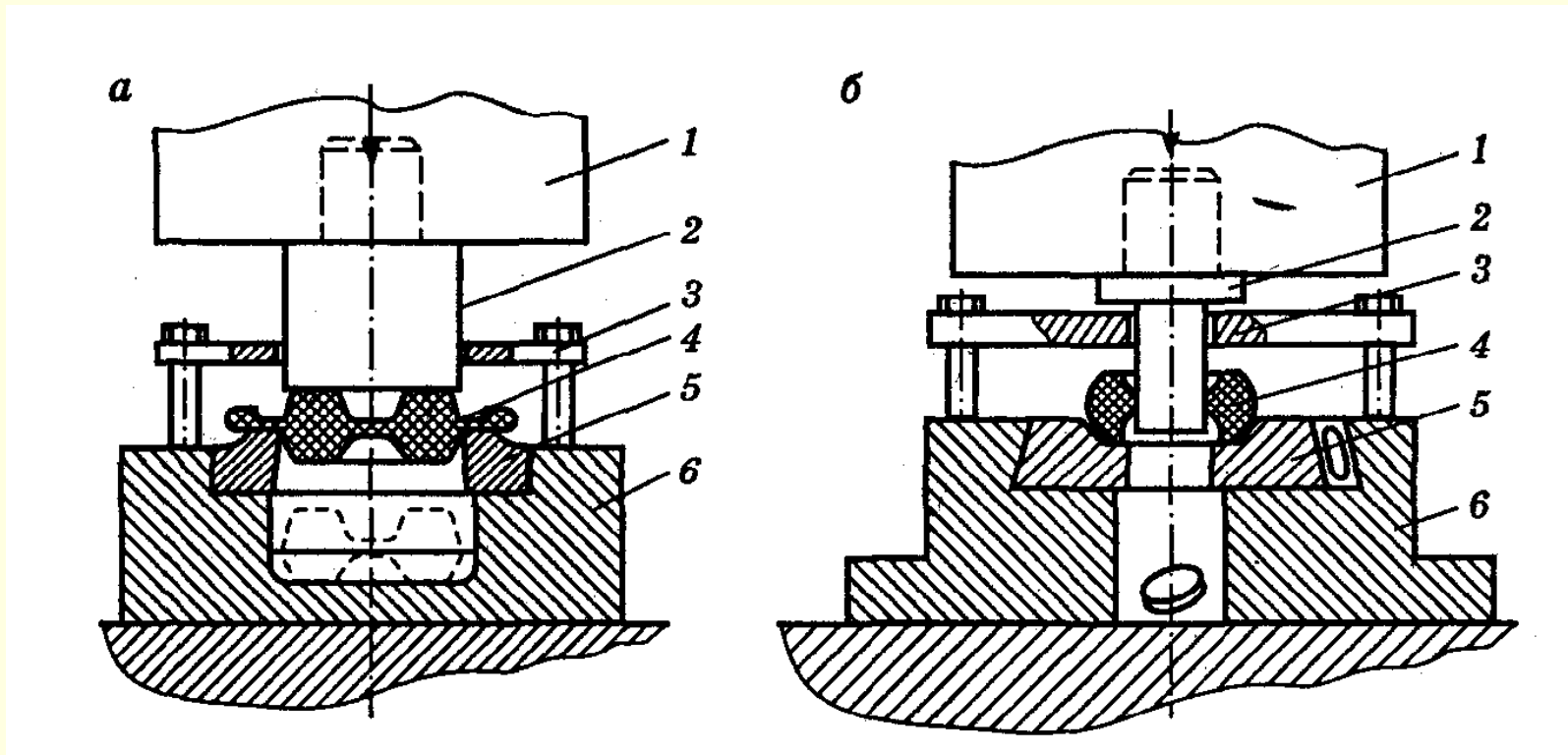
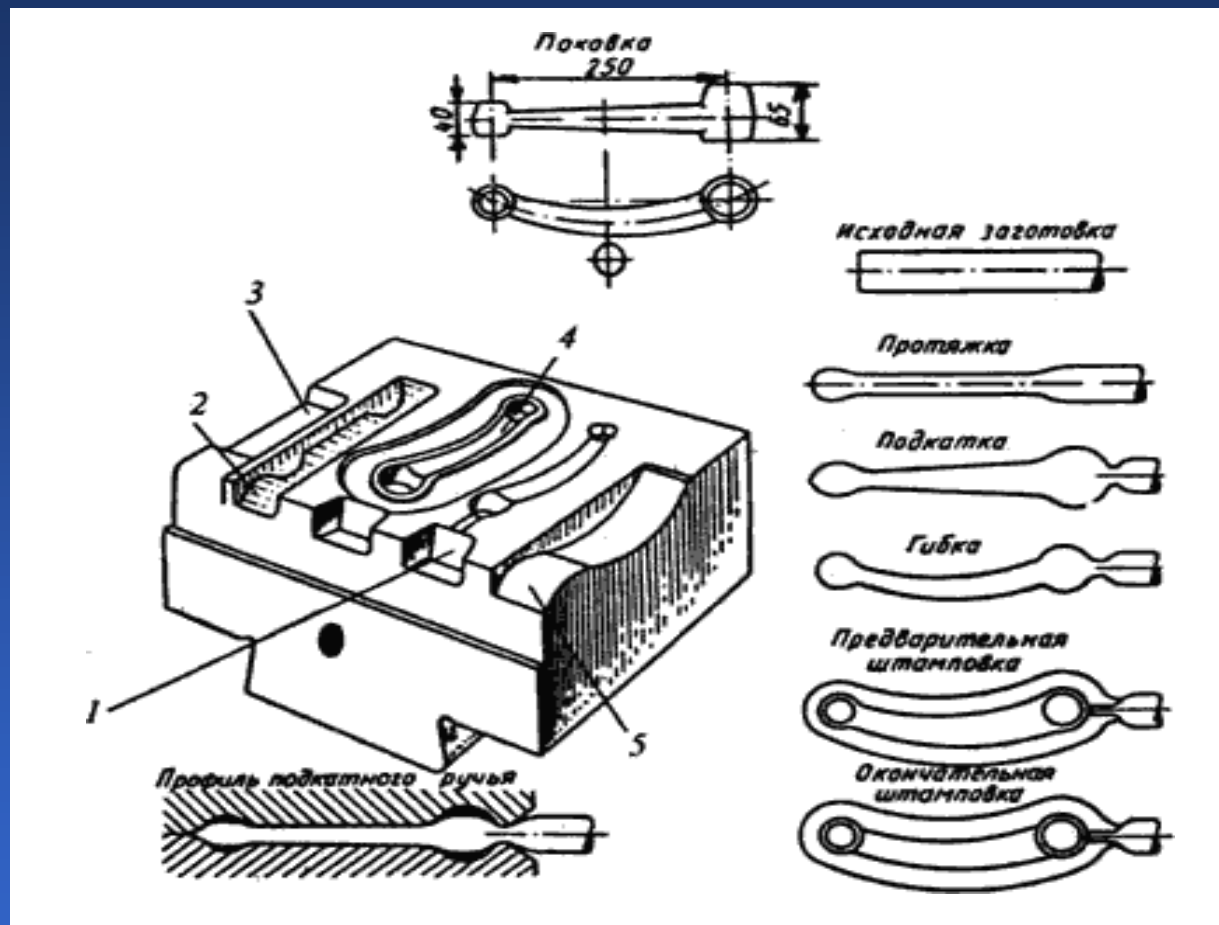


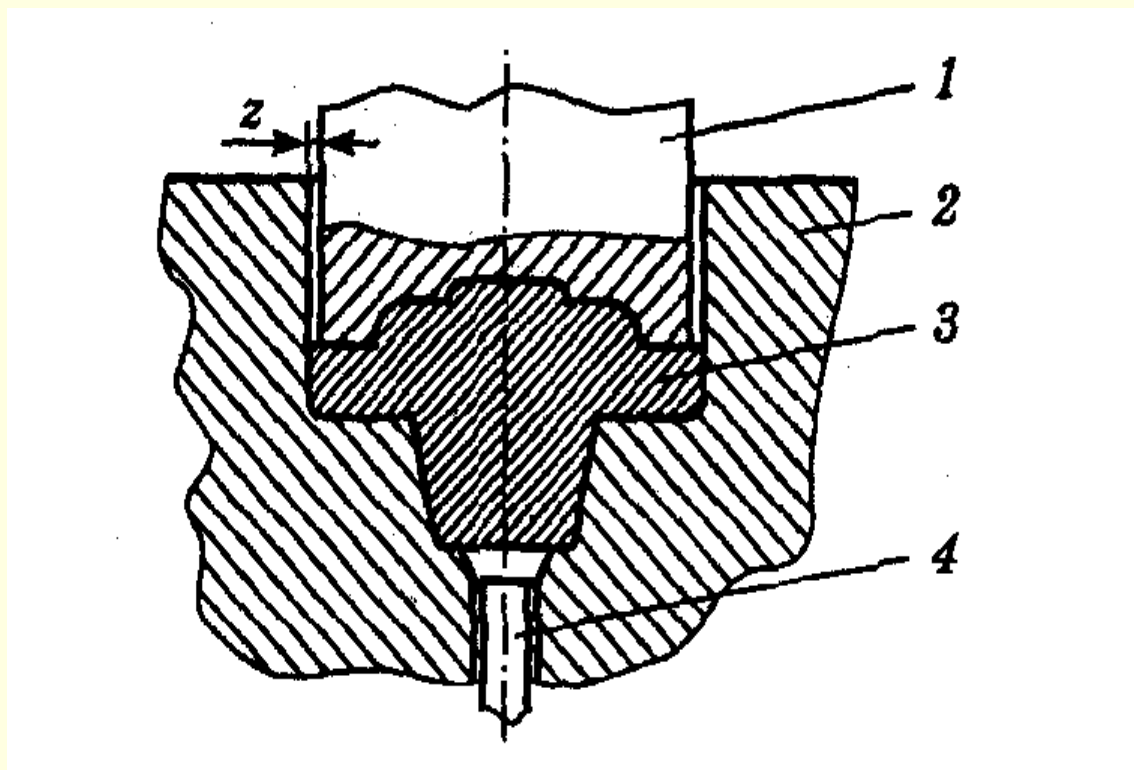
Схема обрезки обля (а) и пробивки отверстий (б)

Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях



1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – протяжной ручей;
4 – чистовой ручей; 5 – гибочный ручей

Штамповка в закрытых штампах характеризуется тем, что в процессе формообразования поковки весь объем металла заготовки заполняет полость штампа без образования облоя.

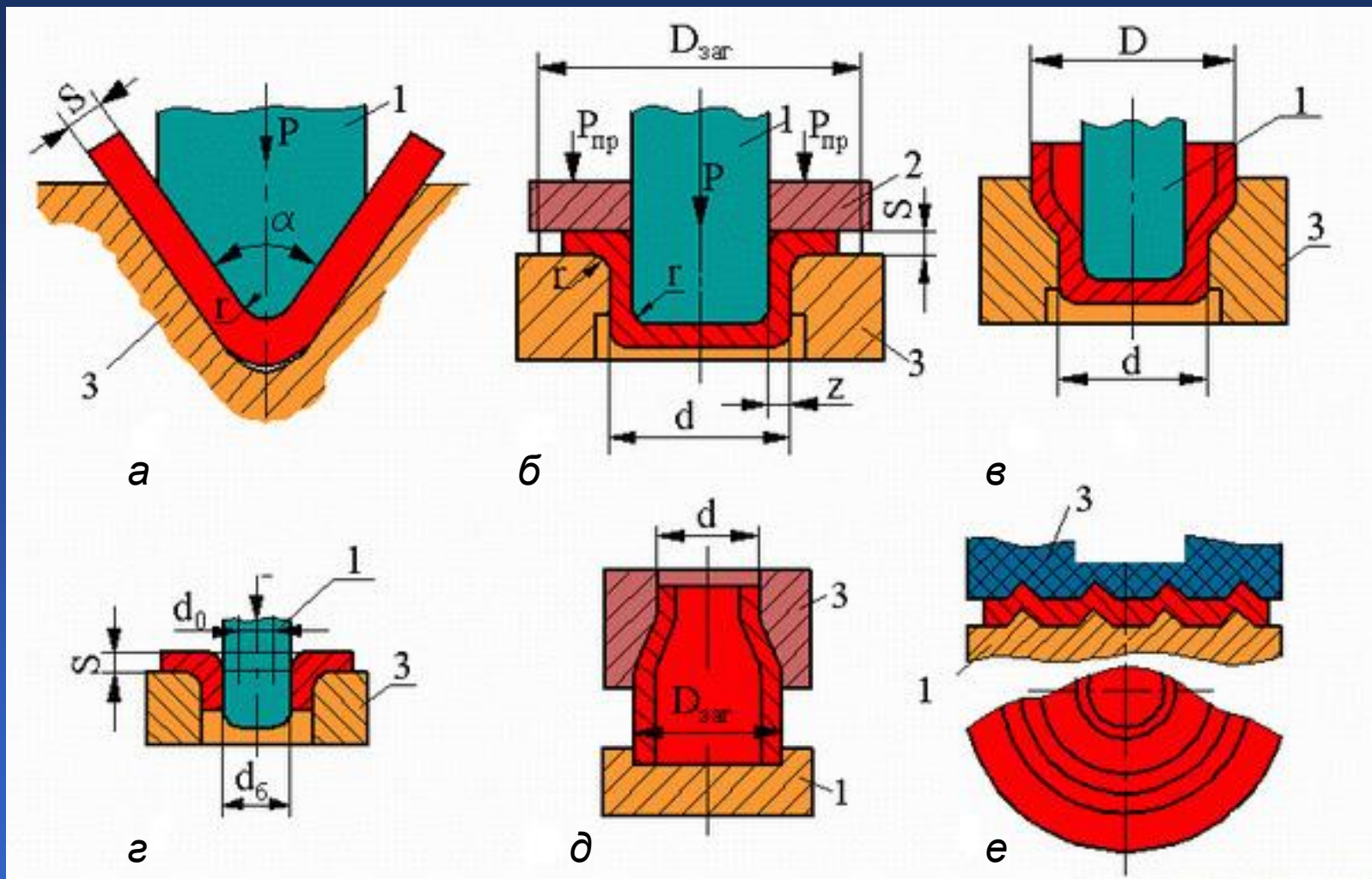


1-пуансон; 2-матрица; 3-поковка; 4-выталкиватель

Листовая штамповка

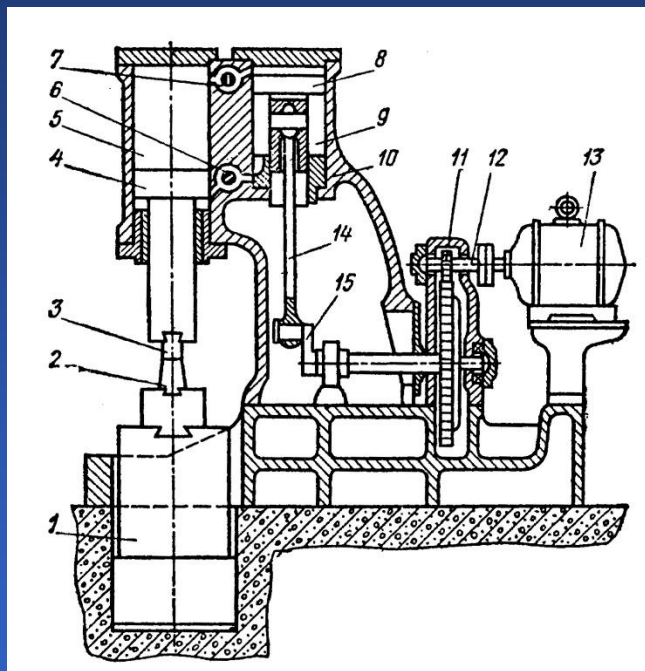
- **Листовая штамповка** — способ изготовления плоских и объемных изделий из листа, полосы, ленты без существенного изменения толщины металла.
- Листовая штамповка характеризуется высокой производительностью, обеспечивает точность и стабильность размеров изготавливаемых деталей и позволяет получить значительную экономию металла.
- Операции листовой штамповки можно полностью механизировать и автоматизировать.

Основные операции листовой штамповки

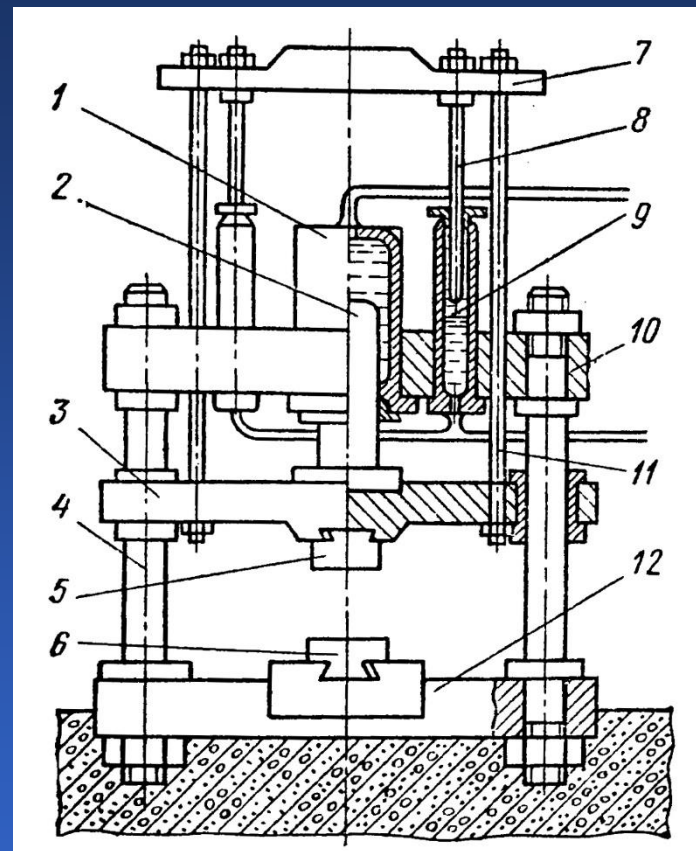


а – гибка; б, в – вытяжка; г – отбортовка; д – обжим;
е – формовка; 1 – пуансон; 2 – прижим; 3 – матрица

Оборудование дляковки, объемной и листовой шамовки



а



б

а – пневматический молот; б – гидравлический пресс

Специализированные процессы ОМД

- Кроме рассмотренных выше процессов штамповки на универсальных кузнечно-штамповочных машинах применяются специализированные процессы штамповки на машинах узкого технологического назначения.
- Основные из них — штамповка на ротационно-ковочных машинах; вальцовка (штамповка на ковочных вальцах); поперечная, поперечно-клиновья, поперечно-винтовая прокатки; раскатка кольцевых заготовок; накатка зубчатых колес и звездочек.

Ротационно-ковочные машины предназначены для протяжки путем обжатия в холодном и горячем состоянии сплошных круглых и квадратных заготовок и труб периодически сходящимися (пульсирующими) бойками.

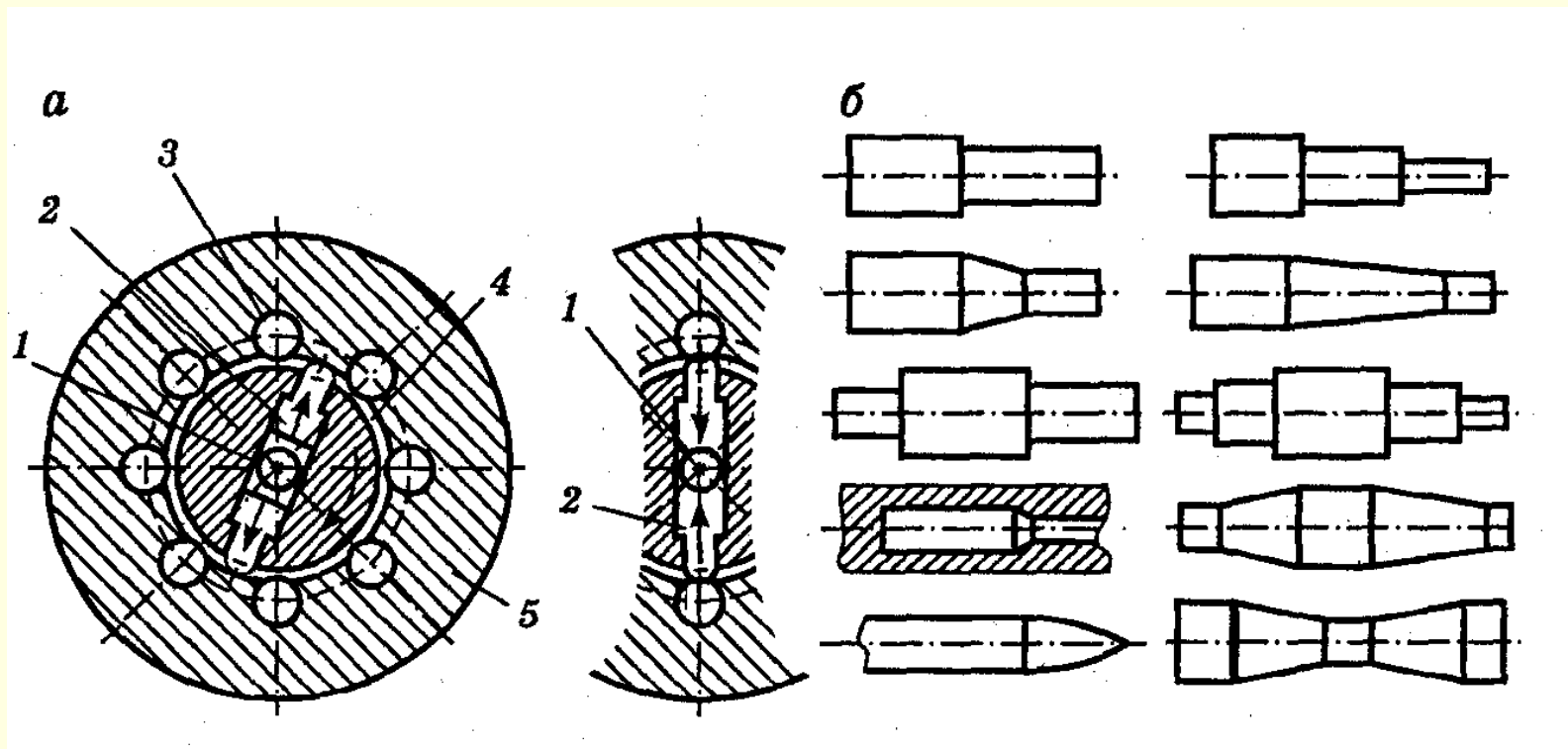


Схема штамповки на ротационно-ковочной машине (а) и примеры типовых деталей, получаемых ротационной ковкой (б)

Вальцовка

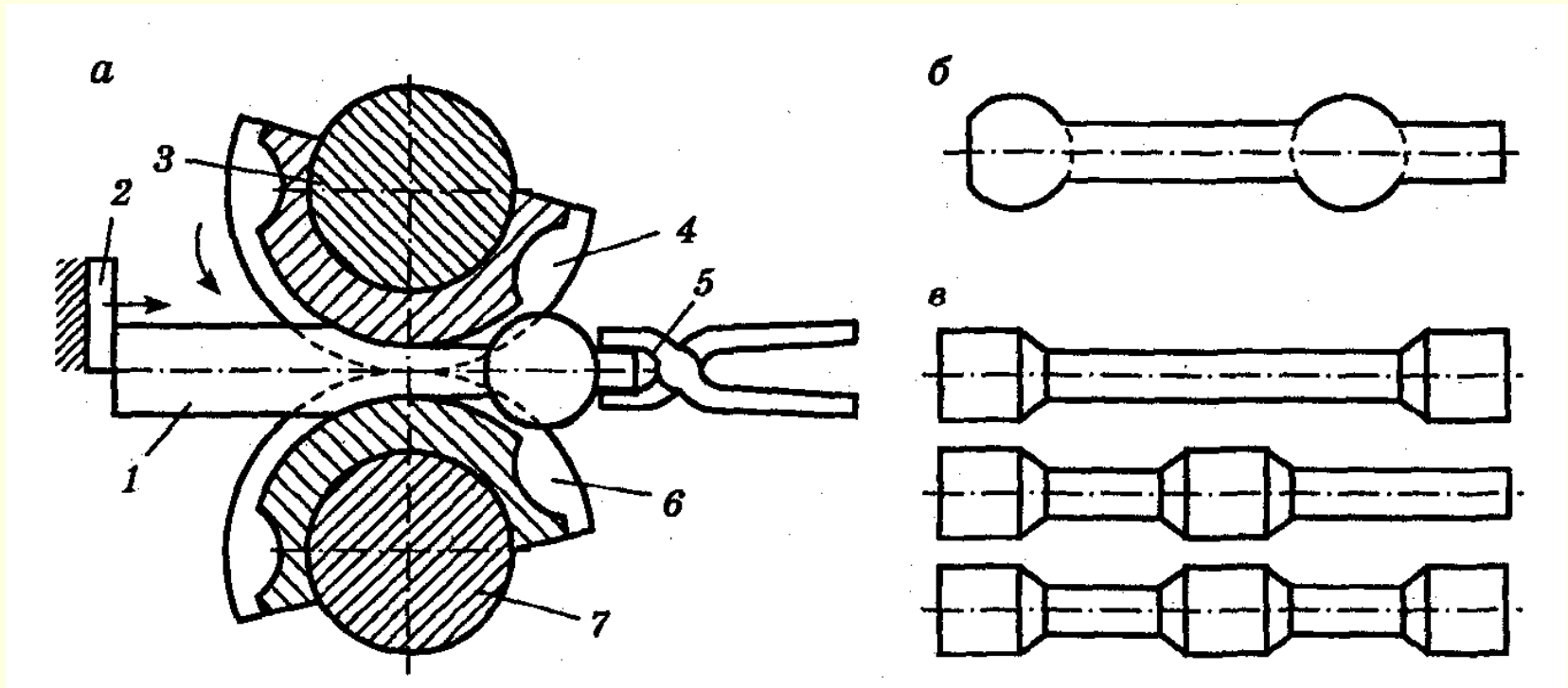
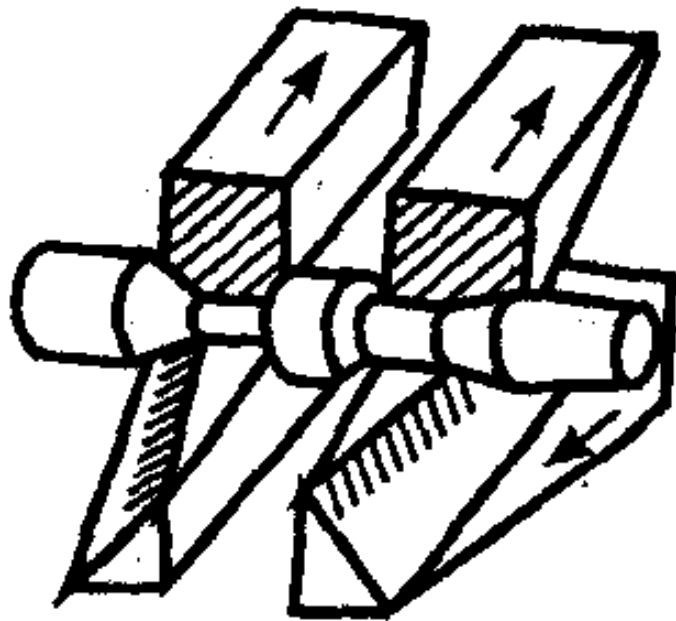


Схема вальцовки (а) и примеры получаемых заготовок (б) и поковок (в)

При *поперечной прокатке* инструмент придает заготовке вращательное движение, поэтому ее разновидности *поперечно-винтовая* и *поперечно-клиновья* — **служат только для обработки тел вращения**. Данный процесс более чем в десять раз производительнее обработки на токарных автоматах и при этом расход металла уменьшается на 30...60 %.



Раскатка кольцевых заготовок

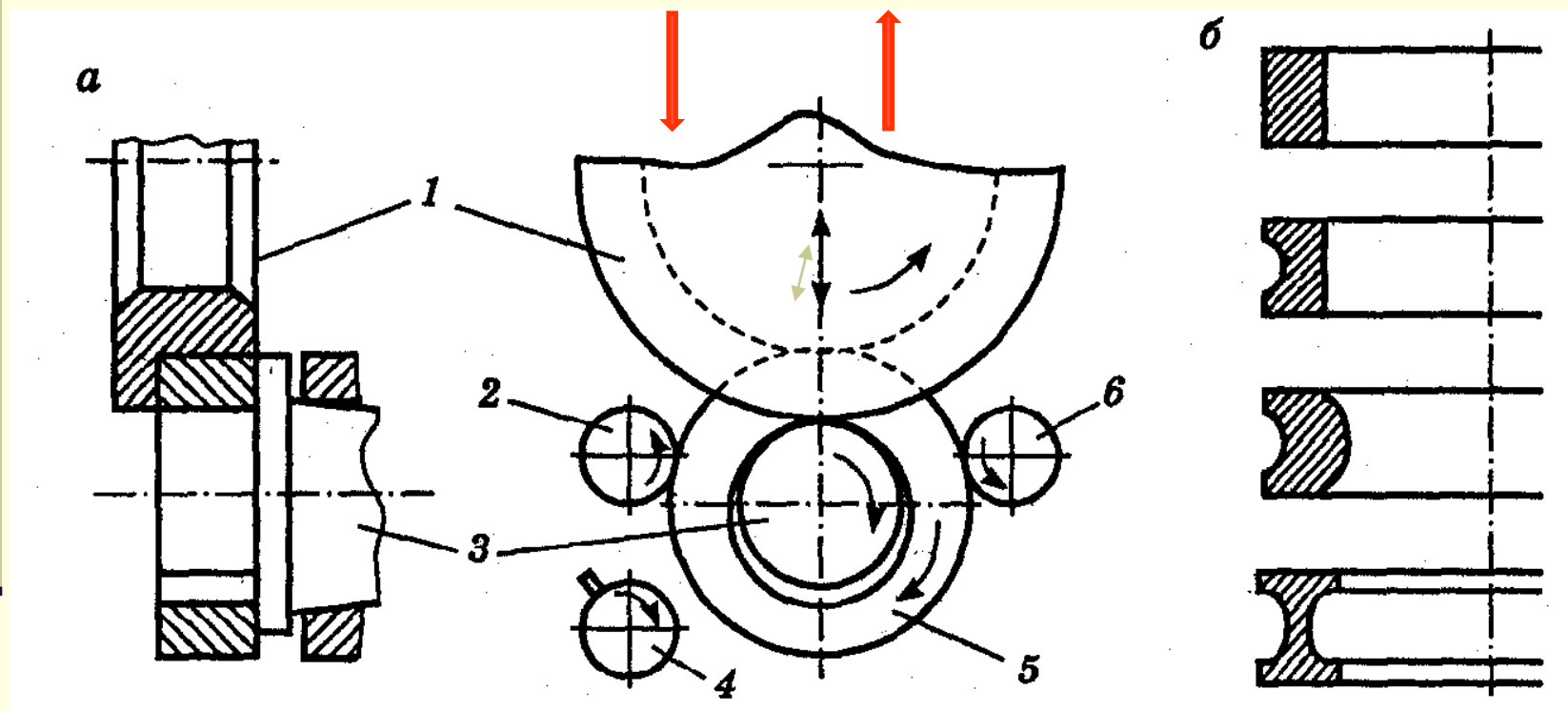
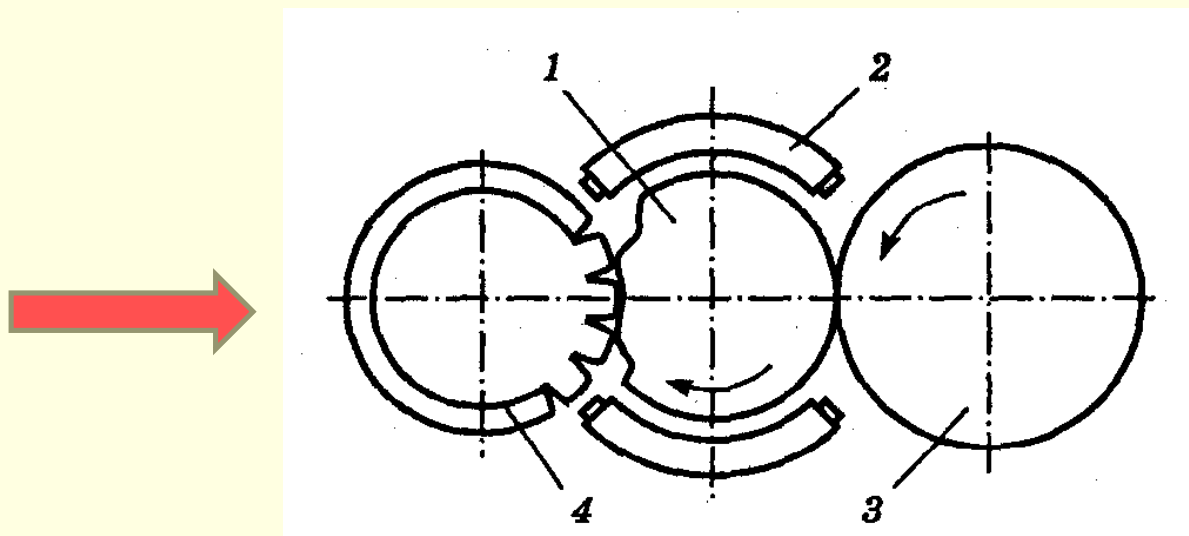


Схема открытой раскатки (а) и формы сечений получаемых раскаткой заготовок (б)

Накатка — образование на заготовке резьбы или мелких рифлений непрерывным воздействием инструмента.

Деформационное упрочнение поверхностного слоя при накатке и волокнистое строение структуры повышают прочность резьбовых соединений примерно в 1,6 раза по сравнению с нарезкой.



**Схема накатывания зубчатых колес с радиальной подачей валков
1-заготовка; 2-индуктор нагревательного устройства; 3- ролик;
4- зубчатый валок**

Листовая штамповка с помощью эластичных сред

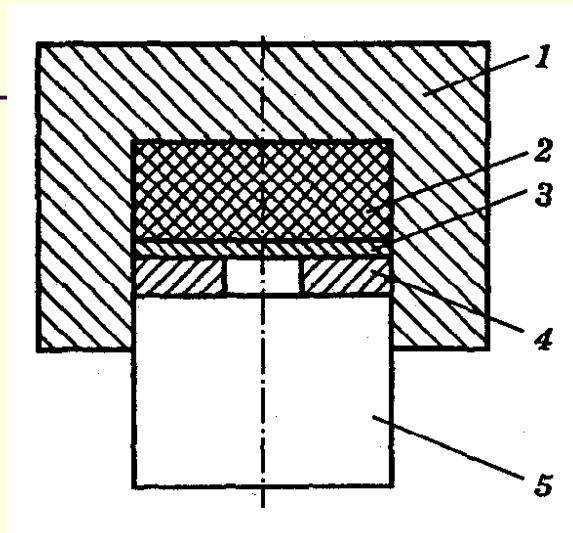
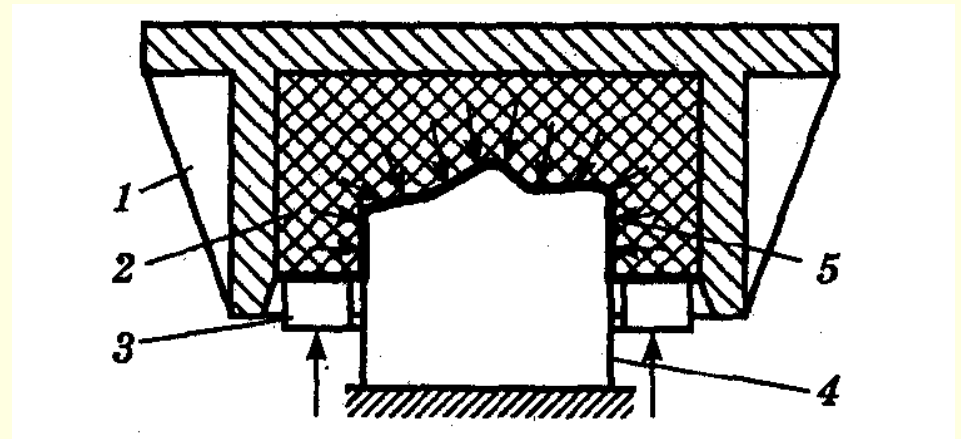


Схема вырубki (пробивки) эластичной средой:

1-контейнер; 2- эластичная среда; 3 – заготовка; 4- шаблон; 5- плита

Схема вытяжки эластичной матрицей

1-контейнер; 2- эластичная подушка;
3- прижим; 4-пуансон; 5-заготовка



Вытяжка

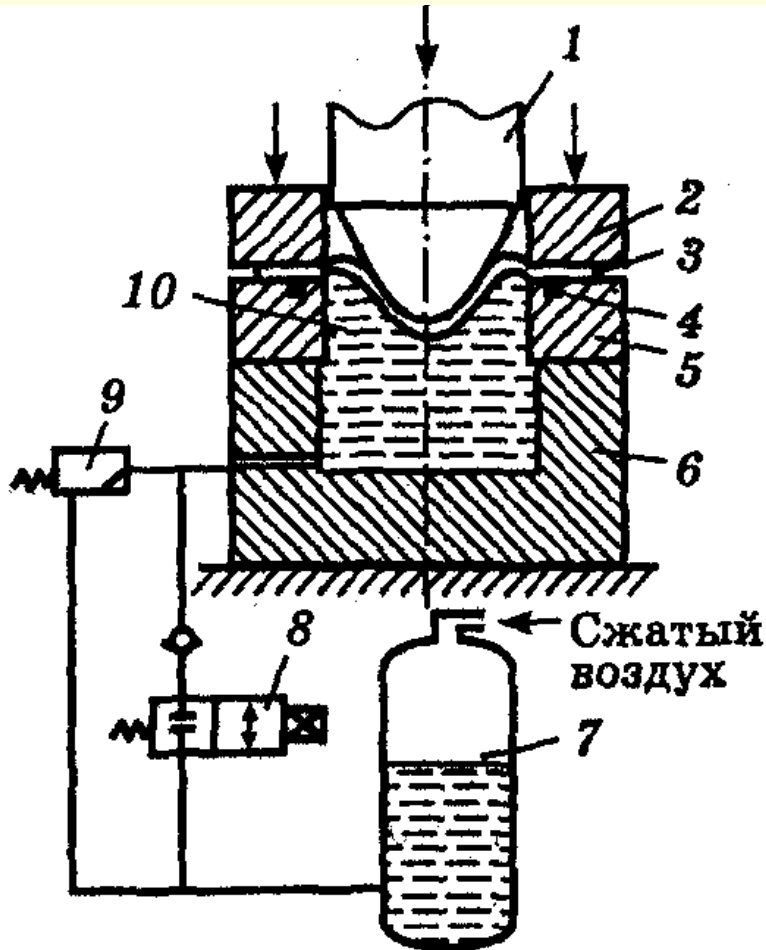


Схема гидромеханической вытяжки:

1 — пуансон; *2* — прижим; *3* — заготовка; *4* — уплотнительное кольцо; *5* — матрица; *6* — контейнер; *7* — гидропневмоаккумулятор; *8, 9* — клапаны; *10* — вода

Ротационная вытяжка — служит для получения полых изделий типа тел вращения различных форм.

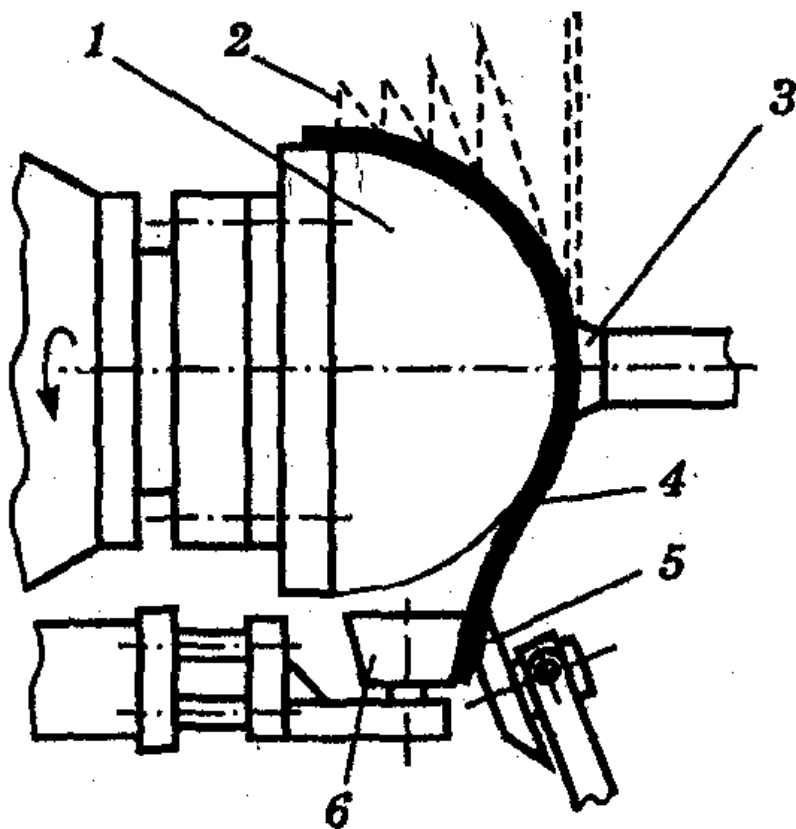


Схема ротационной вытяжки полусферы: 1- оправка; 4- заготовка; 5- ролик; 6- поддерживающий ролик

Импульсные методы листовой штамповки

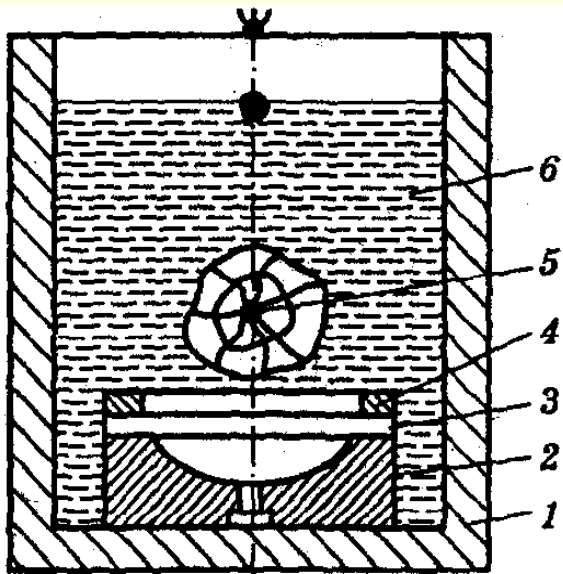
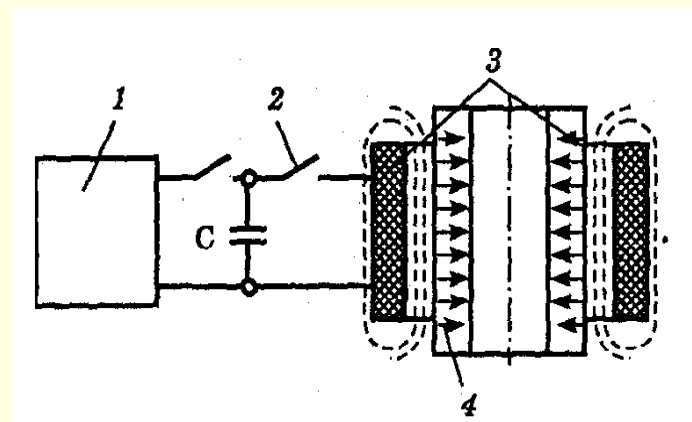


Схема вытяжки взрывом:

1- бассейн 2- матрица; 3-заготовка; 4- прижим;
5-ВВ; 6- вода

Схема магнитно-импульсной штамповки



Сварочное производство

Доцент кафедры «Порошковая металлургия,
сварка и технология материалов» МТФ БНТУ

В. А. Сидоров

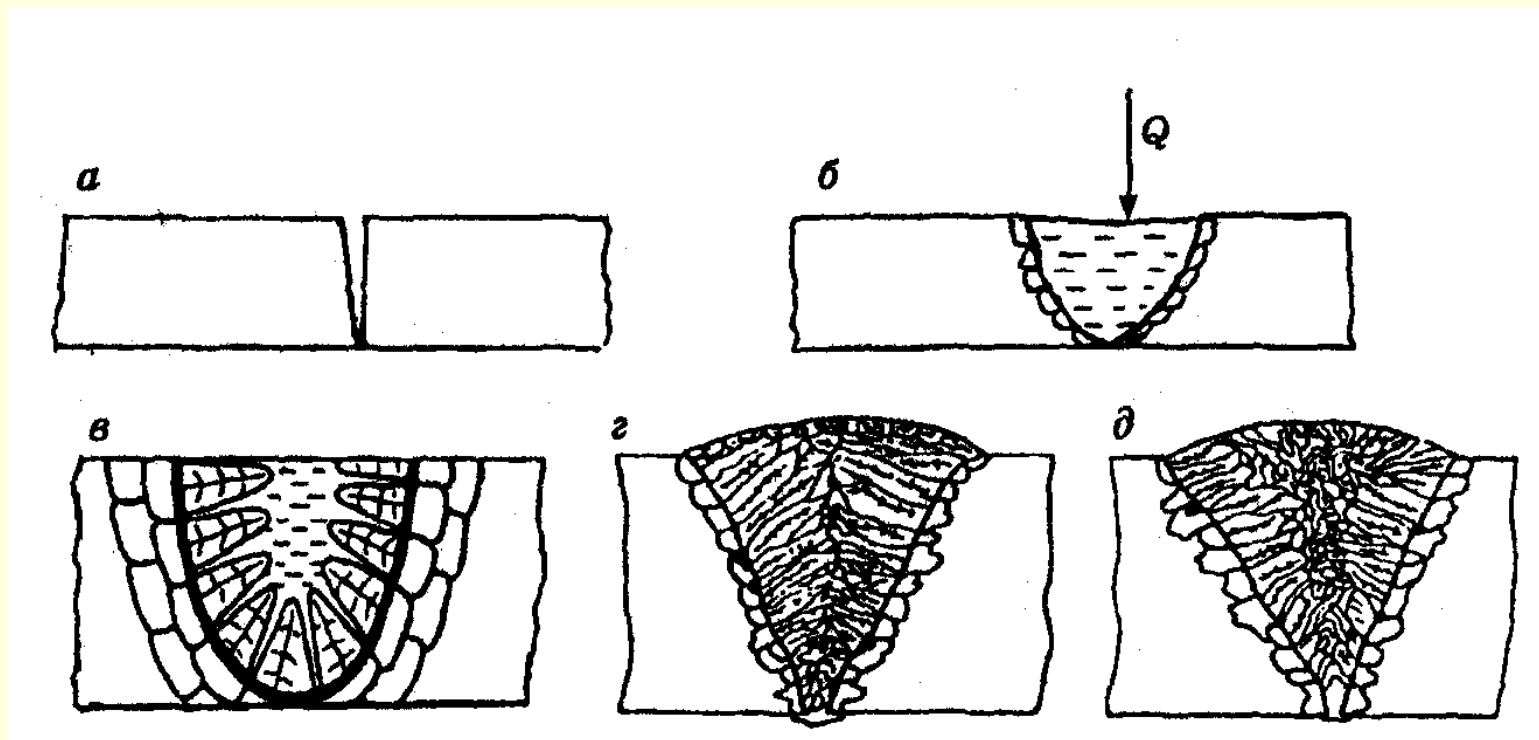
Теоретические основы сварки

- **Сварка** — это процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми (свариваемыми) частями при их местном нагреве (сварка плавлением), пластическом деформировании или совместном действии того и другого (сварка давлением).
- С помощью сварки между собой соединяют однородные и разнородные металлы, их сплавы, некоторые керамические материалы и пластмассы.
- Сварка является одним из наиболее широко распространенных технологических процессов в машиностроении, строительстве, ремонтном деле.

- Сущность процесса сварки заключается в возникновении атомно-молекулярных связей между контактирующими поверхностями. Для этого необходимо поверхности сблизить на расстояние, соизмеримое с атомным радиусом. В реальных условиях сближению поверхностей препятствуют микронеровности, окисные и органические пленки, адсорбированные газы.
- Для получения качественного соединения необходимо устранить причины, препятствующие сближению контактирующих поверхностей, и сообщить атомам твердого тела некоторую энергию для повышения энергии поверхностных атомов, которая называется энергией активации. Эта энергия может сообщаться в виде теплоты (термическая активация) и в виде упругопластической деформации (механическая активация).

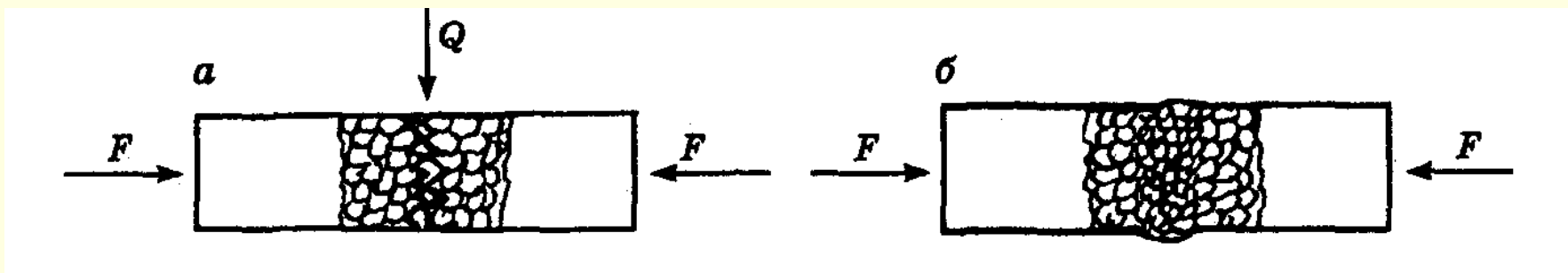
- В зависимости от метода активации образование связей между атомами соединяемых поверхностей происходит в твердой или жидкой фазах. В соответствии с этим все способы сварки можно разделить на две основные группы: сварка пластическим деформированием (давлением); сварка плавлением.
- Сварку давлением можно проводить без предварительного нагрева места соединения (холодная, взрывом, ультразвуковая, трением), когда вводится только механическая энергия или с предварительным нагревом (контактная, диффузионная, газопрессовая), когда наряду с механической вводится тепловая энергия от внешних или внутренних источников теплоты.
- При сварке плавлением детали соединяют за счет местного расплавления металла свариваемых элементов без приложения давления. Расплавляется либо только основной металл (изделия) по кромкам, либо основной и дополнительный металл – электродный или присадочный

Схема образования сварного соединения при сварке плавлением



а — соединяемые детали; **б** — сварочная ванна; **в** - кристаллизация;
г, д — структура шва

Схема образования сварного соединения при сварке давлением



- а** — деформация микрошероховатостей в зоне контакта;
б — рекристаллизация и образование прочного соединения

- Свариваемость – технологическое свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.
- Свариваемость материалов оценивают степенью соответствия заданных свойств сварного соединения одноименным свойствам основного металла. По этим признакам материалы разделяют:
 - на хорошо,
 - удовлетворительно
 - ограниченно
 - плохо сваривающиеся.

- Многие разнородные материалы, особенно металлы с неметаллами, не вступают во взаимодействие друг с другом. Такие материалы относятся к числу практически несвариваемых.
- 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.
- Если образуются хрупкие и твердые структурные составляющие в сварном соединении, то в условиях действия сварочных напряжений возможно возникновение трещин в шве или околошовной зоне. В последнем случае материалы относятся к категории плохо сваривающихся.

Критерии свариваемости

- окисляемость металла при сварке;
- сопротивляемость образованию горячих трещин;
- сопротивляемость образованию холодных трещин;
- чувствительность металла к тепловому воздействию сварки, характеризуемая его склонностью к росту зерна, структурными и фазовыми изменениями в шве и зоне термического влияния;
- чувствительность к образованию пор.

Классификация сталей по свариваемости

Группа свариваемости	Сталь	
	углеродистая	конструкционная легированная
Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, 08; сталь 10, 15, 20, 25, 12кп 15кп, 16кп, 18кп, 20кп	15Г, 20Г, 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХМ, 14ХГС, 10ХСНД, 10ХГСНД
Удовлетворительная	Ст5; сталь 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 14Х2МР, 10Г2МР, 20ХН3А, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30Х, 20ХМ
Ограниченная	Ст6; сталь 40, 45, 50	35Г, 40Г, 45Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХМФА, 30ХГС, 30ХГСА, 30ХГСМ, 35ХМ, 20Х2Н4А, 4ХС, 12Х2Н4МА
Плохая	Сталь 65, 70, 75, 80, 85, У7, У8, У9, У10, У11, У12	50Г, 50Г2, 50Х, 50ХН, 45ХН3МФА, 6ХС, 7Х3, 9ХС, 8Х3, 5ХТН, 5ХНВ

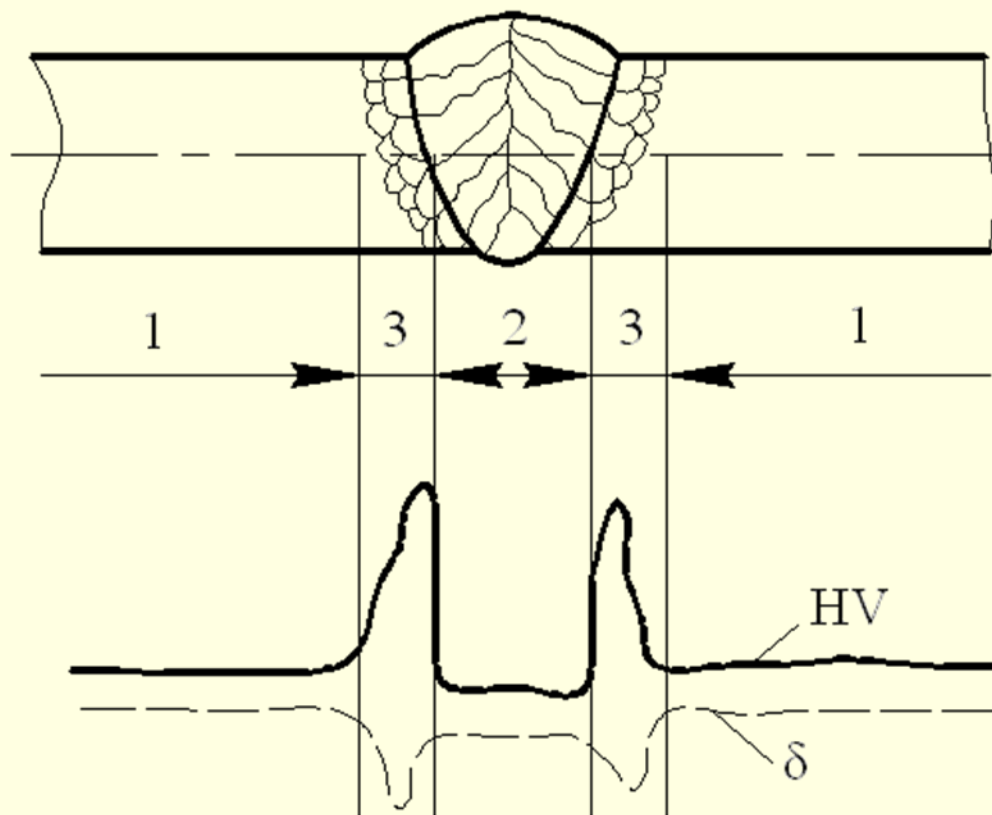
Группы технологической свариваемости сталей

- **I. Хорошая** - Сварные соединения высокого качества получают без применения особых приемов
- **II. Удовлетворительная**- Для получения высококачественных сварных соединений необходимы строгое соблюдение режимов сварки, специальные присадочные материалы, нормальные температурные условия, в некоторых случаях — подогрев, проковка швов, термообработка

Группы технологической свариваемости сталей (продолжение)

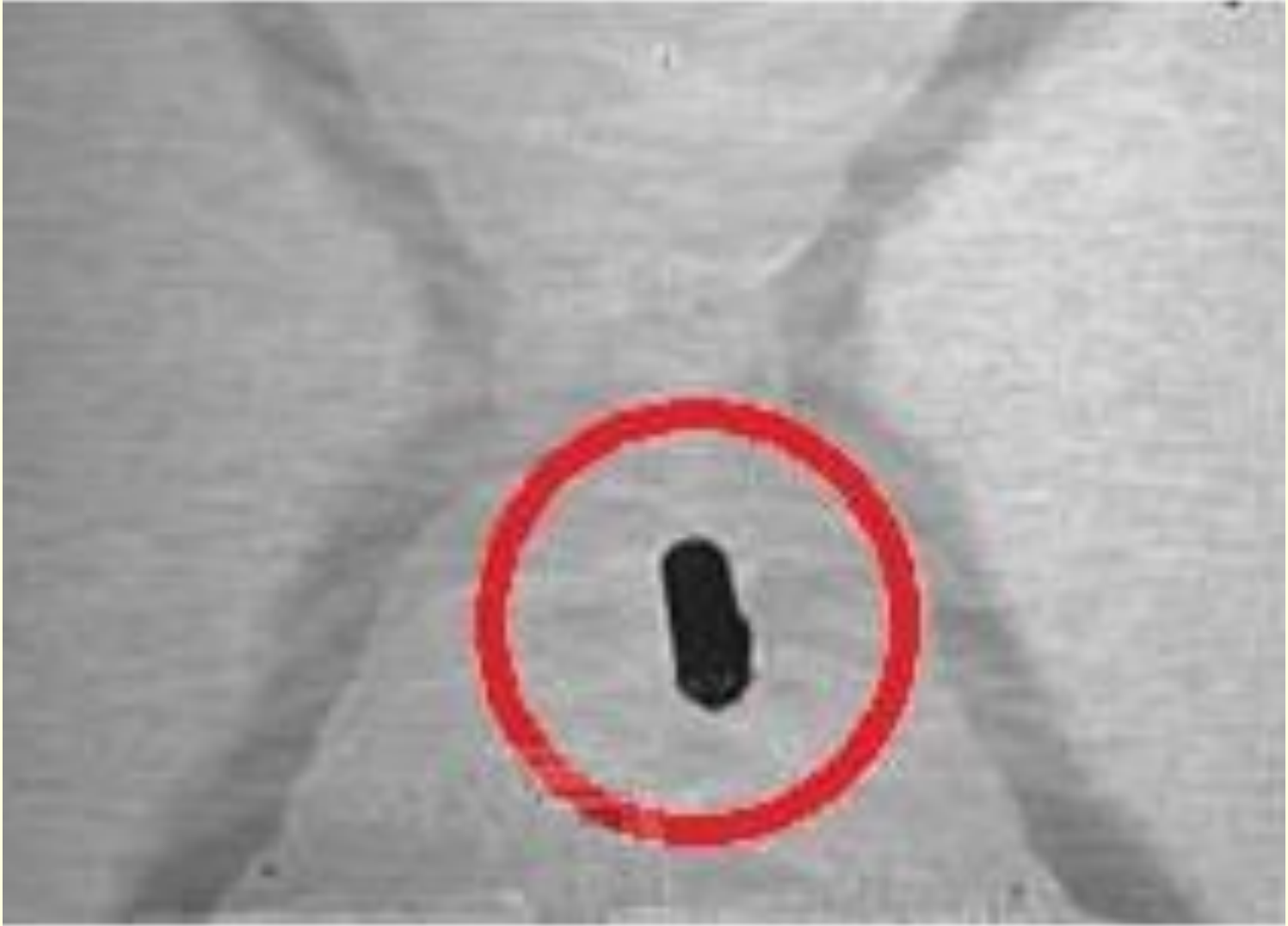
- **III. Ограниченная** - Для получения высококачественного сварного соединения необходимы дополнительные операции: подогрев, предварительная или последующая термообработка, проковка швов и др.
- **IV. Плохая** - Швы склонны к образованию трещин и при сварке необходим подогрев. Последующая термообработка обязательна. Качество сварных соединений пониженное. Стали этой, группы обычно не применяют для изготовления сварных конструкций

Неоднородность механических свойств различных зон сварного соединения легированной стали



1.основной металл; 2.шов; 3. зона термического влияния



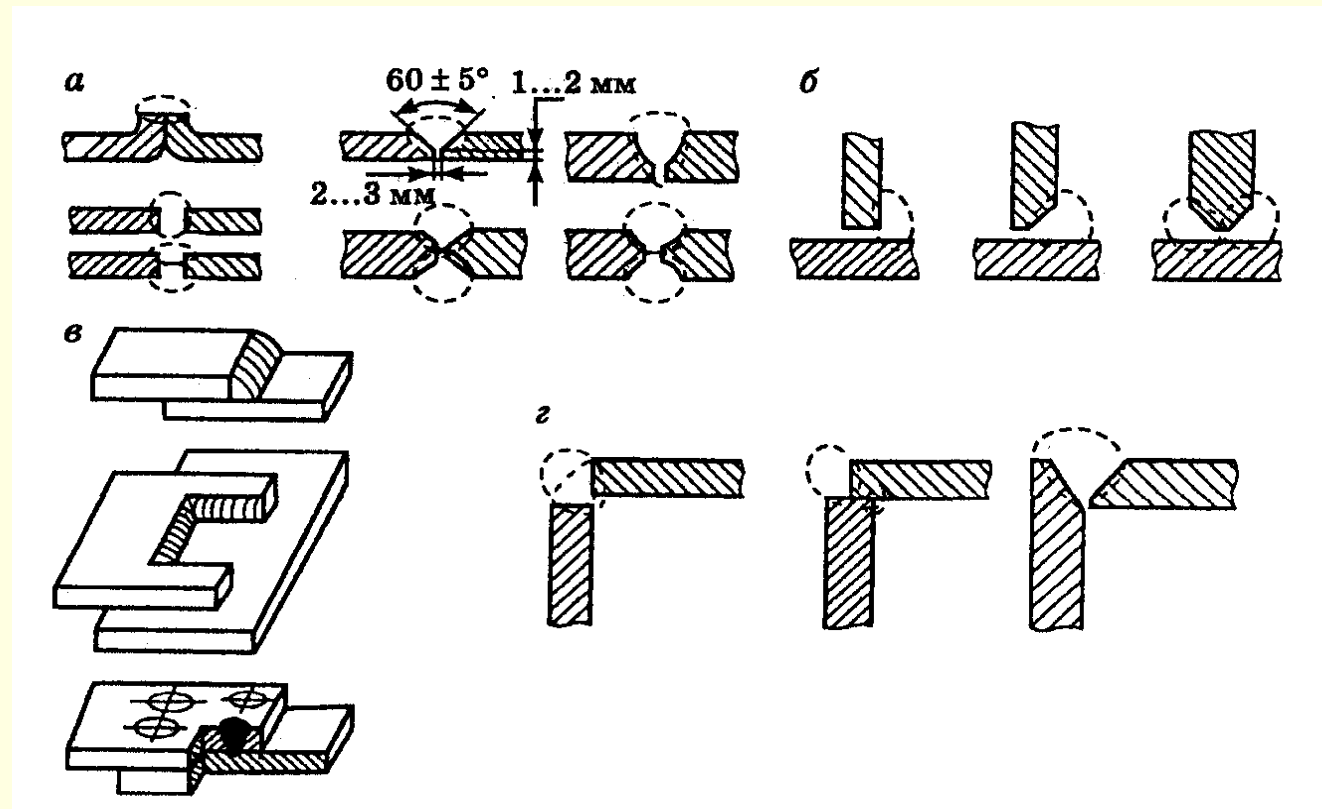


Сварка плавлением

- При сварке плавлением детали соединяют за счет местного расплавления металла свариваемых элементов без приложения давления. Расплавляется либо только основной металл (изделия) по кромкам, либо основной и дополнительный металл – электродный или присадочный.
- Источником теплоты при дуговой сварке плавлением является *сварочная электрическая дуга*.
- *Сварочная дуга* представляет собой мощный длительный электрический разряд между проводниками в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Она образуется между электродом и основным металлом (изделием) или между двумя электродами, имеющими разность потенциалов.

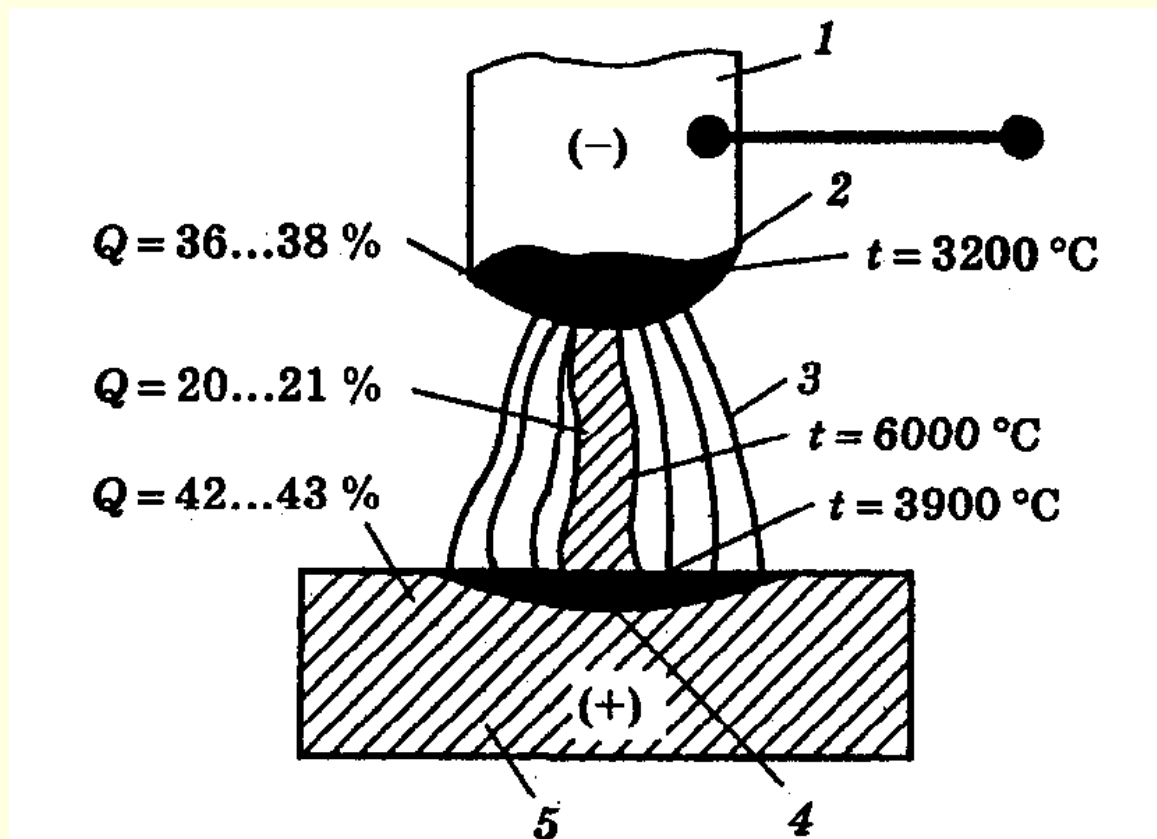
Типы сварных соединений.

Сварные соединения подразделяются на несколько типов, определяемых взаимным расположением свариваемых деталей.



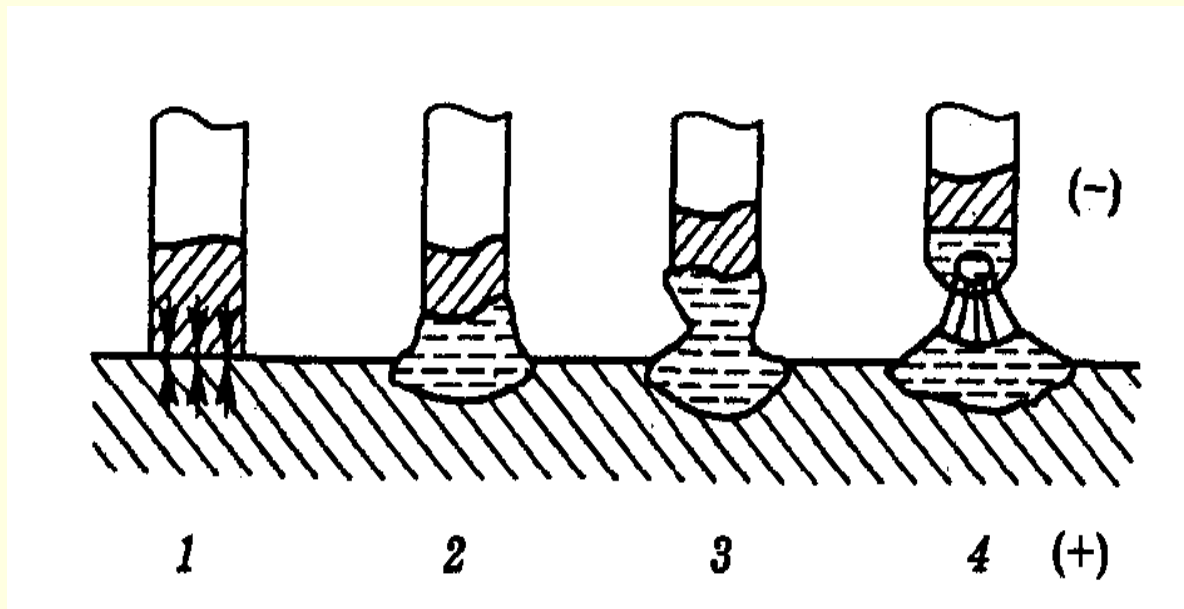
а — стыковое; б — тавровое; в — нахлесточное; г — угловое

Схема сварочной дуги



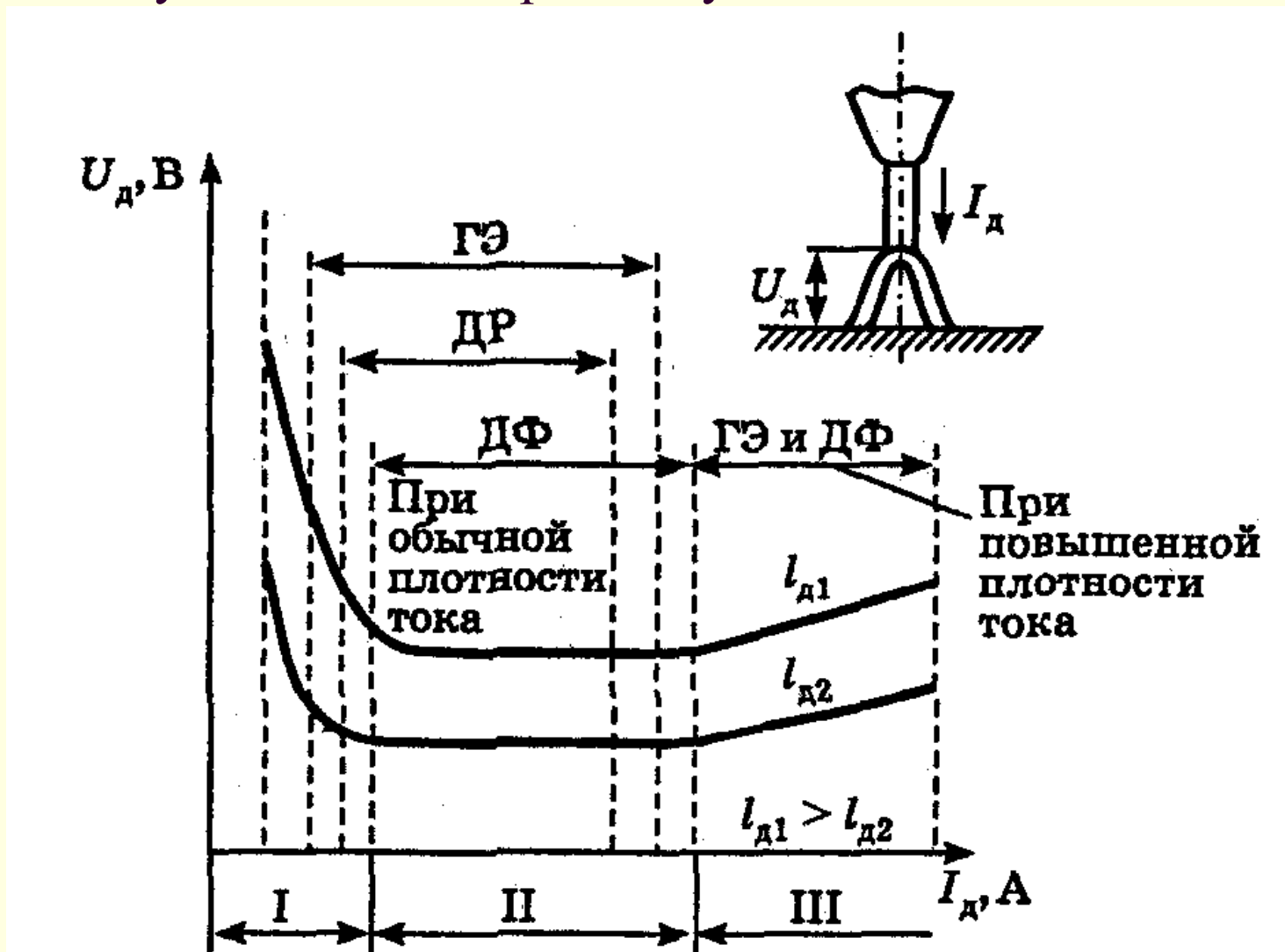
1- катод; 2- катодное пятно; 3- столб дуги; 4- анодное пятно; 5- анод

Этапы возбуждения дуги

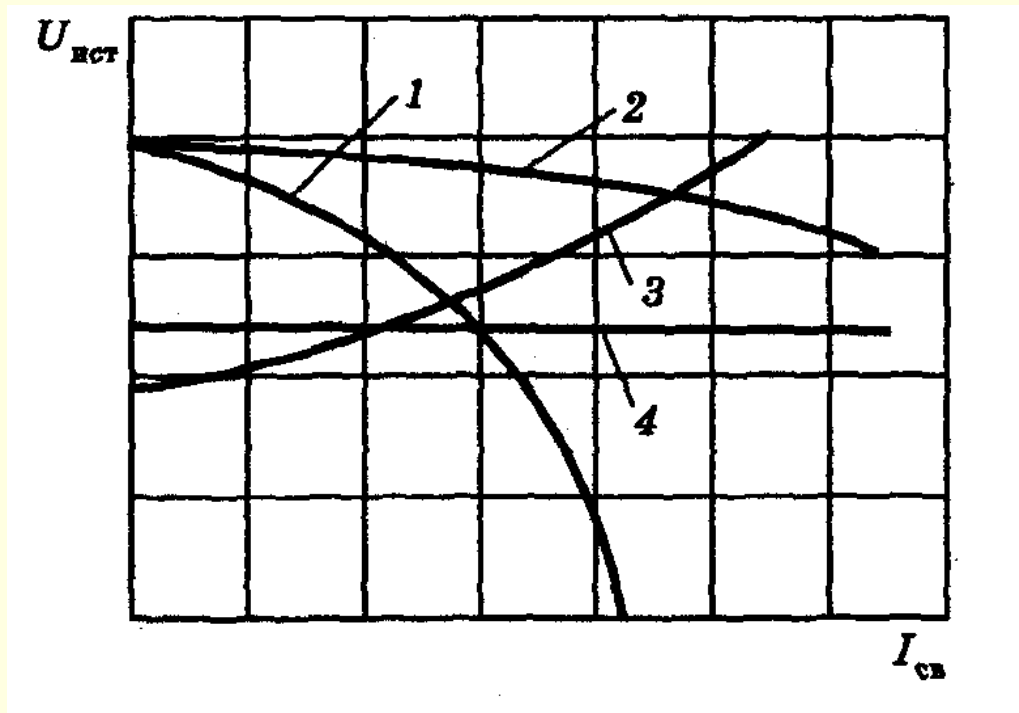


1 -короткое замыкание электрода на изделие; 2 — разогрев торца электрода и изделия в месте контакта и образование жидкой прослойки металла; 3 — отвод электрода на расстояние 3...5 мм с образованием шейки жидкого металла; 4 — разрыв шейки и возникновение дуги

Электрические свойства дуги описываются *статической вольт-амперной характеристикой*, которая представляет собой зависимость между напряжением дуги и сварочным током в состоянии устойчивого горения дуги

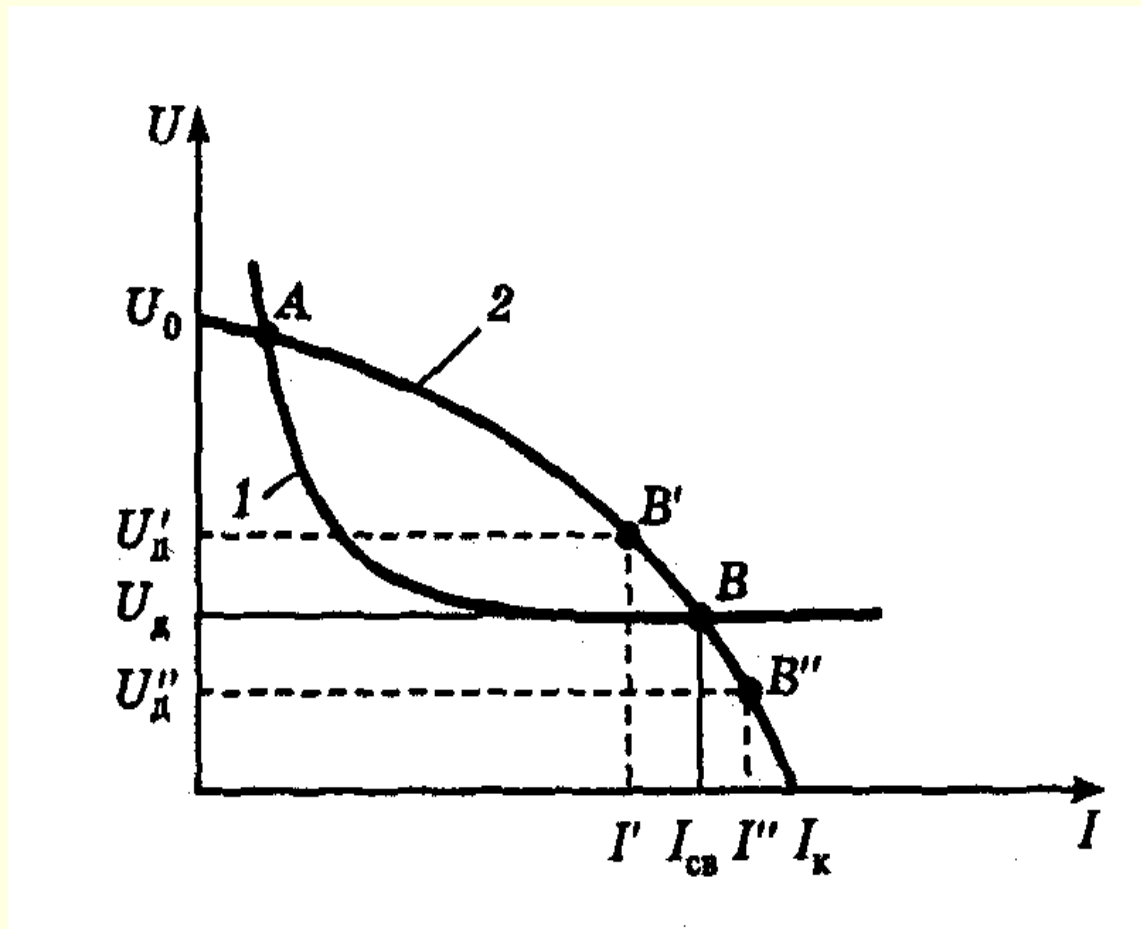


Источники тока для питания сварочной дуги характеризуются *внешней вольт-амперной характеристикой*.



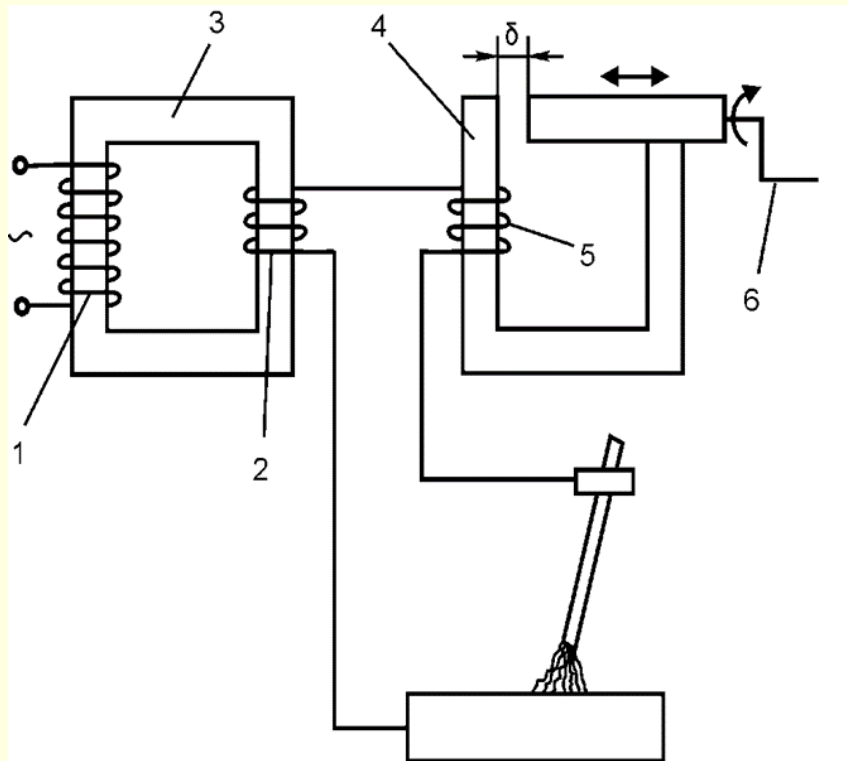
1 — падающая; 2 — пологопадающая; 3 — возрастающая; 4 — жесткая

Взаимосвязь характеристик дуги и источника тока

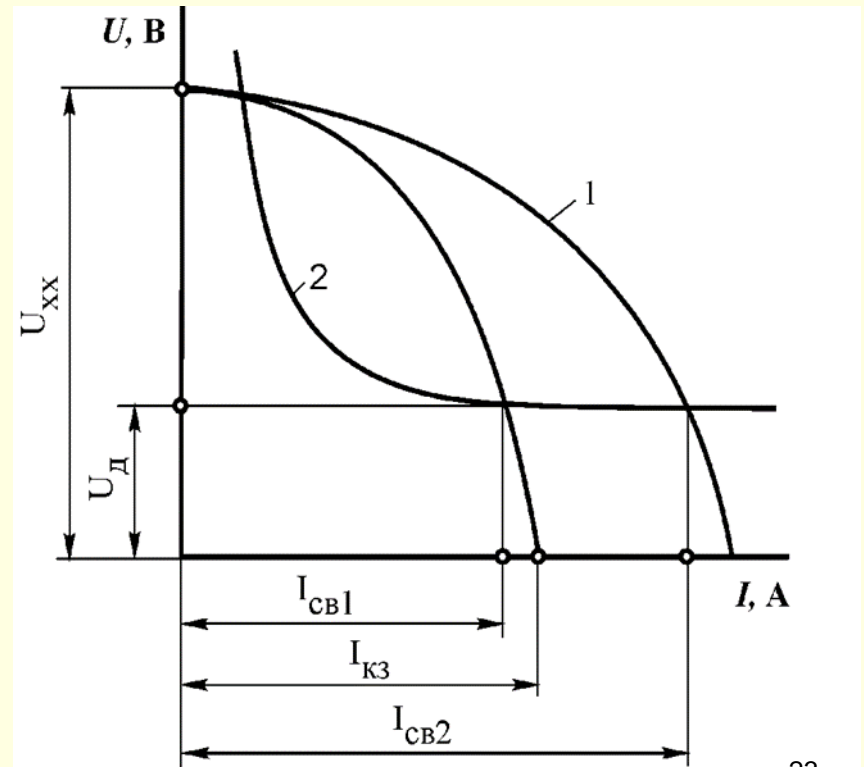


Трансформатор с отдельной дроссельной катушкой

а – схема сварочного трансформатора с отдельной дроссельной катушкой;



б – внешние характеристики трансформатора (1) и сварочной дуги (2)



Сварочные выпрямители применяются для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, механизированной дуговой сварки под флюсом и в защитных газах.

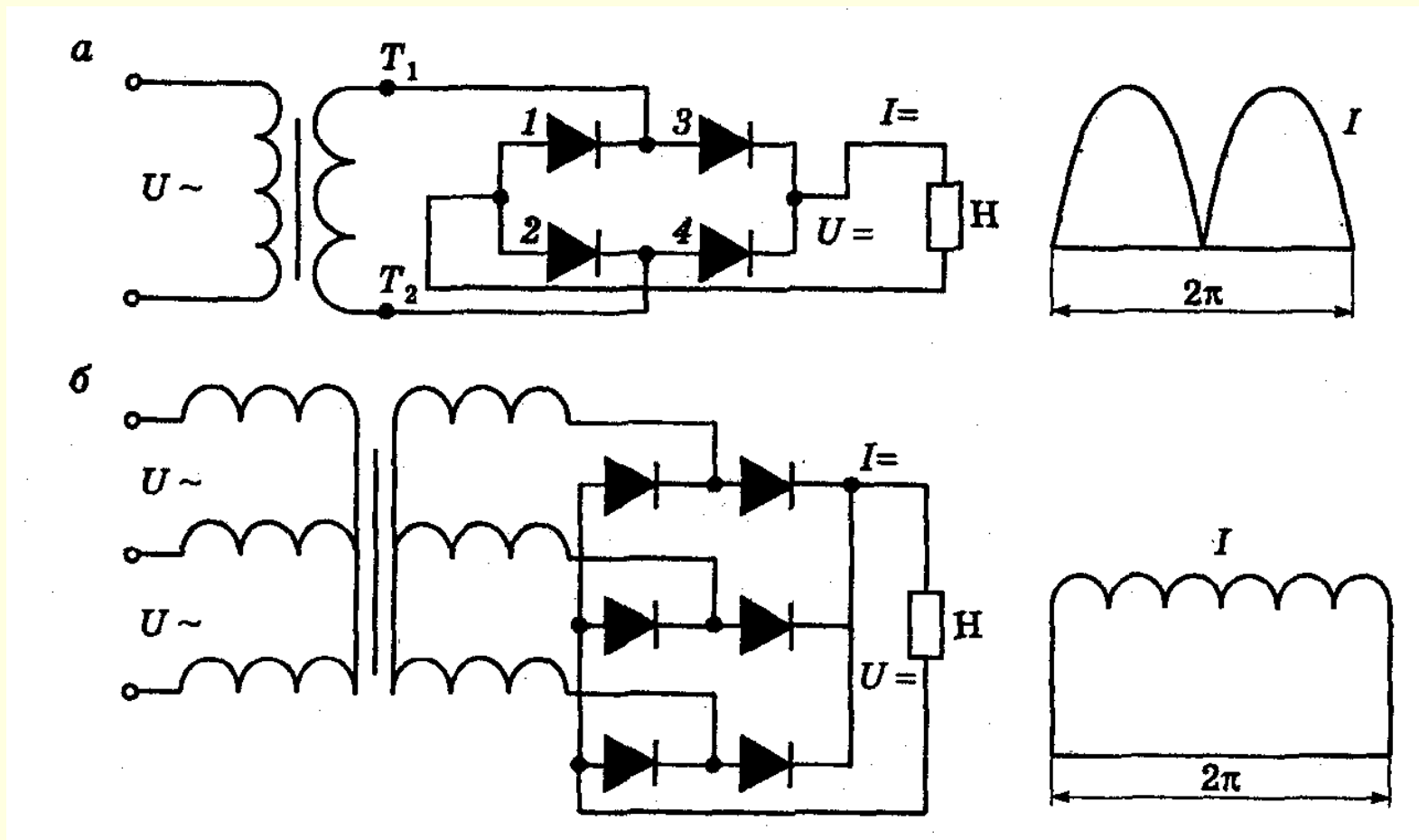


Схема выпрямительных установок:

а — однофазная мостовая схема; б — трехфазная мостовая схема

Сварочные генераторы применяются для ручной дуговой сварки покрытым электродом, сварки под флюсом и сварки в защитных газах.

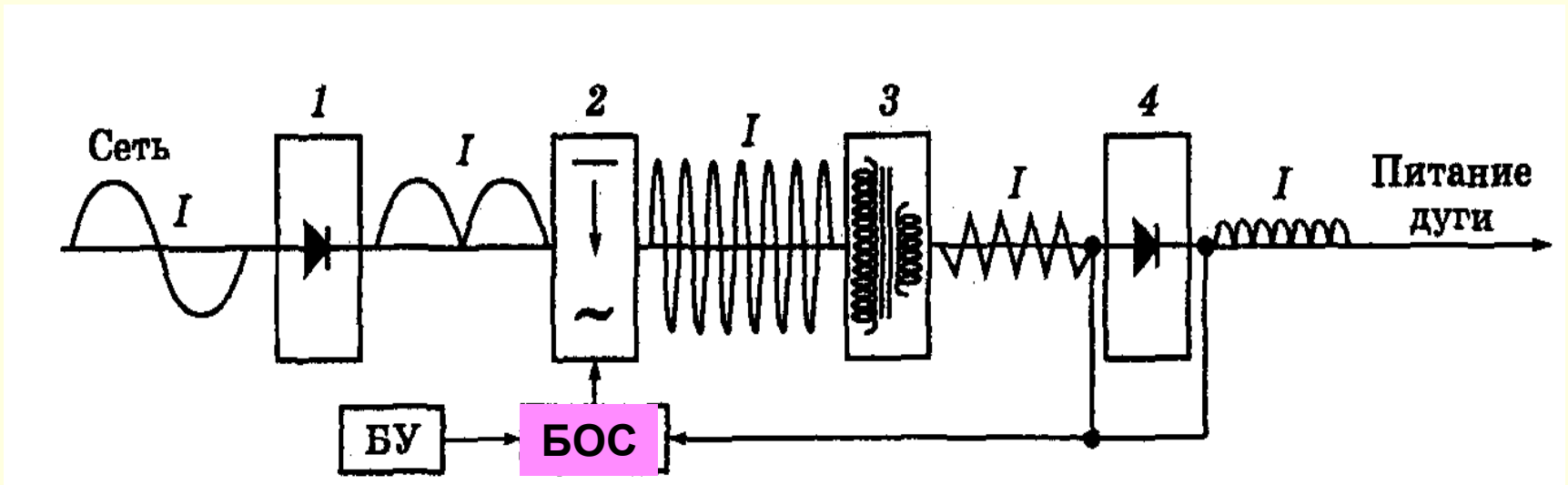
Источники питания дуги постоянным током (выпрямители и генераторы) обладают следующими преимуществами перед источниками переменного тока:

- более устойчивое горение дуги из-за отсутствия затуханий, связанных с изменением полярности переменного тока;
- высокое качество сварки благодаря высокой стабильности дуги постоянного тока;
- возможность применения всех выпускаемых промышленностью марок электродов, в то время как для сварки переменным током электроды некоторых марок непригодны;
- меньшая чувствительность к колебаниям напряжения в сети;
- сварочные агрегаты удобны для использования в местах, где отсутствует электроэнергия.

Источники питания дуги постоянным током (выпрямители и генераторы) обладают следующими преимуществами перед источниками переменного тока:

- более устойчивое горение дуги из-за отсутствия затуханий, связанных с изменением полярности переменного тока;
- высокое качество сварки благодаря высокой стабильности дуги постоянного тока;
- возможность применения всех выпускаемых промышленностью марок электродов, в то время как для сварки переменным током электроды некоторых марок непригодны;
- меньшая чувствительность к колебаниям напряжения в сети;
- сварочные агрегаты удобны для использования в местах, где отсутствует электроэнергия.

Инверторные источники питания сварочной дуги. В общем случае он представляет собой устройство, служащее для превращения постоянного тока в переменный.



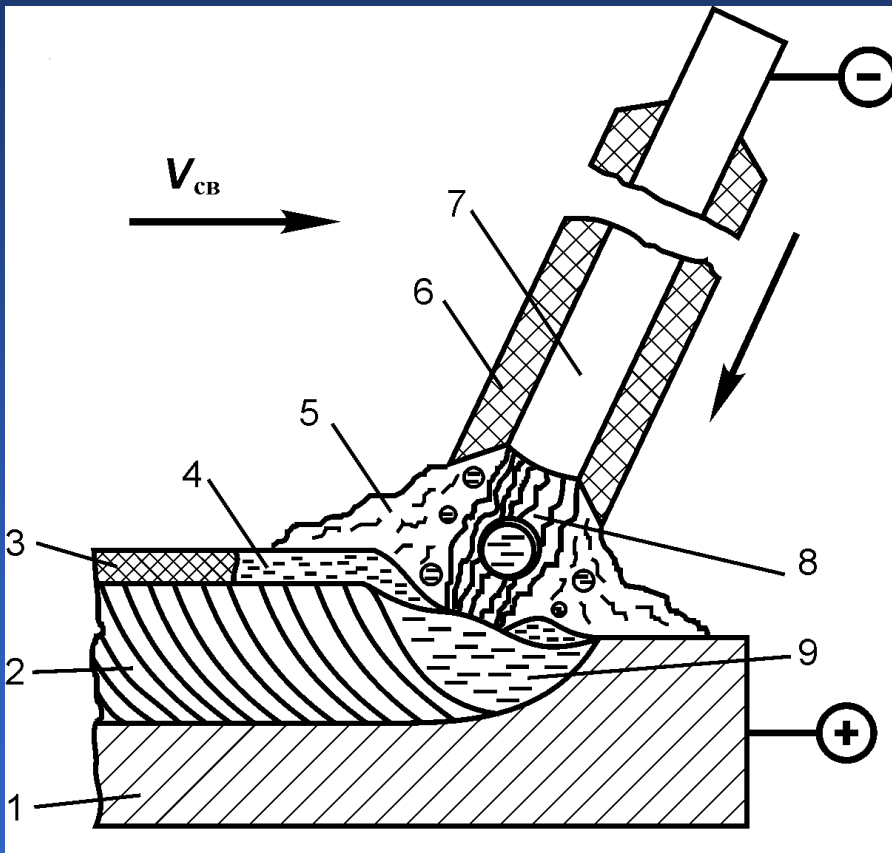
Структурная схема инверторного источника питания постоянного тока:
БУ — блок управления; БОС — блок обратной связи; I — графики изменения тока во времени

Инверторные источники питания обеспечивают:

- легкое возбуждение дуги за счет временного повышения силы сварочного тока в момент ее зажигания (в некоторых источниках активизирована также функция, предупреждающая залипание электрода путем мгновенного резкого снижения тока короткого замыкания);
- устойчивость горения и стабильность параметров дуги, в том числе при колебании напряжения питающей сети;
- плавное регулирование силы сварочного тока с возможностью дистанционного управления.

Все это способствует значительному улучшению хода сварочного процесса, повышению качества сварных швов и снижению расхода электроэнергии.

Схема дуговой электросварки металлическим покрытым электродом



- 1 – свариваемый металл;
- 2 – сварной шов (наплавленный металл);
- 3 – твердая шлаковая корка;
- 4 – жидкая шлаковая ванна;
- 5 – газовая защитная атмосфера;
- 6 – покрытие электрода;
- 7 – металлический стержень из сварочной проволоки;
- 8 – электрическая дуга;
- 9 – металлическая ванна

Сварка под флюсом.

Сущность процесса дуговой сварки под флюсом заключается в применении непокрытой электродной проволоки и флюса для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха

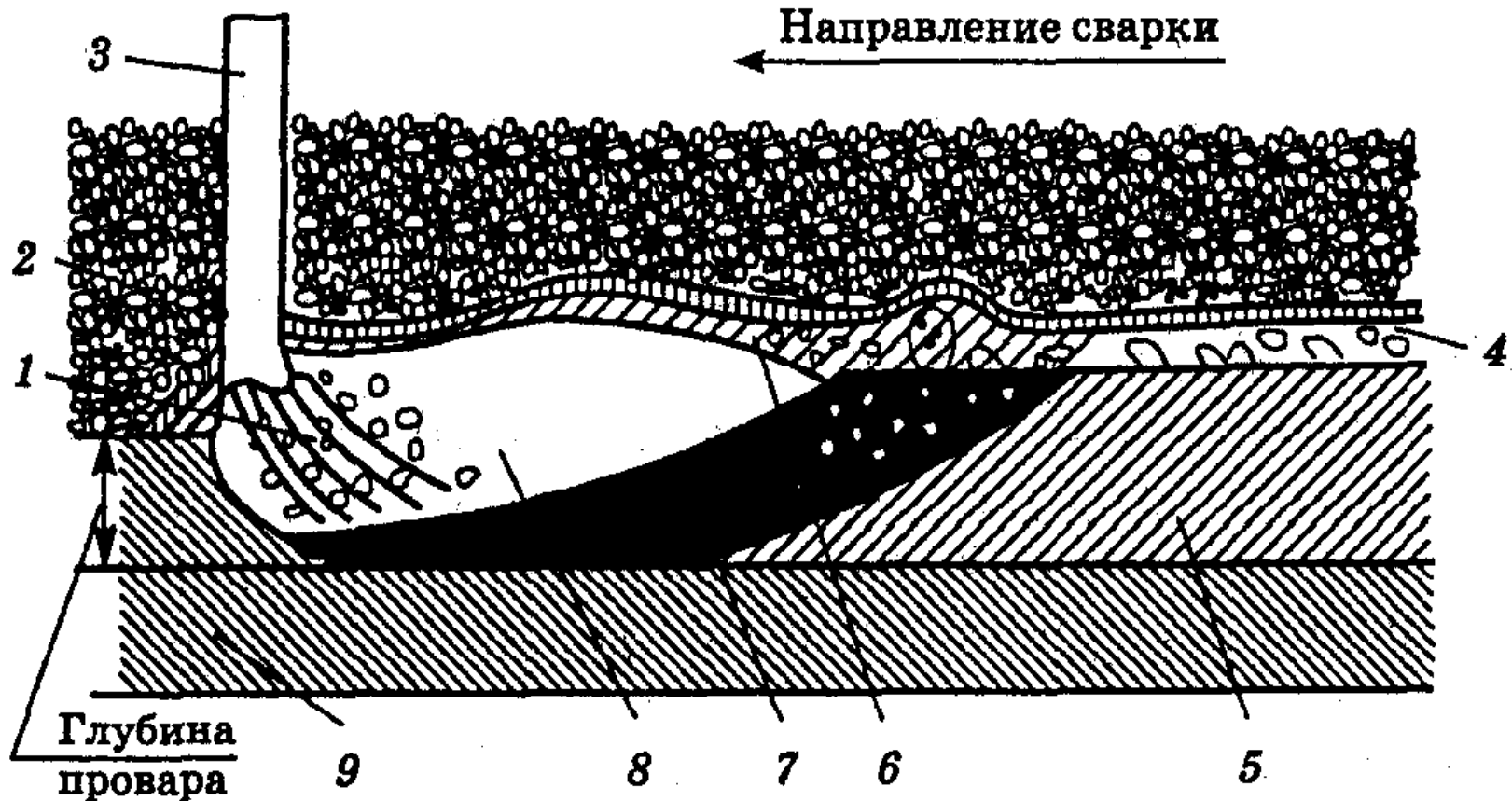
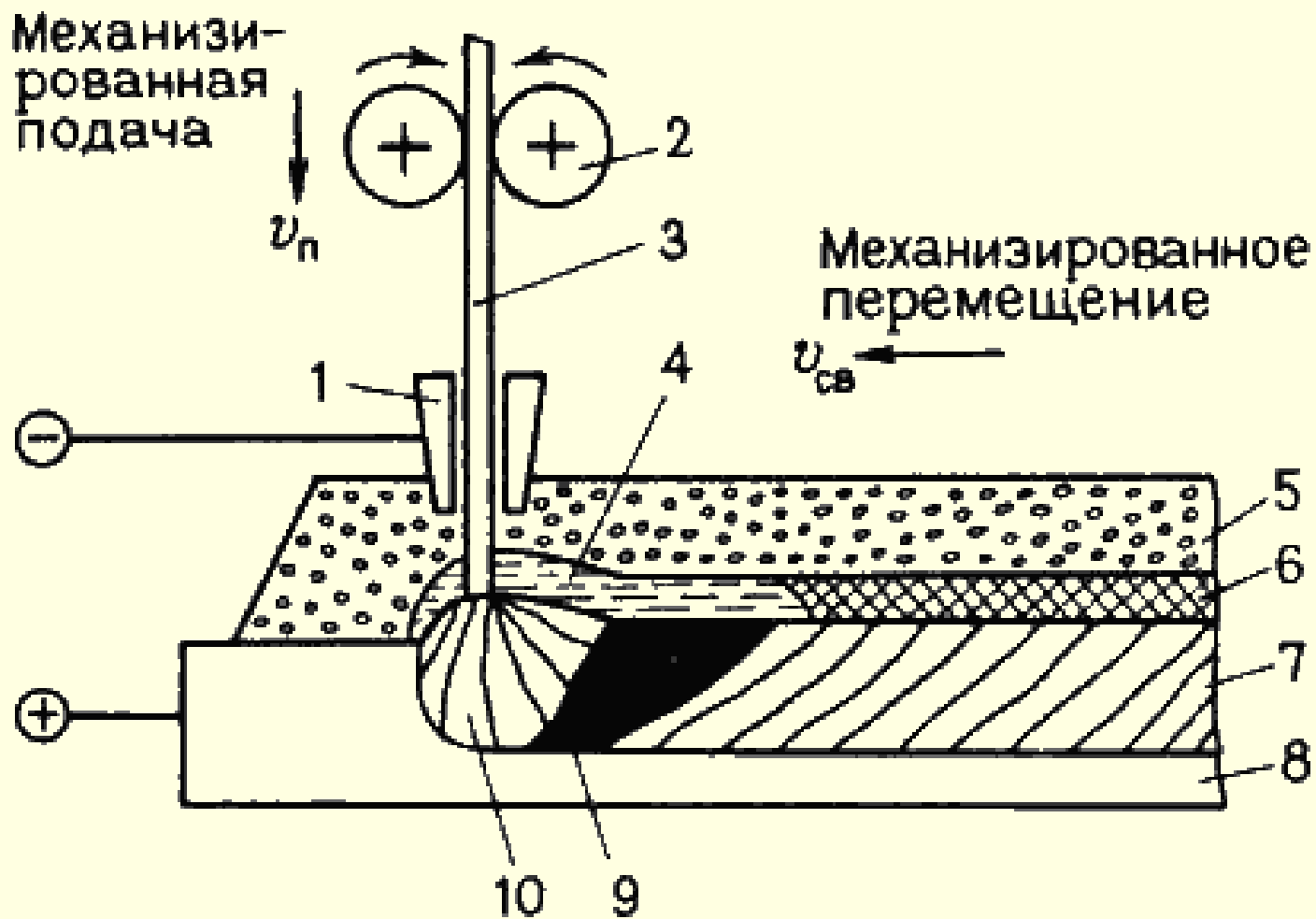


Схема автоматической дуговой сварки под флюсом

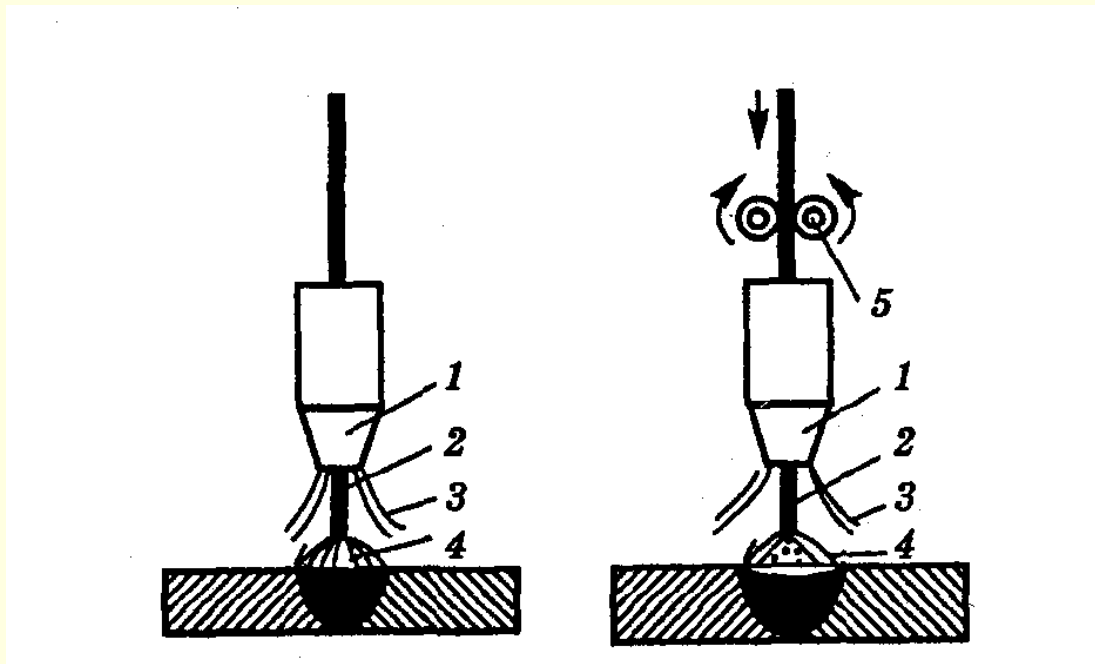


Преимущества перед ручной дуговой сваркой:

- Производительность сварки под флюсом повышается в 5...12 раз
- высокое и стабильное качество металла сварного шва и сварного соединения;
- небольшой расход электродного металла и электроэнергии;
- облегчение труда сварщиков.

Автоматическая сварка под флюсом является одним из основных способов сварки плавлением. Этим способом успешно свариваются низкоуглеродистые, низколегированные, легированные и высоколегированные стали, а также титан, медь, алюминий и их сплавы.

Сварка в защитных газах



Схемы дуговой сварки в защитных газах:

а — неплавящимся электродом; б — плавящимся электродом
(1 — сварочная горелка; 2 — электрод; 3 — защитный газ; 4 —
электрическая дуга; 5 — подающие ролики)

Разновидности процесса сварки в защитных газах классифицируются:

- по составу защитных газов,
- типу электрода
- степени механизации.

В качестве защитной среды применяют:

- инертные газы — аргон (Ar) и гелий (He);
- активные газы — углекислый газ (CO₂), азот (N₂);
- смеси Ar + He; Ar + N₂; Ar + O₂; Ar + CO₂.

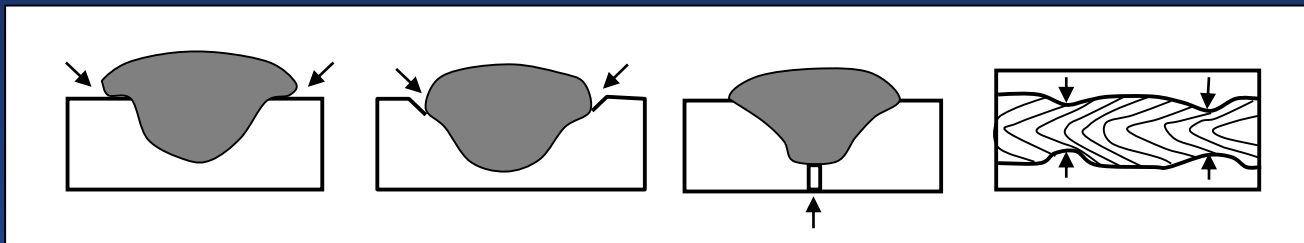
Наиболее часто используют Ar и CO₂.

- Наиболее широкое применение в промышленности нашла **сварка в углекислом газе** плавящимся электродом. Главная особенность этого способа заключается в применении электродной проволоки с повышенным содержанием элементов — раскислителей (Mn, Si и др.), компенсирующих их выгорание в зоне сварки [Св-08ГС (0,10 % С, 1,40...1,70 % Mn, 0,60...0,85 % Si) и Св-08Г2С (0,5...0,11 % С, 1,80...2,10 % Mn, 0,70...0,95 % Si)].

Особенности сварки в защитных газах

- высокая степень концентрации дуги, обеспечивающая минимальную зону структурных превращений и относительно небольшие деформации изделий;
- высокая производительность;
- высокоэффективная защита расплавленного металла;
- возможность наблюдения за дугой и сварочной ванной;
- возможность сварки металлов различной толщины в диапазоне от десятых долей миллиметра до десятков миллиметров;
- широкая возможность механизации и автоматизации;
- отсутствие флюсов и покрытий электрода, а следовательно, и необходимости очистки сварных швов;
- возможность сварки в различных пространственных положениях

Схема наружных и внутренних дефектов сварных соединений

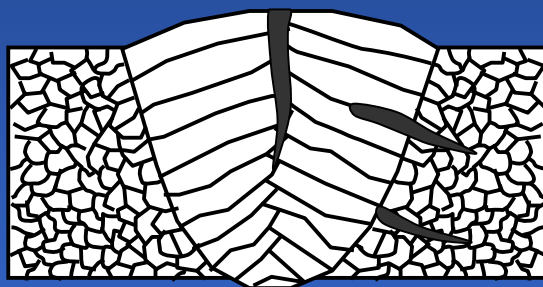


Наплыв

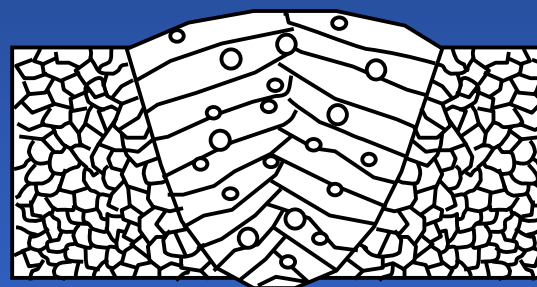
Подрез

Непровар

Утяжки



Трещины



Поры

Продольные трещины:

а, б – в сварном шве; в - в основном металле



а)

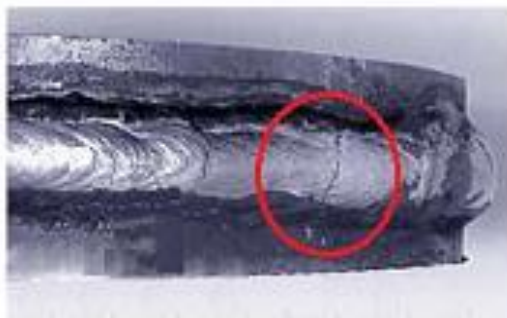


б)



в)

Поперечная трещина в сварном шве (а) и кратерные трещины (б, в).



а)



б)



в)

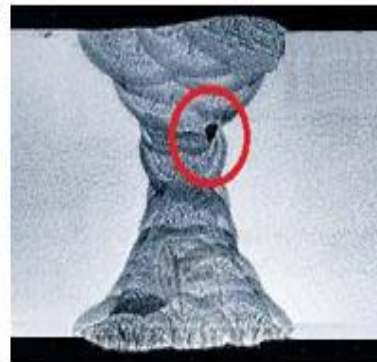
Твердое включение (а), шлаковые включения (б, в) и вольфрамовые включения (г) в металле шва.



а)



б)



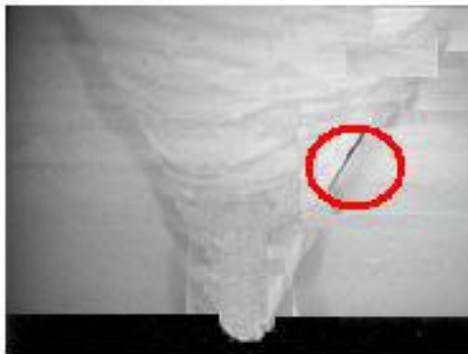
в)



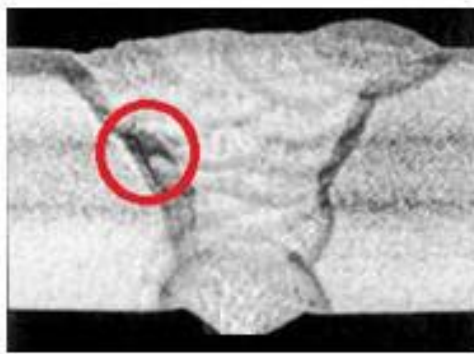
г)

Несплавления и непровары в сварных швах:

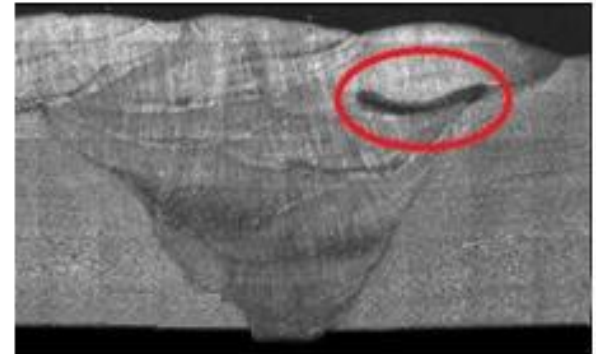
а - несплавление по расплавляемой поверхности; б, в - несплавление между валиками; г – непровар в корне одностороннего шва; д - непровар в корне двустороннего шва; е - непровар в угловом шве



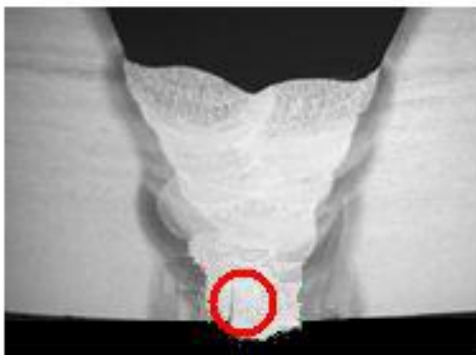
а)



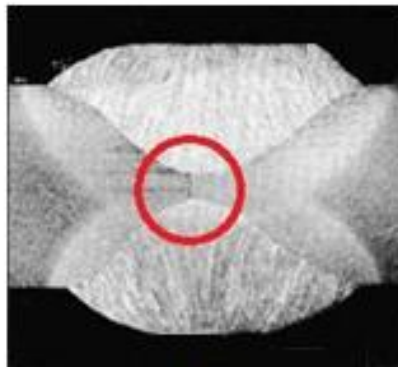
б)



в)



г)

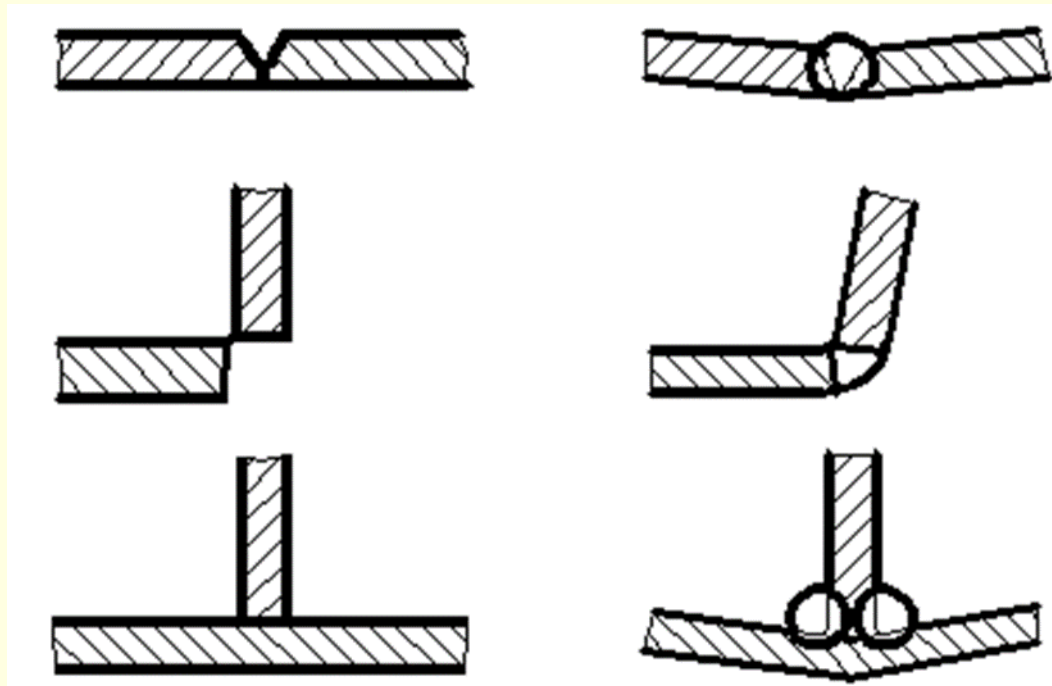


д)



е)

Деформация сварных изделий от поперечной усадки наплавленного металла



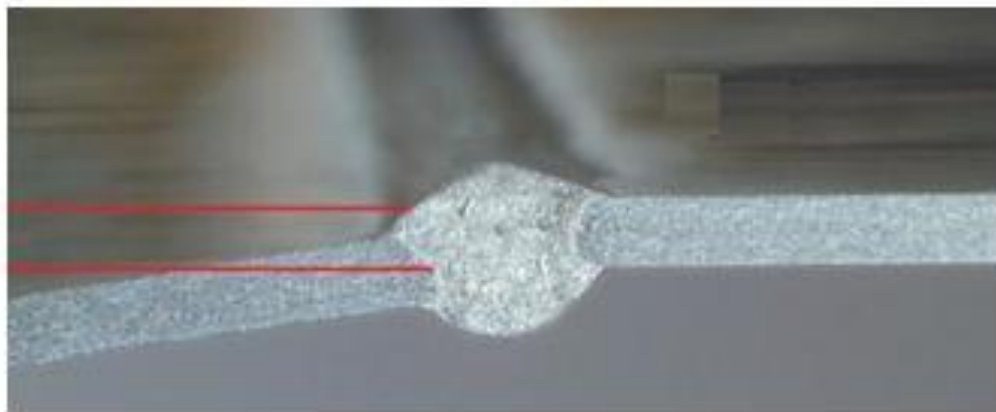
а)

а- до сварки

б)

б – после сварки

Дефекты геометрии сварного соединения:
а – угловое смещение; б - линейное смещение



а)



б)

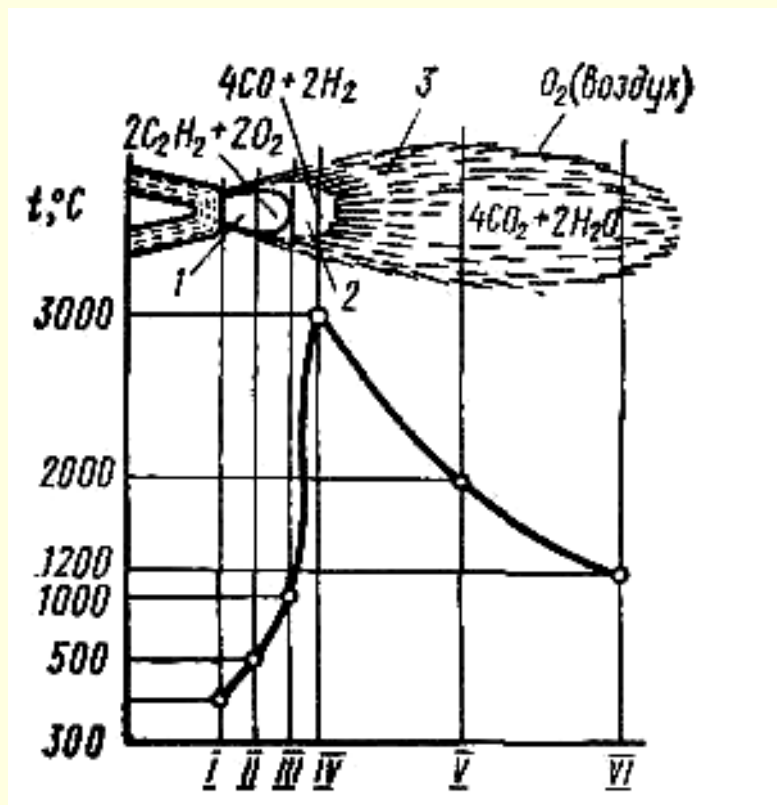
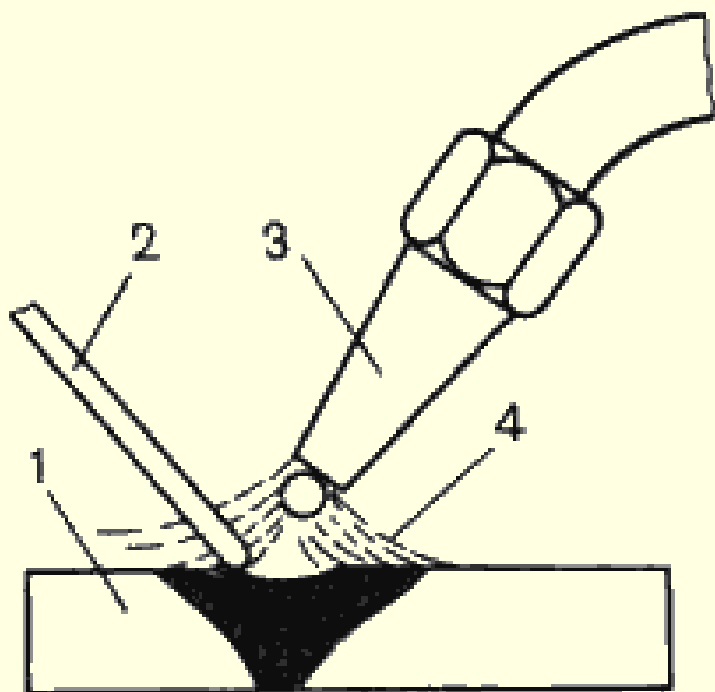
Электрошлаковая сварка

- При электрошлаковой сварке источником теплоты для расплавления основного и электродного металла является расплавленный флюс, нагреваемый до высокой температуры (2000 °С) за счет прохождения электрического тока.
- Электрошлаковую сварку широко применяют в тяжелом машиностроении при изготовлении крупногабаритных конструкций (валов, корпусных деталей и других ковано-сварных и лито-сварных конструкций) с толщиной свариваемых заготовок от 50 до 2000 мм.

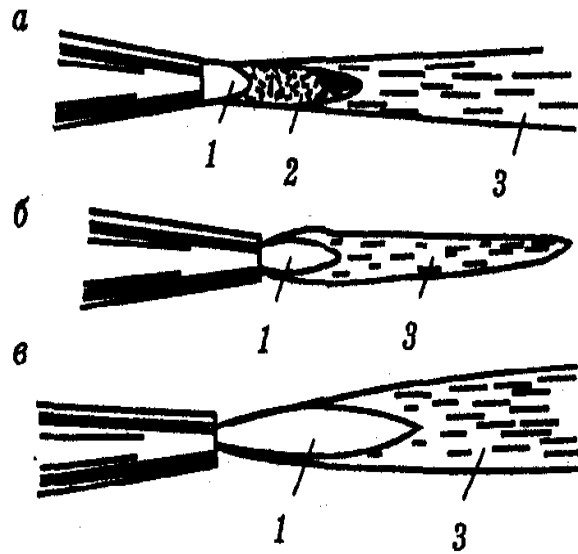
Газовая сварка

- При газовой сварке нагрев кромок соединяемых частей производится пламенем, образующимся при сжигании газов в смеси с технически чистым кислородом на выходе из сварочной горелки.
- Основным горючим газом является ацетилен, также применяются природный газ, пропан-бутановая смесь, МАФ (метилацетилен-алленовая фракция), водород и другие горючие газы.

Схема газовой сварки и строения нормального ацетилено-кислородного пламени и график распределения температуры по его длине

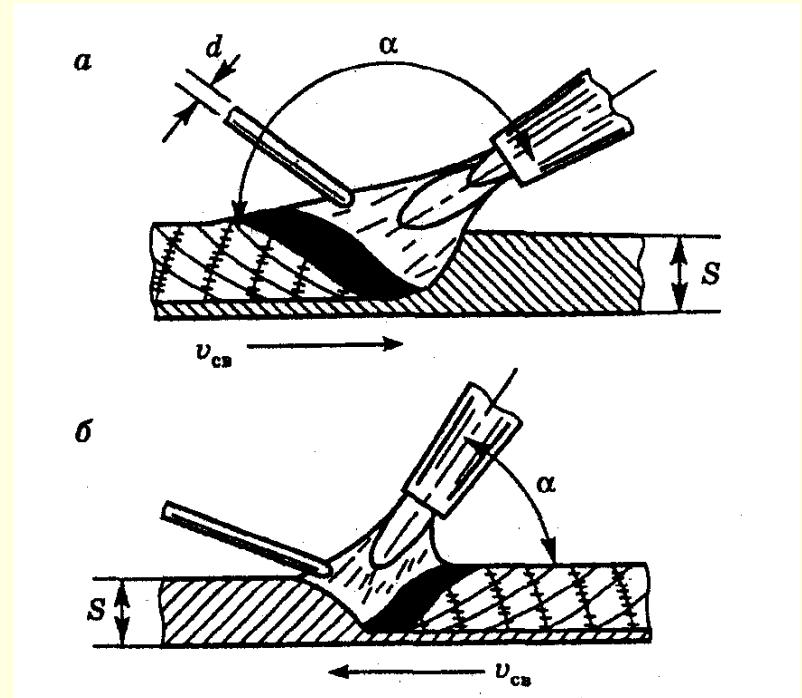


Технологические особенности газовой сварки



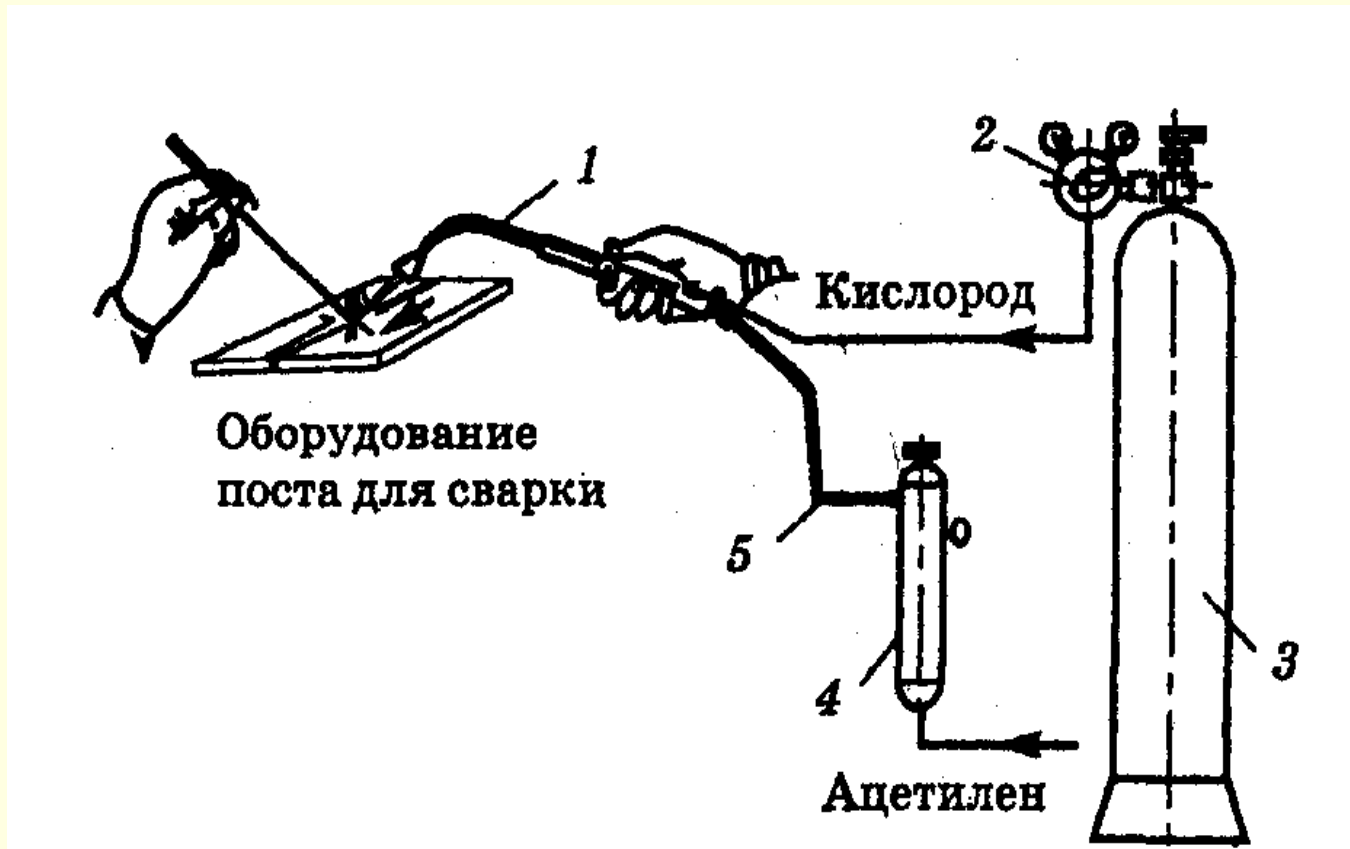
Виды ацетилено-кислородного
пламени:

а — нормальное; б — окислительное; в
— науглероживающее



Способы газовой сварки:
а — правый; б — левый

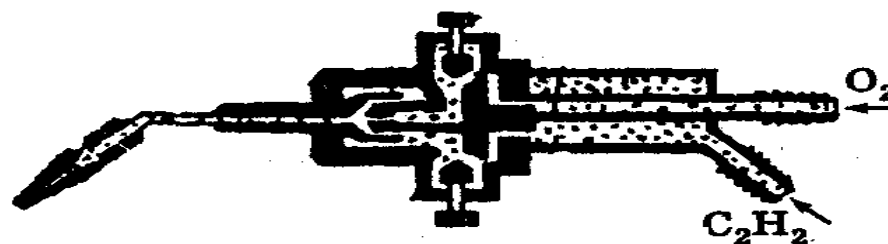
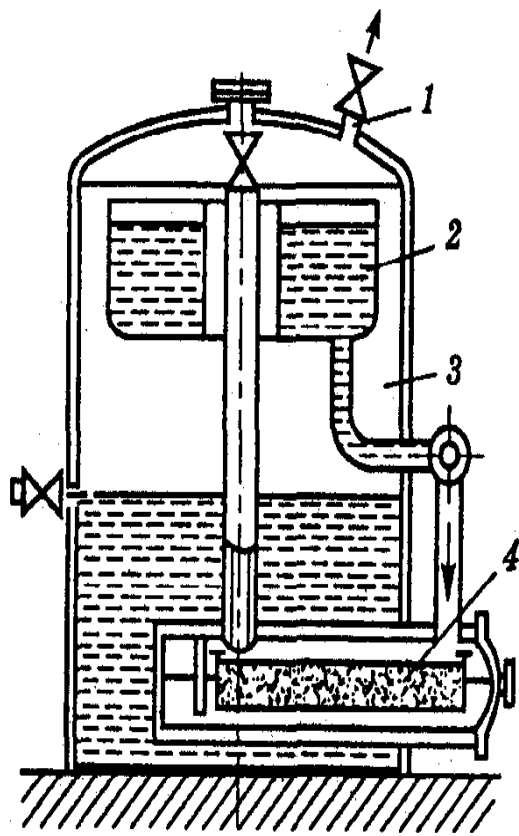
Оборудование поста для газовой сварки



1 — сварочная горелка; 2 — кислородный редуктор; 3 — баллон с кислородом; 4 — предохранительный затвор; 5 — рукава

Оборудование

Схема ацетиленового генератора
комбинированного типа:
1 — отбор газа; 2 — бак с водой; 3
— газосборник; 4 — зарядник

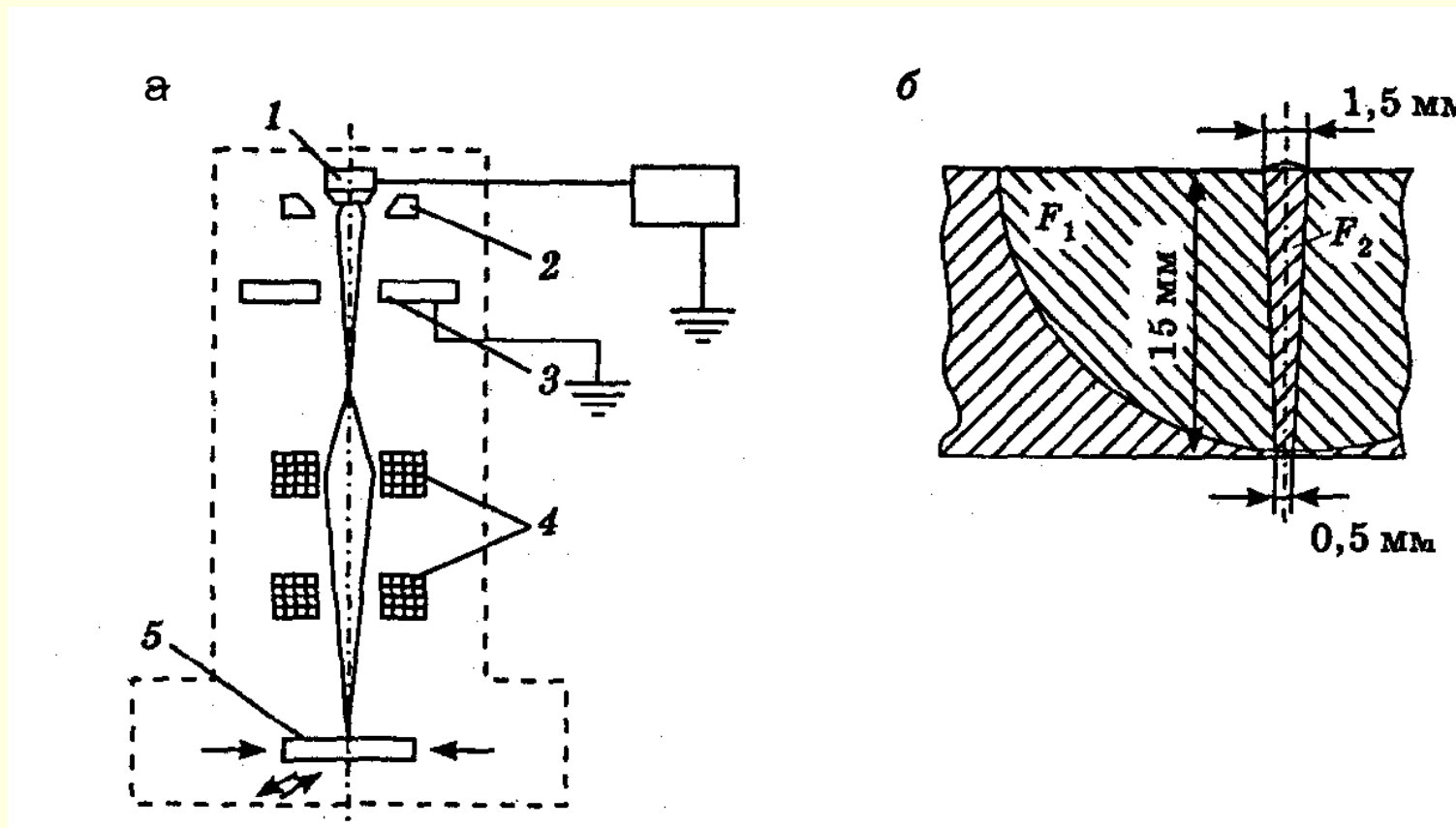


Инжекторная горелка для газовой сварки

Электронно-лучевая сварка основана на использовании для нагрева и расплавления свариваемых деталей *энергии электронного луча*.

- Электронный луч представляет собой сжатый поток 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, которая расходуется на нагрев этого тела.
- Температура в месте соударения может достигать 5000...6000 °С.

**Схема установки (а) и «кинжальное» проплавление (б)
при электронно-лучевой сварке
(F1; F2 — сечения швов при дуговой
и электронно-лучевой сварке)**



При лазерной сварке нагрев и плавление металла осуществляются мощным световым лучом, получаемым от специальных твердых или газовых излучателей.

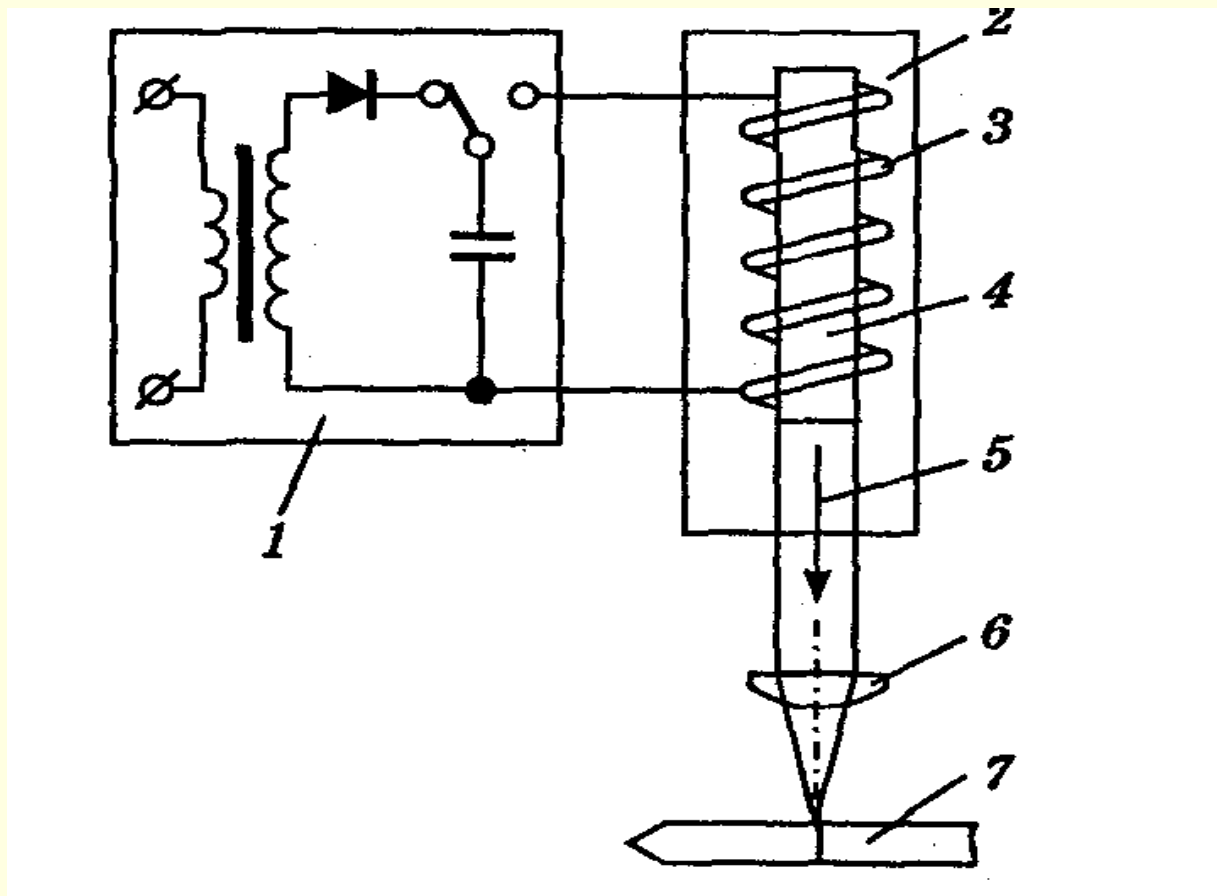
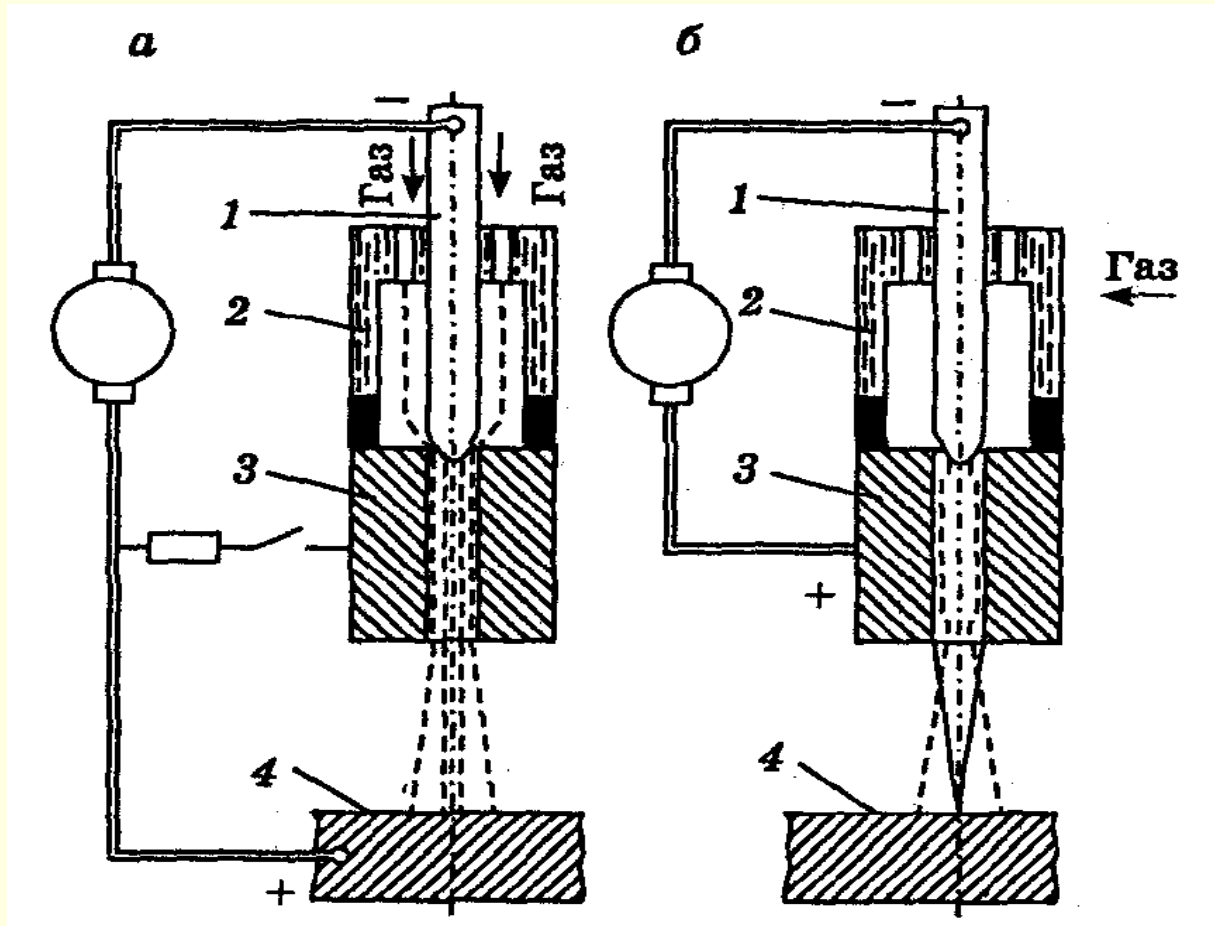


Схема установки для лазерной сварки

Плазменная сварка



Схемы устройства плазмотронов:

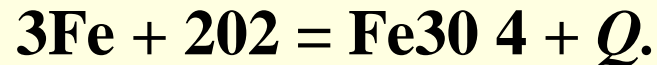
а — с дугой прямого действия; б — с дугой косвенного действия

Термическая резка

Получили распространение несколько способов термической резки металлов:

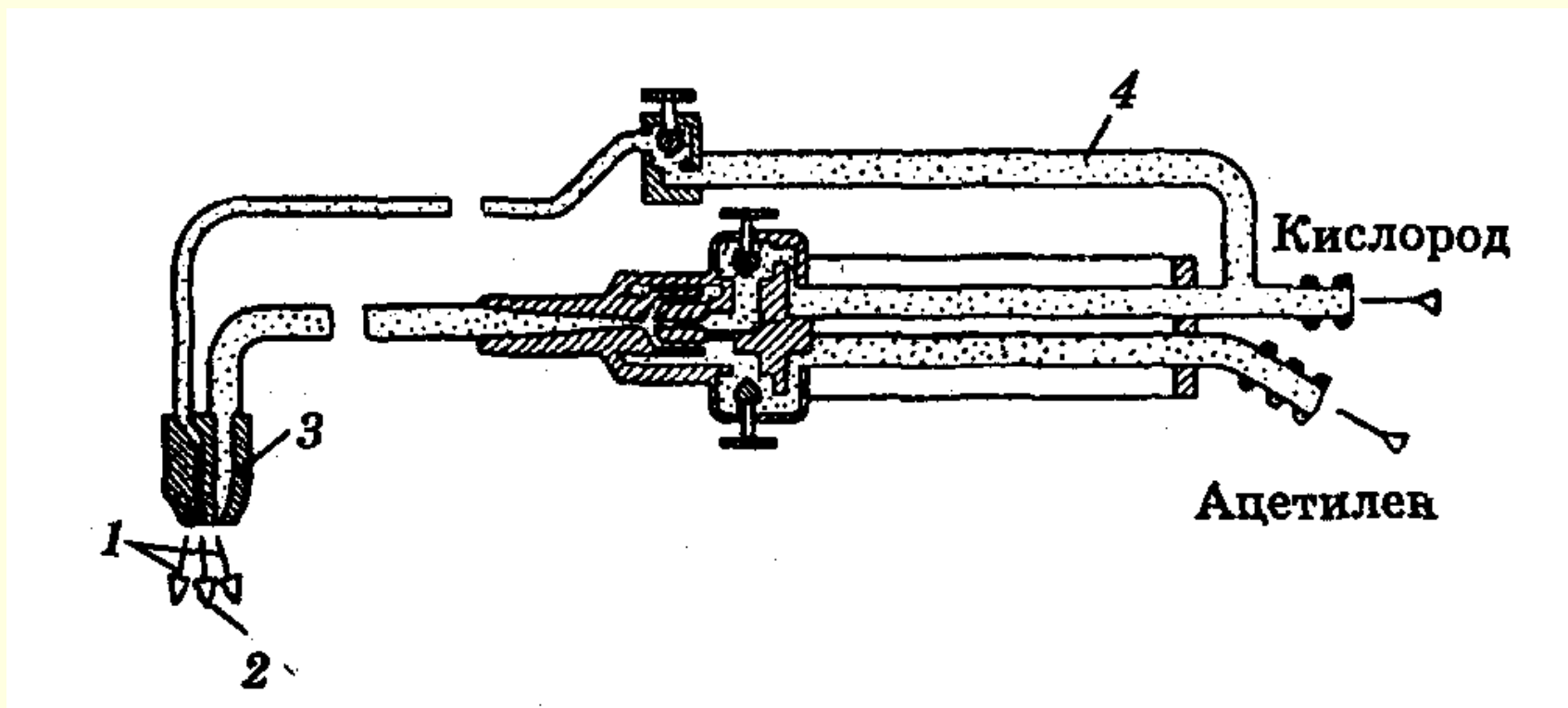
- газокислородная;
- кислородно-флюсовая;
- дуговая резка металлическим электродом;
- кислородно-дуговая;
- воздушно-дуговая;
- плазменно-дуговая.

- **Газокислородная резка** заключается в сжигании металла в струе кислорода и удалении этой струей образующихся оксидов.
- 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).
- Металл нагревается в начальной точке реза подогревающим ацетиленокислородным пламенем, затем в зону резки направляется струя режущего кислорода, и нагретый металл начинает гореть. Горение сопровождается выделением теплоты, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие ниже слои на всю толщину металла.

Схема газокислородного резака



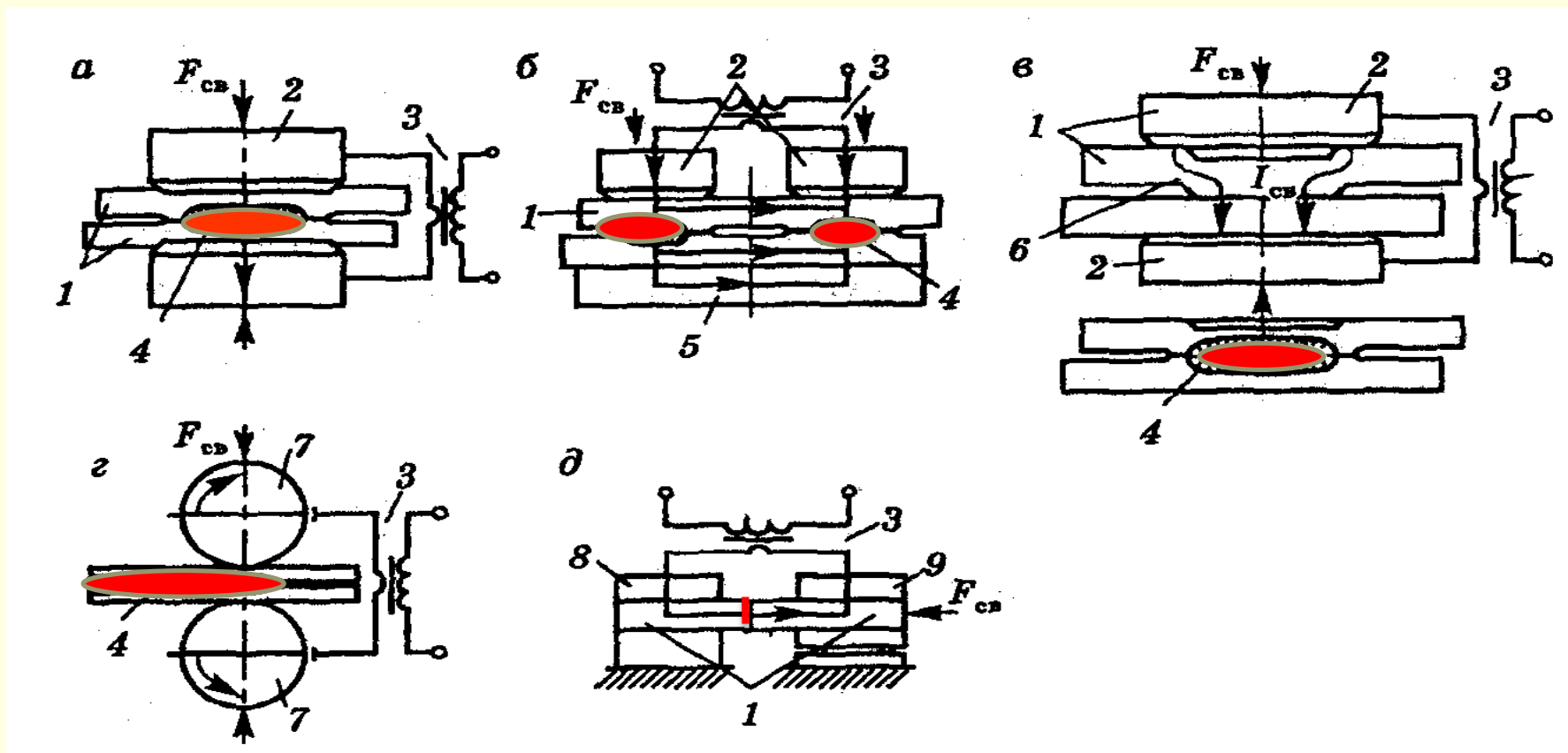
1- пламя; 2- режущая струя; 3- мундштук; 4- трубка подачи режущего кислорода

СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ

Контактная электрическая сварка является основным видом сварки давлением. Все способы контактной сварки основаны на нагреве и пластической деформации заготовок в месте их соединения.

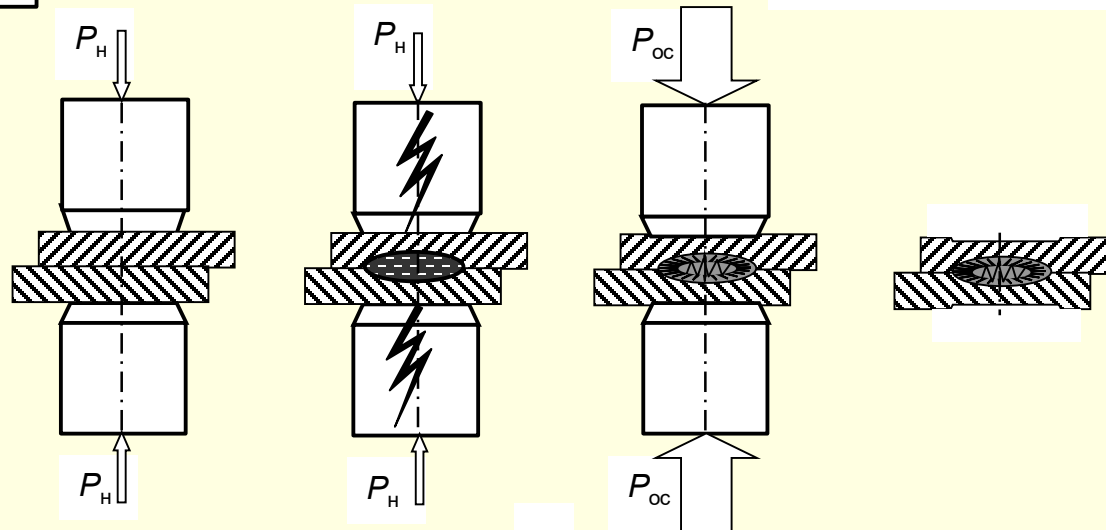
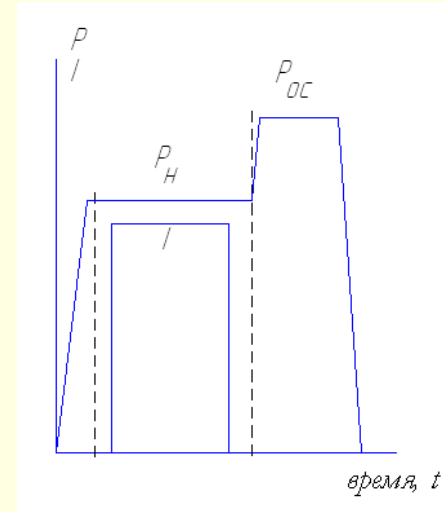
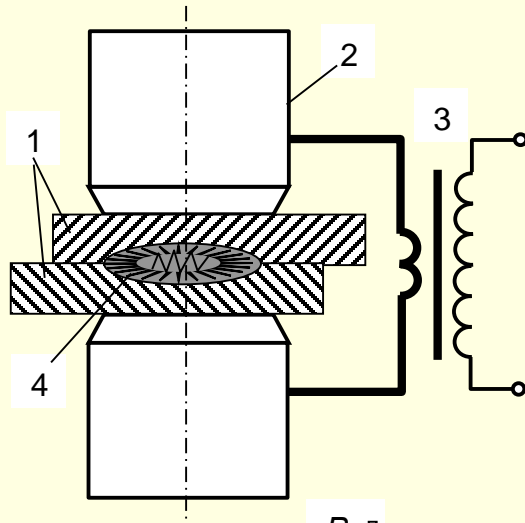
Нагрев осуществляется теплотой, которая выделяется при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.

Точечная сварка — способ *контактной сварки*, при котором детали свариваются по отдельным ограниченным участкам касания.

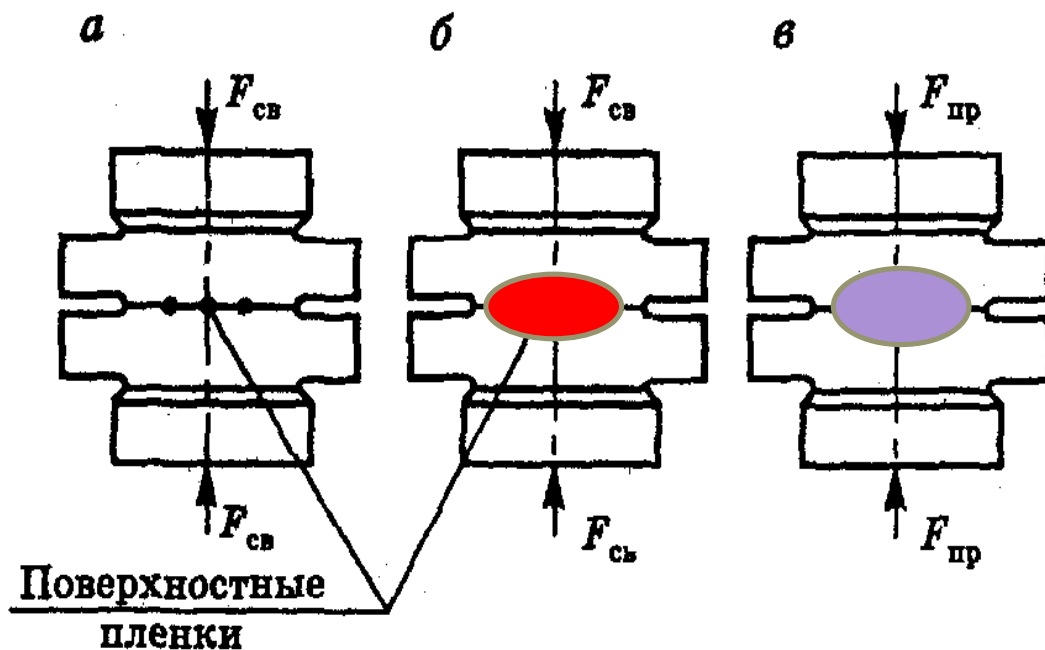


а, б — точечная; в — рельефная; г — шовная; д — стыковая

Схема, стадии и циклограмма точечной контактной сварки



Этапы образования соединения при точечной сварке

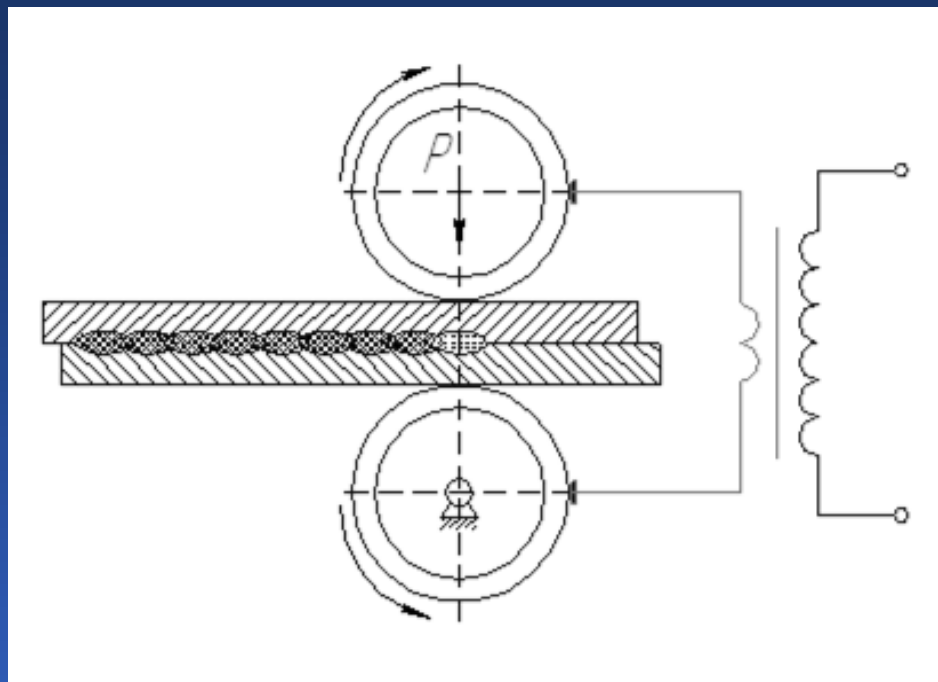


a — сжатие;

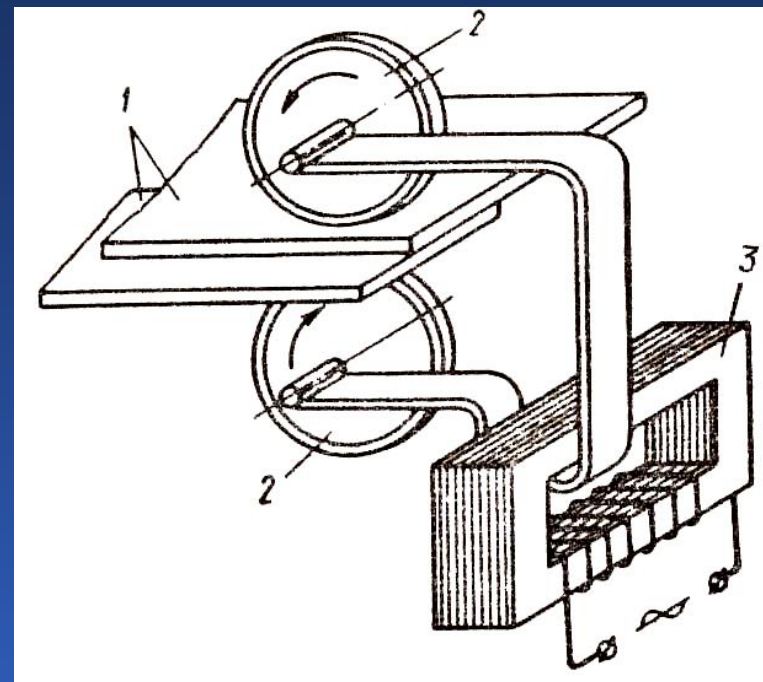
б — сварка;

в — проковка

Шовная контактная сварка



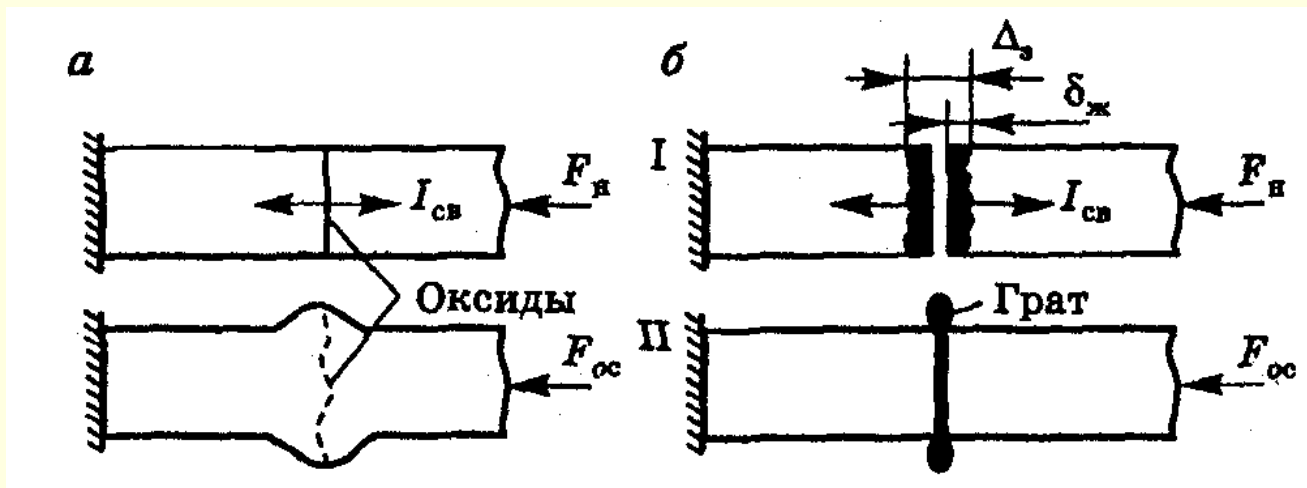
а



б

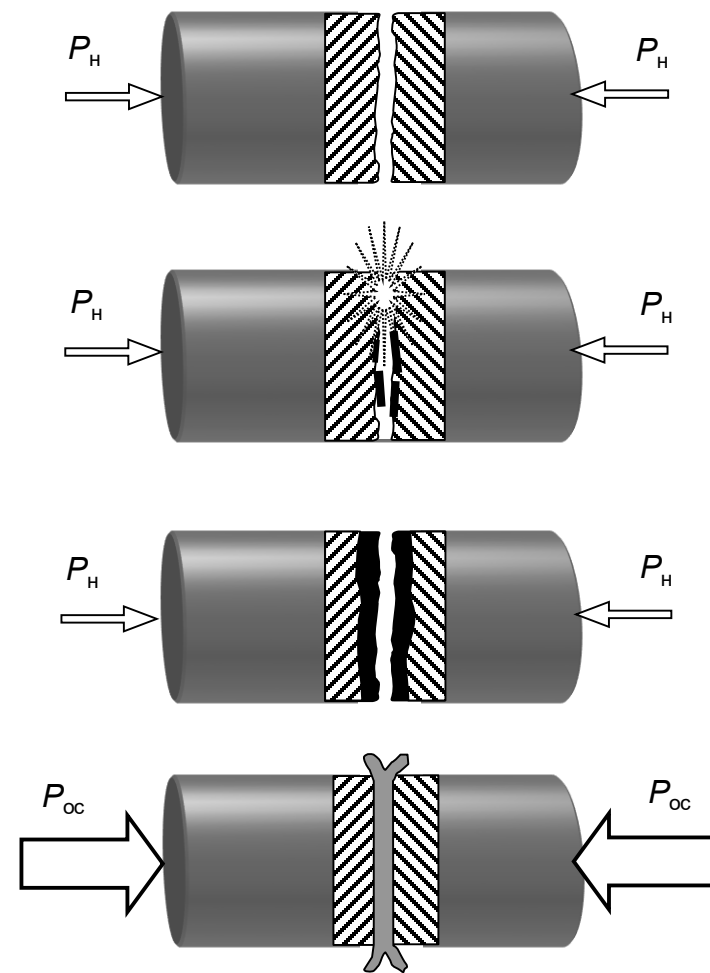
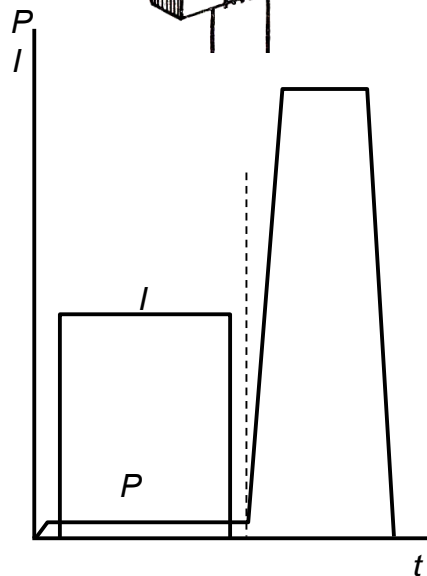
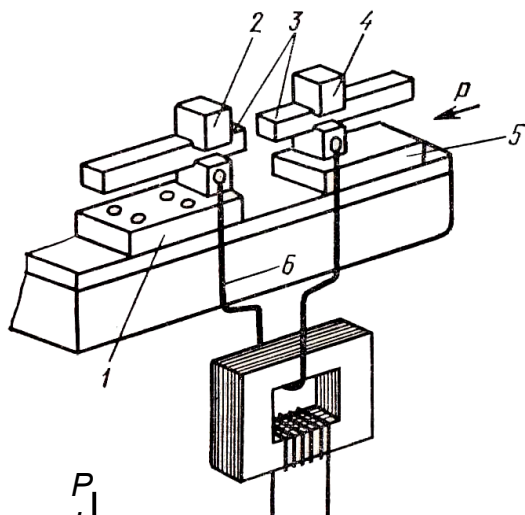
а – схема формирования сварного шва; б – схема процесса

Этапы образования соединений при стыковой сварке



а — сопротивлением; б — оплавлением;
 F_H — начальное усилие; $F_{ос}$ — усилие осадки

Схема, стадии и циклограмма стыковой контактной сварки оплавлением

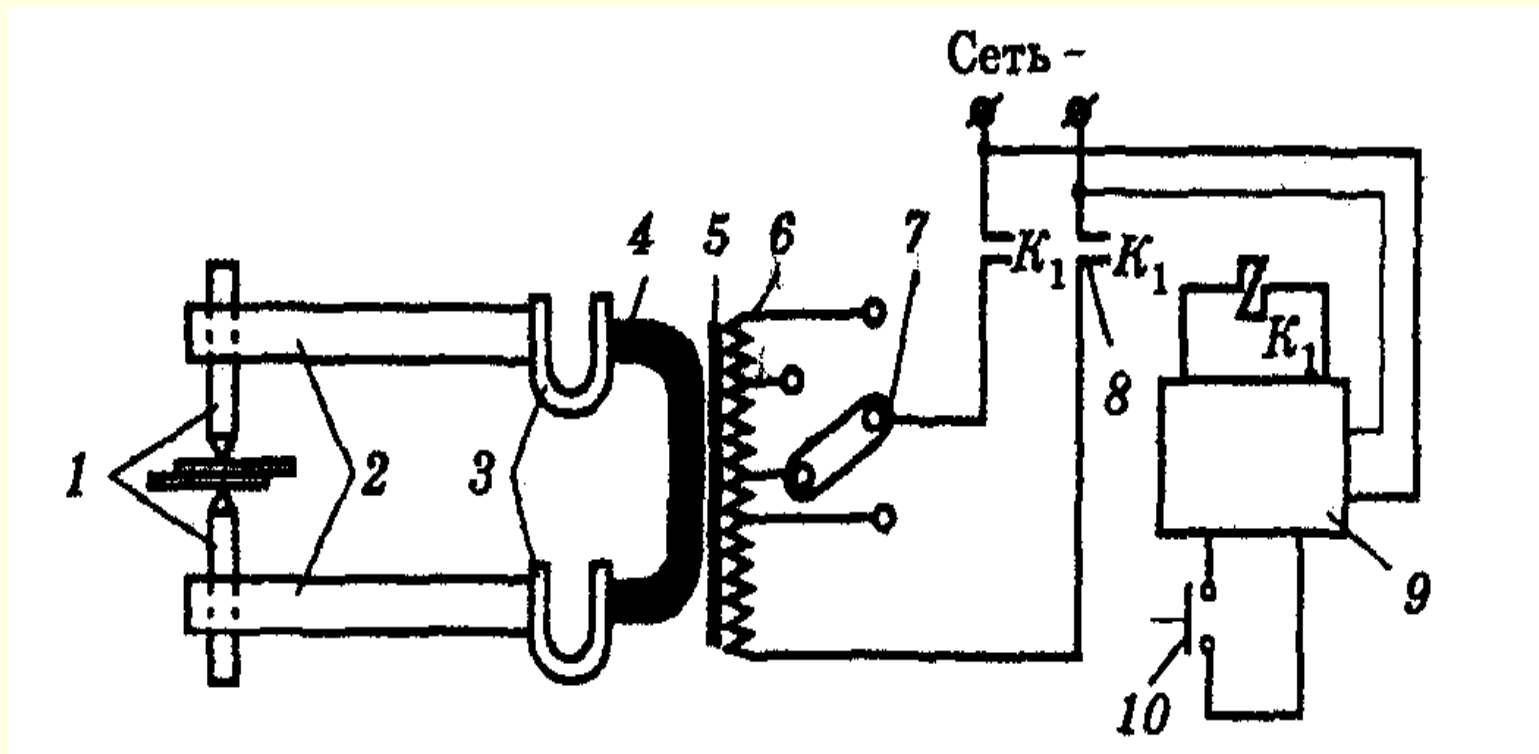


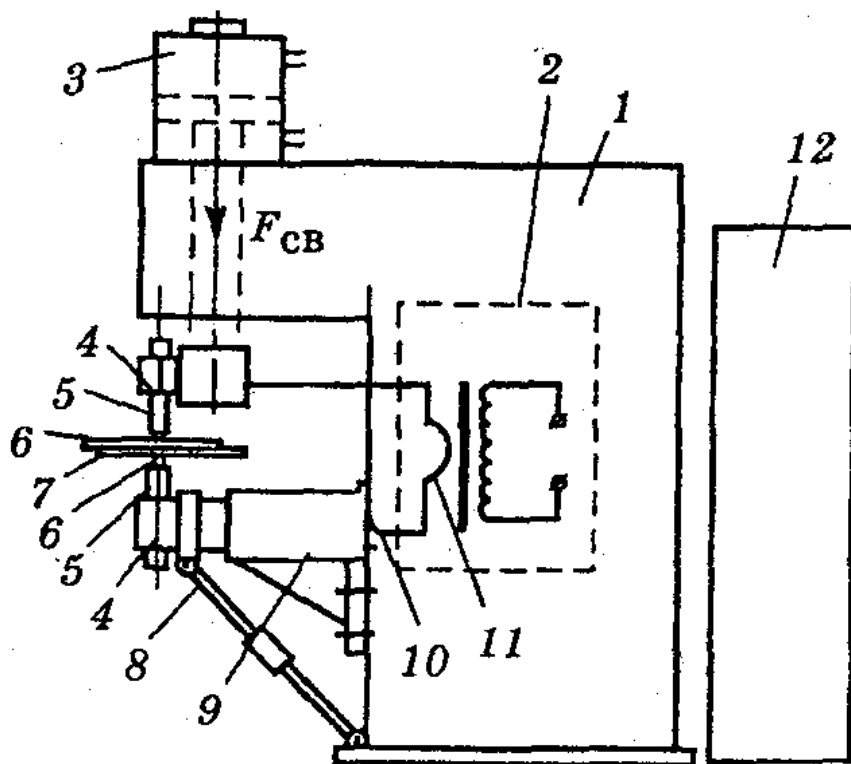
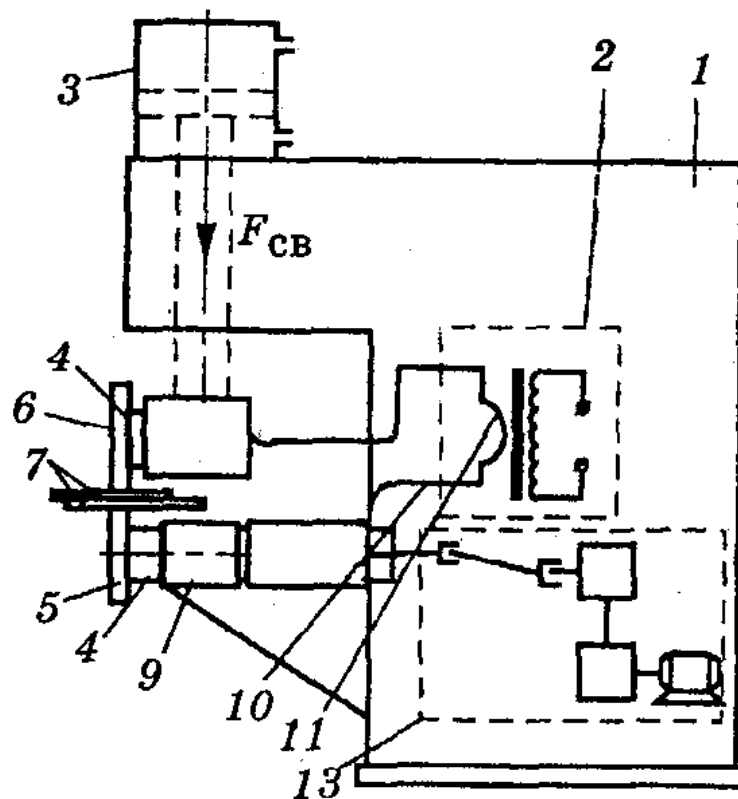
Оборудование для контактной сварки

Современное сварочное оборудование можно классифицировать:

- по способу преобразования энергии — машины переменного тока и импульсные;
- способу сварки — стыковые, точечные, рельефные и шовные;
- характеру установки — стационарные, передвижные и подвесные;
- характеру действия — автоматические, полуавтоматические

Принципиальная электрическая схема машины для точечной сварки

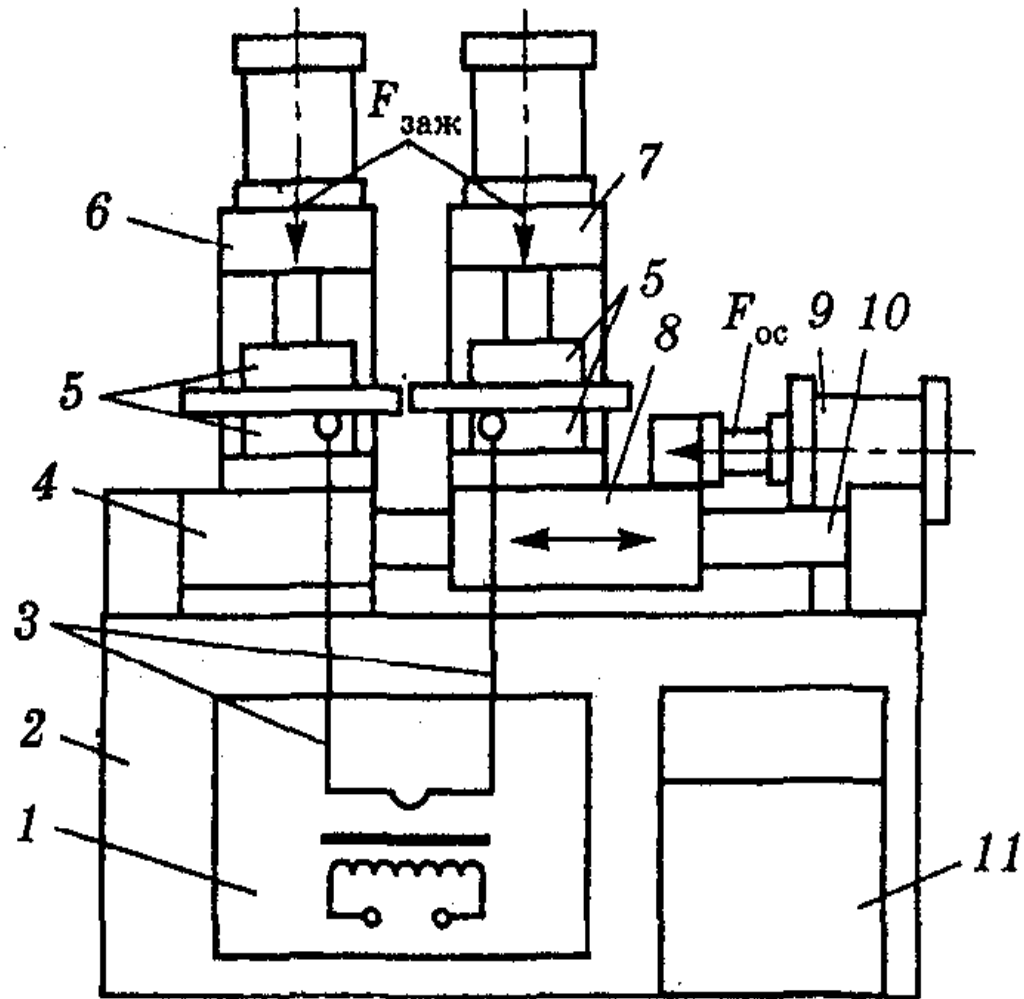


а**б**

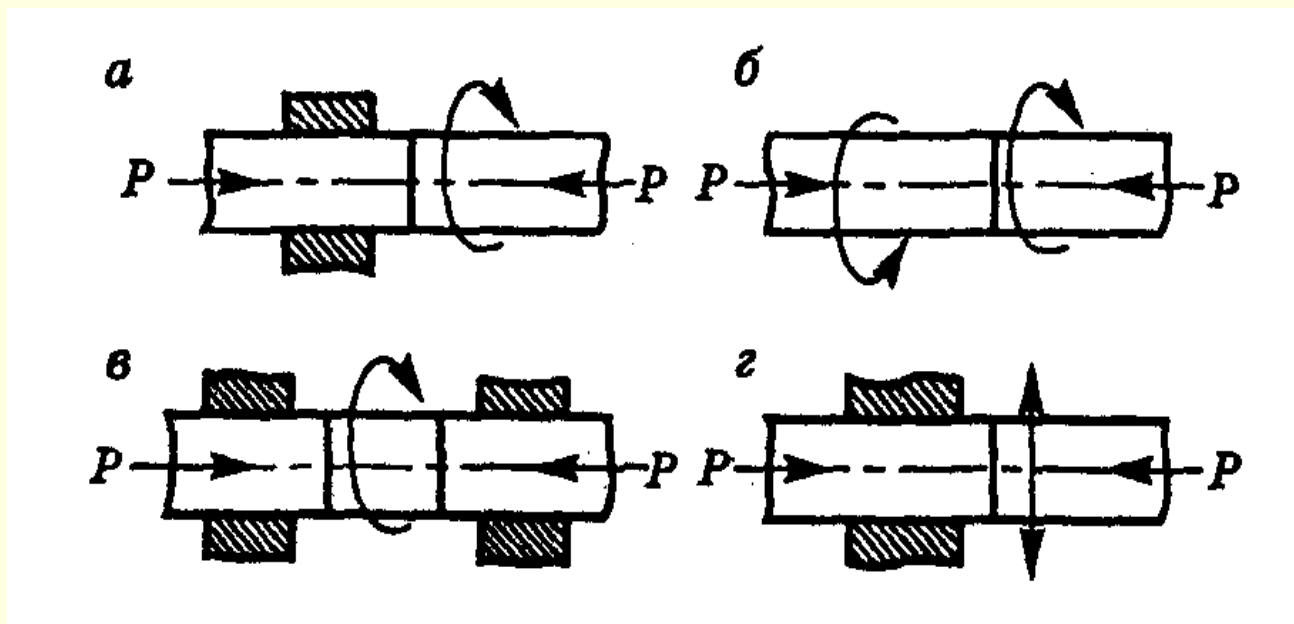
Схемы машин для точечной (а) и шовной (б) сварки:

1 — корпус; 2 — сварочный трансформатор; 3 — привод сжатия; 4 — консоли; 5 — электродержатели; 6 — электроды; 7 — детали; 8 — подкос; 9 — кронштейн (держатель); 10 — гибкие шины; 11 — вторичный виток трансформатора; 12 — шкаф управления; 13 — привод вращения электродов (роликов)

Схема машины для стыковой сварки

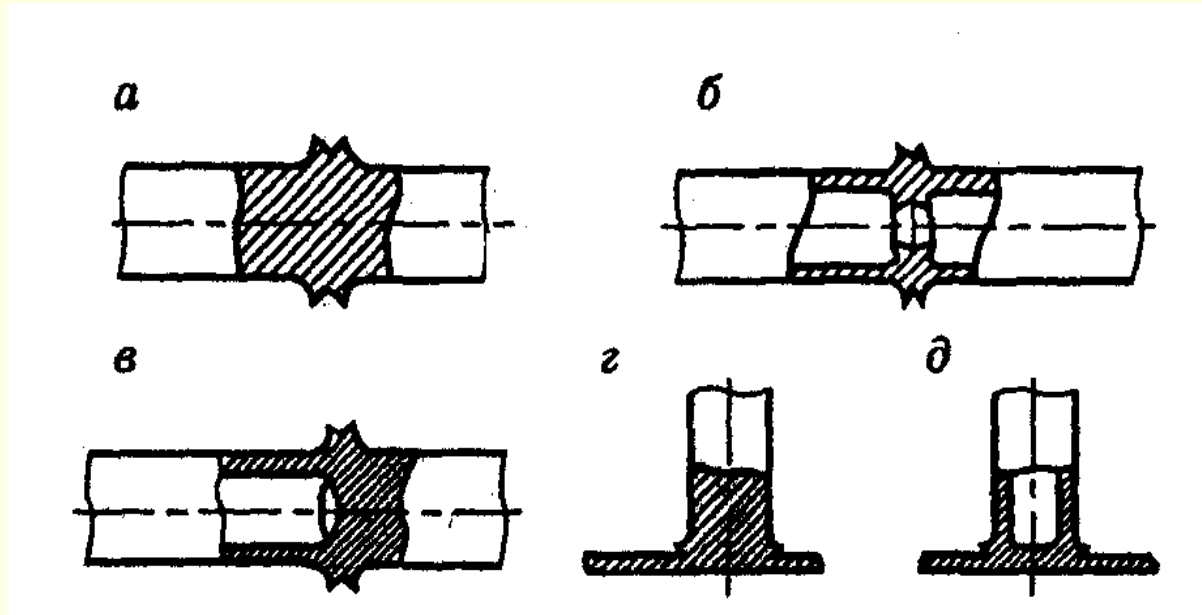


Сварка трением является одной из разновидностей сварки давлением. Сварное соединение образуется в твердой фазе без расплавления металла свариваемых деталей.



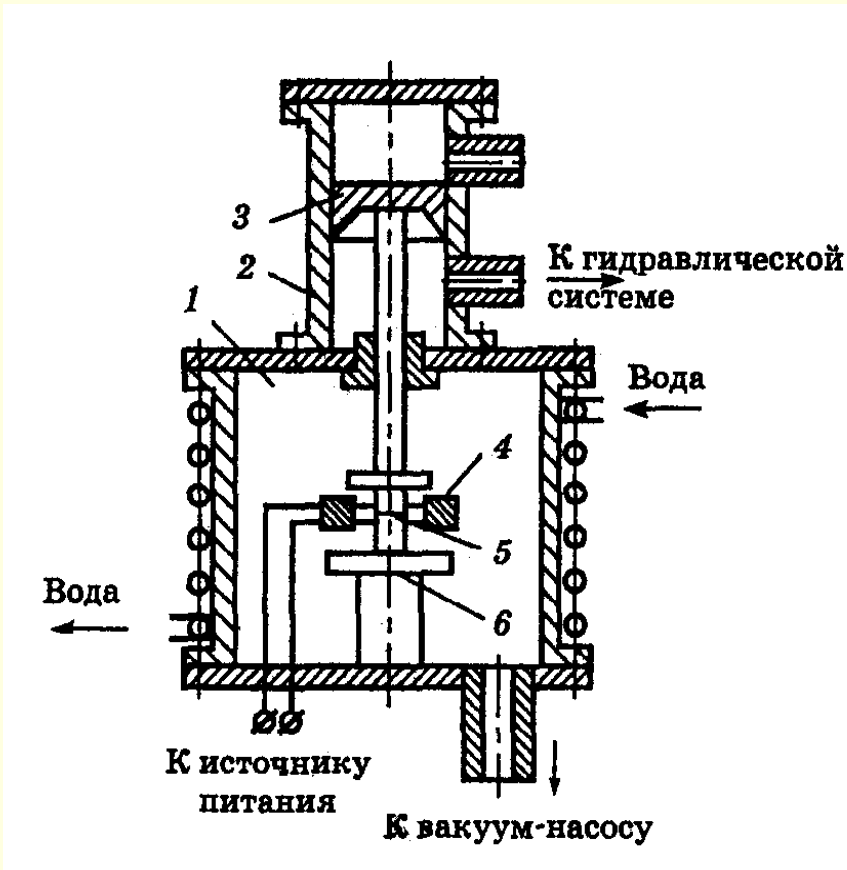
а — сварка с вращением одной детали; **б** — сварка с вращением двух деталей; **в** — одновременная сварка трех деталей; **г** — сварка вибротрением

Типы соединений



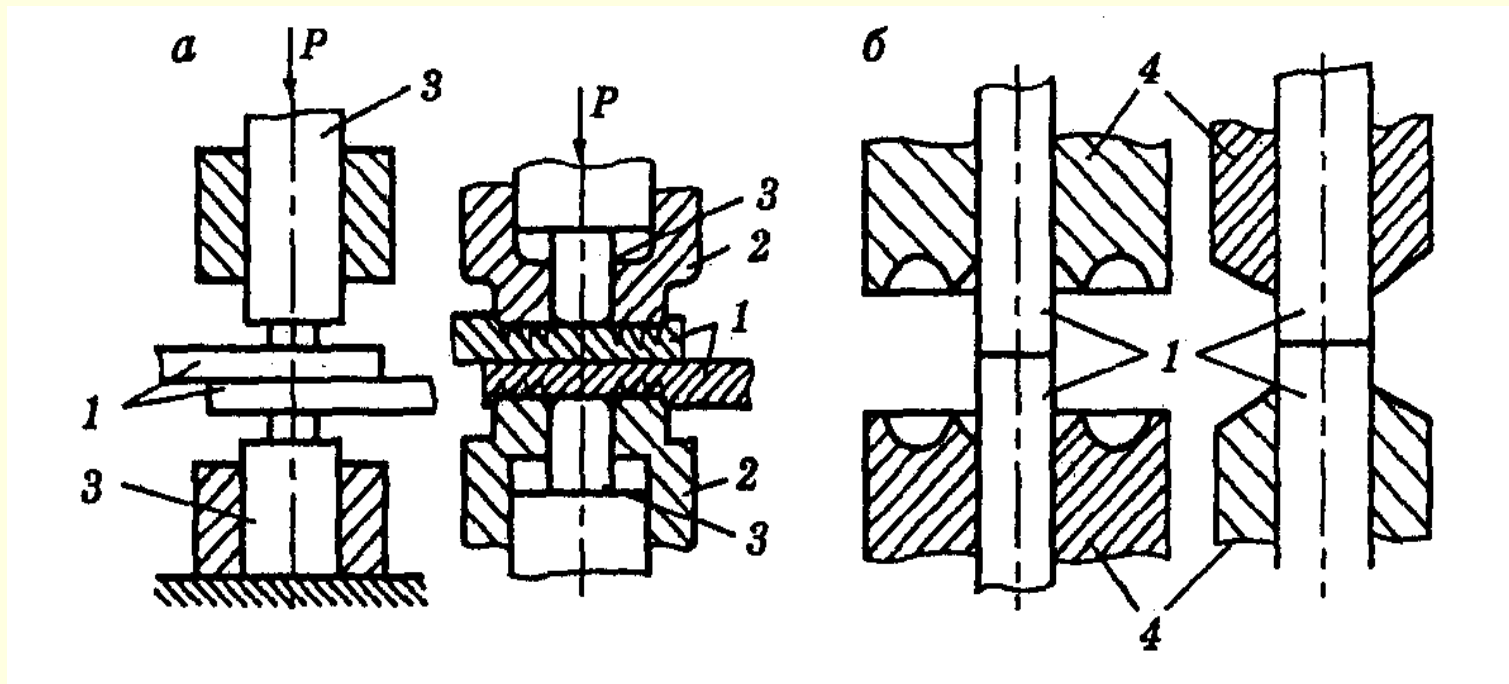
а — стержня встык; б — трубы встык; в — трубы со стержнем встык; г, д — Т-образные соединения стержня и трубы с плоской поверхностью контр-детали

Диффузионная сварка — разновидность сварки давлением — происходит за счет взаимной диффузии атомов контактирующих поверхностей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и незначительной пластической деформации.



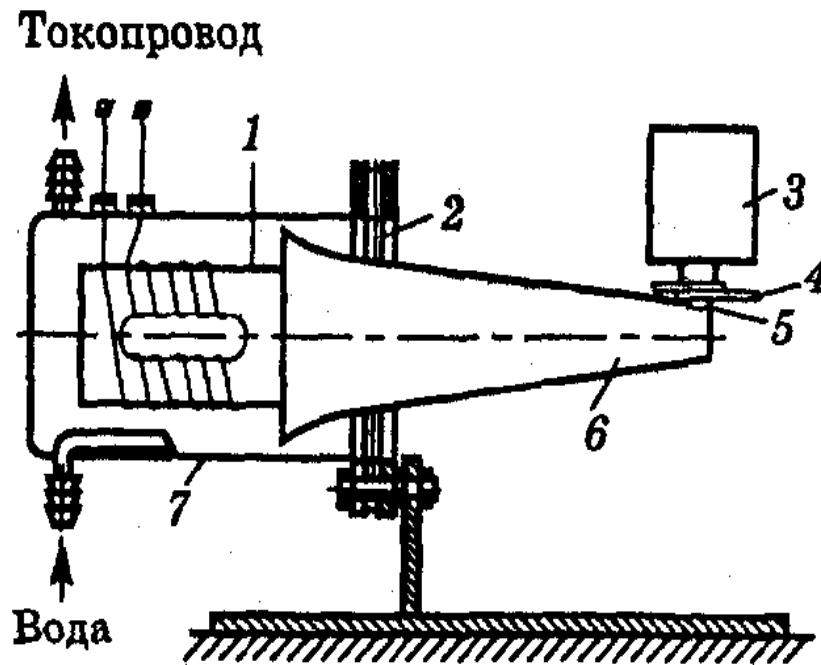
- 1 — вакуумная камера;
- 2 — цилиндр гидропривода;
- 3 — поршень;
- 4 — индуктор;
- 5 — свариваемые детали;
- 6 — стол для крепления деталей

Холодная сварка — один из видов сварки в твердом состоянии со значительной объемной пластической деформацией в зоне контакта соединяемых материалов.

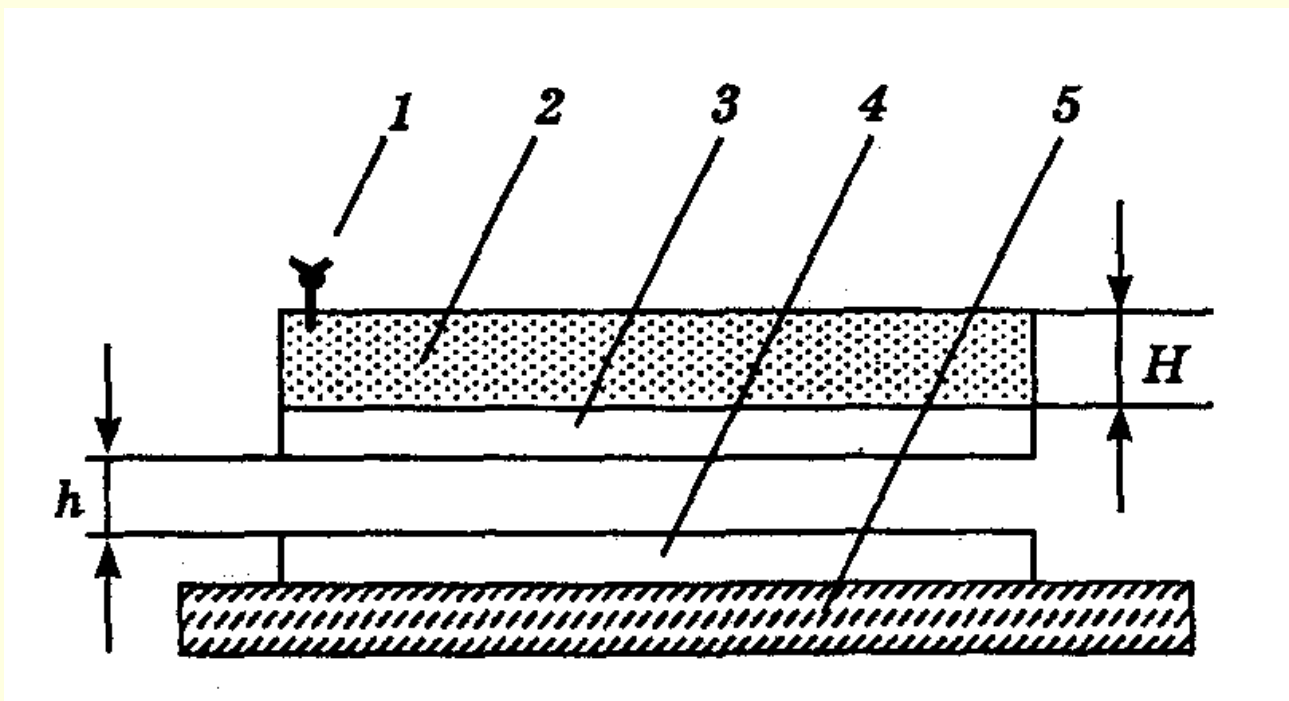


а — внахлестку без зажатия и с зажатием свариваемых деталей перед сваркой; б — встык с зажимами (1 — свариваемые детали; 2 — прижимы; 3 — пуансоны; 4 — зажимы)

Ультразвуковая сварка. Неразъемное соединение металлов образуется при совместном воздействии на детали механических колебаний высокой частоты и относительно небольших сдвигающих усилий.

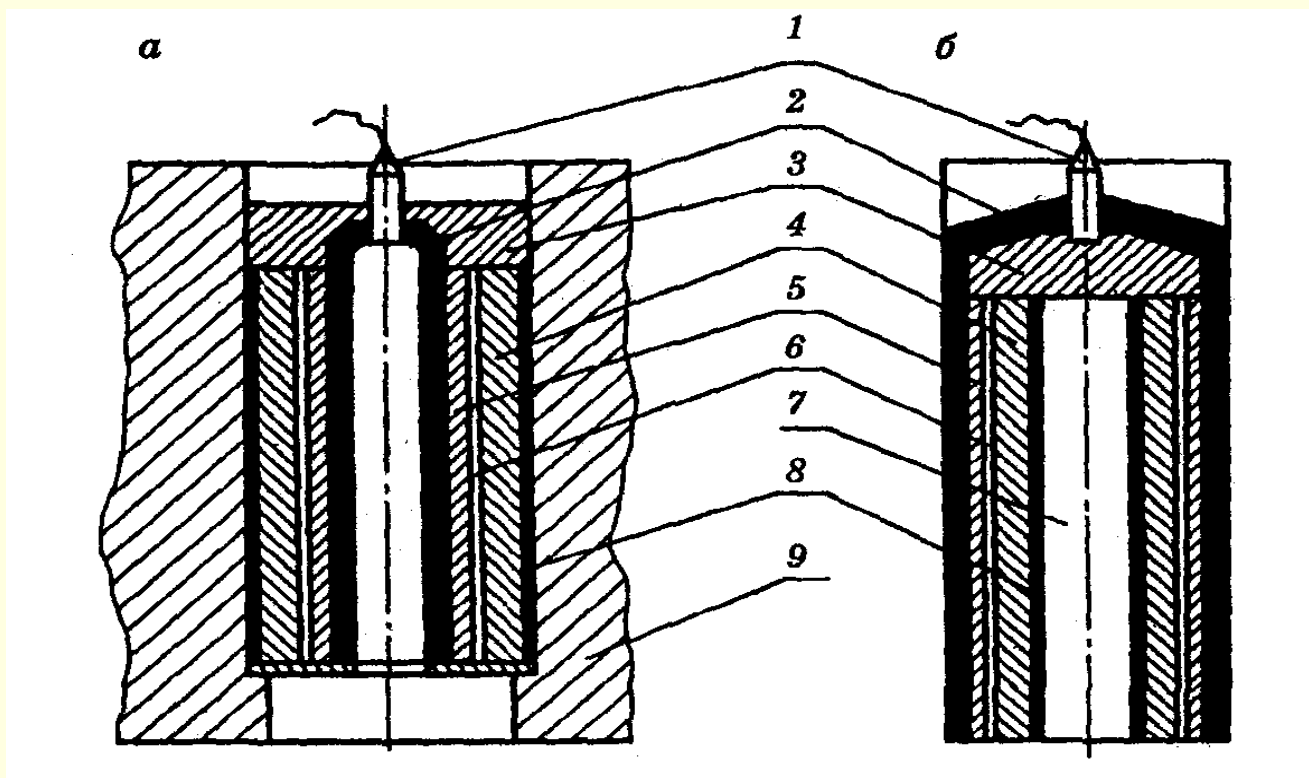


Сварка взрывом — это процесс соединения материалов, находящихся в твердом состоянии, за счет пластической деформации соударяющихся под углом поверхностей заготовок при воздействии импульса давления, создаваемого взрывом.



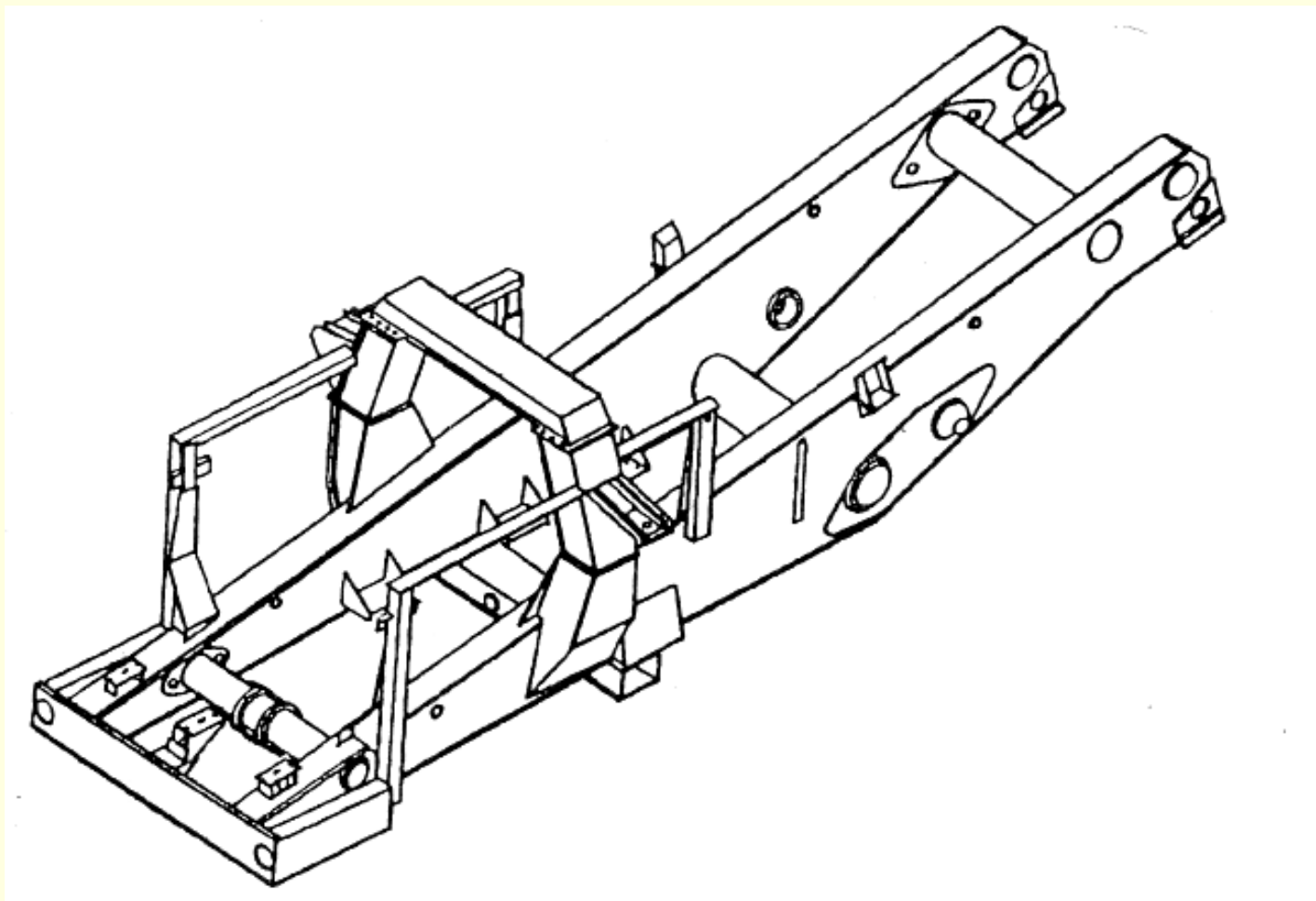
сварка взрывом с параллельным расположением пластин

Сварка труб взрывом по схеме внутреннего (а) и наружного (б) плакирования

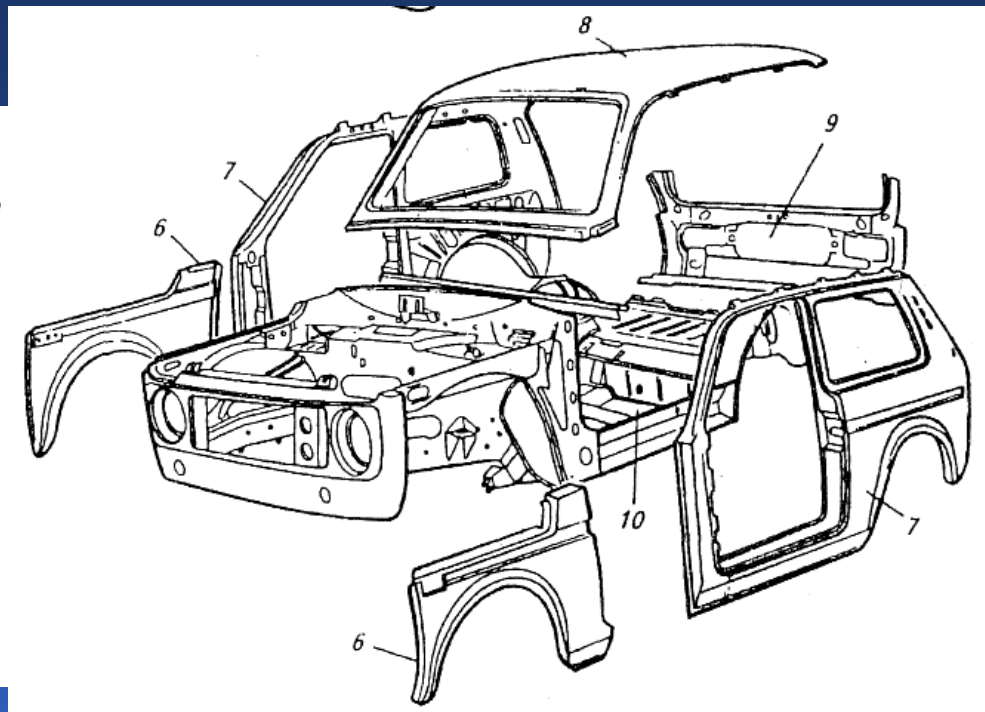
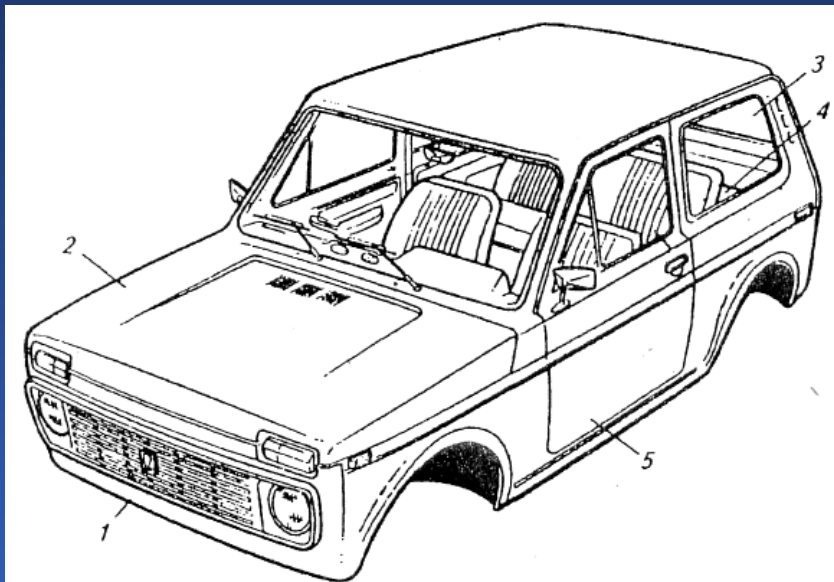


- 1 — электродетонатор; 2 — взрывчатое вещество; 3 — защитный элемент;
4 — плакируемая труба; 5 — плакирующая труба; 6 — сварочный зазор;
7 — оправка; 8 — защитный слой; 9 — матрица

Цельносварная рама автомобиля-самосвала БелАЗ



Кузов автомобиля ВАЗ-2121



1 – корпус; 2 – капот двигателя; 3 – задняя дверь;
4 – багажное отделение; 5 – передняя дверь; 6 – переднее крыло;
7 – боковина; 8 – крыша; 9 – задняя часть корпуса; 10 – основание

Пайка

- Пайка – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой.
- Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависит от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения.
- Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, промывку и зачистку шва.
- Паяные соединения контролируют по параметрам режимов пайки, внешним осмотром, проверкой на прочность или герметичность, методами дефекто- и рентгеноскопии.

Обработка металлов резанием

Доцент кафедры «Порошковая металлургия,
сварка и технология материалов» МТФ БНТУ

В. А. Сидоров

Основы теории обработки металлов резанием

- **Обработка материалов резанием** — это технологический процесс, при котором режущий инструмент удаляет с поверхности заготовки слой материала в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатостей поверхностей детали.
- Процесс резания состоит в том, что обрабатываемая деталь и режущий инструмент перемещаются относительно друг друга, и во время этого движения инструмент срезает с поверхности детали слой металла, превращая его в стружку.
- Совокупность относительных движений инструмента и заготовки, необходимых для получения заданной поверхности, называют **схемой обработки**

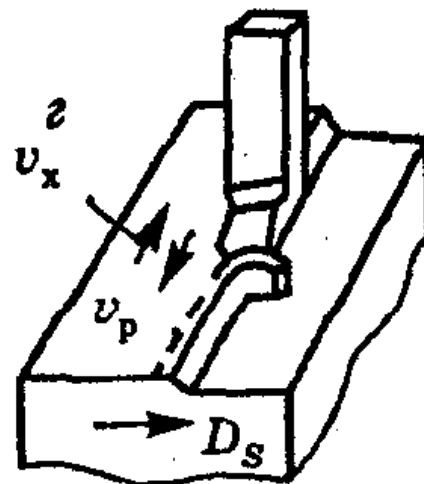
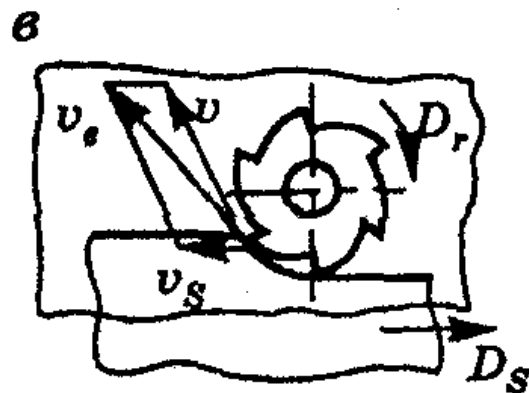
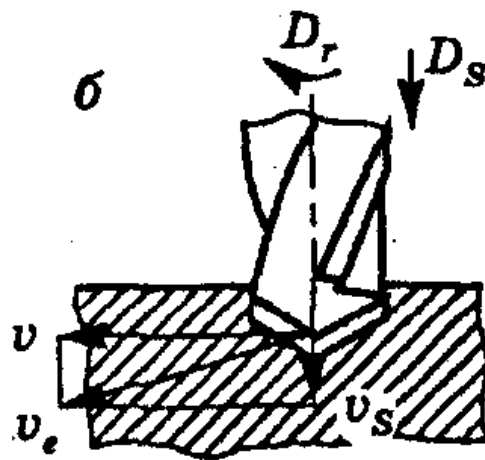
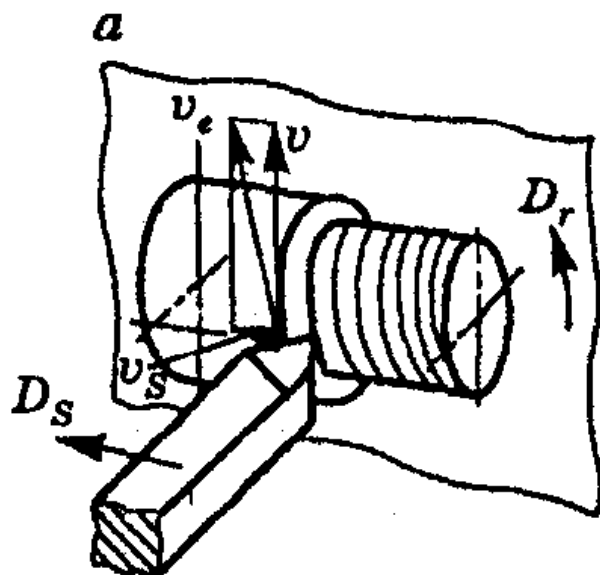
Металлорежущие станки

- **Металлорежущими станками** называют технологические машины, предназначенные для обработки материалов резанием. Они должны обеспечивать заданные производительность, точность и качество обработанных поверхностей.
- Металлорежущие станки классифицируются по технологическому методу обработки, назначению, степени автоматизации, числу главных рабочих органов, точности изготовления, особенностям конструкции и т.д.
- По *технологическому методу обработки* станки делят в соответствии с видом режущего инструмента, характером обрабатываемых поверхностей и схемой обработки. Это станки ***токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные и др.***

Понятия о движениях в металлорежущих станках

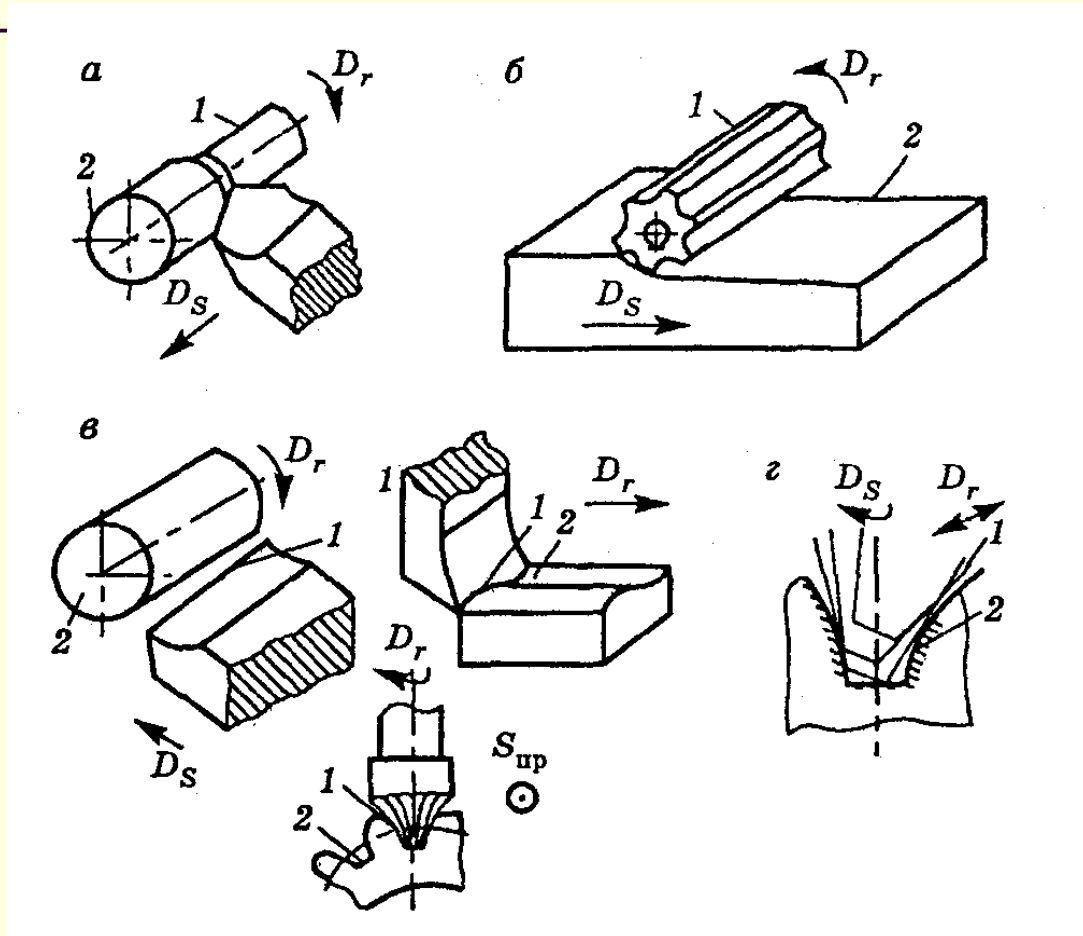
- Механизмы металлорежущих станков совершают **рабочие, установочные и вспомогательные движения.**
- **Рабочие** движения обеспечивают срезание слоя металла или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки. К ним относятся **главное движение и движение подачи.**
- **Главное движение резания D_r** — прямолинейное поступательное или вращательное движение инструмента или заготовки, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания и определяющее скорость снятия материала срезаемого слоя.
- **Движение подачи D_s** — прямолинейное поступательное или вращательное движение инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания.

Движения, обеспечивающие процесс резания при
точении (а), сверлении (б), фрезеровании (в) и
строгании (г)



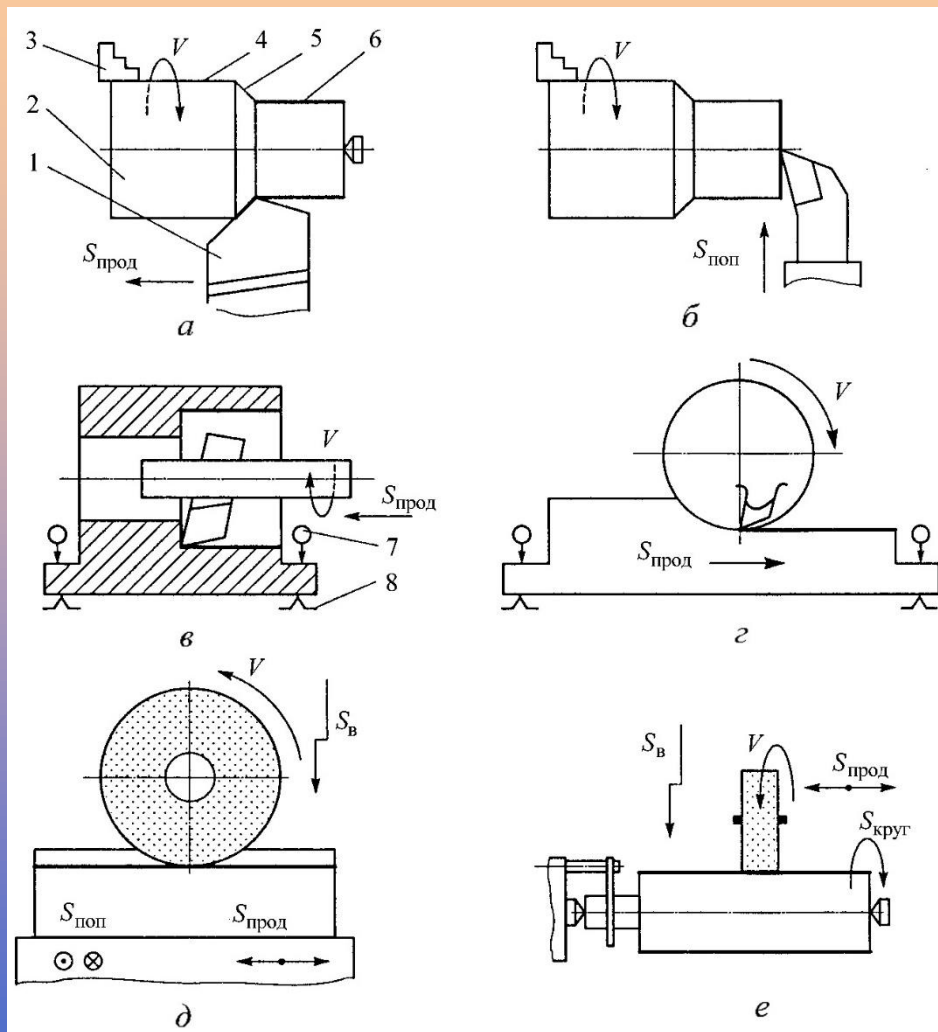
- *Результирующее движение резания D_e* — суммарное движение режущего инструмента относительно заготовки, включающее главное движение резания D_r и движение подачи D_s .
- Движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя материала, называют *установочными*.
- К *вспомогательным* движениям относят транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка.
- Движения резания металлорежущих станков направлены на формообразование поверхностей.

Формообразование поверхностей при обработке резанием достигается четырьмя методами



а — следов; б — касания; в — копирования; г — обкатки (огибания)

Схемы обработки заготовок:

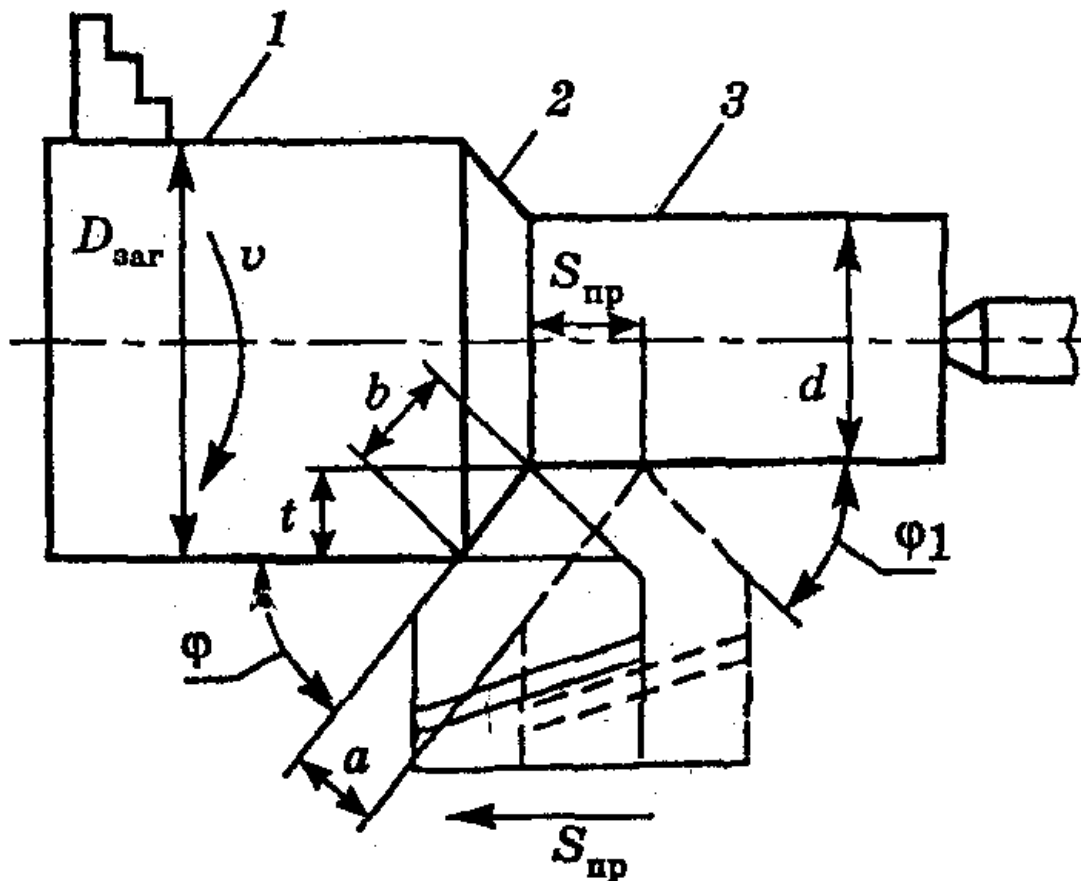


а – продольным точением;
б – поперечным точением;
в – растачиванием;
г – фрезерованием;
д – плоским шлифованием;
е – круглым шлифованием;

1 – режущий инструмент;
 2 – заготовка; 3 – станочное (рабочее) приспособление;
 4 – обрабатываемая поверхность;
 5 – поверхность резания;
 6 – обработанная поверхность;
 7 – прижим; 8 – базирующий элемент; V – движение резания:

$S_{\text{прод}}$, $S_{\text{поп}}$, $S_{\text{в}}$, $S_{\text{круг}}$ – соответственно продольное, поперечное, вертикальное и круговое движения подачи

Элементы срезаемого слоя и режим резания



Если главное движение является вращательным, то для лезвийной обработки *скорость резанья* равна:

$$V = \pi Dn/1000,$$

где n – частота вращения заготовки (инструмента), об/мин.

~~Скорость движения подачи (подача) S – путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в единицу времени в направлении движения подачи.~~

Различают:

- подачу в минуту (минутную) S_m – перемещение режущего инструмента в минуту, мм/мин;
- подачу на оборот S_o – перемещение режущего инструмента за один оборот заготовки или инструмента, мм/об;
- для многозубых инструментов – подачу на зуб S_z – перемещение режущего инструмента за время поворота на угол, равный угловому шагу зубьев, мм/зуб;
- подачу на двойной ход S_{2x} – перемещение режущего инструмента за один двойной ход, мм/2х.

$$S_m = S_o n = S_z n z = S_{2x},$$

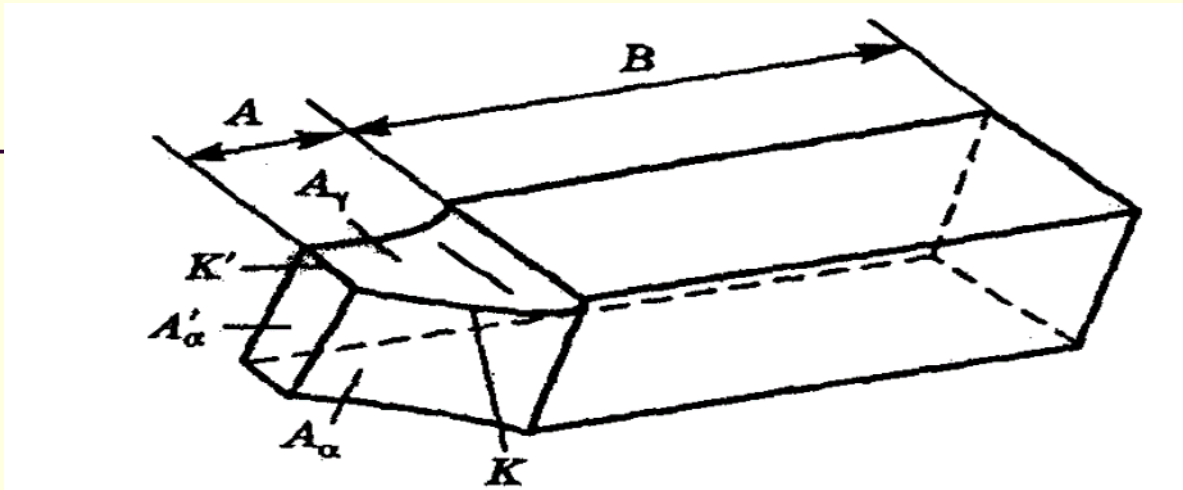
где z – число зубьев инструмента.

Глубина резания t – кратчайшее расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями, мм. При точении глубина резания равна:

$$t = 0,5(D_3 - d),$$

где D_3 и d – диаметры заготовки и обработанной поверхности, мм.

Токарный резец



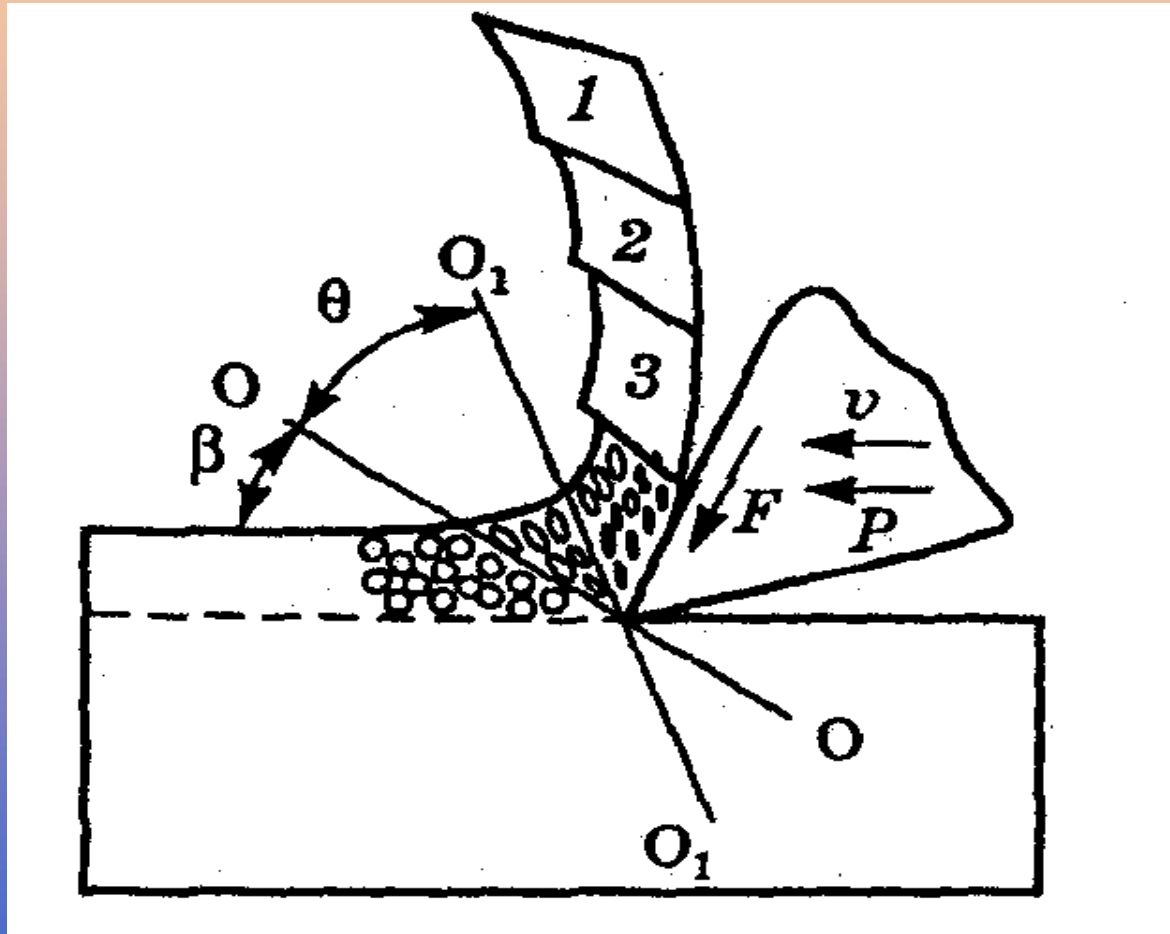
- **Передняя поверхность A** — поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой.
- **Задняя поверхность** — поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки. Различают главную и вспомогательную задние поверхности. **Главная задняя поверхность A_α** примыкает к главной режущей кромке. **Вспомогательная задняя поверхность A'_α** примыкает к вспомогательной режущей кромке.
- **Режущая кромка** — кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением его передней и задней поверхностей. Часть режущей кромки, формирующую большую сторону сечения срезаемого слоя, называют главной режущей кромкой K, меньшую сторону сечения срезаемого слоя — вспомогательной режущей кромкой K'.
- **Вершина лезвия** — участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей. У проходного токарного резца вершиной является участок лезвия в месте пересечения главной и вспомогательной режущих кромок. Вершина может быть острой, скругленной или в виде прямой линии.

Физико-механические основы резания

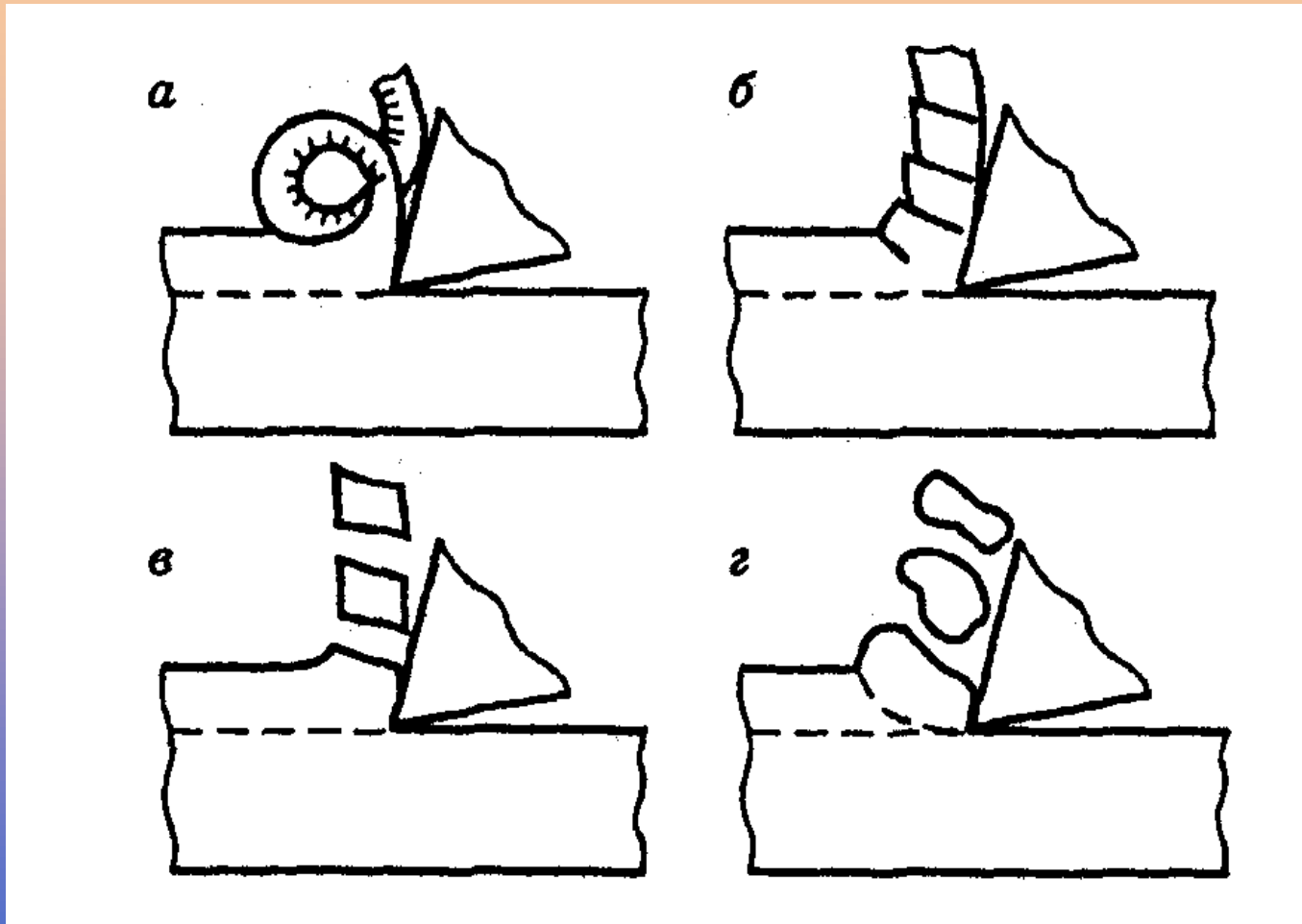
Резание — это сложный физико-механический процесс, который характеризуется:

1. возникновением упругих и пластических деформаций обрабатываемого материала и стружки
2. трением
3. тепловыделением
4. наростообразованием
5. наклепом обработанной поверхности
6. изнашиванием инструмента.

Механизм образования стружки

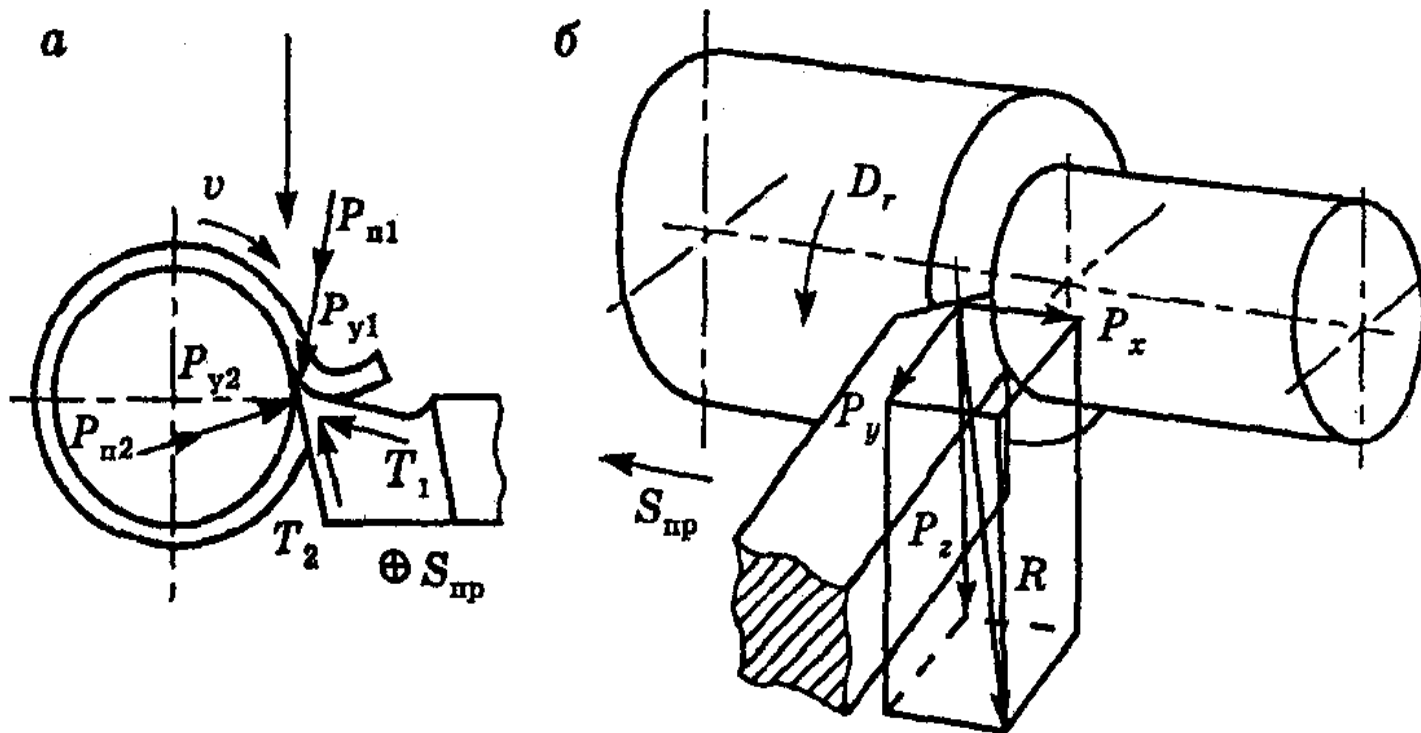


Виды стружки



а — сливная; б — скалывания; в — элементная; г — надлома

Силы возникающие при резании



Соотношение между P_x , P_y и P_z зависит от геометрических параметров инструмента, режима резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, износа резца, условий обработки и приближенно составляет $P_x : P_y : P_z = 1 : (0,5...0,3) : (0,4...0,25)$.

Деформация металла в процессе резания не ограничивается зоной, непосредственно прилегающей к передней поверхности инструмента, а распространяется и на удаленные слои, увеличивая их твердость. Это явление носит название **наклепа при резании**.

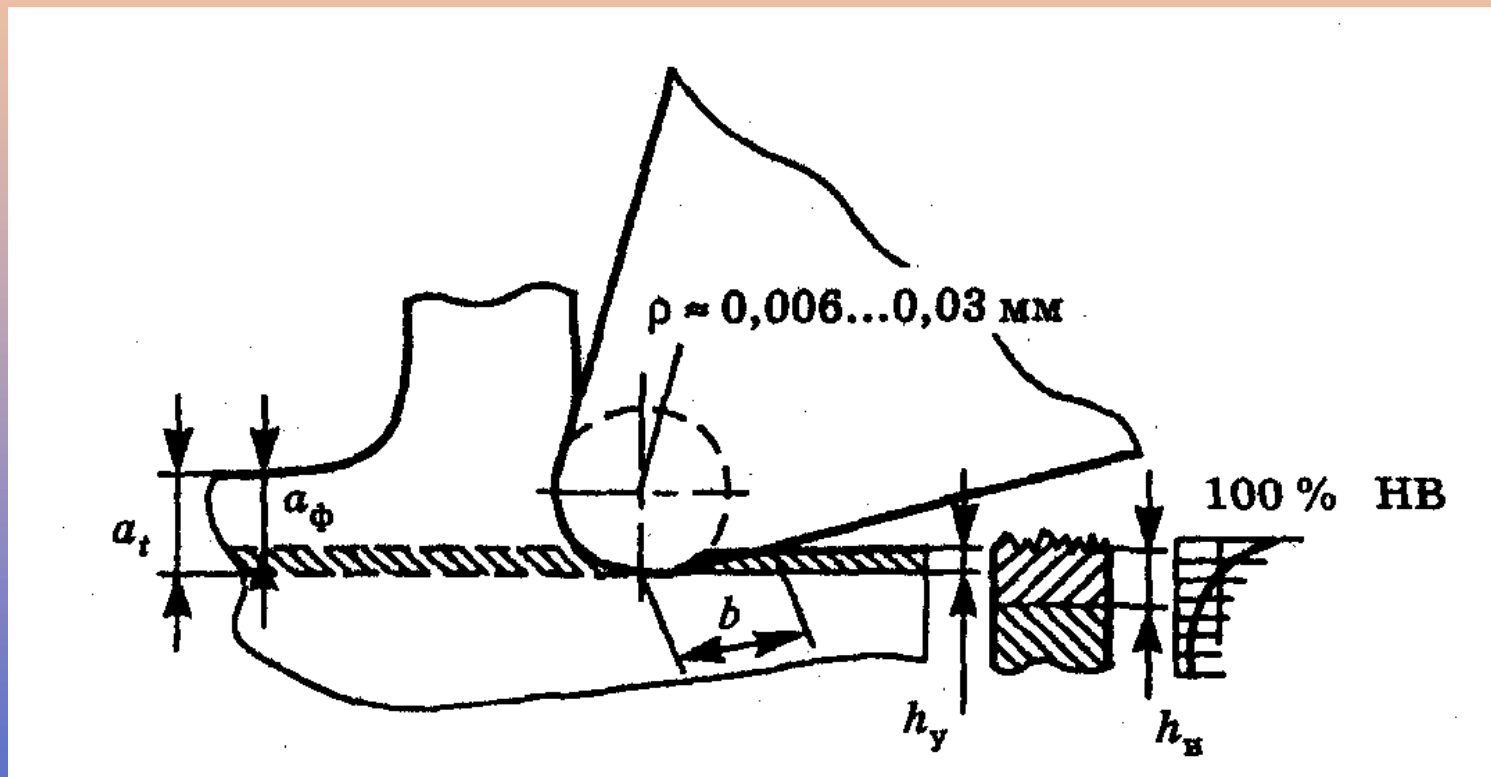
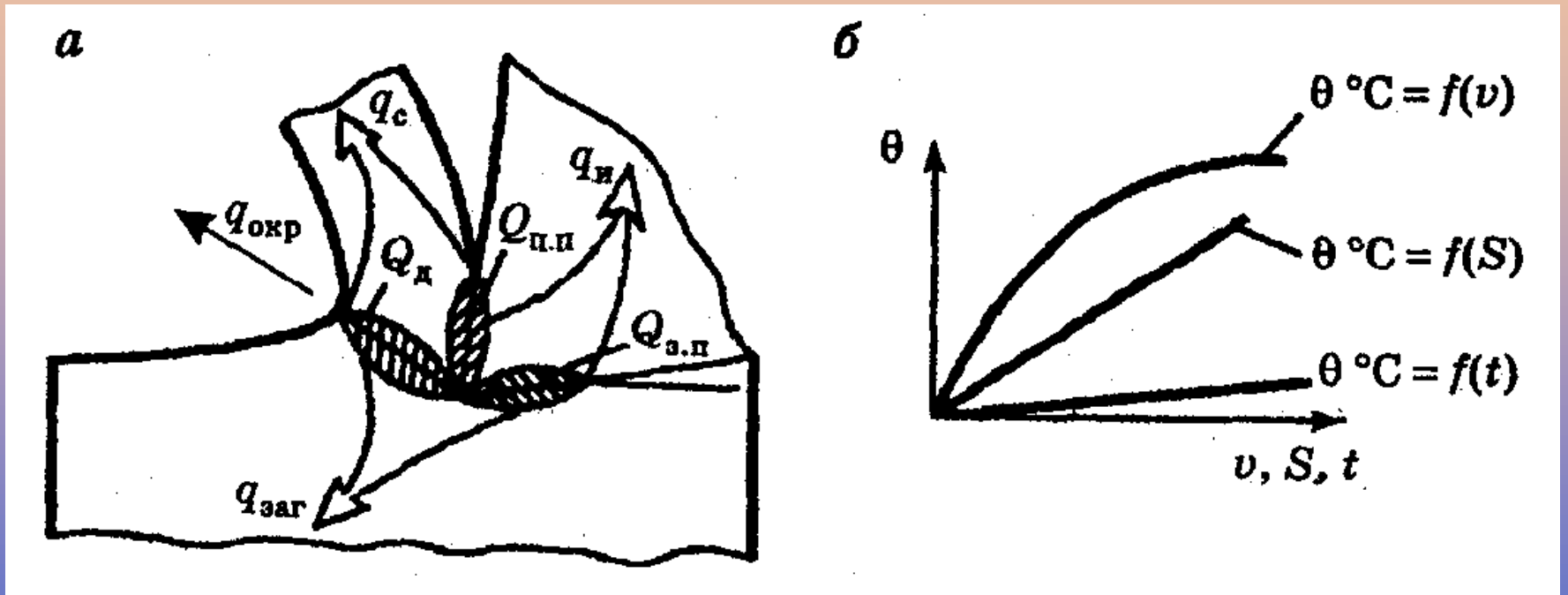


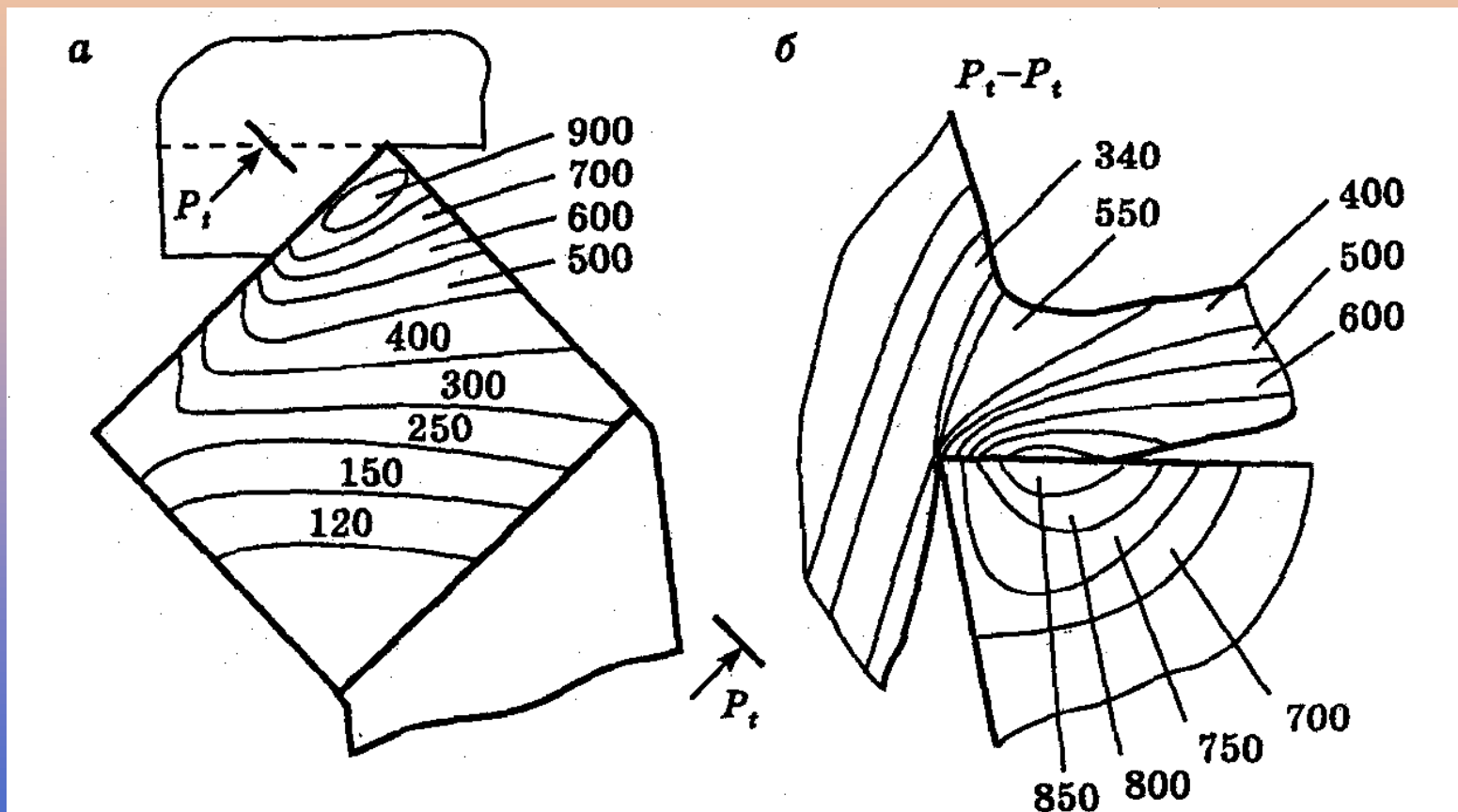
Схема образования наклепанного слоя

При снятии стружки вся работа резания превращается эквивалентное количество теплоты. Теплообразование оказывает значительное влияние на процесс резания.

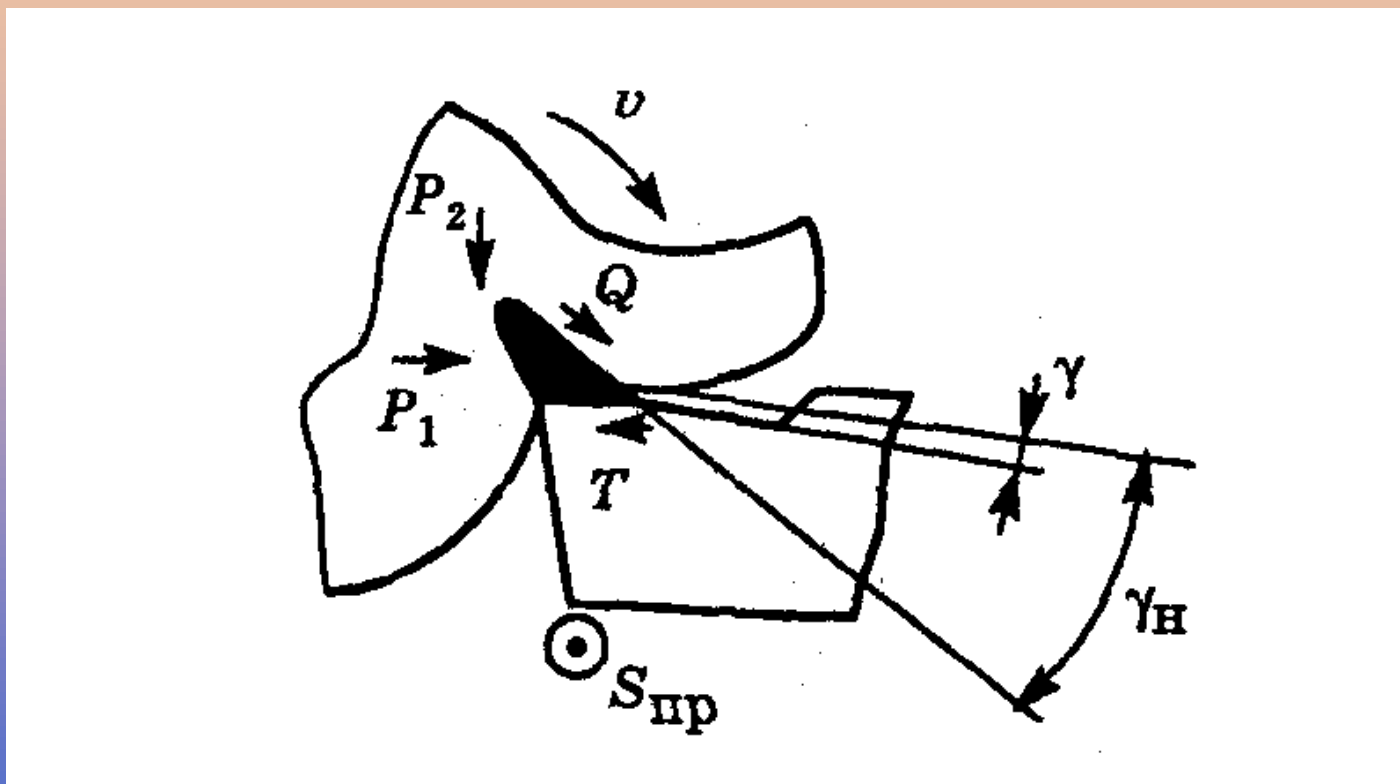


а — тепловой баланс процесса резания; б — влияние v , S , t на температуру инструмента

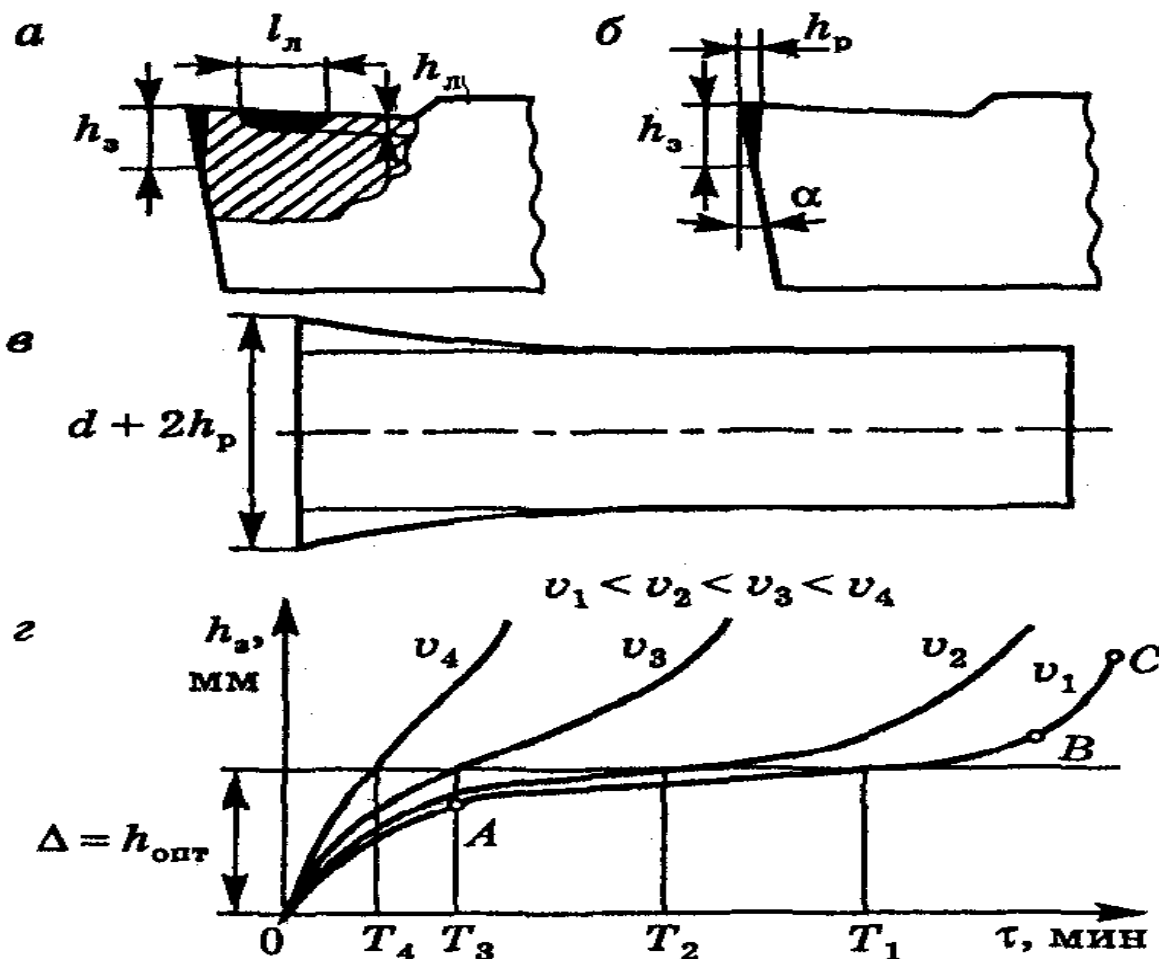
Температурное поле резца (а) и стружки (б) в зоне резания



При обработке пластичных металлов резанием под влиянием высоких давлений и температур частицы обрабатываемого металла задерживаются на передней поверхности инструмента, прочно сцепляются с ней, образуя **нарост**.



Изнашивание и стойкость режущего инструмента



а — общий характер износа;
б — изнашивание по задней поверхности;
в — влияние изнашивания на обрабатываемую поверхность детали;
г — зависимость изнашивания инструмента от времени его работы при различных скоростях резания

Инструментальные материалы

- Анализ физико-механических основ резания металлов показал, что режущий инструмент работает в условиях **высоких давлений, температур и интенсивного трения.**

Эти условия работы обуславливают ряд требований, которым должны удовлетворять материалы, предназначенные для изготовления режущего инструмента.

- Рабочая часть режущего инструмента должна изготавливаться из недефицитного материала, имеющего большую твердость, высокие теплостойкость, износостойкость и механические характеристики.
- **Теплостойкость** является одной из важнейших характеристик инструментальных материалов. Она указывает на предельно допустимые значения температур, при которых материал способен сохранять свою первоначальную твердость в течение длительного времени.

Углеродистые инструментальные и легированные стали

- **Углеродистые** -У7, У7А, У8, У8А, У10, У10А и др. после термообработки (закалки в воде и отпуска при температуре 120...150 °С) твердость достигает 60...62 HRC3, теплостойкость — 200 °С, допустимые скорости резания 15...13 м/мин. Инструментом, изготовленным из этих сталей, можно обрабатывать материалы с твердостью до 30 HRCэ. Данные стали применяют для производства напильников, зубил, метчиков, плашек, ножовочных полотен, отверток, ножниц и т.д.
- **Легированные инструментальные стали** содержат хром (Х), вольфрам (В), ванадий (Ф), кремний (С) и другие элементы. После термической обработки твердость этих сталей составляет 63. ..66 HRCэ, теплостойкость — 250...350 °С, допустимые скорости резания — 15...25 м/мин. Из легированных сталей марок Х, 9ХС, ХВСГ, ХВ2, ХВ4 изготавливают сложные по конфигурации инструменты: метчики, плашки, протяжки, развертки, фасонные резцы, фрезы, сверла и др.

- В быстрорежущих сталях основными легирующими элементами являются вольфрам (6... 18 %) и небольшое количество ванадия, хрома, кобальта, молибдена. После термической обработки твердость этих сталей составляет 63...66 HRC, теплостойкость — 650 °С.
- Вся номенклатура *быстрорежущих сталей* подразделяется на **две группы**: быстрорежущие стали нормальной и повышенной теплостойкости. Из сталей первой группы (P18, P6M5) изготавливают резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки, зуборезные инструменты.
- Из сталей второй группы (P9K5, P18Ф2, P9Ф5, P18K5Ф2) — инструменты для обработки жаропрочных и титановых сплавов, коррозионно-стойких и других труднообрабатываемых материалов. В настоящее время применяются стали с пониженным содержанием дефицитного вольфрама (P6M5K5, P2M9K8), сохраняющие удовлетворительные режущие свойства.

- **Твердые сплавы** — это материал, состоящий из высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, связанных металлическим кобальтом.
- Твердые сплавы применяют в виде пластин определенной формы и размера, изготавливаемых методом порошковой металлургии, т.е. прессованием и последующим спеканием при температуре 1500... 1900 °С.. Твердые сплавы обладают высокой износостойкостью, твердостью (86...92 HRA) и теплостойкостью (800. ..1000 °С).

Твердые сплавы разделяют на три группы:

- *вольфрамовые*, содержащие карбиды вольфрама (BK2, BK3, BKM3, BK4B, BK6M, BK6, BK6B, BK8, BK8B, BK1Q, BK15, BK20, BK25);
- *титановольфрамовые*, содержащие карбиды вольфрама и титана (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В);
- *титанотанталовольфрамовые*, состоящие из карбидов титана, тантала и вольфрама (ТТ7К12, ТТ7К15, ТТ8К6).

Керамика

■ Синтетический материал, основой которого является корунд Al_2O_3 , минерал кристаллического строения, относится к минералокерамике. Получают корунд из глинозема электропечах спеканием при температуре 1720... 1750 °С, в связи с чем его называют электрокорундом. Оксидная керамика обладает высокими твердостью (90...94 HRA) и теплостойкостью (до 1200 °С). Для повышения механической прочности в оксидную керамику добавляют различные тугоплавкие соединения (карбиды вольфрама, титана, молибдена, хрома). Такие материалы называются оксидно-карбидной керамикой (марки ВЗ, ВОК-60, ВОК-63, ВШ-75).

Природные и синтетические алмазы, КОМПОЗИТЫ

- В промышленности используют природные (А) и синтетические (АС) алмазы. Последние выпускаются следующих марок: АСБ — баллас (АСБ-5, АСБ-6); АСПК—карбонадо (АСПК-1, АСПК-2, АСПК-3). Алмазный инструмент применяют для обработки твердых и полупроводниковых материалов, керамики, цветных сплавов, жаропрочных сплавов.
- Синтетический сверхтвердый материал на основе твердых модификаций нитрида бора, которые называются композиционными (композитами). К ним относятся эльбор (композит 01), белбор (композит 02), гексанит (композит 10), композит 05 (состоит из кубического нитрида бора (КНБ) и А12 03), композит 09 (состоит из поликристаллотвердого нитрида бора — ПТНБ). Он обладает высокой твердостью (уступает лишь синтетическому алмазу) и теплостойкостью (до 1300 °С). Резцы, оснащенные этим материалом, применяют для тонкого точения закаленных сталей.

Металлорежущие станки.

Классификация металлорежущих станков

- *Металлорежущими станками* называют технологические машины, предназначенные для обработки материалов резанием.
- Они должны обеспечивать заданные производительность, точность и качество обработанных поверхностей.
- Металлорежущие станки классифицируются по технологическому методу обработки, назначению, степени автоматизации, числу главных рабочих органов, точности изготовления, особенностям конструкции и т.д.

- По *технологическому методу* обработки станки делят в соответствии с видом режущего инструмента, характером обрабатываемых поверхностей и схемой обработки. Это станки токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные и др.
- По *назначению* станки делятся на универсальные, специализированные и специальные.
- По *степени автоматизации* станки разделяют на станки

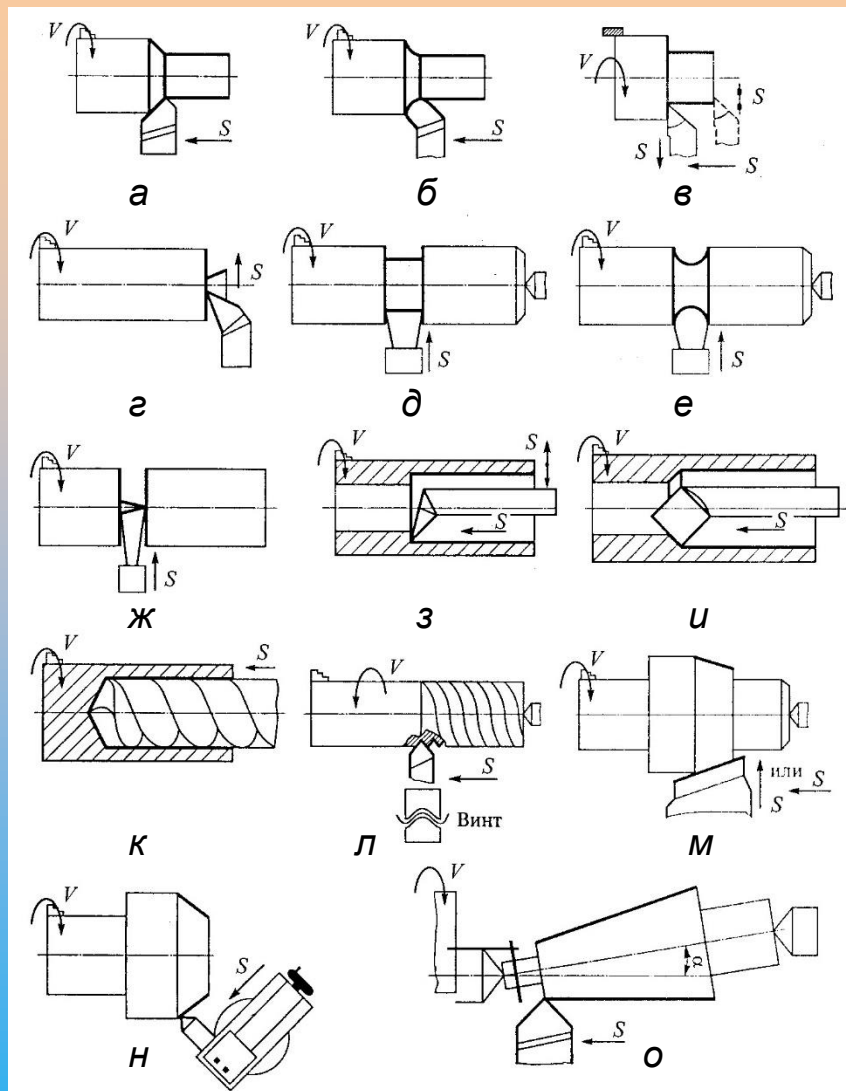
с ручным управлением, полуавтоматы, автоматы и станки с программным управлением.

- По *конструкционным признакам* выделяют станки с горизонтальным или вертикальным расположением

Обработка на токарных станках

- Универсальные токарно-винторезные станки предназначены для обработки заготовок, имеющих форму тел вращения, а так же для нарезания резцом различных типов резьб.
- Технологический метод формообразования поверхностей заготовок точением характеризуется двумя движениями: вращательным движением заготовки (скорость резания) и поступательным движением режущего инструмента-резца (движение подачи).
- Движение подачи осуществляется параллельно оси вращения заготовки (продольная подача), перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная подача), под углом к оси вращения заготовки (наклонная подача).

Основные схемы обработки заготовок на универсальном токарно-винторезном станке



а–в – обтачивание наружных цилиндрических поверхностей;

г – подрезание торцов;

д, е – протачивание прямых и фасонных канавок соответственно;

ж – отрезание;

з, и – растачивание гладких и ступенчатых отверстий соответственно;

к – сверление;

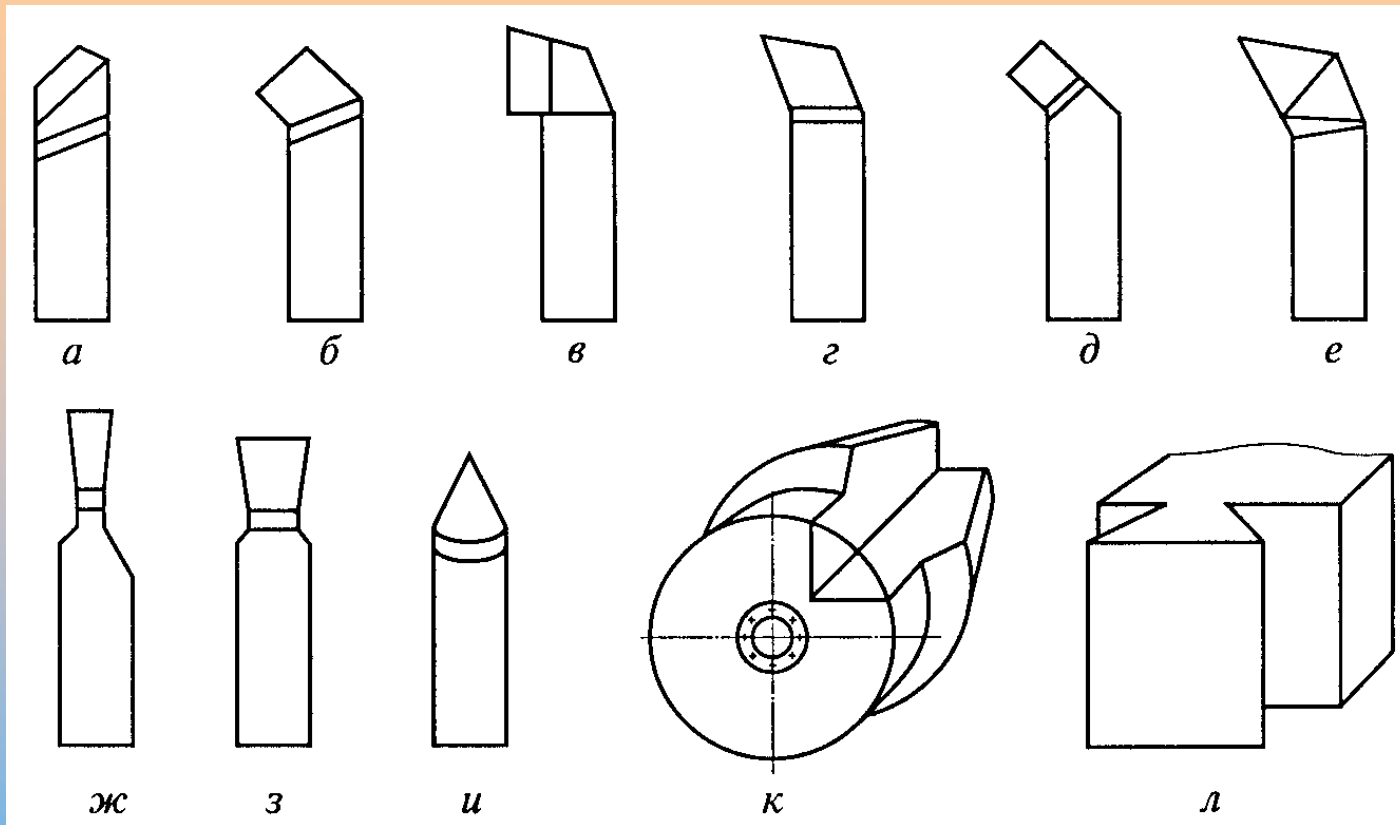
л – нарезание резьбы;

м – точение конусов с поперечной подачей;

н, о – точение коротких и длинных конических поверхностей соответственно;

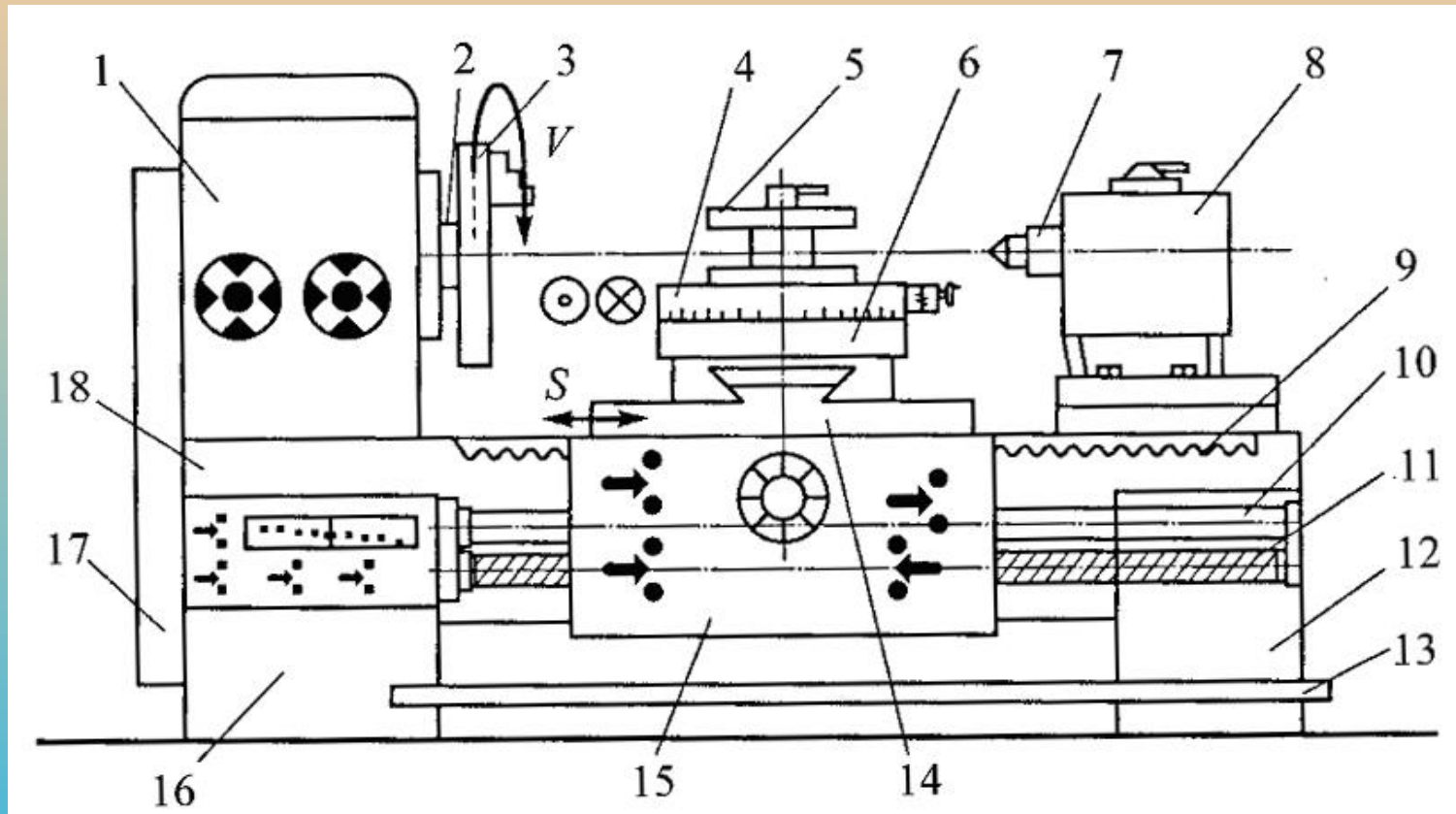
V – движение резания; **S** – движение подачи; α – угол поворота оси заготовки

Токарные резцы



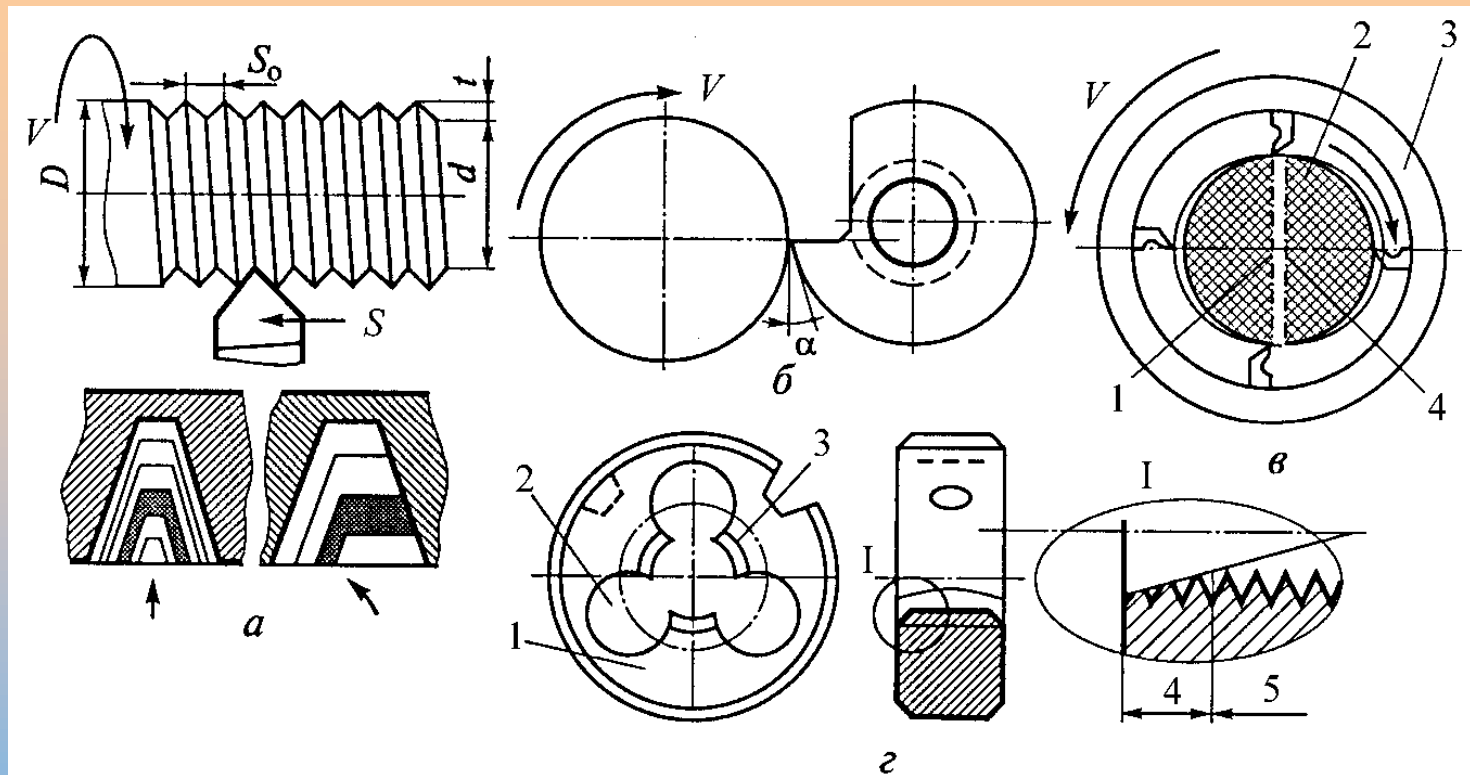
а – проходной прямой; *б* – проходной отогнутый; *в* – проходной упорный отогнутый; *г* – подрезной; *д*, *е* – расточные для сквозных и глухих отверстий соответственно; *ж* – отрезной; *з* – канавочный; *и* – резьбовой; *к* – круглый фасонный; *л* – призматический фасонный

Универсальный токарно-винторезный станок



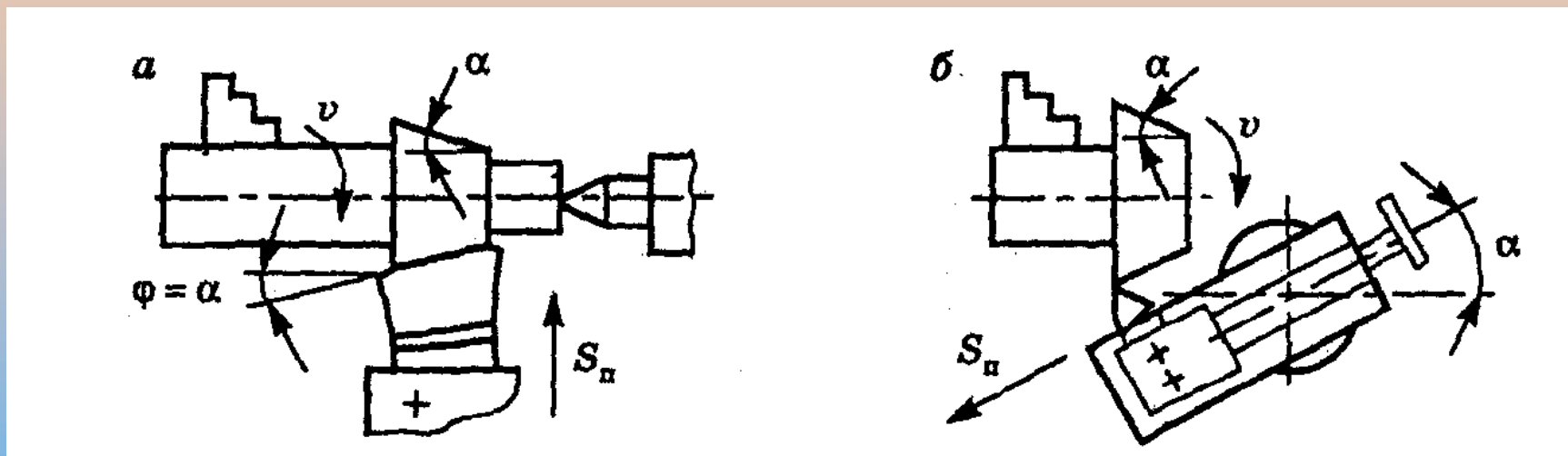
- 1 – передняя бабка; 2 – шпиндель; 3 – трехкулачковый патрон;
4 – поворотные салазки; 5 – резцедержатель; 6 – поперечные салазки;
7 – пиноль; 8 – задняя бабка; 9 – рейка; 10 – ходовой вал;
11 – ходовой винт; 12 – задняя тумба; 13 – поддон; 14 – продольные салазки;
15 – фартук; 16 – передняя тумба; 17 – гитара подач; 18 – станина

Нарезание наружной резьбы резцами

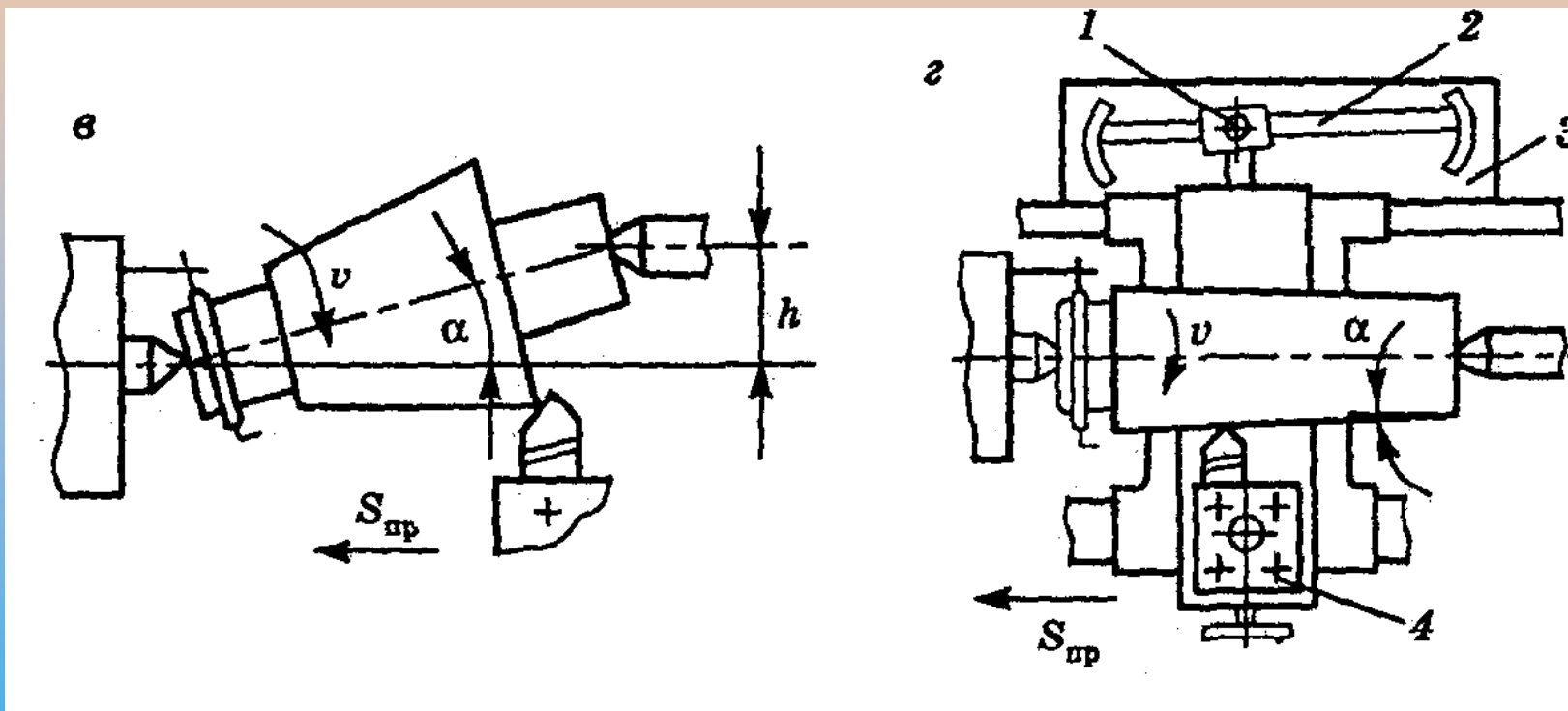


а – призматическим резцом; б – круглым резцом; в – резцовая головка:
1 – центр вращения головки; 2 – заготовка; 3 – резцовая головка; 4 – центр вращения заготовки; г – плашка: 1 – корпус; 2 – отверстия; 3 – режущие зубья; 4 – режущий участок; 5 – калибрующий участок; V – главное движение; S – движение подачи; S_0 – подача на оборот; D , d – диаметры резьбы; t – полная глубина резания; α – главный задний угол

Обработка наружных конических поверхностей (а-широким резцом, б-поворот каретки верхнего суппорта)



Обработка наружных конических поверхностей (в-
смещением корпуса задней бабки, г-с помощью конусной
линейки)



Обработка на сверлильных станках

- Сверление — это метод получения отверстий в сплошном материале.
- Сверлением получают сквозные и глухие отверстия и обрабатывают предварительно полученные отверстия с целью увеличения их размера, повышения точности и снижения шероховатости поверхности.

Схемы сверления (а) и рассверливания (б)

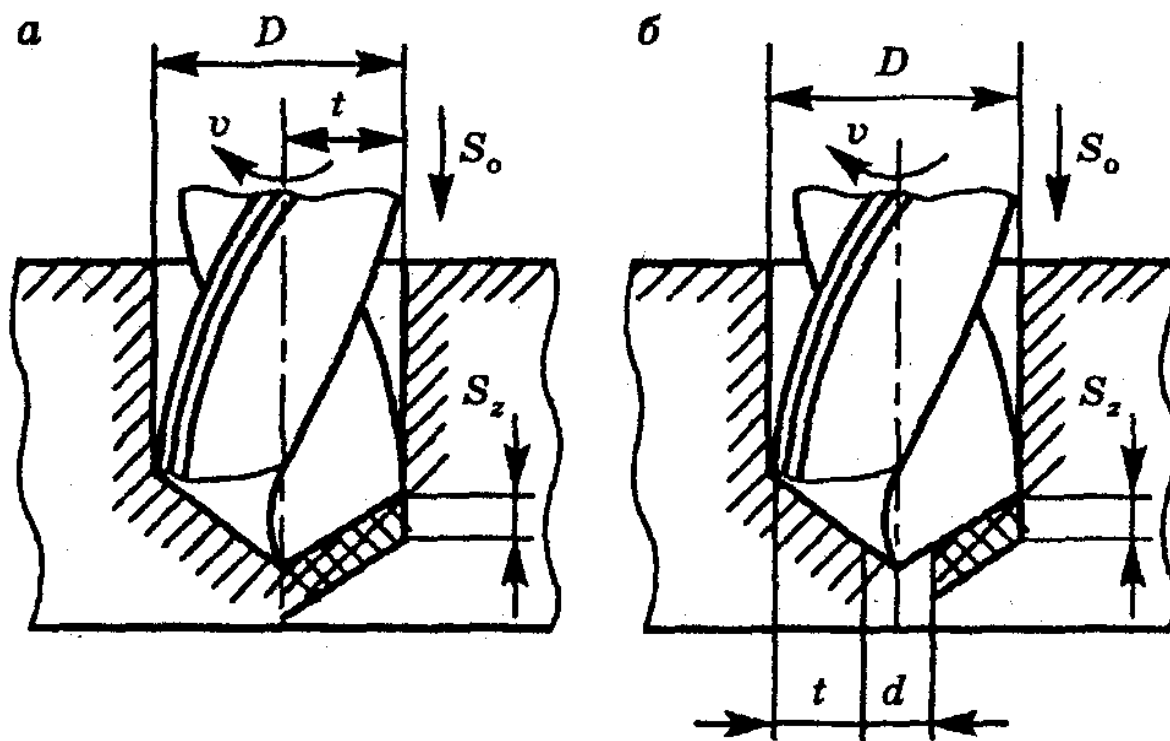
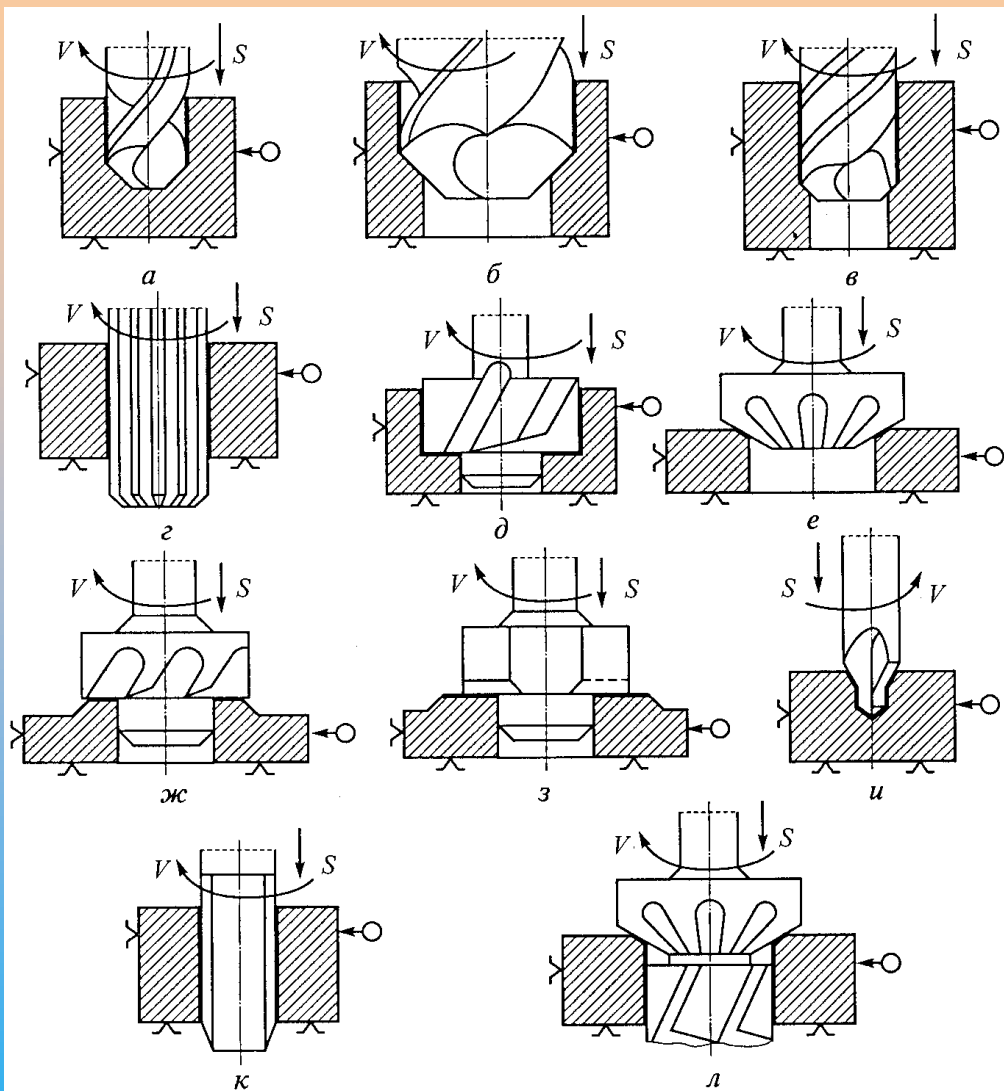


Рис. 22.10. Схемы сверления (а) и рассверливания (б)

Схемы обработки поверхностей на сверлильных станках



a – сверление;

б – рассверливание;

в – зенкерование;

г – развертывание;

д, е – зенкование;

ж, з – цекование;

и – обработка базовых
центровых отверстий;

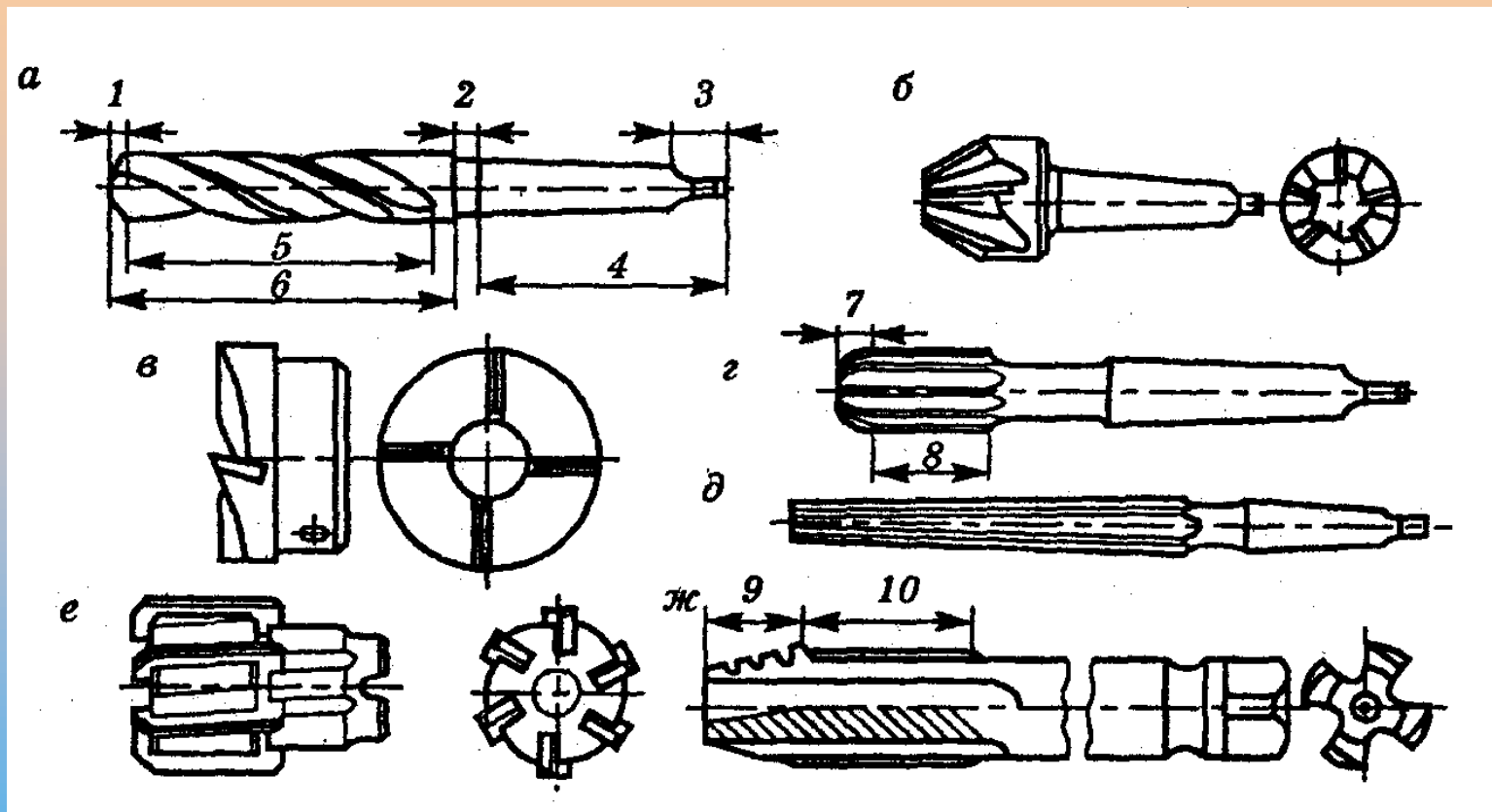
к – нарезание внутренних
резьб;

л – обработка сложных
поверхностей;

V – движение резания;

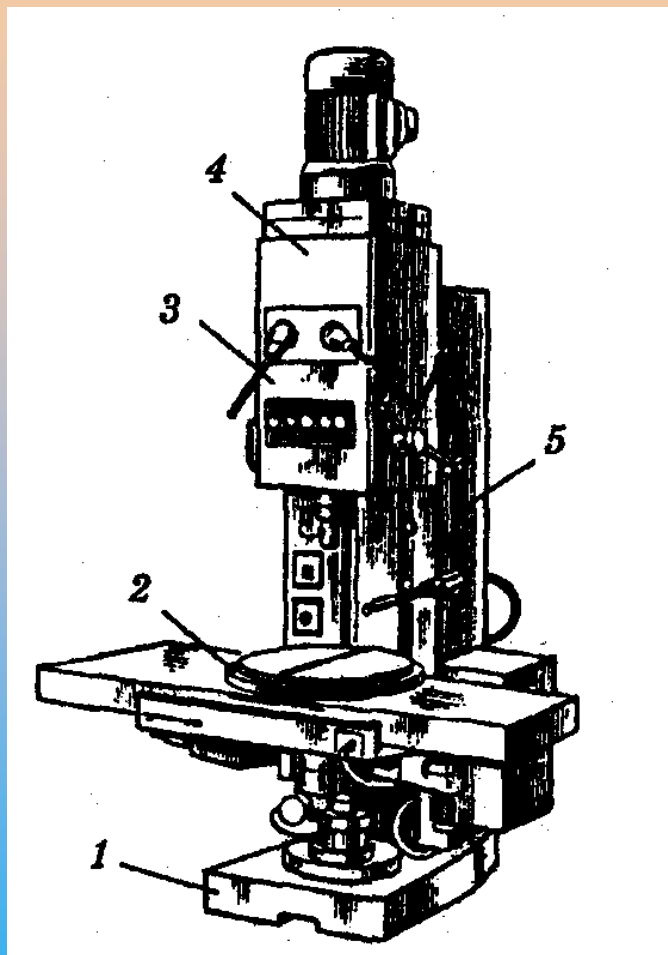
S – движение подачи

Инструмент

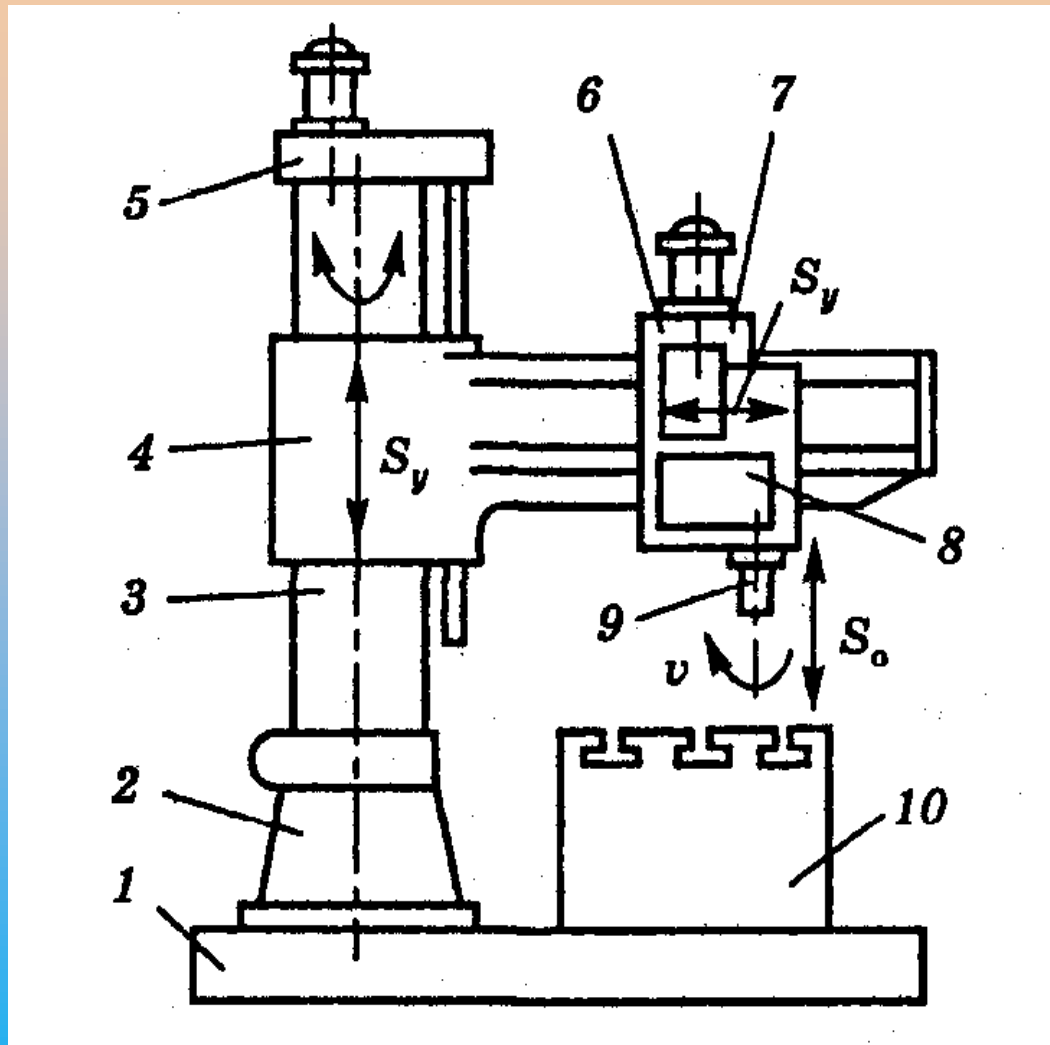


а — сверло; б-в — зенкеры; г—е — развертки; ж — метчик

Вертикально-сверлильный станок



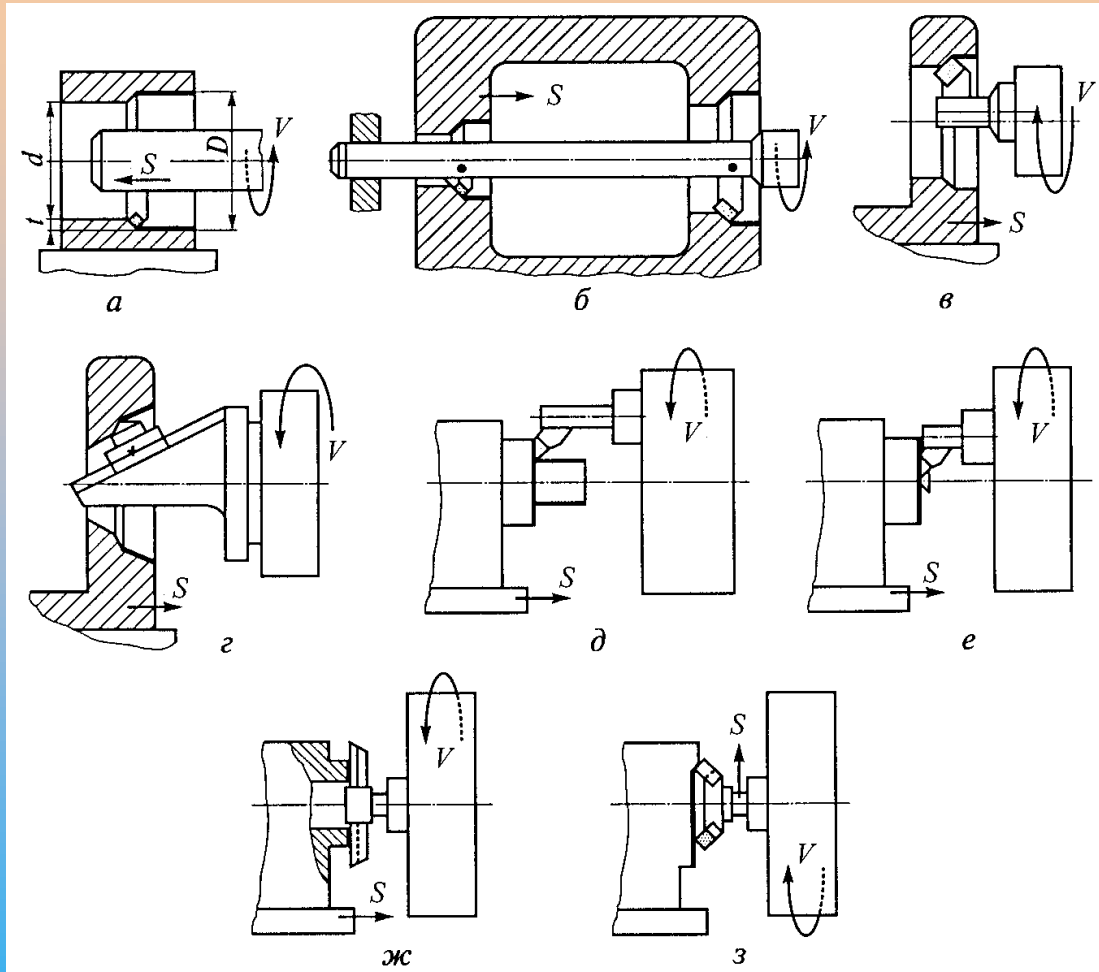
Радиально-сверлильный станок



Обработка на расточных станках

- На расточных станках обрабатывают отверстия, точно координированные относительно друг друга и расположенные в одной или нескольких плоскостях.
- Поверхности формуются за счет сочетания главного вращательного движения резца или другого режущего инструмента и движения подачи, сообщаемого инструменту или заготовке.

Схемы обработки поверхностей на расточных станках



а – растачивание консольным креплением резца;

б – растачивание борштангой;

в, г – растачивание резцом, закрепленным в планшайбе;

д – обтачивание;

е, ж – подрезание торцов;

з – обработка плоскостей;

V – движение резания;

S – движение подачи;

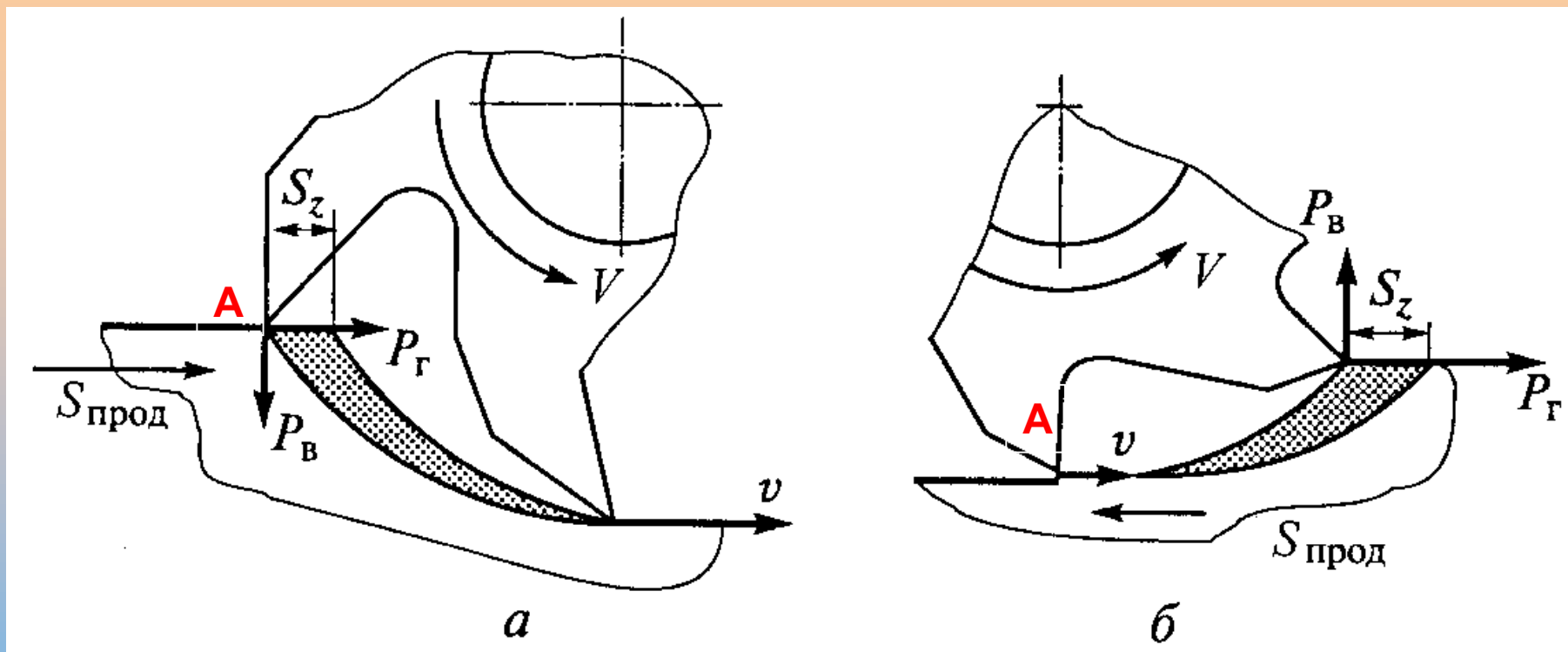
d, D – диаметры заготовки и изделия;

f – глубина резания

Обработка на фрезерных станках

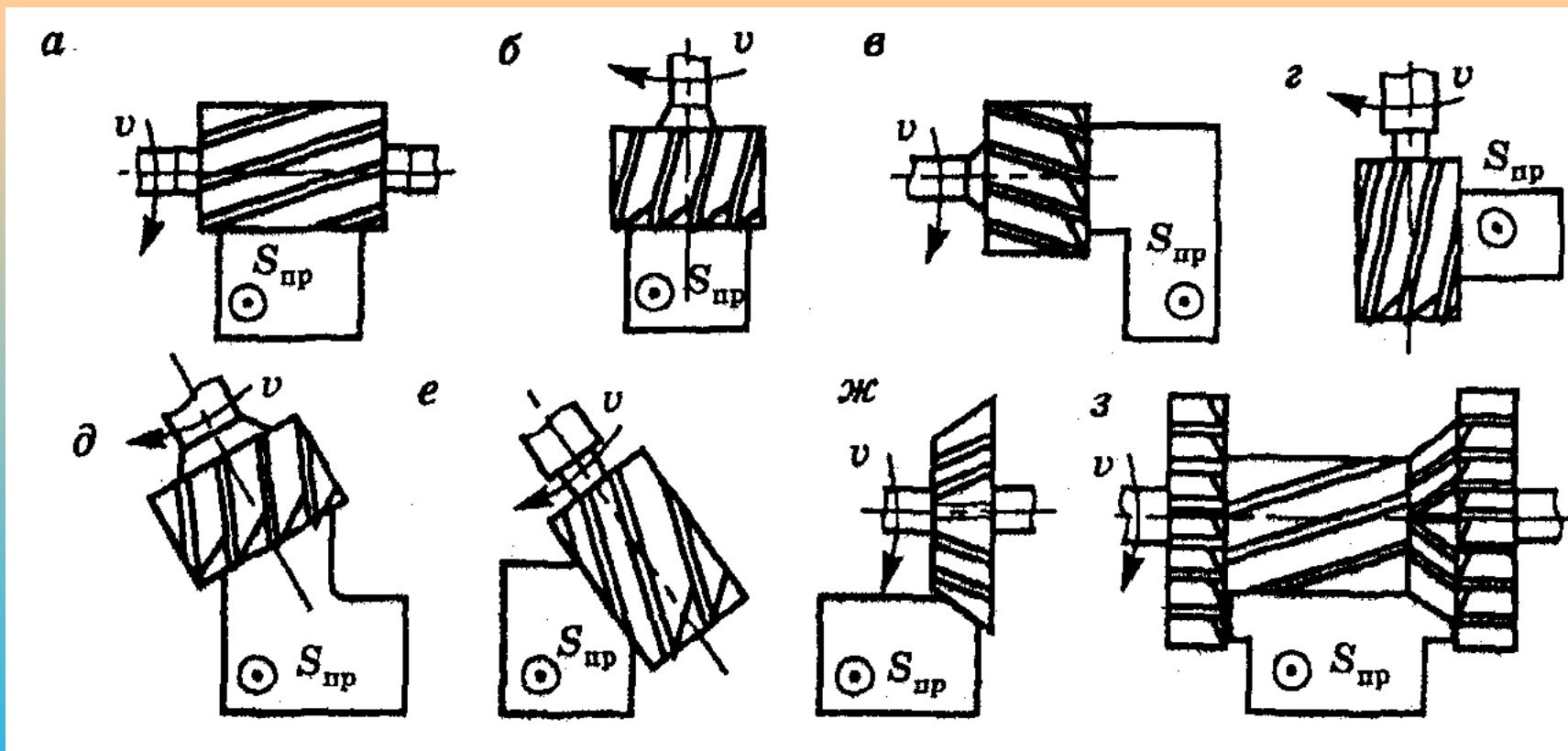
- Фрезерование — это метод обработки заготовок, при котором инструмент (фреза) совершает непрерывное главное вращательное движение, а заготовка — поступательное движение подачи.
- Отличительная черта фрезерования — высокая производительность и разноплановая, с точки зрения геометрических форм поверхностей, обработка.

Схемы фрезерования

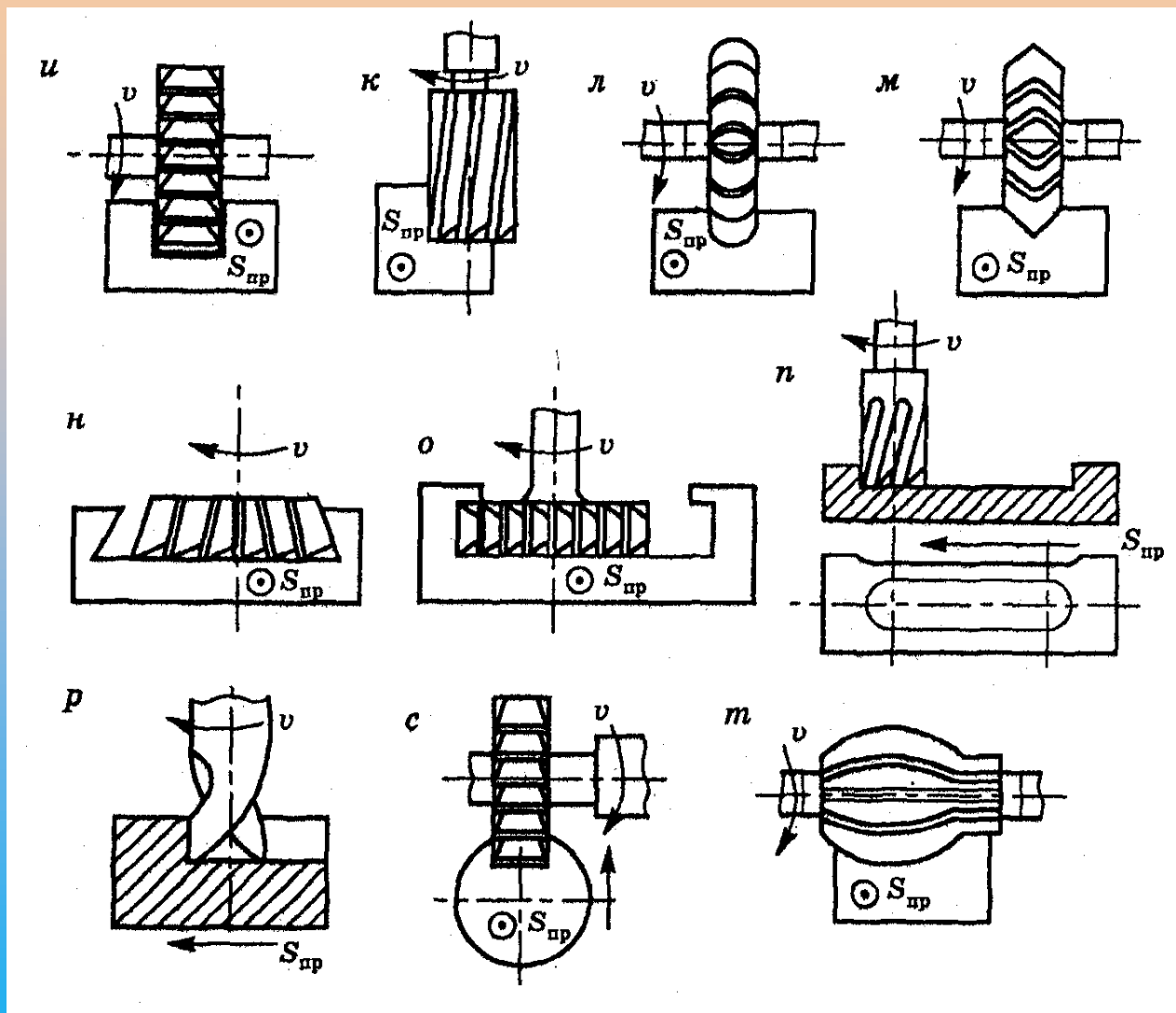


Фрезерование: а – попутное; б – встречное; V – движение резания;
 $S_{\text{прод}}$ – движение продольной подачи; $P_{\text{г}}$ и $P_{\text{в}}$ – соответственно
горизонтальная и вертикальная составляющие силы резания;
 $S_{\text{з}}$ – подача на зуб; v – скорость резания

Виды фрез и схемы обработки



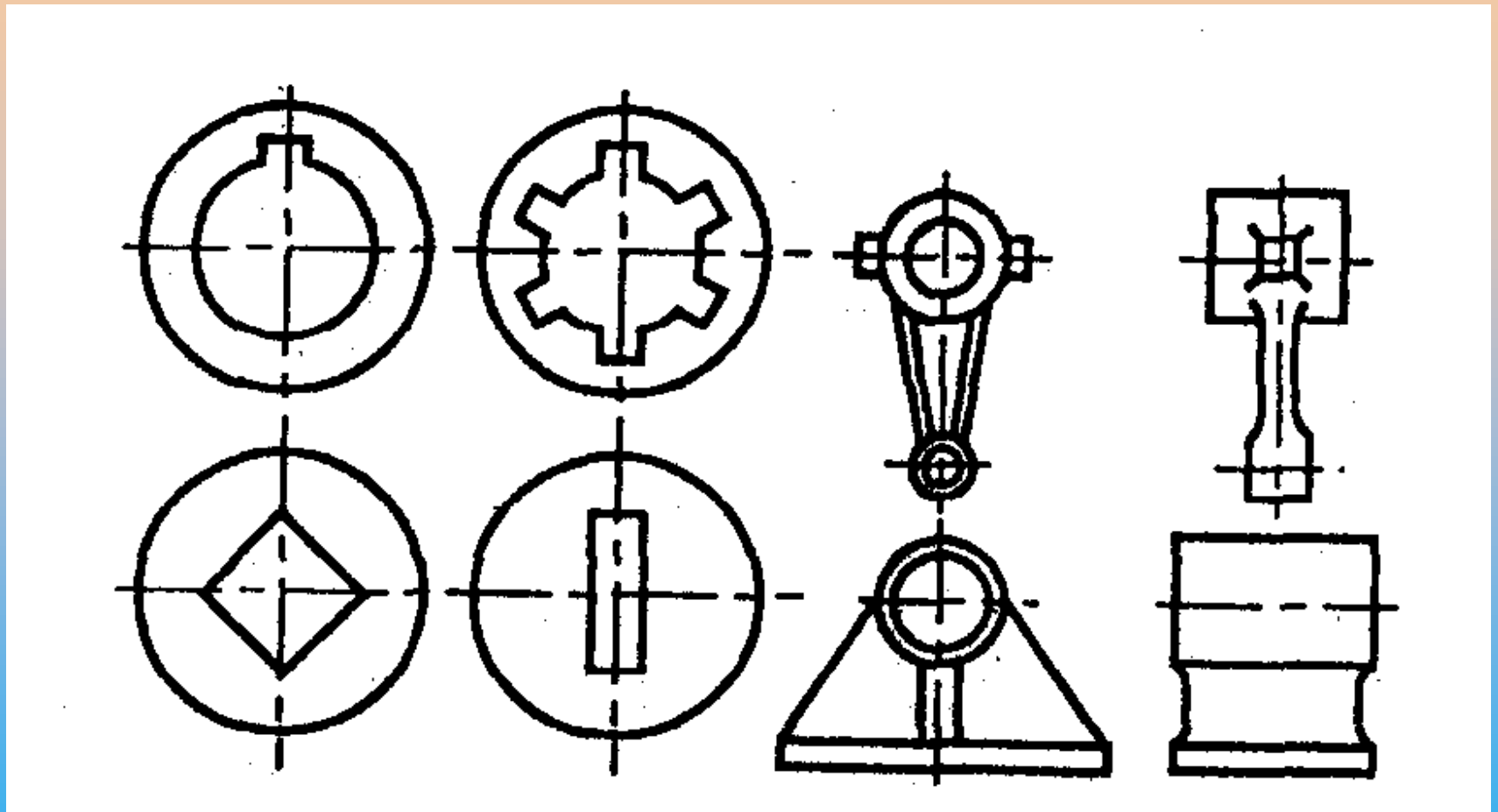
Виды фрез и схемы обработки



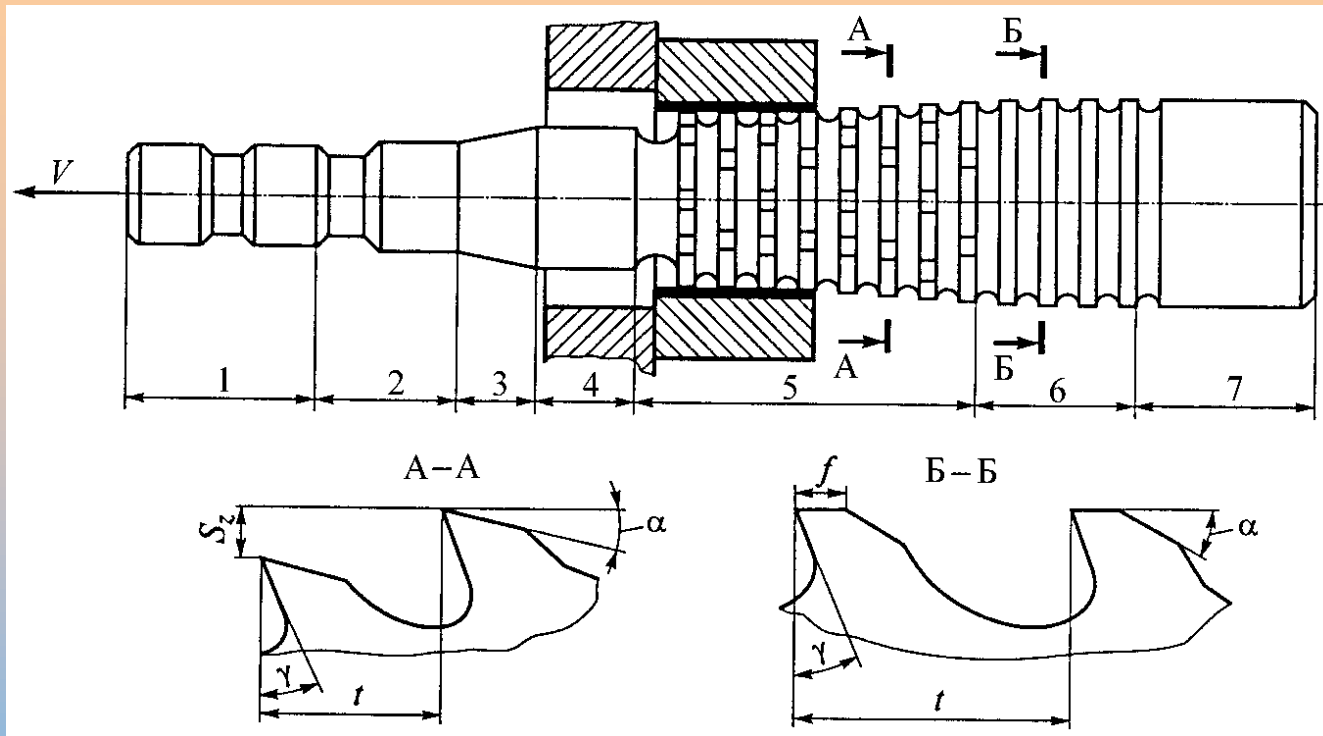
Обработка на протяжных станках

- Протягивание — это механическая обработка внутренних и наружных поверхностей с прямолинейной образующей при помощи многолезвийного режущего инструмента — протяжки.
- Протягивание производится на универсальных и специальных протяжных станках (вертикальной и горизонтальной компоновки).

Поверхности деталей, обрабатываемые протягиванием



Элементы круглой протяжки и геометрия зуба



Круглая протяжка: 1 – замковая часть; 2 – шейка; 3 – направляющий конус; 4, 7 – передняя и задняя направляющие части соответственно; 5 – режущая часть (режущие зубья); 6 – калибрующая часть (калибрующие или чистовые зубья); V – движение резания; f – ленточка; S_z – подъем на зуб; t – шаг между зубьями; α , γ – главные задний и передний углы соответственно

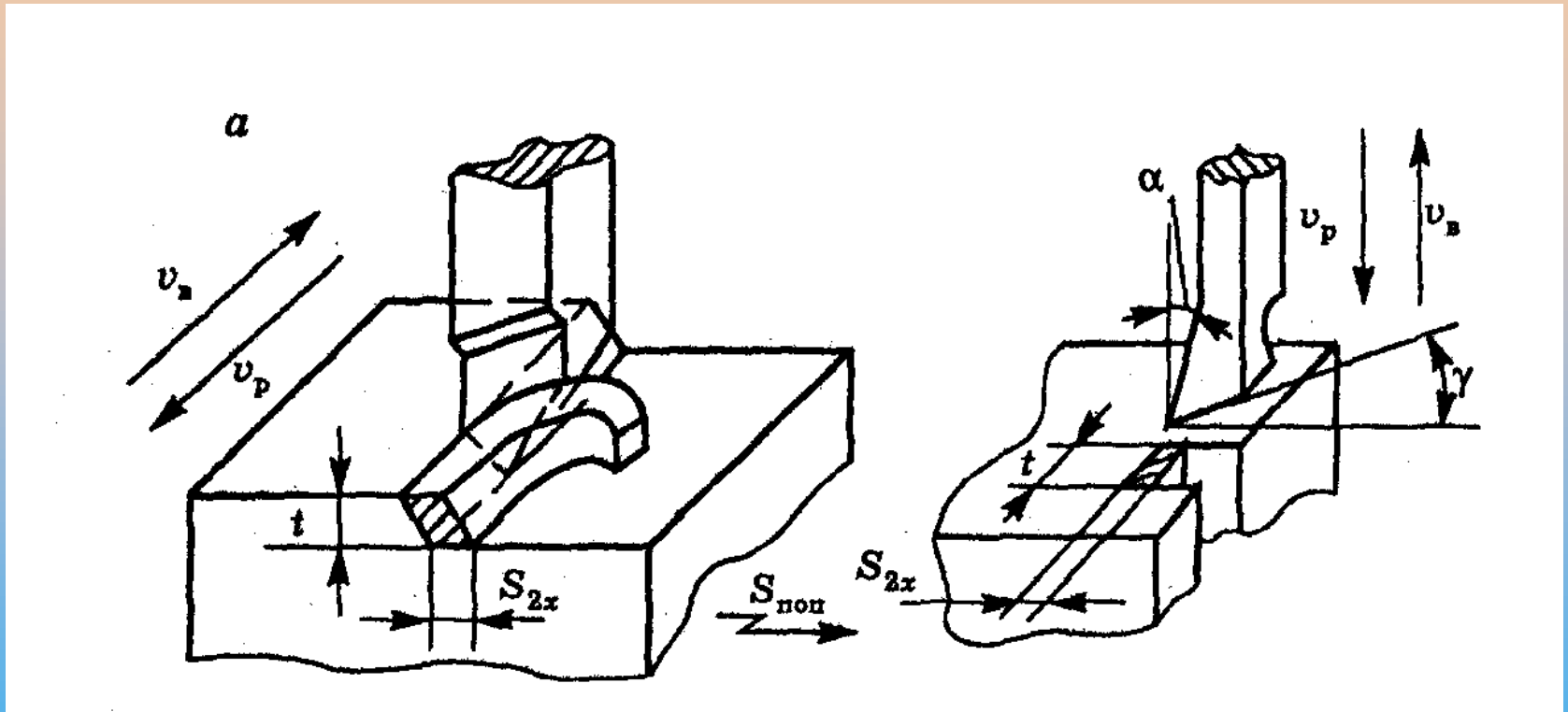
Обработка на строгальных и долбежных станках

На строгальных станках обрабатывают вертикальные, горизонтальные и наклонные плоскости, канавки различного профиля, фасонные поверхности и т.п.

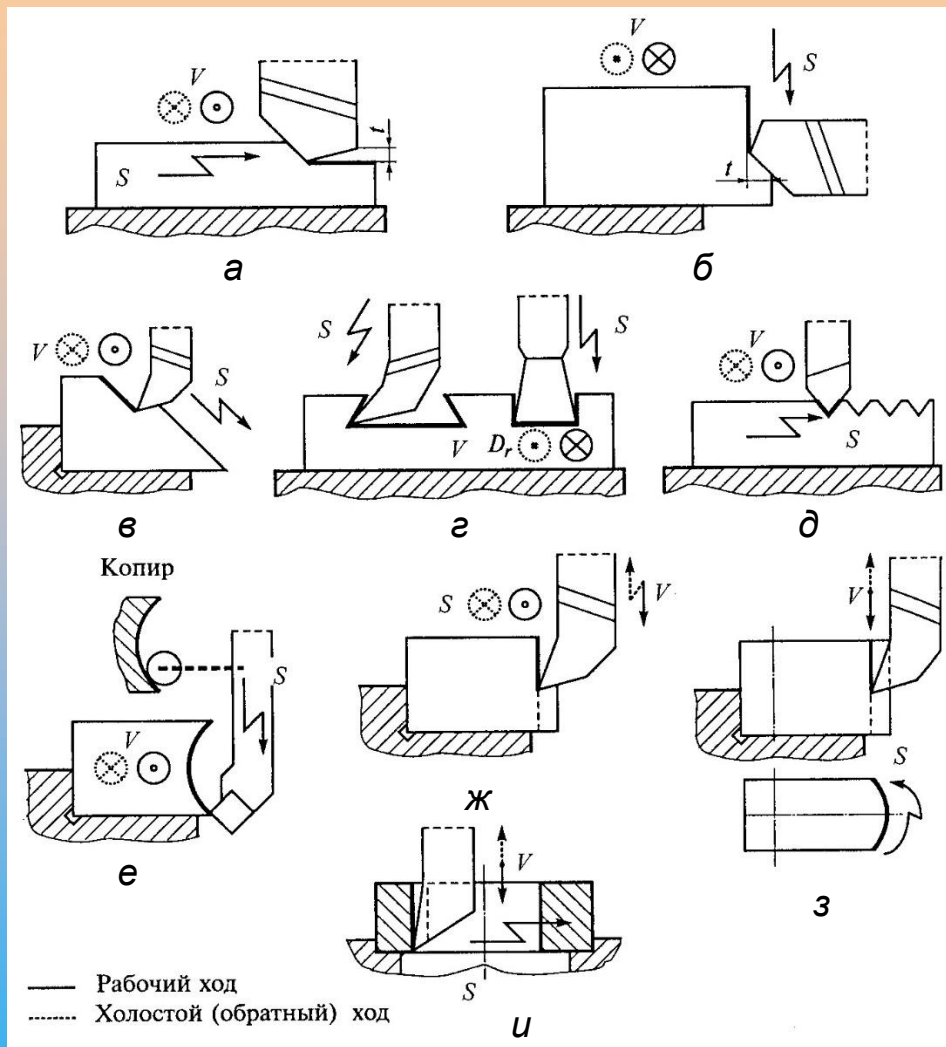
При «строгании» инструмент или заготовка возвратно-поступательно перемещаются относительно друг друга. Это движение по образующей называют главным движением резания. Перемещение заготовки или инструмента перпендикулярно движению резания обеспечивается движением подачи.

Схемы обработки

на строгальных станках (а) и долбежных (б) станках



Виды строгальных и долбежных работ



а–в – строгание плоских, горизонтальных и наклонных поверхностей;

г, д – строгание пазов и рифлений;

е – строгание фасонной поверхности по копиру;

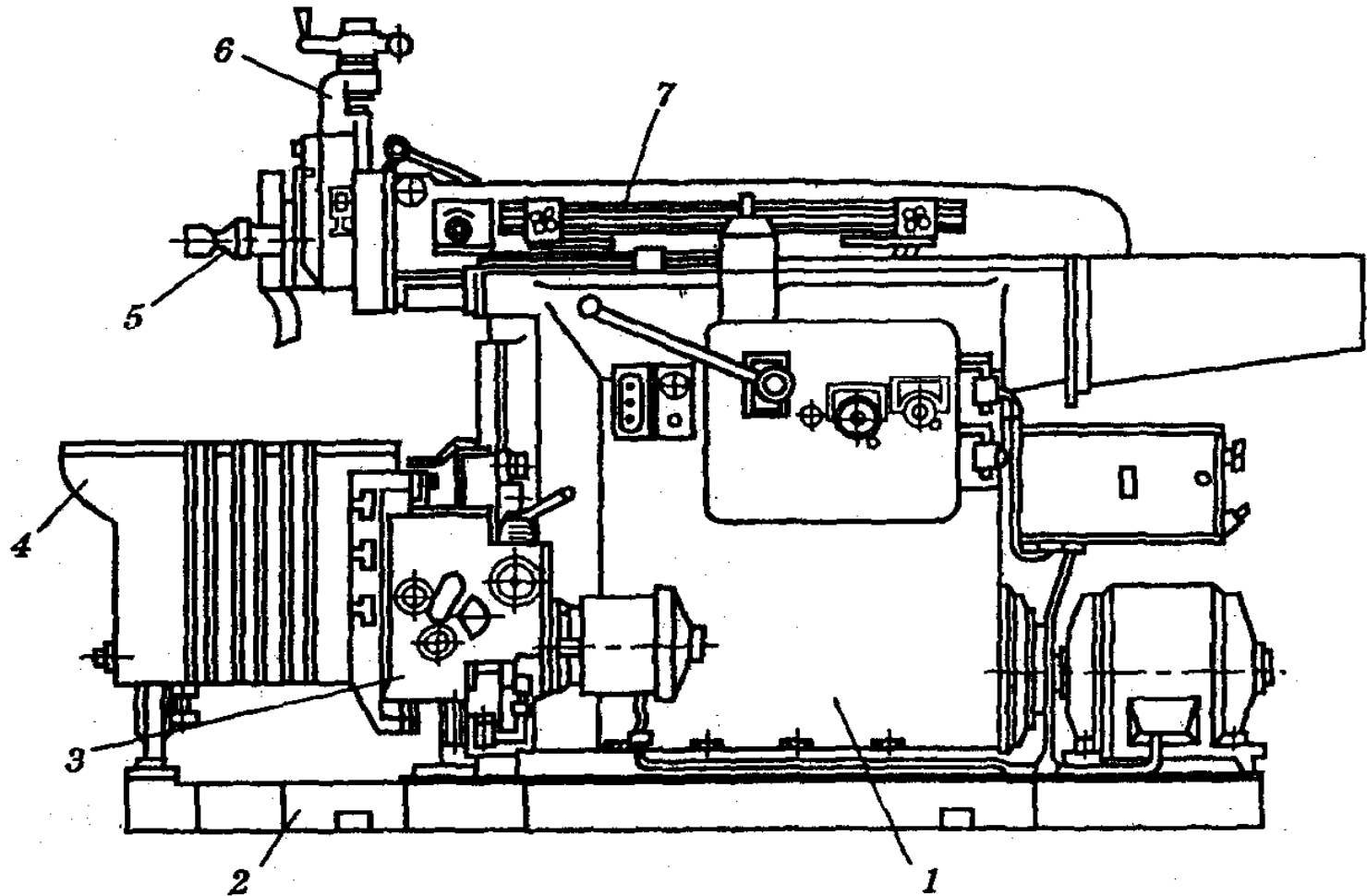
ж – долбление плоской поверхности;

з – долбление фасонной поверхности с круговой подачей;

и – долбление шпоночного паза;

V – движение резания;
 S – движение подачи;
 t – глубина резания

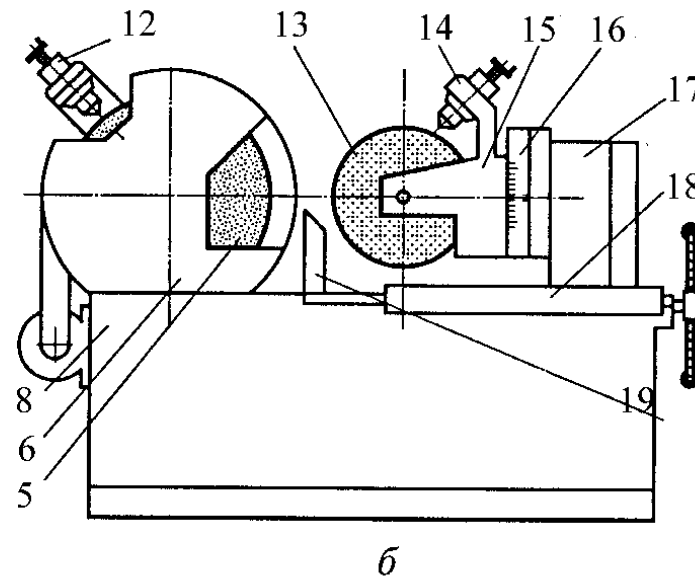
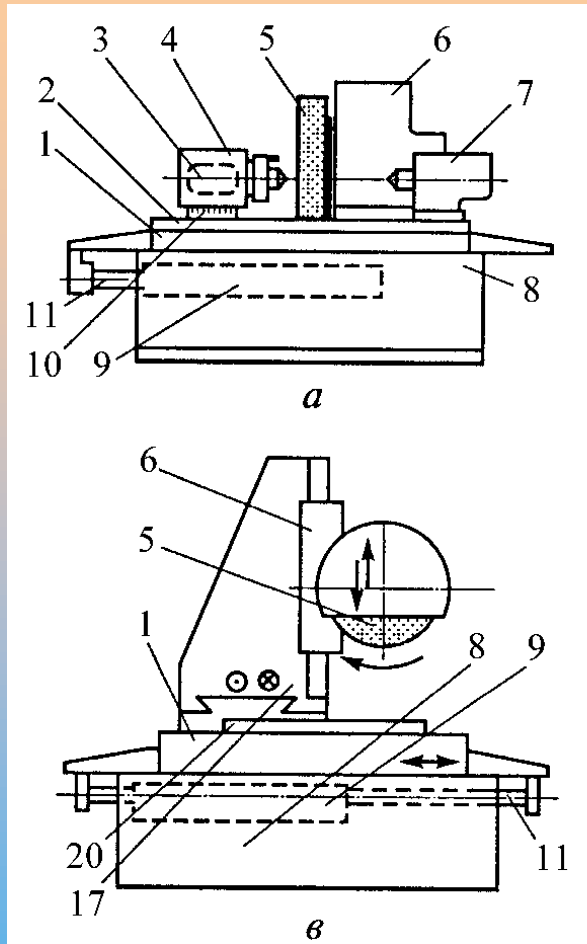
Поперечно-строгальный станок



Обработка на шлифовальных станках

- Шлифование — это процесс обработки металлов резанием при помощи абразивного инструмента с режущими элементами в виде зерен абразивных материалов, имеющих весьма высокую твердость.
- Шлифование является чистовой, отделочной операцией, обеспечивающей высокую точность и малую шероховатость поверхности.

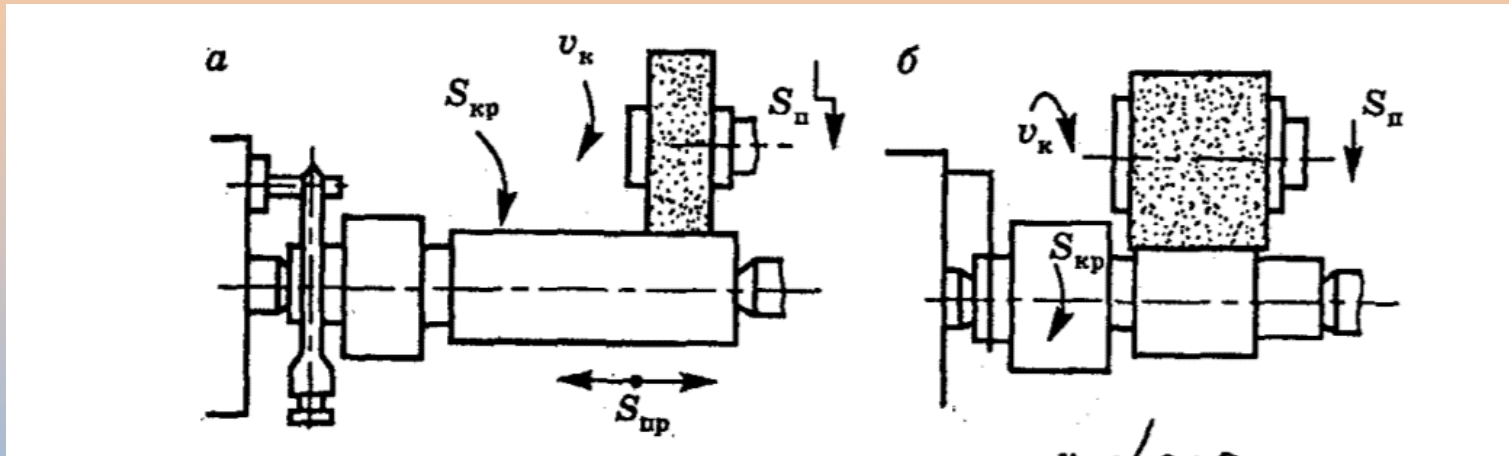
Станки шлифовальной группы



а – круглошлифовальный;
 б – бесцентровошлифовальный;
 в – плоскошлифовальный;

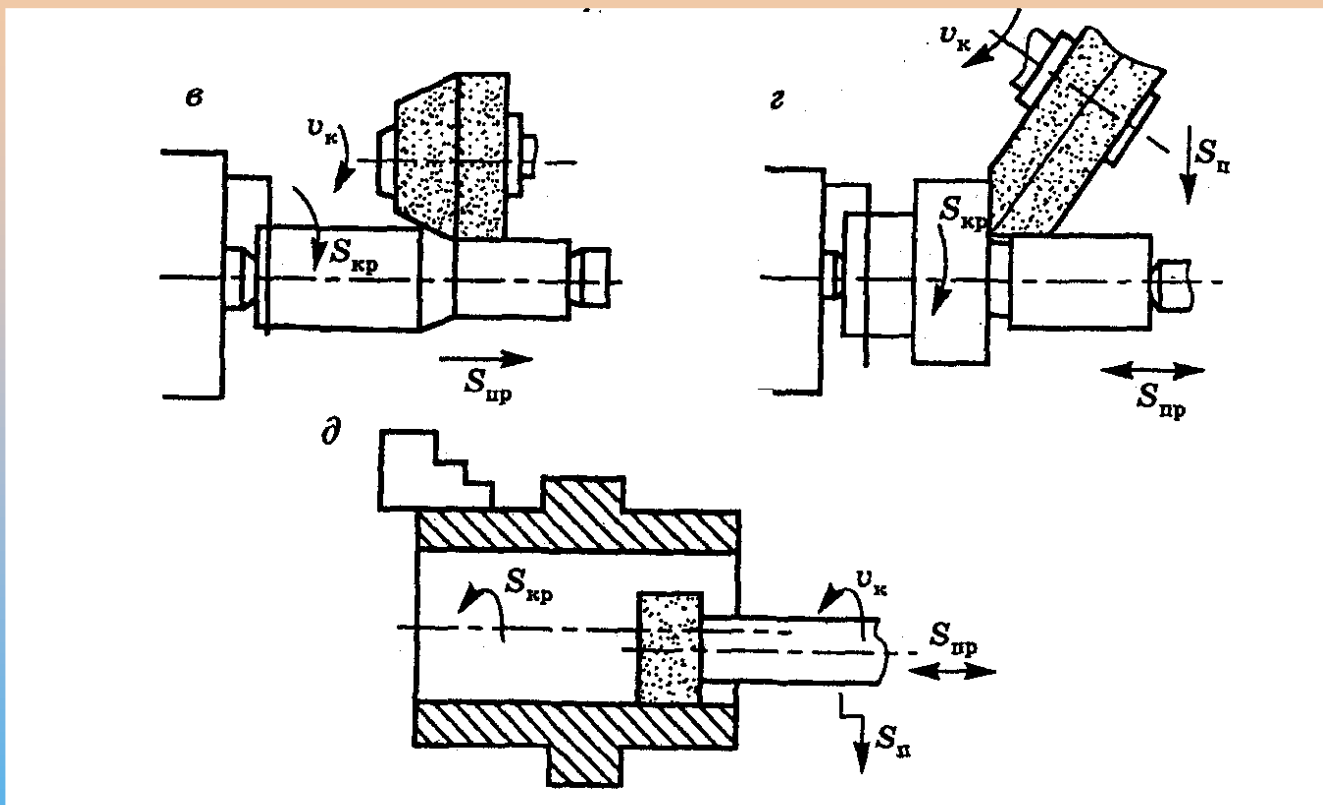
1 – стол; 2 – верхняя, поворотная часть стола;
 3 – коробка скоростей; 4 – передняя бабка;
 5 – абразивный круг; 6 – шлифовальная бабка;
 7 – задняя бабка; 8 – станина; 9 – гидроцилиндр;
 10, 16 – поворотные суппорты; 11 – шток;
 12, 14 – механизмы правки; 13 – ведущий круг;
 15 – бабка ведущего круга; 17 – задняя бабка (колонна); 18 – стол ведущего круга; 19 – нож;
 20 – магнитная плита

Схемы обработки на круглошлифовальных станках



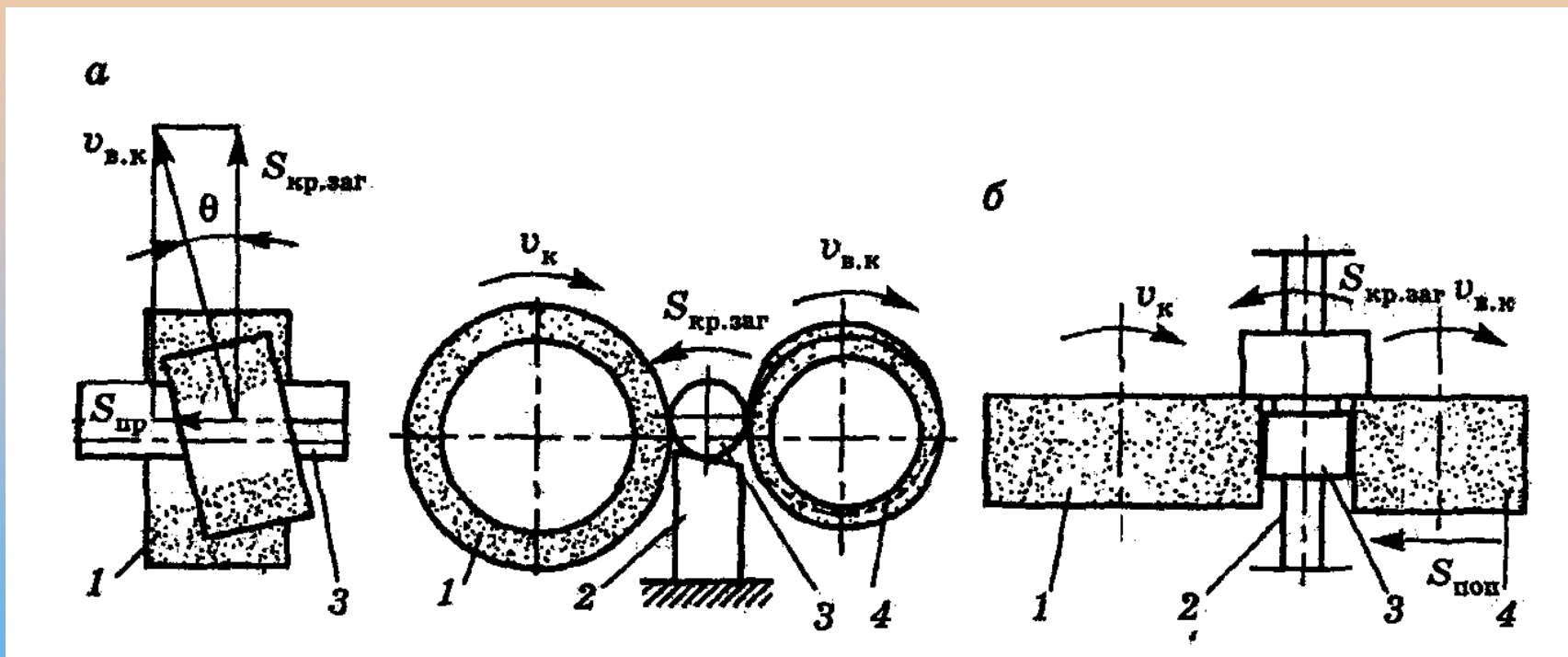
а — с продольной подачей заготовки; б — врезное шлифование;

Схемы обработки на круглошлифовальных станках



в — глубинное шлифование; г — шлифование двух взаимно-перпендикулярных плоскостей; д — внутреннее шлифование

Схемы обработки на бесцентрово-шлифовальных станках: а — наружных поверхностей; б — ступенчатой формы



1- шлифовальный круг; 2-нож; 3-заготовка; 4- ведущий круг

Абразивные материалы

- В качестве абразивных инструментов используются шлифовальные круги, сегменты, шлифовальные ленты, бруски, шкурки и притирочные порошки.
- Кроме формы и размеров они характеризуются маркой абразивного материала, зернистостью, твердостью, материалом связки, структурой, классом точности инструмента и классом дисбаланса.

Абразивные материалы

Абразивные материалы делятся на естественные и искусственные.

- К *естественным* материалам относятся алмаз, кварцевый песок, корунд, наждак, кремний, гранит, пемза, тальк,
- К *искусственным* — электрокорунд нормальный (13А...16А), электрокорунд белый (22А...25А), монокорунд (43А...45А), карбид кремния черный (53С, 54С), карбид кремния зеленый (63С, 64С), карбид бора (В4С), синтетические алмазы (АС).

- Одной из важных характеристик абразивного материала является *зернистость*, характеризующая размер зерна. Зернистость шлифовального материала на абразивном инструменте указывается в сотых долях миллиметра (например, зернистость 40 означает средний размер зерна 400 мкм).
- Абразивные зерна и порошки при изготовлении кругов соединяются *связкой*, которая может быть органического (вулканитовая и бакелитовая) или неорганического (керамическая) происхождения

Маркировка шлифовальных кругов производится на нерабочей поверхности круга

(например, ПП500х60х305 34А40 СТ2 6 К5 А 1 кл 35 м/с).

- В маркировку входит тип круга и его размеры (ПП500х60х305); марка абразивного материала (34А), зернистость (40), твердость (СТ2), структура (6), связка (Кб), класс точности (А), класс неуравновешенности (1 кл), допустимая окружная скорость (35 м/с).

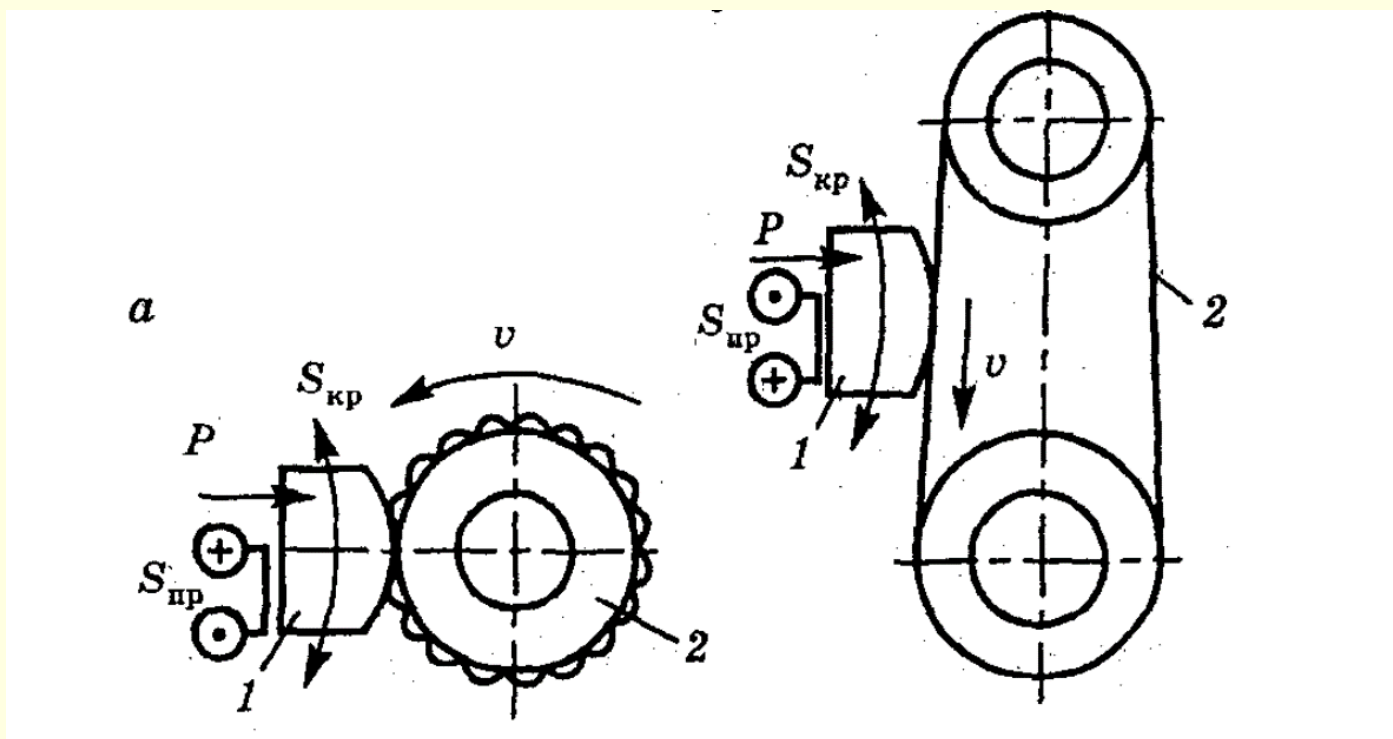
Отделочная обработка поверхностей

- Иногда обработка лезвийным инструментом или шлифовальными кругами оказывается недостаточной для достижения высоких точности и качества поверхностей деталей. В этом случае для отделочной обработки применяют
 - тонкое точение и растачивание,
 - тонкое шлифование,
 - полирование,
 - абразивно-жидкостную отделку,
 - притирку,
 - хонингование,
 - суперфиниширование и др.

Полирование

- *Полированием* называется метод отделочной обработки поверхностей вращающимися эластичными кругами или лентами в присутствии абразивного материала, смешанного со смазочным материалом.
- Полирование применяется только для уменьшения шероховатости поверхности и получения зеркального блеска
- Полированием не исправляют погрешности геометрической формы, а также локальные дефекты, оставшиеся от предыдущей обработки.

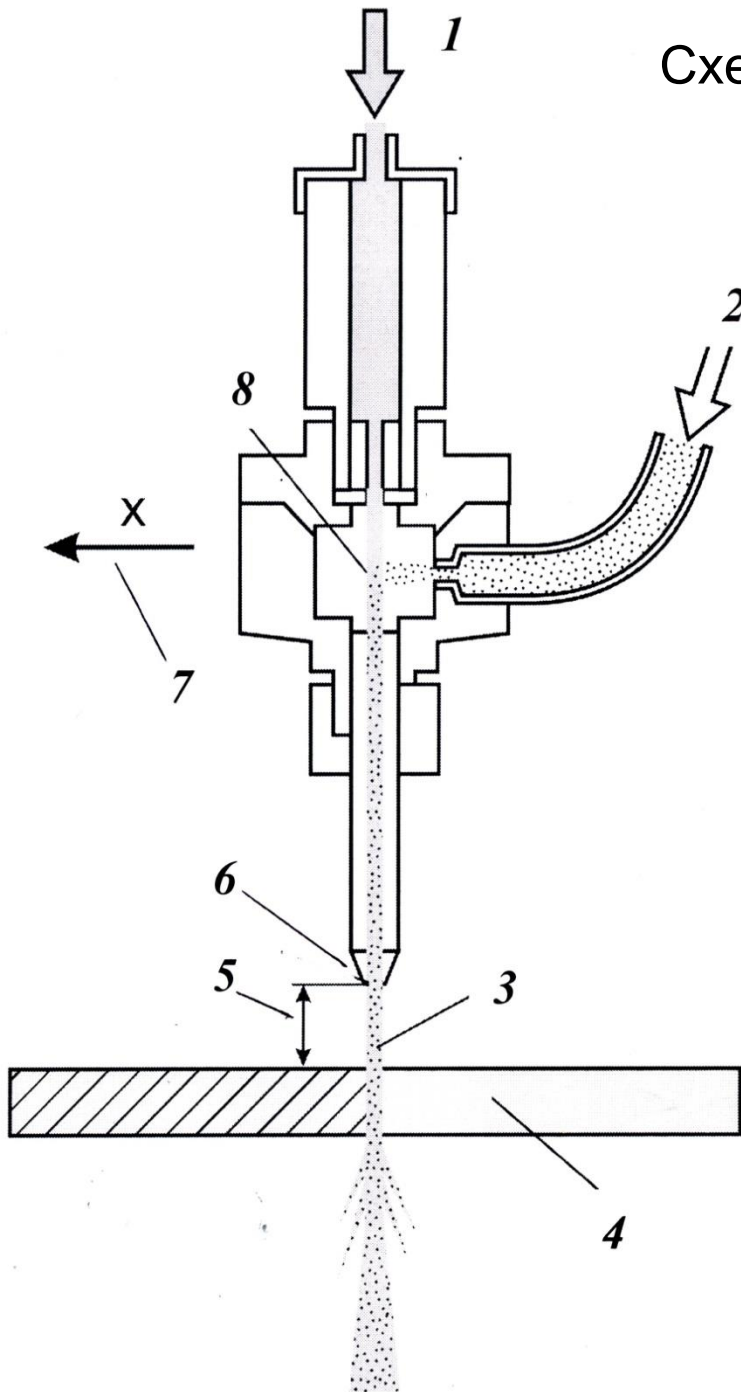
Схемы полирования: а- кругом; б- лентой



Абразивно-жидкостная отделка

- Это окончательная обработка поверхностей с помощью абразивного порошка, взвешенного в жидкости.
- Водно-абразивная суспензия имеет большую скорость подачи (около 50 м/с). Частицы абразива ударяются о поверхность заготовки и сглаживают микронеровности. В зависимости от обрабатываемого материала применяют порошки и микропорошки электрокорунда и карбида кремния.

Схема установки для водоабразивной обработки

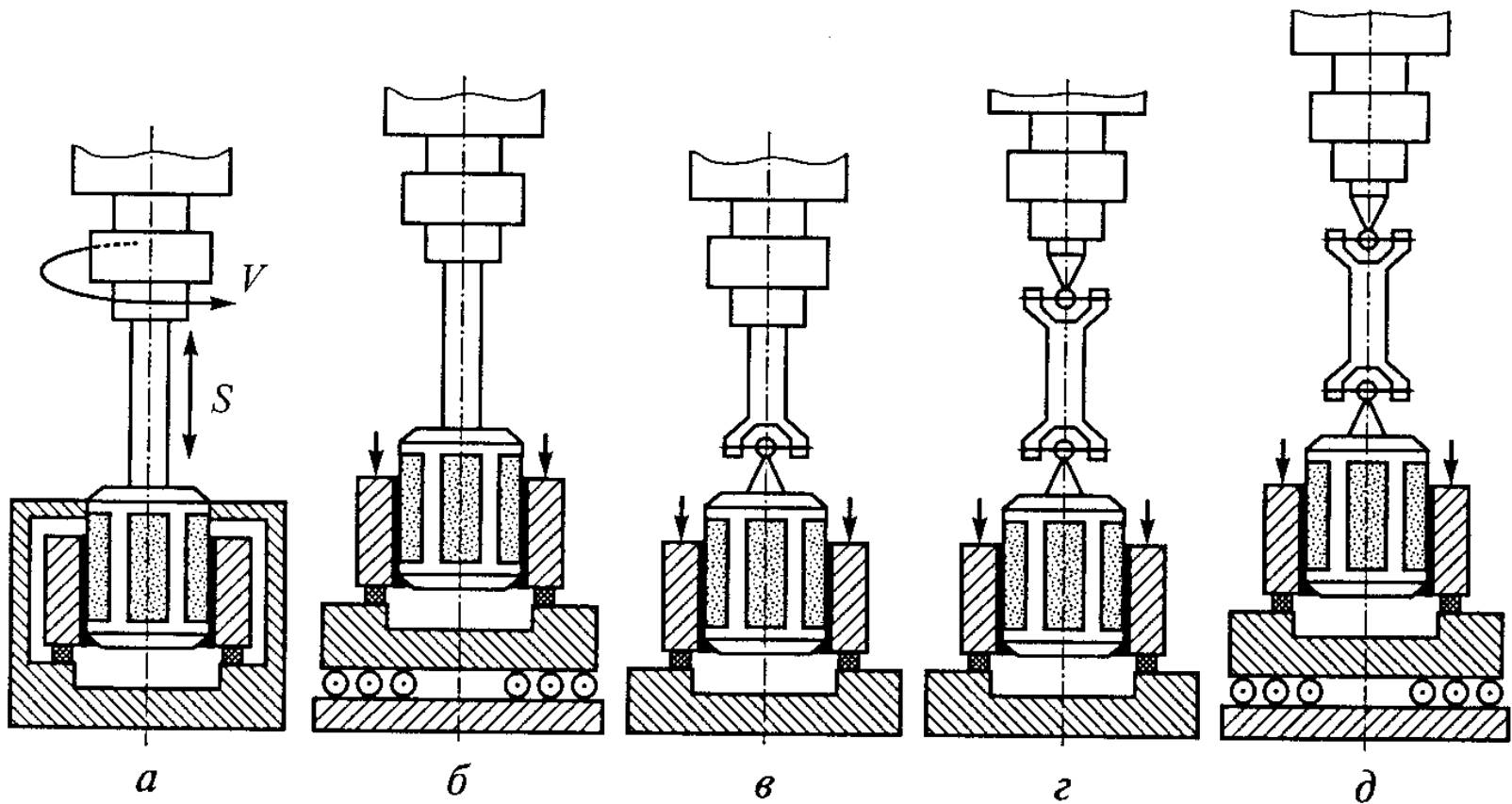


- 1- система подачи воды (давление 400 МПа и выше);
- 2 - система подачи абразивного порошка (SiC , Al_2O_3);
- 3 - водоабразивная смесь;
- 4 - обрабатываемая поверхность заготовки,
- 5 - расстояние от сопла установки до обрабатываемой поверхности;
- 6 – выходное сопло установки;
- 7 – направление перемещения сопла относительно обрабатываемой поверхности;
- 8 - камера смешивания абразивного порошка с жидкостью

Хонингование

- Хонингованием называют метод отделочной обработки поверхностей мелкозернистыми абразивными брусками. Этим методом могут обрабатываться как внутренние, так и наружные поверхности тел вращения, но на практике он применяется главным образом для отделки внутренних поверхностей гильз, блоков цилиндров.
- Хонингование применяют для получения поверхностей высокой точности и малой шероховатости, оно устраняет конусообразность и овальность отверстий, но не исправляет положение осей из-за шарнирного соединения хона со шпинделем станка.

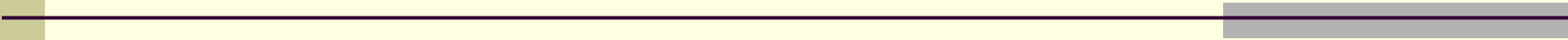
Схемы хонингования



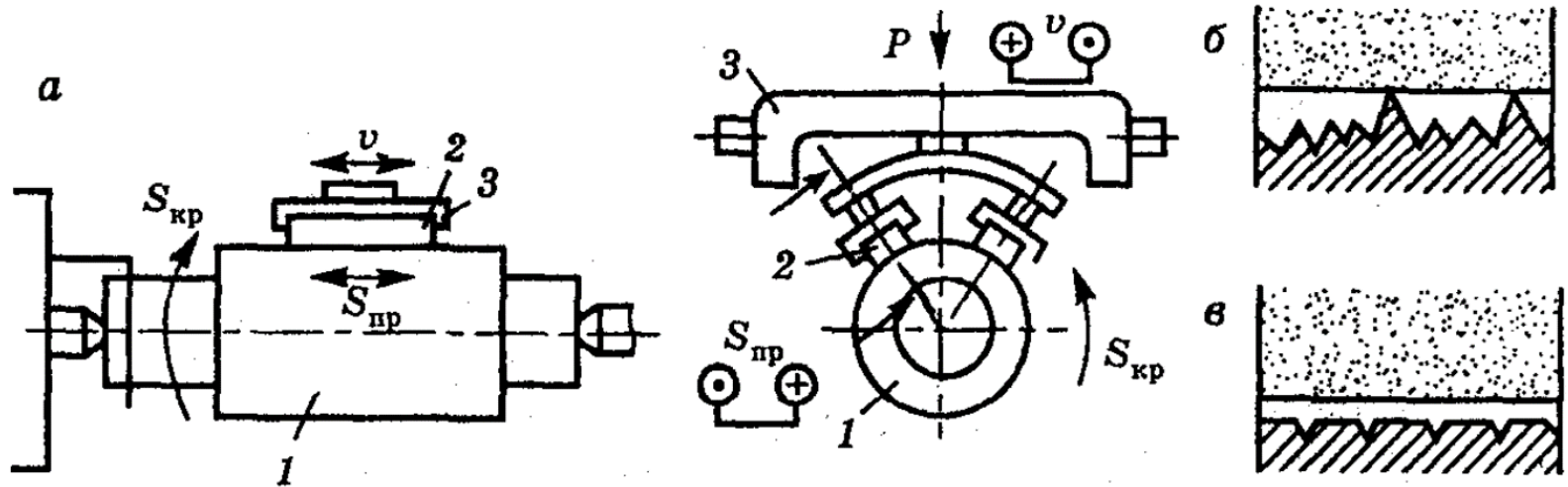
а – с двумя степенями свободы заготовки; б – с четырьмя степенями свободы заготовки; в – с одношарнирным креплением хона; г – с двухшарнирным креплением хона; д – с двухшарнирным креплением хона и четырьмя степенями свободы заготовки

Супер финиширование

- *Суперфинишированием* называют технологический процесс тонкой отделочной обработки поверхностей заготовок мелкозернистыми абразивными брусками. При этом изменяются глубина и вид микронеровностей, а на обрабатываемых поверхностях образуется сетчатый рельеф.



Супер финиширование



а — схема процесса; б, в — поверхность до и после финиширования

Технология электрофизических и электрохимических методов обработки материалов

Доцент кафедры «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» МТФ БНТУ

В. А. Сидоров

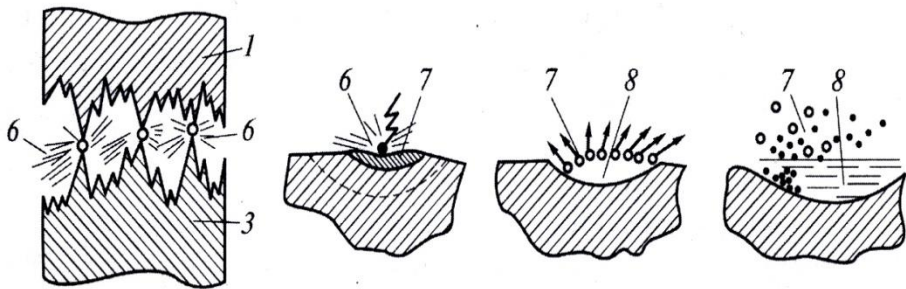
В промышленности часто возникают технологические трудности с обработкой материалов и деталей, форму и состояние поверхностного слоя которых трудно получить механическими методами. Эти задачи решаются применением электрофизических и электрохимических методов обработки (ЭФЭХ).

Они основаны на использовании явлений эрозии, возникающих под действием электрического тока. Обработка методами ЭФЭХ происходит в условиях действия минимальных сил резания или при полном их отсутствии. При обработке методами ЭФЭХ в качестве обрабатывающего инструмента используют сформированный определенным образом поток электронов, ионов или фотонов.

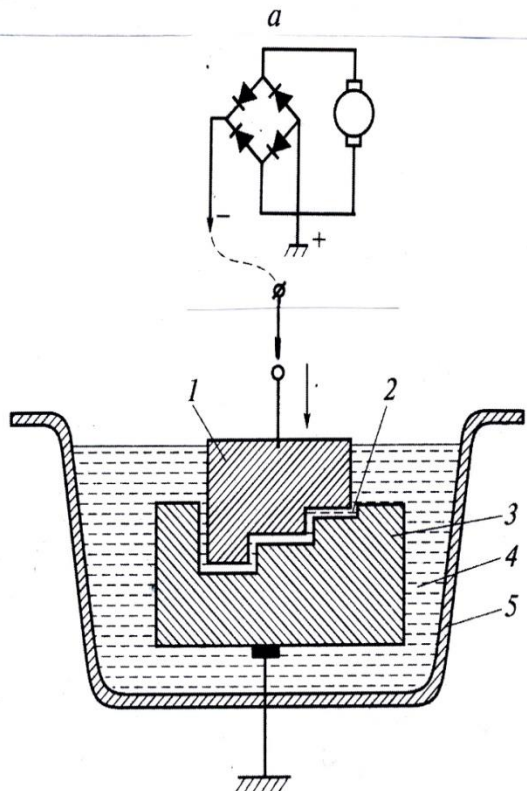
Основные группы методов:

1. *электро-физические методы обработки : удельные мощности $0,1 - 10^4$ Вт/м² (электроэрозионные, плазменные, электронно-лучевые, лазерные и некоторые другие)*
2. *электро-химические методы обработки, (анодно-химическая обработка, анодное растворение или катодное осаждение) при плотности мощности $10^{-3} - 1$ Вт/м²*
3. *-комбинированные электро-физико-химические процессы (эрозионно-электрохимические, плазменно-механическая, ультразвуковые- электрохимические, алмазно-эрозионная и др.)*

Электроэрозионная обработка



Основана на тепловом действии импульсов электрического тока, возбуждаемых в среде жидкого диэлектрика между электродом-инструментом и обрабатываемой заготовкой



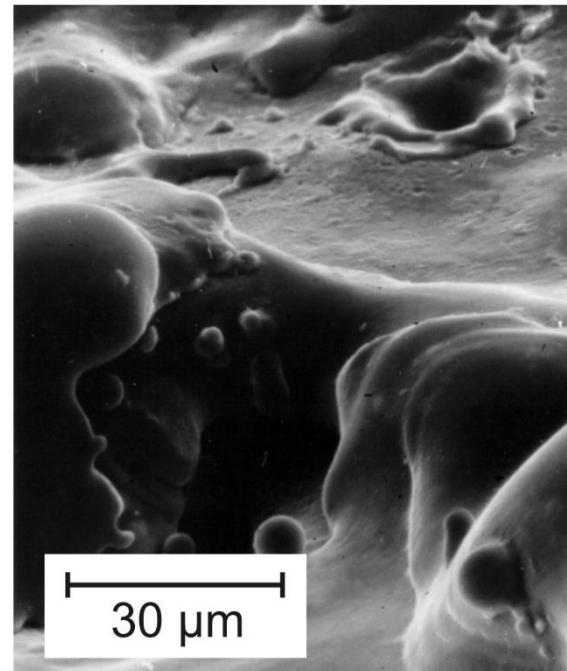
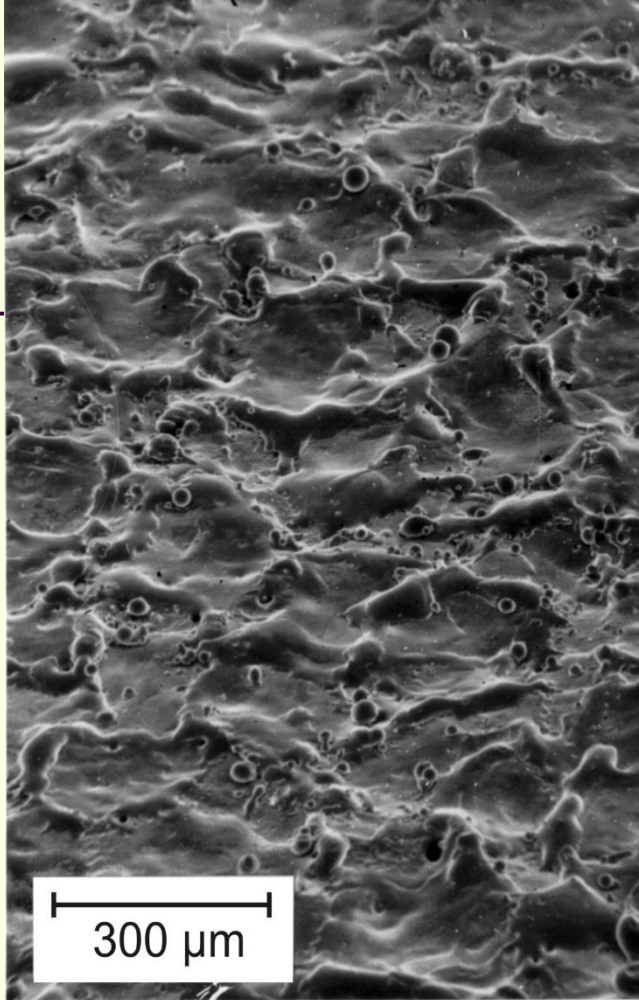
1 – электрод-инструмент; 2 – межэлектродный зазор; 3 – обрабатываемая заготовка; 4 – рабочая жидкость; 5 – ванна; 6 – разряд между наиболее близкими участками поверхности; 7 – расплавление металла и его выброс; 8 – лунка, оставшаяся на поверхности

Принципиальная схема электроэрозионной обработки:
а – схема возникновения разряда и образования лунки;
б – размещение электродов в процессе обработки;

Электроэрозия - процесс разрушения поверхности металлических электродов при пробое межэлектродного промежутка электроискровым разрядом с образованием углублений (лунок).

- При подаче на катод-инструмент 1 напряжения (10 В/м_к) возникает электроискровой разряд.
- Время разряда ($t_p=10^{-5} \dots 10^{-8}$ с), мгновенная плотность тока достигает 8000...10000 МА/м², а температура 30000 °С. Электронные и ионные лавины разрушают поверхность заготовки.
- Эрозионные лунки формируются на поверхности электрода заготовки за счет расплавления металла и его последующего выброса со дна лунки за счет действия газов, вырывающихся из нагретой до температур свыше 8000 °С металлической поверхности.

material : 56 Ni Cr Mo V17
discharge current : 18 A
pulse duration : 100 μ s
pulse intervall : 12 μ s
electrode : Cu



Электронно-сканирующий снимок поверхности после электроэрозионной обработки заготовки из хромоникелевого жаропрочного сплава (56 Ni Cr V17) при $I = 18$ A, длительность импульса $\tau_0 = 100$ мс, интервале между импульсами $\tau_u = 12$ мс, катод - Cu

Электроэрозионная обработка зависит, от теплофизических свойств обрабатываемых материалов и факторов, характеризующих электрические процессы.

Механические характеристики обрабатываемого материала практически не влияют на производительность обработки.

Различают *размерную и упрочняющую* электроэрозионную обработки .

К электроэрозионной обработке относят также:

- *электроискровую,*
- *электроимпульсную,*
- *электроконтактную*
- *анодно-механическую.*

Электроискровая обработка

Размерное формообразование производится в диэлектрической жидкости (керосине или низковязком масле, подаваемом под давлением, а также в воде).

На поверхности заготовки происходят очень короткие искровые разряды, во время которых выделяется большое количество тепла, идущее на оплавление, частичное испарение и взрывоподобный выброс частиц с поверхности заготовки (анода).

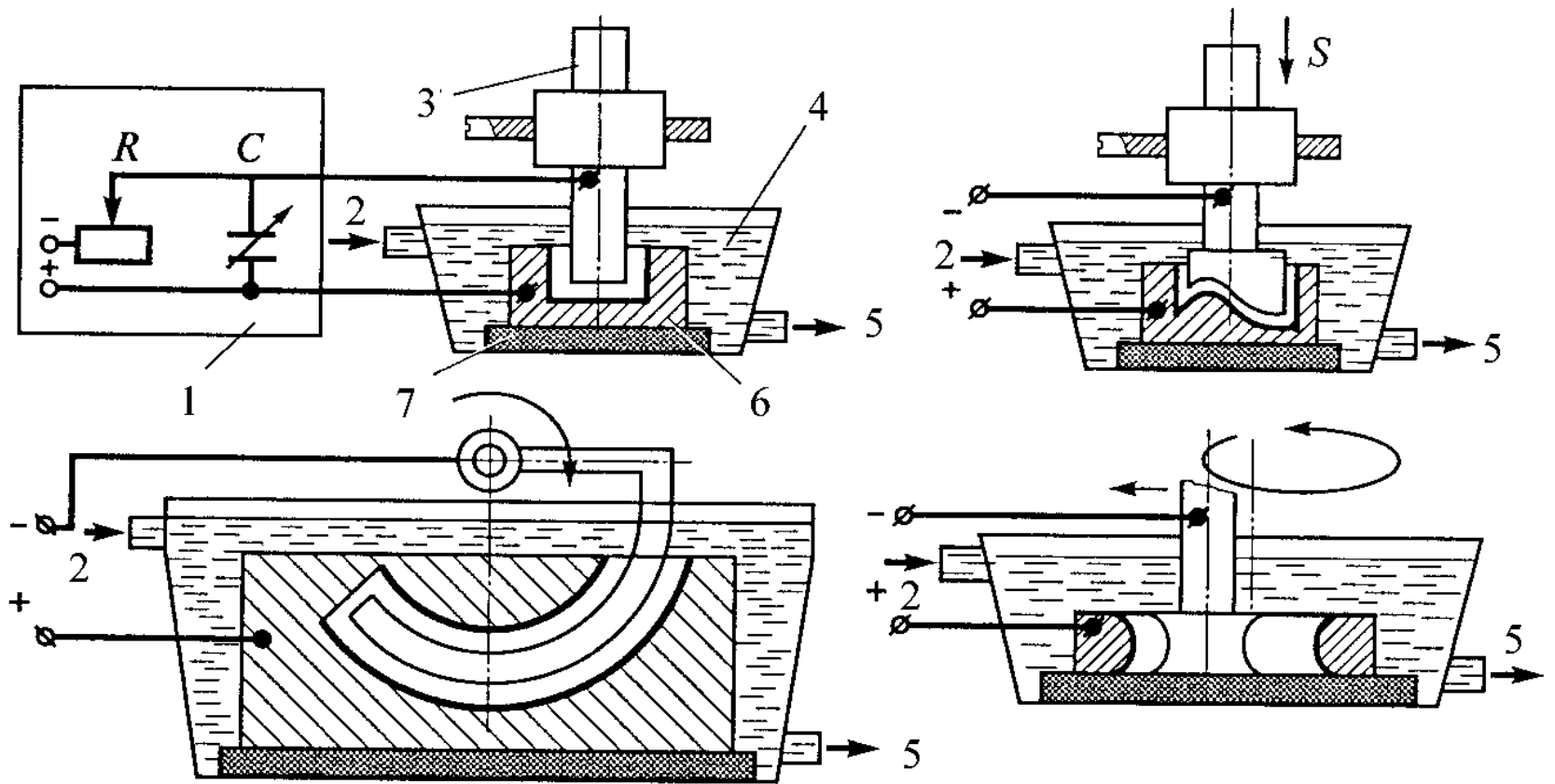
Катодом является инструмент, зеркально отображающий форму заданной поверхности детали.

Электроды-инструменты изготавливают из хорошо проводящих тепло материалов: углеграфита, меди, латуни и др.

Электрические разряды характеризуются большими отношениями амплитуды тока и периода следования импульсов к их длительности.

Мощность разряда может изменяться в пределах от десятков ватт до нескольких киловатт.

Электроискровая обработка

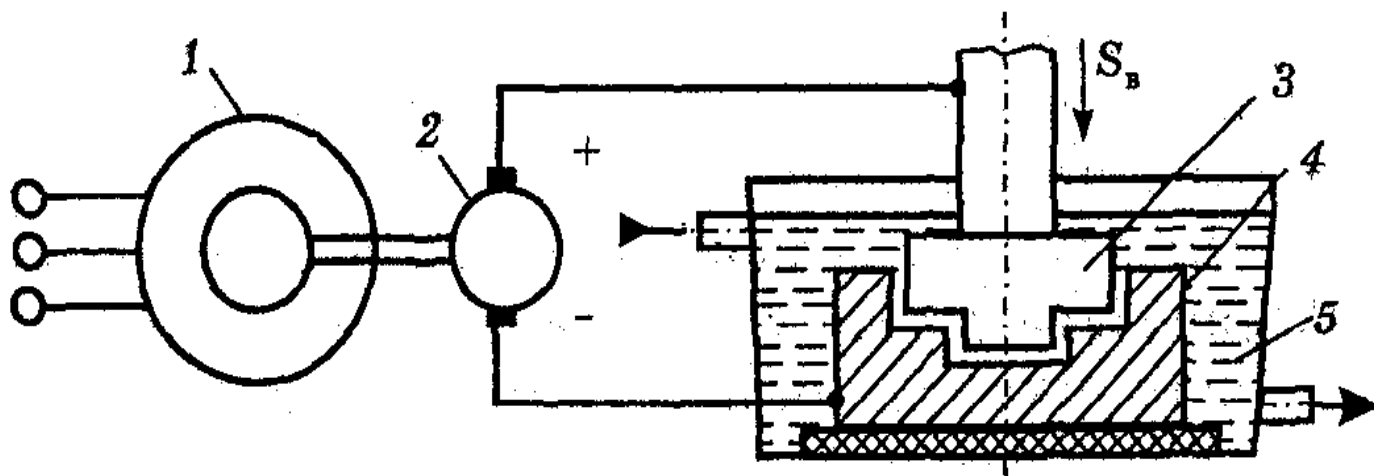


1 – RC-генератор; 2 – подача электролита; 3 – инструмент;
4 – диэлектрическая жидкость; 5 – слив электролита;
6 – заготовка; 7 – изолятор; S – движение подачи

Электроимпульсная обработка

- При этом методе обработки используют электрические импульсы большой длительности (0,5...10 с) в виде дугового разряда между электродами, приводящие к интенсивному разрушению катода. Поэтому при электроимпульсной обработке применяют обратную полярность включения электродов.
- Электроимпульсные режимы реализуются установкой, в которой импульсы на электроды подают от электромашинного или электронного генератора.

Электроимпульсная обработка

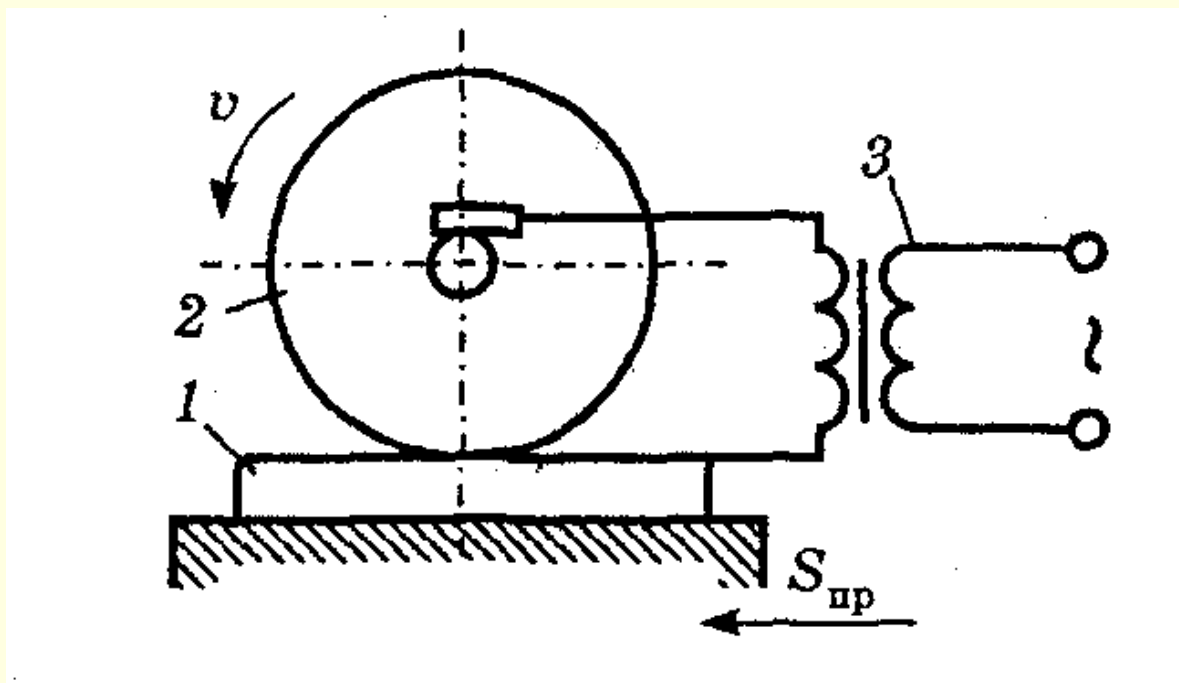


1 — электродвигатель; 2 — импульсный генератор постоянного тока; 3 — инструмент-электрод; 4 — заготовка-электрод; 5 — ванна

Электроконтактная обработка

- Электроконтактная обработка основана на разрушении металла в результате одновременного механического и теплового воздействия в месте контакта электрода-инструмента с заготовкой, приводящего к расплавлению, частичному испарению и удалению размягченного металла из зоны обработки.
- Электроконтактную обработку проводят при постоянном или переменном токе медными или чугунными электродами

Электрод-инструмент (катод) – металлический диск, второй электрод (анод) – обрабатываемая заготовка. ~~Используется постоянный или переменный ток.~~



1 — заготовка; 2 — инструмент-электрод; 3 — трансформатор

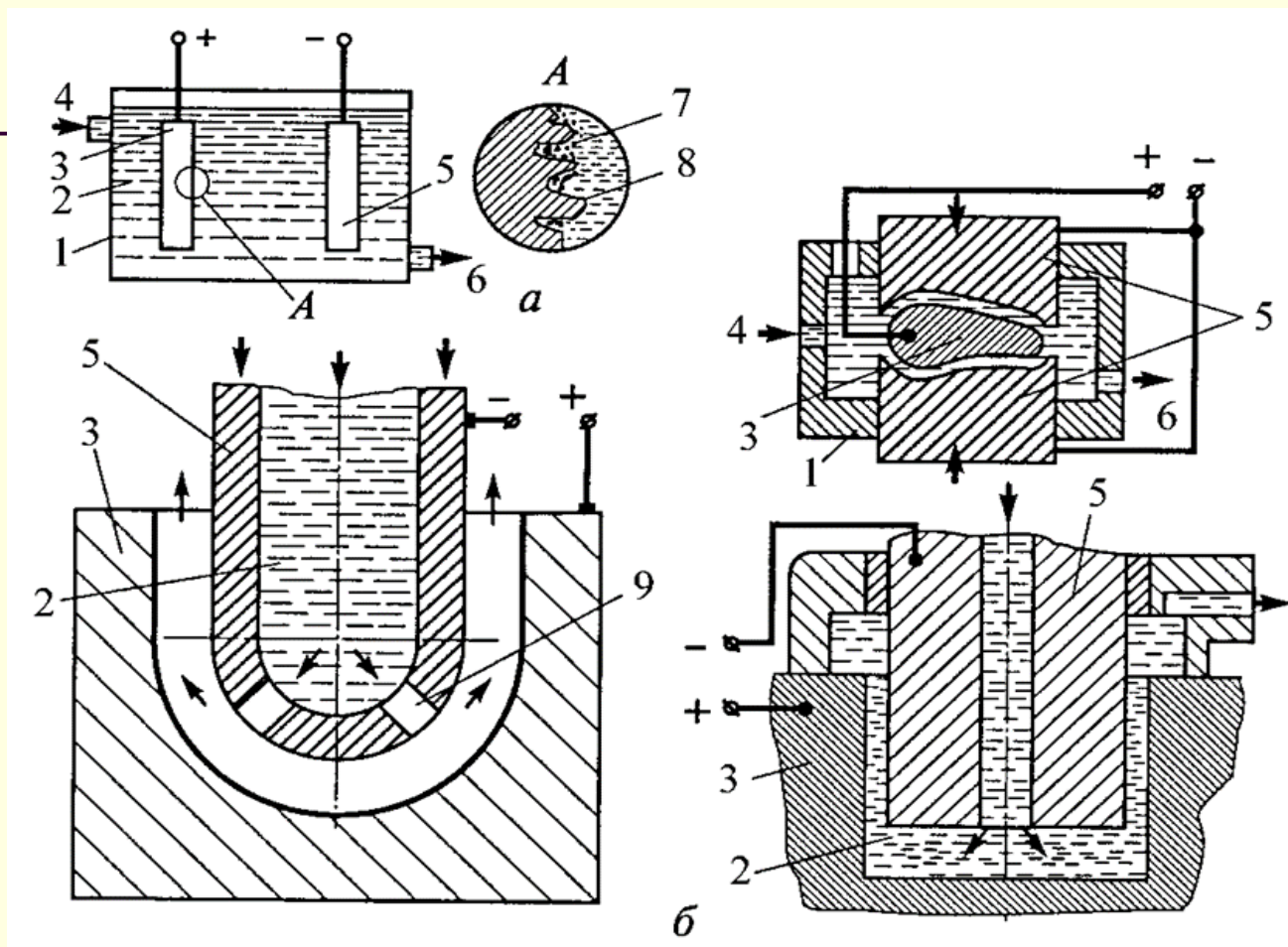
Электро-химические методы обработки

В основу электрохимических методов обработки заготовок положен принцип анодного растворения при электролизе.

- При подаче постоянного тока в зону обработки на поверхности заготовки (аноде) происходят химические реакции, превращая слой металла в химические соединения. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим путем. Производительность процесса зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого материала и плотности тока.

- Поток электролита со скоростью 5-50 м/с, обеспечивает анодное растворение обрабатываемого материала и удаление продуктов реакции из рабочей зоны.
- Зазор между электродами в пределах 0,02 - 0,5 мм регулируют автоматическими следящими системами.
- Рабочее напряжение поддерживают в пределах 3 - 24 В.
- Для изготовления электрода-инструмента используют коррозионно-стойкую сталь, латунь, углеграфит.

Электрохимическая обработка



a – полирование; *б* – размерная обработка;

1 – ванна; 2 – электролит;
– катод; 6 – слив электролита;

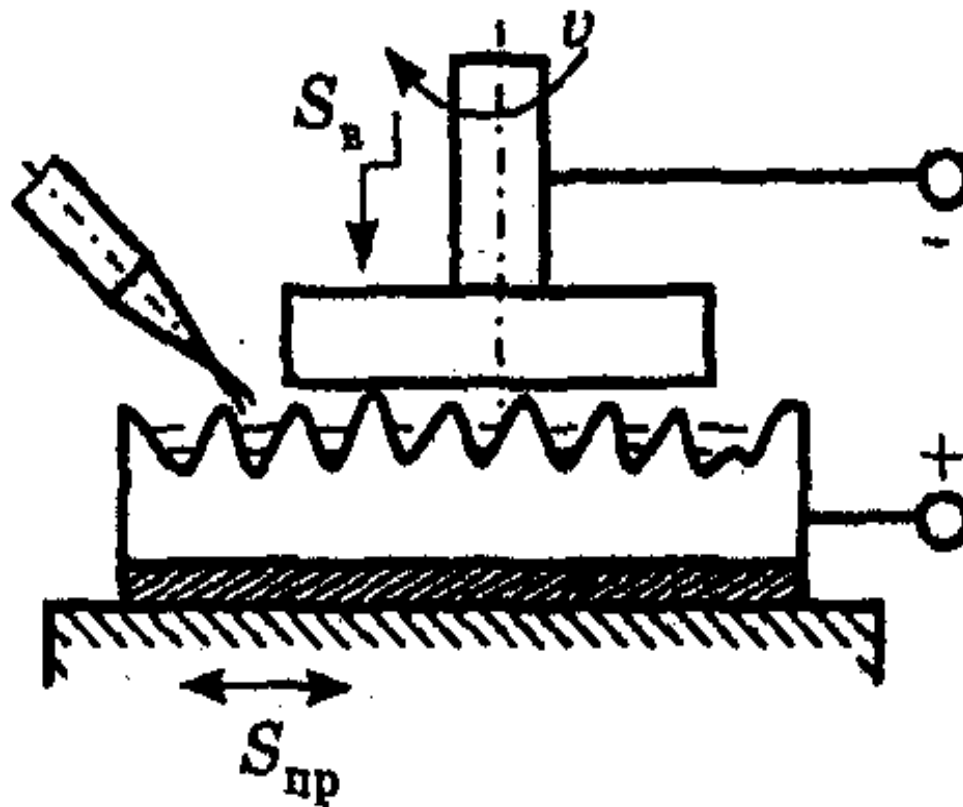
3 – заготовка; 4 – подача электролита; 5
7 – продукты растворения; 8 –

микронеровности; 9 – отверстие

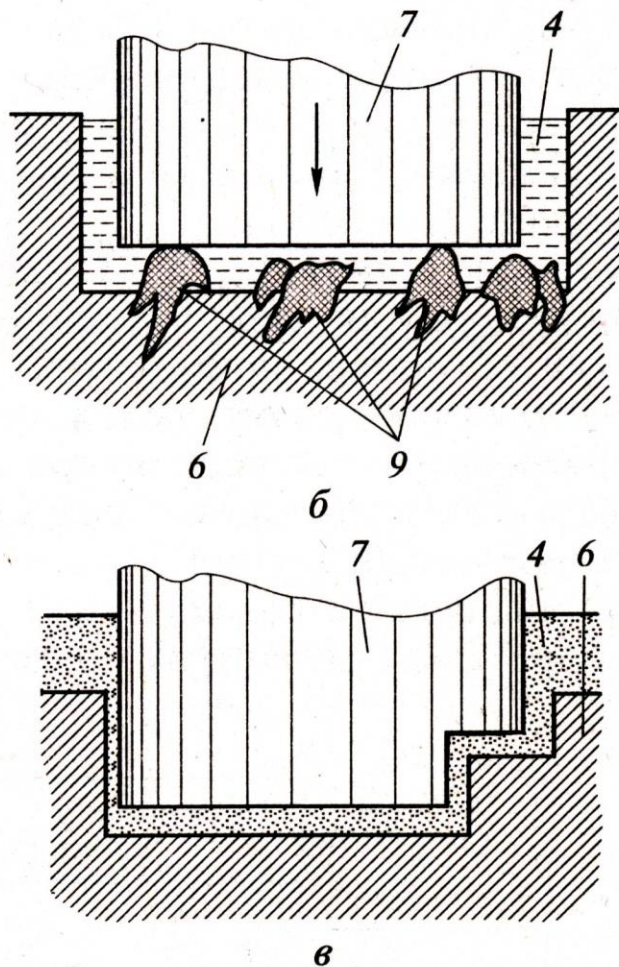
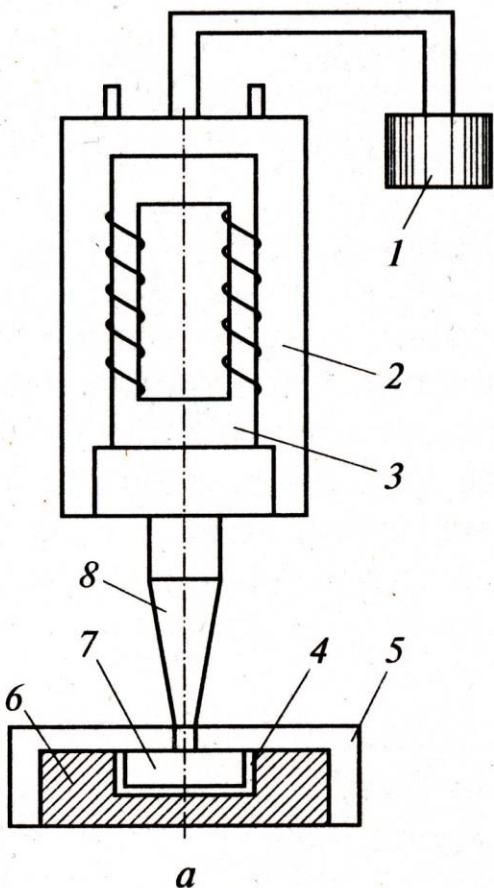
Анодно-механическая обработка

- Анодно-механическая обработка – разновидность электроэрозионной обработки, основанная на одновременном использовании анодного растворения и механического удаления продуктов распада.
- Применяется в основном для заточки и доводки твердосплавных режущих инструментов, а также для резки металлов. Наиболее распространены отрезные дисковые и ленточные анодно-механические станки.
- Обрабатываются токопроводящие материалы любой твердости, преимущественно нержавеющей стали, жаропрочные и твердые сплавы.

Анодно-механическая обработка плоской поверхности



Ультразвуковая размерная обработка.



1 – генератор тока повышенной частоты;
2 – корпус магнитостриктера с охлаждающей водой;
3 – магнитостриктор (пакет с обмоткой); 4 - зазор, заполненный суспензией абразива; 5 – ванна;
6 – обрабатываемая заготовка; 7 – инструмент;
8 – концентратор-волновод (трансформатор амплитуды); 9 – частички абразивных зерен

а – принципиальная схема ультразвуковой установки;

б – схема съема материала при ультразвуковом прошивании;

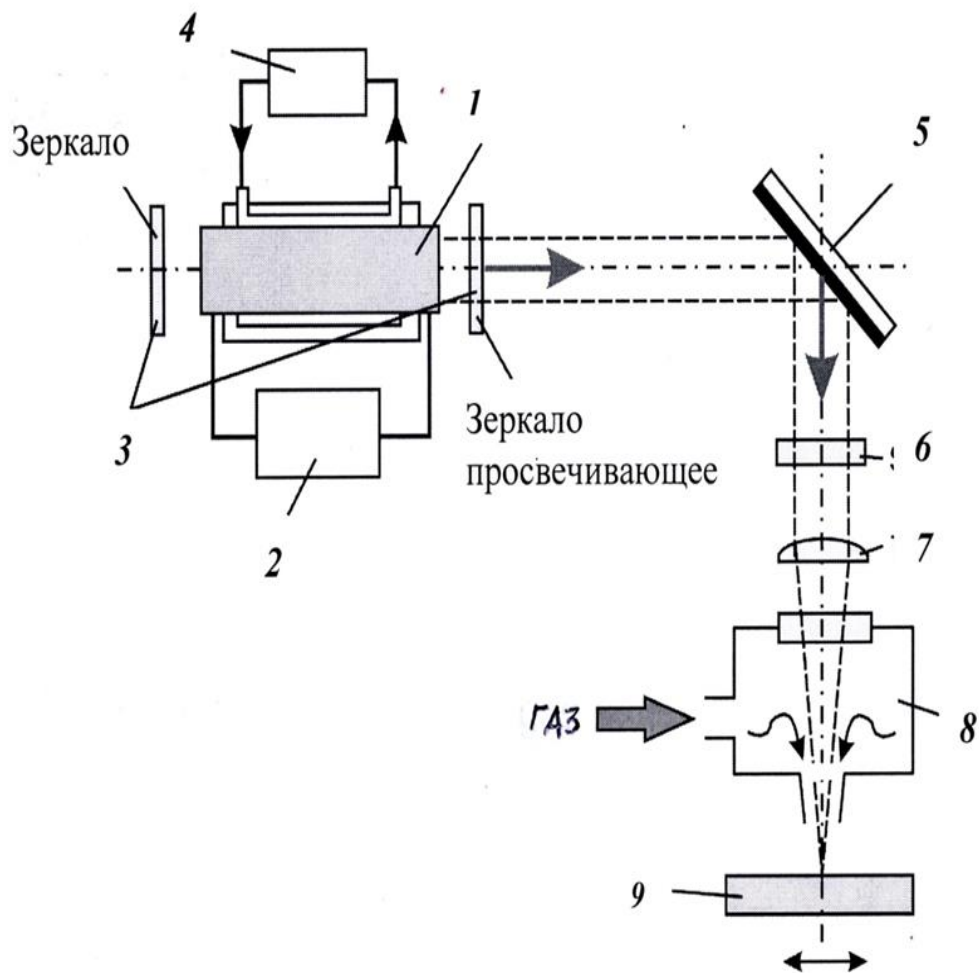
в – схема копирования профиля инструмента в заготовке;

- Для питания преобразователей ультразвуковых станков используют высокочастотные генераторы мощностью 0,05 - 2,5 кВт, работающие с частотой 22 или 44 кГц.
- УО применяется для формообразования деталей из твердых и хрупких материалов: стекла, керамики, германия, кремния, феррита, рубина, твердого сплава, алмаза и др.
- обеспечивает объемную скорость съема при обработке стекла до 100 м³/с и твердого сплава до 10 м³/с, при этом обеспечивается шероховатость обработанной поверхности Ra = 0,32 - 0,16 мкм.
- Относительный износ инструмента колеблется от 0,5 - 1 % (при обработке стекла, мрамора, кремния) до 40 - 60 % (при обработке твердых сплавов).

Лазерная обработка

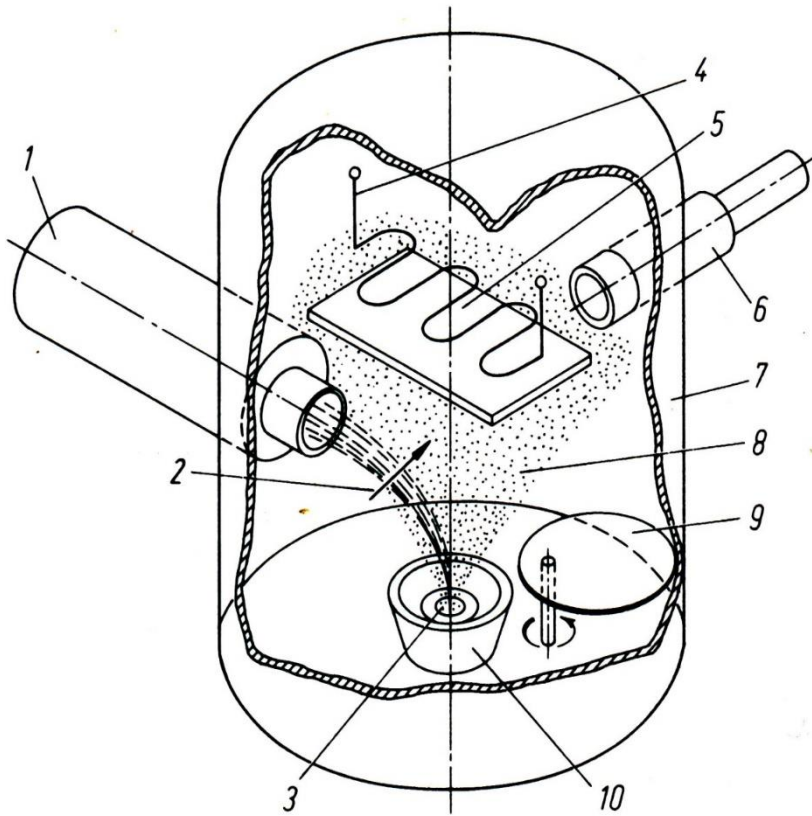
Лазерная обработка основана на использовании монохроматического электромагнитного излучения, генерируемого лазером, которое концентрируется с помощью оптической системы на обрабатываемой поверхности заготовки, вызывая нагрев, плавление, испарение или взрывное разрушение материала

Схема установки для лазерной обработки



- ЛО может осуществляться в воздухе, вакууме или в газовой среде в виде одиночных или серийных импульсов с определенной длительностью, частотой следования и пиковой мощностью, или в виде непрерывного, квазинепрерывного, модулированного с частотой 5-50 кГц излучения
- Форма и диаметр светового пятна изменяются от единиц до сотен микрометров
- Возможно осуществление различных технологических операций: - прошивка отверстий, удаление припуска, скрайбирование (маркировка), сварка, термообработка

Электронно-лучевая обработка



Принципиальная схема установки для электронно-лучевой обработки

- 1 – электронная пушка;
- 2 – магнитное поле;
- 3 – испаряющее пятно сконцентрированного электронного пучка;
- 4 – нагреватель заготовки;
- 5 – обрабатываемая заготовка;
- 6 – вакуумная система;
- 7 – корпус установки;
- 8 – поток испаряемого пара;
- 9 – бленда (затвор);
- 10 – охлаждаемый тигель с веществом, подлежащим испарению

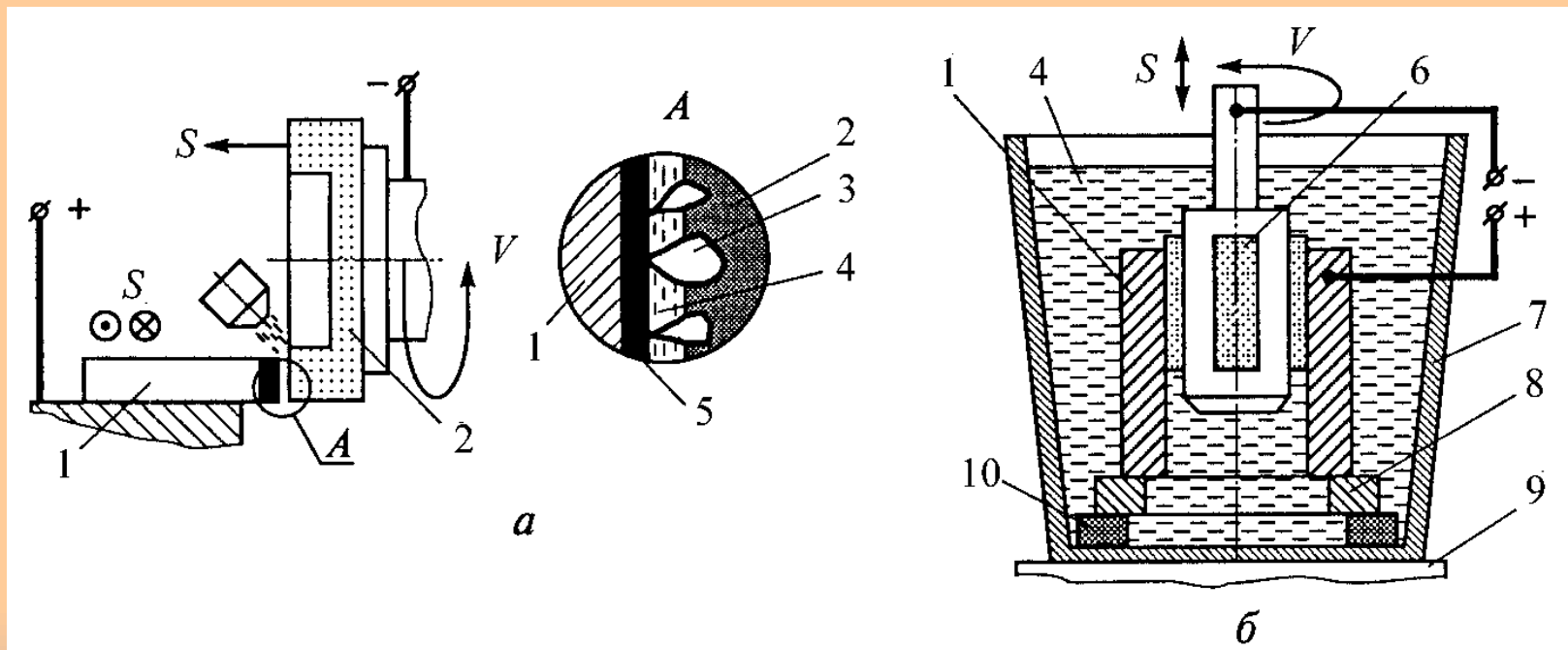
- *Электронно-лучевая обработка* основана на ускорении и фокусировании в узкий пучок электронов, излучаемых катодом в глубоком вакууме мощным электрическим полем, при последующем их направлении на обрабатываемую деталь-анод.
- Физическая сущность процесса состоит в концентрации и преобразовании кинематической энергии электронов в тепловую энергию. Благодаря этому возможна обработка небольших отверстий, щелей размерами до нескольких десятков микрон.
- Применяют для получения микроотверстий в прецизионных деталях радиоэлектронной промышленности, в охлаждаемых лопатках турбин, в особо чистых материалах, для которых недопустим контакт с воздухом, при изготовлении сеток в листовом материале.

Комбинированные процессы обработки

осуществляют путем совмещения микрорезания абразивными (алмазными, эльборовыми) зернами и анодного (электрохимического) растворения

К комбинированным методам обработки относят абразивно – электро-химическую, абразивно-электроэрозионную, ультразвуковую электро-химическую, электро-эрозионно-химическую, анодно-механическую, плазменно-механическую, лазерно-механическую.

Абразивно-электрохимическая обработка применяется при плоском торцовом шлифовании деталей из твердых, магнитных, жаропрочных сталей и сплавов; плоском и круглом шлифовании тонкостенных, нежестких деталей; профильном шлифовании; шлифовании вязких материалов без образования заусенцев и т.п.



a – шлифование; *б* – хонингование;

1 – заготовка; 2 – инструмент;

3 – абразивные зерна;

4 – электролит; 5 – припуск; 6 – хонинговальная головка; 7 – ванна;

8 – токосъемное кольцо; 9 – стол; 10 – изолятор;

Dr – главное движение; S – движение подачи

Абразивно-электроэрозионная обработка

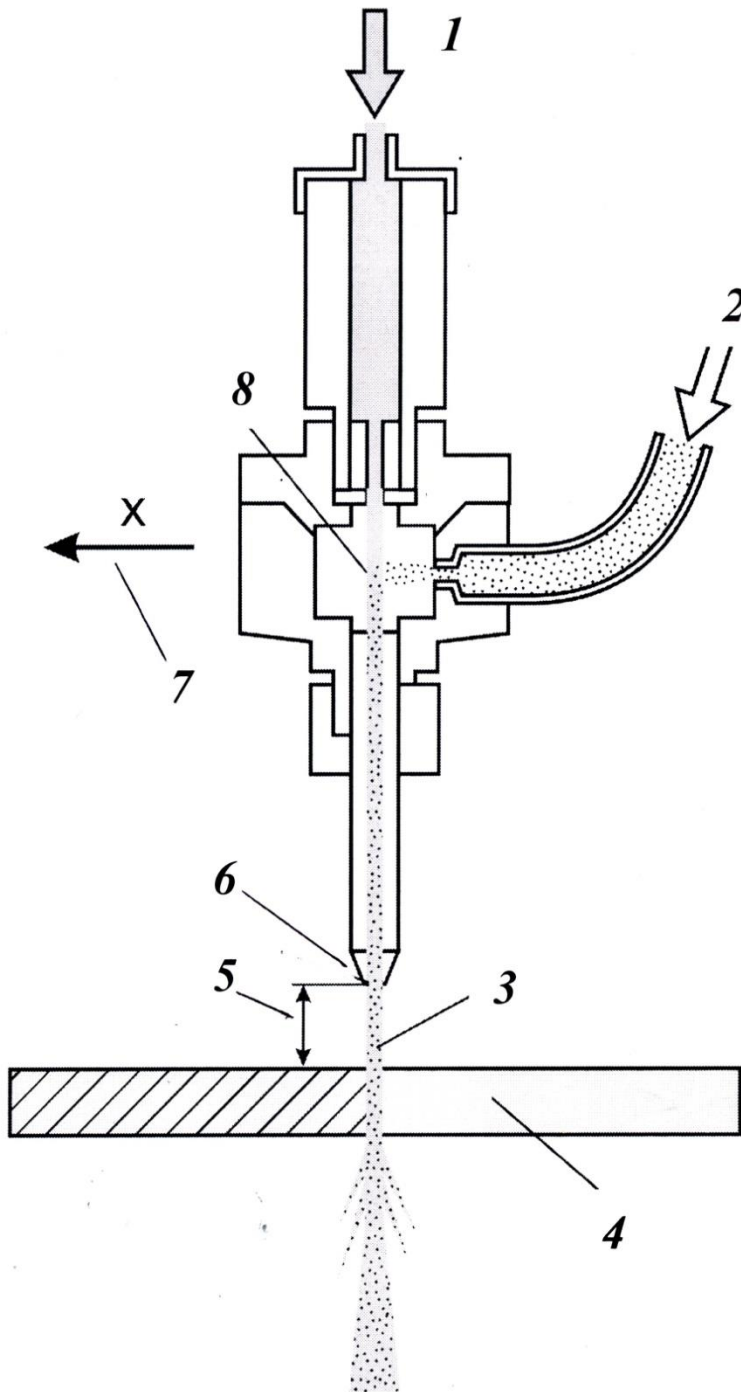
Съем металла осуществляют микрорезанием в условиях непрерывного электроэрозионного воздействия на рабочую поверхность круга-инструмента.

Электроэрозионные процессы упорядочены; их интенсивность может регулироваться в широких пределах, что обеспечивает повышение режущей способности инструмента, стойкости, снижение затрат мощности на трение, отсутствует «засаливание» круга

Нетрадиционные методы обработки

- *Водоструйная обработка* - резание струей воды или водоабразивной смесью, истекающей под давлением 400-600 МПа из сопла диаметром 0,1 -0,2 мм со скоростью до 1000 м/с, ширина резания 0,1 – 0,3 мм при резании водой и 1-1,5 мм при резании водоабразивной струей. Скорость обработки составляет $v = 0,001-12$ м/мин при точности обработки $\pm 0,1$ мм.
- Кинетическая энергия водяной струи передается частицам абразива, которые срезают микростружки с обрабатываемой обработки. Отсутствует тепловое и силовое воздействие на заготовку, получается недеформируемая поверхность резания без заусенцев и искажений структуры металла.
- Используется при разрезке листового материала, для улучшения качества поверхностного слоя, прорезания пазов различного профиля и назначения

Схема установки для водоабразивной обработки



1 - система подачи воды (давление 400 МПа и выше);

2 - система подачи абразивного порошка (SiC, Al₂O₃);

3 - водоабразивная смесь;

4 - обрабатываемая поверхность заготовки,

5 - расстояние от сопла установки до обрабатываемой поверхности;

6 - выходное сопло установки;

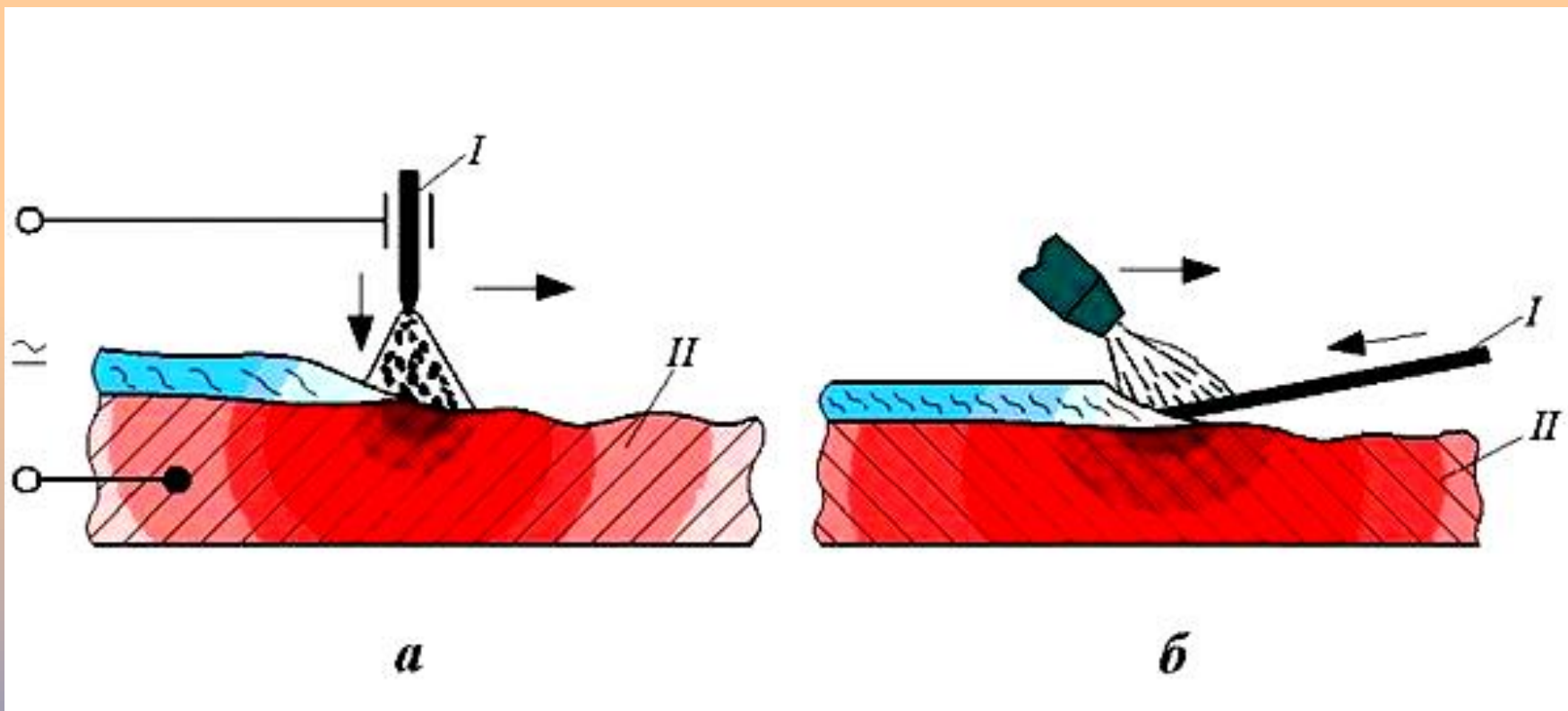
7 - направление перемещения сопла относительно обрабатываемой поверхности;

8 - камера смешивания абразивного порошка с жидкостью

Техпроцессы формирования поверхностных слоев

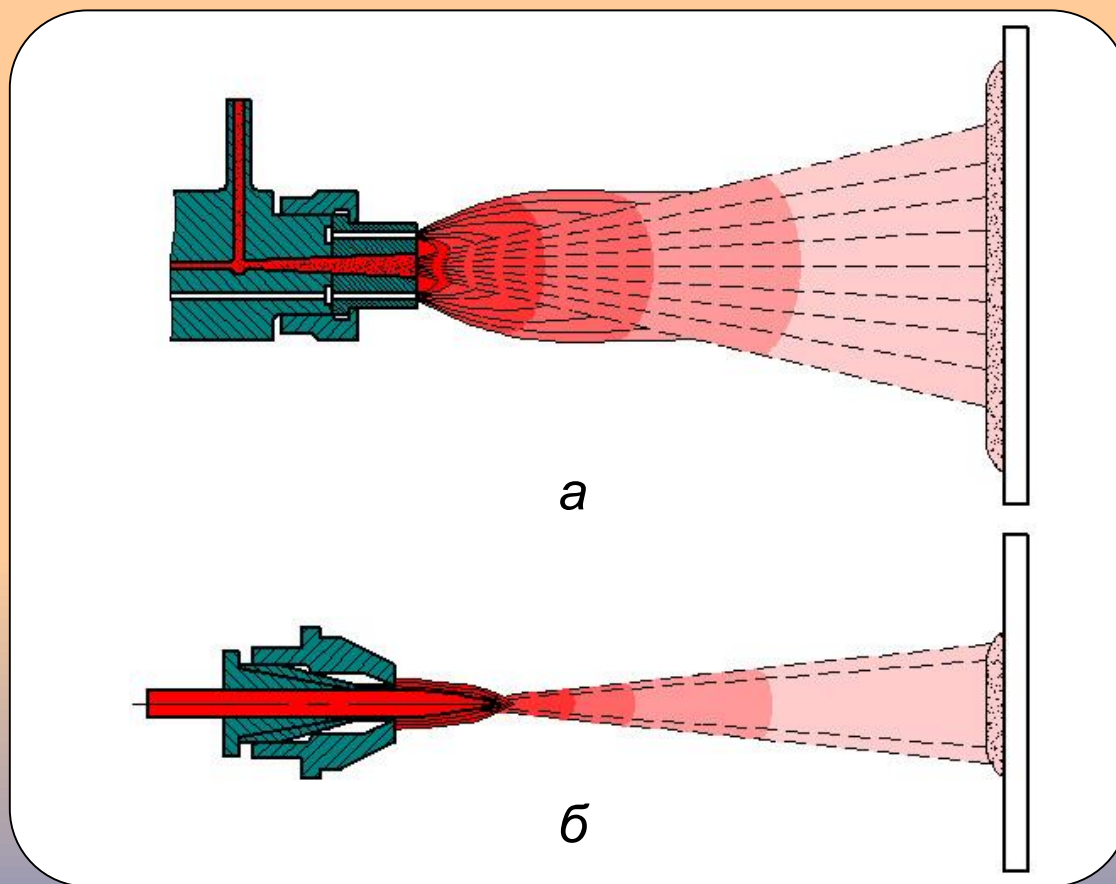
- дуговая наплавка
- газопламенное нанесение покрытий
- плазменное нанесение покрытий

Схема дуговой наплавки



а – покрытым электродом; *б* – порошковой проволокой;
I – материал покрытия; II – изделие

Схема газопламенного нанесения покрытий



a – порошком; *б* – проволокой

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Кафедра «Порошковая металлургия, сварка
и технология материалов»**

**«Сварка обработка металлов
давлением и резанием»**

журнал лабораторных работ

Студент _____

Факультет _____

Группа _____

Минск
БНТУ
2021

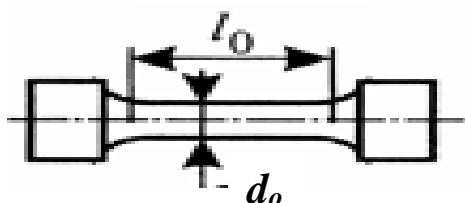
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Испытание на растяжение образца из малоуглеродистой стали

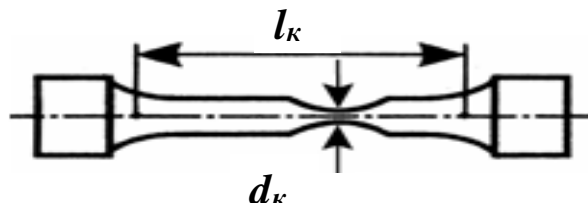
1. Цель работы:

1. Определить характеристики механических свойств материала по прочности и пластичности;
2. определить полную и удельную работу деформации;
3. определить допускаемое напряжение для материала испытанного образца, приняв значение коэффициента запаса прочности $n=1,5$;
4. построить диаграмму растяжения стали в координатных осях σ - $\varepsilon(\delta_5)$, и отметить на ней точки, соответствующие пределам пропорциональности, текучести и прочности.

2. Эскизы образца



а) до испытания

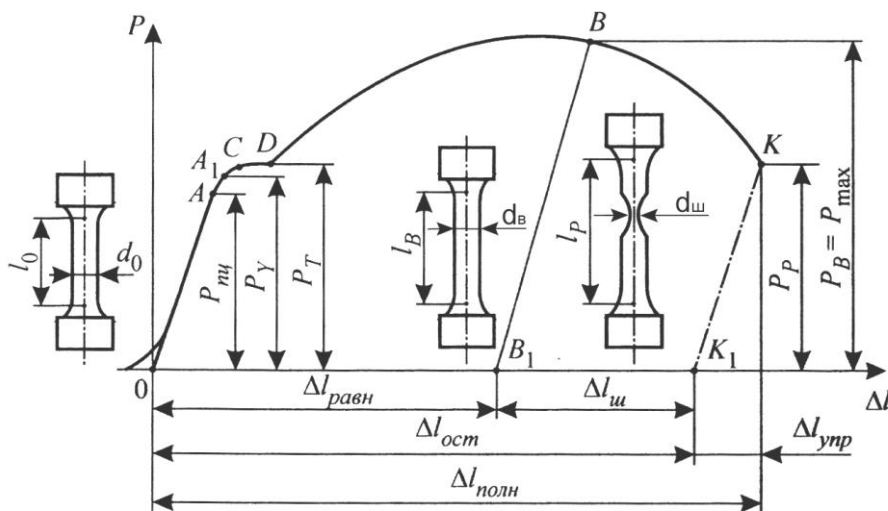


б) после испытания

3. Таблица исходных данных

$l_0, \text{мм}$	$d_0, \text{мм}$	$F_0, \text{мм}^2$	$V_0, \text{мм}^3$

4. Машинная диаграмма растяжения стального образца



5. Таблица опытных данных

$l_k,$ мм	$d_k,$ мм	$F_k,$ мм ²	$P_{нц},$ кН	$P_T,$ кН	$P_в,$ кН	$P_p,$ кН	$\Delta l_{полн.},$ мм	$\Delta l_{ост.},$ мм

6. Обработка опытных данных:

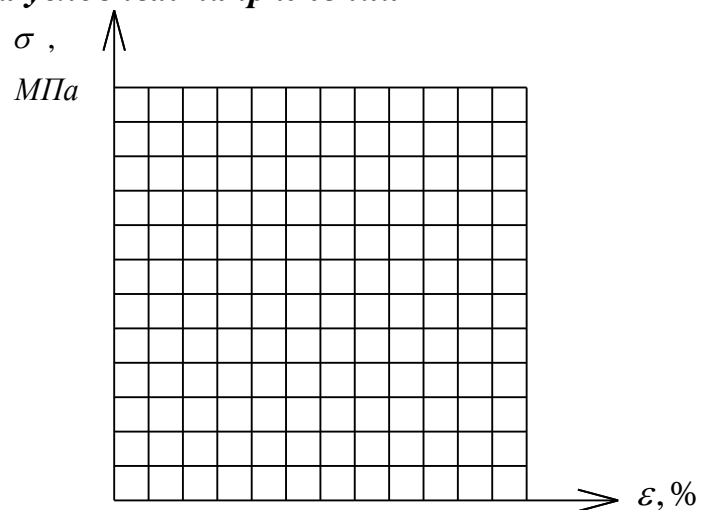
Характеристики прочности

Характеристики пластичности

7. Таблица результатов испытания

$\sigma_{нц},$ МПа	$\sigma_T,$ МПа	$\sigma_в,$ МПа	$\sigma_p,$ МПа	$\varepsilon(\delta_5),$ %	$\Psi,$ %	$A,$ Дж	$a,$ Дж/м ³	$[\sigma],$ МПа

8. Диаграмма условных напряжений



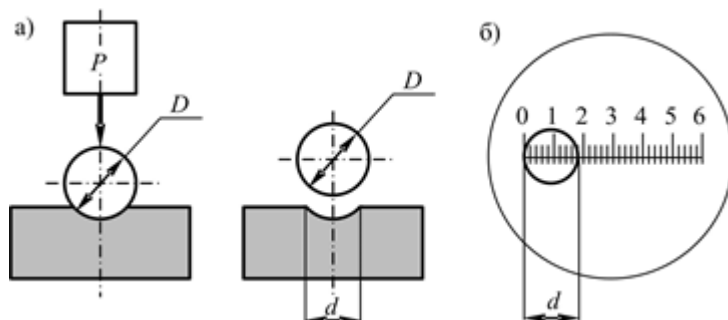
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Определение твердости по Бринеллю

1. Цель работы:

1. Определить твёрдость по Бринеллю стального образца;
2. определить предел прочности исследованной стали по результатам измерения твёрдости.

2. Краткие теоретические сведения и схема испытания



3. Таблица исходных данных

Материал	Время выдержки нагрузки, сек.	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка на шарик P , кН	$C = \sigma_B / HB$

4. Таблица результатов испытаний

Номер опыта	Диаметр отпечатка d , мм	Среднее значение диаметра отпечатка, d_{cp} , мм	Число твердости по Бринеллю HB , МПа	Предел прочности стали по результатам измерения твердости, σ_B , МПа
1				
2				
3				
4				

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

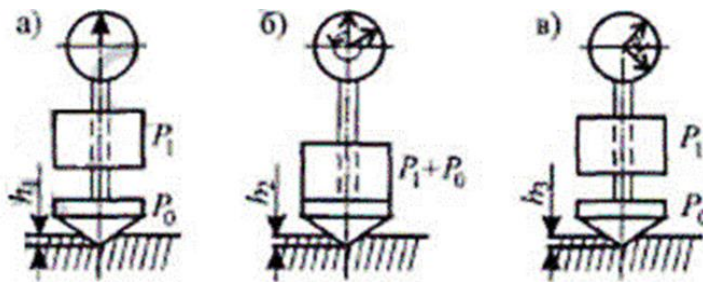
Определение твёрдости по Роквеллу и Виккерсу

Цель работы:

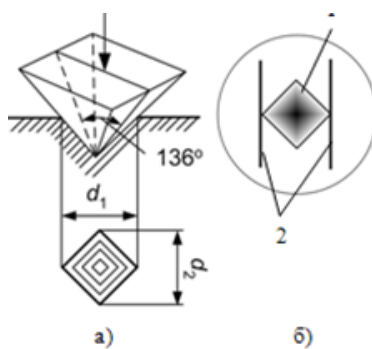
1. Ознакомиться с методами определения твёрдости по Виккерсу и Роквелл;
2. определить твёрдость стального образца по Роквеллу и Виккерсу.

1. Краткие теоретические сведения и схемы испытания

Твёрдость по



Твёрдость по



2. Таблица результатов испытаний

<i>Номер опыта</i>	<i>Материал</i>	<i>Вид термообработки</i>	<i>Твёрдость по Виккерсу</i>		<i>Твёрдость по Роквеллу</i>	
			<i>HV</i>	<i>HV_{ср}</i>	<i>HRC</i>	<i>HRC_{ср}</i>
1						
2						
3						
4						
5						
6						

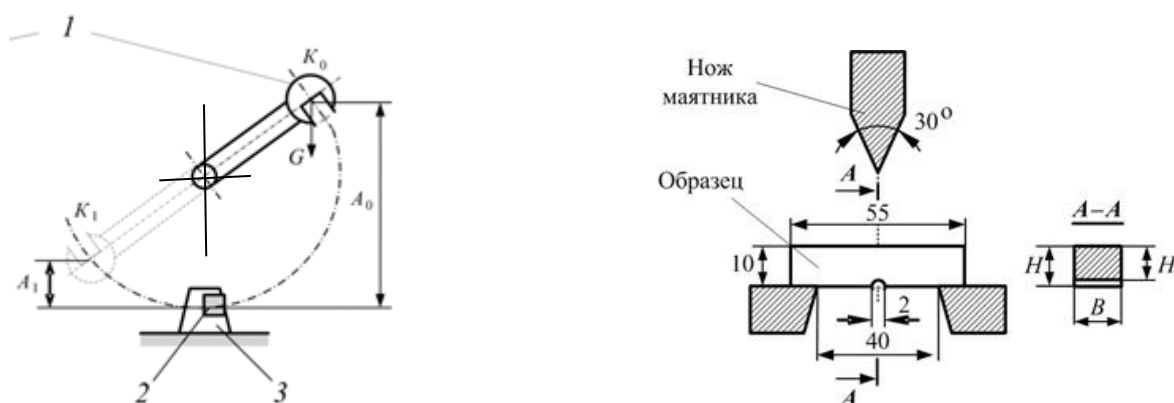
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Испытание металлов на ударный изгиб

1. Цель работы:

1. Определить ударную вязкость стального и чугунного образцов;
2. оценить способность этих материалов сопротивляться динамическим нагрузкам.

2. Краткие теоретические сведения, схема маятникового копра и схема испытания



3. Таблица исходных и опытных величин

№ пп	Материал образцов	B , мм	H_1 , мм	F_0 , мм ²	K_0 , Дж	K_1 , Дж	K , Дж	KCU , Дж/см ²	Характер излома	Отношение KCU , ст/ч
1	Сталь									
2	Чугун									

4. Обработка результатов испытания

Ударная вязкость стали

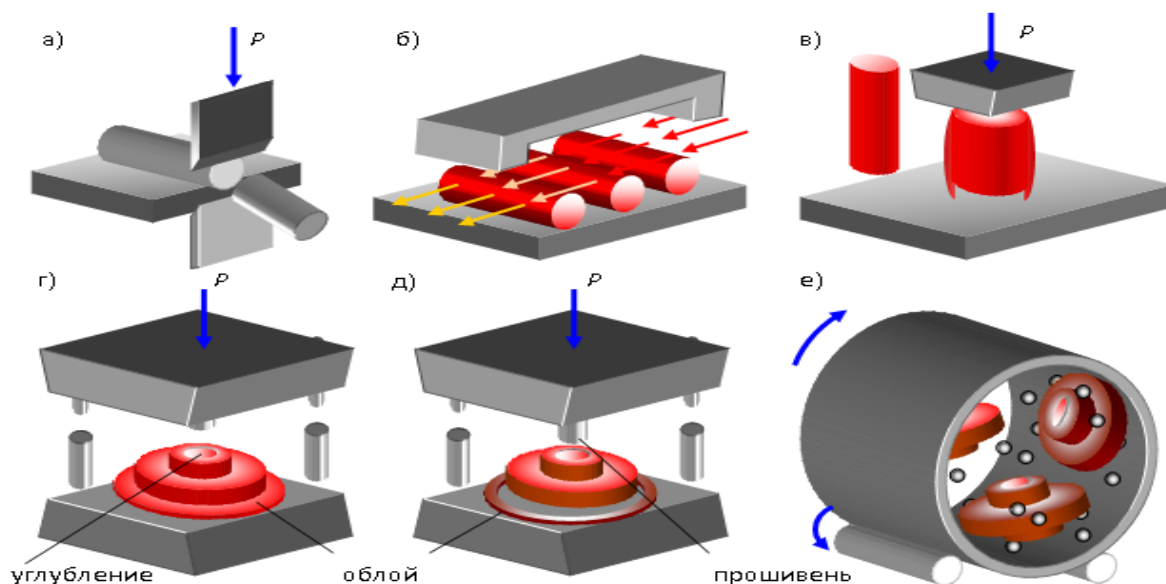
Ударная вязкость чугуна

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1
Разработка отдельных рекомендаций
по технологии изготовления поковки методами горячей объемной
штамповки

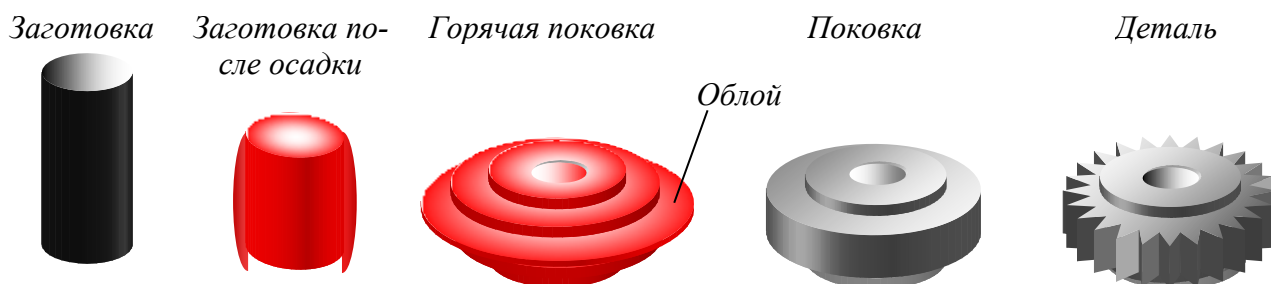
1. Цель работы:

1. Ознакомиться с технологическим процессом горячей объемной штамповки;
2. ознакомиться с методикой расчетов заготовки и штампа.

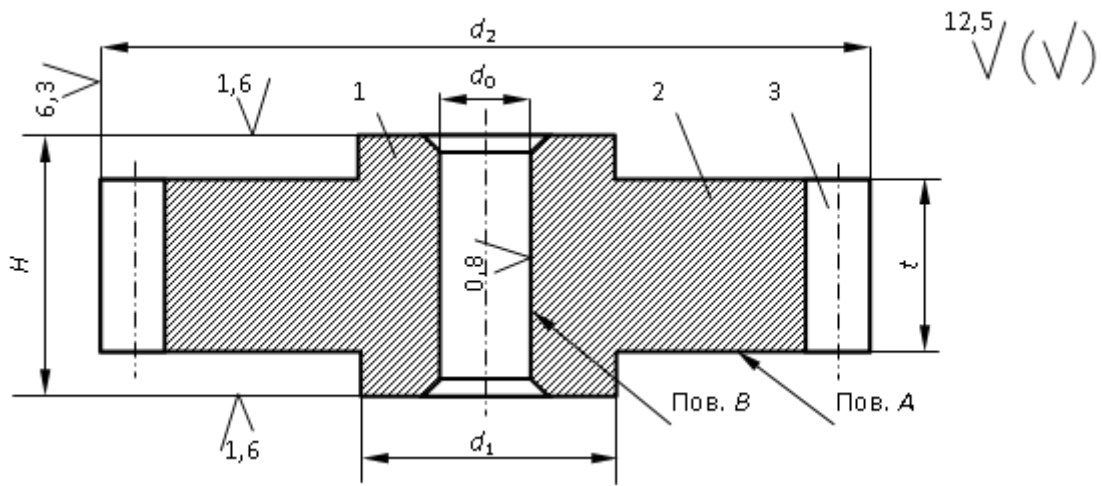
Схема технологического процесса объёмной штамповки



Процесс формообразования поковки



1. Чертеж детали шестерня



1 – ступица; 2 – фланец; 3 – зуб

2. Эскиз детали по варианту задания.

3. Выбор оборудования.

4. Разработка чертежа поковки.

5. Определение размеров заготовки.

6. Размеры осаженной заготовки.

7. Определение температурного режима под штамповку.

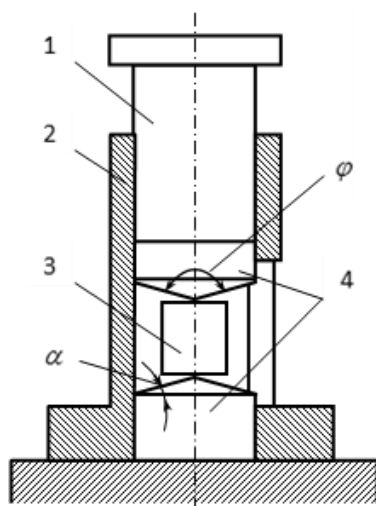
8. Конструирование штампа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Определение коэффициента трения при пластической деформации

1. **Цель работы:** определить коэффициент трения методом конических бойков при пластической деформации в процессе осадки

2. Схема опыта



3. Эскизы образцов испытания

а) до испытания

б) после испытания

4. Таблица исходных данных

Диаметр образца, мм	Высота образца, мм	Угол конических бойков

5. Таблица результатов опыта

№	Угол конуса при вершине φ	Форма боковой поверхности	Наличие смазки	Коэффициент трения μ

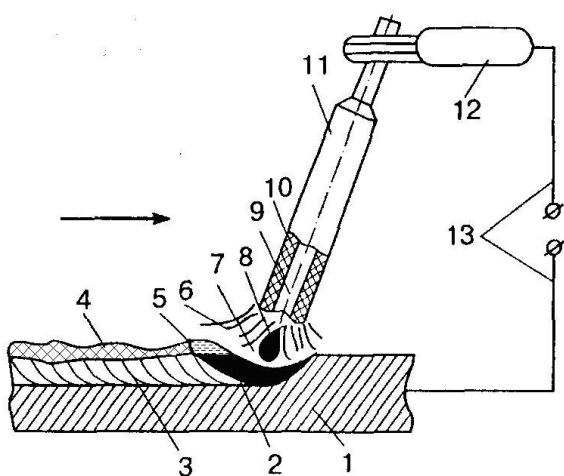
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Изучение процесса и выбор режимов дуговой сварки конструкций из стали

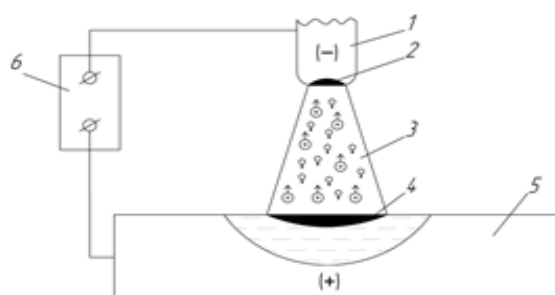
1. Цель работы:

1. Ознакомиться с процессом ручной дуговой сварки;
2. выбрать режимы дуговой сварки стыкового соединения стального образца

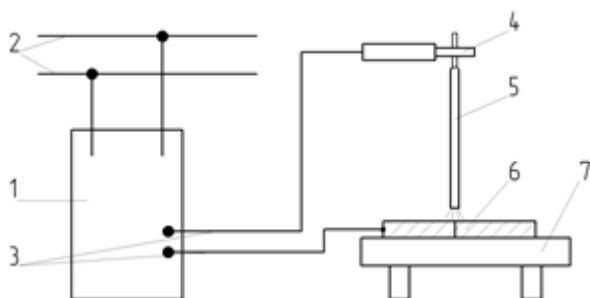
1. Сущность процесса ручной дуговой сварки.



Строение сварочной дуги



2. Сварочный пост для РДС



3. Источники питания сварочной дуги

4. Типы сварных соединений

5. Выбор режима сварки стыкового соединения стального образца

6. Таблица экспериментальных режимов сварки

Марка и толщина свариваемого металла, мм	Тип, марка и диаметр электрода	Род и полярность тока,	Сила сварочного тока, А	Напряжение горения дуги, В	Качество сварного шва

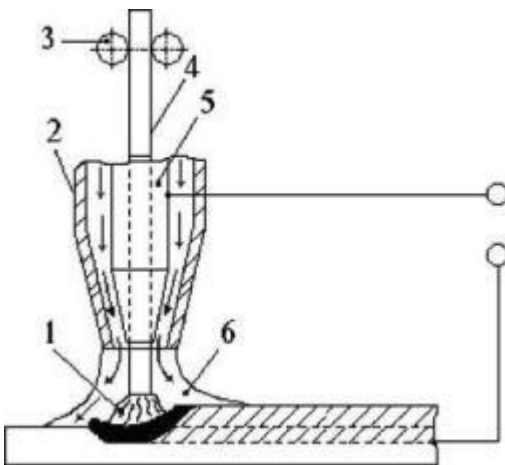
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Изучение процесса и выбор режима механизированной дуговой сварки плавящимся электродом в углекислом газе

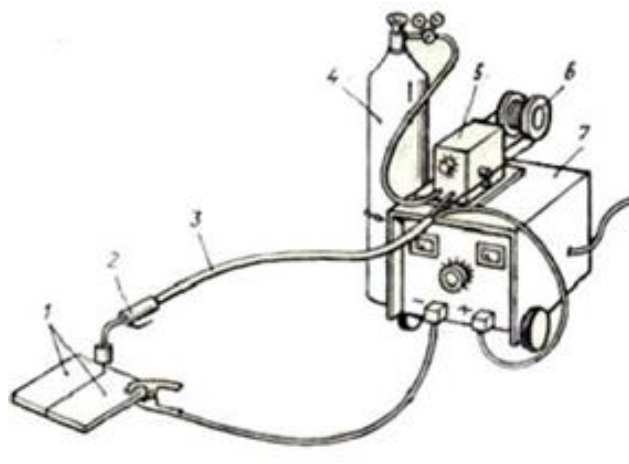
1. Цель работы:

1. Ознакомиться с сущностью процесса дуговой сварки в среде CO_2 ,
2. выбрать режим дуговой сварки в углекислом газе стыковым одно-сторонним швом низколегированной стали

2. Сущность процесса дуговой сварки в углекислом газе



3. Схема поста для механизированной сварки в защитном газе



4. Расчет режимов дуговой сварки в CO₂

5. Таблица результатов эксперимента

Толщина свариваемого металла, мм	Марка и диаметр электродной проволоки, мм	Режим сварки				Размеры шва			
						Расчетное значение		Экспериментальное значение	
		Сила сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа, дм ³ /мин	Ширина шва b, мм	Глубина проплавления h, мм	Ширина шва b, мм	Глубина проплавления h, мм

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Изучение процесса автоматической дуговой сварки под флюсом

1. Цель работы:

1. Ознакомиться с сущностью процесса дуговой сварки под флюсом;
2. ознакомиться с устройством и работой сварочного автомата;
3. изучить влияние режима сварки на форму и размеры шва.

2. Сущность процесса дуговой сварки под флюсом.

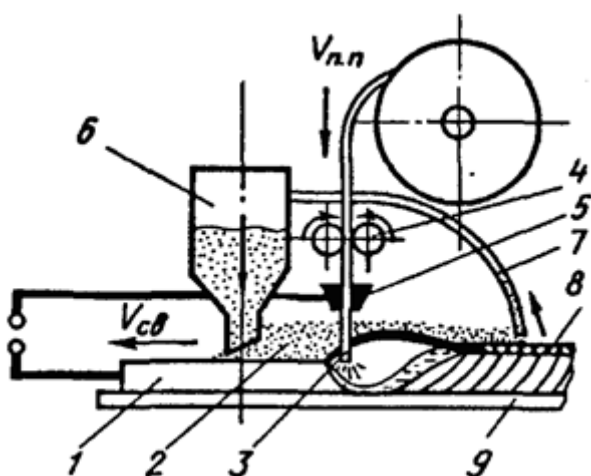


Схема автоматической сварки под флюсом

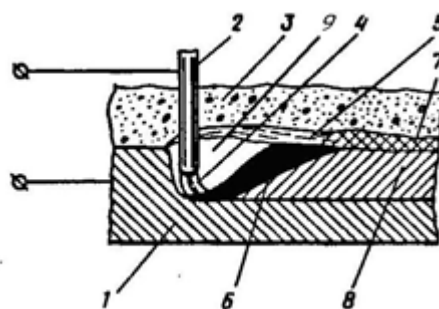


Схема зоны горения дуги

3. Оборудование

4. Сварочные материалы

5. Выбор режима автоматической сварки под флюсом

6. Таблица результатов эксперимента

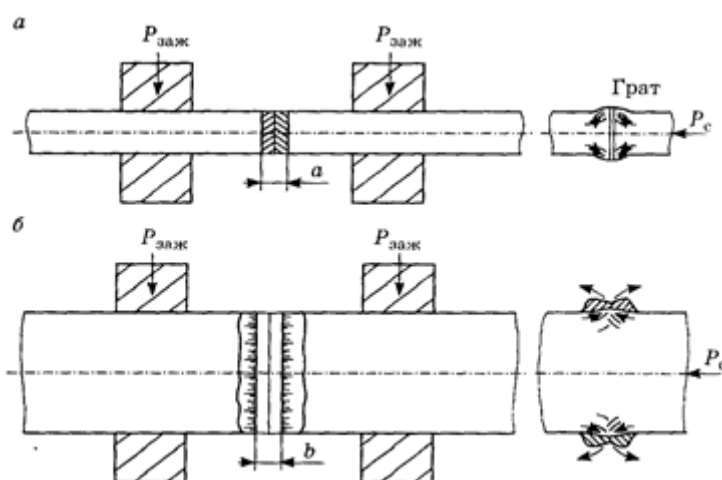
Толщина свариваемой стали, мм	Режим сварки				Марка и диаметр электродной проволоки, d_s , мм	Марка и состав флюса	Размеры шва			
	Напряжение дуги, U_d , В	Ток $I_{св}$, А	Скорость подачи проволоки, $V_{л.пр}$ м/ч	Скорость сварки $V_{св}$, м/ч			Расчетное значение		Экспериментальное значение	
							Ширина шва e , мм	Глубина проплавления $h_{пр}$, мм	Ширина шва b , мм	Глубина проплавления $h_{пр}$, мм

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9
Изучение процесса контактной стыковой и точечной сварки
низкоуглеродистой стали

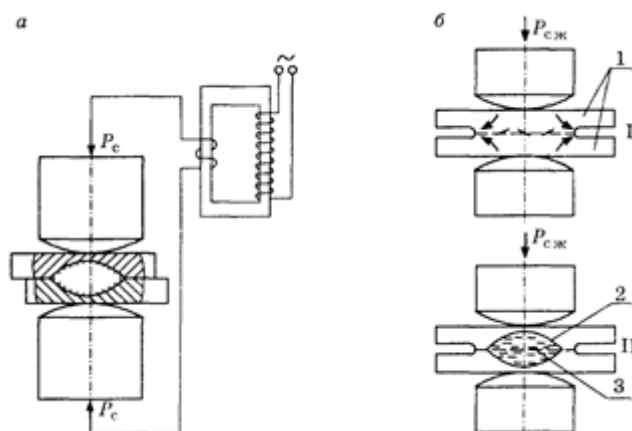
1. Цель работы:

1. Ознакомиться с сущностью технологического процесса контактной сварки;
2. ознакомиться с устройством и работой машин для контактной стыковой и точечной сварки;
3. ознакомиться с технологией процесса сварки.

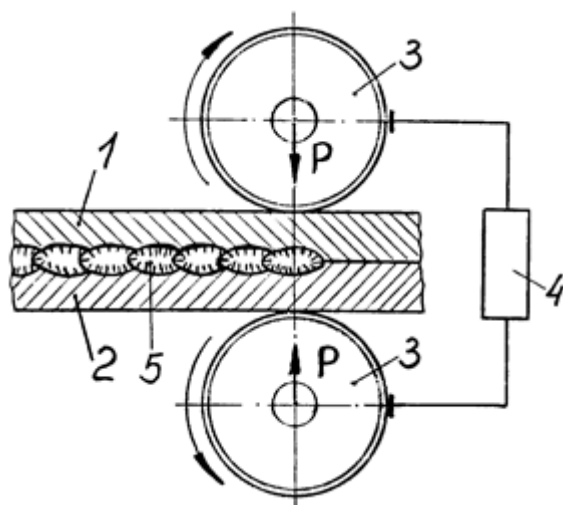
2. Схемы процесса стыковой сварки:



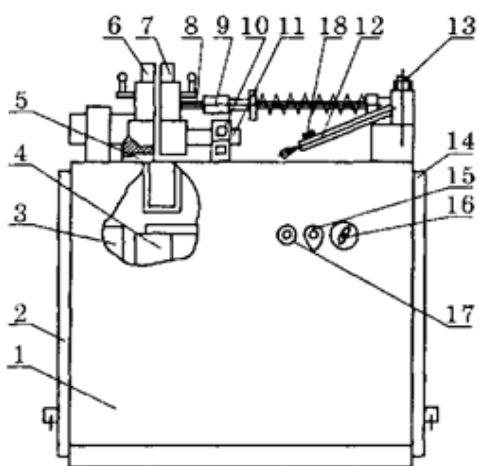
3. Схемы процесса (а) и образования сварного соединения (б) при точечной контактной сварке



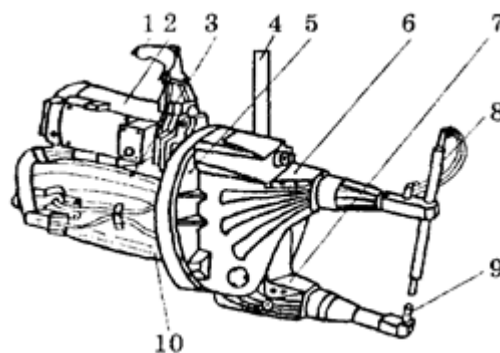
4. Схема шовной сварки.



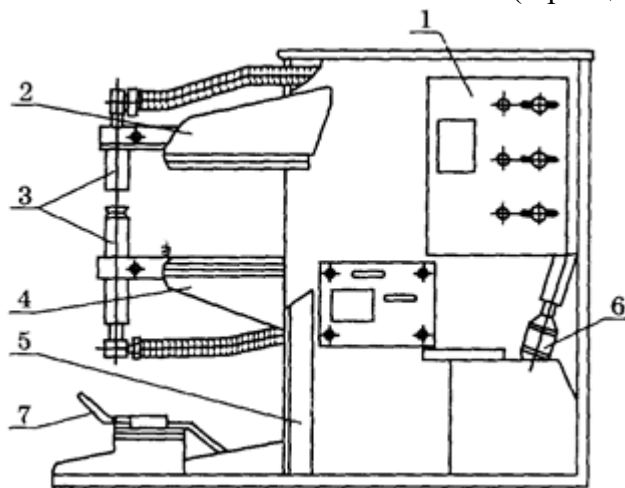
5. Устройство и работа машин для стыковой и точечной сварки



Машина для стыковой сварки МС-802



Подвесная точечная машина (клещи) R6421T (Франция)



Машина для точечной сварки МТ-601

6. Выбор режима точечной контактной сварки

..

7. Таблица результатов расчета точечной контактной сварки

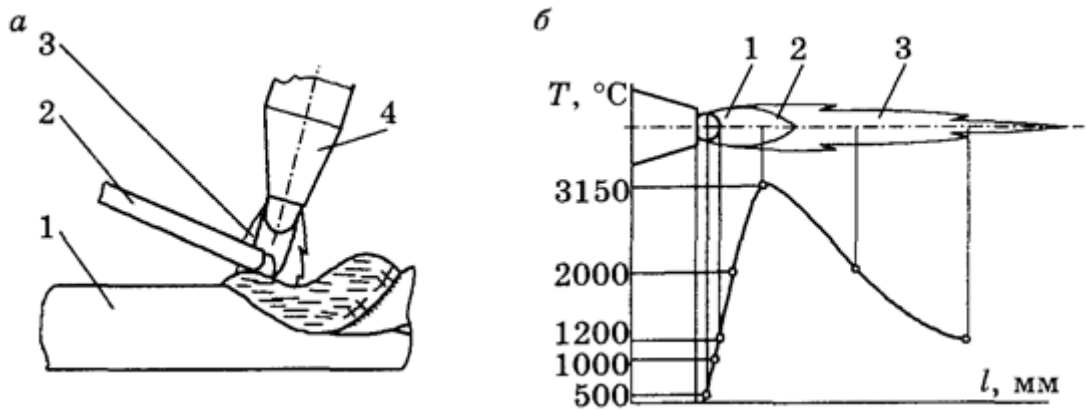
Толщина металла, мм	Диаметр контактной поверхности электродов, мм	Сварочный ток, А	Усилие сжатия электродов, кГ·с	Время выдержки, с		
				сжатие	сварка	проковка

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10
Изучение процесса газовой сварки

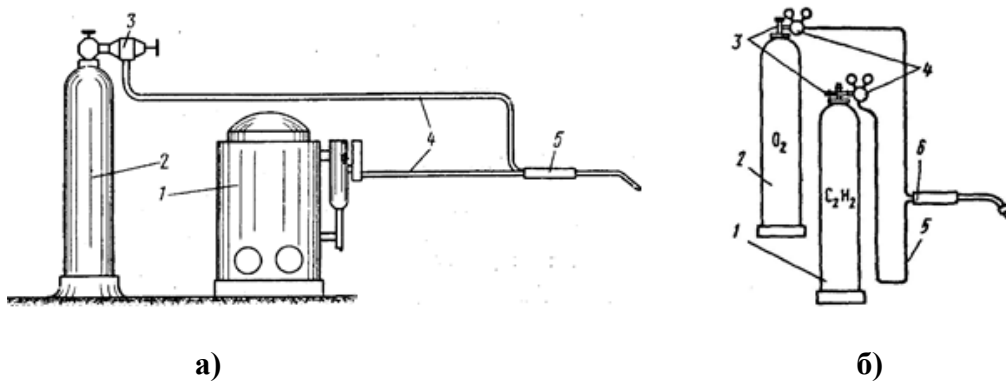
1. Цель работы:

1. Ознакомиться с сущностью процесса газовой сварки;
2. ознакомиться с техникой выполнения газовой сварки углеродистой стали;
3. выбор режима газовой сварки углеродистой стали

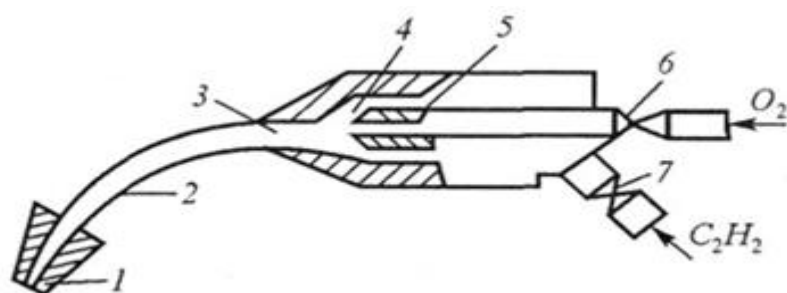
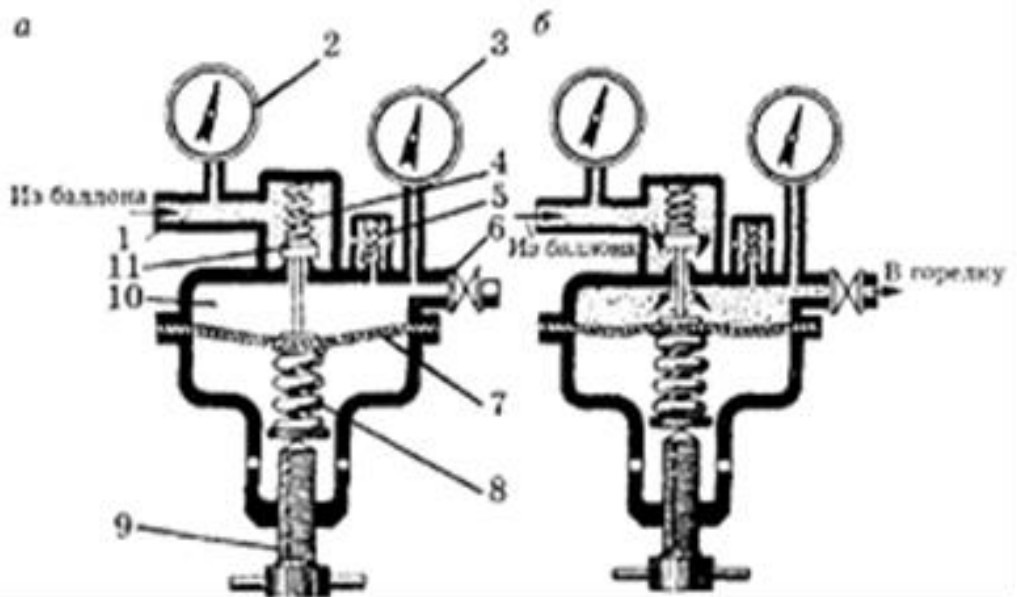
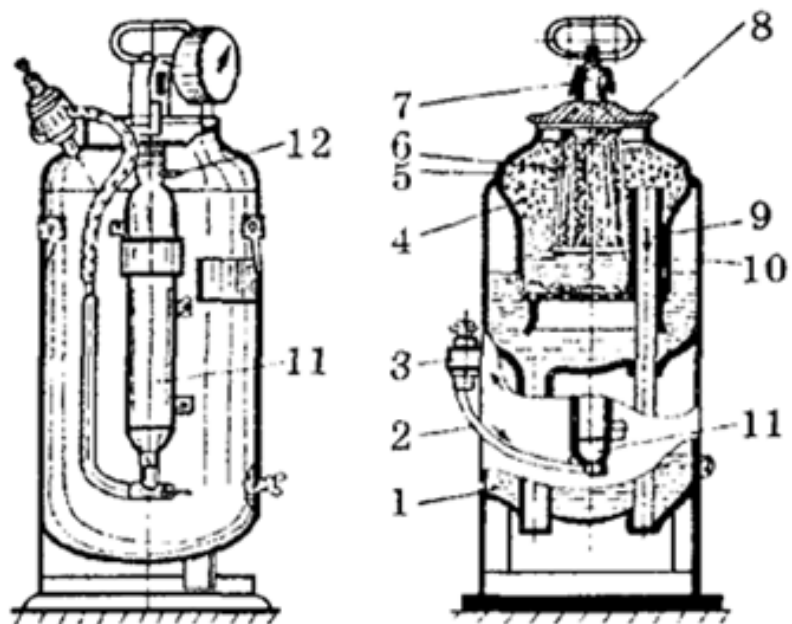
2. Схема процесса



3. Схемы сварочных постов для газовой сварки



4. Оборудование сварочного поста



5. Выбор режима и технологии газовой сварки низкоуглеродистой стали

6. Таблица результатов расчета режимов газовой сварки

Толщина свариваемого металла, мм	Горючий газ	Тип горелки и номер наконечника	Мощность горелки, дм ³ /ч	Марка и диаметр присадочной проволоки	Давление, МПа		Угол наклона сварочной горелки
					кислорода	ацетилена	

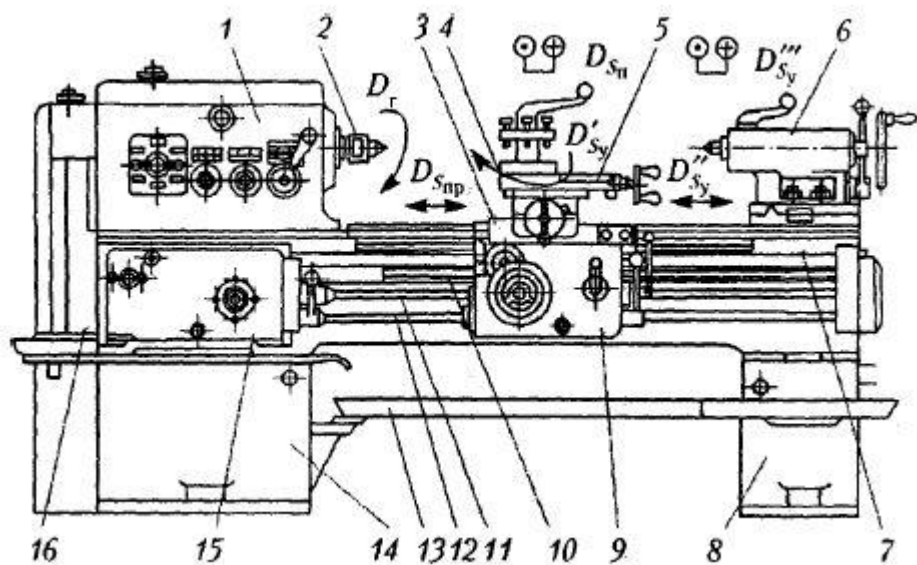
Лабораторная работа № 11

Обработка заготовок деталей на токарных станках

1. Цель работы:

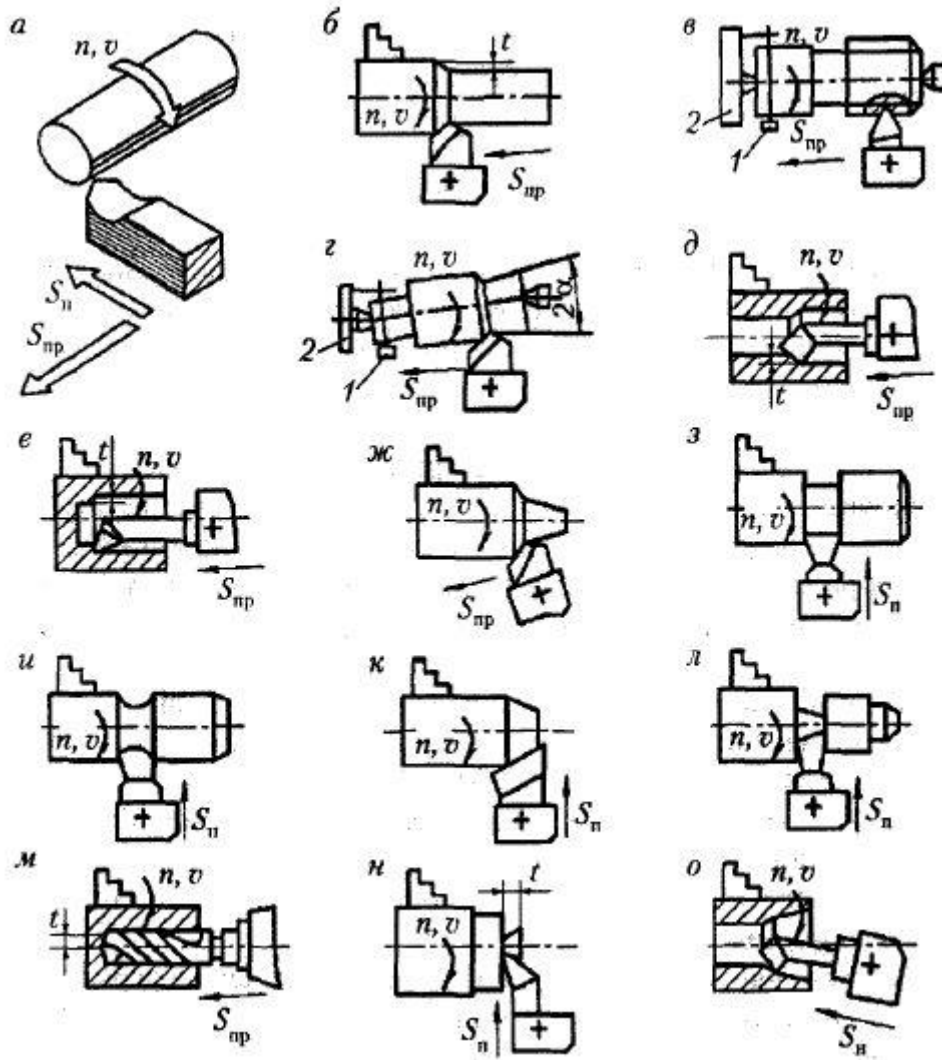
1. Изучение токарно-винторезного станка и его движений, способов токарной обработки, оснастки;
2. выбор приспособления, инструмента и схемы обработки заготовки с определением параметров режима в соответствии с заданием.

2. Схема токарно-винторезного станка 16К20

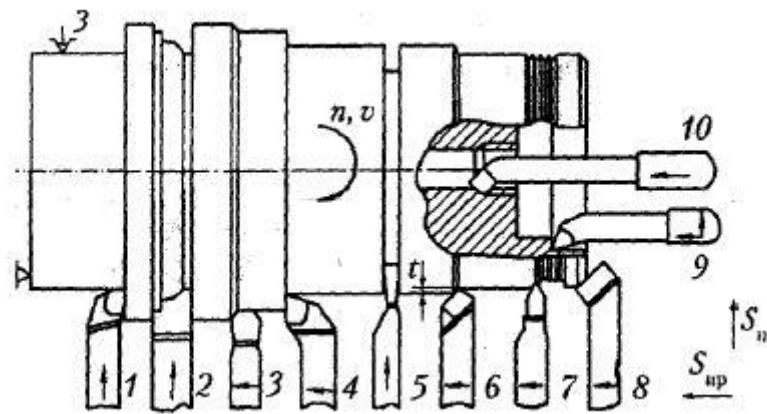


Основные узлы и движения:

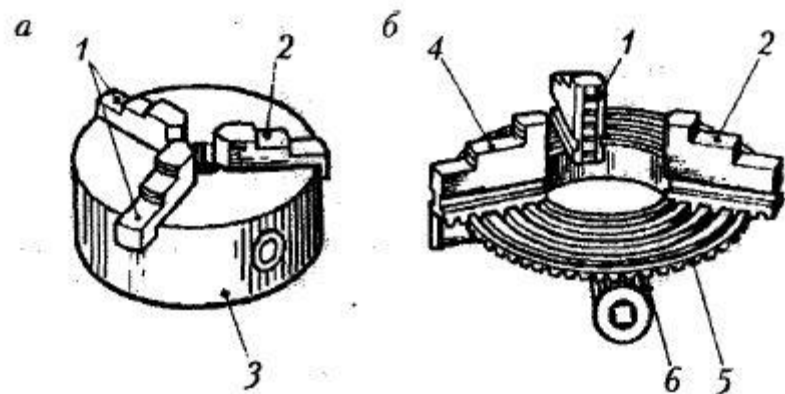
3. Совмещённые с установкой схемы обработки заготовок



4. Основные типы токарных резцов



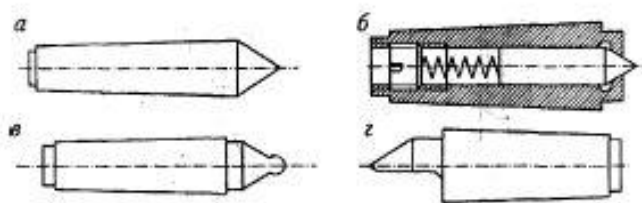
5. Трёхкулачковый самоцентрирующийся патрон



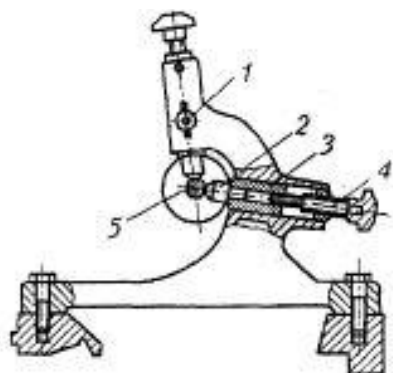
а - общий вид

б - устройство

6. Центры



7. Люнет подвижный



8. Таблица результатов определения режима обработки

Марка материала заготовки	Диаметр обработки d , мм	Шероховатость R_a , мкм	Материал инструмента	Глубина резания t , мм	Частота вращения заготовки n , мин ⁻¹	Скорость резания V , м/мин	Подача S , мм/об

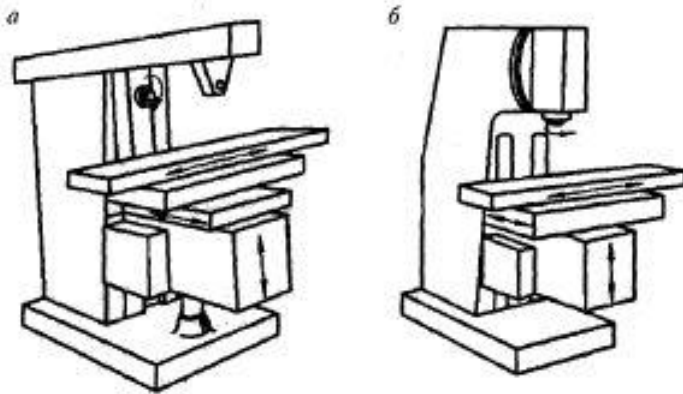
Лабораторная работа № 12

Обработка заготовок деталей на фрезерных станках

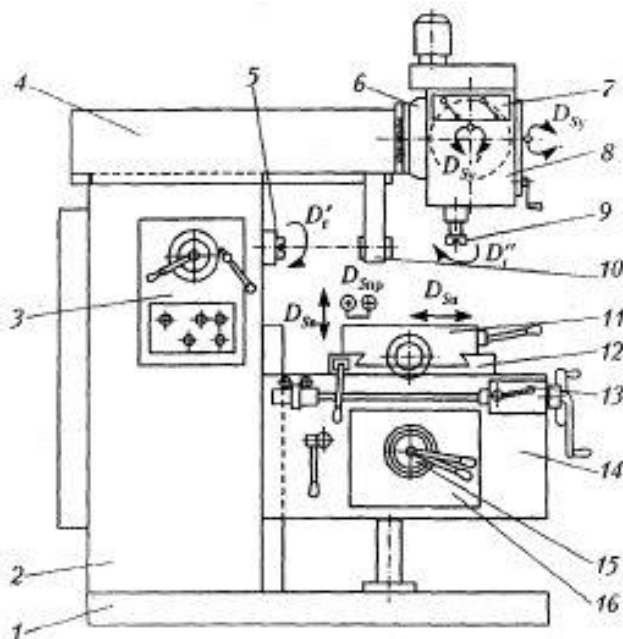
1. Цель работы:

1. Изучить широкоуниверсальный станок и его движения;
2. изучить способы обработки фрезерованием и оснастку;
3. выбор приспособления, инструмента и схемы обработки заготовки пз-данию с определением параметров режима.

2. Типы фрезерных станков

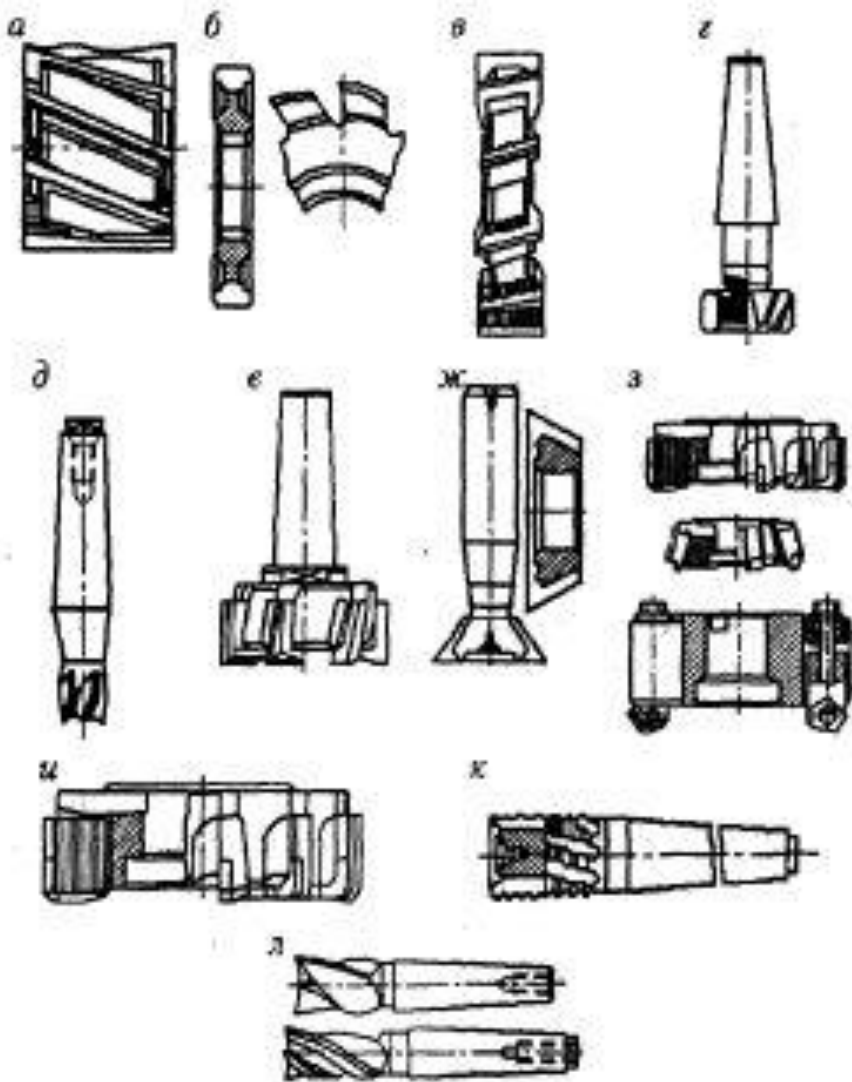


3. Компоновка широкоуниверсального консольно - фрезерного станка

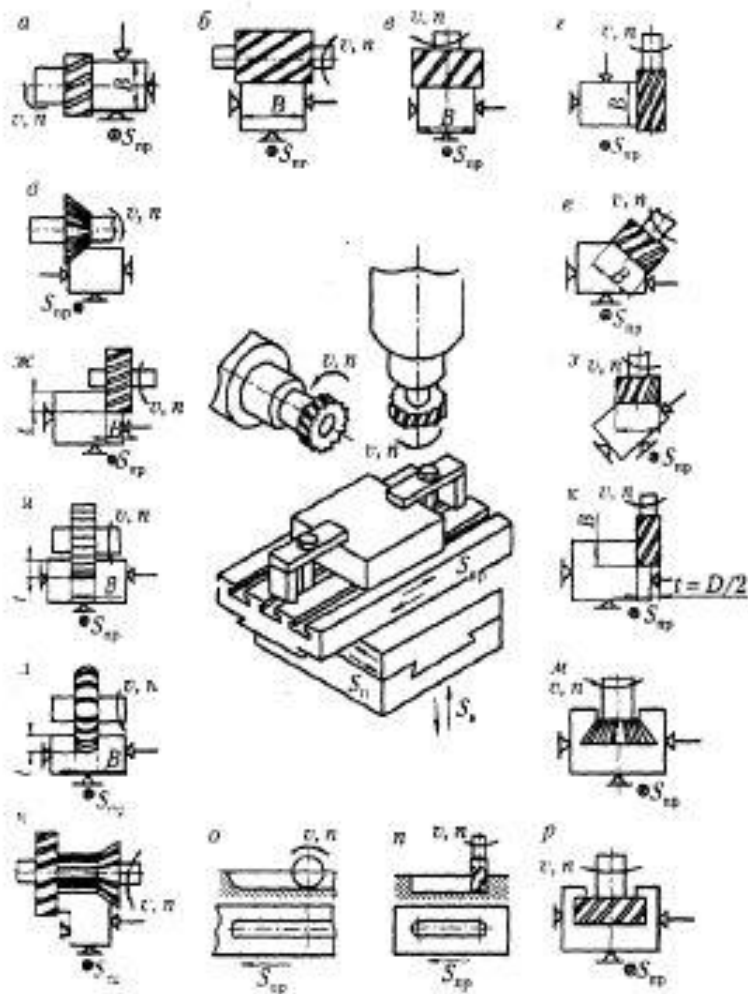


Основные узлы и движения:

4. Инструмент



5. Схемы фрезерования горизонтальным и вертикальным шпинделями широкоуниверсального консольно – фрезерного станка



6. Таблица результатов определения режима обработки

Марка материала заготовки	Диаметр фрезы D_{ϕ} , мм	Шероховатость поверхности R_a , мкм	Материал инструмента	Глубина резания t , мм	Частота вращения инструмента n , мин ⁻¹	Скорость резания V , м/мин	Подача S мм/об

Лабораторная работа № 13

Обработка заготовок деталей на сверлильных станках

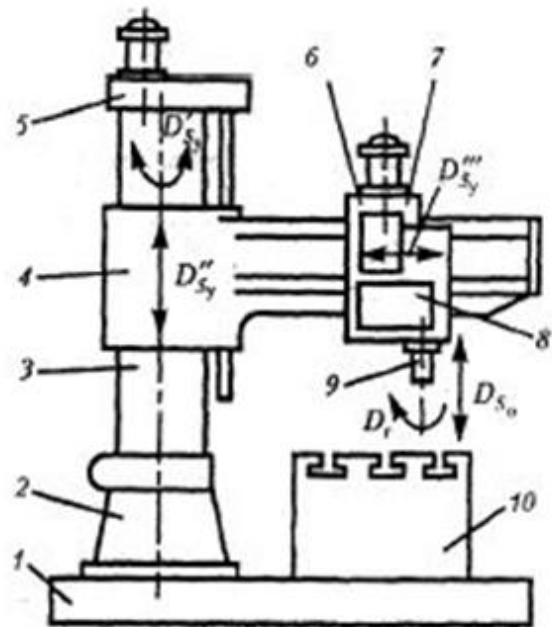
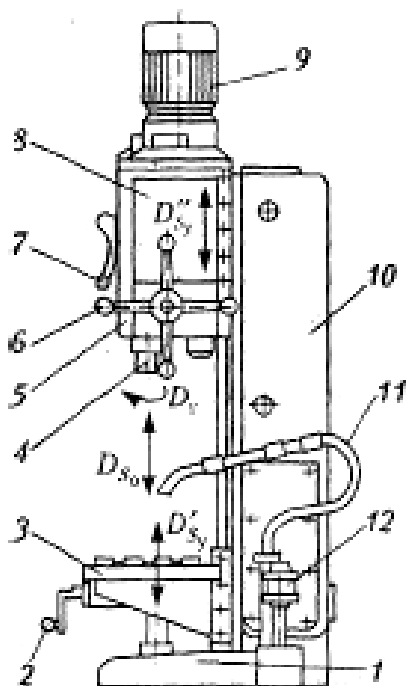
1. Цель работы:

1. Изучение сверлильных станков и их движений;
2. изучение способов осевой обработки стальных заготовок и оснастки;
3. выбор приспособления, инструмента и схемы обработки в соответствии с заданием с определением параметров режима сверления.

2. Общий вид:

а) вертикально – сверлильный станок

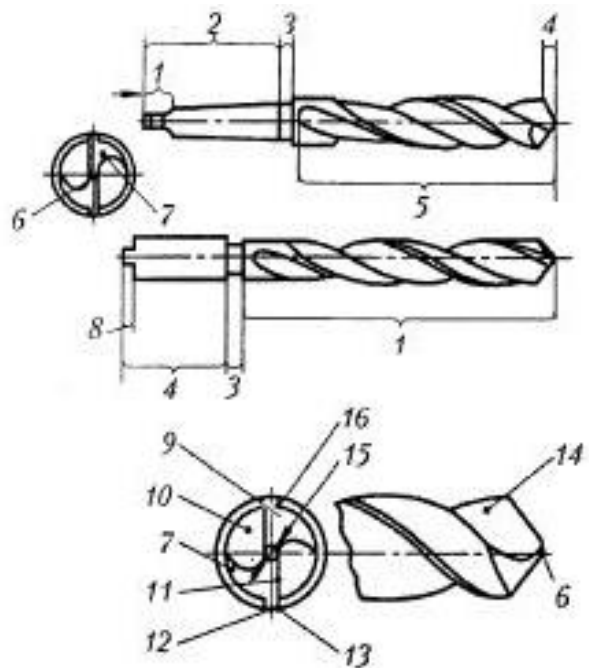
б) радиально – сверлильный станок



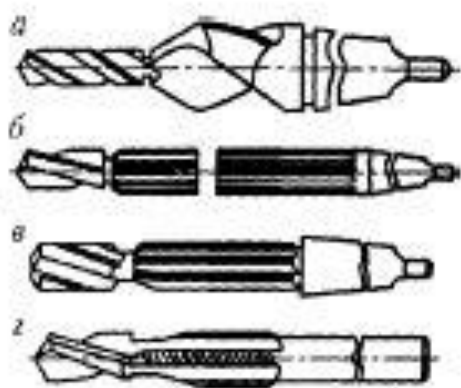
Основные узлы и движения:

3. Инструмент

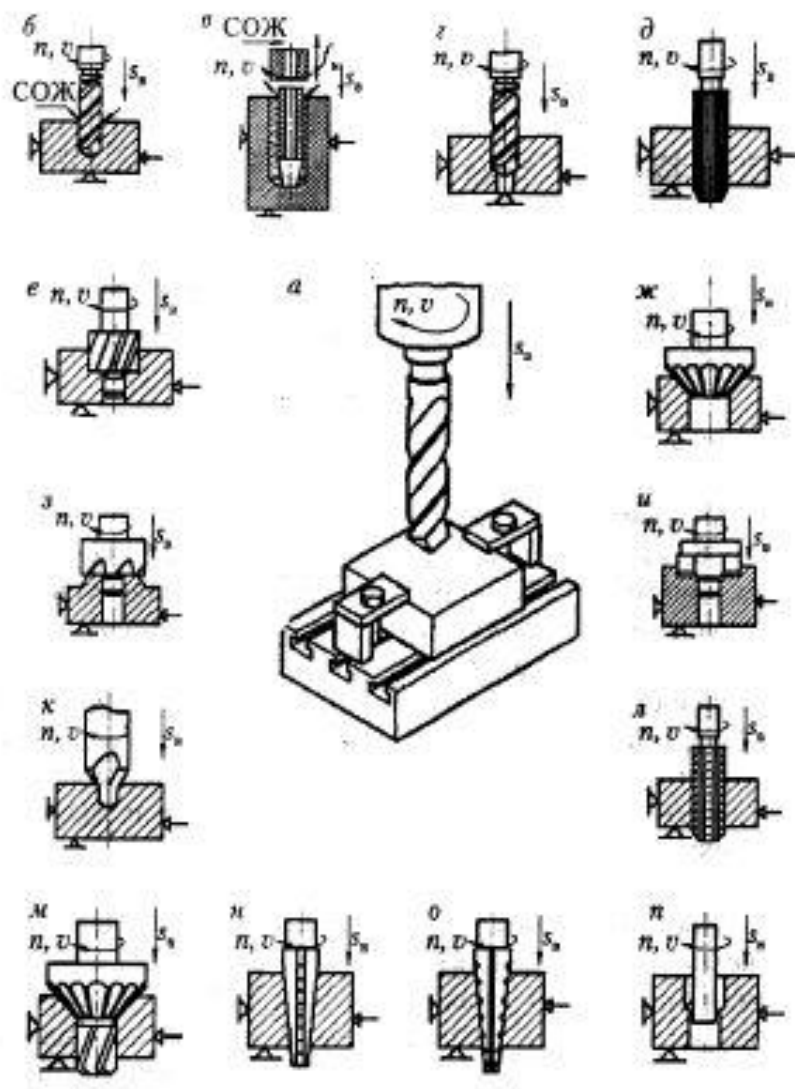
а) Части и конструктивные элементы спирального сверла



б) Комбинированные инструменты для совмещённой обработки отверстий



4. Схемы установки и осевой обработки заготовок



5. Таблица результатов определения режима обработки

Марка материала заготовки	Диаметр инструмента D , мм	Длина (глубина) отверстия, мм	Материал инструмента	Глубина резания t , мм	Частота вращения инструмента n , мин ⁻¹	Скорость резания V , м/мин	Подача S , мм/об

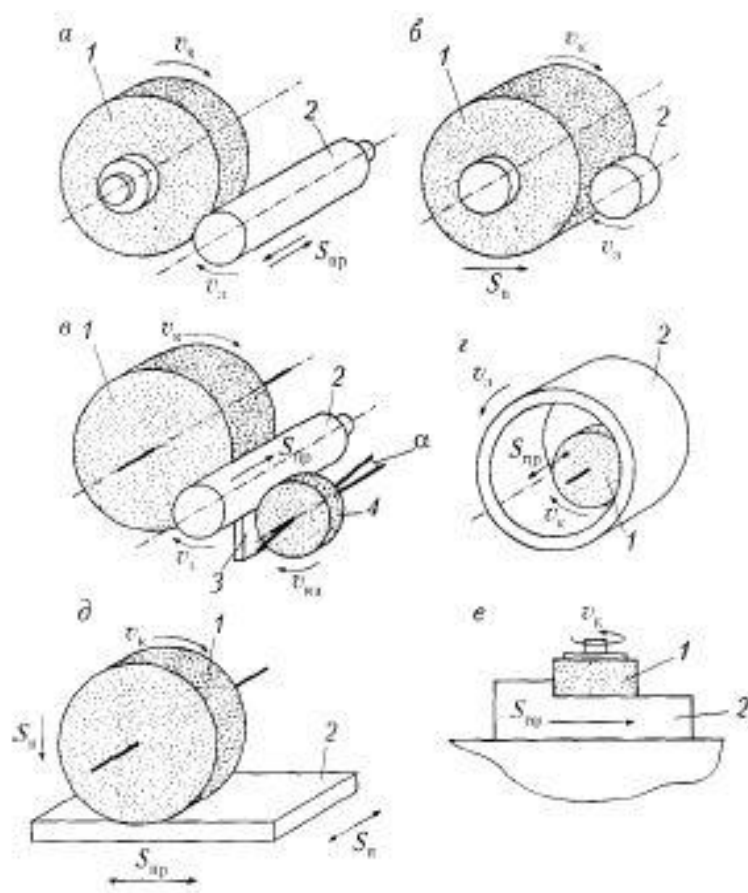
Лабораторная работа № 14

Обработка заготовок деталей на шлифовальных станках

1. Цель работы:

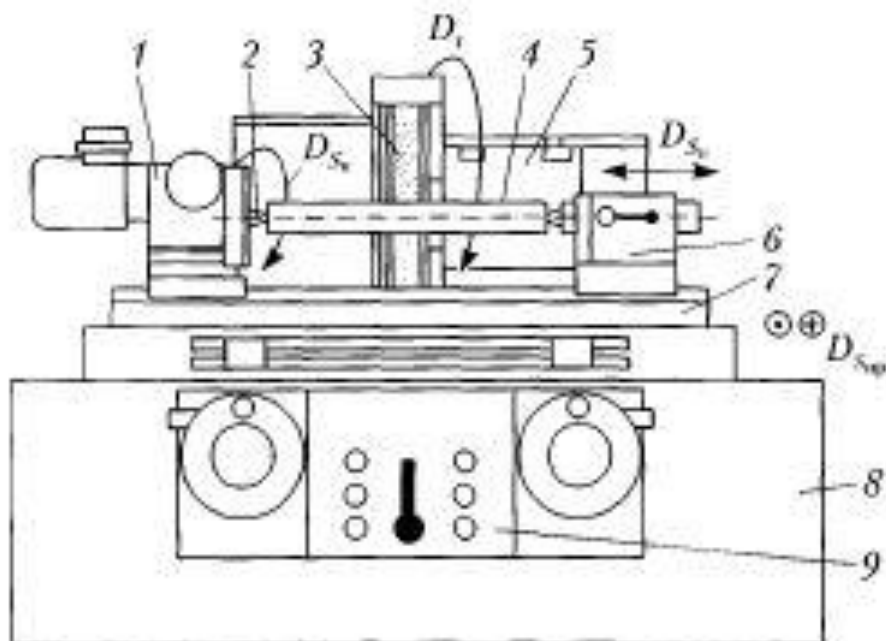
1. Изучение особенностей абразивной обработки шлифованием;
2. изучение устройства шлифовальных станков и оснастки;
3. отражение схем установки и обработки;
4. назначение параметров режима обработки заготовки по индивидуальному заданию.

2. Схемы основных способов шлифования



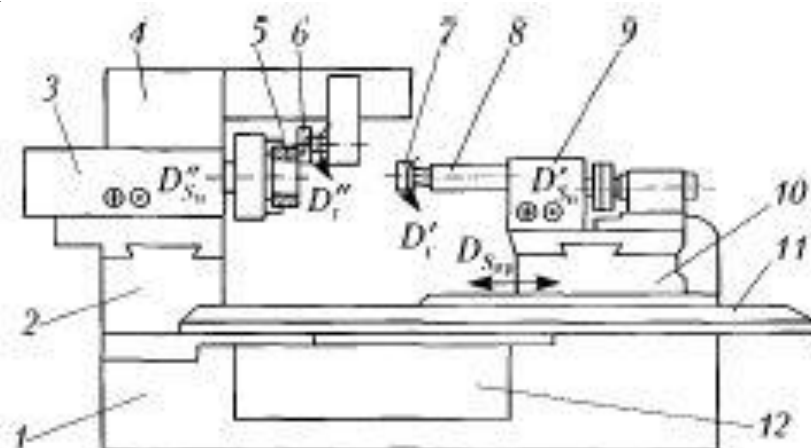
3. Схемы шлифовальных станков:

а) круглошлифовальный станок.



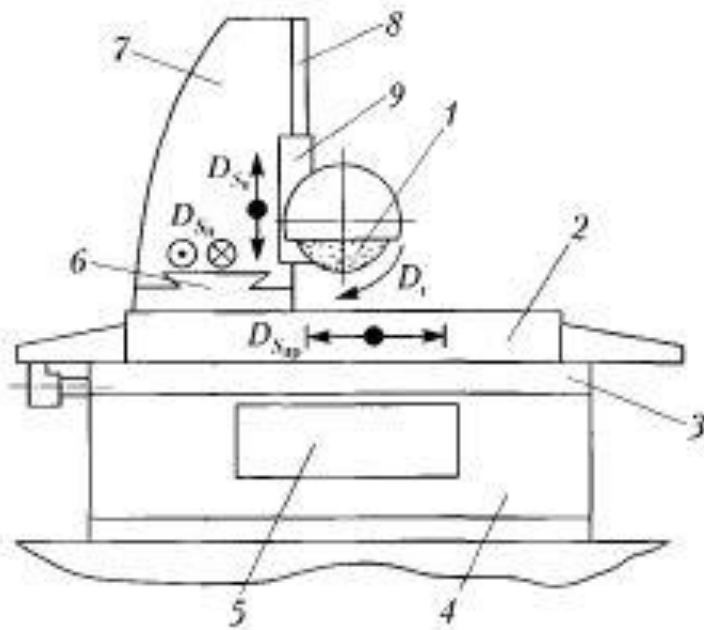
Основные узлы и движения:

б) внутришлифовальный станок



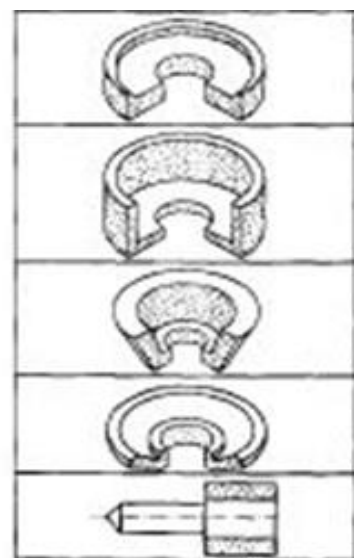
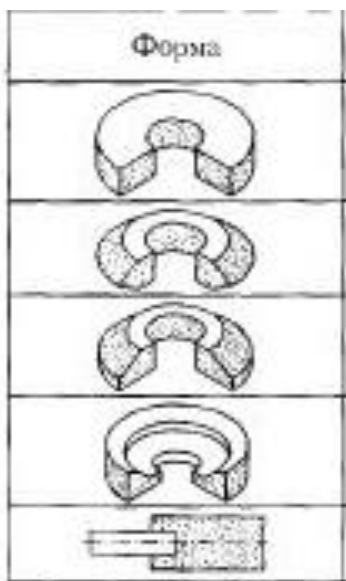
Основные узлы и движения:

в) плоскошлифовальный станок

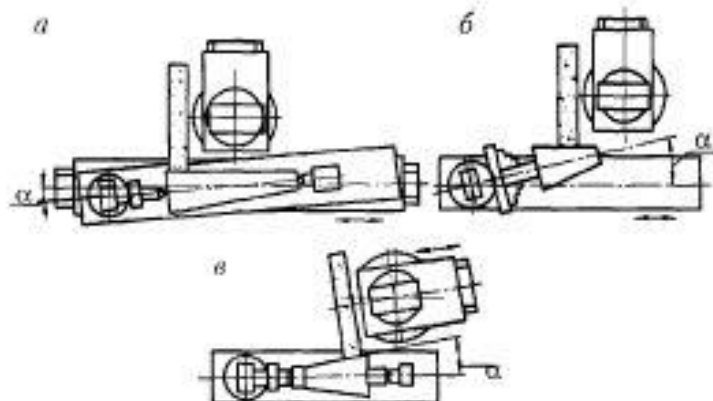


Основные узлы и движения:

4. Инструмент. Формы шлифовальных кругов и головок



5. Способы шлифования наружных конических поверхностей



6. Таблица результатов определения режима обработки

Наименование и модель станка	Марка материала заготовки	Диаметр инструмента D , мм	Выполняемые при обра- ботке размеры, мм	Глубина резания t , мм	Частота вращения инструмента n , мин ⁻¹	Скорость резания V , м/мин	Подача S , мм/об, мм/ход		
							продоль- ная	попереч- ная	верти- кальная

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Классификация механических испытаний.
2. Деформации. Упругие и пластические. Тензор деформаций.
3. Классификация механических испытаний по способу нагружения образца
4. Классификация механических испытаний по характеру изменения нагрузки во времени
5. Испытания на растяжение. Образцы, машины и методика испытаний.
Диаграмма условных и истинных напряжений
6. Прочностные характеристики материала при растяжении
7. Характеристики пластичности и статической вязкости при растяжении
8. Испытания на сжатия
9. Динамические испытания на изгиб.
10. Определение твердости металлов методами вдавливания. Твердость по Бринеллю
11. Твердость по Виккерсу и микротвердость
12. Твердость по Роквеллу
13. Ковка: сущность, схемы операций
14. Классификация процессов и способов сварки
15. Оборудование и инструменты машиннойковки
16. Общая характеристика способов контактной сварки
17. Характеристика холодной объемной штамповки, схемы выдавливания, высадки, их описание
18. Сварка под флюсом
19. Виды фрез и схемы обработки фрезерованием.
20. Общая характеристика изготовления деталей из листа штамповкой.
Схемы листовой штамповки
21. Сварка в защитных газах
22. Горячая объемная штамповка: общая характеристика, структура техпроцесса
23. Оборудование и инструмент горячей объемной штамповки
24. Технология электрохимического полирования и электрохимической размерной обработки
25. Плазменная и лазерная сварка
26. Обработка на сверлильных станках.
27. Волочение: общая характеристика, основные операции, оборудование, применяемый инструмент
28. Свариваемость сталей. Факторы, влияющие на свариваемость сталей.

29. Технология электроимпульсной и электроконтактной обработки материалов
30. Тепловые явления при резании металлов. Инструментальные материалы.
31. Технологический процесс горячей объемной штамповки.
32. Электрохимические методы обработки материалов, сущность, преимущества и недостатки
33. Технология механизированной сварки в среде инертного газа: оборудование, схема поста, параметры
34. Типы фрез и схемы обработки
35. Технология контактной стыковой сварки: сущность и схемы, режимы, материалы
36. Процесс образования стружки, виды стружки и их описание
37. Сущность обработки металлов давлением и ее влияние на структуру и свойства металла
38. Точение: инструмент, приспособления, схемы обработки
39. Технология механизированной сварки в среде инертного газа: схема, режимы, материалы
40. Технология автоматическая сварка под флюсом: схема, режимы, материалы
41. Характеристика метода точения. Общая схема токарного станка и ее описание
42. Технология контактной точечной и роликовой сварки: сущность и схемы, материалы
43. Схемы обработки заготовок без снятия стружки: накатывание, обкатывание, раскатывание, калибровка, выглаживание, пластическое деформирование и их описание
44. Основные виды прокатки. Прокатные станы, их классификация назначение, применение
45. Методы и схемы отделочной обработки поверхностей со снятием стружки
46. Прокатка металла: сущность, схемы прокатки, применяемый инструмент
47. Газовая сварка стали, цветных металлов: схема, материалы, оборудование, режимы
48. Электрофизические методы обработки материалов, сущность, преимущества и недостатки
49. Характеристика метода сверления. Виды станков
50. Нагрев металла перед обработкой давлением. Нагревательные устройства.
51. Технология механизированной сварки в среде углекислого газа: схема, материалы,
52. Параметры технологического процесса резания и их описания

53. Сущность обработки металлов давлением и ее влияние на структуру и свойства металла
54. Технология ручной дуговой сварки: оборудование, схема поста, параметры сварки
55. Обработка на токарных станках.
56. Технология автоматическая сварка под флюсом: оборудование, схема поста, параметры
57. Обработка поверхности на шлифовальных станках: материалы и инструмент, оборудование, схемы
58. Специализированные процессы ОМД (штамповка на ротационно-ковочных машинах, вальцовка, раскатка кольцевых заготовок, накатка зубчатых колес)
59. Формообразование поверхности заготовок фрезерованием.
60. Газовая сварка стали, цветных металлов: схема, материалы, оборудование, режимы
61. Технология центробежного литья: схема, материалы, оборудование, режимы
62. Сварочная дуга. Вольт-амперная характеристика. Источники питания электрической дуги.
63. Обработка поверхности на шлифовальных станках: материалы и инструмент, оборудование, схемы
64. Хонингование и суперфиниширование: материалы и инструмент, оборудование, схемы
65. Плазменная сварка
66. Виды источников питания электрической дуги и внешние характеристики источников
67. Физические процессы, сопровождающие процесс резания
68. Сварка трением, диффузионная сварка, ультразвуковая сварка, сварка взрывом.
69. Обработка на протяжных станках.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- выполнение индивидуальных заданий;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по заданным темам;
- проработка тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение;
- составление тематической подборки литературных источников, интернет-источников.

Тематика рефератов

1. Испытание материалов на растяжение
2. Безобразцовые методы определения механических свойств материалов
3. Гибридные технологии сварки материалов
4. Подводная сварка
5. Планетарная сварка трубопроводов
6. Космическая сварка
7. Сварка трением с перемешиванием
8. Перспективные сварочные процессы при получении композиционных материалов
9. Новые технологии обработки металлов давлением
10. Ультразвук и пластичность
11. Обработка материалов давлением с наложением УЗколебаний
12. Обработка давлением порошковых материалов
13. Электрофизические методы обработки материалов.
14. Электрохимические методы обработки материалов.
15. Отделочные операции обработки поверхности.
16. Обработка резанием порошковых материалов
17. Обработка резанием трудно обрабатываемых материалов

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Комаров О.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов/О.С. Комаров, В.Н. Ковалевский, Л.Ф. Керженцева; под ред. О.С. Комарова. – 3-е изд. – Минск: Новое знание, 2009. – 671с.
2. Комаров О.С. Металловедение и технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум: учеб. пособие /О.С. Комаров [и др.]; под ред. О.С. Комарова.—Минск: Новое знание, 2016.—308с.
3. Сидоров В.А. Сварка, обработка металлов давлением и резанием: ЭУМК /В.А. Сидоров – Минск: БНТУ, 2021
4. Пантелеенко Ф.И. Механика разрушений и механические свойства материалов. Пособие для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» /Ф.И. Пантелеенко, В.А. Сидоров, М.В. Гольцова, Л.Ф. Керженцева. – Минск: БНТУ, 2021.-220 с.
5. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов/А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, В.С. Гаврилюк; под ред. А.М. Дальского. - Москва: Машиностроение, 2005. – 592с.

Дополнительная литература

6. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов/В.Б. Арзамасов, А.А. Черепяхин [и др.]; под общ. ред. В.Б. Арзамасова, А.А. Черепяхина, - Минск: Издательский центр «Академия», 2007. – 446с.
7. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов/Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин; под ред. Г.П. Фетисова. – Москва: Высшая школа, 2005. – 862с.

Презентации лекций составлены при использовании следующих основных источников:

1. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; [под ред. А.М. Дальского]. - 5-е изд., исправленное. - М.: Машиностроение, 2004. - 512 с., ил.
2. Технология конструкционных материалов. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Е. А. Астафьева,

Ф. М. Носков, Г. Ю. Зубрилов. – Электрон. дан. (11 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008.

3. Технология конструкционных материалов Учебник для технических специальностей вузов / О.С. Комаров и др.; [под общ. ред. О.С. Комарова]. - Минск, Новое знание, 2005. - 539 с.: ил.
4. Металловедение и технология конструкционных материалов/ Комаров О.С. Керженцева Л.Ф. Демченко Е.Б. Урбанович Н.И. Горохов В.А. Лабораторный практикум: учебное пособие / О.С. Комаров и др.; [под ред. О.С. Комарова]. - Минск: Новое знание, 2016. -308 с.
5. ЭУМК Технология конструкционных материалов/ Демченко Е.Б. – Минск: БНТУ, 2019.
6. Графические, фото- и видео- материалы интернет-сайтов.