

Министерство
образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

Стандарт третьего поколения

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Учебное пособие. Часть II. Технология конструкционных
материалов*



Архангельск
САФУ
2016

УДК 620.22(075)

ББК 34.3-06я7

Т38 Технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

*В.И. Лебедев, доцент, кандидат технических наук;
И.Р. Варгасов, доктор технических наук (филиал «Севмашвтуз» СПбГМТУ)*

Александров В.М.

А46 Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. Часть 2. Технология конструкционных материалов. Стандарт третьего поколения / В.М. Александров. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2016. – 275 с.

В учебном пособии изложены сведения о технологических методах получения и обработки заготовок.

Раскрыта сущность различных технологических методов (металлургическое, литейное, сварочное производство, обработка металлов давлением и резанием), приведены их технологические возможности, а также схемы обработки, сведения о соответствующем оборудовании и инструменте.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и техническим специальностям всех форм обучения.

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение	5
Глава 1. Основные понятия и термины, используемые в дисциплине	5
Глава 2. Metallургическое производство	8
2.1. Материалы для производства металлов и сплавов.....	9
2.2. Производство чугуна и стали.....	9
2.3. Производство цветных металлов.....	29
<i>Контрольные вопросы</i>	34
Глава 3. Технологические методы литейного производства	35
3.1. Основы литейного производства.....	35
3.2. Способы литья.....	48
3.3. Литейные свойства сплавов.....	58
3.4. Технологичность конструкций литых деталей.....	64
3.5. Контроль качества и исправления дефектов отливок.....	71
<i>Контрольные вопросы</i>	73
Глава 4. Технологические методы обработки металлов давлением ..	73
4.1. Сущность обработки металлов давлением.....	73
4.2. Виды обработки металлов давлением.....	73
4.3. Прокатное производство.....	78
4.4. Ковка.....	85
4.5. Горячая объёмная штамповка.....	93
4.6. Холодная штамповка.....	105
4.7. Методы производства машиностроительных профилей.....	116
4.8. Технологические методы получения изделий из порошковых материалов.....	118
<i>Контрольные вопросы</i>	120

Глава 5. Технологические методы сварочного производства.....	120
5.1. Физические основы и классификации методов сварки.....	120
5.2. Электрические виды сварки.....	123
5.3. Химические способы сварки.....	145
5.4. Лучевые виды сварки.....	152
5.5. Механические виды сварки.....	157
5.6. Электромеханические виды сварки.....	164
5.7. Технологические особенности сварки, чугунов и цветных металлов.....	166
5.8. Контроль сварных соединений.....	174
5.9. Технологичность сварных соединений.....	183
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>191</i>
Глава 6. Механическая обработка заготовок.	191
6.1. Физико-механические основы обработки материалов резанием.....	194
6.2. Точность и производительность обработки резанием.....	204
6.3. Инструментальные материалы.....	205
6.4. Общие сведения о металлорежущих станках.....	211
6.5. Лезвийная обработка деталей машин.....	226
6.6. Абразивная обработка деталей машин, шлифование.....	266
6.7. Технологичность деталей машин.....	271
<i>Контрольные вопросы.</i>	<i>274</i>
Литература.	274

Введение

Технология конструкционных материалов – учебная дисциплина предметом изучения которой являются технологические методы получения заготовок и их обработки. Объектами, изучаемыми в «Технологии конструкционных материалов», являются: технологические методы получения и обработки заготовок, оборудование, инструмент, приспособления и их характеристики.

Дисциплина «Технология конструкционных материалов» даёт выпускникам:

- **компетентность** в области машиностроительных материалов, их характеристик и областей применения, технологических методов получения и обработки заготовок, используемого с этими целями технологического оснащения;
- **знания** машиностроительных материалов и их свойства: технологических методов получения заготовок литьём, обработкой давлением, сваркой и методами порошковой металлургии; методов обработки заготовок резанием; оборудования и другой технологической оснастки, используемой для реализации технологических методов получения и обработки заготовок;
- **умения** осуществлять выбор технологических методов получения и обработки заготовок в зависимости от условий процесса получения предмета труда.

Базой изучения технологических методов являются физико-химические основы процессов получения и обработки заготовок. Это позволяет прогнозировать формирование у выпускника вуза способностей к самостоятельному овладению новыми знаниями и умениями в области технологии конструкционных материалов с использованием современных компьютерных и информационных технологий.

Глава 1. Основные понятия и термины, используемые в дисциплине «Технология конструкционных материалов».

Деятельность металлообрабатывающих предприятий направлена на получение дохода путём изготовления той или иной промышленной продукции.

Продукция. Под продукцией понимают результат процесса трудовой деятельности, обладающий полезными свойствами, полученный в определённом месте, за определённый интервал времени и предназначенный для использования потребителями в целях удовлетворения их потребностей как общественного, так и личного характера.

Изделием называют любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделиями металлообрабатывающих отраслей промышленности являются машины различного назначения, агрегаты, приборы, механизмы и отдельные детали.

Номенклатура изделий. Этим термином обозначают перечень наименований изделий, отличающихся конструкцией или размерами и подлежащих изготовлению в определённый календарный промежуток времени.

Программа выпуска – количество изделий одного наименования, планируемое к производству в определённый календарный промежуток времени.

Деталь. Это первичная сборочная единица, изготовленная из одного материала без применения сборочных операций. Деталь характеризуется комплексом свойств, к числу которых относятся: свойства материала, конструкция, размеры, точность размеров и формы, качество поверхностей, себестоимость.

Заготовка – представляет собой предмет труда, из которого изменением формы, размеров и свойств материала или его поверхностей изготавливают деталь. Термин «заготовка» правильно использовать на всём протяжении её превращения в деталь. Термин «деталь» правильно применять к предмету производства, поступающему на сборку.

Припуском называют материал, предназначенный для удаления или пластического перемещения в процессе превращения заготовки в деталь.

Производственный процесс – это совокупность работ, направленных на превращение исходных материалов в готовую продукцию.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. В машиностроительном производстве это последовательное изменение формы, размеров, внешнего вида и свойств предметов производства, их контроль.

Технологическая операция – это часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте непрерывно.

Установ – это часть технологической операции, выполняемая при однократном закреплении заготовки.

Технологический переход – часть технологической операции, заключающаяся в обработке на заготовке одной поверхности одним инструментом.

Рабочий ход – это часть технологической операции, выполняемая при однократном перемещении инструмента относительно заготовки.

Типы производств. Техничко-экономические показатели имеют разные численные значения в зависимости от программы выпуска изделий.

Различны и применяемые технологические методы. То, что эффективно при большой программе выпуска, может оказаться совершенно невыгодным при малой программе и наоборот.

В связи с этим выделяют три типа производства, различающиеся программами выпуска изделий, условиями производства и экономической эффективностью: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изделий и малой программой выпуска изделий каждого наименования (единицы – десятки единиц в год) на одном предприятии. Трудоёмкость выполнения технологических операций в единичном производстве высока и велика доля непроизводительных затрат времени. Соответственно, сравнительно низкой оказывается производительность. Большая себестоимость продукции объясняется здесь большой зарплатой высококвалифицированных операторов, высокой стоимостью оборудования и большой трудоёмкостью выполнения каждой технологической операции.

Вместе с тем отказаться от этого типа производств невозможно, поскольку на рынке есть потребность в единичных изделиях (крупные суда, атомные реакторы для электростанций, морские нефтяные вышки и др.).

Серийное производство. Номенклатура производимой продукции на отдельном предприятии более узкая, чем в единичном производстве, а программа выпуска каждого наименования продукции может составлять от нескольких сотен до нескольких сотен тысяч единиц каждого наименования изделий в год. В зависимости от программы выпуска серийное производство подразделяю на *мелкосерийное, серийное и крупносерийное*.

При серийном производстве используют специализированное оборудование, способное выполнять узкий перечень работ, зато имеющее упрощённую и более жёсткую конструкцию. Применяемое оборудование дешевле, позволяет работать с интенсивными режимами и имеет более высокую степень автоматизации по сравнению с универсальными станками. Из-за узкого круга выполняемых работ требуемая квалификация операторов ниже, чем в единичном производстве. Соответственно, меньше средств затрачивается на их зарплату.

Таким образом, серийное производство характеризуется более высокой производительностью и меньшей себестоимостью изделий по сравнению с единичным производством.

Массовое производство. Предприятия такого типа имеют узкую номенклатуру производимых изделий, часто различающихся лишь типоразмерами. В то же время программа выпуска каждого наименования и типоразмера составляет миллионы штук в год. Примерами таких производств могут служить заводы по производству крепёжных изделий, подшипников, боеприпасов. Оборудование, на этих предприятиях спроектировано так,

чтобы обеспечить на конкретной операции максимально допустимый по интенсивности режим обработки при полной автоматизации. В большинстве случаев оборудование для изготовления деталей одного наименования выстраивают в последовательности конкретного технологического процесса и соединяют жёстким транспортом для передачи заготовок с одного рабочего места на следующее. Такие комплексы оборудования называют автоматическими линиями.

Из-за высокой степени автоматизации нет необходимости иметь оператора на каждом рабочем месте. Поэтому технологическая себестоимость каждой детали оказывается низкой.

Таким образом, массовое производство является самым экономически эффективным. Предприниматели заинтересованы приблизить условия своих предприятий к условиям массового производства, однако препятствием на этом пути является проблема сбыта массовой продукции.

Глава 2. Металлургическое производство

Металлургическое производство – это область науки, техники и отрасль промышленности, охватывающая различные процессы получения металлов из руд или других материалов, а также процессы, способствующие улучшению свойств металлов и сплавов.

Оно включает в себя:

- шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- горно-обогатительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке;
- коксохимические заводы, где осуществляют подготовку углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов;
- энергетические цехи для получения сжатого воздуха, кислорода, очистки металлургических газов;
- доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей;
- заводы по производству ферросплавов;
- сталеплавильные цехи для производства стали;
- прокатные цехи, в которых слитки стали перерабатывают в сортовой прокат: балки, рельсы, прутки, проволоку, лист.

Основная продукция чёрной металлургии:

- **чугуны** – пердедельный, используемый для передела на сталь, и литейный – для производства фасонных чугунных отливок на машиностроительных заводах;
- **железорудные металлизированные окатыши** – для выплавки стали;
- **ферросплавы** (сплавы железа с повышенным содержанием Mn, Si, V, Ti и т.д.) – для выплавки легированных сталей;

- **стальные слитки** – предназначенные для производства сортового проката, листа, труб, а также для изготовления крупных кованных валов, роторов, турбин, дисков и т.д., называемые кузнечными слитками.

Продукция цветной металлургии:

- **слитки цветных металлов** – для производства сортового проката (уголка, полосы, прутков). Для изготовления отливок на машиностроительных заводах.
- **лигатуры** (сплавы цветных металлов с легирующими элементами) – для производства сложных легированных сплавов для отливок;
- **слитки чистых и особо чистых металлов** – для приборостроения, электронной техники и других отраслей машиностроения.

2.1. Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют:

- руду;
- флюсы;
- топливо;
- огнеупорные материалы.

Промышленная руда – это природное минеральное образование, содержащее какой-либо металл или несколько металлов в концентрациях, при которых экономически целесообразно их извлечение.

Флюсы – это материалы, загружаемые в плавильную печь для образования шлаков – легкоплавких соединений с пустой породой руды или концентратом и золой топлива.

Топливо – это горючие вещества, основной составной частью которых является углерод; они применяются с целью получения при их сжигании тепловой энергии. В металлургических печах используют: кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ. Кокс получают из коксующихся сортов каменного угля путём сухой перегонки при $T = 1000^{\circ}\text{C}$.

Огнеупорные материалы – это материалы и изделия преимущественно на основе минерального сырья, обладающие огнеупорностью не ниже 1580°C . Их применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла.

2.2. Производство чугуна и стали

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

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

Руды: Железные руды содержат (55...60%) железа в различных соединениях (оксидов, гидроксидов, карбонатов и др.), а также пустую породу.

Марганцевые руды применяют для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца, а также передельный чугунов. Хромовые руды используют для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомagneзитов. Комплексные руды используют для выплавки природно-легированных чугунов. Это железомарганцевые руды, хромоникелевые руды, железованадиевые руды.

Топливо: кокс – для получения необходимой температуры и создавать условия для восстановления железа из руды; в целях экономии часть кокса заменяют природным газом, мазутом, пылевидным топливом.

Флюсы: это известняк CaCO_3 или доломитизированный известняк, содержащий CaCO_3 и MgCO_3 . Это необходимо для удаления серы из металла, в который она переходит из кокса и железной руды при плавке. Для нормальной работы доменной печи шлак должен быть достаточно жидкотекучим при температуре 1450°C .

Подготовка руд к доменной плавке. Цель этой подготовки – увеличить содержание железа в шихте и уменьшение в ней вредных примесей – серы, фосфора, а также повышение однородности по кусковатости и химическому составу:

- **дробление и сортировка** руд по крупности служат для получения кусков оптимальной для плавки величины;
- **обогащение руды:** *гравитация* (отсадка) – это отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита, на котором лежит руда. *Магнитная сепарация* основана на различии магнитных свойств железосодержащих минералов и частиц пустой породы;
- **окускование** проводят для переработки концентратов, полученных после обогащения, в кусковые материалы необходимых размеров;

Применяют два способа окускования.

1. **Агломерация** – это спекание мелкой шихты, удаление серы и мышьяка. Получается кусковой пористый офлюсованный материал – агломерат.

2. **Окатывание** – это окатывание шихты из измельчённых концентратов, флюса, топлива, всё это увлажняют, и при обработке во вращающихся барабанах получают шарики-окатыши диаметром до 30 мм.

Выплавка чугуна. Чугун выплавляют в печах шахтного типа – **домнах** (рис.2.1). Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды, оксидом углерода, водородом, выделяющимся при сгорании топлива в печи и твёрдым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива в печи. На рис.2.2. – фотография домны шахтного типа.

При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство в печь подаются новые порции шихты в таком количестве, чтобы весь полезный объём печи был заполнен. Полезный объём печи – это объём, занимаемой шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании. Современные доменные печи имеют полезный объём **2000...5000 м³**. Полезная высота **H** доменной печи достигает **35м**.

Эффективность работы доменной печи характеризуется пребыванием шихты в доменной печи (**5 – 6 ч**) и длительностью компании (**5 – 6 лет** и более непрерывной работы).

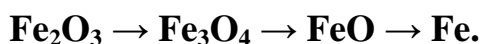
Физико-химические процессы доменной плавки.

Условно процессы, протекающие в доменной печи, разделяют на:

- горение топлива;
- разложение компонентов шихты;
- восстановление железа;
- науглероживание железа;
- восстановление марганца, кремния, фосфора, серы;
- шлакообразования;

Горение топлива. Вблизи фурм углерод кокса, взаимодействует с кислородом воздуха, сгорает. При этом в печи несколько выше уровня фурм развивается температура выше **2000⁰С**.

Восстановления железа. Шихта (агломерат, кокс) опускается навстречу потоку газов, и при температуре **500...570⁰С** начинается восстановление оксидов железа. Восстановление железа из руды в доменной печи происходит по мере продвижения шихты вниз по шахте печи и повышения температуры в несколько стадий – от высшего оксида к низшему:



Науглероживание железа. В шахте доменной печи наряду с восстановлением железа происходит и его науглероживание при взаимодействии с оксидом углерода (**CO₂**), коксом, сажистым углеродом. Это приводит к образованию жидкого расплава, который каплями начинает стекать в горн.

Таким образом, в результате процесса восстановления оксидов железа, части оксидов марганца и кремния, фосфатов и сернистых соединений, растворения в железе С, Mn, Si, P, S в доменной печи образуется чугун.

Образование шлака. Шлакообразования активно происходит в распаре после окончания процессов восстановления железа путём сплавления флюсов, добавляемых в доменную печь для обеспечения достаточной жидкотекучести при температуре $1400...1500^{\circ}\text{C}$, оксидов пустой породы и золы кокса. Шлак стекает в горн и скапливается на поверхности жидкого чугуна благодаря меньшей плотности.

Чугун выпускают из печи каждые $3...4$ ч, а шлак $1...1,5$ ч. Чугун транспортируют в кислородно-конверторные или мартеновские цехи для передела в сталь. Чугун, не используемый в жидком виде, разливают в изложницы разливочной машины, где он затвердевает в виде чушек-слитков массой 45 кг.

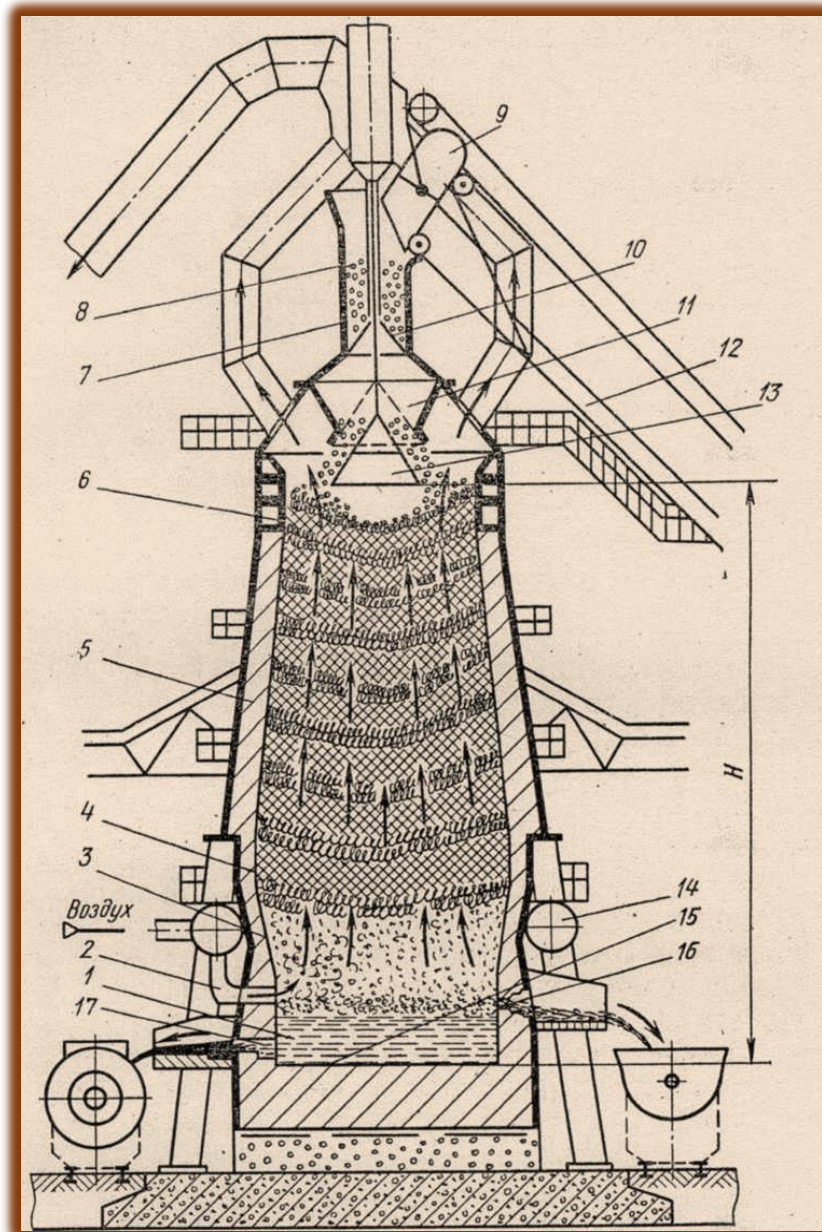


Рис. 2.1. Устройство доменной печи:

1 – горн; 2 – воздухопровод; 3 – заплечики; 4 – распар; 5 – шахта; 6 – колошник; 7 – приёмная воронка; 8 – засыпной аппарат; 9 – вагонетка; 10 – малый конус; 11 – чаша; 12 – мост; 13 – большой конус (предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу).

Для равномерного распределения шихты в доменной печи малый конус и приёмная воронка после очередной загрузки поворачиваются на угол, кратный 60° .



Рис.2.2. Домна шахтного типа

Продукты доменной плавки. Чугун – основной продукт доменной плавки:

- **передельный чугун** выплавляют для передела его в сталь в конверторах или в мартеновских печах. Он содержит 4...4,4% С, 0,6...0,8%Si, 0,25...1,5%Mn, 0,15...0,3%P и 0,03...0,07%S.
- **литейный чугун** используют на машиностроительных заводах при производстве фасонных отливок. Кроме чугуна в доменной печи выплавляют **ферросплавы доменные** – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами, применяемые для раскисления и легирования стали;

- **побочные продукты** доменной плавки – шлак и доменный газ. Из шлака изготавливают шлаковату, цемент, а доменный газ после очистки используют как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в доменную печь.

На рис. 2.3 показан выпуск чугуна из домны.



Рис.2.3. Выпуск чугуна из домны в ковши

Производство стали. Сущность процесса. Сущность любого металлургического передела чугуна в сталь является снижение содержания углерода и примесей путём их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Основными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (**скрап**). Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне.

Процессы выплавки стали осуществляют в несколько этапов.

Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. На этом этапе температура металла невысока; интенсивно происходит окисление железа, образования оксида железа и окисление примесей Si, P, Mn. Наиболее важная задача этого процесса – удаления фосфора (одной из вредных примесей стали).

Второй этап – «кипение» металлической ванны – начинается по мере её прогрева до более высоких, чем на первом этапе температур. Кипения ванны, является главным в процессе выплавки, стали.

В этот же период создаются условия для удаления серы из металла. Чем выше температура, тем больше количество FeS растворяется в шлаке, т.е. больше серы переходит из металла в шлак.

Третий этап (завершающий) – раскисления стали – заключается в восстановлении оксида железа, растворённого в жидком металле.

При плавке повышения содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах.

Сталь раскисляют двумя способами:

- осаждающим;
- диффузионным.

Осаждающее раскисления осуществляют введением в жидкую сталь растворимых раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия). В результате восстанавливается железо, а образующиеся оксиды марганца, кремния и алюминия удаляются в шлак.

Диффузионное раскисления осуществляют раскислением шлака. Ферромарганец, ферросилиций и другие раскислители в мелкозернистом виде загружают на поверхность шлака.

В зависимости от степени раскислённости выплавляют спокойные, кипящие и полуспокойные стали.

Спокойная сталь получается при полном раскислении в печи и ковше.

Кипящая сталь раскислена в печи не полностью. Её раскисления продолжается в изложнице при затвердевании слитка благодаря взаимодействию FeO и углерода, который содержится в металле. Газы выделяются в виде пузырьков, вызывая её кипение. Кипящая сталь не содержит неметаллических включений – продуктов раскисления, поэтому обладает хорошей пластичностью.

Полуспокойная сталь имеет промежуточную раскислённость между спокойной и кипящей.

Легирующие стали осуществляют введением ферросплавов или чистых металлов в необходимом количестве в расплав.

Легирующие элементы (Ni, Co, Mo, Cu), сродство к кислороду у которых меньше, чем у железа, при плавке и разливе практически не окисляются, и поэтому их вводят в печь в любое время плавки (обычно вместе с остальной шихтой). Легирующие элементы, у которых сродство к кислороду больше, чем у железа (Si, Mn, Al, Cr, V, Ti и др.), вводят в металл

после раскисления или одновременно с ним в конце плавки, а иногда непосредственно в ковш.

Технологические процессы производства стали.

Стали производят в различных по принципу действия металлургических агрегатах: **кислородных конвертерах, электрических и индукционных печах и др.**

Производство стали в кислородных конвертерах.

Кислородно-конвертерный процесс – это выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой (магнезит и доломит) и продувкой кислородом через водоохлаждаемую форму (рис 2.4.).

Перед плавкой конвертер наклоняют (рис.2.4,1) через горловину с помощью завалочных машин загружают скрап, заливают чугун при температуре 1250 – 1400°С. После этого конвертер поворачивают в вертикальное рабочее положение, внутрь его водоохлаждаемую форму и через неё подают кислород под давлением 0,9 – 1,4 МПа. Одновременно с началом продувки в конвертер загружают известь, боксит, железную руду (рис.2.4,2). Струи кислорода проникают в металл, вызывают его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Благодаря интенсивному окислению примесей чугуна при взаимодействии с кислородом в зоне под фурмой развивается температура до 2400°С.

Подачу кислорода заканчивают, когда содержание углерода в металле соответствует заданному. После этого конвертер поворачивают и выпускают сталь в ковш (рис.2.4, 3).

При выпуске стали из конвертера её раскисляют в ковше осаждающим методом ферромарганцем, ферросилицием и алюминием; затем из конвертера сливают шлак (рис.2.4,4).

Вместимость конвертера 70 – 350 т расплавленного чугуна.

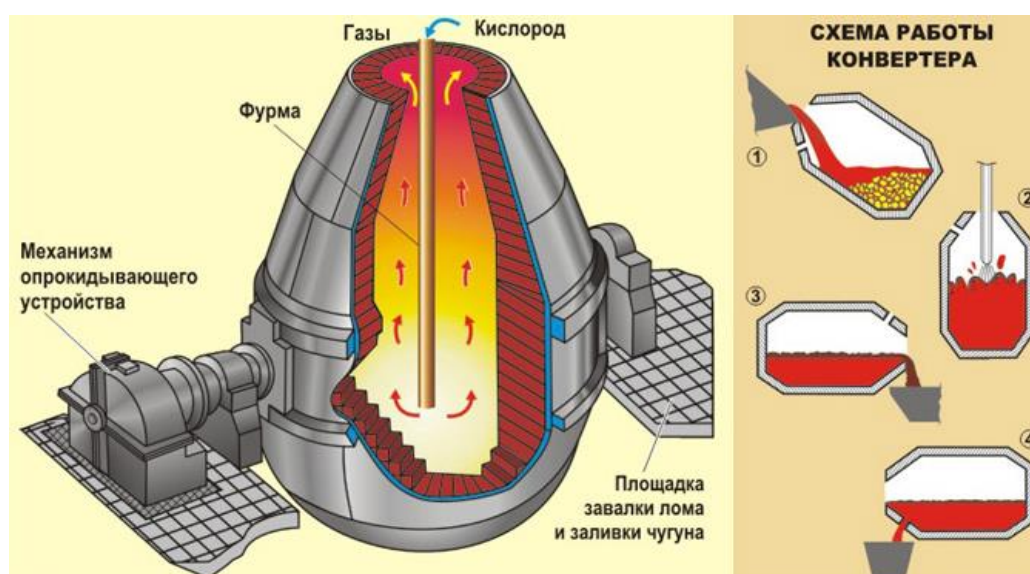


Рис 2.4. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах

Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются:

- жидкий чугун;
- стальной лом (не более 30%);
- известь для наведения шлака;
- железная руда;
- боксит (Al_2O_3) и плавиковый шпат (CaF_2), для разжижения шлака.

В кислородном конвертере благодаря присутствию шлаков с большим содержанием CaO и FeO , перемешиванию металла и шлака создаются условия для удаления из металла фосфора в начале продувки ванны кислородом, когда её температура ещё не высока. В чугунах, перерабатываемых в конвертерах, не должно быть более 0,15% P и 0,07% S.

В кислородных конвертерах выплавляют: конструкционные **стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные.**

В кислородных конвертерах трудно выплавлять стали, содержащие легко-окисляющие легирующие элементы, поэтому в них выплавляют низколегированные (до 2– 3% легирующих элементов) стали. Легирующие элементы вводят в ковш, расплавив их в электропечи, или твёрдые ферросплавы, вводят в ковш перед выпуском из него, стали. Плавка в конвертерах вместимостью 130 – 300 т заканчивается через 25 – 30 мин.

Производство стали в электропечах.

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами, так как в них можно получать высокую температуру металла, создавая окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет выплавлять сталь любого состава, раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений – продуктов раскисления. Поэтому электропечи используют для выплавки **конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей.**

Для плавки стали используют дуговые и индукционные печи (рис.2.5).

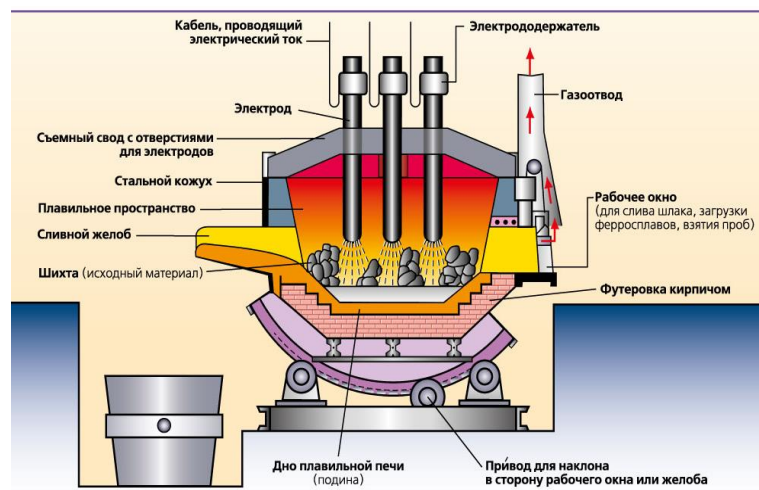


Рис 2.5. Схема дуговой плавильной электропечи

Дуговая плавильная печь работает на трёх фазном переменном токе. Электрический ток от трансформатора мощностью 25 – 45 кВ *А. Рабочее напряжение 160 – 600 В, сила тока 1 – 10 кА. Во время работы печи длина дуги регулируется автоматически, путём перемещения электродов. На рис.2.6 изображена дуговая плавильная печь.



Рис.2.6. Дуговая плавильная электропечь постоянного тока



Рис.2.7. Выпуск стали из дуговой плавильной электропечи

Вместимость этих печей 0,5 – 400 т. В металлургических цехах используют электропечи с основной футеровкой, а в литейных – с кислой.

Для определения химического состава металла берут пробы и при необходимости в печь вводят ферросплавы для получения заданного химического состава металла, после чего выполняют, конечную стадию раскисления, стали алюминием и силикокальцием и выпускают металл из печи в ковш рис.2.7.

При выплавке легированных сталей в дуговых печах в сталь вводят легирующие элементы в виде ферросплавов.

Индукционная тигельная плавильная печь (рис 2.8).

Через индуктор (4) от генератора промышленной частоты (50 Гц) или от генератора высокой частоты (500 – 2500 Гц) проходит однофазный переменный ток. Ток создаёт переменный магнитный поток, пронизывающий куски металла в тигле. Переменный магнитный поток наводит в них мощные вихревые токи Фуко (1), нагревающие металл до расплавления и необходимых температур перегрева. Тигель изготавливают из основных или кислых огнеупоров (5). **Вместимость тигля 60 кг – 25 т.** (2) – свод тигельной печи.

(3) – горловина для слива металла.

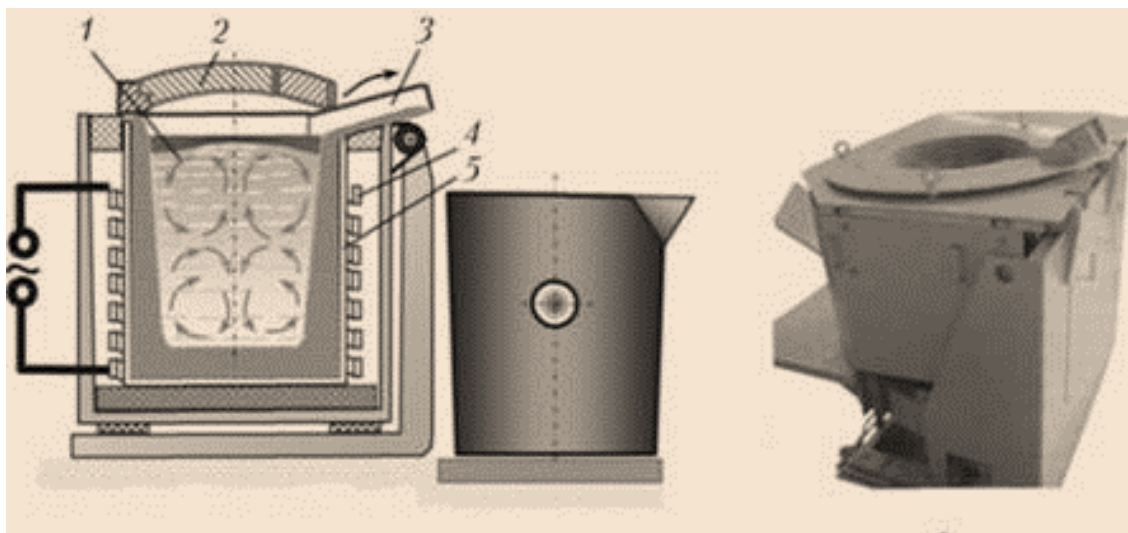


Рис 2.8. Схема индукционной тигельной плавильной печи

Индукционные печи обладают преимуществами перед дуговыми печами: в них отсутствует электрическая дуга, что позволяет выплавлять сталь с низким содержанием углерода, газов и малым угаром элементов; при плавке в металле возникают электродинамические силы, которые перемешивают металл и способствуют выравниванию химического состава, всплыванию неметаллических включений; небольшие размеры печей позволяют помещать их в камеры, где можно создавать любую атмосферу или вакуум.

Однако эти печи имеют малую стойкость футеровки, и температура шлака в них недостаточна для протекания в них металлургических процессов между металлом и шлаком.

В индукционных печах с основной футеровкой выплавляют, **высококачественные легированные, стали с высоким содержанием марганца, никеля, титана, алюминия**, а в печах с кислой футеровкой – **конструкционные, легированные стали.**

При вакуумной индукционной плавке индуктор с тиглем, дозатор шихты и изложницы помещают в вакуумные камеры. Плавка, введение легирующих добавок, раскислителей, разливка металла в изложницы проводятся без нарушения вакуума в камере. Таким способом получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений, сплавы, легированные любыми элементами. На рис.10.9. изображена индукционная тигельная плавильная печь.

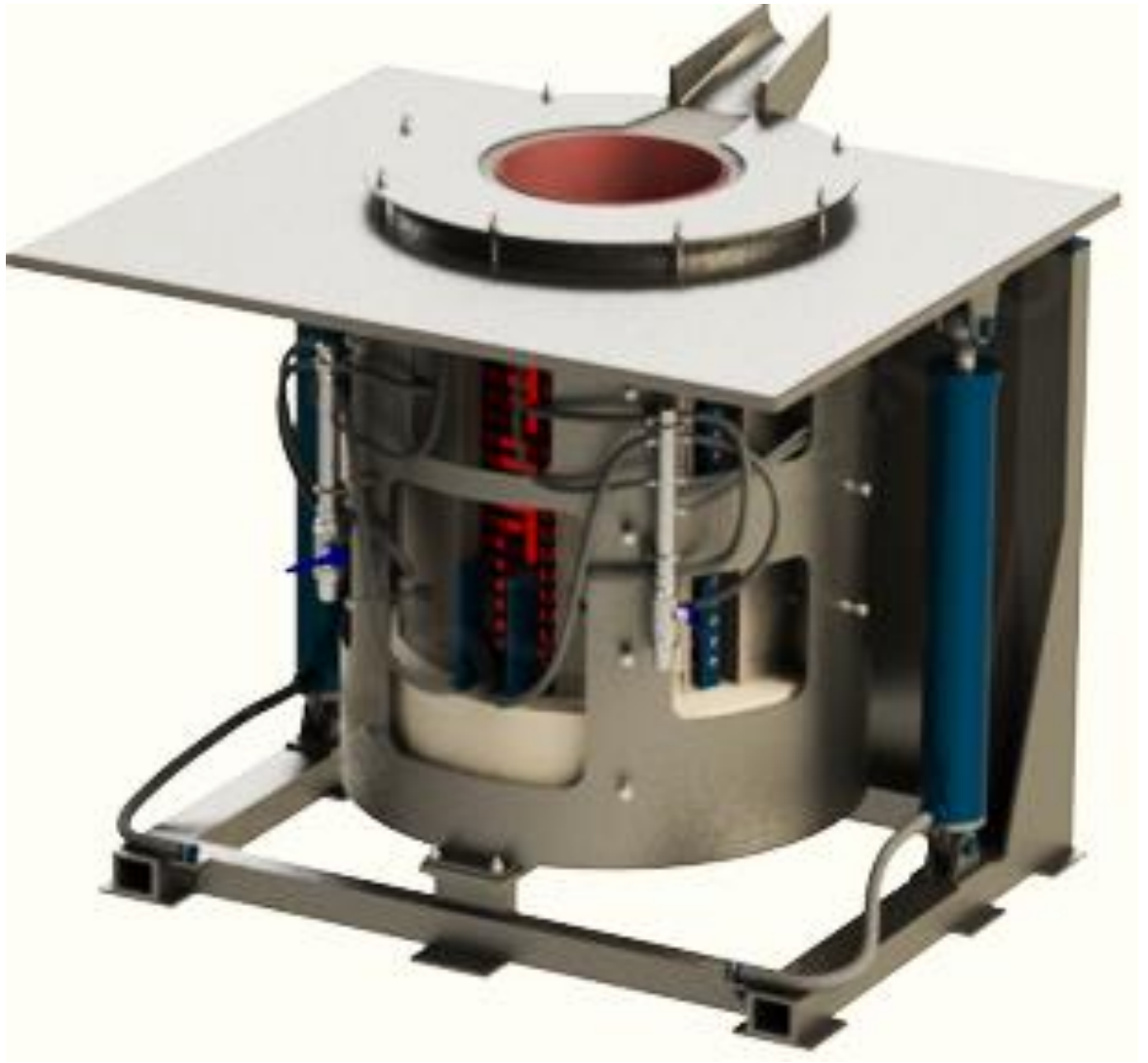


Рис.2.9. Индукционная тигельная плавильная печь

На рис.2.10 зафиксирован рабочий момент плавки стали в индукционной тигельной плавильной печи.



Рис.2.10. Плавка стали в индукционной тигельной плавильной печи

Разливка стали (рис. 2.11; 2.12; 2.13).

Выплавленную сталь выпускают из плавильной печи в разливочный ковш, из которого её разливают в изложницы или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок (**МНЛЗ**). В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает, и получаются слитки, которые подвергают прокатке, ковке.

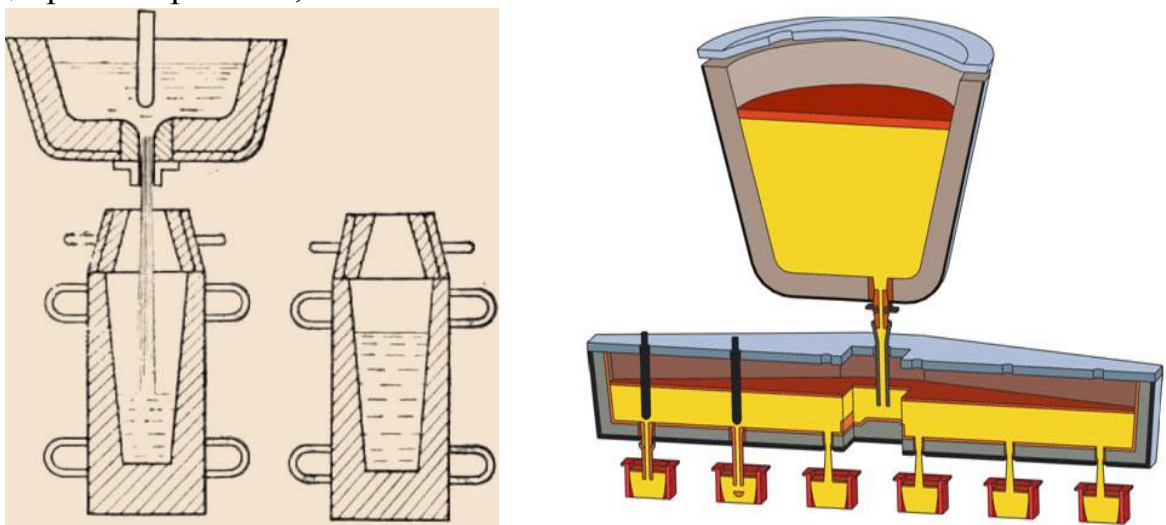


Рис.2.11. Схема разливки стали сверху непосредственно из ковша

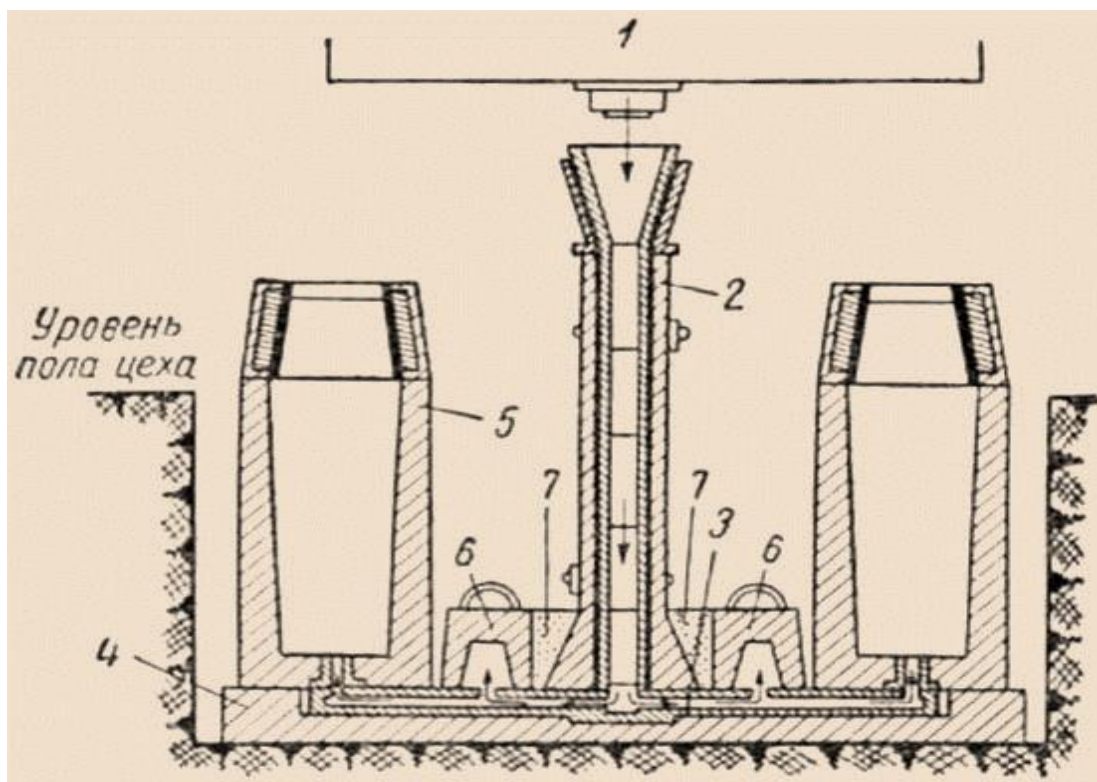


Рис. 2.12. Сифонная разливка стали:

где 1— ковш, 2 — центровой литник, 3— сифонные кирпичи, 4— поддон, 5 — изложницы, 6 — шлакоуловители, 7 — огнеупорная масса

Сверху отливаются слитки крупного развеса (до 200 т), а также некоторые сорта легирован стали (быстрорежущей, шарикоподшипниковой и др.), в которых допустимо минимальное содержание неметаллических включений.

По сифонному способу из ковша 1 через центровой литник 2 одновременно заливается в зависимости от развеса слитков от двух до 60—100 изложниц. При этом металл, проходя по центральному литнику 2, поступает по системе каналов, образованных специальными сифонными кирпичами 3 в чугунном поддоне 4, к каждой изложнице 5. Преимущества сифонного способа: можно отливать одной струей большое число слитков, поверхность слитков получается чистой, вследствие уменьшения высоты и объема усадочной раковины можно получить качественные слитки развесом до 20—30 т стали. Недостаток сифонной разливки — трудоемкая работа по сборке изложниц под разливку и большой расход металла на литники. Поэтому при разливке дорогостоящих сталей этот способ не применяют.

Прогрессивным способом является непрерывная разливка стали (рис.2.13).

Металл из ковша заливается непрерывной струей в промежуточное устройство, а из него поступает в охлаждаемые водой кристаллизаторы, в которые предварительно закладываются стальные заготовки, образующие дно. При соприкосновении жидкого металла с этими заготовками

(затравками) и стенками кристаллизаторов начинается быстрое затвердевание его, еще более усиливающееся при проходе через зону вторичного охлаждения. Затвердевшая заготовка вытягивается роликами, действующими от специального механизма к тележкам газорезок, разрезается на куски, а затем по конвейеру поступает в прокатный цех. Применение способа непрерывной разливки стали позволяет сократить отходы металла с 15—20% при обычной разливке до 3—5%, т. е. в 5 раз.

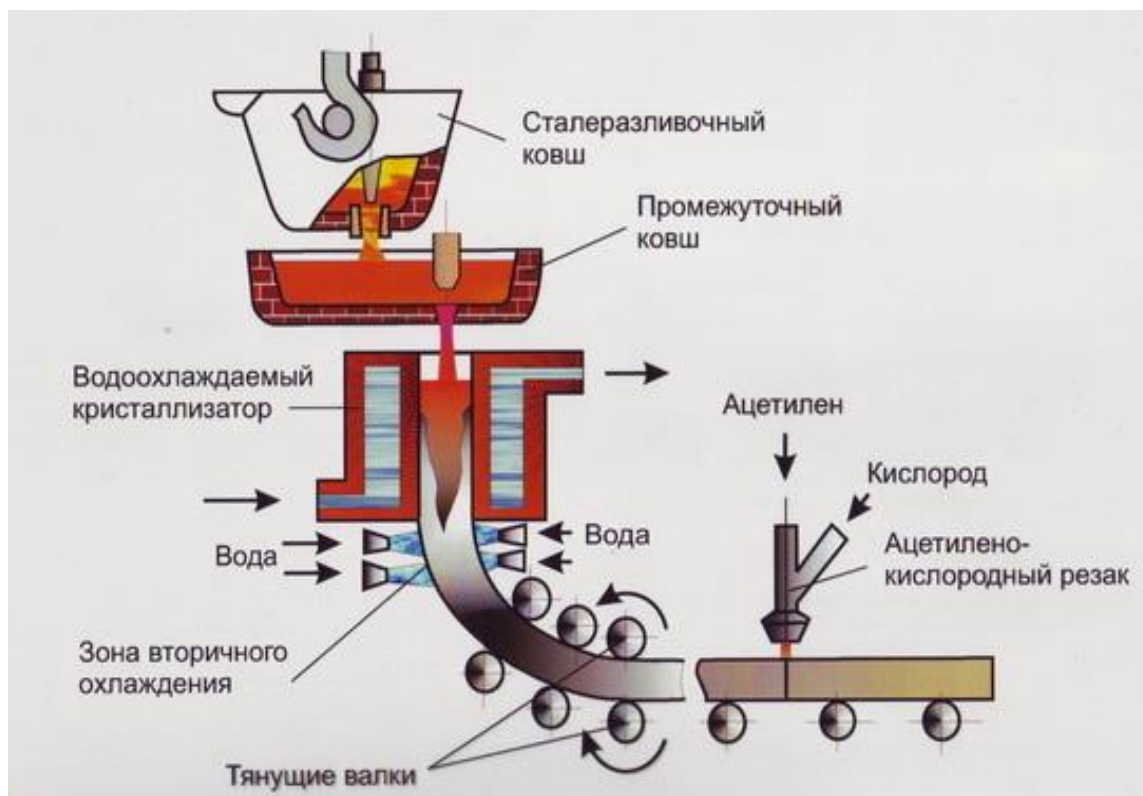


Рис. 2.13. Схема машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ)

Изложницы – чугунные формы для изготовления слитков (квадратных, прямоугольных, круглых или многогранных поперечных сечений). Слитки квадратного сечения переделывают на сортовой прокат (двутавровые балки, швеллеры, уголки и т.д.). Слитки прямоугольного сечения переделывают на лист. Из слитков круглого сечения изготавливают трубы, колёса. Многогранные слитки используют для поковок.

Для прокатки отливают слитки массой **200 кг – 25 т**; для поковок – массой **300 т** и более. Обычно углеродистые спокойные и кипящие стали разливают в слитки массой до **25 т**, легированные и высококачественные стали – в слитки массой **500 кг – 7 т**, а некоторые сорта высоколегированных сталей – в слитки массой в несколько килограммов.

Машины непрерывного литья могут иметь несколько кристаллизаторов, что позволяет одновременно получать несколько слитков,

которые могут быть прокатаны на сортовых станах, минуя блюминги и слябинги.

Строение слитка.

Залитая в изложницы сталь отдаёт теплоту её стенкам, поэтому затвердевание стали начинается у стенок изложницы. Толщина закристаллизовавшейся корки непрерывно увеличивается, при этом между жидкой сердцевиной слитка и твёрдой коркой металла располагается зона, в которой одновременно имеются растущие кристаллы и жидкий металл между ними. Кристаллизация слитка заканчивается вблизи его продольной оси.

Сталь затвердевает в виде кристаллов древовидной формы – дендритов. Размеры и формы дендритов зависят от условий кристаллизации (рис. 2.14).

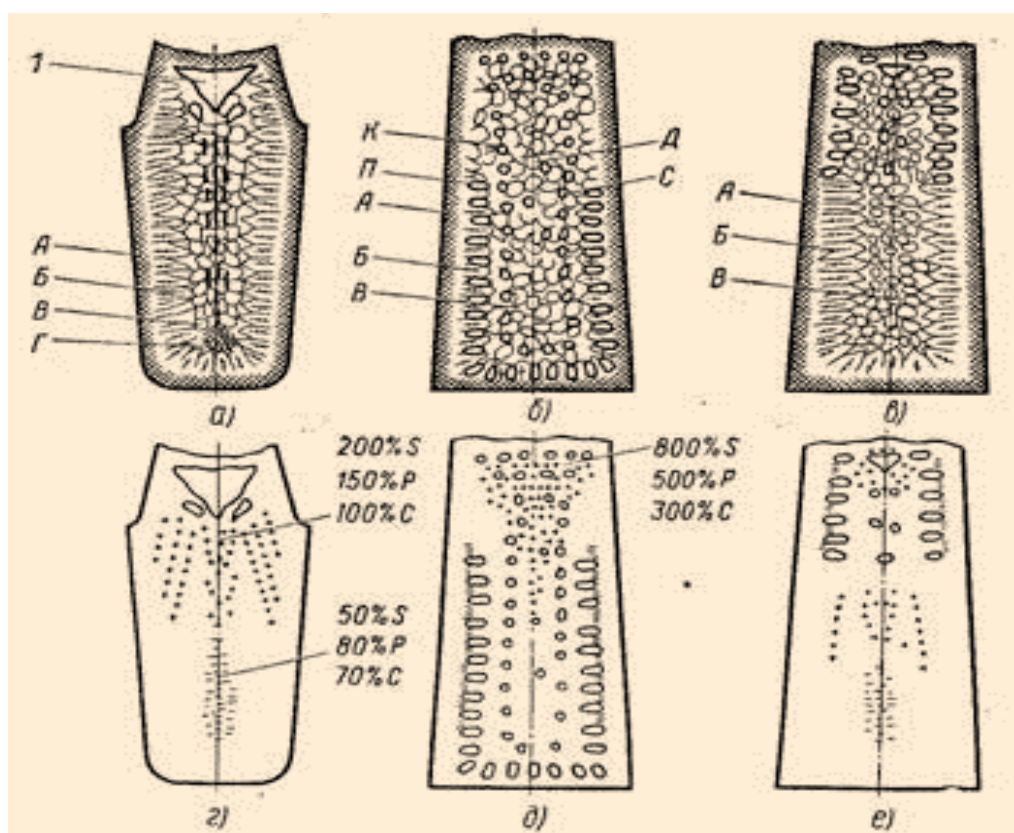


Рис.2.14. Схема строения стальных слитков:

а, г – спокойная сталь; б, д – кипящая сталь; в, е – полуспокойная сталь;

А – тонкая наружная корка мелкозернистых кристаллов; **Б** – зона крупных столбчатых кристаллов (дендриты); **В** – зона крупных неориентированных кристаллов; **Г** – мелкокристаллическая зона у донной части слитка.

Спокойная сталь затвердевает без выделения газов, в верхней части слитка образуется усадочная раковина, а в средней – усадочная осевая рыхлость.

Стальные слитки неоднородны по химическому составу. Химическая неоднородность, или ликвация, возникает вследствие уменьшения растворимости примесей в железе при его переходе из жидкого состояния в твёрдое. Ликвация бывает двух видов – дендритная и зональная.

Дендритная ликвация – неоднородность стали в пределах одного кристалла (дендрита) – центральной оси и ветвей. Например, при кристаллизации стали содержание серы на границах дендрита по сравнению с содержанием в центре увеличивается в 2 раза, фосфора – 1,2 раза, а углерода уменьшается почти наполовину.

Зональная ликвация – неоднородность состава стали в различных частях слитка. В верхней части из-за конвекции жидкого металла содержание серы, фосфора и углерода увеличивается в несколько раз, а в нижней части – уменьшается. Зональная ликвация приводит к отбраковке металла вследствие отклонения его свойств от заданных. Поэтому прибыльную и под прибыльную часть слитка, а также донную его часть при прокатке отрезают.

В слитках кипящей стали не образуются усадочные раковины: усадка стали, рассредоточена по полостям газовых пузырей, возникающих при кипении, стали, в изложнице. При прокатке слитка газовые пузыри завариваются.

Полуспокойная сталь сохраняет преимущества спокойной и кипящей сталей и не имеет их недостатков.

Полуспокойная сталь частично раскисляется в печи и ковше, а частично в изложнице. Слиток полуспокойной стали имеет в нижней части структуру спокойной стали, а в верхней – кипящей. Ликвация в верхней части слитка полуспокойной стали меньше, чем кипящей, и близка, к ликвации спокойной стали, но слитки полуспокойной стали, не имеют, усадочных раковин.

Способы повышения качества стали.

Развития машиностроения и приборостроения предъявляет возрастающие требования к качеству металла: его прочности, пластичности, газосодержанию. Улучшить эти показатели можно уменьшением в металле вредных примесей, газов, неметаллических включений.

Для повышения качества металла используют:

- обработку металлов синтетическим шлаком;
- вакуумную дегазацию металла;
- электрошлаковый переплав (ЭШП);
- вакуумно-дуговой переплав (ВДП);
- переплав металла в электронно-лучевых и плазменных печах и др.

Обработка металла синтетическим шлаком заключается в следующем – смешивают жидкий шлак с жидкой сталью, происходит

реакция, при которой уменьшается содержание серы, кислорода и неметаллических включений в стали. Повышается её пластичность и прочность. Такие стали используют для изготовления ответственных деталей машин.

Вакуумирование стали проводят для понижения концентрации кислорода, водорода, азота и неметаллических включений. Для вакуумирования используются различные способы, например, вакуумирование в ковше, циркуляционное и поточное вакуумирование, струйное и порционное вакуумирование и др.

Электрошлаковый переплав (рис.2.15). ЭШП применяют для выплавки высококачественных сталей для шарикоподшипников, жаропрочных сталей для дисков и лопаток турбин, валов компрессоров, авиационных конструкций. Переплаву подвергают выплавленный в дуговой печи и прокатанный на круглые прутки металл. Источником теплоты при ЭШП является шлаковая ванна, нагреваемая при прохождении через неё электрического тока. Электрический ток подводится к переплавляемому электроду, погружённому, в шлаковую ванну, и к поддону, установленному в водоохлаждаемом металлическом кристаллизаторе, в котором находится затравка. На рис.10.16. изображена установка электрошлакового переплава стали.

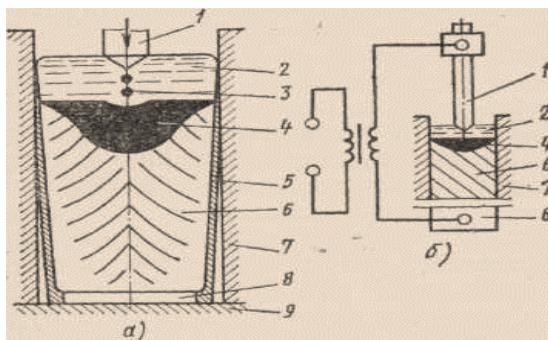


Рис.2.15. Схема электрошлакового переплава расходного электрода:

а – кристаллизатор; б – включение установки

1 – электрод; 2 – шлаковая ванна; 3 – капли металла; 4 – металл; 5 – корка; 6 – слиток; 7 – кристаллизатор; 8 – затравка; 9 – поддон.



Рис. 2.16. Установка электрошлакового переплава стали

Вакуумно-дуговой переплав (ВДП) применяют в целях удаления из металла газов и неметаллических включений. Процесс осуществляется в вакуумно-дуговых печах с расходуемым электродом. На рис. 2.17. изображена схема на рис.2.18. установка вакуумно-дуговой переплавки стали.

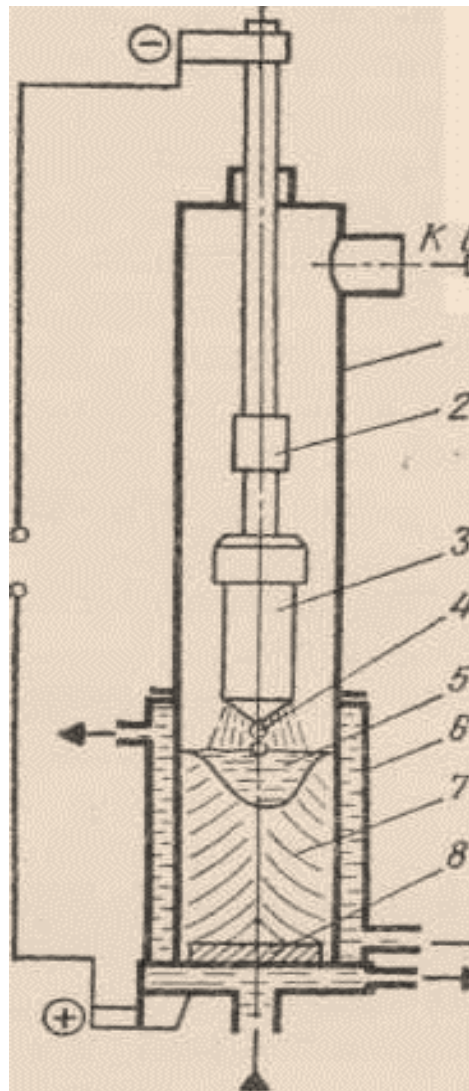


Рис. 2.17. Схема вакуумно-дуговой переплавки

1 – корпус; 2 – водоохлаждаемый шток; 3 – электрод-катод; 4 – капли жидкого металла; 5 – жидкий металл; 6 – изложница; 7 – слиток; 8 – заправка-анод

В зависимости от требований, предъявляемых к получаемому металлу, расходуемый электрод изготавливают механической обработкой слитка, выплавленного в электропечах или в установках ЭСП.

Слитки ВДП содержат мало газов, неметаллических включений, отличаются высокой равномерностью химического состава, повышенными механическими свойствами. Из них изготавливают ответственные детали турбин, двигателей, авиационных конструкций. Масса слитков достигает **50 т**.



Рис.2.18. Установка вакуумно-дугового переплава стали

Плавку в электронно-лучевых печах (рис.2.19) применяют для получения чистых и ультрачистых тугоплавких металлов (молибдена, ниобия, циркония и др.), для выплавки специальных сплавов и сталей.

Вакуум внутри печи, большой перегрев, вызванный пучком электронов, направленный на металл, и высокие скорости охлаждения слитка способствуют удалению газов и примесей, получению металла особо высокого качества. Однако при переплаве шихты, содержащей легко испаряющиеся элементы, изменяют химический состав металла.

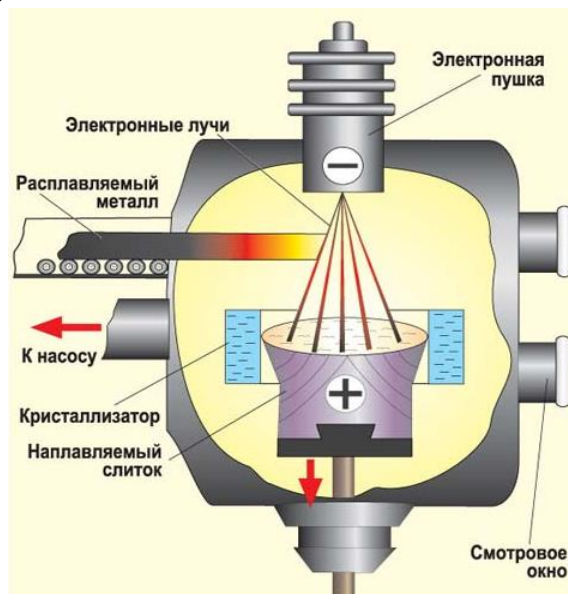


Рис.2.19 Схема электронно-лучевой печи

Плавку стали в плазменно-дуговых печах (рис.2.20.), применяют для получения высококачественных, сталей и сплавов.

Источник теплоты – низкотемпературная плазма (30000°C), получаемая в плазменных горелках. В этих печах можно создавать нейтральную среду заданного состава (аргон, гелий). Плазменно-дуговые печи позволяют быстро расплавить шихту, а в нейтральной газовой среде происходит дегазация выплавляемого металла, легкоиспаряющиеся элементы, входящие в его состав, не испаряются.



Рис.2.20. Установка плазменно-дуговой печи

2.3. Производство цветных металлов

Производство меди.

Медь получают главным образом пирометаллургическим способом. Пирометаллургия – это совокупность металлургических процессов, протекающих при высоких температурах. Производство меди из медных руд включает в себя их обогащение, обжиг, плавку на полупродукт – **штейн**, выплавку из штейна черновой меди (конвертирование) и её очистку от примесей (**рафинирование**).

Для производства меди применяют медные руды, содержащие 1 – 6% Cu, а также отходы меди и её сплавы.

Черновая медь содержит **98,4 – 99,4% Cu** и небольшое количество примесей. Эту медь разливают в изложницы. Черновую медь рафинируют для удаления вредных примесей и газов.

После огневого рафинирования получают медь чистотой **99 – 99,5%** (рис.2.21.). Из неё отливают чушки для выплавки сплавов меди (бронзы и латуни) или плиты для электролитического рафинирования. Электролитическое рафинирование ведут для получения чистой меди от примесей (**более 99,5%Cu**).



Рис. 2.21. Производство рафинированной меди

Производство алюминия.

Основным способом производства алюминия в настоящее время является электролитический. Электролиз – это совокупность процессов электрохимического окисления – восстановления, происходящих на погруженных в электролит электродов при прохождении электрического тока.

Основное сырьё для производства алюминия – алюминиевые руды: бокситы, нефелины, алуниты, каолины.

Производство алюминия включает в себя:

- получение безводного, свободного от примесей оксида алюминия (Al_2O_3 глинозёма). Глинозём получают из бокситов путём их обработки щёлочью;
- получение криолита из плавикового шпата $2\text{H}_3\text{AlF}_6$;
- электролиз глинозёма в расплавленном криолите;

В процессе электролиза алюминий собирается на дне ванны под слоем электролита. Его периодически извлекают, используя специальное устройство. Для нормальной работы ванны на её дне оставляют немного алюминия рис.2.22.

Алюминий, полученный электролизом, называют алюминием-сырцом. В нём содержатся металлические и неметаллические примеси, газы. Примеси удаляют рафинированием, для чего продувают хлор через расплав алюминия. Затем жидкий алюминий выдерживают в ковше или в электропечи в течение 30 – 45 мин при температуре $690 - 730^\circ\text{C}$ для всплывания неметаллических включений и выделения газов из металла. После рафинирования чистота первичного алюминия составляет **99,5 – 99,85%**. На рис.10.23. фотография Уральского алюминиевого завода.



Рис.2.22. Производство алюминия



Рис.2.23. Уральский алюминиевый завод

Производство магния.

Для производства магния наибольшее распространение получил электролитический способ (рис.2.24).

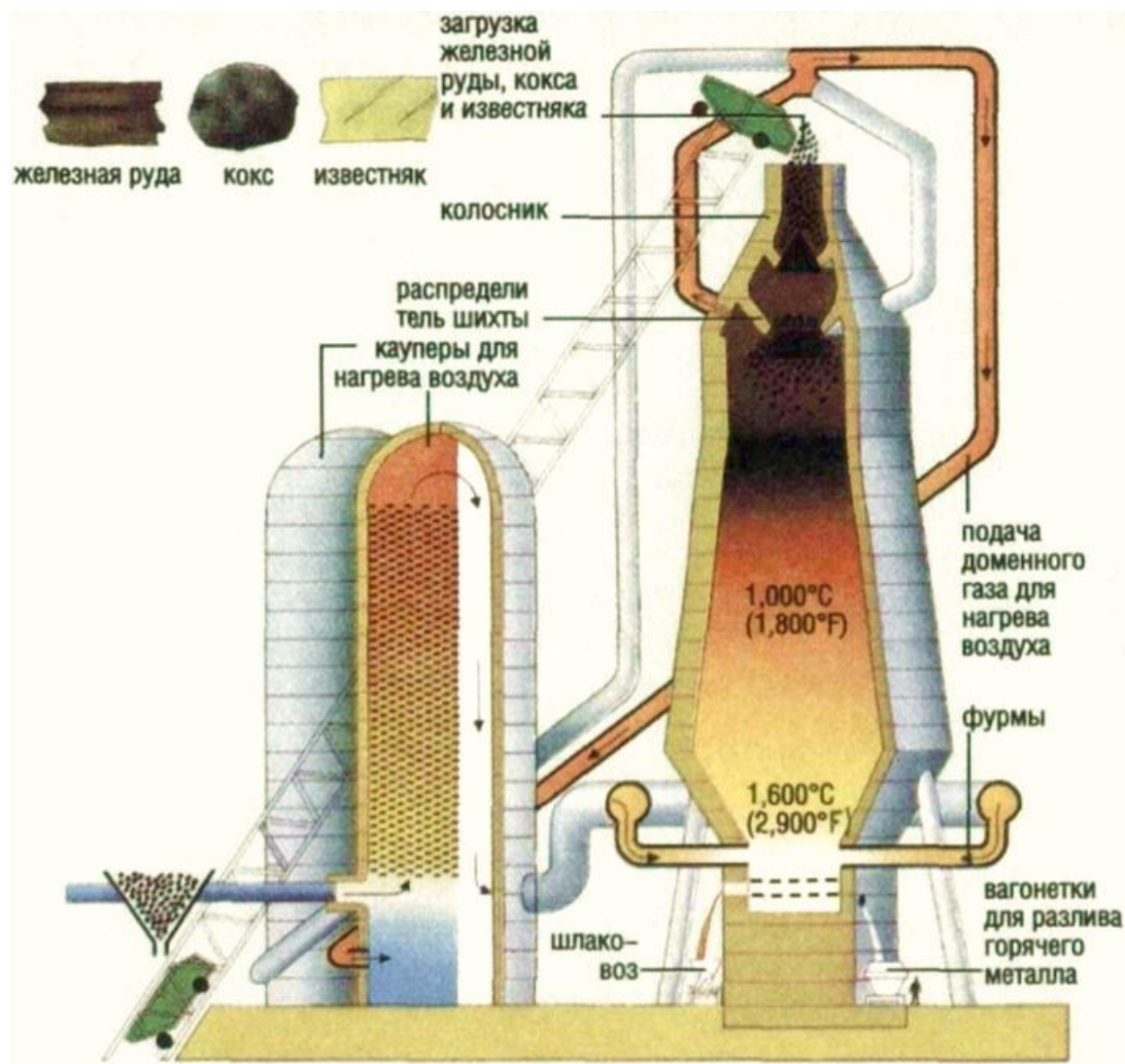


Рис.2.24. Схема производства магния

Основным сырьём для получения магния является **карналлит, магнезит, доломит, бишофит.**

Производство магния включает в себя:

- получение чистых безводных солей магния (хлористого магния $MgCl_2$);
- электролиз этих солей в расплавленном состоянии, получение черного магния в котором содержится 5% примесей;
- рафинирование черного магния, т.е. переплавляют его с флюсами при температуре $700...750^{\circ}C$ и перемешивают. Неметаллические примеси переходят в шлак. Затем печь охлаждают до температуры $670^{\circ}C$, и магний разливают в изложницы на чушки.

Производство титана.

Титан получают магниетермическим способом.

Производство титана включает в себя:

- обогащение титановых руд;
- выплавку из них титанового шлака с последующим получением из него четырёххлористого титана;
- восстановление из последнего металлического титана магнием.

Сырьём для получения титана являются **титаномагнетитовые руды**, из которых выделяют ильменитовый концентрат (TiO_2 , FeO , Fe_2O_3 и пустая порода). Название этот концентрат получил по наличию в нём минерала ильменита $\text{FeO} \dots \text{TiO}_2$.

Ильменитовый концентрат плавят в смеси с древесным углём, антрацитом, где оксиды железа и титана восстанавливаются. Полученный титановый шлак подвергают хлорированию в специальных печах. Далее полученный четырёххлористый титан смешивают с чушковым магнием в реакторах (рис.2.25) при температуре $950 - 1000^\circ\text{C}$ и происходит его восстановление. Получается пористая масса – губка.

Титановую губку плавят методом ВДП. Вакуум в печи предохраняет титан от окисления и способствует очистке его от примесей. Полученные слитки титана имеют дефекты, поэтому их вторично переплавляют, используя как расходимые электроды. В результате этого чистота титана составляет **99,6 – 99,7%**. После вторичного переплава слитки (рис.2.26) используют для обработки давлением. На рис.2.27 показано изделие полученное из титана.

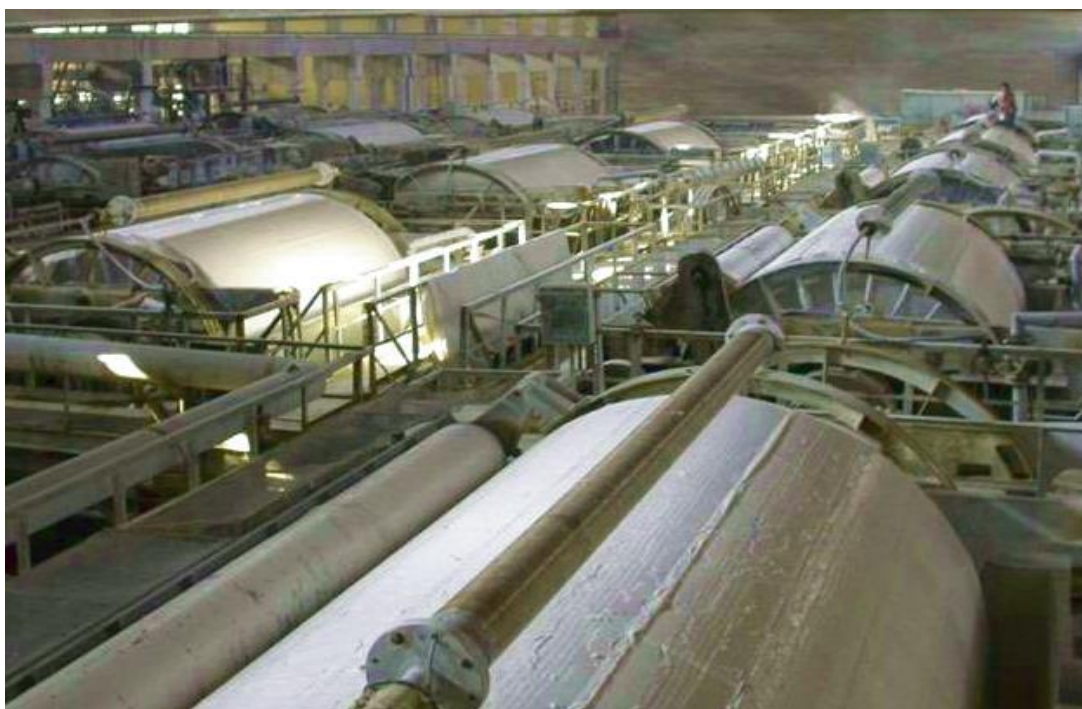


Рис.2.25. Реакторы для восстановления четырёххлористого титана

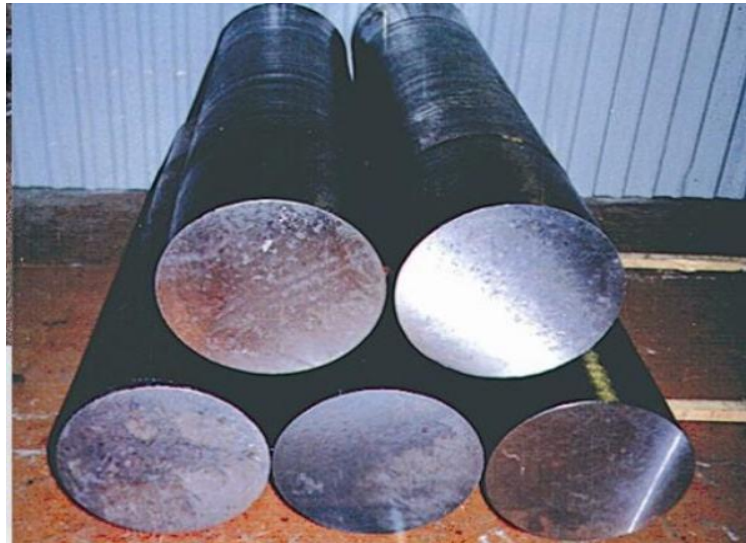


Рис.2.26. Титановые слитки



Рис.2.27 Изделие из титана

Контрольные вопросы

1. Что такое металлургическое производство?
2. Основная продукция чёрной металлургии?
3. Продукция цветной металлургии?
4. В каких печах выплавляют чугун?
5. Какая реакция происходит по мере продвижения шихты вниз по шахте печи?
6. Какие стали выплавляют в зависимости от степени раскисления?
7. В каких печах выплавляют сталь?
8. В чём преимущества и недостатки при выплавке стали в различных печах?
9. Назовите способы разливки стали; определите их преимущества и недостатки.

10. Перечислите основные способы, используемые при производстве меди, алюминия, магния, титана.

Глава 3. Технологические методы литейного производства

3.1. Основы литейного производства

Литейное производство – отрасль машиностроения, занимающаяся изготовлением заготовок или деталей путём заливки расплавленного металла в специальную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки (детали). Конечную продукцию называют **отливкой**.

Литьём получают разнообразные конструкции отливок массой от нескольких граммов до **300 т**, длиной от нескольких сантиметров до **20 м**, со стенками толщиной **0,5 – 500 мм** (блоки цилиндров, поршни, коленчатые валы, корпуса и крышки редукторов, зубчатые колёса, станины станков, турбинные лопатки и т.д. рис.3.1 и рис.3. 2).



Рис. 3.1. Отливки, полученные литьём



Рис.3.2. Отливка колокола весом 1,5 т.

На рис.3.3 и 3. 4 показана работа в литейном цехе и сам литейный цех.



Рис.3.3. Работа в литейном цехе



Рис.3.4. Литейный цех

Для изготовления отливок применяют множество способов литья:

- в песчаные формы;
- по выплавляемым моделям;
- в кокиль;
- под давлением;
- центробежное литьё и т.д.

Область применения того или иного способа литья определяется объёмом производства, требованиями к геометрической точности шероховатости поверхности отливки, экономической целесообразностью и другими факторами.

Классификация литых заготовок.

По условиям эксплуатации независимо от способа изготовления различают отливки:

- **группа общего назначения** – для деталей, не рассчитываемых на прочность. Конфигурация и размеры их определяются только конструктивными технологическими соображениями;
- **группа ответственного назначения** составляет отливки для изготовления деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках;
- **группа отливок особо ответственного назначения** использует для изготовления деталей, рассчитываемых на прочность и работающих при циклических и динамических нагрузках.

В зависимости от способа изготовления, массы, конфигурации поверхностей, максимальных габаритных размеров, толщины стенок, число стержней, назначений и особых технических требований отливки делят на **шесть групп сложности**.

В зависимости от способа изготовления отливок, их габаритных размеров и типа сплава ГОСТ 26645-85 устанавливает **22 класса точности**.

Литьё в песчаные формы и центробежное литьё – **6 – 14-го** класса точности.

Литьё в оболочки и кокили – **4 – 11-го** класса точности.

В формы по выплавляемым моделям – **3 – 8-го** класса точности.

Литьё под давлением – **3 – 7-го** класса точности.

Элементы литейной формы.

Литейная форма – это система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка рис.3.5, а. Заливка металла в готовые литейные формы рис.3.5, б.

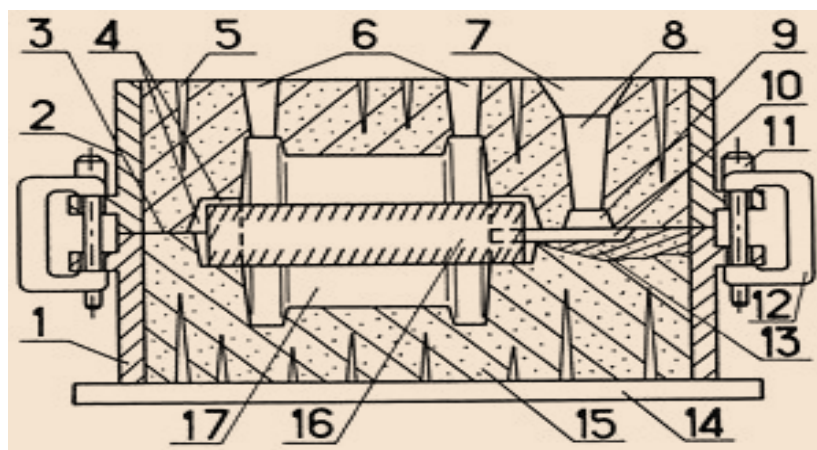


Рис.3.5, а. Литейная форма в сборе:

1- нижняя литейная опока; 2 – верхняя литейная опока; 3 – разъем; 4 – формовочные уклоны; 5 – вентиляционные каналы; 6 – выпор; 7 – литниковая чаша; 8 – вертикальный канал (стояк); 9 – шлакоуловитель; 10 – питатель; 11 – штыри; 12 – ручки опок; 13 – зона крепления питателей; 14 – модельная плита; 15 – формовочная смесь; 16 – литейный стержень; 17 – полость формы



Рис.3.5, б. Заливка металла в формы

Основные требования к литейным формам: прочность, огнеупорность, высокая газопроницаемость, податливость.

Литейные сплавы. Для изготовления отливок используют специальные литейные сплавы, которые должны обладать высокими литейными, механическими и эксплуатационными свойствами; по возможности состав сплава должен содержать минимальное количество дорогостоящих компонентов; свойства и структура сплава не должны изменяться в процессе эксплуатации готовой детали и т.д.

В промышленной классификации литейные сплавы делятся на **чёрные и цветные**. К чёрным сплавам относят, **стали и чугуны**, цветные делятся на **тяжёлые** – плотностью более 5000кг/м^3 (медные, цинковые, никелевые и др.) и **лёгкие** – плотностью менее 5000кг/м^3 (литейные, магниевые, титановые, алюминиевые).

Литейные свойства сплавов. Наиболее важные технологические литейные свойства – **жидкотекучесть, усадка** (объёмная и линейная), **склонность сплава к ликвации, образованию горячих и холодных трещин, поглощению газов образованию газовой и усадочной пористости.**

Жидкотекучесть сплава зависит от его природы (химического состава) и физических свойств (вязкости и поверхностного натяжения).

Наибольшей жидкотекучестью обладают чистые металлы и сплавы эвтектического состава, а также сплавы с узким интервалом кристаллизации ($\Delta t < 30^\circ\text{C}$). Например, высокая жидкотекучесть – силумины, серый чугун. Низкая – магниевые сплавы и сталь.

Жидкотекучесть сплавов определяют путём заливки специальных технологических проб. Наибольшее распространение получила спиральная технологическая проба (рис.3.6). Расплавленный металл заливают в чашу, отверстие в которой закрыто графитовой пробкой. После подъёма пробки металл плавно заполняет спираль. За меру жидкотекучести принимают длину заполненной части спирали, измеряемую в миллиметрах.

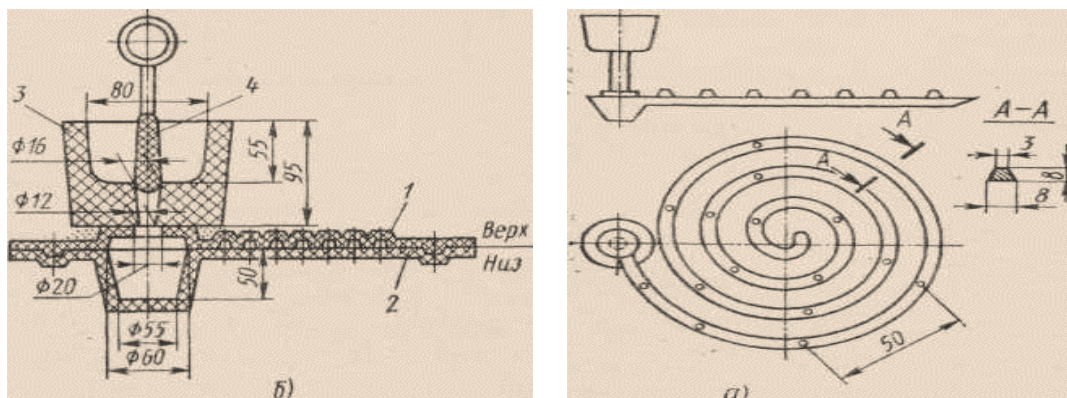


Рис.3.6. Спиральная проба (а) и литейная форма (б) для определения жидкотекучести сплавов:

1, 2 – нижняя и верхняя полуформы; 3 – заливочная чаша; 4 – графитовая пробка

Жидкотекучесть сплавов определяют путём заливки специальных технологических проб. Наибольшее распространение получила спиральная технологическая проба (рис.3.6). Расплавленный металл заливают в чашу, отверстие в которой закрыто графитовой пробкой. После подъёма пробки металл плавно заполняет спираль. За меру жидкотекучести принимают длину заполненной части спирали, измеряемую в миллиметрах.

Усадка – свойства литейных сплавов уменьшать объём при затвердевании и охлаждении. Усадочные процессы в отливках протекают с момента заливки расплавленного металла в литейную форму вплоть до полного охлаждения отливки. Различают объёмную и линейную усадку.

Линейная усадка – уменьшение линейных размеров отливки при её охлаждении от температуры, при которой образуется прочная корка, способная противостоять давлению расплавленного металла, до температуры окружающей среды.

На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава в форме, конструкция отливки и литейной формы.

Объёмная усадка – уменьшение объёма сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Объёмная усадка приблизительно равна утроенной линейной усадке.

Усадка в отливках проявляется в виде **усадочных раковин, пористости, трещин и короблений**.

Усадочная раковина – дефект в виде скрытой или открытой полости. Усадочные раковины сравнительно крупные полости, расположенные в местах отливки, затвердевающих последними (рис.3.7, а). Сначала около стенок литейной формы образуется корка 1 твёрдого металла. Уровень металла в незатвердевшей части отливки понижается до уровня, а – а. На корке 1 нарастает новый твёрдый слой 2, а уровень жидкости опять понижается до уровня б – б. Снижение уровня расплава при затвердевании приводит к образованию сосредоточенной усадочной раковины 3.

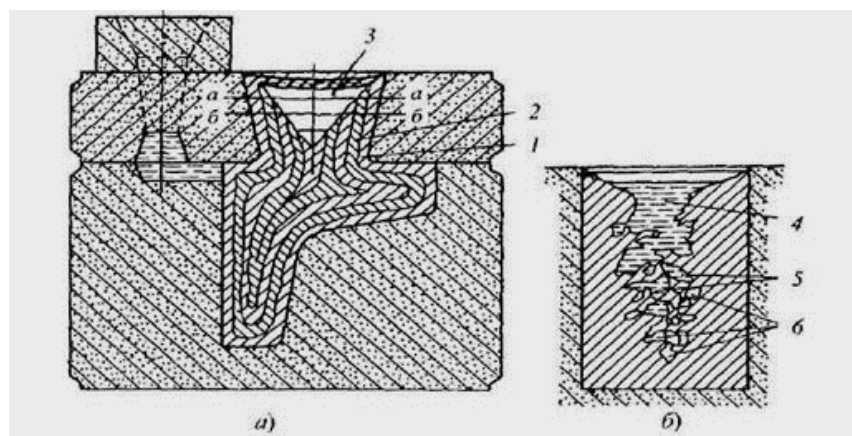


Рис.3.7. Схема образования усадочной раковины (а) и усадочной пористости (б)

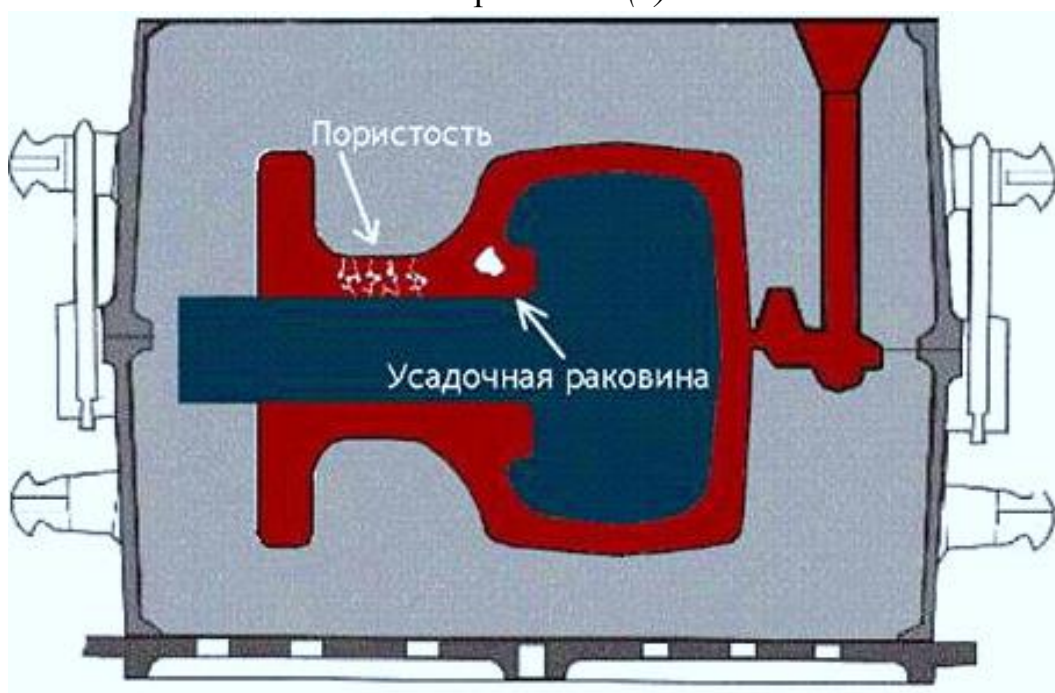


Рис.3.8. Дефекты в отливке

Усадочная пористость – дефект, представляющий собой мелкие поры (рис.3.7, б и рис.3.8). Вблизи температуры солидуса кристаллы срастаются друг с другом. Это приводит к разобщению ячеек 2, заключающих в себе остатки жидкой фазы 3. Затвердевание небольшого объема металла в такой ячейке происходит без доступа к ней питающего расплава из соседних ячеек. В результате усадки в каждой ячейке получается небольшая усадочная раковина 1. Множество таких межзёренных микроусадочных раковин образует пористость, которая располагается по границе зёрен металла.

Вероятность формирования усадочных раковин или усадочной пористости главным образом зависит от температурного интервала кристаллизации сплавов.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Она возникает в процессе затвердевания отливки из-за

различной растворимости отдельных компонентов сплава в твёрдой и жидкой фазах. Например, в сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор, кислород и углерод.

Ликвация вызывает неоднородность механических свойств в различных частях отливки. Различают дендритную и зональную ликвацию.

Горячие трещины – дефект в виде разрыва или надрыва усадочного происхождения, возникающего в теле отливки в температурном интервале хрупкости, когда имеются жидкие фазы по границам кристаллов (рис.3.9).

Склонность к горячим трещинам зависит от природы сплава и состояния расплава перед заливкой. Наличие в расплаве примесей и неметаллических включений, расширяющих температурный интервал кристаллизации сплава, приводит к большой вероятности возникновения горячих трещин. Такими примесями являются газы (водород, азот, кислород), оксиды, нитриды, а также сера и др. увеличение зерна металлической матрицы усугубляет вероятность образования горячих трещин. Это наблюдается при значительном перегреве металла перед заливкой.

Термические напряжения в отливке появляются из-за неравномерности распределения температур по толщине стенок отливки или между отдельными её частями.

Характер термических напряжений различен: в массивных частях отливки имеют места растягивающие напряжения, в более тонких – сжимающие.

Фазовые напряжения возникают в отливках вследствие выделения или исчезновения различных фаз или структур составляющих, имеющих удельный объём, отличающийся от удельного объёма основной матрицы.

Холодные трещины возникают, когда отливки будут находиться в области упругих деформаций, при температурах значительно ниже температуры солидуса. Холодные трещины чаще всего образуются в тонкостенных отливках сложной конфигурации.

Опасность появления холодных трещин возрастает при наличии в сплаве вредных примесей. С повышением упругих свойств сплава и его усадки при пониженных температурах вероятность образования холодных трещин увеличивается.

Для предупреждения образования в отливках холодных трещин необходимо:

- обеспечивать равномерное охлаждение во всех сечениях использовать холодильники или малотеплопроводные смеси;
- проводить отжиг отливок;
- применять сплавы с повышенной пластичностью при изготовлении сложных отливок и т.д.

Коробление – изменение формы и размеров отливки под влиянием литейных напряжений.

Вероятность коробления возрастает при увеличении протяжённости отливки, усложнении её конфигурации, уменьшения толщины её стенок. Коробление может вызываться неправильным охлаждением отдельных частей отливки, сопротивлением усадки отдельных частей отливки со стороны литейной формы или же самой отливки. Для предупреждения коробления в отливке нужны мероприятия, которые применяются для предупреждения холодных трещин, следует предусматривать рёбра жёсткости в конструкционных тонкостенных литых деталях, увеличивать податливость формы, создавать рациональную конструкцию отливки и т. д.

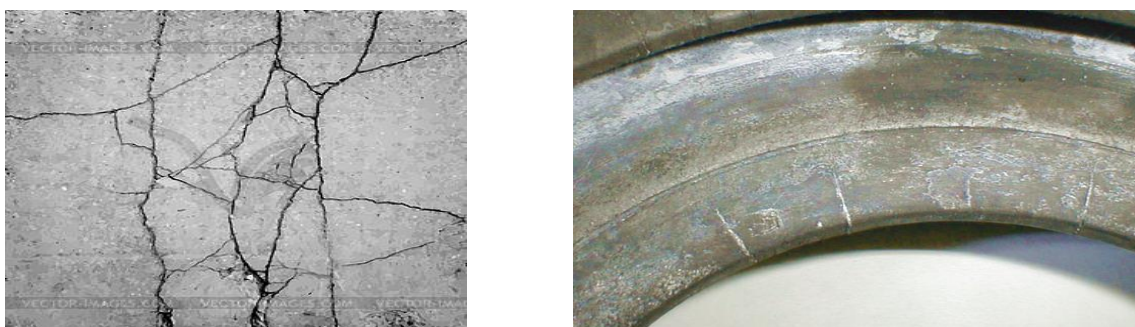


Рис. 3.9. Трещины в отливке

Изготовление отливок в песчаных формах.

Литьё в песчаные формы в настоящее время является универсальным и самым распространённым способом изготовления отливок. Этим способом изготавливают разнообразные по сложности отливки любых масс и размеров из сталей, чугунов и сплавов цветных металлов.

Сущность литья в песчаные формы заключается в изготовлении отливок свободной заливкой расплавленного металла в разовую разъёмную и толстостенную литейную форму, изготовленную из формовочной смеси по многократно используемым модельным комплектам (деревянным или металлическим), с последующим затвердеванием залитого металла, охлаждением отливки в форме, извлечением её из формы с последующей отделкой (рис.3.10).



Рис.3. 10. Литьё в песчаные формы

Для изготовления литейных форм используется модельный комплект, формовочные и стержневые смеси и другие материалы и оборудование.

Модельный комплект – это совокупность технологической оснастки и приспособлений, необходимых для образования в форме полости, соответствующей контурам отливки. В модельный комплект включают модели, модельные плиты, стержневые ящики и другие приспособления (рис.3. 11; рис.3. 12).

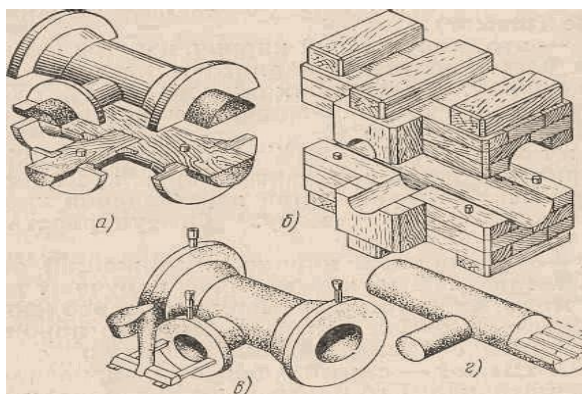


Рис.3. 11. Детали модельного комплекта:
а – литейная модель; б – стержневой ящик; в – отливка; г – литейный стержень

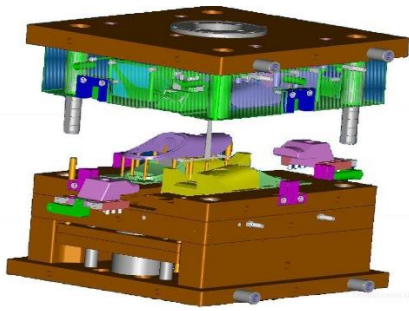
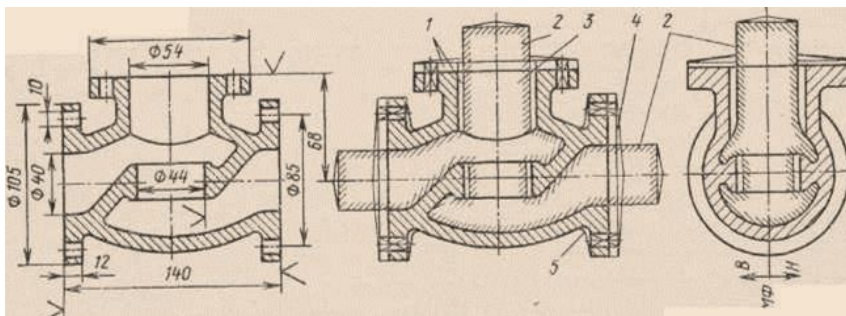


Рис.3. 12. Модельный комплект

Чертёж детали. Исходным документом для разработки чертежа модельно-литейных указаний является чертёж детали (рис.3.13), на котором указаны разъем модели и формы, положение отливки в форме при заливке, припуски на механическую обработку, формовочные уклоны, число стержней, размеры стержневых знаков, границы стержней и т.п.



а)

б)

Рис.3.13. Чертежи детали (а) и литейно-модельных указаний (б) для корпуса вентилятора:

1 – припуск; 2 – припуск на обработку; 3 – стержень; 4 – формовочные уклоны; 5 – галтели

Формовочные материалы – это совокупность природных и искусственных материалов, используемых для приготовления формовочных и стержневых смесей.

В качестве исходных материалов используют формовочные кварцевые пески и литейные формовочные глины. Глины обладают связующей способностью и термической устойчивостью, что позволяет получать отливки без пригара.

Стержневая смесь – это многокомпонентная смесь формовочных материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных стержней.

Стержни при заливке расплавленного металла значительные тепловые и механические воздействия по сравнению с формой, поэтому стержневые смеси должны отличаться более высокими огнеупорностью, малой газоотводной способностью, легко выбиваться из отливок и т.д.

Литниковая система (рис.3.14; 3.15 и 3.16) – это система каналов, через которые расплавленный металл подводят в полость формы. Литниковая система должна обеспечивать заполнение литейной формы с необходимой

скоростью, задержание шлака и других неметаллических включений, выход паров и газов из полости формы, непрерывную подачу расплавленного металла к затвердевающей отливке.

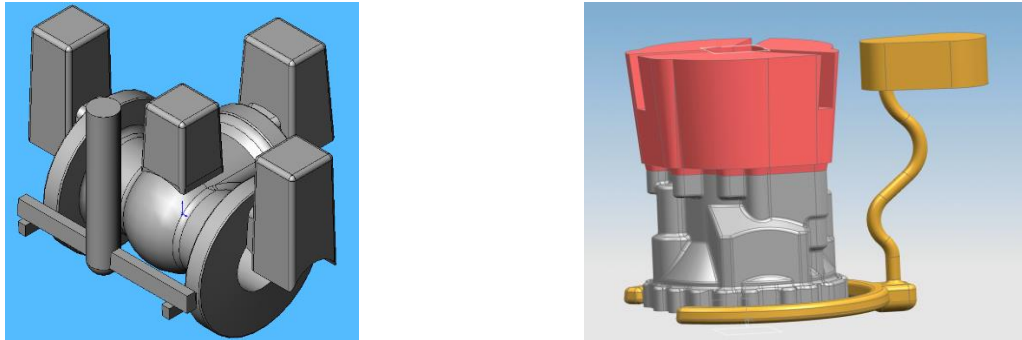


Рис.3.14. Модель отливки с литниковой системой

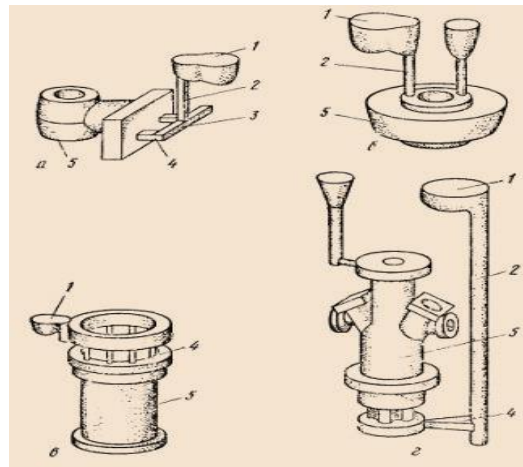


Рис.3.15. Конструкции литниковых систем:

а – горизонтальная; б – верхняя упрощенная; в – дождевая; г – сифонная; 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель; 5 - отливки

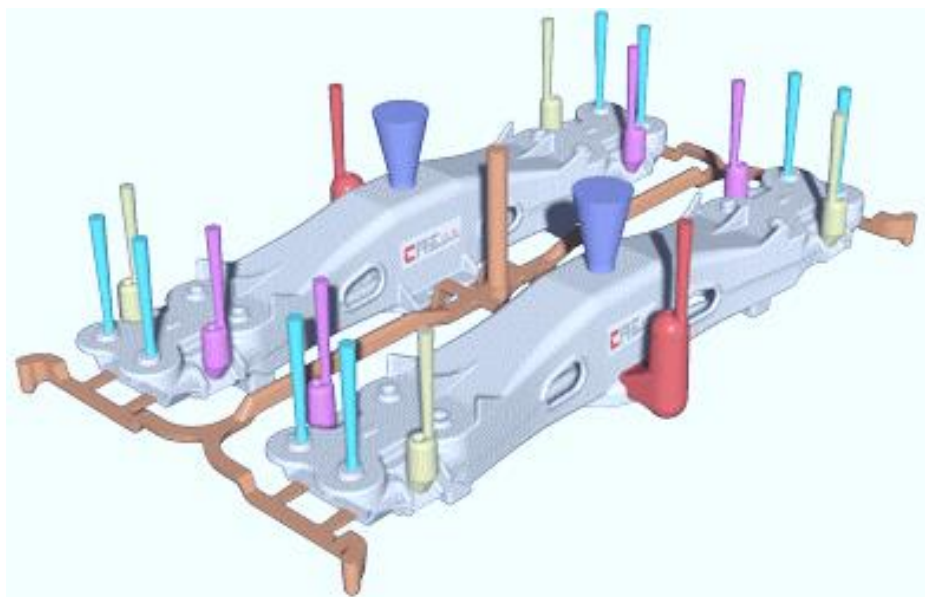


Рис.3.16. Литниковая система для отливки (балка под рессорная)

Изготовление литейных форм. Основные операции изготовления форм (формовки):

- уплотнение формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности;
- устройство вентиляционных каналов для вывода газов из полости формы, образующихся при заливке;
- извлечение моделей отливки и литниковой системы из формы;
- отделка и сборка форм.

Технологический процесс получения отливок. Сборка литейной формы – процесс установки, соединения и закрепления между собой стержней и различных частей литейной формы.

Заливка литейных форм – процесс заполнения полости литейной формы расплавленным металлом из ковшей. Температуру заливки назначают с учётом технологических свойств сплава (жидкотекучесть усадка и др.) и конструктивных особенностей отливки (габаритные размеры, толщина стенок, сложность её конструкции и т.д.).

Охлаждение отливки в литейных формах после заливки продолжается до температуры выбивки.

Выбивка отливки – процесс удаления затвердевших и охлаждённых до определённой температуры отливок из литейной формы, при этом литейная форма разрушается.

Обрубка отливки – процесс удаления с отливки прибылей, литников, выпоров и заливок по месту сопряжения полуформ.

Очистка отливок – процесс удаления пригара, остатков формовочной и стержневой смесей с наружных и внутренних поверхностей отливок. Её осуществляют в галтовочных барабанах периодического или непрерывного действия, в гидropескоструйных и дробемётных камерах, химической и электрохимической обработкой и другими способами (рис.3.17; рис.3.18).

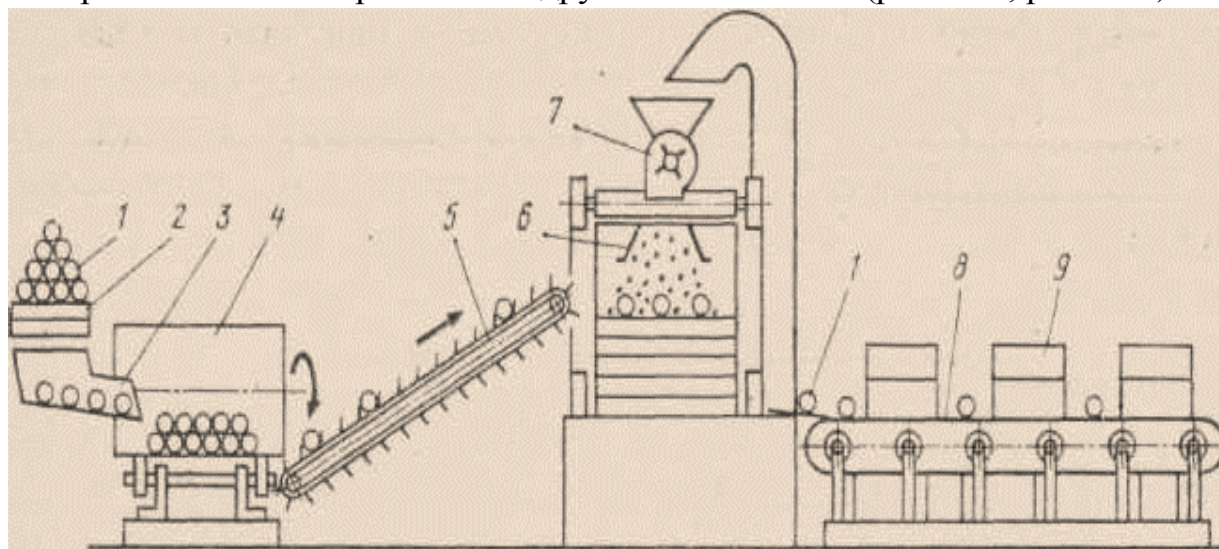


Рис.3.17. Схема поточной линии для зачистки отливок



Рис.3.18. Поточная линия для зачистки отливок

Термическую обработку отливок проводят для снижения литейных напряжений и твёрдости, устранения ликвационных зон, улучшения обрабатываемости, повышения механических свойств и др.

Определённый вид термической обработки назначают, учитывая род сплава, из которого изготовлена отливка, конкретные условия её производства, требования, предъявляемые к отливке, и др.

3.2. Способы литья

Способ литья в оболочковые формы основан на получении разовых полуформ и стержней в виде оболочек толщиной 6 – 10 мм.

Их изготавливают путем отверждения на металлической оснастке слоя смеси, в которой связующее вещество при нагреве вначале расплавляется, а затем затвердевает (необратимо), придавая оболочке высокую прочность. Технология литья в оболочковые формы включает ряд операций, выполнение которых при литье данным способом имеет ярко выраженные особенности.

К ним относятся: приготовление специальной песчано-смоляной смеси; формирование на модельной оснастке тонкостенных оболочковых форм и стержней; сборка форм и их подготовка к заливке.

Для приготовления оболочковых форм выпускают специальное связующее, представляющее собой смеси фенолформальдегидной смолы с катализатором отверждения смолы, вводимым в количестве 7 – 8%.

Предварительное формирование оболочки наиболее часто производят, используя поворотный бункер 1, в который засыпают песчано-смоляную смесь 2 (рис.3.19, а). На верхнюю часть бункера, снабженную кольцевым каналом 3 для подачи охлаждающей воды, устанавливают моделями вниз и закрепляют нагретую до 200 – 240°С металлическую модельную плиту 4. На ней закреплена с помощью четырех направляющих колонок 5 плита 6 толкателей 7. Толкатели, равномерно распределенные по всей плите, выходят на рабочую поверхность, как модели, так и модельной плиты. Их фиксируют специальными хвостовиками в гнездах плиты 6 и закрепляют в ней прижимной плитой 8. Модельная плита с выталкивающим устройством помещена в корпус 9. Для фиксации плиты толкателей в исходном положении на направляющих колоннах 5 установлены пружины 10.

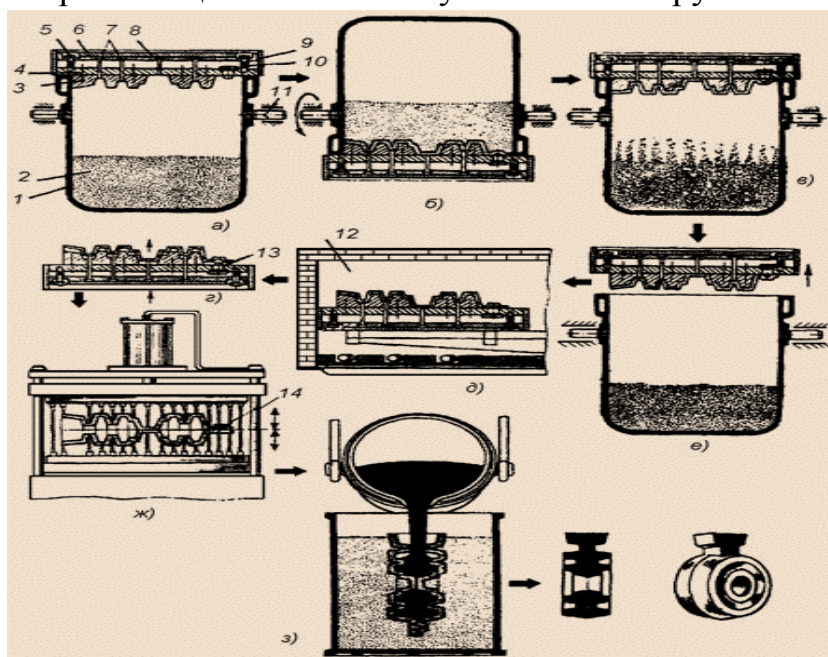


Рис.3.19. Технология литья в оболочковые формы

Для предварительного формирования оболочки бункер 1, снабженный цапфами 11 и поворотным механизмом, поворачивают на 180° и формовочный материал падает на горячую модельную плиту (рис.3.19, б), уплотняясь под действием гравитационных сил. В прилегающем к плите слое смеси смола плавится (при температуре 95 – 115 °С), смачивая зерна песка, а затем начинает полимеризоваться, загустевая и отверждаясь по мере прогрева до более высокой температуры. За 30 – 40 с выдержки смола успевает расплавиться в слое толщиной около 10 мм.

Слой остается на модельной плите после поворота бункера в исходное положение (рис.3.19, в) и сброса на дно бункера не прореагировавшей, сохранившей свои начальные свойства и пригодной для последующего использования части смеси.

Теперь модельную плиту со сформированной оболочковой полуформой снимают с бункера (рис.3.19, г) и подают в печь 12 (рис.3.19, д), где при температуре 300 – 400 °С за 90 – 20 с заканчивается полимеризация, и смола приобретает высокую технологическую прочность. Затем готовую оболочковую полуформу снимают с модельной плиты (рис.3.19, е) и соединяют с другой полуформой (например, склеиванием) на специальном пневмопрессе (рис.3.19, ж). Для исключения прорыва расплава, формы с вертикальным разъемом обычно заформовывают (рис.3.19, з) в опорный наполнитель (песок, дробь и т.п.). Формы небольшой высоты с горизонтальным разъемом в большинстве случаев не заформовывают и заливают на поддонах с песчаной постелью. В оболочковые формы получают отливки практически из любых промышленных сплавов массой до 200- 300 кг.

Преимущества литья в оболочковые формы по сравнению с литьем в песчано-глинистые разовые формы заключаются в следующем:

- уменьшение параметров шероховатости поверхности и существенное улучшение внешнего товарного вида отливок;
- возможность получения отливок с тонким и сложным рельефом, а также толстостенных отливок с литыми каналами малых сечений;
- уменьшение трудоемкости ряда операций технологического процесса (приготовление смеси, изготовление формы, очистка отливок и пр.);
- сокращение в 8...10 раз и более объема переработки и транспортирования формовочных материалов;
- уменьшение металлоемкости формовочного оборудования.

Кроме того, для литья в оболочковые формы характерна меньшая жесткость с оболочки, что следует рассматривать как достоинство метода в сравнении методами литья в кокиль.

Основные недостатки метода литья в оболочковые формы:

- относительно высокая стоимость смоляного связующего;
- сложность модельной и стержневой оснастки;
- повышенное выделение вредных химических веществ в ходе термического разложения смоляного связующего;
- недостаточная прочность оболочек при получении тяжелых отливок;
- склонность к появлению некоторых специфических видов дефектов, сопровождающих низкую газопроницаемость литейной формы.

Литьё по выплавляемым моделям. Сущность литья по выплавляемым моделям сводится к изготовлению отливок заливкой расплавленного металла в разовую тонкостенную неразъёмную литейную форму, изготовленную из жидкоподвижной огнеупорной суспензии по моделям разового использования (разовые выплавляемые модели изготавливают из легко плавких компонентов - парафин, жирные кислоты и

др.) с последующим затвердеванием залитого металла, охлаждением отливки в форме и извлечение её из формы (рис.3. 20).

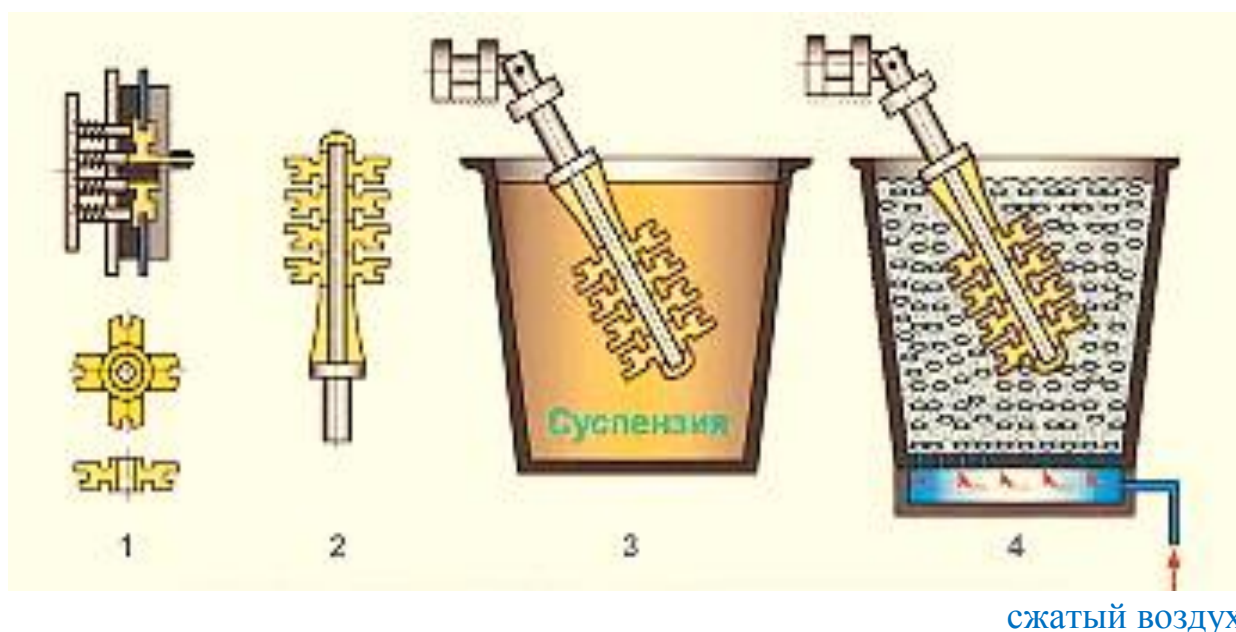


Рис.3.20. Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям:

1 – изготовление моделей в пресс-форме; 2 – сбор моделей в модельный блок на металлический стоек; 3 – нанесение на модельный блок огнеупорной суспензии; 4 - обсыпка слоя суспензии зернистым материалом в кипящем слое

Отличительными особенностями литья по выплавляемым моделям являются низкая теплопроводность и высокая начальная температура формы, что значительно снижает скорость отвода теплоты от *залитого* металла и способствует улучшению наполняемости полости формы, но одновременно приводит к укрупнению кристаллического строения и к появлению усадочных раковин и пористости в стенках толщиной 6 – 8 мм.

Керамическая суспензия позволяет точно воспроизвести контуры модели, а образование неразъемной литейной формы с малой шероховатостью поверхности способствует получению отливок с высокой точностью геометрических размеров и тоже с малой шероховатостью поверхности, что значительно снижает объем механической обработки отливок. Припуск на механическую обработку составляет 0,2 – 0,7 мм.

Заливка расплавленного металла в горячие формы позволяет получать сложные по конфигурации отливки с толщиной стенки 1 – 3 мм и массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов из жаропрочных труднообрабатываемых сплавов (турбинные лопатки), коррозионностойких сталей (колёса для насосов), углеродистых сталей в массовом производстве (в авто - и приборостроении, других отраслях машиностроения) рис.3.21; рис.3. 22.



Рис.3.21. Отливки, полученные методом литья по выплавляемым моделям



Рис.3.22. Цех литья по выплавляемым моделям

Литьё в кокиль. Сущность кокильного литья заключается в изготовлении отливок заливкой расплавленного металла в многократно используемые металлические литейные формы – **кокили** с последующим затвердеванием залитого металла, охлаждением отливки и извлечением её из полости формы (рис.3. 23).

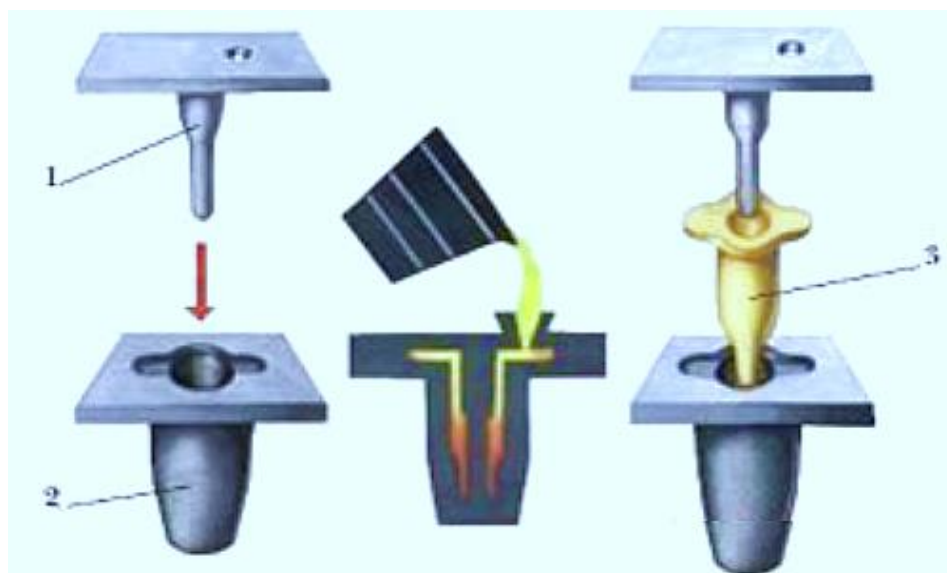


Рис.3.23. Литьё в металлический кокиль:

1 – стержень; 2 – кокиль; 3 - отливка

Отличительные особенности литья в кокиль состоит в том, что формирование отливки происходит в условиях интенсивного теплового взаимодействия с литейной формой, т. е. залитый металл и затвердевающая отливка охлаждаются в кокиле с большой скоростью, чем в песчаной форме; кокиль практически не податлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что затрудняет извлечение её из кокиля, а также может приводить к короблению и трещинам в отливках; физико-химическое взаимодействие отливки и кокиля минимально, что способствует повышению качества поверхностного слоя отливки.

Кокили – металлические формы – изготавливают литьём, механической обработкой и другими методами из серого чугуна (СЧ 15, СЧ 20 и др.), стали (10Л, 15Л, 20Л и др.) и других материалов. Стержни и различные вставки выполняют из легированных сталей (30ХГС, 35ХГСА и др.) так как элементы кокиля работают в условиях воздействия высоких температур и механических нагрузок.

Все операции технологического литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Кокильное литьё применяют в массовом и серийном производствах для получения отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенок 3 – 100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов (рис.3.24).

При литье в кокиль сокращается расход формовочной и стержневой смесей. затвердевание отливок происходит в условиях интенсивного отвода тепла из залитого металла, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных посредством песчаных форм.

Отливки, изготовленные литьём в кокиль, отличаются высокой геометрической точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, что снижает припуски на механическую обработку вдвое по сравнению с литьём в песчаные формы. Этот способ литья высокопроизводителен.

Недостатки кокильного литья – высокая трудоёмкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

Центробежное литьё. При центробежном литье сплав заливают во вращающиеся формы; формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокие плотность и механические свойства отливки (рис.3. 25).

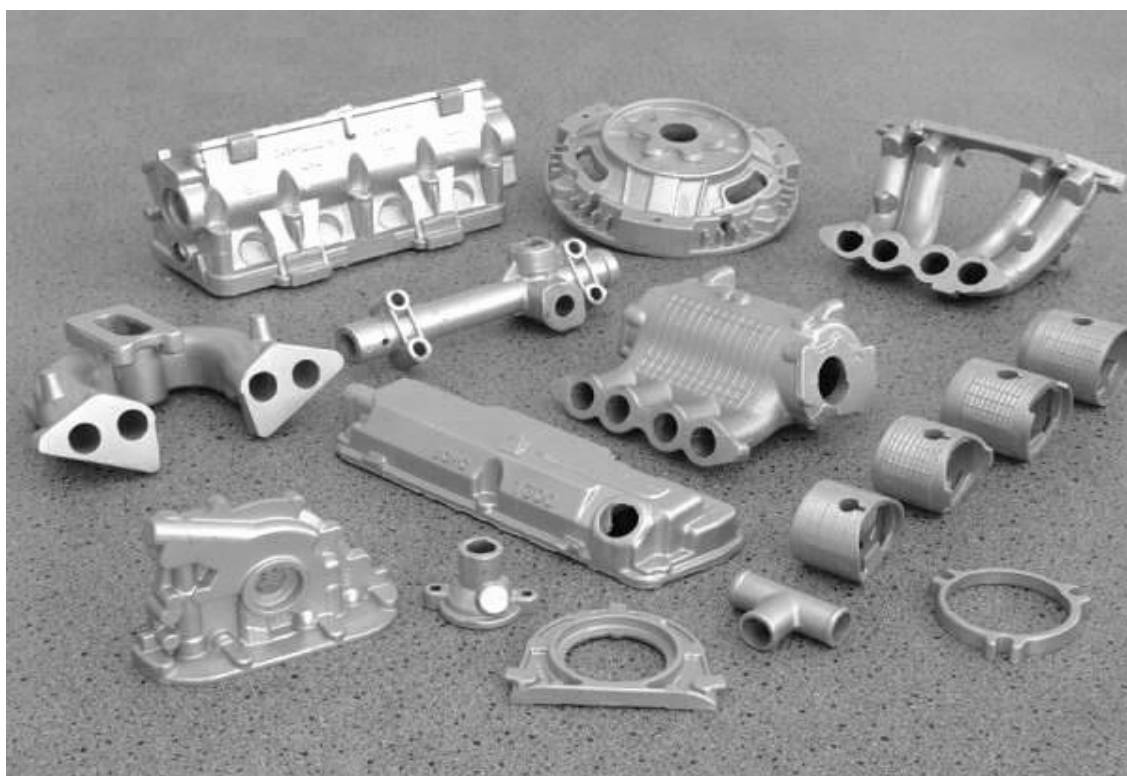
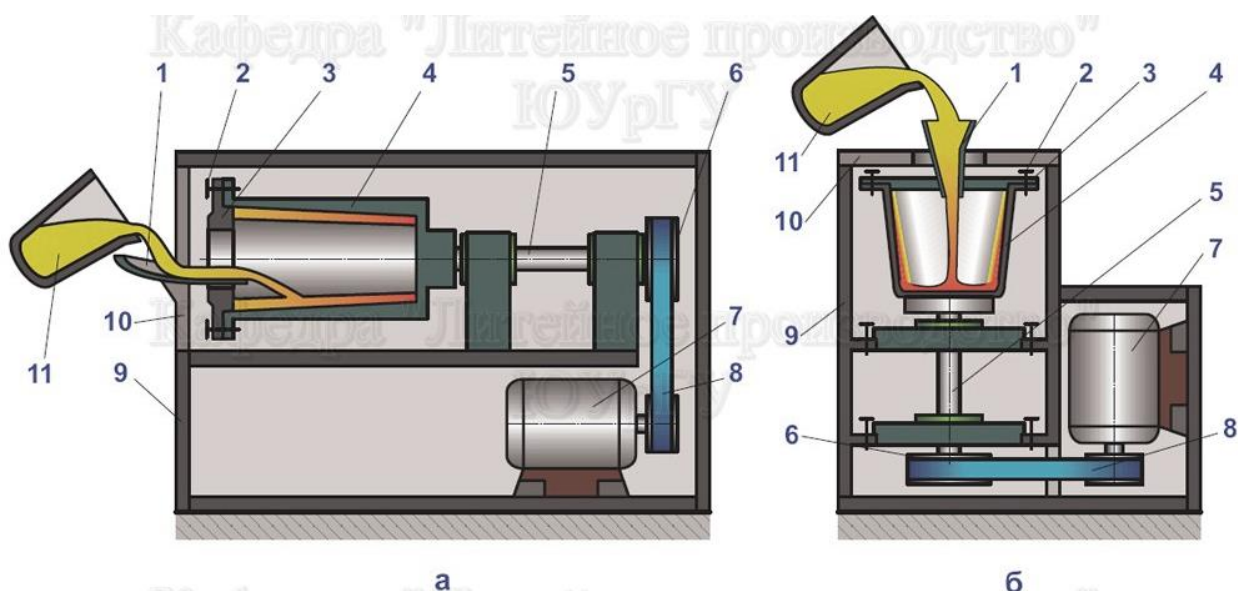


Рис.3.24. Отливки, полученные литьём в кокиль



а - с горизонтальной осью вращения; б - с вертикальной осью вращения.
 1 - желоб; 2 - зажимы; 3 - крышка; 4 - изложница; 5 - вал; 6 - шкив; 7 - двигатель;
 8 - клиноременная передача; 9 - корпус установки; 10 - дверца; 11 - тигель с расплавом.

Рис.3.25 Схема установки для центробежного литья

Центробежным литьём отливки изготовляют в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной или вертикальной осью вращения.

Металлические формы – изложницы изготовляют из чугуна и стали. Толщина изложницы обычно в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы с наружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед началом работы изложницы подогревают до температуры 200°С.

Преимущества центробежного литья – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней; большая экономия сплава за счёт отсутствия литниковой системы; возможность получения двухслойных заготовок, что достигается поочерёдной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т.д.).

Литьё под давлением. Сущность литья под давлением заключается в изготовлении отливок в металлических формах (**пресс-формах**) заполнением расплавом под действием внешних сил. Затвердевание отливки протекает под избыточным давлением или при охлаждении водой. После охлаждения отливку извлекают из пресс-формы (рис.3. 26; рис. 3.27).

На машинах с горизонтальной камерой прессования порцию расплавленного металла заливают в камеру прессования (рис.3.26, а), который плунжером 5 под давлением 40 – 100 МПа подаётся в полость пресс-

формы (рис.3.26, б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформы. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается (рис.3.26, в), извлекается стержень 2, и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

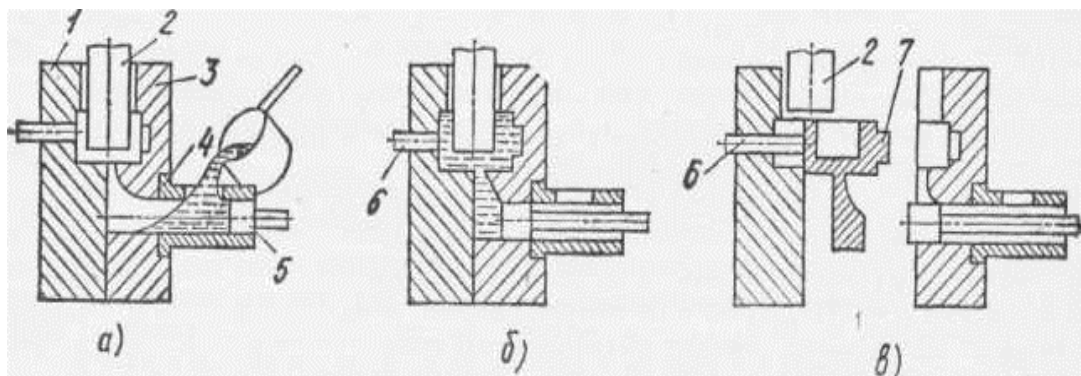


Рис.3. 26. Схема процесса изготовления отливок на машинах с горизонтально холодной камерой прессования



Рис.3. 27. Изделия, полученные методом литья под давлением

На рис.3.28, а показана одна из разновидностей способов **непрерывного литья** и получаемые различной формы отливки.

Процесс непрерывного литья осуществляется следующим образом. Расплавленный металл из металлоприёмника 1 через графитовую насадку 2 поступает в водоохлаждаемый кристаллизатор 3 и затвердевает в виде отливок 4, которая вытягивается специальным устройством 5. Длинные отливки разрезают на заготовки требуемой длины. Этим способом получают различные отливки (рис.3.28, б) с параллельными образующими из чугуна,

медных, алюминиевых и других сплавов. Отливки, полученные этим способом, не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости благодаря созданию направленного затвердевания сплава.

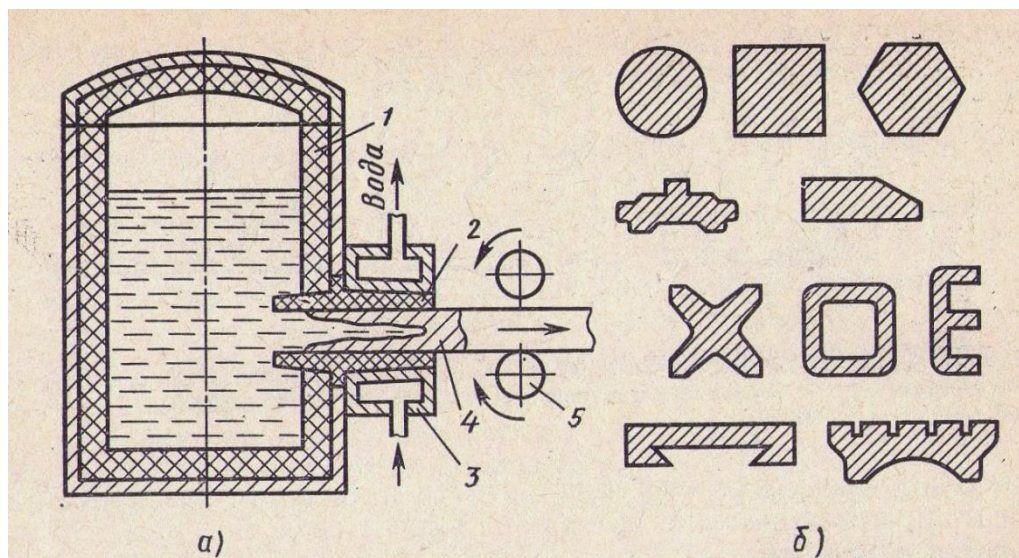


Рис.3.28. Схема горизонтального непрерывного литья (а) и образцы отливок (б)

Отличительные особенности литья под давлением:

- значительное давление на расплав (100 МПа и более) обеспечивает высокую скорость движения потока расплава в пресс-форме (0,5 – 120 м/с). Это позволяет получать отливки с толщиной стенки менее 1 мм;
- высокая скорость впуска расплава в полость пресс-формы не позволяет воздуху и продуктам разложения смазочного материала полностью удалиться из полости пресс-формы. Для этого используют вакуумирование полости пресс-формы или продувка камеры прессования и полости пресс-формы кислородом до полного удаления воздуха;
- высокая интенсивность теплового взаимодействия между расплавом, отливки и пресс-формой способствует изменению структуры в поверхностных слоях отливки, повышению её прочности и т.д.;
- для уменьшения усадочной пористости используется подпрессовка в конечный момент прессования, вследствие чего повышаются механические свойства материала отливок, и возрастает их герметичность;
- при литье под давлением температуру заливки сплава выбирают на 10 – 20°С выше температуры ликвидуса, а пресс-форму нагревают до температуры 120 – 320°С.

Литьё под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности благодаря точной обработке и тщательному полированию рабочей полости пресс-формы; без механической обработки или с минимальными припусками, что резко сокращает объём механической обработки отливок; с высокой производительностью процесса.

На рис.3.29 показана схема промышленной установки литья под низким давлением в металлическую форму.

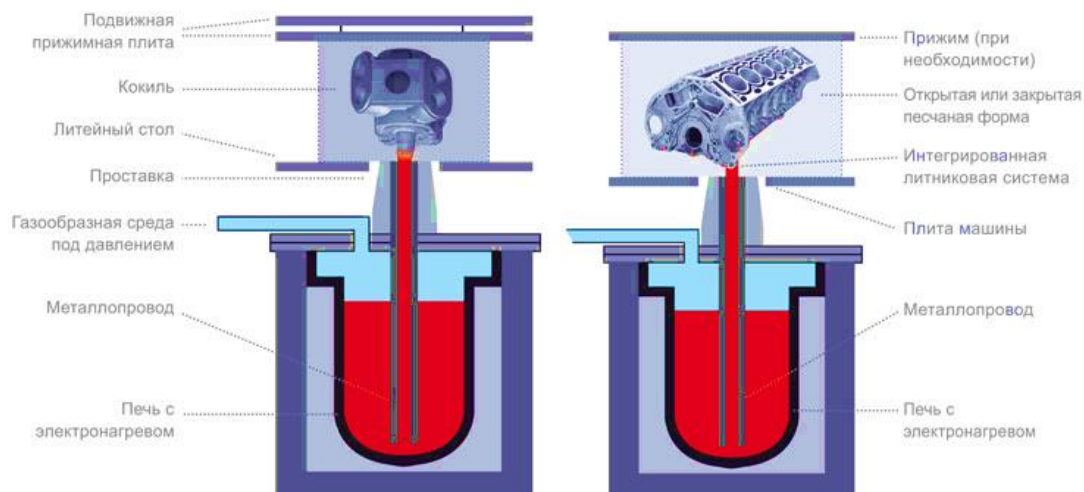


Рис. 3.29. Схема и установка для литья под низким давлением:

Недостатки литья под давлением – высокая стоимость пресс-форм и оборудования; ограниченность габаритных размеров и массы отливок; наличие воздушной пористости в массивных частях отливок, снижающей прочность деталей, и др.

В настоящее время имеются ещё ряд технологий получения отливок:

- литьё под регулируемым давлением (литьё под низким давлением, литьё с противодавлением, литьё вакуумным всасыванием и др.);
- электрошлаковое литьё. Этим способом получают отливки ответственного назначения массой до 300 т: корпуса клапанов и задвижек атомных и тепловых электростанций, коленчатые валы судовых дизелей, корпуса сосудов высокого давления, роторы турбогенераторов и др.

Выбор рационального способа изготовления отливок. Современные требования, предъявляемые к литым заготовкам деталей машин, характеризуются максимальным приближением отливок по форме и размерам к готовым деталям, экономией металла, применением прогрессивных методов литья.

Исходной информацией для выбора способа изготовления отливки являются чертёж детали и технические требования на неё; материал детали; программа выпуска; параметры, по которым осуществляется оптимизация способа получения литой детали, и т.д.

3.3. Литейные свойства сплавов

Изготовления отливок из серого чугуна (рис.3.30; рис.3.31). Серый чугун является наиболее распространённым материалом для изготовления различных отливок. Он обладает высоким пределом прочности (100...450 МПа), малым относительным удлинением (0,2...0,5%), повышенной твёрдостью (140...283 НВ), хорошо работает при сжимающих нагрузках, не чувствителен к внешним надразам, гасит вибрации, обладает высокими антифрикционными свойствами, легко обрабатывается резанием.

В настоящее время **90%** серого чугуна выплавляют в вагранках. Отливки из серого чугуна нашли широкое применение в станкостроении: станины станков, стойки, салазки, планшайбы, корпуса шпиндельных бабок и коробок передач, корпуса насосов, втулки, вкладыши. В автостроении: блоки цилиндров, гильзы, поршневые кольца, картеры, тормозные барабаны, крышки и др. В тяжёлом машиностроении: шестерни, блоки, шкивы и др. В электротехнической промышленности: станины электродвигателей, подшипниковые и фланцевые щиты и др.

Изготовление отливок из высокопрочного чугуна. Высокопрочный чугун обладает высоким пределом прочности (350 – 1000 МПа), твёрдостью (140 – 360 НВ), износостойкостью, хорошей коррозионной стойкостью, жаро- и хладостойкостью и т.д.

Отливки из высокопрочного чугуна в тяжёлом и энергетическом машиностроении, в металлургической промышленности при работе в условиях больших статических и динамических нагрузках.

Высокопрочный чугун перспективным литейным сплавом, который позволяет решать проблему снижения массы отливок при сохранении ими высоких эксплуатационных свойств.

Изготовление отливок из ковкого чугуна. Ковкий чугун получают путём длительного отжига (графитизационного) отливок из белого чугуна. Ковкий чугун обладает высокими пределом прочности (300 – 630 МПа), относительным удлинением (2 – 12 %) и твёрдостью (149 – 269 НВ); высокими износостойкостью и сопротивлением ударным нагрузкам, хорошо обрабатывается резанием.

Из ковкого чугуна изготавливают отливки массой от нескольких граммов до 250 кг с толщиной стенок 3 – 50 мм для автомобилестроения (ступицы колёс, кронштейны, рычаги, коробки дифференциалов, корпуса сцепления);

для сельскохозяйственного машиностроения (детали шасси, корпусные детали, рычаги, кронштейны) и для других отраслей.



Рис.3. 30. Изготовление отливок из серых чугунов



Рис. 3.31. Отливка чугунная

Изготовление стальных отливок (рис.3.32; рис.3.33). Для изготовления отливок используют углеродистые и легированные литейные стали (в конце марки буква Л). Они обладают высокими пределом прочности (400 – 600 МПа), относительным удлинением (10 – 24 %), ударной вязкостью, достаточной износостойкостью при ударных нагрузках. Основным элементом, определяющим механические свойства углеродистых литейных сталей – **углерод**. **Легировующие элементы** значительно повышают эксплуатационные свойства – жаропрочность, коррозионную стойкость, износостойкость и т.д., например, марганец повышает износостойкость, хром – жаростойкость и коррозионную стойкость и т.д.

Литейные стали имеют пониженную жидкотекучесть, высокую усадку (до 2,5%), склонны к образованию трещин. Для их плавки, как правило, используют дуговые и индукционные печи.

Стальные отливки получают массой от нескольких граммов до нескольких десятков тонн с толщиной стенки 0,8 – 300 мм.

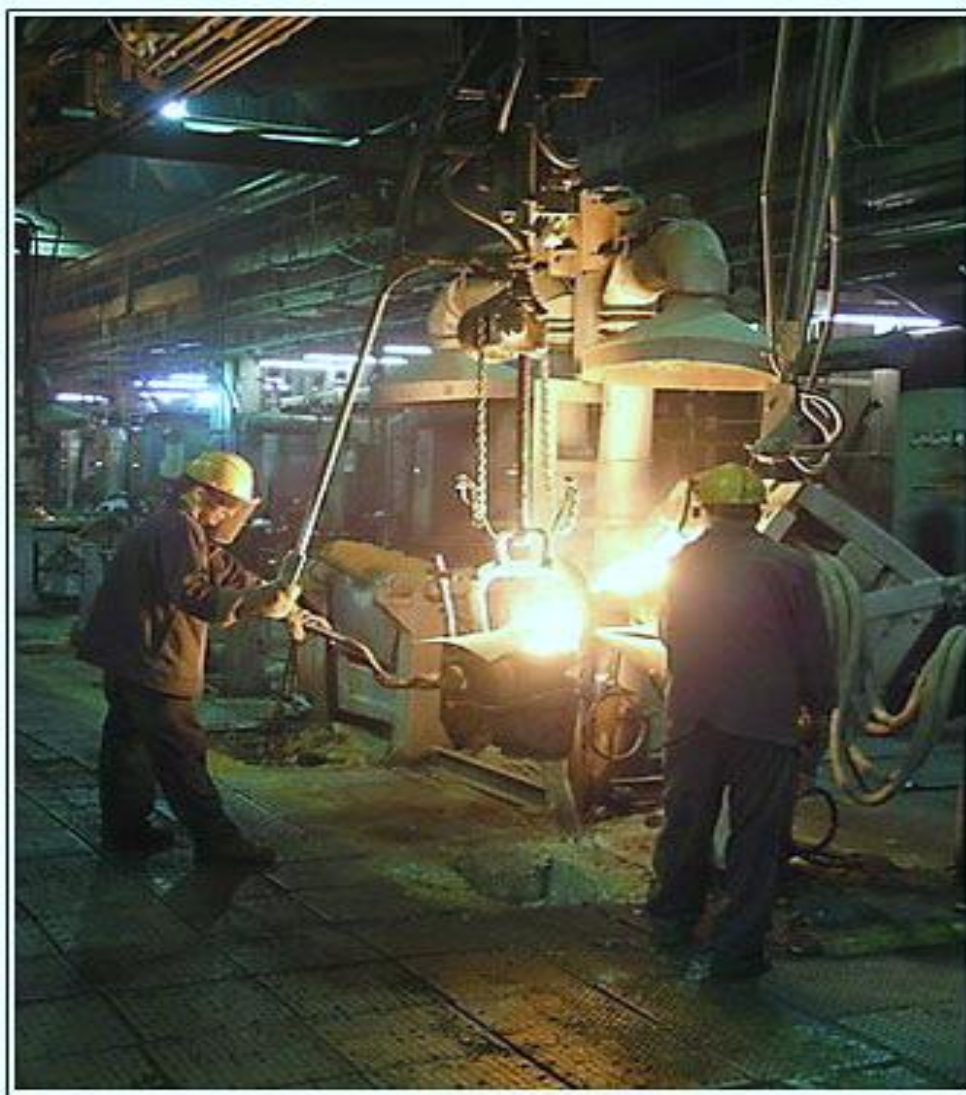


Рис.3.32. Изготовление стальных отливок



Рис.3.33. Отливка стальная

Изготовление отливок из алюминиевых сплавов (рис.3.34). Литейные алюминиевые сплавы (силумины) отличаются высокой жидкотекучестью, малой усадкой (0,8 – 1,1%), не склонны к образованию горячих и холодных трещин, потому что они по химическому составу близки к эвтектическим сплавам. Большинство остальных алюминиевых сплавов имеют низкую жидкотекучесть, повышенную усадку, склонны к образованию трещин, в расплавленном состоянии хорошо поглощают водород.

Заливка литейных форм расплавленным металлом проводится при температуре 700 – 750°C.

Отливки из алюминиевых сплавов широко используются в авиационной и ракетной технике, автомобильной, приборостроительной, машиностроительной, судостроительной и электротехнической промышленности.

Изготовление отливок из магниевых сплавов (рис.3.35). Магниевые сплавы имеют высокие предел прочности (150 – 350 МПа), относительное удлинение (3 – 9%) и твердость (30 – 70 НВ), но они имеют низкие литейные свойства (пониженную жидкотекучесть, повышенную усадку, склонны к образованию трещин) главным образом из-за большого интервала кристаллизации. Эти сплавы склонны к самовозгоранию при плавке и заливке форм.

Во избежание загорания плавку магниевых сплавов проводят под слоем универсальных флюсов из хлористых и фтористых солей щелочных и щёлочноземельных металлов или в среде защитных газов.

Отливки из магниевых сплавов изготавливают преимущественно литьём в песчаные формы и, кроме того, в кокиль, литьём под давлением и другими способами.

Из магниевых сплавов изготавливают корпуса насосов, деталей арматуры, бензوماлярную аппаратуру, корпуса приборов и инструментов, корпуса тормозных барабанов, колёс и т.п.

Изготовление отливок из медных сплавов (рис.3.36). Медные сплавы (бронзы и латуни) имеют высокие предел прочности (196 – 705 МПа), относительное удлинение (3 – 20%), коррозионные и антифрикционные свойства. Многие медные сплавы хорошо противостоят разрушению в условиях кавитации (кавитация – образования пузырьков в движущейся жидкости).

Оловянные бронзы (Бр05Ц5С5) имеют хорошую жидкотекучесть, достаточно высокую усадку (1,4 – 1,6%). Эти бронзы затвердевают в большом интервале кристаллизации (150 – 200°C), что обуславливает образования в отливках рассеянной пористости. Безоловянные бронзы (БрА9Ж3Л) обладают высокой жидкотекучестью и усадкой (1,6 – 2,4%),

затвердевают в малом интервале кристаллизации, что приводит к образованию в отливках сосредоточенных усадочных раковин.

Латуни имеют удовлетворительную жидкотекучесть, высокую усадку (1,6 – 2,2%), затвердевают в интервале кристаллизации 30 – 70°C, что обуславливает образования усадочных раковин и пористости. Все медные сплавы склонны к образованию трещин.

При плавке на воздухе медь окисляется с образованием оксида меди. Для предохранения от окисления и поглощения водорода плавку ведут под слоем древесного угля.

Отливки из медных сплавов преимущественно (80%) изготавливают литьём в песчаные формы и в оболочковые.

Из оловянных бронз изготавливают арматуру, шестерни, подшипники, втулки и др. Безоловянные используют как заменители оловянных. Их применяют для изготовления гребных винтов крупных судов, тяжело нагруженных шестерён и зубчатых колёс, корпусов насосов, арматуру для морской воды, детали химической и пищевой промышленности.

Латуни используют для изготовления различной арматуры для морского судостроения, работающей при температуре 300°C, втулки и сепараторы подшипников, червячные винты и др.

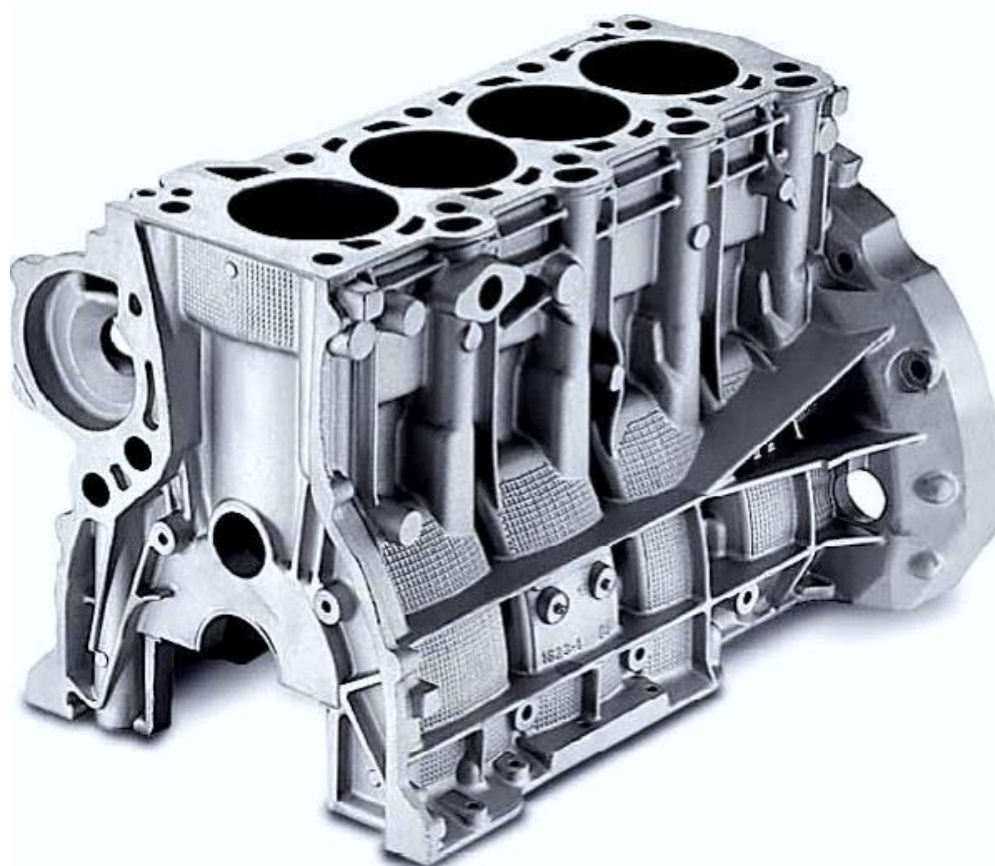


Рис. 3.34. Отливка из алюминиевого сплава

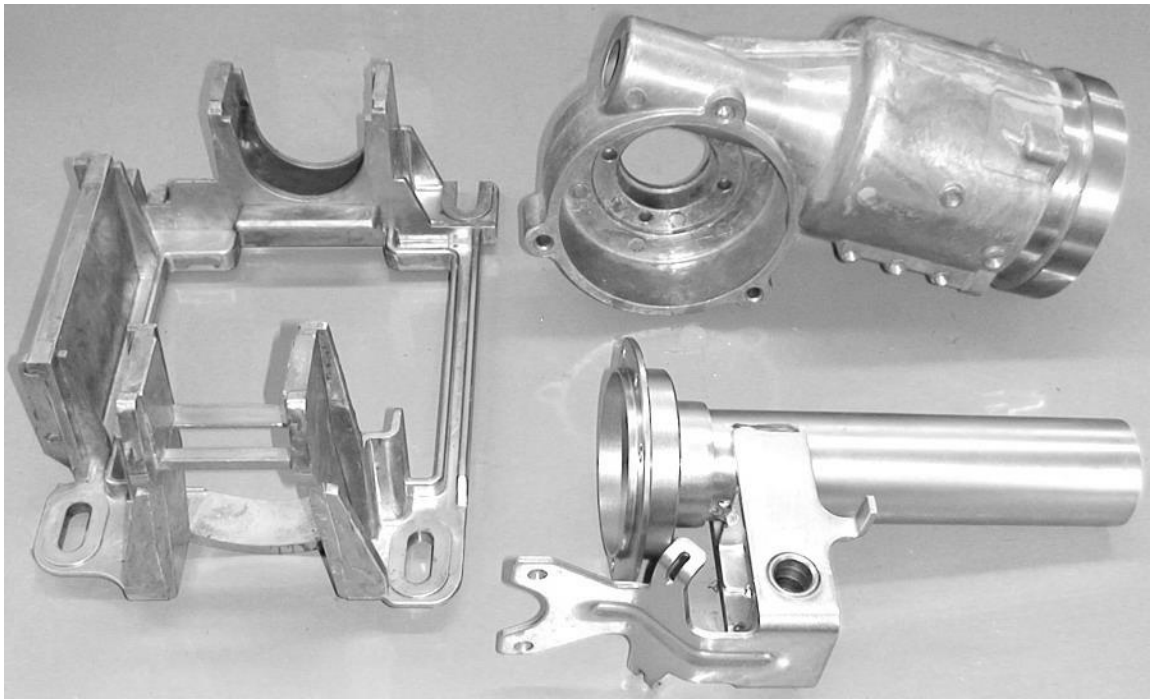


Рис. 3.35. Отливки из магниевых сплавов



Рис. 3.36. Цех для изготовления точных отливок из цветных сплавов

3.4. Технологичность конструкций литых деталей.

Под технологичностью литой детали понимают совокупность свойств её конструкции, позволяющих получать высококачественные отливки с минимальными затратами труда, средств материалов и времени на их изготовление в принятых условиях производства, а также обеспечение технологичности изготавливаемых из них деталей механической обработкой (ГОСТ 14. 205-83).

Для создания технологичной конструкции литой детали конструктор должен учесть многие факторы, которые могут быть сведены к трём группам факторам технологичности:

- применяемого сплава;
- способа литья;
- способа механической обработки.

Технологичность применяемого сплава характеризуется физико-химическими (температура плавления, склонность к окислению и газонасыщению и др.), литейными (усадка, жидкотекучесть, ликвация и др.) и специальными (герметичность, коррозионная стойкость, износостойкость и др.) свойствами.

Технологичность способа литья характеризуется точностью размеров, шероховатостью поверхности, припуском на механическую обработку, гарантированными показателями плотности, структуры и механических свойств отливок, ограничением массы, размеров и сложности конфигурации отливки.

Технологичность механической обработки зависит от геометрической формы отливки, расположения приливов, отверстий, баз для механической обработки.

Важнейшей задачей при проектировании литой детали является максимальное уменьшение её массы. Этого добиваются при реализации конструкторских и технологических факторов.

Конструкторские факторы – улучшения качества проектирования детали (расчёт на прочность, унификация деталей, т.е. приведение к однообразию, применение сплавов с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами и др.).

Технологические факторы – повышение точности изготовления отливок, снижение шероховатости их поверхности, уменьшение припусков на механическую обработку и толщины стенок и др.

Для оценки технологичности созданной конструкции литой детали используют показатели технологичности, главными из которых являются коэффициент использования металла (**КИМ**), коэффициент необработанной поверхности (**КНП**), коэффициент габаритности (**К**) и другие показатели.

КИМ – это отношение массы готовой детали к массе заготовки. Он показывает сравнительное количество металла, которое необходимо удалить при механической обработке.

КНП – это отношение площади детали, не подвергшейся механической обработке, к общей площади её поверхности. Этот показатель характеризует точность изготовления отливки и качества её поверхности.

К – это отношение произведения габаритных размеров (длина, ширина, высота отливки) к массе отливки. Показывает влияние габаритных размеров на технологичность отливки: чем меньше этот показатель, тем технологичнее отливка.

Конструкция литой детали должна обеспечивать высокий уровень механических и служебных характеристик при заданной массе, конфигурации, точности размеров и шероховатости поверхности. При разработке конструкции литой детали конструктор должен учитывать, как литейные свойства сплавов, так и технологию изготовления модельного комплекта, литейной формы и стержней, очистку и обрубку отливок, и их дальнейшую обработку. Кроме того, необходимо стремиться к уменьшению массы отливок и упрощению конфигурации.

Конструирование литых деталей с учётом литейных свойств сплавов. Минимальную толщину необрабатываемых стенок отливок, обеспечивающую заполнение песчаной формы расплавленным металлом, определяют (по специальным диаграммам) в зависимости от габаритных размеров (длины, ширины, высоты) отливки, мм.

Толщину внутренних стенок и рёбер принимают на 10 – 20% меньше толщины наружных стенок.

Получение отливок без усадочных дефектов достигается созданием конструкции отливок с равномерной толщиной стенок без большого скопления металла в отдельных местах. Равномерность толщины стенки и скопления металла определяют диаметр вписанной окружности (рис. 3.37, а, б). Желательно, чтобы соотношение диаметров вписанных окружностей в близко расположенных сечениях не превышало 1,5.

Это достигается уменьшением радиуса галтели с помощью углублений в стенках отливки (рис. 3.37, в); смещением одной стенки (рис. 3.37, г); если это невозможно, то следует предусмотреть отверстие (рис. 3.37, д).

Отливки, затвердевающие одновременно, должны иметь равномерную толщину стенок сплавными переходами (рис. 3.38, а). Принцип одновременного затвердевания применяют при конструировании мелких и средних тонкостенных отливок из чугуна и других сплавов.

При направленном затвердевании (рис. 3.38, б) верхние сечения отливок питаются от прибылей. Принцип направленного затвердевания применяют

при конструировании литых деталей с повышенными требованиями по плотности и герметичности отливок, работающих под давлением.

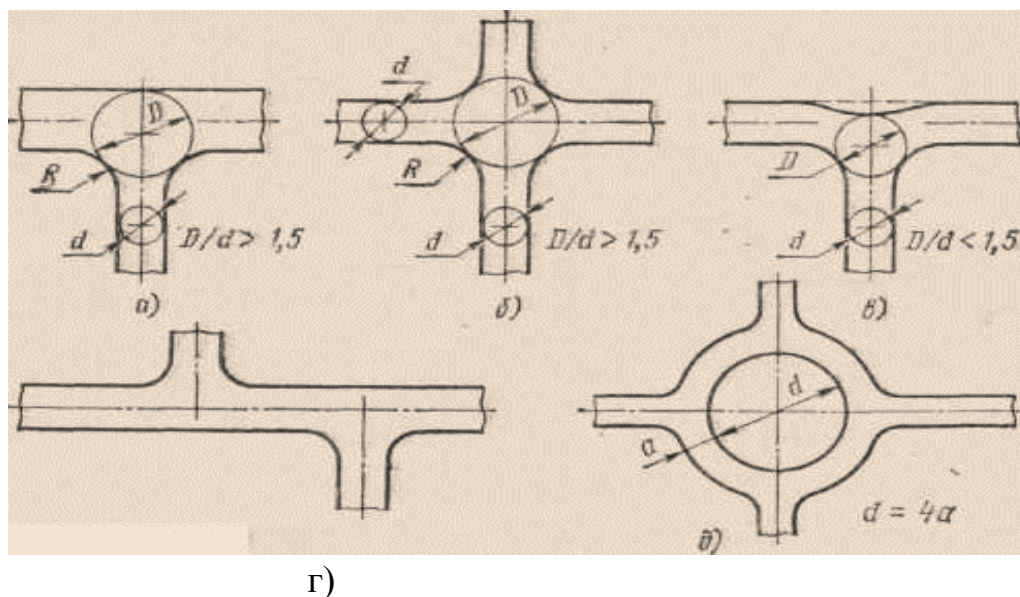


Рис.3.37. Устранение местного скопления металла в стенках отливки

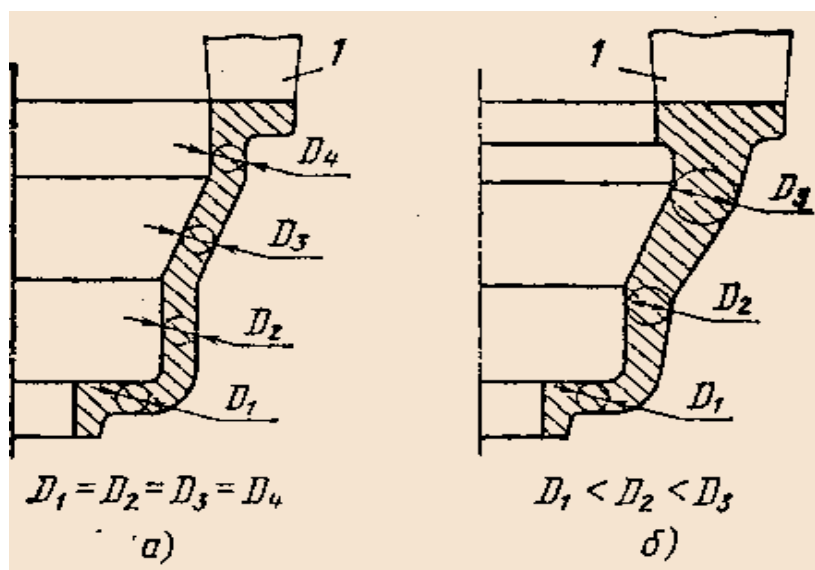


Рис.3. 38. Конструкции литых деталей, обеспечивающих одновременное (а) и направленное затвердевание (б) отливок: 1 – прибыль

Для снижения литейных напряжений необходимо свободную усадку элементов отливки. На (рис. 3.39, а) показана конструкция корпусной детали с перегородками, которые затрудняют процесс усадки, что вызывает большие литейные. Изменение конструкции (рис. 3.39, б) обеспечивает свободную усадку. Придание перегородкам конической формы (рис. 11.39, в) также снижает усадочные напряжения.

В конструкции литой детали (рис.3.39, г) из-за недостаточной жёсткости появляются коробления, которые могут быть устранены путём установки рёбер жёсткости (рис.3.39, д). Кроме того, кромки стенок большой протяжённости усиливают буртиками (Рис.3.16, е) толщиной $b = (0,5 - 0,8) a$ и шириной $h = 2a$.

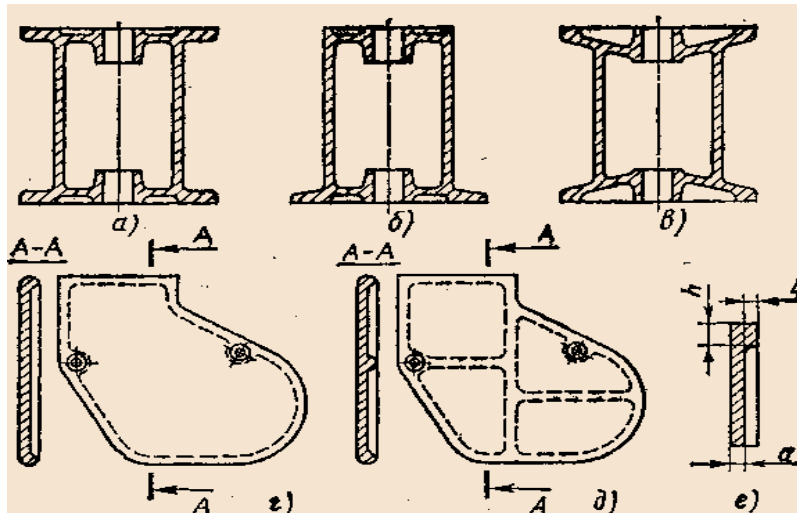


Рис. 3.39. Конструкция литых деталей, снижающих усадочные напряжения в отливках

Конструирование внешней поверхности литой детали. Внешние контуры отливки обычно представляют собой сочетание простых геометрических тел с преобладанием плоских прямолинейных поверхностей, сочленяемых плавными переходами (рис. 3. 40).

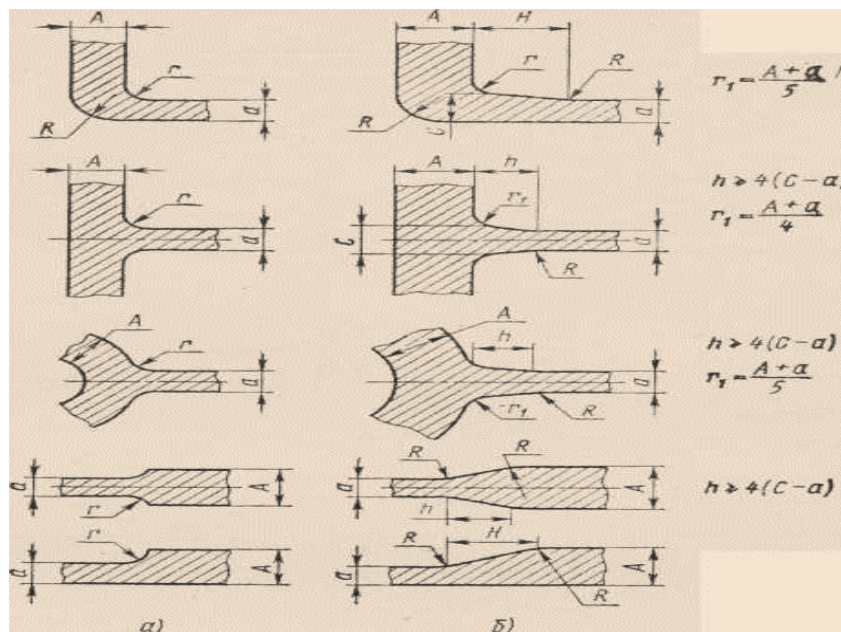


Рис. 3.40. Рекомендуемые переходы от стенки к стенке в литых деталях:

$a - A/a \leq 1,75; \quad б - A/a \geq 1,75$

Кроме того, необходимо стремиться к уменьшению габаритных размеров и особенно высоты литой детали. Это облегчает изготовление модельного комплекта, а также процесса формовки, сборки форм и очистки отливок. При этом отливка имеет один плоский разъем и располагается по возможности в одной полуформе. Например, при изготовлении отливки, показанной на рис. 3.40, а, требуется сложный разъем. Разъем формы упростится, если конструкцию литой детали изменить, как показано на рис. 11.40, б.

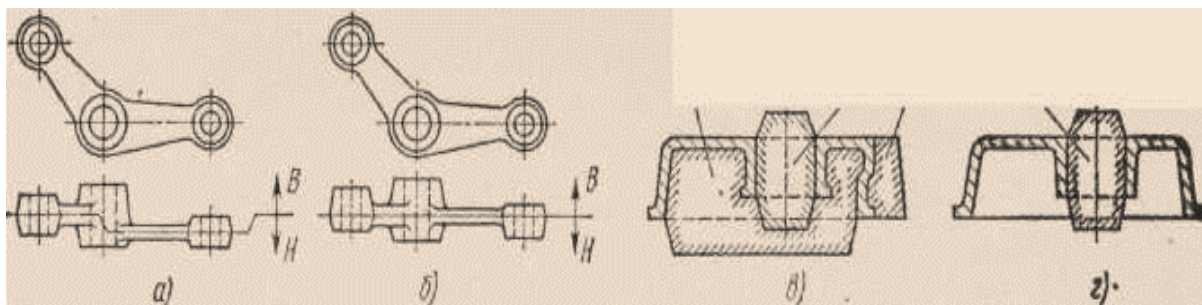


Рис. 3.41. Конструкции литых деталей:

а, в – нетехнологичные; б, г – технологичные

Контуры литых деталей должны обеспечивать формовку без дополнительных стержней. На рис. 3.40, в показана конструкция отливки, при формовке которой требуются стержни (три шт.). После изменения конструкции детали (рис. 3.40, г) отпала необходимость применения стержней, упростилась формовка.

Необрабатываемые поверхности отливок, перпендикулярные к плоскости разъема, должны иметь конструктивные уклоны. При изготовлении отливок (рис. 3.41, а, в) необходимо предусматривать формовочные уклоны, а отверстия получать с помощью стержня. Изменение конструкции отливки (рис. 3.41, б, г) позволило облегчить формовку и одновременно получить отверстия с помощью песчаного болвана.

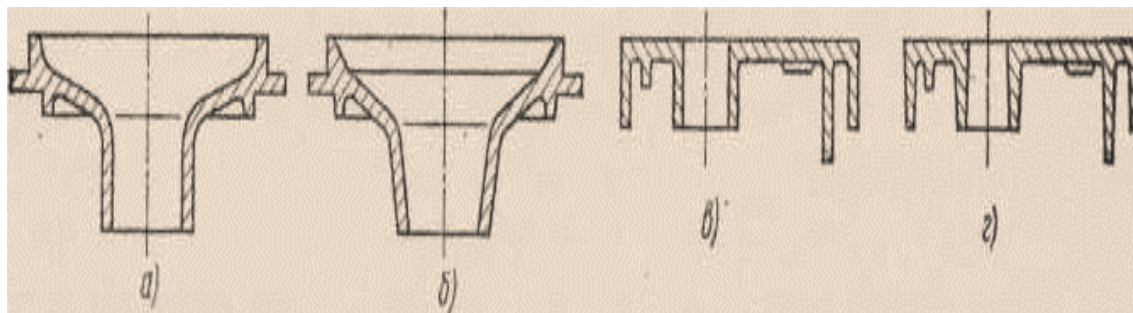


Рис. 3.42. Влияние конструктивных уклонов на упрощение технологического процесса производства отливок

Бобышки, приливы и другие выступающие части необходимо конструировать так, чтобы не затруднять извлечение модели из формы. На рис. 3.43. показаны варианты технологичных 2 и не технологичных 1 конструкций отливок. При изготовлении не технологичных отливок требуется применение в моделях отъемных частей или стержней, что усложняет процесс формовки.

Базовую и обрабатываемые поверхности располагают в одной полуформе или стержне, не допуская пересечения их плоскостью разъема формы.

Минимальные диаметры отверстий в отливках при их изготовлении в песчаных формах выбирают в зависимости от материала литой детали и толщины стенки. Так, например, для чугунных отливок при толщине стенки 10 мм, минимальный диаметр отверстия, получаемого стержнем, составляет 8 мм, а при толщине стенки более 10 мм – 20 мм.

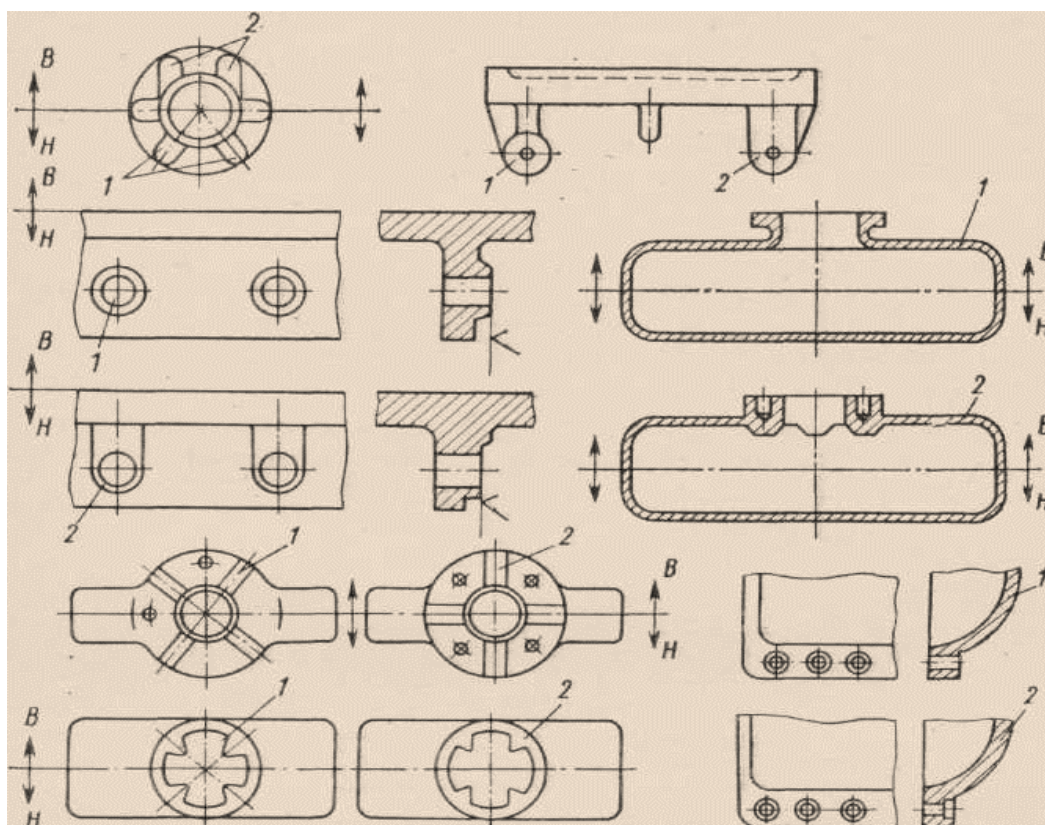


Рис. 3.43. Конструкции бобышек, ребер, фланцев и отверстий в отливках;

1 — нетехнологичные; 2 — технологичные (В – верх, Н – низ)

Выводы. Технологичные конструкции литых деталей должны иметь:

- простые контуры, облегчающие изготовление, как литейной оснастки, так и самих отливок;
- минимальные толщины стенок, при которых обеспечивается необходимая прочность конструкции, а также возможность

заполнения формы металлом без образования дефектов по недоливам и спаям;

- главные переходы и сопряжения, ребра жёсткости и другие конструктивные элементы, способствующие снижению напряжений и устранению дефектов в отливках (коробление, трещины);
- достаточное число окон и отверстий для удобства оформления стержнями внутренних полостей, выполнения обрубных и зачистных операций и транспортирования;
- конструктивные уклоны на боковых необрабатываемых поверхностях, обеспечивающие изготовление отливок без искажения контуров формовочными уклонами и увеличения массы отливок за их счёт.

3.5. Контроль качества и исправления дефектов отливок

Основные задачи технического контроля: выявление причин отклонения качества отливок от заданного и нарушений технологического процесса; разработка мероприятий по повышению качества продукции; установление соответствия режимов и последовательности выполнения технологических операций, предусмотренных технологической документацией; установление соответствия качества материалов, требуемых для производства отливок и т. д.

Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром (визуально) непосредственно после извлечения отливок из формы или после их очистки.

Внутренние дефекты отливок выявляются радиографическими или ультразвуковыми методами дефектоскопии.

С помощью радиографических методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания. Ультразвуковой метод выявляет наличие, размеры и глубину залегания дефекта.

Плотность металла отливки определяется гидравлическими испытаниями под давлением воды до 200 МПа.

Дефекты отливок и причины их возникновения (рис. 3.44):

- **песчаные раковины** – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы, недостаточного крепления выступающих частей формы и прочих причин;
- **перекос** – смещение одной части отливки относительно другой, возникающий в результате небрежной сборки формы, износа

центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установки стержня в форму и других причин;

- **недолив** – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидкотекучестью, недостаточным сечением элементов литниковой системы, неправильной конструкции отливки (например, малая толщина стенки отливки) и др.;
- **усадочные раковины** – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубокристаллическим строением. Эти дефекты возникают при недостаточном питании массивных узлов, нетехнологичной конструкции отливки, неправильной установки прибылей, заливки перегретым металлом;
- **газовые раковины** – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с чистой и гладкой поверхностью, которые возникают из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного металла газами и др.;
- **трещины горячие и холодные** – разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы и прибылей, неправильной конструкции отливки, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости формы и стержней и др.

Методы исправления дефектов отливки. Незначительные дефекты в ответственных местах отливок исправляют заделкой замазками или мастиками, пропиткой различными составами, газовой или электрической сваркой.

Заделка дефектов замазками или мастиками – декоративное исправление мелких поверхностных раковин на отливках. Затем место заглаживают, подсушивают и затирают пемзой или графитом.

Пропитывание составами применяют для устранения пористости отливок. Проникая в промежутки между кристаллами металла, раствор образует оксиды, заполняющие поры отливки. Для устранения течи отливки из цветных сплавов пропитывают бакелитовым лаком.

Газовую и электрическую сварку применяют для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях раковины, сквозные отверстия, трещины). Дефекты в чугунных отливках заваривают с использованием чугунных электродов и присадочных прутков, в стальных отливках – электродами соответствующего состава. Чугунные отливки перед заваркой нагревают до температуры 350 – 600⁰С, а после заварки их медленно

охлаждают до температуры окружающей среды. Для лучшей обрабатываемости отливки подвергают отжигу.

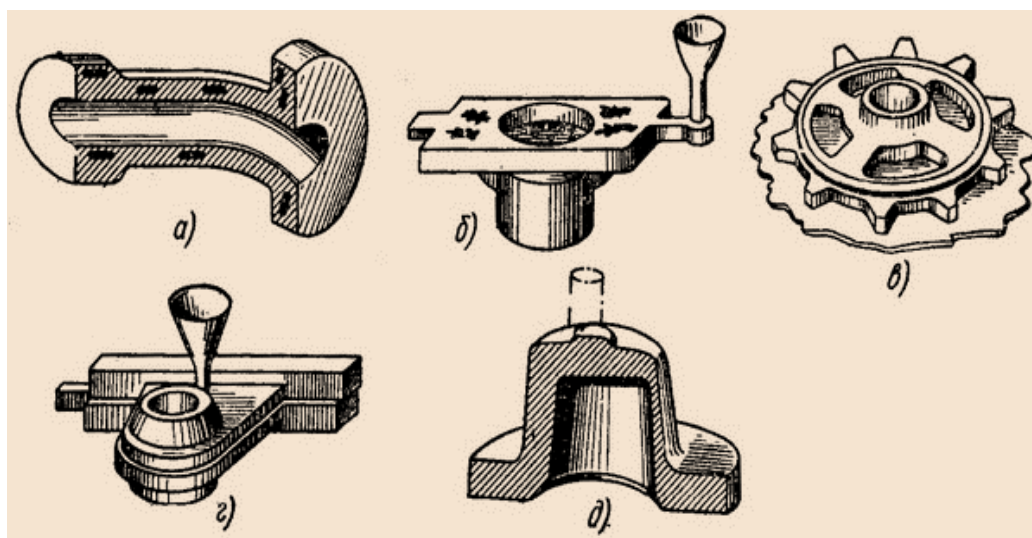


Рис.3. 44. Дефекты отливок:

а – с газовыми раковинами; б – с песчаными раковинами; в – с заливом; г – с искажённой конфигурацией из-за перекоса полуформ; д – с разностенностью толщины стенок.

Контрольные вопросы

1. Что такое литейное производство?
2. Перечислите способы литья для изготовления отливок.
3. Метод определения жидкотекучести сплавов.
4. Что такое ликвация?
5. Перечислите основные требования к технологичности конструкции литой детали.
6. Дефекты отливки и причины их возникновения.
7. Методы исправления дефектов.

Глава 4. Технологические методы обработки металлов давлением

4.1. Сущность обработки металлов давлением (ОМД).

О М Д – технологический метод производства деталей и заготовок путём пластического деформирования, которое осуществляется силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из металла, обладающего необходимой пластичностью.

Если при упругих деформациях деформируемое тело полностью восстанавливает исходные форму и размеры после снятия внешних сил, то при пластических деформациях изменение формы и размеров, вызванное действием внешних сил, сохраняется и после прекращения действия этих сил.

Один из основных законов пластической деформации, лежащих в основе технологических расчётов, – условия постоянства объёма, которое гласит: объём тела до пластической деформации равен его объёму после деформации.

Величина пластической деформации не безгранична, при определённых её значениях может начаться разрушения металла.

Однако, создавая наиболее благоприятные условия деформирования, в настоящее время достигают значительного пластического формоизменения даже у материалов, имеющих в обычных условиях невысокую пластичность.

Преимущества ОМД по сравнению с обработкой резанием:

- уменьшение отходов металла;
- повышение производительности;
- получение деталей с наилучшими технологическими свойствами (**прочностью, жёсткостью, высокой износостойкостью** и т.д.)
- увеличение диапазона деталей по массе и размерам;
- повышение точности размеров полуфабрикатов, получаемых ОМД.

4. 2. Виды обработки металлов давлением.

Процессы ОМД по назначению подразделяются на два вида:

- для получения заготовок постоянного поперечного сечения по длине (**прутков, проволоки, лент, листов**), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления из них деталей только обработкой резанием или с использованием предварительного пластического формоизменения. Основными разновидностями таких процессов являются: **прокатка, прессование, волочение** (рис.4.1, *а, б, в*).
- для получения деталей или заготовок (полуфабрикатов), имеющих приближённо формы и размеры готовых деталей и требующих обработки резанием лишь для придания им окончательных размеров и получения поверхности заданного качества. Основными разновидностями таких процессов являются: **ковка, штамповка** (рис.4.1, *г, д*).

Прокатка заключается в обжатии заготовки между вращающимися валками.

Прессование заключается в продавливании заготовки, находящейся в замкнутой форме, через отверстие матрицы, причём форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствует форме и размерам отверстия матрицы.

Волочение заключается в протягивании заготовки через сужающую полость матрицы. Площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

Ковкой изменяют форму и размеры заготовки путём последовательного воздействия универсального инструмента на отдельные участки заготовки.

Штамповкой изменяют форму и размеры заготовки с помощью специализированного инструмента – **штампа** (для каждой детали изготовляют свой штамп). Различают объёмную и листовую (рис.4.1, е) штамповку.

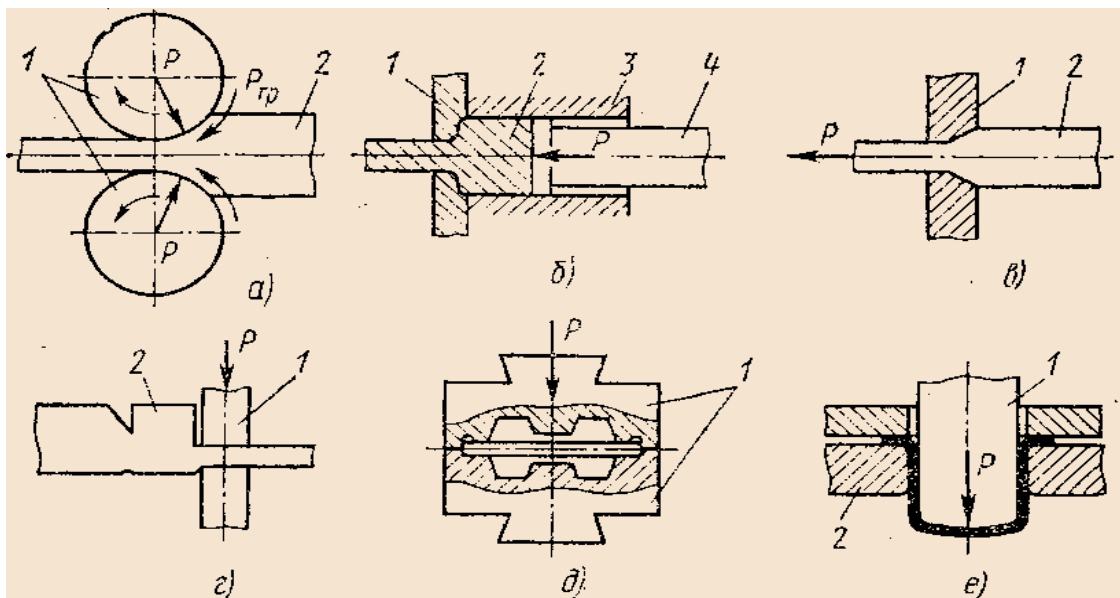


Рис. 4.1. Схемы основных видов обработки металлов давлением

Влияние обработки давлением на структуру и свойства металла. В зависимости от температурно-скоростных условий деформирования различают **холодную** и **горячую** деформацию (рис.4. 2).

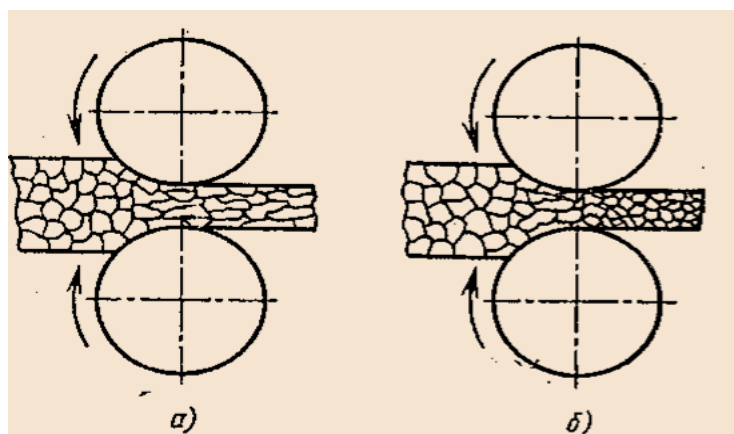


Рис. 4.2. Схемы изменения микроструктуры металла при деформации:
а – холодной; б – горячей

Холодная деформация характеризуется изменением формы зёрен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла. При холодной деформации формоизменение сопровождается

изменением механических и физико-химических свойств металла (рис.4.3, рис.4.4). Это явление называют упрочнением (**наклёпом**).

Для снятия наклёпа проводят рекристаллизационный отжиг. После рекристаллизации, новые зёрна, появившиеся взамен деформированных, имеют примерно одинаковые размеры по всем направлениям.

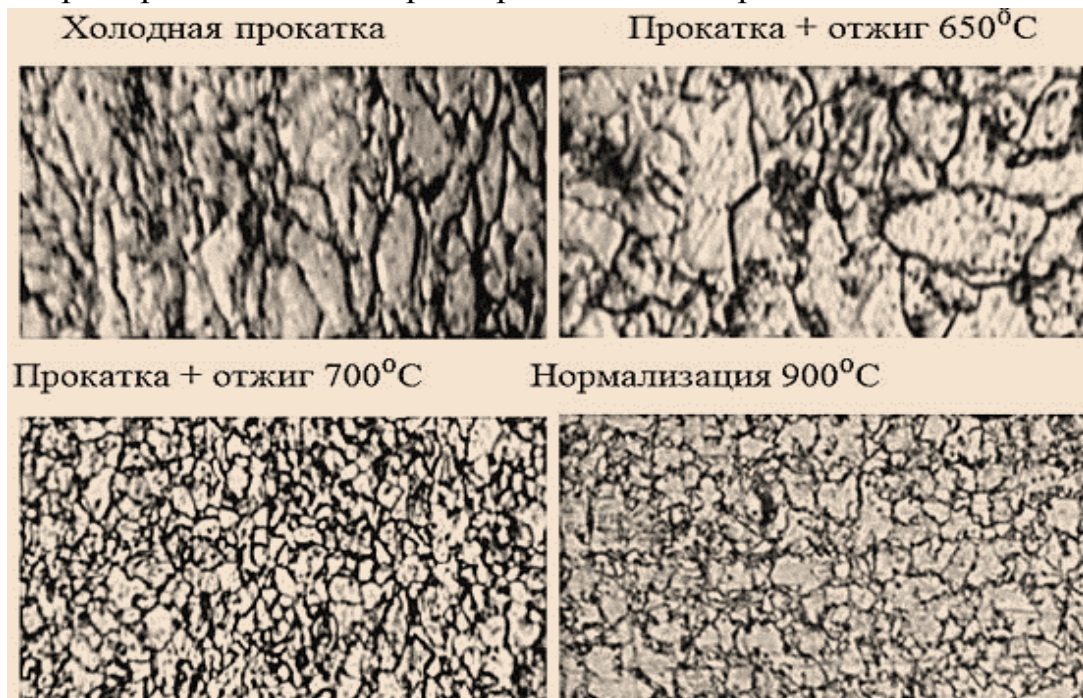


Рис. 4.3. Микроструктуры стали после деформации и различных видов термической обработки

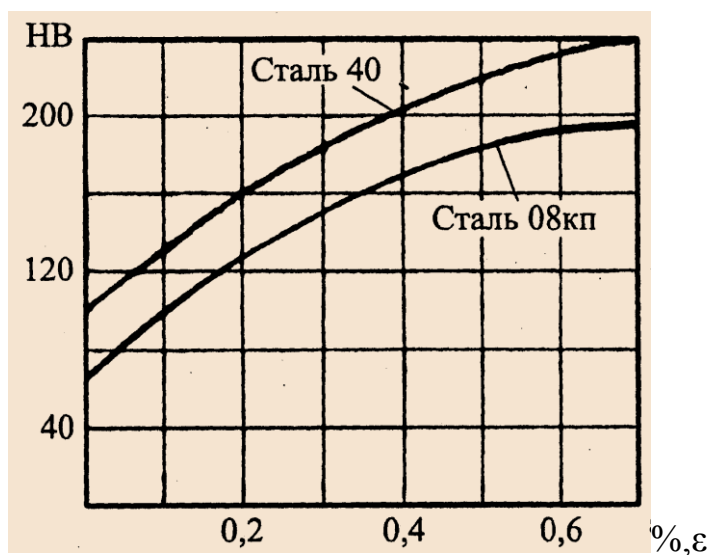


Рис.4.4. Изменение твёрдости стали в зависимости от степени холодной деформации, % ε

Холодная деформация без нагрева заготовки позволяет получить большую точность размеров и лучшее качество поверхности по сравнению с обработкой давлением при достаточно высоких температурах. Отметим, что

обработка давлением без специального нагрева заготовки позволяет сократить продолжительность технологического цикла, облегчает использование средств механизации и автоматизации и повышает производительность труда.

Горячей деформацией называют деформацию, характеризующуюся таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает произойти во всём объёме заготовки, и микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной, без следов упрочнения.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, а отсутствие упрочнения приводит к тому, что сопротивление деформированию (придел текучести) незначительно изменяется в процессе обработки давлением. Этим обстоятельством объясняется в основном то, что горячую обработку применяют для изготовления крупных деталей, так как при этом требуются меньшие усилия деформирования (менее мощное оборудование).

При горячей деформации пластичность металла выше, чем при холодной деформации. Поэтому горячую деформацию целесообразно применять при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла (слитков). Кристаллическое строение слитка неоднородно (кристаллы различных размеров и форм). Кроме того, в нём имеется пористость, газовые пузыри и т.д. горячая обработка слитка приводит к деформации кристаллов и частичной заварке пор и раковин, что приводит к увеличению плотности металла и мелкозернистому строению.

В то же время при горячей деформации окисление заготовки более интенсивно (на поверхности образуется слой окалины), что ухудшает качество поверхности и точности получаемых размеров.

Нагрев металла перед обработкой давлением. Каждый металл должен быть нагрет до вполне определённой максимальной температуры.

Если нагреть металл близкой к температуре плавления, то наступит пережог, выражающийся в появлении хрупкой плёнки между зёрнами металла вследствие окисления их границ (неисправимый дефект - брак).

Ниже температуры пережога находится зона перегрева. Явление перегрева заключается в резком росте размеров зёрен. Брак по перегреву в большинстве случаев можно исправить отжигом.

Надо помнить, что в процессе обработки нагретый металл обычно остывает, соприкасаясь с более холодным инструментом и окружающей средой. Заканчивать горячую обработку давлением следует также при вполне определённой температуре, ниже которой пластичность вследствие упрочнения падает и в изделии возможно образование трещин.

Примеры температур нагрева различных металлов:

АК4 470 – 350°C; БрАЖМц 900 – 750°C; ВТ8 1100 – 900°C;

Сталь 45 1200 – 750°C; У10 1100 – 850°C;

Заготовка должна быть равномерно нагрета по всему объёму до требуемой температуры. Разность температур по сечению заготовки приведут к термическим напряжениям.

Для уменьшения толщины обезуглероженного слоя (который достигает 1,5 – 2 мм), заготовки нагревают в нейтральной или восстановительной атмосфере.

Нагревательные устройства. Устройства, в которых нагревают металл перед обработкой давлением, можно подразделить на нагревательные печи и электронагревательные устройства.

В печах теплота к заготовке передаётся главным образом конвекцией и излучением из окружающего пространства нагревательной камеры, выложенной огнеупорным материалом. Теплоту получают в основном сжиганием газообразного, реже жидкого топлива (мазута). Для нагрева очень крупных заготовок используют камерные печи с выдвижным подом (рис. 4.5).

В электронагревательных устройствах теплота выделяется в самой заготовке либо пропускание через неё тока большой силы – в контактных устройствах, либо при возбуждении в ней вихревых токов – в индукционных устройствах.

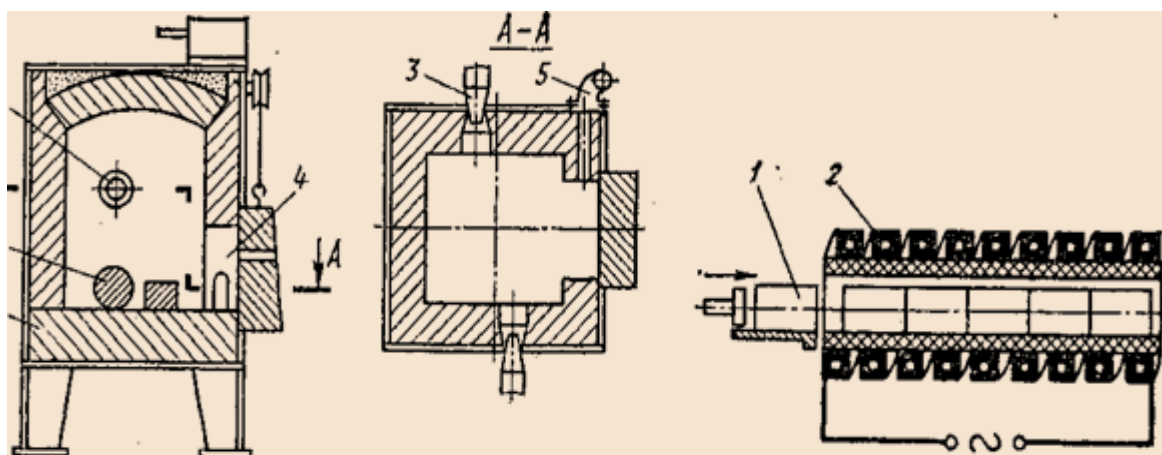


Рис. 4.5. Камерная нагревательная печь (а) и схема индуктивного нагревательного устройства (б).

Преимущества электронагрева:

- высокая скорость нагрева;
- отсутствие окалины;
- автоматизация. Улучшение условий труда;

Однако применяют электронагревательные устройства только при необходимости нагрева достаточно большого количества одинаковых заготовок диаметром до 75 мм в контактных и до 200 мм в индукционных устройствах.

4.3. Прокатное производство.

Прокатке подвергают, до **90%** всей выплавляемой, стали и большую часть цветных металлов. При прокатке металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными.

Три основных вида прокатки (рис.4.6): (а) – **продольная**; (б) – **поперечная**; (в) – **поперечно-винтовая**.

Продольная прокатка – заготовка деформируется между двумя валками, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно к осям валков.

Поперечная прокатка – валки вращаются в одном направлении, придают вращение заготовке и деформируют её.

Поперечно-винтовая прокатка – валки расположены под углом и сообщают заготовке при деформировании вращательное и поступательное движение.

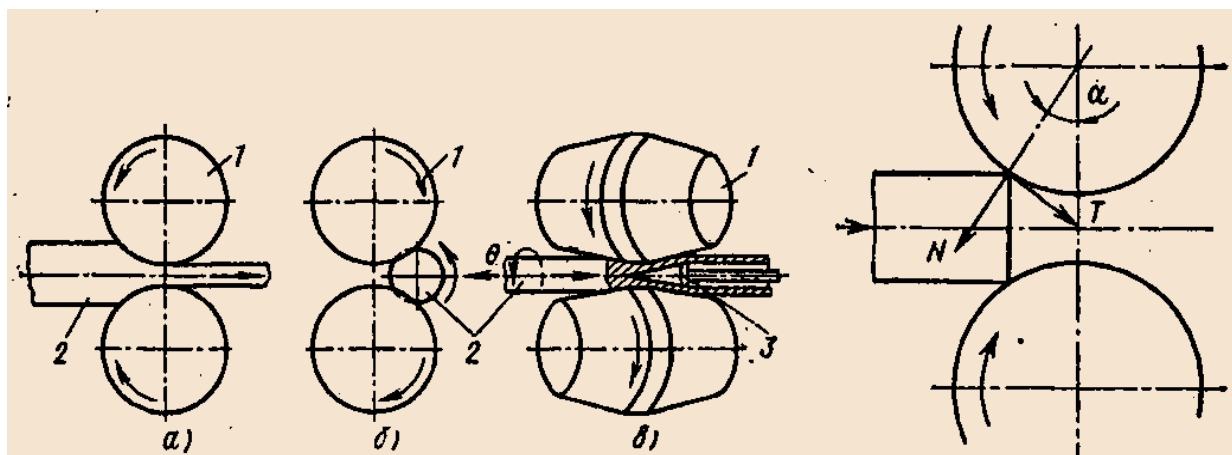


Рис.4.6. Основные виды прокатки и схема действия сил в момент захвата металла валками:

а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая

1 – валки; 2 – заготовка; 3 – оправка; N – нормальная сила; T – сила трения.

При наиболее распространённой продольной прокатке на заготовку со стороны валков действуют нормальные силы **N** и сила трения **T**.

Условия захвата металла валками можно записать:

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

Выразив $T = f N$, где **f** – коэффициент трения, и подставив это выражение в условия захвата, получим

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

Для осуществления захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен **15 – 24°**, при холодной – **3 – 8°**. При установившемся процессе прокатки коэффициент трения может быть примерно вдвое меньше.

Деформацию заготовки обычно определяют **относительным обжатием, %**:

$$\epsilon_n = (H_0 - H_1) 100/H_0,$$

где, H_0 и H_1 – высота заготовки соответственно до и после прокатки.

Если обжатие по сечению различно используют показатель, называемый вытяжкой,

$$\mu = l/l_0 = F_0/F,$$

где l_0 и F_0 – первоначальные длина и площадь поперечного сечения; l и F – те же величины после прокатки.

Вытяжка при прокатке обычно составляет **1,1 – 1,6** за проход, но может быть и больше.

Продукция прокатного производства.

Форму поперечного сечения прокатной полосы называют **профилем**. Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, называют **сортаментом**.

В ГОСТах на сортамент проката приведены площадь поперечного сечения, размеры, масса одного метра длины профиля и допустимые отклонения от номинальных размеров.

Сортамент прокатываемых профилей разделяется на четыре основные группы:

- сортовой прокат;
- листовой;
- трубы;
- специальные виды проката.

Сортовой прокат делят на профили простой геометрической формы (**квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник**) и фасонные (**швеллер, рельс, угловой и тавровый профили** и т.д.) рис.4.7.

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

Алюминиевый профиль может быть самым разнообразным, но самым популярным из этого многообразия является швеллер. Он используется практически во всех производственных сферах, судостроении и

машиностроении, но особенно востребован в строительстве – для отделки офисных помещений и при производстве конструктивных элементов в строительстве: окон и дверей (рис.4.8).

Алюминиевый швеллер имеет высокую пластичность, благодаря которой возможно создавать металлоконструкции даже очень сложных форм, а его коррозионная стойкость позволяет использовать его для наружного использования.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. Листовую сталь делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жёсть и т.д. Кроме того, листовую сталь разделяют на толстолистовую (толщина 4 – 160 мм) и тонколистовую (толщиной менее 4 мм). Листы толщиной менее 0,2 мм называют фольгой.

Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Трубы прокатывают из углеродистых и легированных сталей.

К специальным видам проката относят **колёса, шары, периодические профили с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки.**

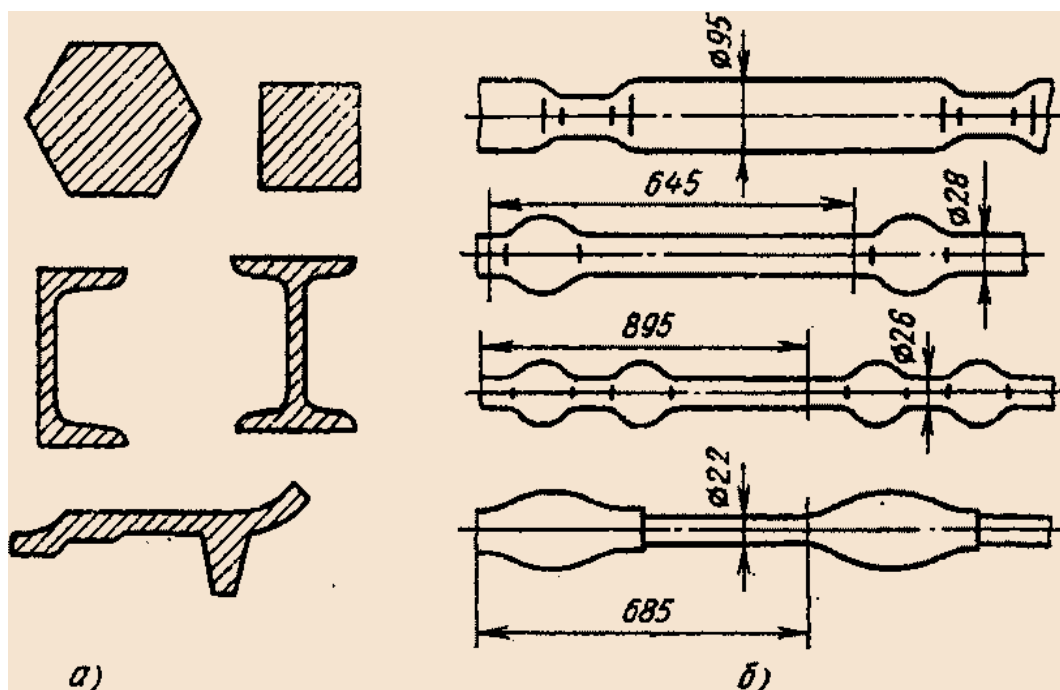


Рис. 4.7. Примеры профилей проката:

а) – простая геометрическая форма; б) – фасонная форма.



Рис.4.8. Конструктивные элементы из алюминиевых сплавов

Инструмент и оборудование для прокатки.

Инструментов для прокатки являются **валки**, которые в зависимости от прокатываемого профиля могут быть гладкими, применяемые для прокатки листов, лент и т.п., ступенчатыми, например, для прокатки полосовой стали, и ручьевыми для получения сортового проката. Ручьём называют вырез на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьёв образует **калибр** (рис. 4.9).

Комплект прокатных валков со станиной называют **рабочей клетью**. Рабочие клетки по числу и расположению валков могут быть двухвалковые, четырёхвалковые и многовалковые, у которых также два валка рабочих, остальные – опорные. Использование опорных валков позволяет применять рабочие валки малого диаметра, благодаря чему увеличивается вытяжка и снижается усилия деформирования.

Прокатные станы могут быть одноклетьевые и многоклетьевые.

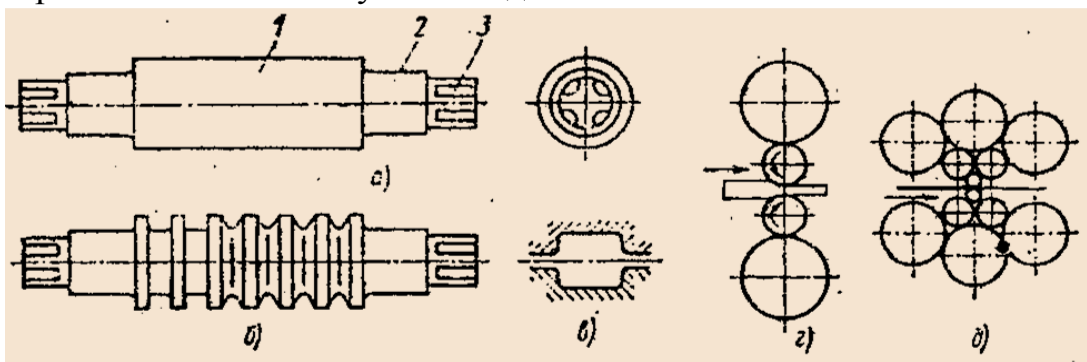


Рис.4. 9. Инструмент для прокатки:

а) – гладкий валок; б) – ручьевого валок; в) – калибр; г) – расположение валков в четырёхвалковой клетю; д) – то же в 12-валковой клетю.

По назначению прокатные станы подразделяют на станы:

- для производства полупродукта;

- станы для выпуска готового продукта.

К первой группе относят **обжимные станы** для прокатки слитков в полупродукт крупного сечения (**блюминги**, дающие заготовку для сортового проката, и **слябинги**, дающие заготовку для листового проката) и **заготовочные** для получения полупродукта более мелкого сечения.

Ко второй группе относят **сортовые, листовые, трубные и специальные станы**.

Размер блюмингов, слябингов, заготовочных и сортовых станов характеризуются диаметром бочки валков (например, блюминг 1500; сортовой стан 350); размер сортовых станов – длиной бочки (например, стан 3600), а размер трубопрокатных станов – наружным диаметром прокатываемых труб.



Рис.4.10. Прокатный стан (блюминг) дающий заготовку для сортового проката

Технология производства основных видов проката.

Исходной заготовкой при прокатке служат слитки: стальные массой до 60 т, из цветных металлов и их сплавов обычно массой до 10 т. При производстве сортовых профилей стальной слиток массой до 15 т в горячем состоянии прокатывают на блюминге, получая заготовки квадратного сечения, называемые блюмами. Затем блюмы поступают на заготовочные станы для прокатки заготовок требуемых размеров или сразу на крупносортовые станы для прокатки крупных профилей сортовой стали. На заготовочных и сортовых станах заготовка последовательно проходит через ряд калибров.

Разработку системы последовательных калибров, необходимых для получения того или иного профиля, называют калибровкой. В качестве примера на рис.4.11 показана система из девяти калибров для получения рельсов.

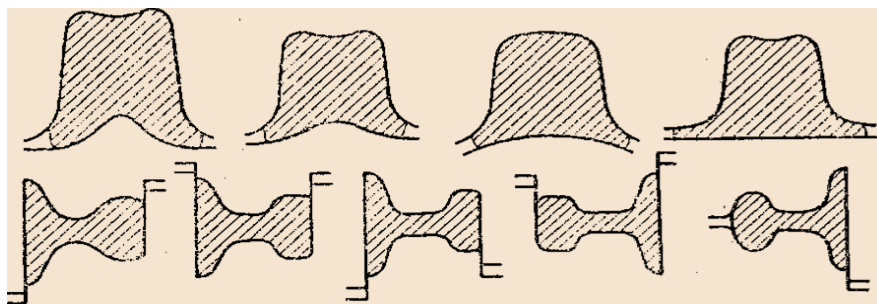


Рис.4.11. Калибры для прокатки рельсов

Число калибров может быть различным. Чем больше разность в размерах поперечных сечений исходной заготовки и конечного изделия и чем сложнее профиль последнего, тем больше число калибров требуется для его получения.

При прокатке бесшовных труб первой операцией является прошивка – образование отверстия в слитке или круглой заготовке. Эту операцию выполняют в горячем состоянии на прошивных станах. Последующую прокатку прошитой заготовки в трубу требуемых диаметров и толщины стенки производят на раскатных станах. Например, при наиболее распространённом методе трубу прокатывают на короткой оправке 2 в так называемом автоматическом двухвалковом стане (рис.4.12).

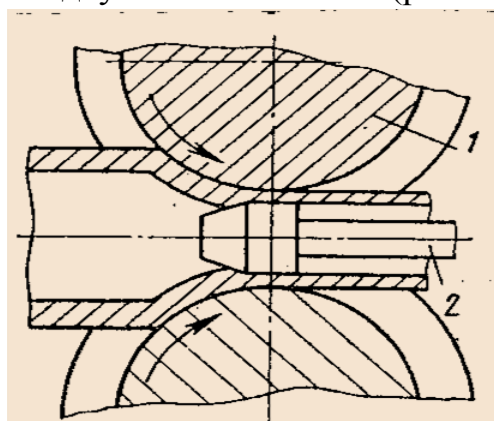


Рис.4.12. Схема прокатки труб на автоматическом стане

Валки 1 образуют последовательно расположенные круглые калибры, зазор между закреплённой на длинном стержне оправкой 2 и ручьями валков определяет толщину стенки трубы.

На рис.4.13 показан агрегат и клеть стана для прокатки труб.



Рис.4.13. Агрегат с непрерывным станом для прокатки труб

Сварные трубы изготавливают из плоской заготовки – ленты (называемой **штрипсом**) или из листов, ширина которых соответствует длине (или половине длины) окружности трубы. Процесс изготовления сварной трубы включает следующие основные операции: формовка плоской заготовки в трубу (рис.4.14.); сварка кромок; уменьшение (редуцирование) диаметра полученной трубы. Для сварки чаще применяют следующие способы: печную сварку, сварку сопротивлением и дуговую под слоем флюса.

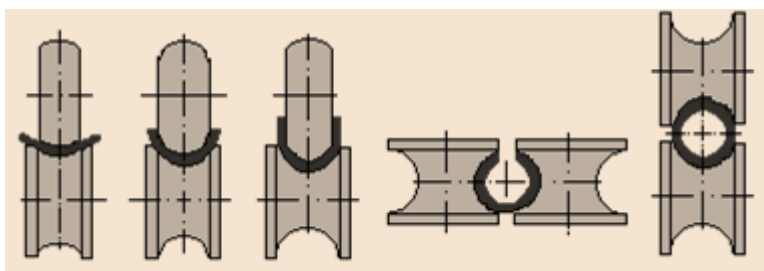


Рис.4.14. Последовательность процесса свёртывания полосы в трубу в шести клетях непрерывного стана.

Процессы получения специальных видов проката отличаются большим разнообразием. Особенно большое значение имеет прокатка периодических профилей, которые применяют как фасонную заготовку для последующей штамповки и как заготовку под окончательную механическую обработку. Периодические профили в основном изготавливают поперечной и поперечно-винтовой прокаткой. На станах поперечно-винтовой прокатки получают не только периодические профили, но и заготовки шаров и сверических роликов подшипников качения (рис.4.15.).

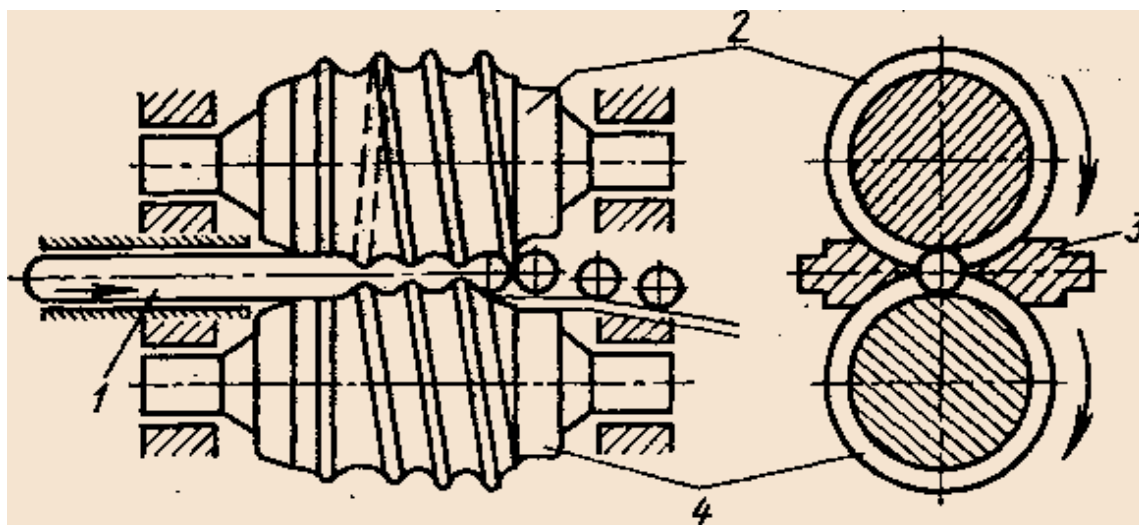


Рис.4.15. Схема прокатки шаров в стане поперечно-винтовой прокатки

Валки 2 и 4 вращаются в одну и ту же сторону. Ручьи валков соответствующей формы сделаны по винтовой линии. Заготовка 1 при прокатке получает вращательное и поступательное движения; от вылета из валков она предохраняется центрирующими упорами 3.

4.4. Ковка.

Сущность процесса. **Ковка** – вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента (в качестве которого применяют плоские или фигурные, вырезные) **бойки**, а также различный **подкладной инструмент**.

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

Ковка является единственно возможным способом изготовления тяжёлых поволоков (до 250 т).

Исходными заготовками дляковки тяжёлых крупных поволоков служат слитки массой до 320 т. Поковки средней и малой массы изготавливают из блюмов и сортового проката квадратного, круглого или прямоугольного сечений.

Основные операцииковки и применяемый инструмент. Процессковки состоит из чередования в определенной последовательности основных и вспомогательных операций. Каждая операция определяется характером деформирования и применяемым инструментом. К основным операциямковки относятся осадка, **протяжка, прошивка, отрубка, гибка**.

Осадка – операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади её поперечного сечения. Разновидностью осадки является высадка (рис.4.16, а). Осадкой не рекомендуется деформировать заготовки, у которых отношение высоты $h_{\text{зар}}$ к диаметру $d_{\text{зар}}$ больше 2,5, так как в этом случае может произойти продольное искривление заготовок.

Разновидность осадки является **высадка** (рис.4.16, б), при которой металл, осаживают лишь на часть длины заготовки.

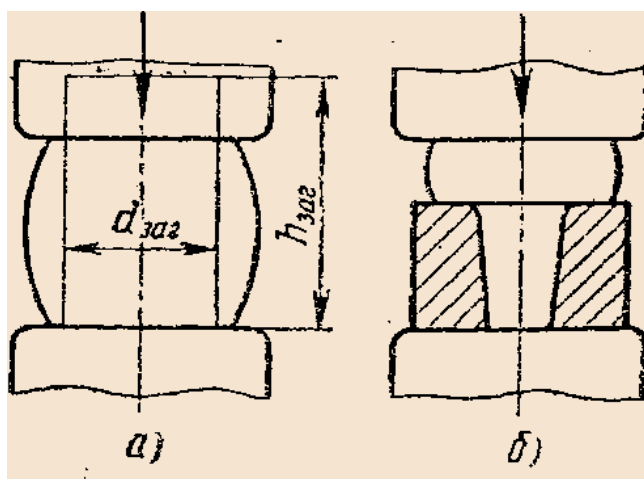


Рис.4.16. Схемы осадки (а) и высадки (б)

Протяжка – операция удлинение заготовки или её части за счёт уменьшения площади поперечного сечения. Деформация при протяжке может быть выражена величиной **уковки**:

$$У = F_n / F_k,$$

где F_n – начальная площадь поперечного сечения; F_k – конечная площадь поперечного сечения после протяжки.

Очевидно, чем больше уковка, тем лучше прокован металл, тем выше механические свойства. Поэтому протяжку применяют не только для получения поковок с удлинённой осью (валы, рычаги, тяги и т.п.), но и в чередовании с осадкой – для большей уковки металла заготовки.

Протяжка имеет ряд разновидностей: разгонка, **протяжка с оправкой**, **раскатка на оправке** рис.4.17.

Разгонка – операция увеличение ширины части заготовки за счёт уменьшения её толщины (Рис.4.17, г). Протяжка с оправкой – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счёт уменьшения её стенок (рис.4.17, д). Раскатка на оправке – операция одновременного увеличения наружного и внутреннего диаметров кольцевой заготовки за счёт уменьшения толщины её стенок (рис.4.17., е).

Прошивка–операция получения полостей в заготовке за счёт вытеснения металла. Прошивка сопровождается отходом (выдрой) (рис.4.18, а).

Отрубка – операция отделения части заготовки по незамкнутому контуру путём внедрения в заготовку деформирующего инструмента – топора (рис. 4.18, г).

Гибка – операция **придание** заготовке изогнутой формы по заданному контуру (рис.4.18, е).

Перечисленными операциямиковки трудно изготовить поковки с относительно сложной конфигурацией. Поэтому при изготовлении небольшой партии таких поковок применяют так называемую штамповку в подкладных штампах.

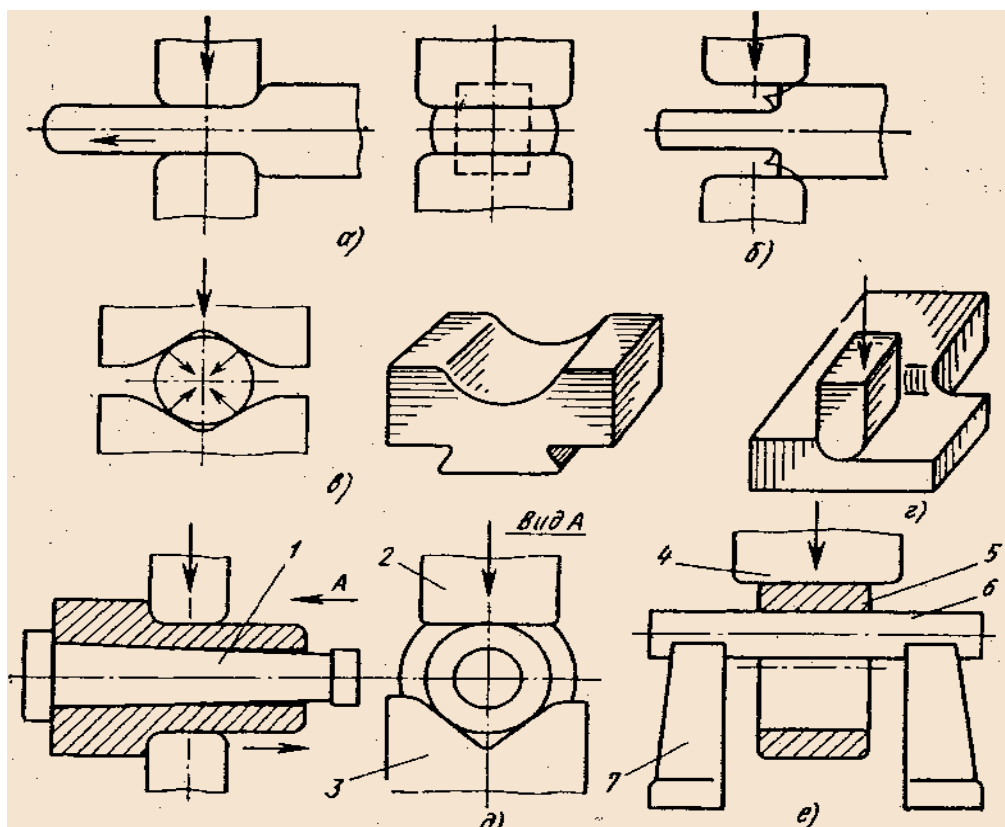


Рис.4. 17. Схема протяжки и её разновидности:

1 – оправка; 2 – верхний плоский боёк; 3 – нижний вырезной боёк; 4 – узкий длинный боёк; 5 – кольцевая заготовка; 6 – цилиндрическая оправка

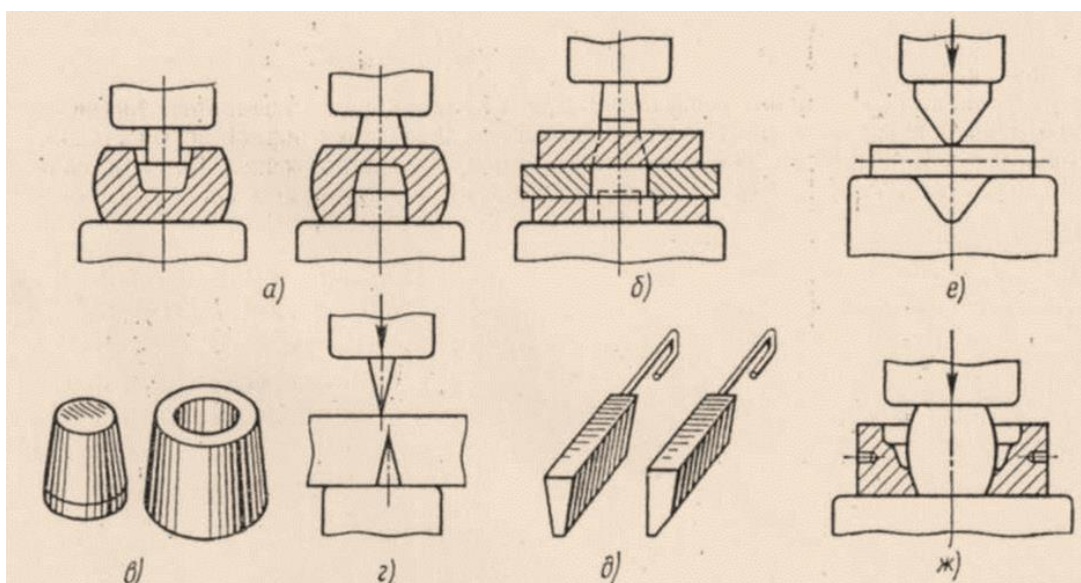


Рис.4.18. Схема операцийковки:

а – двусторонняя прошивка; б – сквозная прошивка; в – прошивки; г – отрубка; д – топоры; ж – штамповка в подкладных штампах

Оборудование дляковки.

Ковку выполняют на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах.

Молоты – машины динамического, ударного действия. Одним из основных типов молотов дляковки являются **паровоздушные молоты** (рис.4. 19). КПД молота зависит от массы **шабота** и массы падающих частей (масса шабота в 15 раз больше массы падающих частей).

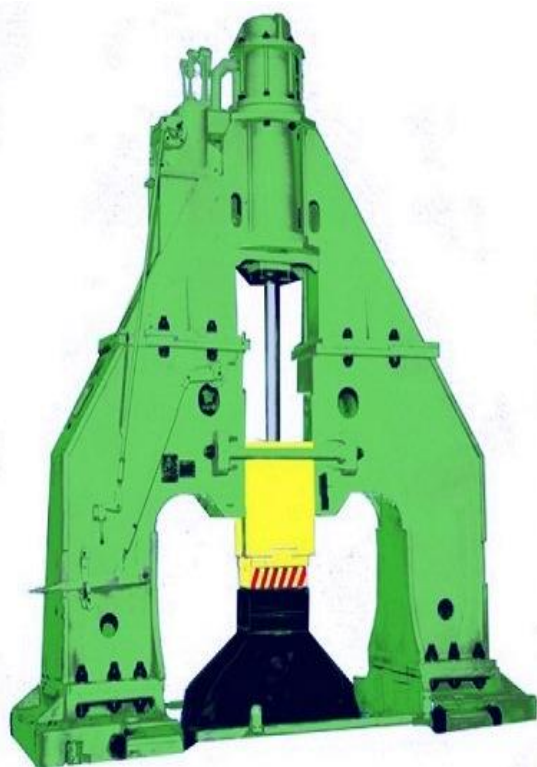
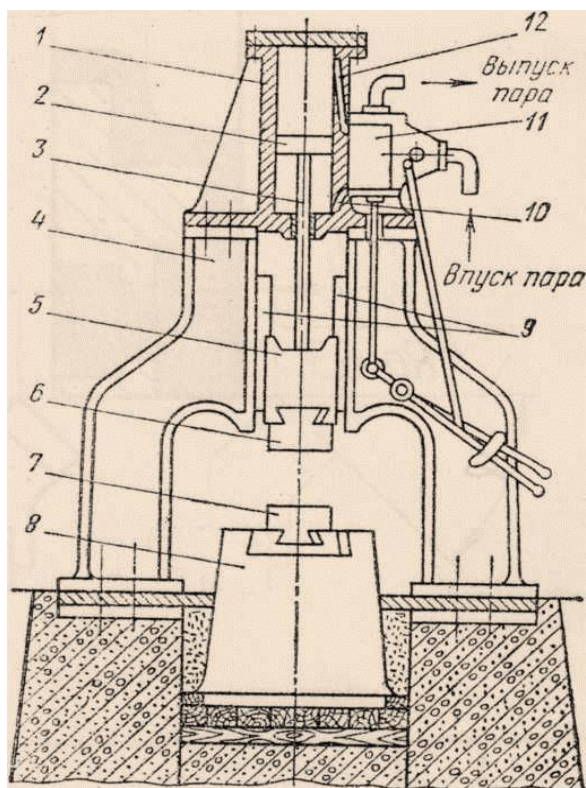


Рис. 4.19. Схема паровоздушного молота арочного типа

В зависимости от конструкции станины паровоздушные ковочные молоты бывают **арочные, мостовые и одностоечные**.

На станине 4 арочного молота (рис.4.19) смонтирован рабочий цилиндр 1 с парораспределительным устройством 11. При нажатии педали или рукоятки управления сжатый пар или воздух по каналу 12 поступает в верхнюю полость цилиндра 1 и давит на поршень 2, соединённый штоком 3 с бабой 5, к которой прикреплён верхний боёк 6. В результате падающей части 2, 3, 5 и 6 перемещаются вниз и наносят удар по заготовке, уложенной на нижний боёк 7, неподвижно закреплённый на массивном шаботе 8. При подаче сжатого пара по каналу 10 в нижнюю полость цилиндра 1 падающие части поднимаются в верхнее положение. Перемещение бабы 5 происходит в направляющих 9. В ковочных молотах станина 4 и шабот 8 закреплены на фундаменте по отдельности, так как для того, чтобы манипулировать заготовками и кузнечным инструментом, необходимо иметь доступ к бойкам со всех сторон (рис.4.20)



Рис.4.20. Паровоздушный молот арочного типа в работе

Гидравлические прессы – машины статического действия; продолжительность деформации на них может составлять от единиц до десятков секунд. Металл деформируется приложении усилия, создаваемого с помощью жидкости (водной эмульсией или минерального масла), подаваемого в рабочий цилиндр прессы (рис.4.21).



Рис.4.21. Гидравлический пресс статического действия

Технологическая разработка процесса – это составление чертежа поковки, на основании разработанного конструктором чертежа готовой детали с учётом **припусков, допусков и напусков** (рис.4.22.).

Припуск 2 – поверхностный слой металла поковки, подлежащий удалению обработкой резанием для получения требуемых размеров и качества поверхности готовой детали 1. Размеры детали увеличивают на величину припусков в местах, которые подлежат обработке резанием. Припуск 2 зависит от размеров поковки, её конфигурации, типа оборудования, применяемого для изготовления поковки и других факторов. Чем больше размеры поковки, тем больше припуск.

Допуск 4 – допустимое отклонение от номинального размера поковки, проставленного на её чертеже, т.е. разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами поковки.

Конфигурацию поковки иногда упрощают за счёт напусков 3 – объёма металла, добавляемого к поковке сверху припуска для упрощения её формы и, следовательно, процесса ковки.

Напуск 3 удаляют последующей обработкой резанием. Припуски, допуски и напуски назначают в строгом соответствии с ГОСТом.

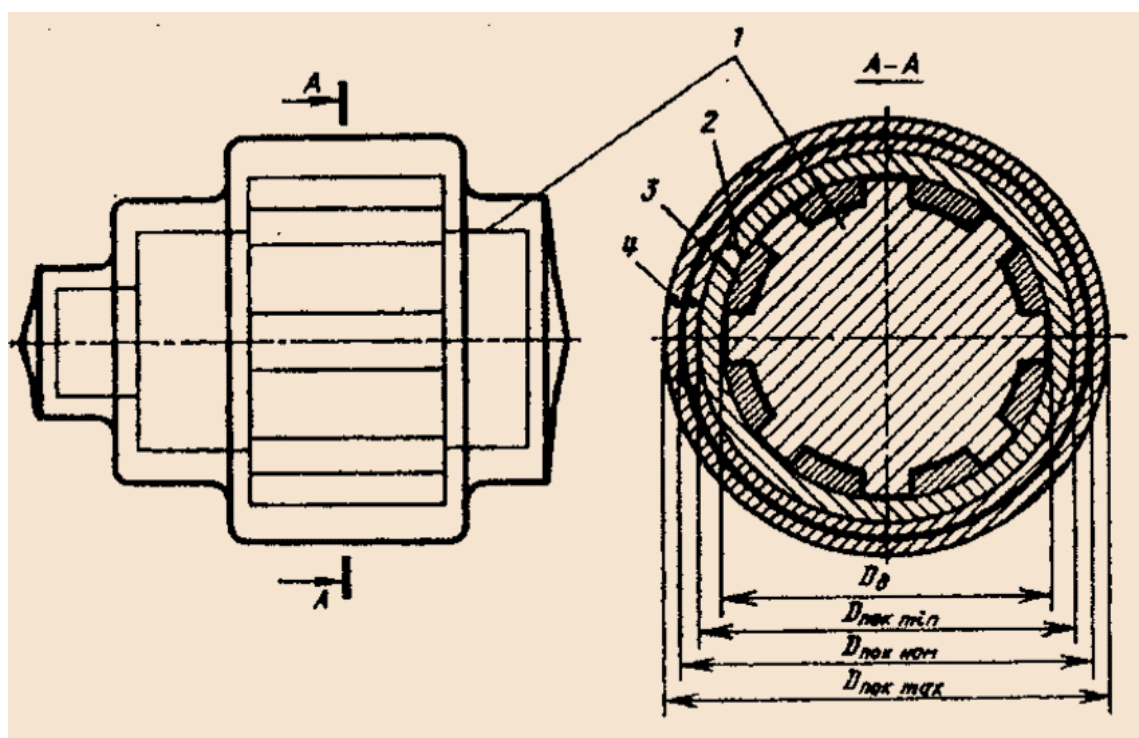


Рис.4.22. Схема размеров поковки с напуском, припуском и допуском

Выбор оборудования для ковки устанавливают в зависимости от конфигурации поковки и технологических требований на неё, вида заготовки (слиток или прокат).

Последовательность операций ковки устанавливают в зависимости от конфигурации поковки и технологических требований на неё, вида заготовки (слиток или прокат).

В качестве примера на рис.4.23. приведена последовательность ковки полого массивного цилиндра из слитка на гидравлическом прессе. Цилиндр коуют из стального слитка (сталь 40) массой 18 т с пяти нагревов. После первого нагрева протягивают прибыльную часть под патрон и сам слиток на диаметр 1000 мм, отрубают донную и прибыльную части слитка (рис.4.23, а). После второго нагрева выполняют осадку, прошивку отверстия и раскатку на оправке (рис.4.23, б). После третьего нагрева – посадку на оправку и протяжку на длину 1100 мм (рис.4.23, в). После четвёртого – посадку на оправку и протяжку средней части на диаметр 900 мм (рис.4.23, г). После пятого нагрева (нагревают только конец А) заковывают конец А.

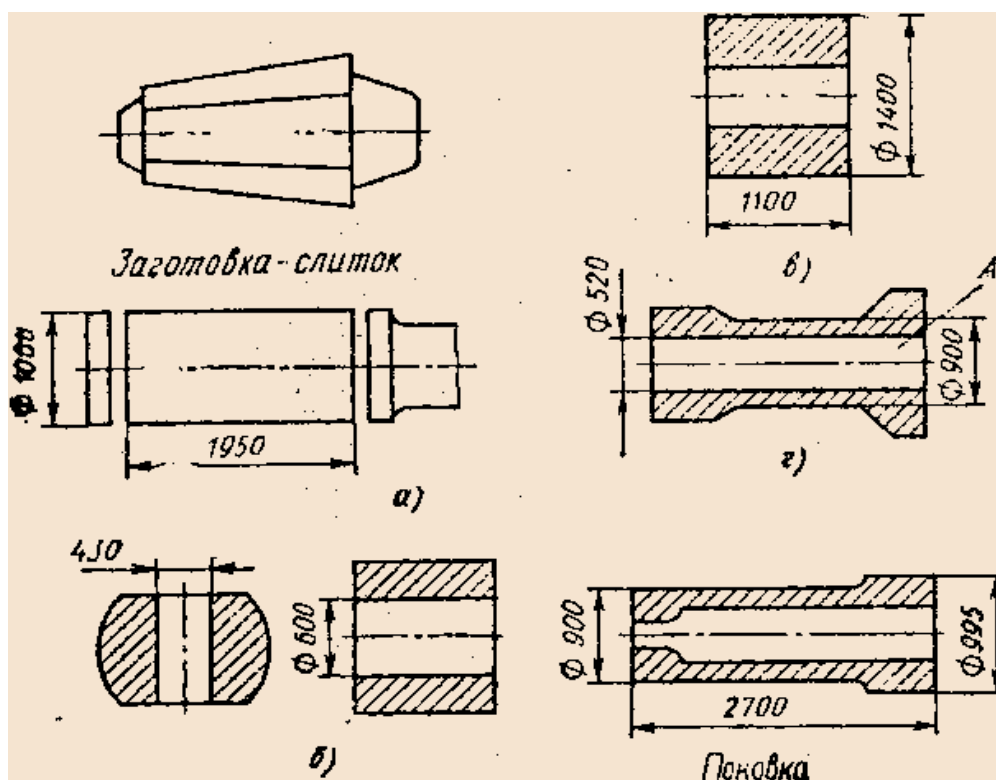


Рис. 4.23. Последовательность операций ковки полого цилиндра из слитка

Технологические требования к деталям, получаемых из кованных поковок, сводятся главным образом к тому, что поковки должны быть наиболее простыми, очерченными цилиндрическими поверхностями и плоскостями (рис.4.24, 1 – 4). В поковках следует избегать конических (рис.4.24, 5) и клиновых (рис.4.24, 6) форм. Необходимо учитывать трудность выполнения ковкой участков пересечений цилиндрических поверхностей между собой (рис.4.24, 7) и с призматическими поверхностями (рис.4.24, 8). В поковках следует избегать ребристых сечений, бобышек,

выступов и т.п., учитывая, что эти элементы в большинстве случаев изготовить ковкой невозможно. В местах сложной конфигурации приходится прибегать к напускам в целях упрощения конфигурации поковки, что вызывает удорожание детали. Кроме того, следует стремиться, чтобы конфигурация детали позволяла получать при ковке наиболее благоприятное расположение волокон.

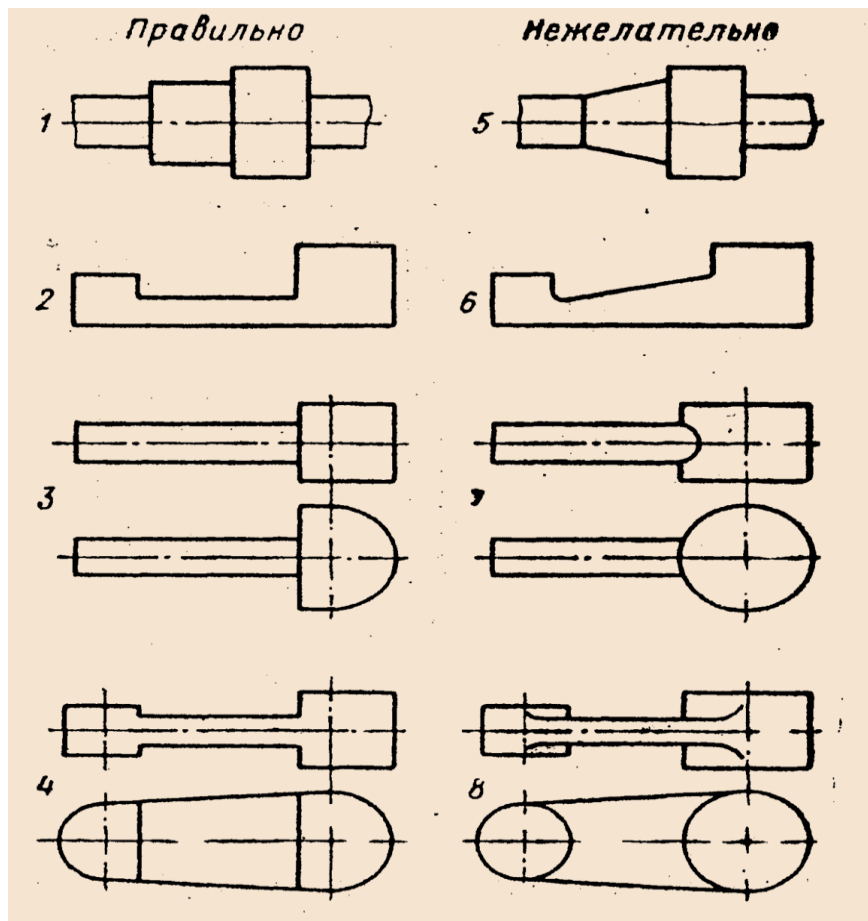


Рис. 4.24. Правильные и нежелательные формы поковок

Технологические особенностиковки высоколегированных сталей и цветных металлов обусловлены их технологическими свойствами.

Высоколегированные стали склонны к интенсивному упрочнению, поэтому для ихковки целесообразнее использовать пресс, а не молот. Особенно осторожно следует ковать литую заготовку, так как литая структура менее пластична, чем деформированная.

Последнее относится и ко всем **алюминиевым сплавам**. Например, АК5, АК6, АЛ1.

Медные сплавы (латунь и бронза) имеют не высокий запас пластичности, поэтому процессковки необходимо вести с минимальными растягивающими напряжениями.

Титан и титановые сплавы имеют достаточно высокую пластичность и обрабатываются всеми применяемыми способамиковки.

4.5. Горячая объёмная штамповка.

Горячая объёмная штамповка – это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента – *штампа*.

В качестве заготовок для горячей штамповки в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический.

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд **преимуществ**:

- можно получать поковки сложной конфигурации без напусков;
- допуски на штампованную поковку в **3 – 4** раза меньше, чем на кованную, вследствие этого сокращается объём последующей обработки резанием;
- производительность штамповки выше.

В тоже время имеется ряд **недостатков**:

- штамп – дорогостоящий инструмент и пригоден только для изготовления какой-то одной, конкретной поковки;
- для объёмной штамповки поковок требуется большие усилия деформирования, чем дляковки таких же поковок.

Поковки массой в несколько сот килограммов для штамповки считаются крупными. В основном штампуют поковки массой 20 – 30 кг и только в отдельных случаях – массой до 3 т.

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

Конфигурация поковок чрезвычайно разнообразна, в зависимости от неё поковки обычно подразделяют на группы и подгруппы (рис.4.25).

Для примера, штампованные поковки, показанные на рис.4.26, можно разделить на две группы: удлинённой формы, характеризующиеся большим отношением длины к ширине (рис.4.26, а), и короткие круглого и квадратного сечения (рис.4.26, б).

		Конфигурация поковок					
Группа	I	Подгруппа	1				
			2				
			3				
	II		1				
			2				
			3				
	III		1				
			1				
	IV		1				
			1				
	V		1				
			1				
VI	1						
	1						

Рис.4.25 Деление конфигураций поковок

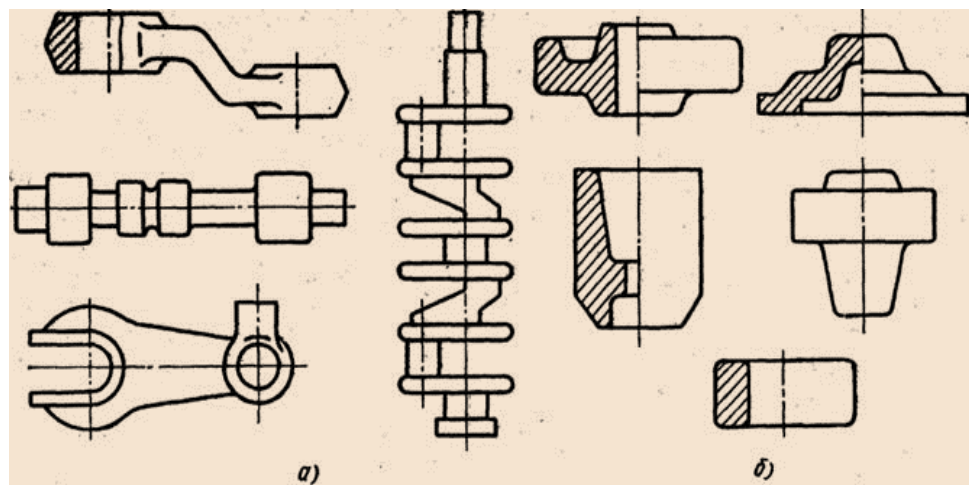


Рис. 4.26. Штампованные поковки

Способы горячей объёмной штамповки. Наличие большого разнообразия форм и размеров штампованных поковок, а также сплавов, из которых их штампуют, обуславливает существования различных способов штамповки. Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки.

В зависимости от типа штампа выделяют:

- штамповка в открытых штампах (предусмотрено заусенечная канавка, облой) рис.4.27, а.
- штамповка в закрытых штампах рис.4.27, б.

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объёмов заготовки и поковки. Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах – уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в заусенец. Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную макроструктуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в заусенец.

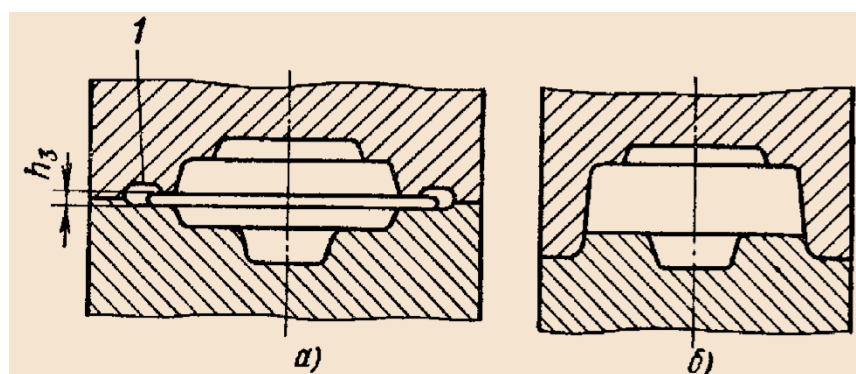


Рис. 4.27. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах:

1 – заусенечная канавка

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

Прежде всего, необходимо правильно выбрать поверхность разъёма. Плоскость разъёма должна быть выбрана такой, чтобы поковка свободно вынималась из штампа. При штамповке возможен сдвиг одной половины штампа относительно другой. Чтобы такой сдвиг можно было легко контролировать, плоскость разъёма должна пересекать вертикальную поверхность поковки (рис.4.28).

Припуски на механическую обработку назначают главным образом на сопрягаемые поверхности детали. Припуск зависит от габаритных размеров и массы поковки, от вида оборудования штамповки, шероховатости обрабатываемой поверхности детали; припуск выбирают по ГОСТу.

Для облегчения заполнения полости штампа и извлечения из неё поковки поверхности последней должны иметь **штамповочные уклоны и радиусы скругления** (рис.4.29).

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

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

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

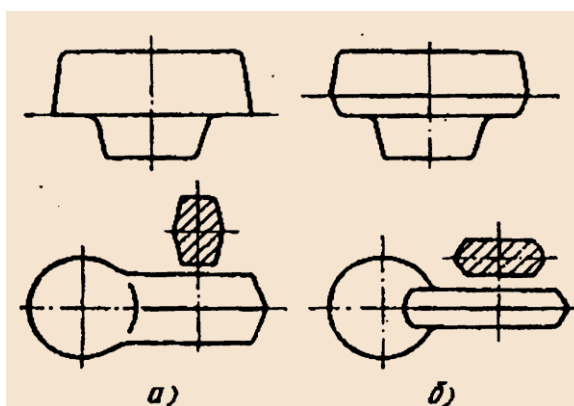


Рис.4.28. Выбор плоскости разъёма штампа:
а – неправильно; б – правильно

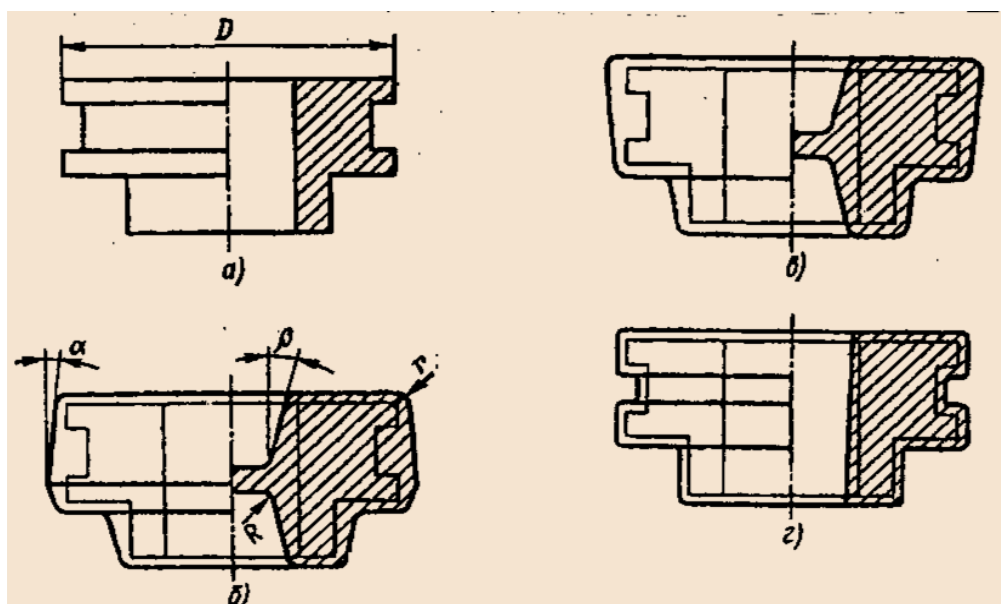


Рис.4.29. Примеры составления чертежа поковки:

а – деталь; б – поковка при штамповке в открытом штампе; в – то же, в закрытом штампе с одной плоскостью разъёма; г – то же, в закрытом штампе с двумя плоскостью разъёма.

Чаще всего в настоящее время фасонную заготовку получают в заготовительных ручьях штампов. Этот способ в зависимости от характера производства осуществляют либо в одном многоручьевом штампе, либо в

нескольких одноручьевых, установленных на отдельных штамповочных машинах. В первом случае в одном блоке расположены полости (ручьи) для получения фасонной заготовки и окончательного формообразования поковки (рис.4.30.).

Ручьи в многоручьевых штампах подразделяют на заготовительные и штамповочные. К заготовительным ручьям, служащим для получения фасонной заготовки, относятся протяжной, подкатный, гибочный, площадка для осадки и др.

Протяжной ручей 2 (рис.4.30.) служит для увеличения длины отдельных участков заготовки за счёт уменьшения площади их поперечного сечения.

Подкатный ручей 1 служит для местного увеличения сечения заготовки (набора металла) за счёт уменьшения сечения рядом лежащих участков.

Гибочный ручей 5 применяют только при штамповке поковок, имеющих изогнутую ось.

Черновой ручей 4 применяют в основном для снижения износа чистового.

Чистовой ручей 3 расположен в центре штампа, так как при штамповке наибольшее усилие возникает в нём. По краям штампа располагают ручьи, в которых усилия штамповки наименьшее, чтобы уменьшить эксцентрично приложенную на штамповочное оборудование нагрузку.

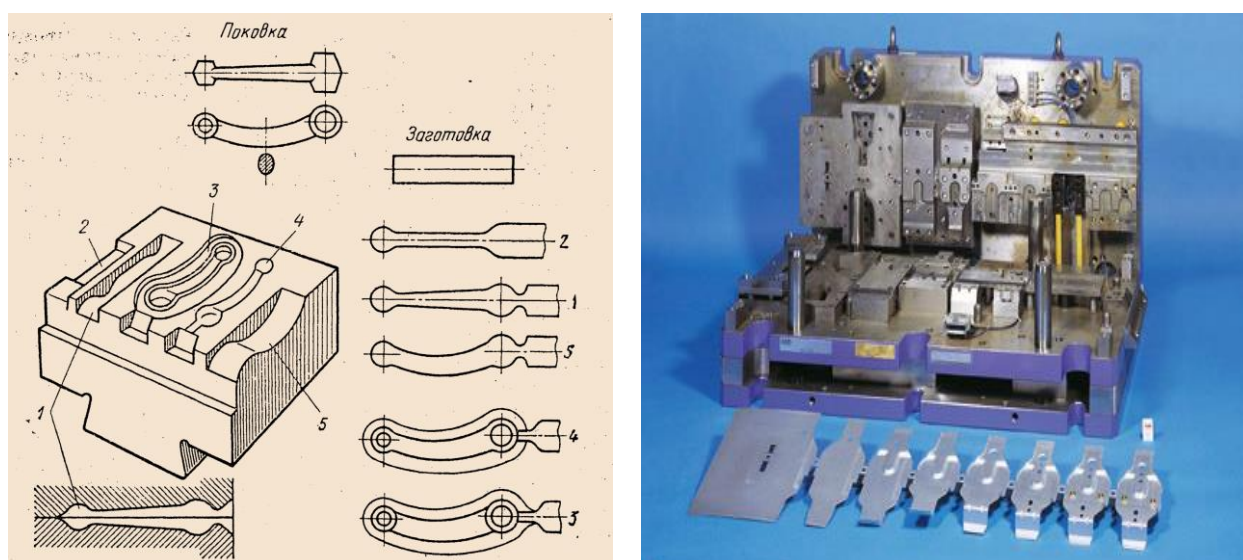


Рис.4.30. Многоручьевой штамп

При штамповке осадкой заготовки в торец размеры её подсчитывают из условия:

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

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

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

Оборудование для горячей объёмной штамповки.

Для горячей объёмной штамповки применяют:

- молоты;
- кривошипные горячештамповочные прессы;
- горизонтально-ковочные машины;
- гидравлические прессы;
- винтовые прессы и машины для специализированных процессов штамповки.

Процессы штамповки на этих машинах имеют свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

Основным видом штамповочных молотов являются паровоздушные штамповочные молоты. Принцип их действия тот же, что и у паровоздушных ковочных молотов, но конструкция другая.

Паровоздушные штамповочные молоты строят с массой падающих частей 630 – 25000 кг.

На рис.4.31. изображена кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы – КГШП.

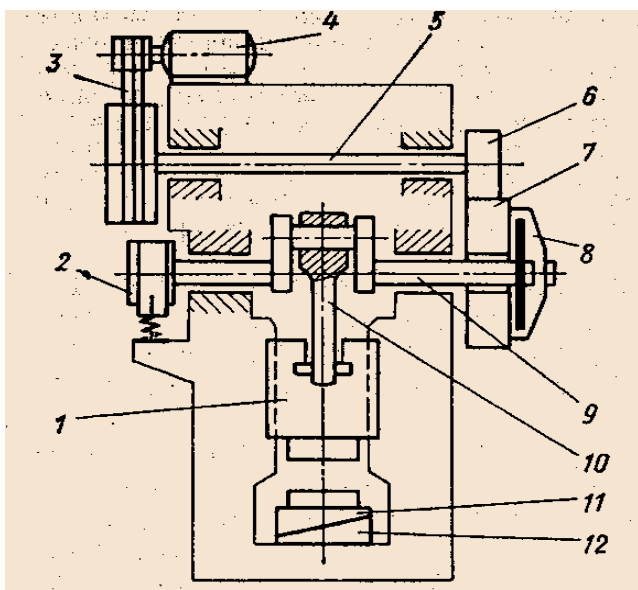


Рис. 4.31. Кинематическая схема кривошипного горячештамповочного прессы (КГШП):

1 – ползун; 2 – тормоз; 3 – ремни на шкиве; 4 – электродвигатель; 5 - промежуточный вал; 6 – малое зубчатое колесо; 7 – большое зубчатое колесо; 8 – дисковая муфта; 9 – кривошипный вал; 10 – шатун; 11 – стол прессы; 12 – клин (для регулировки высоты штамповочного пространства);

Кривошипные прессы (Рис.4.32) имеют постоянный ход, равный удвоенному радиусу кривошипа. Поэтому в каждом ручье штамную за один ход прессы, и производительность штамповки на прессах выше, чем на молотах. Наличие постоянного хода приводит к большой точности поковок

по высоте, а высокая жёсткость конструкции пресса, отсутствие ударов и сотрясений делают возможным применение направляющих колонок у штампов, что практически исключает сдвиг. При штамповке на кривошипных прессах имеются большие возможности для механизации и автоматизации процесса, чем при штамповке на молотах.

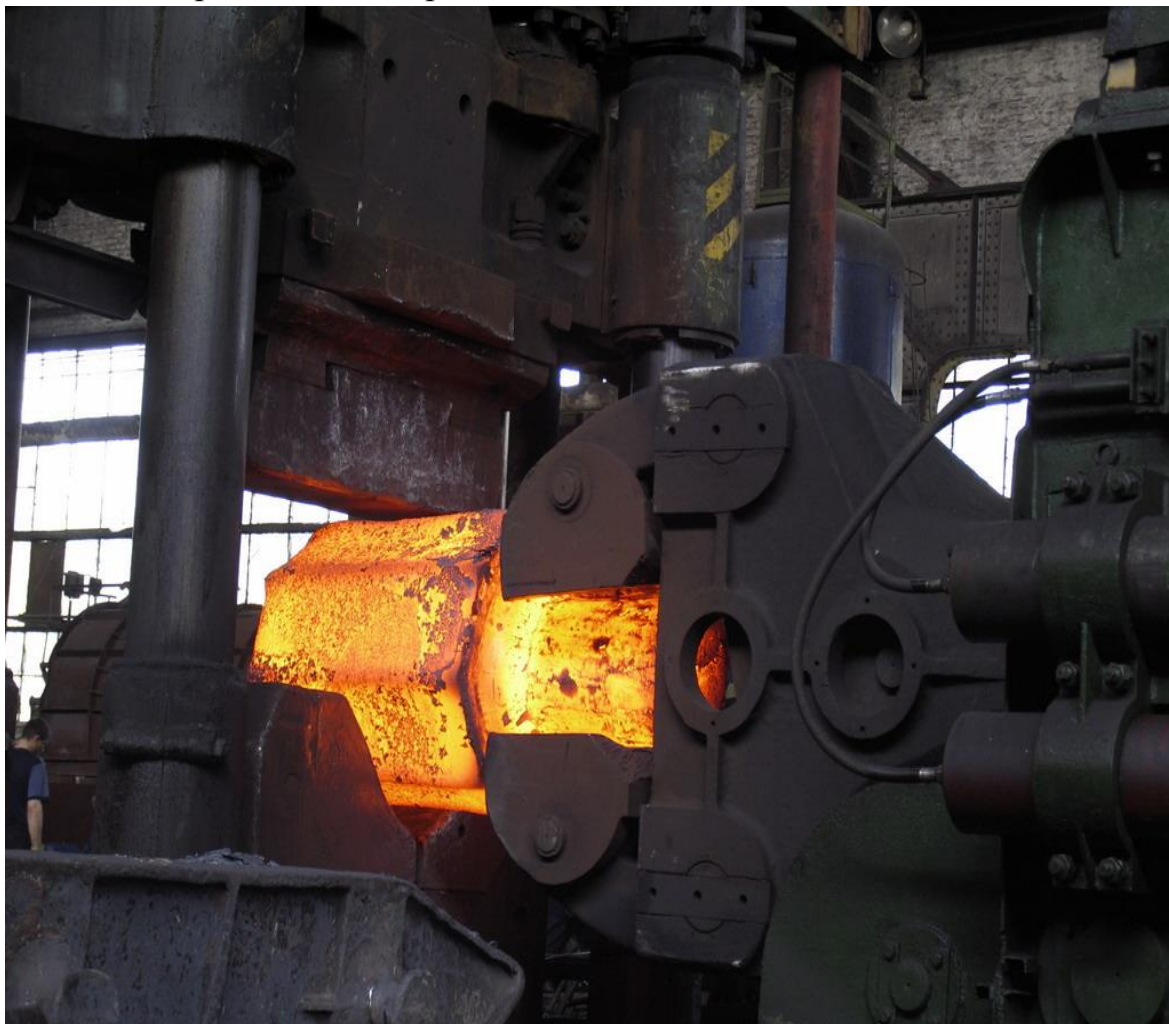


Рис.4.32. Кривошипный горячештамповочный пресс (КГШП) в работе

Типовые поковки, штампуемые на КГШП, подразделяют на группы I – V (рис.4.33.) и подгруппы 1 – 3. В группу I входят осесимметричные поковки, изготавливаемые осадкой в торец или осадкой с одновременным выдавливанием. В группу II входят поковки удлиненной формы с небольшой разницей поперечных сечений, в группу III – поковки удлиненной формы со значительной разницей сечений с предварительным фасонированием заготовки. Группу IV составляют поковки разной сложности с изогнутой осью, а группу V – поковки, получаемые выдавливанием.

		Подгруппа		
		1	2	3
		Группа	I	
II				
III				
IV				
V				

Рис.4.33 Классификация поковок, штампуемых в кривошипном горячештамповочном прессе, на группы I – V и подгруппы 1 – 3

Наряду с перечисленными преимуществами штамповка на кривошипных прессах имеет и недостатки. Ввиду жёсткого хода ползуна на прессах при многоручьевой штамповке нельзя применять такие ручки, как протяжной, подкатный и отрезной.

Заготовка перед штамповкой на прессе должна быть полностью очищена от окалины, так как деформация происходит за один ход пресса; при наличии окалины она заштамповывается в поверхность поковки. Стоимость кривошипного горячештамповочного пресса в 3 – 4 раза выше стоимости эквивалентного по мощности молота.

Ротационные способы изготовления поковок.

В основе этих способов лежит процесс ротационного обжатия при вращении инструмента или заготовки. При обкатывании инструментом заготовки очаг деформации имеет локальный характер и постоянно перемещается по заготовке, вследствие чего сила, действующая на инструмент, меньше, чем при штамповке. Это позволяет изготавливать поковки

большой массы (например, заготовки вагонных осей) с высокой точностью, так как упругие деформации при меньших силах меньше.

Штамповка на ковочных вальцах напоминает продольную прокатку в одной рабочей клетке, на двух валках которой закрепляют секторные штампы, имеющие соответствующие ручки (рис.4.34. а).

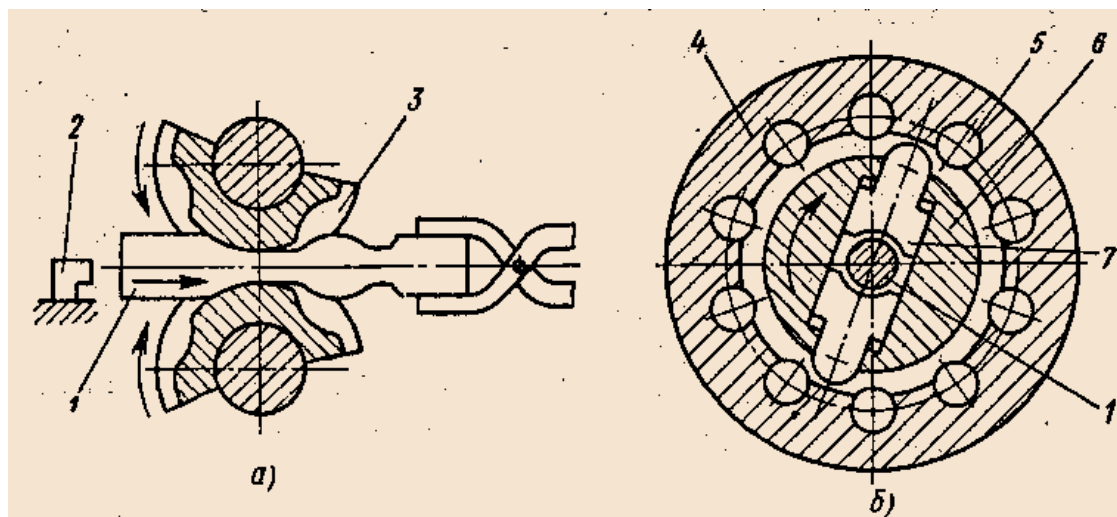


Рис. 4.34. Схема действия вальцов (а), ротационно-ковочной машины (б).

Нагретую заготовку 1 подают до упора 2 в тот момент, когда секторные штампы 3 расходятся. При повороте валков происходят захват заготовки и обжатие её по форме полости; одновременно с обжатием заготовка выталкивается в сторону подачи.

На вальцах изготовляют поковки сравнительно несложной конфигурации – типа звеньев цепей, рычагов, гаечных ключей и т.п.

Штамповка на ротационно-ковочных машинах подобна операции протяжки и заключается в местном обжатии заготовки по её периметру. Заготовку 1 (рис.4.34, б) в виде прутка или трубы помещают в отверстие между бойками 7, находящимися в шпинделе 6 машины.

Бойки могут свободно скользить в радиально расположенных пазах шпинделя. При вращении шпинделя ролики 5, помещённые в обойме 4, толкают бойки 7, которые наносят удары по заготовке. В исходное положение бойки возвращаются под действием центробежных сил. В машинах этого типа получают поковки, имеющие форму тел вращения.

Типовыми поковками, изготовляемыми радиальным обжатием, являются различного рода ступенчатые цилиндрические или конические валики, трубы с оттянутыми на конус концами и т.п.

Поперечно-клиновой прокаткой (рис.4.35, а) получают заготовки валов и осей (рис.4.35, б) диаметром до 100 мм и длиной до 700 мм. Заготовка 2 из круглого прокатанного прутка, после нагрева автоматически перемещается в рабочую зону клиньев 1 в их исходном положении. Клиновой инструмент,

закреплённый в подвижные салазки стана, совершает прямолинейное движение, и заготовка прокатывается между двумя клиновыми плитами 1 (рис.4.35, а).

Раскатка кольцевых заготовок на раскаточных машинах получила особенно большое распространение при производстве колец подшипников (рис.4.35, в, г). При подведении к заготовке 1, надетый на валок 2, быстро вращающегося валка 3 заготовка и валок 2 начинают вращаться. При дальнейшем сближении валков 2 и 3 увеличивается наружный диаметр заготовки за счёт уменьшения толщины и происходит её контакт с направляющим роликом 4, обеспечивающим получение правильной кольцевой формы поковки. После касания поковкой контрольного ролика 5 раскатка прекращается.

Раскаткой получают поковки колец с поперечными сечениями различной формы (зависящими от профиля валков), наружным диаметром 70 – 700 мм и шириной 20 – 180 мм.

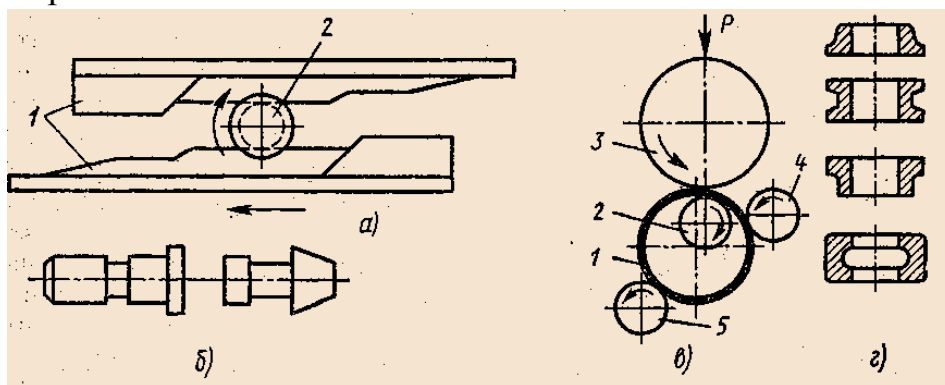


Рис.4.35. Схема поперечно-клиновой прокатки и раскатки

Горячая накатка зубчатых колёс (рис.4.36) находит применение, в частности, в автомобильной и тракторной промышленности. Сущность процесса заключается в обкатке, нагретой штучной или прутковой заготовки в зубчатых валках.

Поверхностный слой цилиндрической заготовки 1 нагревается током повышенной частоты с помощью индукторов 2. Благодаря радиальному усилию зубчатый валок 4, постепенно вдавливаясь в заготовку 1, формирует на ней зубья. Ролик 3, свободно вращаясь на валу, обкатывает зубья по наружной поверхности. После прокатки прутковой заготовки её разрезают на отдельные шестерни.

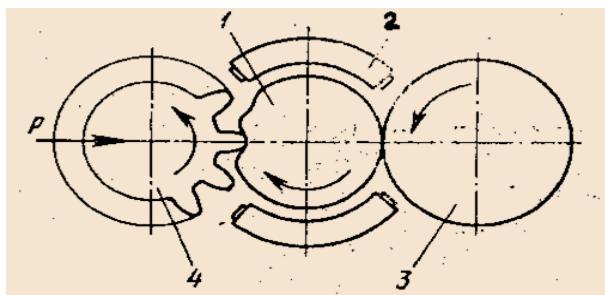


Рис.4.36. Схема горячей накатки зубьев зубчатого колеса

Изготовление зубчатых колёс методом горячего накатывания повышает износостойкость и усталостную прочность зубьев на 30 – 50 %. Это объясняется, в частности, благоприятной макроструктурой, при которой волокна обтекают контуры зубьев. Расход металла на 18 – 40 % меньше, чем при получении зубьев на зубонарезных станках, а производительность полуавтомата для накатки выше производительности зубонарезного оборудования.

Накатка резьбы по сравнению с её получением методами резания позволяет существенно повысить производительность труда, сократить потери металла, увеличить прочность резьбовых соединений. Наибольшее применение накатка резьбы получила в серийном и массовом производствах, где используют резьбонакатные станки и автоматы для производства винтов, болтов, гаек.

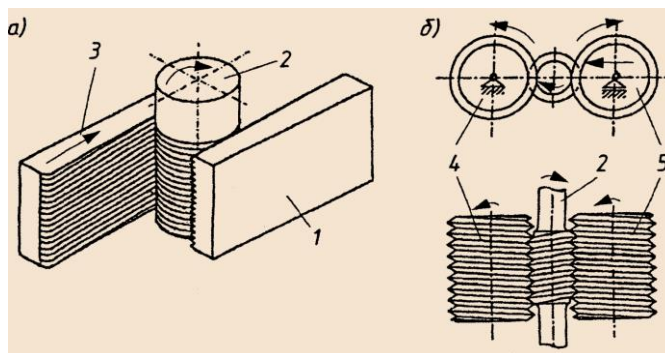


Рис. 4.37. Схема накатывание резьбы

Плашки 1, 3 (рис.4.37, а) имеют на рабочей поверхности продольные канавки и выступы, соответствующие профилю резьбы. Угол наклона канавок равен углу подъёма винтовой линии резьбы. Одна из плашек, 3, совершает возвратно-поступательное движение, что приводит во вращение заготовку 2. Резьба накатывается за один двойной ход подвижной плашки. Недостатком таких машин является большие динамические нагрузки при реверсировании привода, поэтому накатка роликами получила большее распространение.

Резьбонакатные ролики 4, 5 (рис.4.37, б) с наружным резьбовым профилем вращаются в одном направлении. Один из роликов, 5, имеет

поступательное движение к заготовке 2, что определяет глубину вдавливания инструмента в металл и высоту профиля резьбы.

Структура технологического процесса горячей объёмной штамповки состоит обычно из следующих этапов:

- отрезки проката на мерные заготовки;
- нагрева;
- штамповки;
- обрезки облоя и пробивки плёнок;
- правки;
- термической обработки;
- очистки поковок от окалины;
- калибровки;
- контроля готовых поковок.

Калибровка поковок повышает точность размеров всей поковки или её отдельных участков. Таким образом, последующая механическая обработка устраняется полностью или ограничивается только шлифованием. Различают плоскостную и объёмную калибровку.

Плоскостная калибровка служит для получения точных вертикальных размеров на одном или нескольких участках поковки, ограниченных горизонтальными плоскостями (рис.4.38, б). При плоскостной калибровке поковку правят в холодном состоянии на кривошипно-коленных прессах (рис.4.38, а). Механизм кривошипно-коленного пресса обеспечивает получение больших усилий на ползуне 2 при сравнительно малом ходе и вращающем моменте на валу 1.

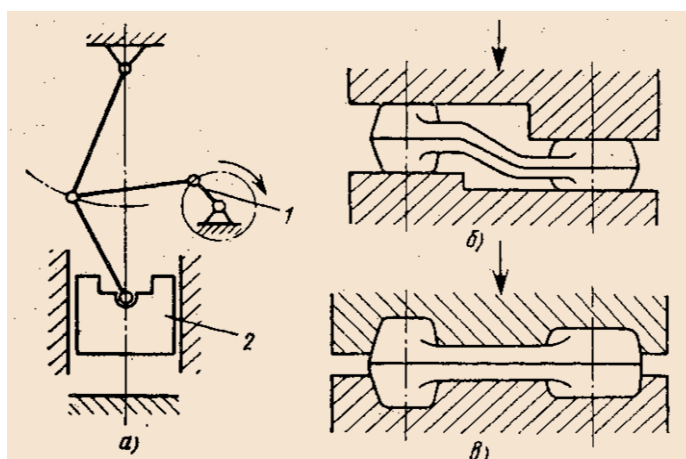


Рис.4.38. Кинематическая схема кривошипно-коленчатого пресса (а) и схема плоскостной (б) и объёмной (в) калибровки

Поскольку калибруют с небольшой степенью деформации (менее 5...10 %), необходимо заранее при штамповке предусматривать припуск на калибровку. Причём с увеличением припуска точность размеров после калибровки уменьшается, а качество поверхности улучшается. Обычная

точность после калибровки составляет $\pm (0,1...0,25)$ мм, а допуск при калибровке с повышенной точностью в 2 раза меньше.

Объёмной калибровкой (рис.12.38, в) повышают точность размеров поковки в разных направлениях и улучшают качество её поверхности. Калибруют в штампах с ручьями, соответствующими конфигурации поковки.

При контроле готовых поковок их осматривают, выборочно измеряют геометрические размеры, твёрдость. Размеры контролируют универсальными инструментами (**штангенциркулями, штангенглубиномерами, и др.**) и специальными инструментами (**скобами, шаблонами и контрольными приспособлениями**). Несколько поковок из партии иногда подвергают металлографическому анализу и механическим испытаниям. Внутренние дефекты в поковках определяют ультразвуковым методом контроля и рентгеновским просвечиванием.

4.6. Холодная штамповка

Сущность процесса. Обычно под холодной штамповкой понимают штамповку без предварительного нагрева заготовки. Холодную штамповку можно подразделить на:

- объёмную штамповку (сортового металла);
- листовую штамповку (листового металла) (рис.12.39).



Рис.4.39. Штамп для холодной штамповки листового металла

Такое подразделение целесообразно потому, что характер деформирования, применяемые операции и конструкции штампов для объёмной и листовой штамповки значительно различаются между собой.

Объёмная штамповка. Основные разновидности холодной объёмной штамповки:

- холодное выдавливание (рис.4.40);
- холодная высадка;
- холодная объёмная формовка.

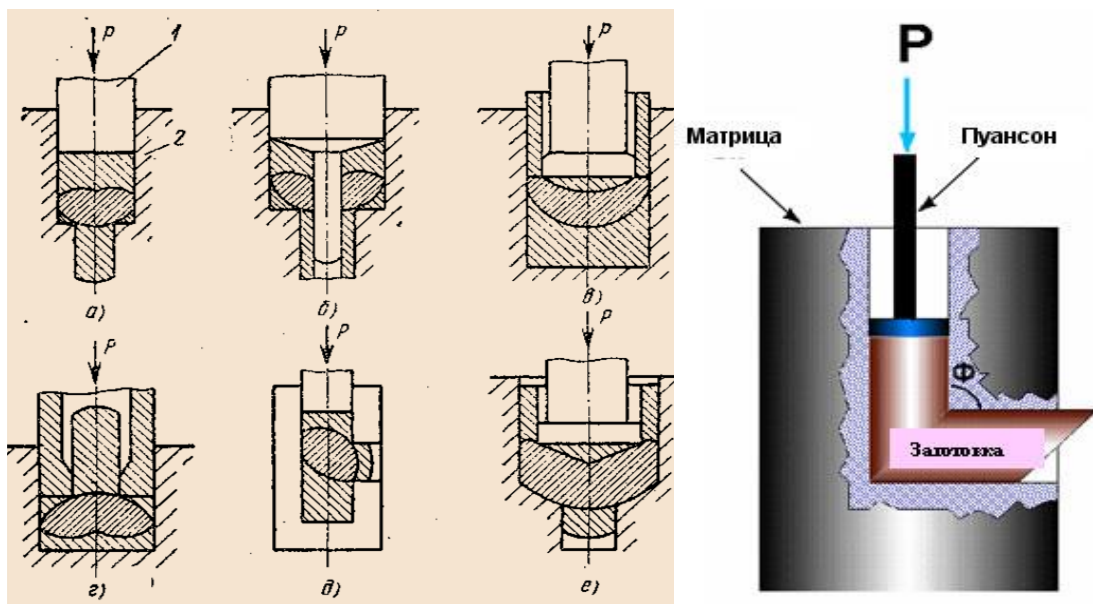


Рис.4.40. Схемы выдавливания:

- а) – прямое выдавливание; б) – выдавливание металла в кольцевую щель между стержнем и отверстием матрицы; в) – обратное выдавливание; г) – обратное выдавливание металла в отверстие в пуансоне; д) – боковое выдавливание; е) – комбинированное выдавливание

При холодном выдавливании заготовку помещают в полость, из которой металл выдавливают в отверстия, имеющиеся в рабочем инструменте. Основной положительной особенностью выдавливания является возможность получения без разрушения заготовки весьма больших степеней деформации. Основные технологические мероприятия, направленные на снижение удельных усилий выдавливания, - применение различных смазывающих материалов или покрытий заготовок для уменьшения сил трения.

Холодная высадка (рис.4.41) выполняется на специальных холодновысадочных автоматах. Штампуют от прутка или проволоки. Штамповкой на холодновысадочных автоматах обеспечиваются достаточно высокая точность размеров и хорошее качество поверхности, вследствие чего некоторые детали не требуют последующей обработки резанием (винты,

болты, шпильки). Высокая производительность: 20 – 400 деталей в минуту; только 5% металла идёт в отходы.

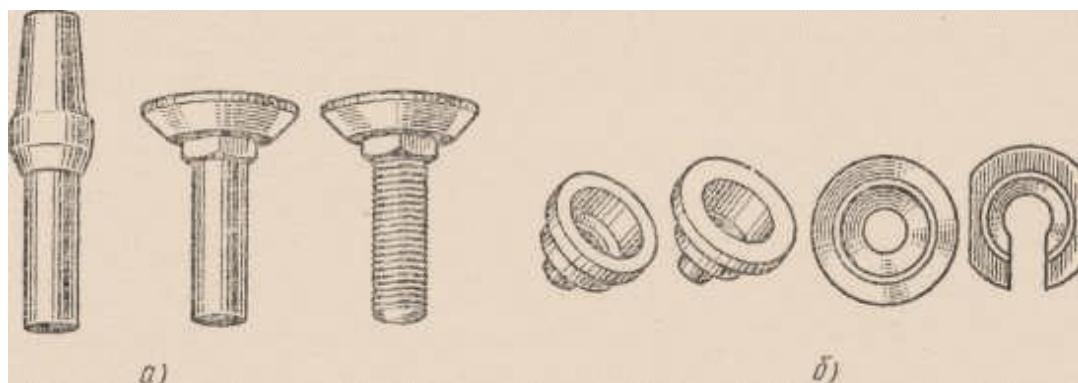


Рис. 4.41. Последовательность переходов изготовления деталей на холодновысадочных автоматах:

а – винта; б - колпачка

Холодная объёмная формовка в открытых штампах заключается в придании заготовке формы детали путём заполнения полости штампа металлом заготовки. Этим способом можно изготавливать пространственные детали сложных форм (сплошные и с отверстиями).

Листовая штамповка. В качестве заготовки при листовой штамповке используют полученный прокаткой лист, полосу или ленту, свёрнутую в рулон (толщина не более 10 мм). Листовой штамповкой изготавливают самые разнообразные плоские и пространственные детали массой от долей граммов и размерами, исчисляемыми долями миллиметра (например, секундная стрелка ручных часов), и детали массой в десятки килограммов и размерами, составляющими несколько метров. Этот метод штамповки широко применяют в различных отраслях промышленности – авто-, тракторо-, самолёто-, ракетно- и приборостроение, электротехническая промышленность и др.

При листовой штамповке чаще всего используют низкоуглеродистую сталь, пластичные легированные стали, медь, латунь, содержащую более 60% Cu, алюминий и его сплавы, магниевые сплавы, титан и др.

Операции листовой штамповки: отрезка, **вырубка** и **пробивка**, **гибка**, **вытяжка без утонения стенки**, **вытяжка с утонением стенки**, **отбортовка**, **обжим**.

Разделительные операции. Схемы основных разделительных операций металлоконструкций приведены на рис.4.42. С их помощью осуществляются отрезка рулонного и листового проката на ленты и полосы, **вырубка** плоских деталей различной формы, получение заготовок для последующей штамповки пространственных пустотелых деталей и др.

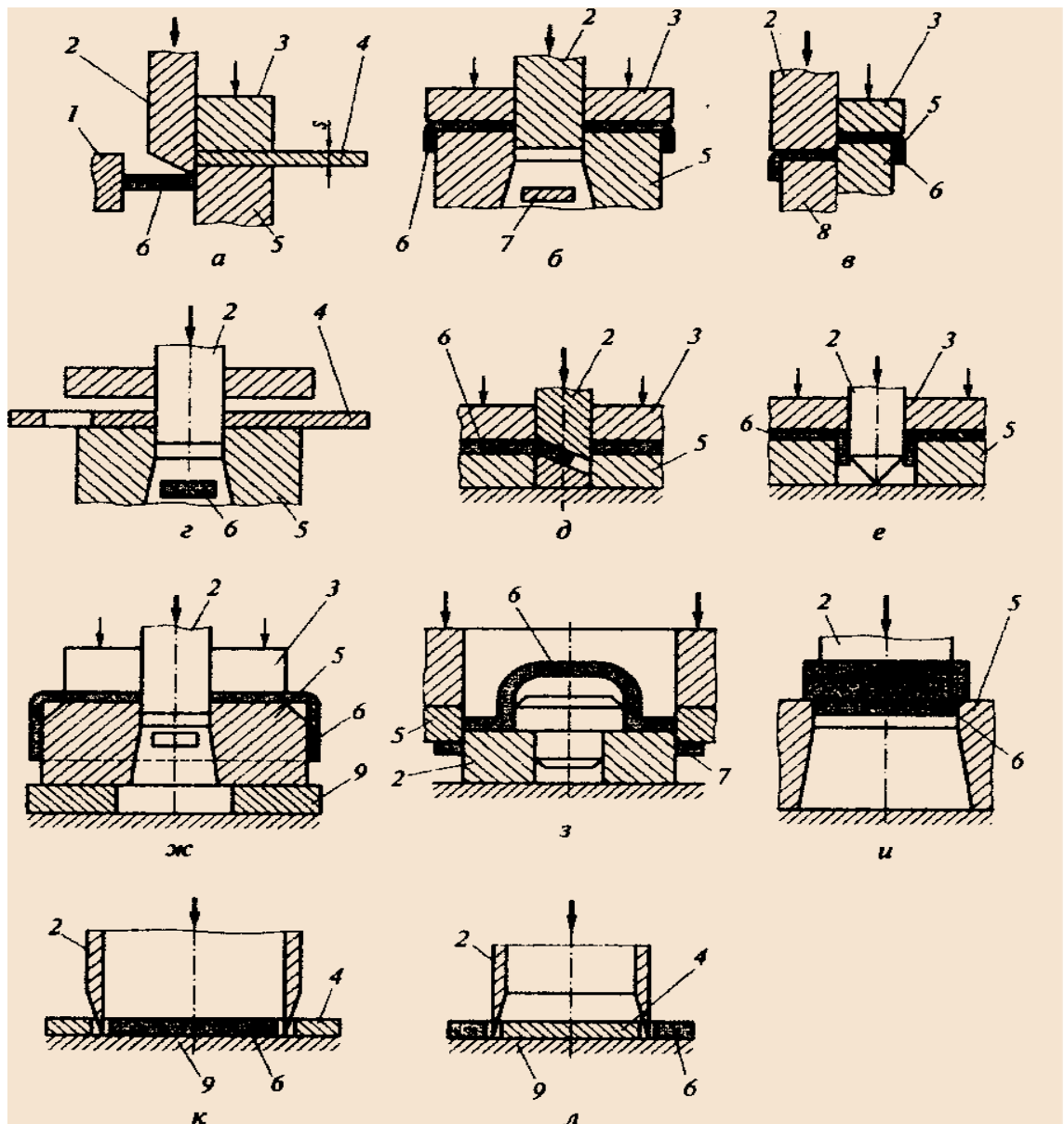


Рис.4.42. Схемы основных разделительных операций металлопродукции:

a – отрезка; *б, в* – разрезка с отходом и без отхода; *г* – вырубка; *д* – надрезка; *е* – проколка;
ж – пробивка; *з* – обрезка; *и* – зачистка; *к* – высечка; *л* – просечка;
 1 – упор; 2 – пуансон; 3 – прижим; 4 – исходный металлопродукт (лист); 5 – матрица; 6 – полученный металлопродукт; 7 – отходы; 8 – выталкиватель; 9 – подкладная плита;
s – толщина обрабатываемой металлопродукции; → – направленное действие рабочего усилия; ⇨ – движение рабочих частей установки.

В себестоимости продукции листовой штамповки затраты на материал составляет 50...70 %, поэтому наиболее эффективным способом снижения себестоимости является экономия материала за счёт снижения массы его отходов.

Различают шесть видов раскрой деталей (или заготовок), область применения которых определяется формой и размерами штампуемых деталей (рис.4.43).

Вид раскрой	Раскрой		Форма детали (заготовки)
	С отходами	Малоотходный или безотходный	
Прямой			Простая геометрическая с вытянутой осью
Наклонный			Г-образная
Встречный			Т- и Ш-образные
Комбинированный			Разная, но одинаковой толщины
Многорядный			Круглая, шестигранная и др.
С вырезкой перемычек			Узкая (стрелки и др.), удлиненная

Отход

Рис.4.43. Основные виды раскрой

При штамповке деталей простой геометрической формы (прямоугольной, овальной и т.п.) применяют прямой раскрой; при штамповке деталей Г – образной или другой сходной формы – раскрой наклонный; детали Т – и Ш – образной формы целесообразно штамповать с применением встречного раскрой; комбинированный раскрой применяют при штамповке деталей разной формы, но одинаковой толщины из одного и того же материала (мелкие детали располагаются в промежутках между деталями больших размеров). При штамповке деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве применяют многорядный раскрой. При изготовлении мелких и весьма узких деталей (например, стрелок часов) из мерной полосы или ленты применяют раскрой с вырезкой перемычек. Это единственный вид раскрой, когда преднамеренно повышается отход металла в целях увеличения площади поперечного сечении пуансона для пробивки окон (повышается стойкость пуансона).

Формоизменяющие операции. Схемы основных формоизменяющих операций показаны на рис.4.44.

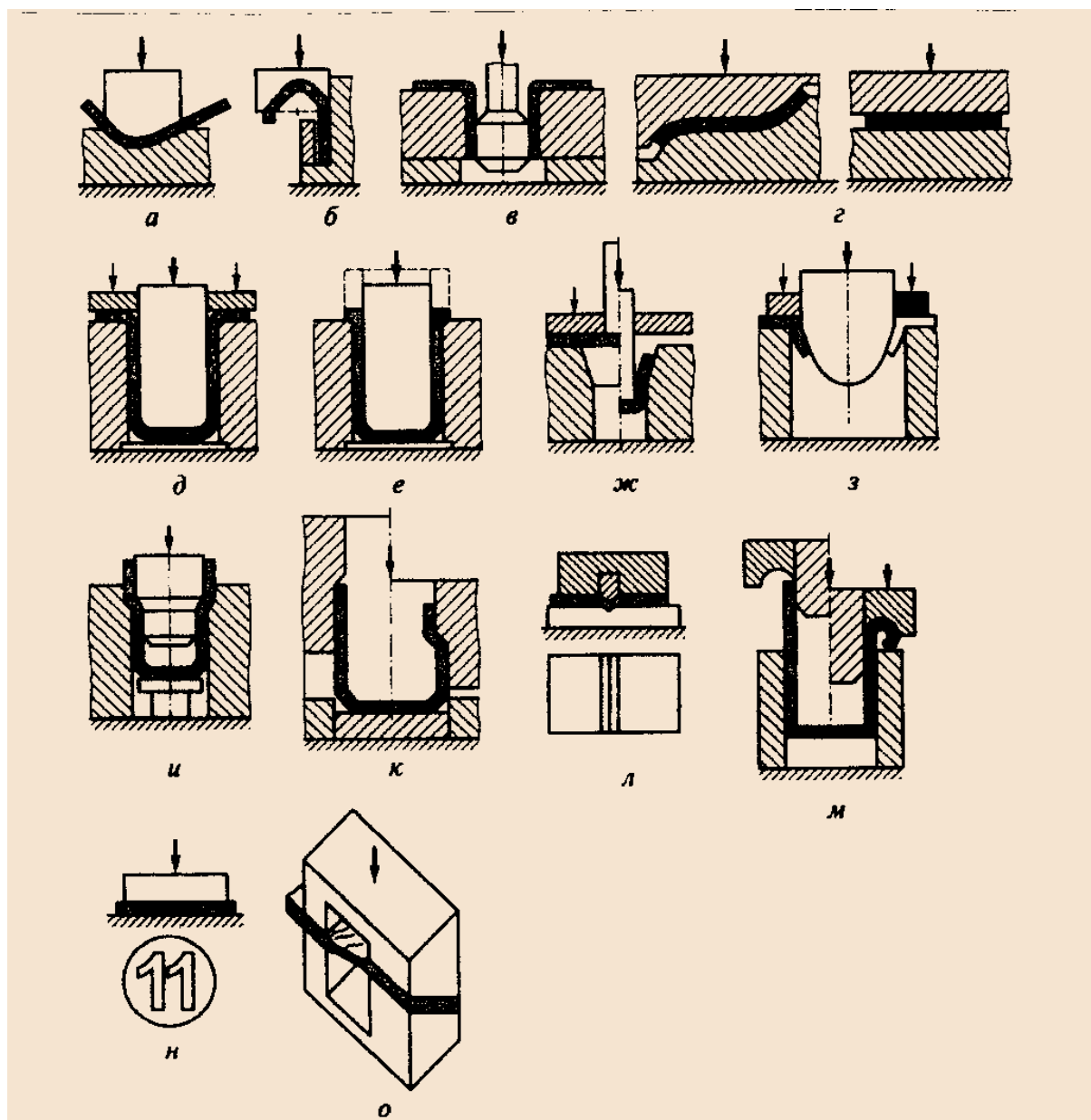
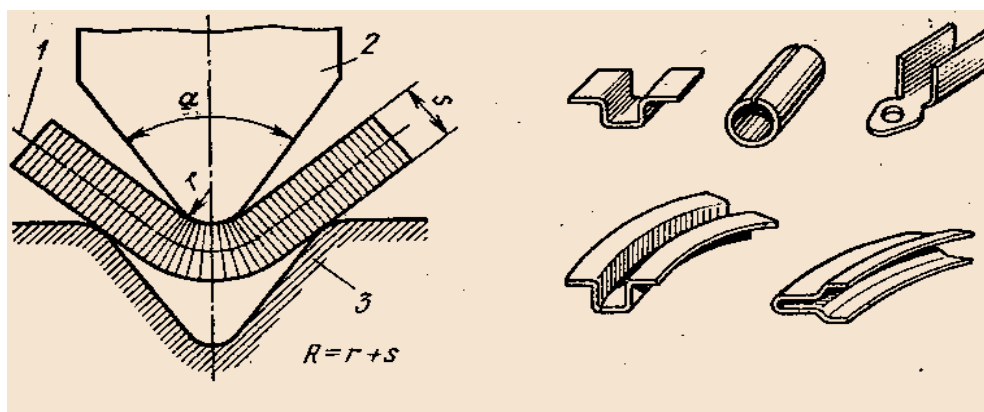


Рис. 4.44. Схемы основных формоизменяющих операций:

a – гибка; *б* – завивка; *в* – калибровка; *д* – вытяжка; *е* – вытяжка с утанением; *ж* – комбинированная вытяжка; *з* – отбортовка; *и* – раздача; *к* – обжим; *л* – рельефная формовка; *м* – закатка; *н* – чеканка (для примера число 11); *о* – скручивание;

→ - направление действия силы; → - направления прижима.

Гибка – операция, изменяющая кривизну заготовки практически без изменения её линейных размеров (рис.4.45, а).



a)

б)

Рис.12.45. Схема гибки (а) и изделия, получаемые при её использовании (б):

1 – нейтральный слой; 2 – пуансон; 3 – матрица

В процессе гибки пластическая деформация сосредотачивается на узком участке, контактирующем с пуансоном, в то время как участки, образующие полки детали, деформируются упруго. В зоне пластических деформаций наружные слои растягиваются, а внутренние сжимаются. У середины заготовки (по толщине) находятся слои, деформация которых равна нулю. Из сказанного следует, что с достаточной степенью точности размеры заготовки для детали, получаемой гибкой, можно определить по условию равенства длин заготовки и детали по средней линии. Деформация растяжения наружного слоя и сжатия внутреннего увеличивается с уменьшением радиуса скругления рабочего торца пуансона. Деформация растяжения наружного слоя не беспредельна, и при определённой её величине может начаться разрушения заготовки с образованием трещин, идущих от наружной поверхности в толщу заготовки. Это обстоятельство ограничивает минимальные радиусы r_{\min} , исключающие разрушение заготовки. В зависимости от пластичности материала заготовки $r_{\min} = (0,1 \dots 2) S$.

При гибке в штампах можно одновременно изменять кривизну на нескольких участках по длине заготовки, оставляя другие участки прямолинейными, в некоторых случаях (получение втулок) пластические деформации при гибке могут охватывать всю заготовку.

На рис.4.45, б показаны примеры деталей, полученных гибкой. Детали, изогнутые в нескольких плоскостях, обычно изготавливают последовательным деформированием заготовки в нескольких штампах. В этих случаях гибке может подвергаться пространственная заготовка, полученная на предыдущих переходах.

Вытяжка без утонения стенки превращает плоскую заготовку в полое пространственное изделие при уменьшении периметра вытягиваемой заготовки (рис.4.46).

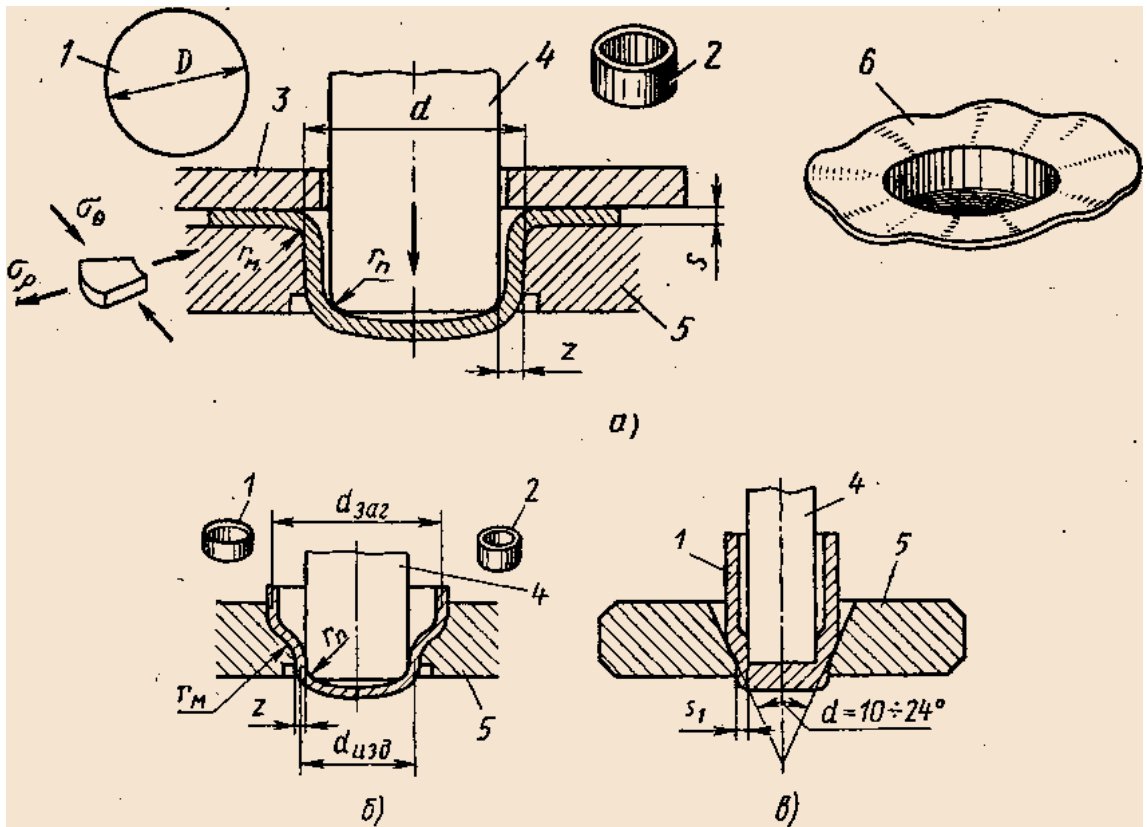


Рис.4.46. Схема первого перехода вытяжки (а), последующей вытяжки (б), вытяжки с утонением стенки (в):

- 1 – заготовка; 2 – изделие; 3 – прижим; 4 – пуансон; 5 – матрица; 6 – изделие со складками, образующимися при вытяжке без прижима
 z – зазор, между поверхностями пуансона и матрицы; σ_p , σ_θ – напряжения растяжения и сжатия; r – радиус изгиба; s – толщина листа

Используя в определённой последовательности отдельные операции листовой штамповки, можно изготавливать разнообразные плоские и пространственные детали.

Штампы для листовой штамповки. В крупносерийном производстве (при изготовлении ольшого числа одинаковых деталей) применяют сравнительно сложные штампы, состоящие из значительного числа деталей и обеспечивающие хорошее качество изделия при высокой стойкости инструмента и достаточно высокую производительность. Существуют штампы для выполнения только одной операции и выполнения нескольких операций листовой штамповки за один ход пресса.

На рис 4.47 приведена схема штампа последовательного действия, в котором операции выполняют в различных позициях по направлению подачи: в позиции I происходит пробивка, а после перемещения полосы на шаг подачи (позиция II) – вырубка, в результате чего получают изделия в виде шайбы.

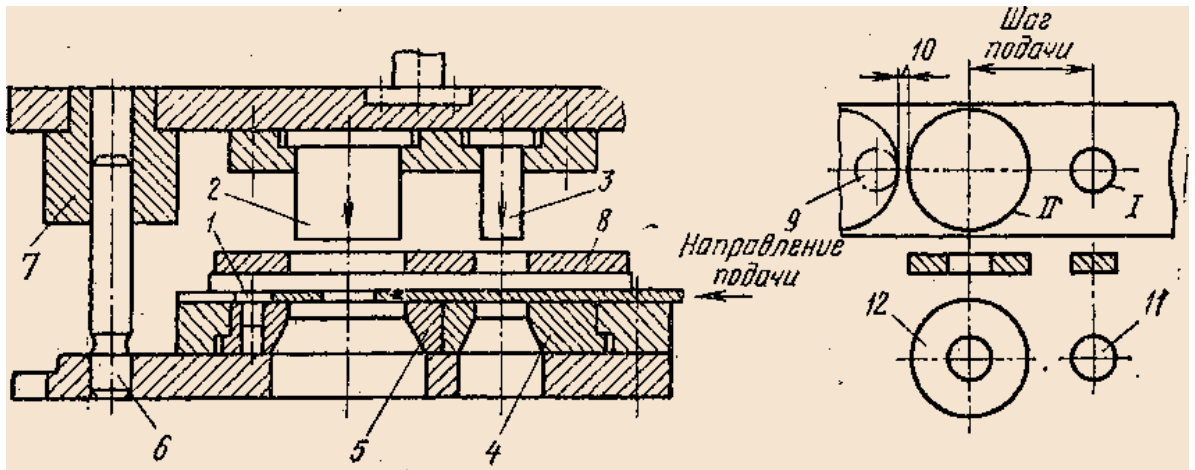


Рис. 4.47. Схема штампа последовательного действия для пробивки и вырубки

Пуансоны 2 и 3 закрепляют на верхней плите штампа, а матрицы 4 и 5 – на нижней. Точное направление пуансонов относительно матриц обеспечиваются направляющими втулками 7 и колонками 6, запрессованными в верхнюю и нижнюю плиты штампа. Полосы или лента подаётся между направляющими линейками до упора 1, ограничивающего шаг подачи. Высечка снимается с пуансонов съёмником 8.

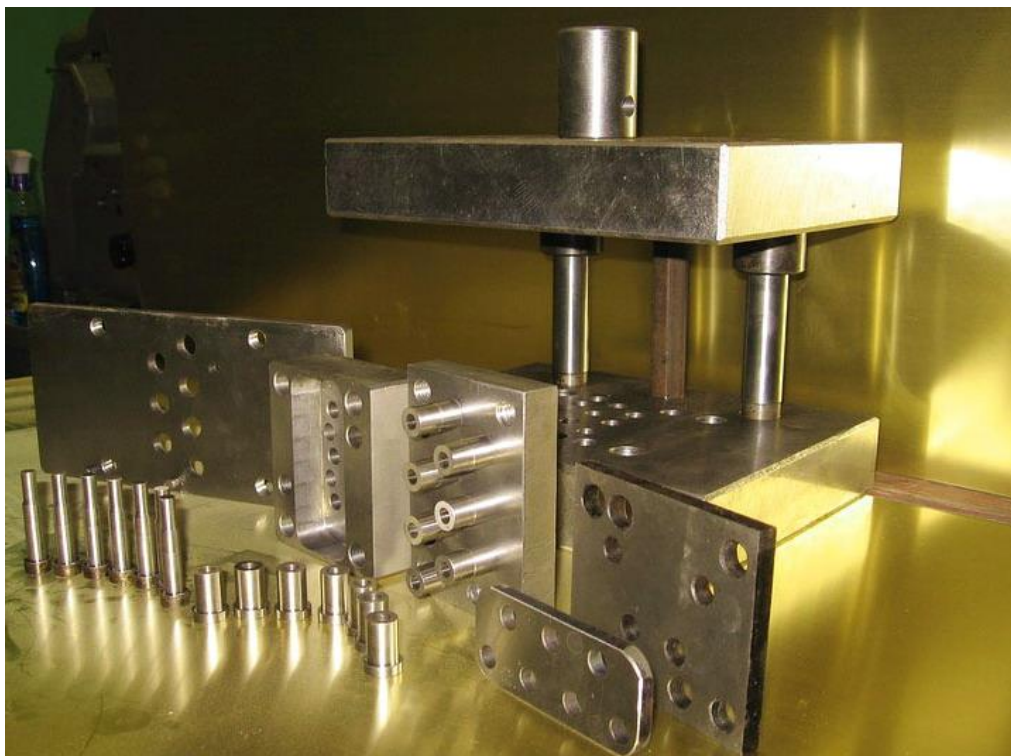


Рис.4.48. Штамп для листовой штамповки

Многооперационные штампы обычно дороже однооперационных, но позволяют повысить производительность труда и уменьшить число используемого для штамповки оборудования (рис.4.48).

Упрощённые способы обработки листового материала. В мелкосерийном производстве достаточно широко применяют упрощенные способы обработки давлением листовых заготовок: штамповку эластичными материалами, давилные работы, высокоскоростную штамповку и т. п.

При штамповке эластичными материалами только один рабочий элемент (пуансон или матрица) изготовляют из металла, роль другого инструмента (матрица или пуансон) выполняют резина, пластмассы (полиуретан) и жидкость.

Металлическим инструментом является шаблон, на который укладывают. Резиновая подушка в ползуне прессы прижимают заготовку к шаблону. Если шаблон имеет острые режущие кромки, то давлением резины вначале отгибают свободные края заготовки, а затем её обрывают по режущей кромке. Так выполняют вырубку и пробивку. Подобным способом можно осуществлять гибку, неглубокую вытяжку, отбортовку и формовку. Обычно штампуют заготовки толщиной не более 3 мм.

Давильные работы предназначены для получения деталей, имеющих форму тел вращения. Схема давилных работ без утонения показана на рис.4.49,а. Предварительно вырубленную заготовку продольным суппортом прижимают к торцу формы-пуансона. Постепенное деформирование заготовки по всей поверхности позволяет придать заготовке форму пуансона.

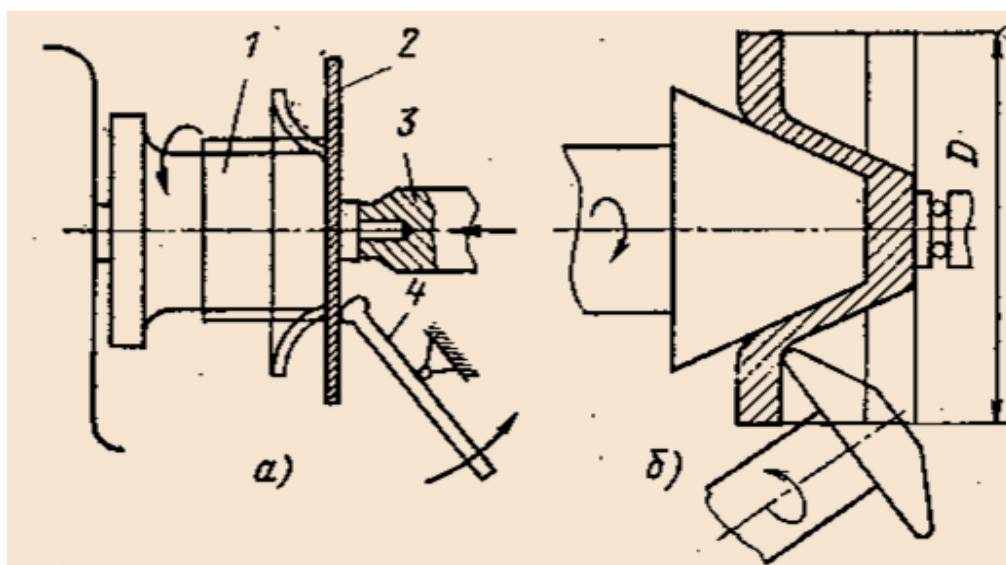


Рис. 4.49. Схема давилных работ:

а – без утонения; б – с утонением;

1 – форма; 2 – заготовка; 3 – упор; 4 – давилник

Давильные работы с утонением (рис. 4.49, б) изменяют форму заготовки главным образом за счёт уменьшения её толщины без изменения диаметральных размеров. Давильник, перемещаясь параллельно оси заготовки, утоняет её.

Высокоскоростная штамповка характеризуется тем, что кратковременное приложение больших усилий разгоняют заготовку до скоростей, достигающих 150 м/с; последующее её деформирование происходит за счёт накопленной в период разгона кинетической энергии. Основные разновидности высокоскоростной листовой штамповки – **штамповка взрывом, электрогидравлическая и электромагнитная.**

Взрывом штампуют обычно в бассейне, наполненном водой (рис.4.50, а). Полость матрицы под заготовкой вакуумируется, чтобы воздух не препятствовал плотному её прилеганию к матрице.

Взрывной штамповкой с успехом получают пространственные детали. При штамповке взрывом не требуется дорогостоящего прессового оборудования, конструкция штампа крайне проста.

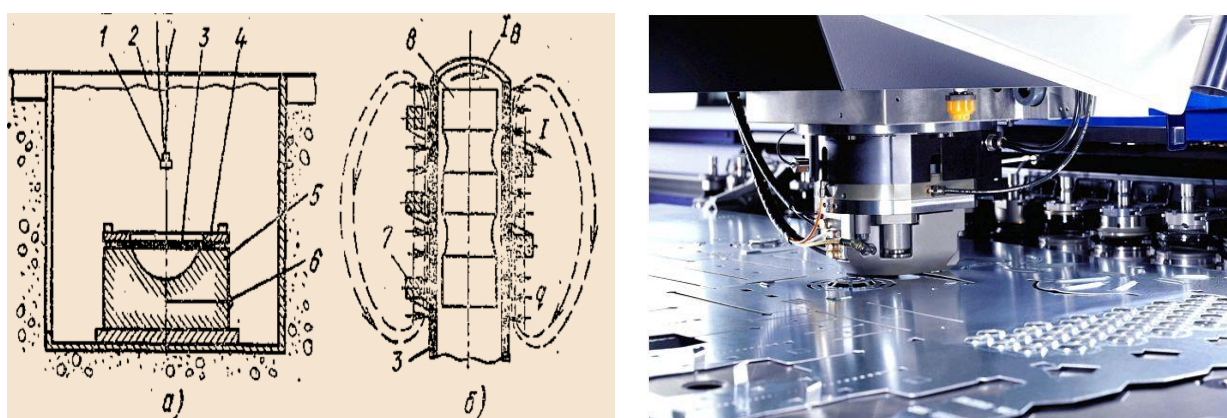


Рис.4.50. Схема импульсных способов листовой штамповки:

а – штамповка взрывом; б – электромагнитная штамповка;

1 – заряд; 2 – уровень воды; 3 – заготовка; 4 – прижим; 5 – матрица; 6 – к вакуумному насосу; 7 – соленоид; 8 – пуансон

Электромагнитная штамповка по принципу создания импульсно воздействующих на заготовку сил отличается от ранее рассмотренных (рис.4.50, б). электрическая энергия преобразуется в механическую за счёт импульсного разряда батареи конденсаторов через соленоид 7, вокруг которого при этом возникает мгновенное поле высокой мощности, наводящее вихревые токи в трубчатой токопроводящей заготовке 3. взаимодействие магнитных полей вихревых токов I_v с магнитным полем индуктора создаёт механические силы q , деформирующие заготовку. Для электромагнитной штамповки трубчатых и плоских заготовок созданы специальные установки, на которых можно проводить раздачу, обжим, формовку и операции по получению неразъёмных соединений деталей. К сборочным операциям, выполняемым путём пластического деформирования одной детали по контуру другой, относятся соединения концов труб, запрессовка в трубах колец, соединение втулки со стержнем и т. д.

4.7. Методы производства машиностроительных профилей.

В машиностроении применяют профили самого разнообразного сортамента, которые получают не только прокаткой, но другими видами обработки металлов давлением: **прессованием, волочением, профилированием листового листа.**

Прессование. При прессовании металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие, соответствующее сечению прессуемого профиля (рис. 4.51). Этим процессом изготавливают не только сплошные профили, но и полые.

Исходной заготовкой при прессовании служит слиток или прокат. Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые ввиду низкой пластичности (особенно в литом состоянии) другими видами обработки давлением деформировать невозможно или затруднительно.

Прессованием можно получить профили сложных форм, которые не могут быть получены другими видами обработки металлов давлением (в частности прокаткой). Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

К недостаткам прессования следует отнести большие отходы металла (до 40% массы исходной заготовки).

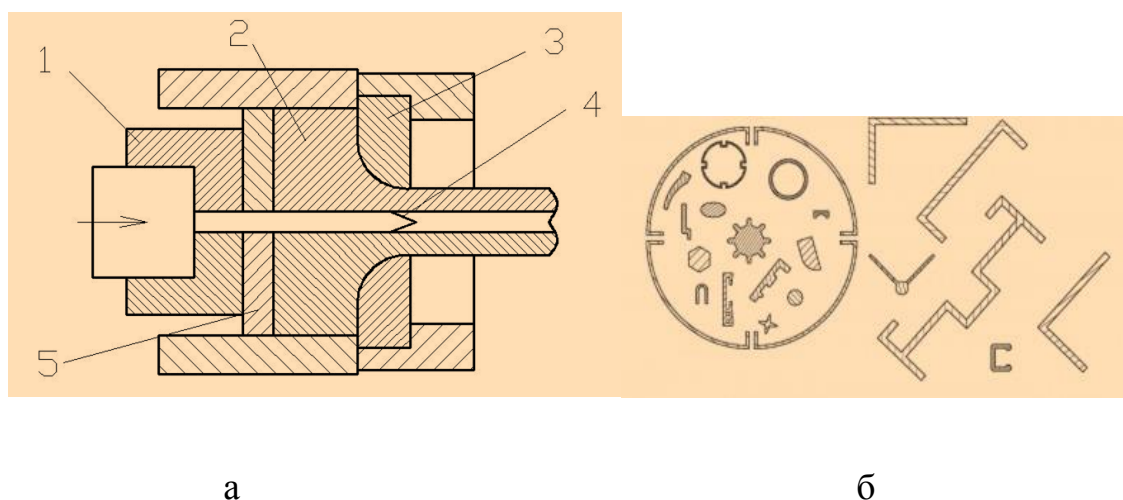


Рис. 4.51. Схема прессования полого профиля (а) и примеры прессованных профилей (б):

1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матрица; 4 – игла; 5 – пресс-шайба

Волочение. При волочении заготовку протягивают через постепенно сужающиеся отверстия в инструменте, называемое **волокой** (рис.4.52, а). Волочение, как правило, осуществляется в холодном состоянии. Исходными заготовками, служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов. Сортамент изделий, изготавливаемых волочением, очень разнообразен: проволока диаметром 0,002 – 5 мм

(рис.4.53) и фасонные профили (рис.4.52, б). Волочением калибруют стальные трубы диаметрами от капиллярных до 200 мм, стальные прутки диаметром 3 – 150 мм. Волочением обеспечивается высокая точность размеров и качество поверхности, получение очень тонкостенных профилей.

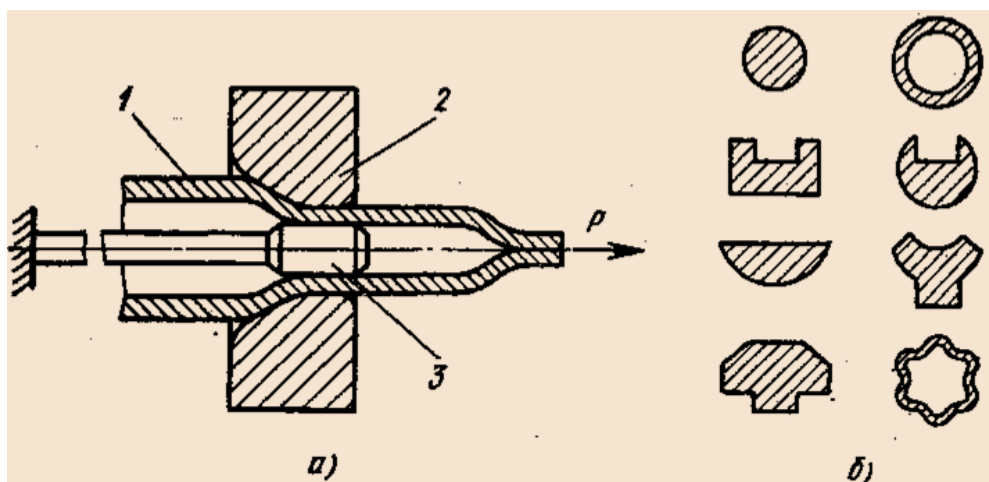


Рис.53. Схема волочения трубы (а) и примеры профилей, получаемых волочением (б):

1 – труба; 2 – волока; 3 - оправка

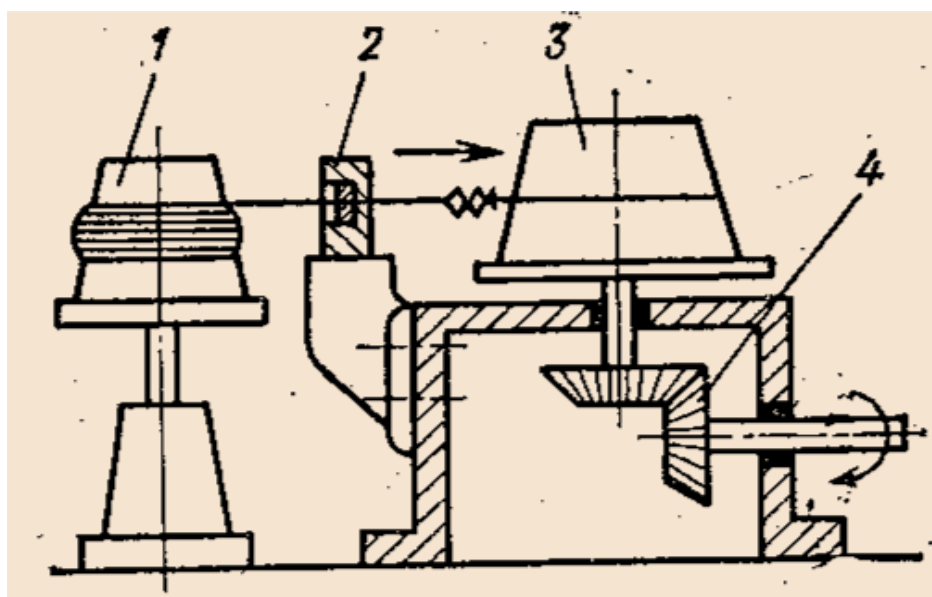


Рис.4.54. Схема барабанного волочильного стана:

1 – барабан; 2 – волока; 3 – барабан; 4 – зубчатая передача

Производство гнутых профилей. При изготовлении горячей прокаткой фасонных профилей невозможно получить стенки толщиной менее 2 – 3 мм. В то же время по требуемой прочности в конструкциях такая толщина нередко завышена. Фасонные, тонкостенные профили, лёгкие, но жёсткие, весьма сложной конфигурации и большой длины можно получать методом профилирования листового материала в холодном состоянии.

На рис.4.55 показан профилегибочный стан и форма профилей. Число пар роликов, необходимое для изготовления того или иного профиля, зависит от сложности его конфигурации. заготовкой при гнутых профилей может быть лента или полоса из стали или цветных металлов толщиной 0,3 – 10 мм.

Формы гнутых профилей может быть относительно простой (профиль открытого типа), и весьма сложной (профили полузакрытого и закрытого типа, профили с наполнителем).

Указанным способом получают большое количество изделий для машиностроения, автомобильной и авиационной промышленности, строительных конструкций.



а



б

Рис.4.55 Профилегибочный стан (а) и формы профилей (б)

4.7 Технологические методы получения изделий из порошковых материалов

Эти методы обозначают общим термином – **«порошковая металлургия»**. методами порошковой металлургии получают изделия из металлических и неметаллических порошковых материалов. Это сравнительно новый и перспективный способ изготовления изделий. Наряду с высокой точностью изделий и малыми отходами материалов порошковая металлургия позволяет получать изделия с особыми физико-химическими свойствами, изготовление которых другими способами невозможно.

Технология производства изделий из порошков включает в себя процесс получения порошковых материалов, составление и дозирование композиций из порошков, формование изделий, спекание и отделочные операции.

Смешанные композиции порошковых материалов дозируют по массе и формируют в пресс-формах (рис.4.56) на гидравлических прессах. Под

действием усилия P объём порошкового материала уменьшается, а плотность возрастает за счёт уменьшения пустот между частицами. Прочность отформованного изделия невелика, так как определяется силами механического сцепления. Кроме формования на прессах, применяют вибрационное, гидростатическое уплотнение, а также прокатку.

С целью повышения прочности, отформованные изделия подвергают спеканию при высокой температуре в вакууме или защитной атмосфере для предотвращения окисления. В процессе спекания происходит взаимная диффузия атомов соседних твёрдых частиц, и материал приобретает достаточно высокую механическую прочность. После формования и спекания изделия иногда подвергают отделочной обработке: калибровке, повторному спеканию, термической обработке.



Рис. 4.56. Схемы формовки изделий из порошковых материалов и готовая продукция:

1 – формуемый материал; 2 – матрица; 3 – пунсон; 4 - выталкиватель

Кроме заготовок малонагруженных деталей машин из порошков получают изделия с особыми свойствами:

- твёрдые инструментальные сплавы (группы ВК, ТК, ТТК), то есть отформованные и спечённые смеси карбидов вольфрама, титана, тантала с кобальтом как связующим компонентом;
- изделия антифрикционного назначения из меднографитовых, железографитовых и других композиций, имеющие малый коэффициент трения и способные работать даже без смазки;
- фрикционные накладки и другие детали, в состав которых, кроме металлов, могут входить асбест, кварцевый песок, тугоплавкие оксиды и т.п.;
- фильтры с заданной пористостью и различной степенью очистки, в том числе для агрессивных жидкостей;
- магнитные металлокерамические материалы.

Методы порошковой металлургии находят широкое применение при получении композиционных материалов. Композиционный материал обычно имеет металлическую основу с дополнительными армирующими компонентами в виде оксидов, волокон карбидов кремния, бора, углерода и др. Композиционные материалы обладают высокой прочностью при малой массе, успешно работают в несущих конструкциях летательных аппаратов, используются при изготовлении протезов, средств защиты человека и находят всё большее применение в технике.

Дальнейшее развитие порошковой металлургии позволит получать материалы с разнообразными свойствами для изделий широкого профиля.

Контрольные вопросы

1. Сущность обработки металлов давлением.
2. Основной закон пластической деформации.
3. Виды обработки металлов давлением.
4. Холодная и горячая обработка металлов давлением.
5. Основные виды прокатки.
6. Продукция прокатного производства.
7. Сущность процессаковки.
8. Преимущества и недостатки горячей объёмной штамповки.
9. Сущность прессования, волочения.

Глава 5. Технологические методы сварочного производства



5.1. Физические основы и классификации методов сварки

Сварка – технологический процесс получения неразъёмных соединений материалов посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагреве и (или) пластическом деформировании (схема 1).

В разработке метода получения неразъёмных соединений материалов путём их сварки ведущая роль принадлежит отечественным инженерам и учёным. В 1882 г. Н.Н. Бенардос и в 1888 г. Н.Н. Славянов предложили первые практически пригодные способы сварки с использованием электрической дуги.

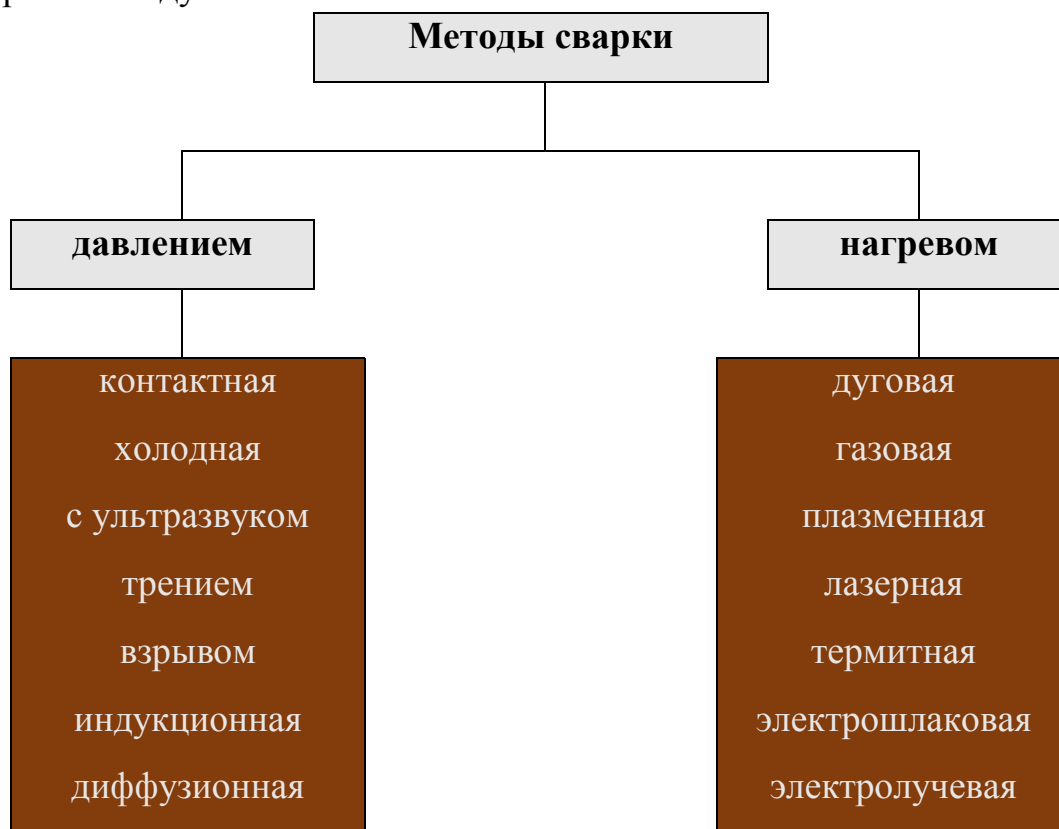


Схема 1. Методы неразъёмных соединений

Для образования соединений необходимо выполнение следующих условий:

- освобождение свариваемых поверхностей от загрязнений, оксидов и адсорбированных на них инородных атомов;
- энергетическая активация поверхностных атомов, облегчающая их взаимодействие;
- сближение свариваемых поверхностей на расстояние, сопоставимые с межатомным расстоянием в свариваемых заготовках.

Свариваемость – свойства металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки сварные соединения, отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Безотносительно к виду конструкции и её назначению свариваемость материалов оценивают степенью соответствия заданных свойств сварного соединения одноимённым свойствам основного металла и их склонностью к

образованию таких сварочных дефектов, как **трещины, поры, шлаковые включения** и др.

По этим признакам материалы разделяют на: **хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо свариваемые.**

Свариваемость материалов в основном определяется типом и свойствами структуры, возникающей в сварном соединении при сварке. При сварке однородных материалов прочность оценивается как хорошая или удовлетворительная. При сварке разнородных материалов – ограниченная или плохая.

В зависимости от состояния металла в зоне соединения и использования внешних сил различают способы сварки **плавлением и давлением.**

Виды сварки плавлением: **дуговая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная, электрошлаковая, газовая** и др.

Виды сварки давлением: **холодная, контактная, ультразвуковая, диффузионная, трением, взрывом** и др.

В процессе сварки плавлением в сварочной ванне за короткий промежуток времени протекают сложные процессы взаимодействия компонентов материала заготовок, электрода и присадки. Материалы, составляющие сварочную ванну, представляют собой основной металл заготовок, легирующие элементы, образующиеся растворённые газы и посторонние включения. Компоненты сварочной ванны взаимодействуют между собой, с газами атмосферы, с материалом покрытий и шлаковой ванны. В результате по химическому составу и свойствам сварной шов может значительно отличаться от основного металла заготовок.

При изучении микроструктуры сварного соединения выявляются три зоны: основного термического влияния (**ЗТВ**) и наплавленного металла сварного шва (рис.5.1).

В свою очередь, в зоне в зоне термического влияния (**ЗТВ**) также можно выделить шесть участков: 1 – 2 – участок неполного расплавления металла, является переходным от зоны наплавленного металла сварного шва к основному металлу. В этой области отмечено сплавления зёрен шва и основного металла при кристаллизации и свойства этого металла определяют свойства сварного шва в целом; 2 – 3 – участок перегрева, на котором металл нагревается 1500°С. После затвердевания металл этого участка имеет крупнозернистое строение с пониженной пластичностью. Для углеродистых сталей возможно появление закалочных структур; 3 – 4 – участок нормализации, после охлаждения имеет мелкозернистую с *высокими* механическими свойствами; 4 – 5 – участок неполной рекристаллизации, здесь крупные зёрна феррита в структуре окружены мелкими зёрнам

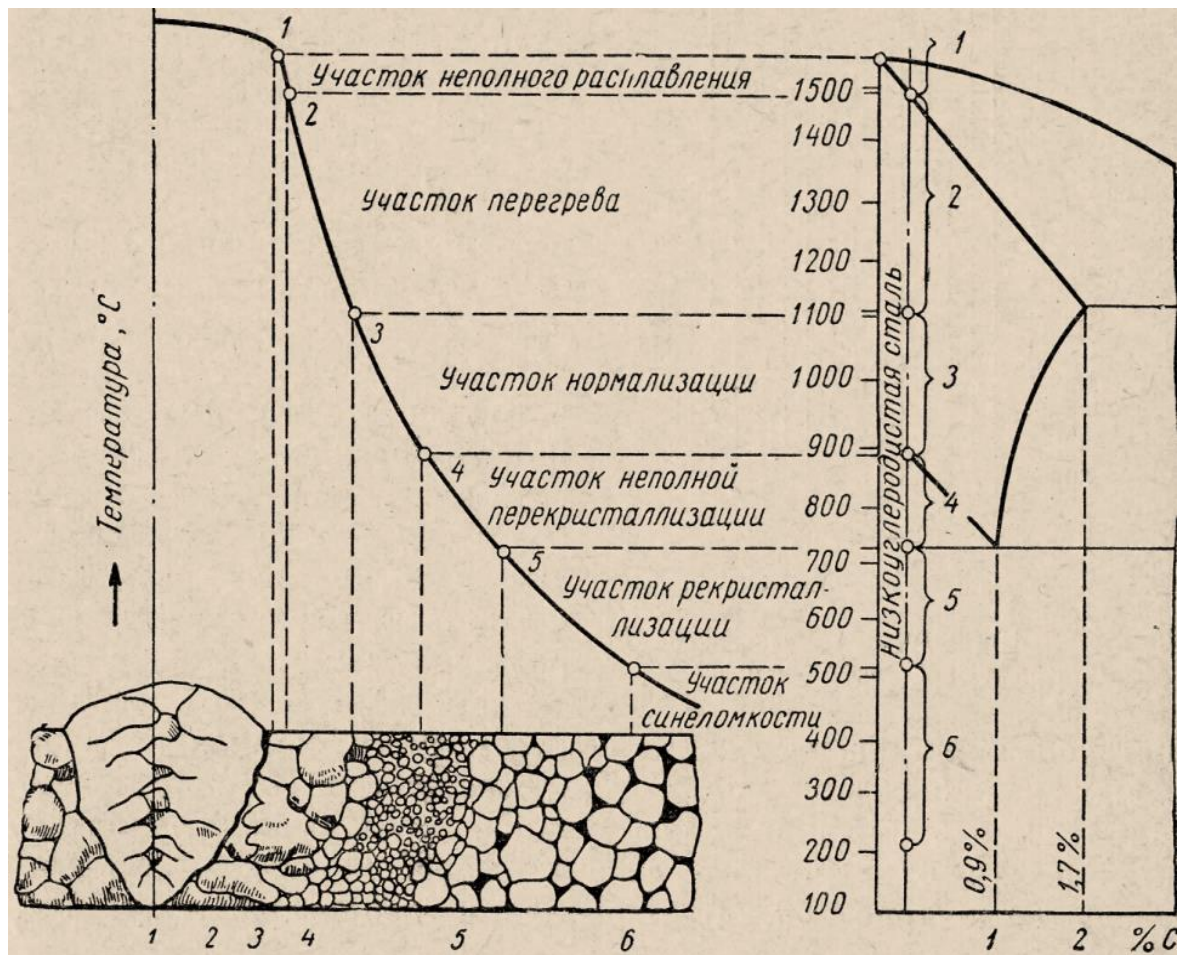


Рис.5.1. Строение зоны термического влияния сварного шва:

1 – 6 – участки соответственно неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и синеломкости феррита и перлита; 5 – 6 – участок рекристаллизации. Участок часто наблюдается после сварки заготовок, прошедших предварительную пластическую деформацию (поковки, прокат). Для металла на этом участке характерно восстановление формы и размеров разрушенных при деформации зёрен; начиная от границы 6 металл характеризуется синеломкостью, металл здесь в процессе ведения сварки нагревается до 200 – 400°С, что соответствует синим цветам побежалости и характеризуется снижением пластичности металла.

5.2. Электрические виды сварки.

Дуговая сварка. Сущность процесса. Источником теплоты при дуговой сварке служит электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие виды дуговой сварки (рис.5.2):

- сварку **неплавящимся** электродом (графитовым или вольфрамовым) дугой прямого действия, при которой соединение выполняется путём расплавления только основного металла либо с применением присадочного металла;
- сварку **плавящимся** электродом (металлическим) дугой прямого или обратного действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом;
- сварку **косвенной** дугой, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами; при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги;
- сварку **трёхфазной дугой**, при которой дуга горит между электродами, а также между каждым электродом и основным металлом.

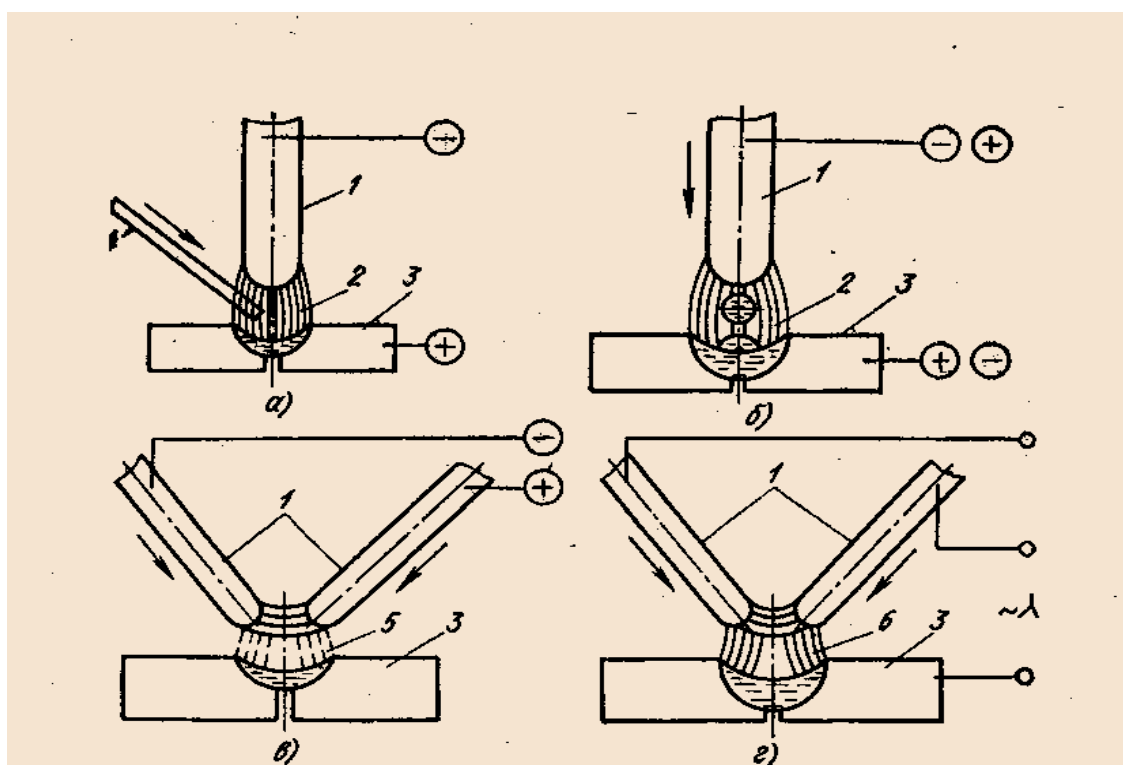


Рис. 13.2 Схемы дуговой сварки:

1 – электрод; 2 – дуга; 3 – основной металл; 4 – присадочный металл; 5 – косвенная дуга; 6 – трёхфазная дуга; а) – сварка неплавящимся электродом дугой прямого действия; б) – сварка плавящимся электродом дугой прямого действия; в) – сварка косвенной дугой; г) – сварка трёхфазной дугой.

Питание дуги осуществляется постоянным или переменным током. При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярностях. Прямая полярность: электрод – минус, металл – плюс.

Кроме того, виды дуговой сварки различают также по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

Электрические и тепловые свойства дуги. Дуга – мощный стабильный разряд электричества в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Ионизация (превращение нейтральных атомов и молекул в ионы – электрически заряженные частицы) дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе его горения.

Процесс зажигания дуги в большинстве случаев включает четыре этапа (рис.5.3):

Возможно зажигания дуги без короткого замыкания (при сварке неплавящимся электродом) используя источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения – *осциллятор*.

Полная тепловая мощность дуги, Дж/с (с учётом потерь):

$$Q = K I_{св} U_{д}$$

K – коэффициент не синусоидальности напряжения и тока



Рис. 5.3. Схема процесса зажигания дуги

Эффективная тепловая мощность:

$$q = \eta \times Q:$$

где η – КПД дуги, зависит от способа сварки, вида и состава сварочных материалов.

Для оценки затрат тепловой энергии на образование единицы длины шва или единицы площади соединения при однопроводной сварке используют величины:

Погонная энергия – $q/U_{св}$

Удельная погонная энергия – $q/U_{св}\delta$,

где δ – толщина заготовки, см., $U_{св}$ – скорость сварки, см/с.

Электрические свойства дуги описываются статической вольтамперной характеристикой, представляющей собой зависимость между напряжением и током дуги в состоянии устойчивого горения рис.5.4. Характеристика состоит из трёх участков:

I – характеристика падающая,

II – жёсткая,

III – возрастающая.

Самое широкое применение нашла дуга с жёсткой и возрастающей характеристикой. Дуга с падающей характеристикой малоустойчива и имеет ограниченное применение. В последнем случае для поддержания горения дуги необходимо постоянное включение в сварочную цепь осциллятора (колебательная система).

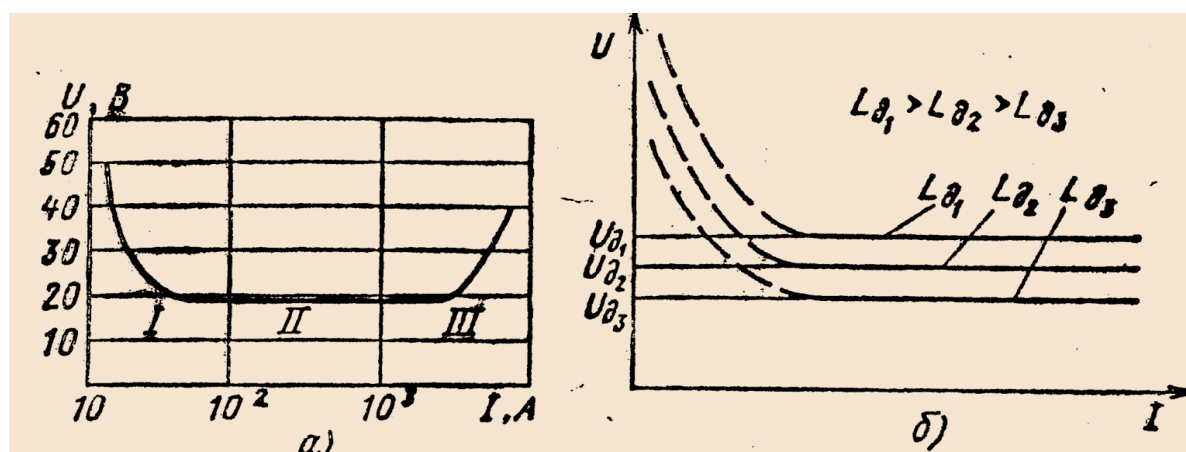


Рис. 5.4. Статистическая вольтамперная характеристика дуги (а) и зависимость напряжения дуги U_d от её длины L_d (б)

Каждому участку характеристики дуги соответствует определённый характер переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну: I и II – **крупнокапельный**, III – **мелкокапельный или струйный**.

Из приведённой зависимости рис.5, б следует, что для сохранения напряжения дуги неизменным необходимо длину дуги поддерживать постоянной.

В дальнейшем рассмотрена главным образом дуга с жёсткой характеристикой как наиболее распространённая при сварке.

Источники сварочного тока для питания сварочной дуги должны иметь специальную внешнюю характеристику. **Внешней характеристикой источника** называется зависимость напряжения на его выходных клеммах от тока в электрической цепи.

Внешние характеристики источника могут быть следующих основных видов рис.5.5:

1. падающая;
2. жёсткая;
3. возрастающая.

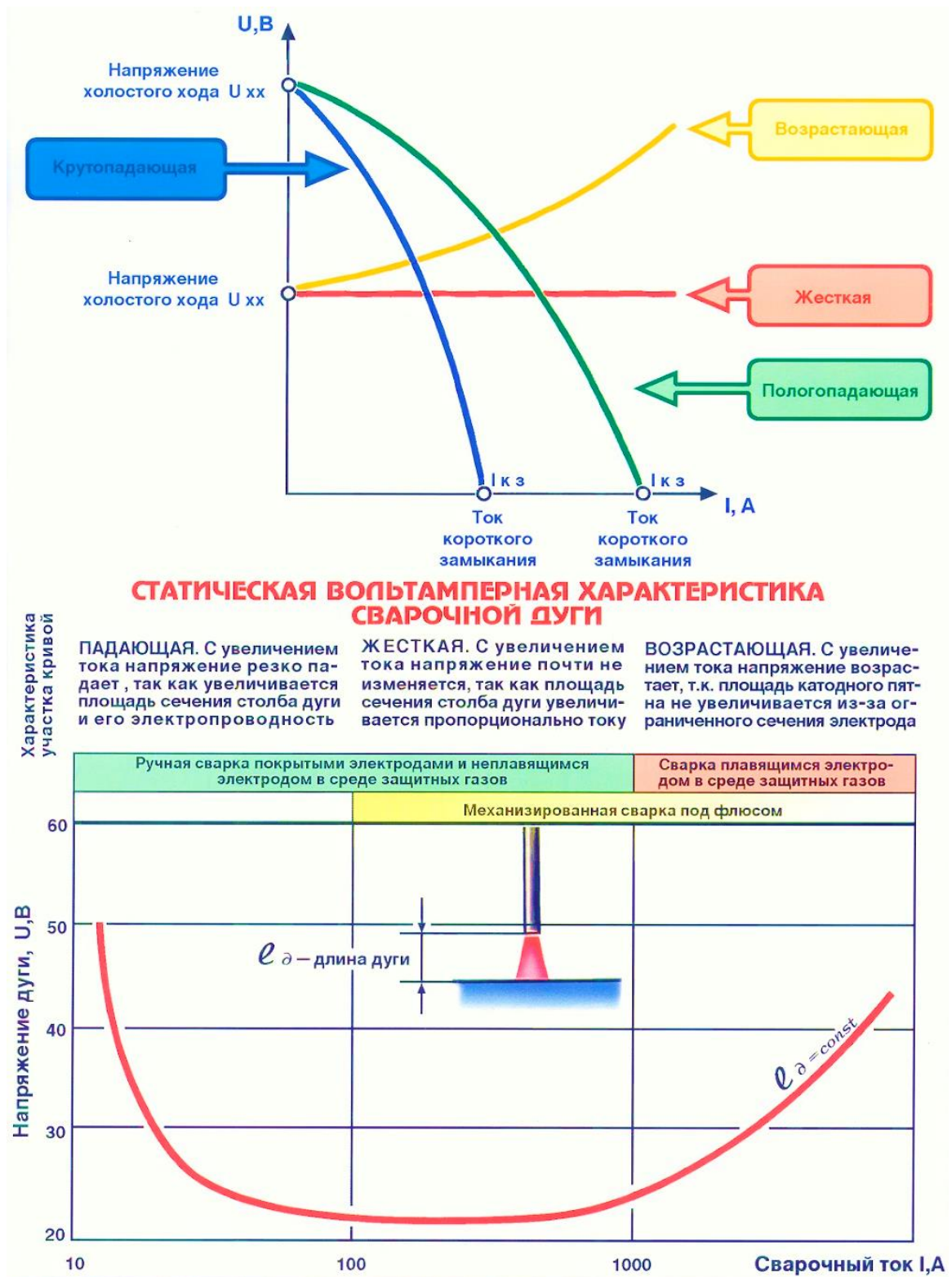


Рис.5.5 Внешние вольтамперные характеристики источников питания дуги

Источник тока выбирают в зависимости от вольтамперной характеристики дуги, соответствующей принятому способу сварки.

Для питания дуги с жёсткой характеристикой применяют источники с падающей или пологопадающей внешней характеристикой (ручная дуговая

сварка, автоматическая под флюсом, сварка в защитных газах неплавящимся электродом).

Режим горения дуги определяется точкой пересечения характеристик дуги и источника тока. Режим холостого хода характеризуется повышенным напряжением (60 – 80 В). Короткое замыкание характеризуется малым напряжением, стремящемся к нулю, и повышенным, но ограниченным током.

Источники сварочного тока с падающей характеристикой необходимы для облегчения зажигания дуги за счёт повышенного напряжения холостого хода, обеспечения устойчивого горения дуги и практически постоянной проплавливающей способности дуги, так как колебания её длины и напряжения (особенно значительные при ручной сварке) не приводят к значительным изменениям сварочного тока, а также для ограничения тока короткого замыкания, чтобы не допустить перегрева токоподводящих проводов и источников тока.

Для обеспечения устойчивости горения дуги с возрастающей вольтамперной характеристикой применяют источники сварочного тока с жёсткой или возрастающей характеристикой (сварка в защитных газах плавящимся электродом и автоматическая под флюсом током повышенной плотности).

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (**сварочные трансформаторы**) и источники постоянного тока (**сварочные выпрямители и генераторы**).

Источники переменного тока более распространены, так как обладают рядом технико-экономических преимуществ. Сварочные трансформаторы проще в эксплуатации, значительно долговечнее и обладают более высоким КПД, чем выпрямители и генераторы постоянного тока. Однако в некоторых случаях (сварка на малых токах покрытыми электродами и под флюсом) при питании переменным током дуга горит неустойчиво, так как через каждые 0,01 сек. напряжения и ток дуги проходит через нулевые значения, что приводит к временной деионизации (отмена образования ионов) дугового промежутка.

Постоянный ток предпочтителен в технологическом отношении:

- при его применении повышается устойчивость горения дуги;
- улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях;
- появляется возможность вести сварку на прямой и обратной полярностях и т.д.

Последнее вследствие большого тепловыделения в анодной области дуги позволяет проводить сварку сварочными материалами с тугоплавкими покрытиями и флюсами.

Сварочные трансформаторы (рис.5.6; рис.5.7), как правило, имеют падающую внешнюю характеристику, их используют для дуговой ручной сварки и автоматической сварки под флюсом. Для плавного регулирования сварочного тока изменяют расстояния между обмотками трансформатора.



Рис.5.6. Устройство трансформатора ТСК – 500

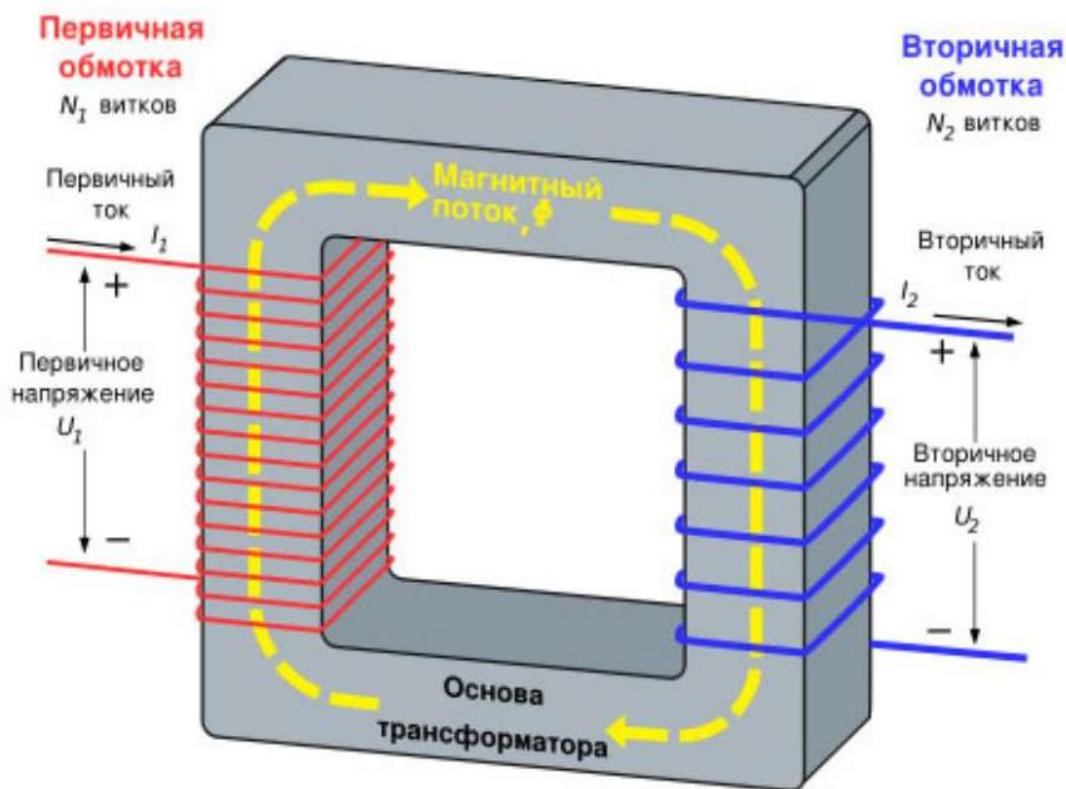


Рис.5.7 Схема сварочного трансформатора

Сварочные трансформаторы, как правило, имеют падающую внешнюю характеристику, их используют для дуговой ручной сварки и автоматической сварки под флюсом. Широко применяют трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной вторичной обмоткой (типов ТС и ТД). В этих трансформаторах первичная 1 и вторичная 2 обмотки раздвинуты относительно друг друга, что обуславливает их повышенное индуктивное сопротивление вследствие появления магнитных потоков рассеяния.

Сварочные выпрямители (рис.5.8) бесшумны, имеют высокий КПД, удобны в эксплуатации.

Они обеспечивают высокую стабильность горения дуги, особенно на малых токах. Для нормальной работы выпрямителей требуется интенсивное охлаждение, так как полупроводники нагреваются при работе. Поэтому выпрямители снабжены вентиляторами. Нагрев полупроводников иногда ограничивает мощность выпрямителей.

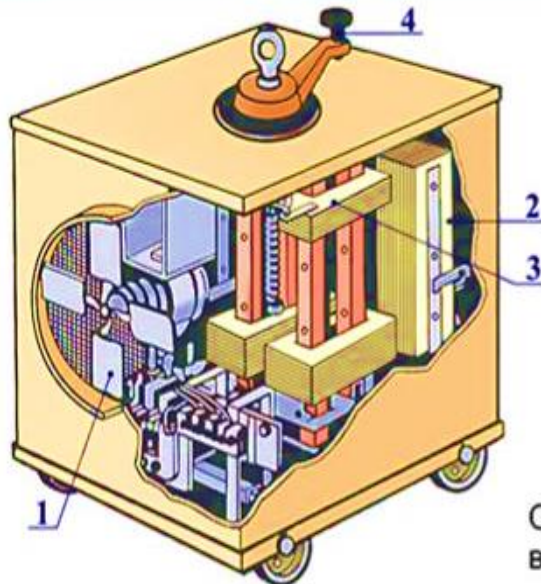
На рисунке 5.9 изображено устройство и принципиальная схема сварочного выпрямителя.



Рис.5.8. Сварочный универсальный выпрямитель

Сварочные выпрямители служат для **преобразования** переменного тока в постоянный, предназначены для питания сварочной дуги.

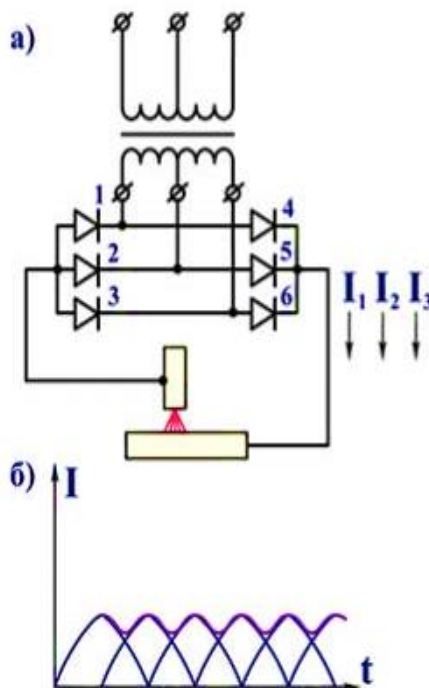
Постоянным называется ток, который с течением времени не меняется по величине и имеет одинаковое направление.



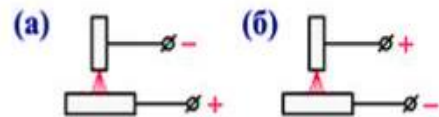
- 1 - вентилятор;
- 2 - выпрямительный блок;
- 3 - понижающий трехфазный трансформатор с подвижной катушкой;
- 4 - рукоятка регулирования тока

Выпрямительный блок изготавливают из селена или кремния, реже германиевые

Они пропускают электрический ток в одном направлении.



Сварка выпрямленным током может производиться на прямой (а) и обратной (б) полярности



Трехфазная схема выпрямления переменного тока

- а) схема включения;
- б) выпрямленный ток внешней цепи;
- 1, 2, 3, 4, 5, 6 - полупроводниковые вентили (диоды)

Рис.5.9 Типовой сварочный выпрямитель

Сварочные агрегаты состоят из двигателя внутреннего сгорания и сварочного генератора постоянного тока. Агрегаты монтируют на подвижные платформы и используют в монтажных и полевых условиях для ручной сварки (рис.5.10).

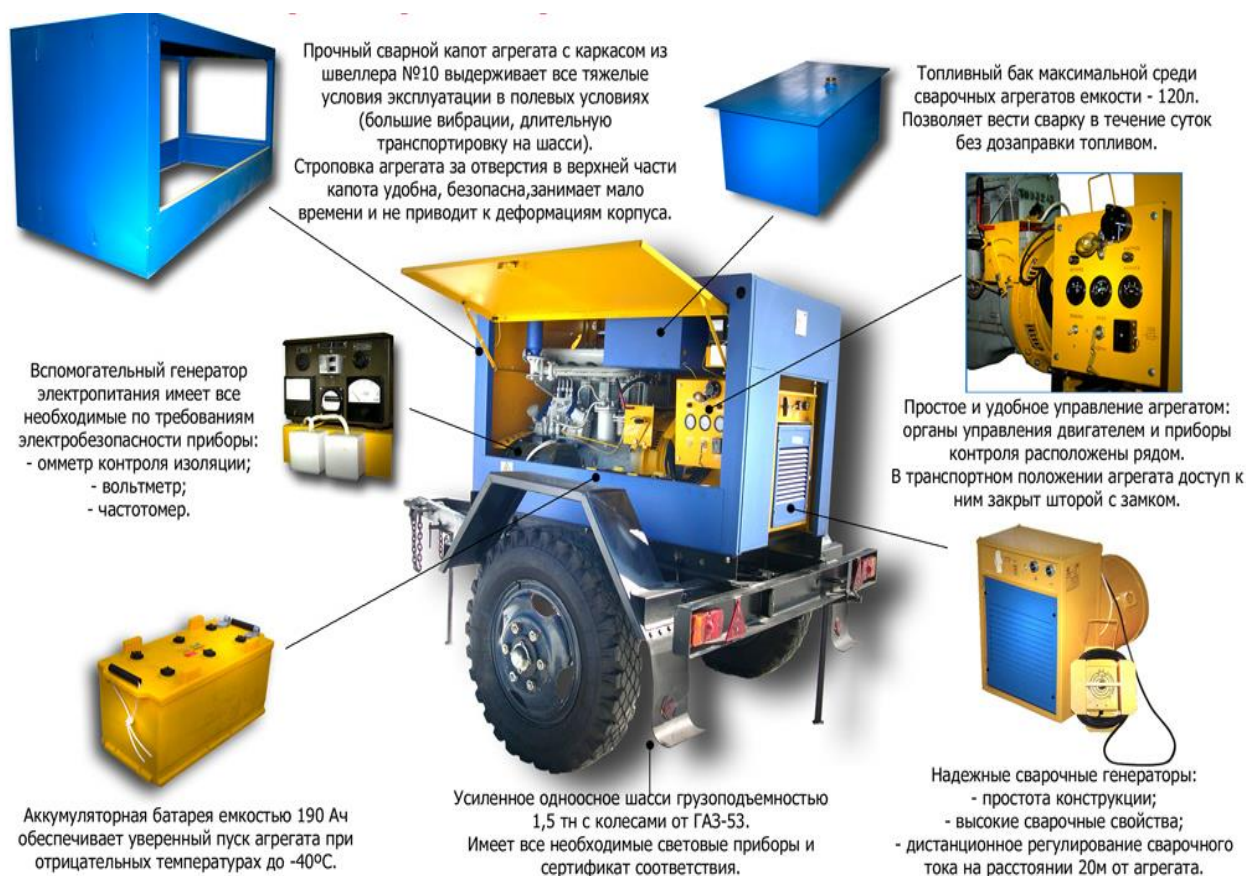


Рис.5.10 Устройство сварочного агрегата

Ручная дуговая сварка. Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами (рис.5.11, а), которые вручную подают в дугу и перемещают вдоль заготовки.

В процессе сварки металлическим покрытым электродом дуга **8** горит между стержнем электрода **7** и основным металлом **1**. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну **9**. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода **6**, образуя газовую защитную атмосферу **5** вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну **4** на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов **3**. Жидкий шлак после остывания образует твёрдую шлаковую корку **2**.

В перегретой сварочной ванне протекает ряд металлургических процессов:

- испарения или окисление (выгорание) некоторых легирующих элементов, например углерода, марганца, кремния, хрома и др.;
- насыщение расплавленного металла кислородом, азотом и водородом из окружающего воздуха.

В результате возможно изменение состава сварного шва по сравнению с электродным и основным металлом, а также понижение его механических свойств, особенно вследствие насыщения шва кислородом. Для обеспечения заданных состава и свойств шва в покрытие вводят легирующие элементы и элементы раскислители.

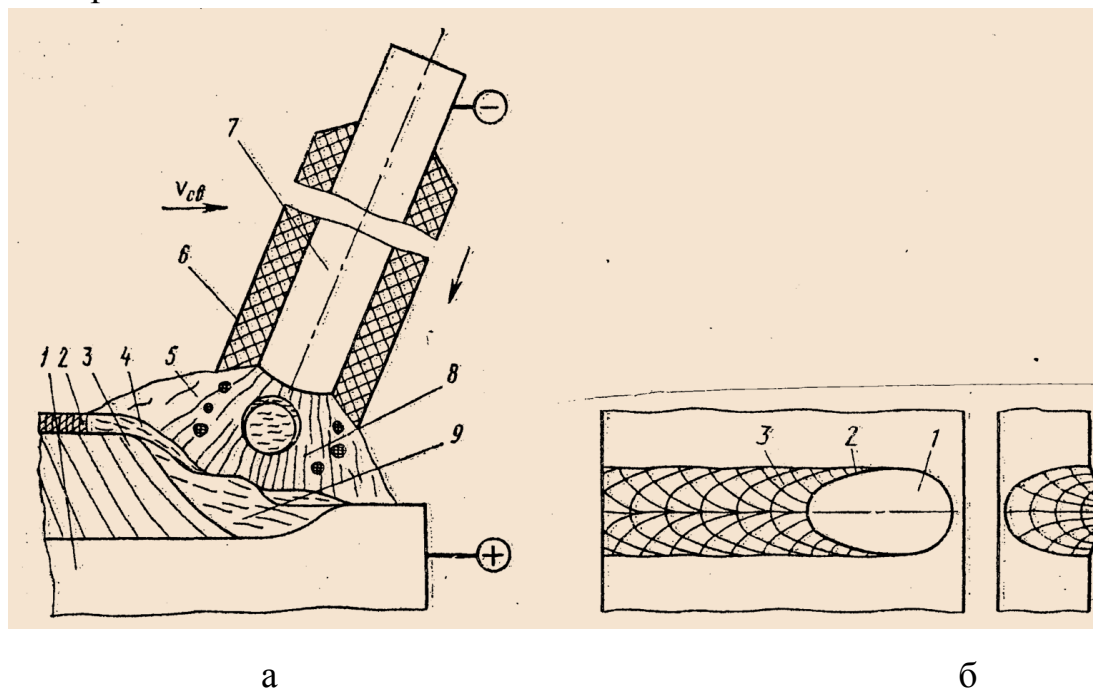


Рис.5.11. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом (а):

1 – основной металл; 2 – шлаковая корка; 3 – сварной шов; 4 – шлаковая ванна; 5 – газовая защитная атмосфера; 6 – покрытие электрода; 7 – стержень электрода; 8 – дуга; 9 – расплавленная металлическая ванна

Столбчатые кристаллы в сварном шве (б):

1 – сварочная ванна; 2 – изотерма кристаллизации шва; 3 – столбчатые кристаллы

Сварной шов (рис.5.11, б). Кристаллизация сварного шва начинается от границ оплавленного основного металла и протекает путём роста столбчатых кристаллов к центру шва. При этом оси кристалла, как правило, остаются перпендикулярными к поверхности движущейся сварочной ванны, в результате чего кристаллиты изгибаются и вытягиваются в направлении сварки. Вследствие дендритной ликвации примеси располагаются по границам кристаллитов, где они могут образовывать легкоплавкие эвтектики и неметаллические включения. Это снижает механические свойства шва и в отдельных случаях может быть причиной образования горячих трещин.

Электроды для ручной сварки представляют собой стержни с нанесёнными на них покрытиями (рис.5.12).



Рис.5.12 Схема электрода

Стержень изготавливают из сварочной проволоки повышенного качества. Стандарт на стальную сварочную проволоку предусматривает **77** марок проволоки диаметром 0,2 – 12 мм. Сварочную проволоку всех марок в зависимости от состава разделяют на три группы:

- низкоуглеродистую (**Св-08А; Св-08ГС** и др.);
- легированную (**Св-18ХМА; Св-10Х5М** и др.);
- высоколегированную (**Св-06Х19Н10МЗТ; Св-07Х25Н13** и др.).

Сварочную проволоку используют также при автоматической дуговой сварке под флюсом, сварке плавящимся электродом в среде защитных газов и как присадочный материал при дуговой сварке неплавящимся электродом и газовой сварке.

Покрытие электродов предназначены для обеспечения стабильного горения дуги, защиты расплавленного металла от воздействия воздуха и получения металла шва заданного состава и свойств. В состав покрытия электродов входят стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие составляющие.

Электроды классифицируют по назначению и виду покрытия.

По **назначению** стальные электроды подразделяют на пять классов:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_{\text{в}} < 600$ МПа;
- легированных конструкционных сталей с $\sigma_{\text{в}} > 600$ МПа;
- легированных жаропрочных сталей;
- высоколегированных сталей с особыми свойствами;
- для наплавки поверхностных слоёв с особыми свойствами.

Электроды для сварки конструкционных сталей делят на типы Э38, Э42...Э150. Цифры в обозначении типа электрода означают $\sigma_{\text{в}}$ наплавленного металла в 10^{-1} МПа.

В обозначение типов электродов для сварки жаропрочных и высоколегированных сталей и наплавочных входит марочный состав наплавленного металла (Э-09МХ, Э-10Х5МФ, Э-08Х20Н9Г2Б, Э-10Х20Н70Г2М2В, Э-120Х12Г2СФ, Э-350Х26Г2Р2СТ, и др.).

По виду покрытия электроды делят на электроды с кислым, рутиловым, основным и целлюлозным покрытиями.

Рутиловые покрытия – применяют для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Основные покрытия – применяют для сварки ответственных конструкций из сталей всех классов.

Целлюлозное покрытие – создают хорошую газовую защиту и образуют малое количество шлака. Особенно пригодны для сварки на монтаже в любых пространственных положениях на переменном и постоянном токе.

Режим ручной дуговой сварки. Основным параметром режима ручной дуговой сварки является сварочный ток (**A**), который выбирают в зависимости от диаметра и типа металла электрода:

$$I_{св} = kd_э,$$

где **k** – опытный коэффициент (35 – 60), А/мм; **d** – диаметр стержня электрода, мм.

Диаметр электрода выбирают исходя из толщины стали, **δ**:

δ, мм.....1-2 3 – 5 4 – 10 12 – 24 и более.

d_э, мм.....2-3 3 – 4 4 – 5 5 – 6

При толщине стали до **6** мм сваривают по зазору без разделки кромок заготовки. При больших толщинах металла выполняют одностороннюю или двустороннюю разделку кромок под углом 60°. Разделка необходима для обеспечения полного провара по толщине. Металл толщиной свыше **10** мм сваривают многослойным швом. Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях – нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном, при наложении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы (рис.5.13). Ручная сварка обеспечивает хорошее качество сварных швов, но обладает более низкой производительностью, например, по сравнению с автоматической дуговой сваркой под флюсом.

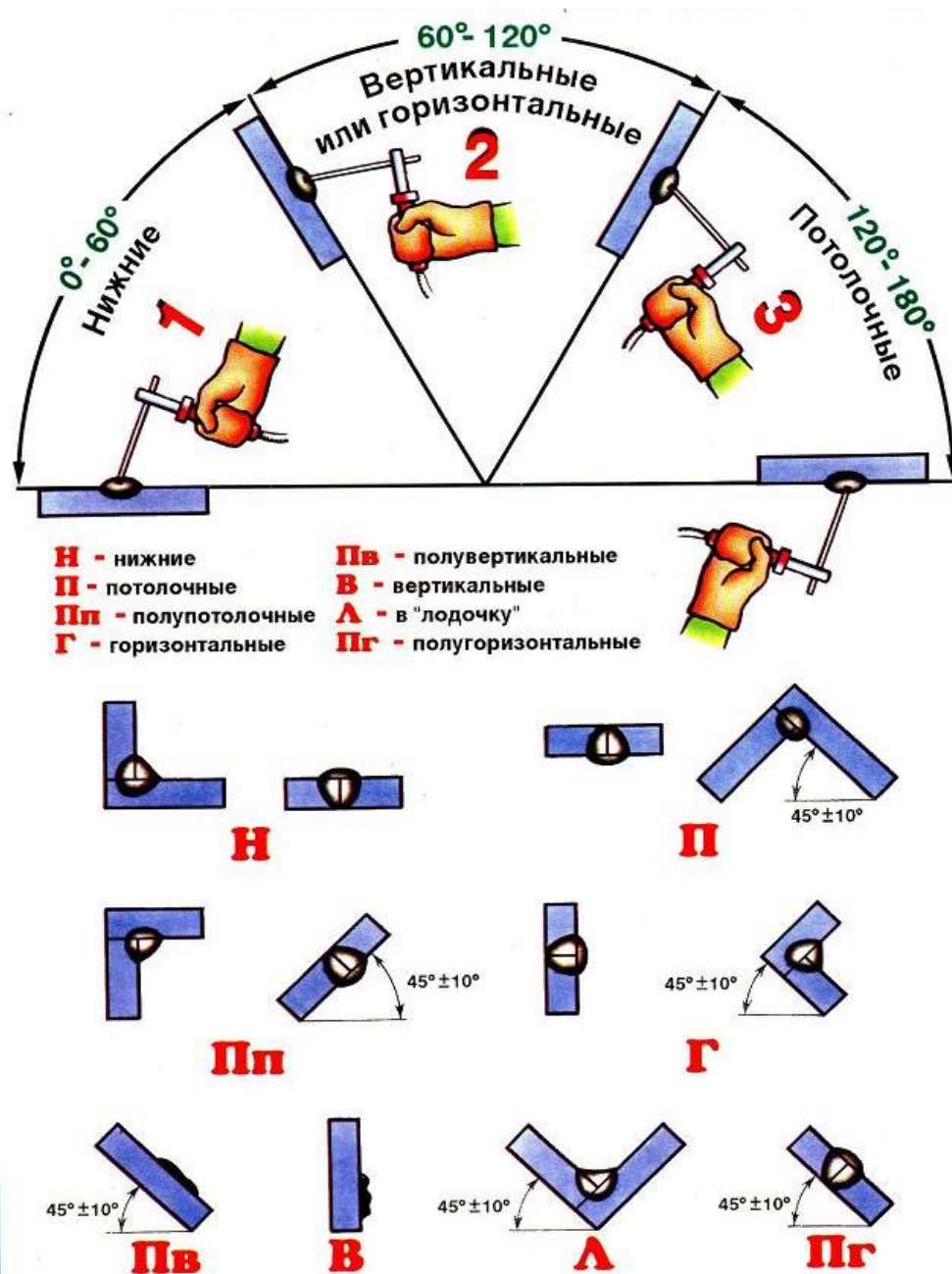


Рис.5.13. Возможные пространственные положения при ручной дуговой сварке

Производительность процесса в основном определяется сварочным током. Однако ток при ручной сварке покрытыми электродами ограничен, так как повышение тока выше рекомендованного значения приводит к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла. Ручную сварку постепенно заменяют полуавтоматической в атмосфере защитных газов.

Автоматическая дуговая сварка под флюсом. Для автоматической дуговой сварки под флюсом используют непокрытую электродную проволоку и флюс для защиты дуги и сварочной ванны от воздуха. Подача и

перемещение электродной проволоки механизированы. Автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера в конце шва (рис.5.14).

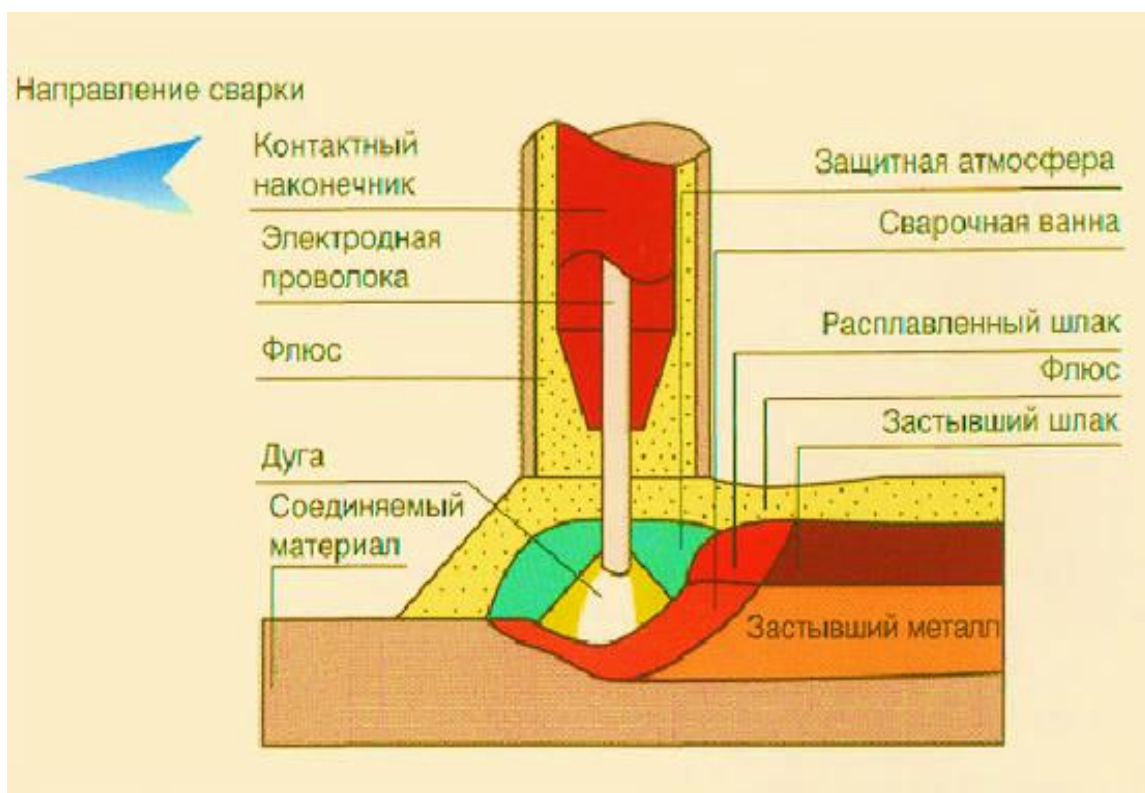


Рис.5.14. Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом:
 1 – токопровод; 2 – механизм подачи; 3 – проволока; 4 – ванна жидкого шлака; 5 – слой флюса; 6 – шлаковая корка; 7 – сварочный шов; 8 – основной металл; 9 – ванна жидкого металла; 10 - дуга

Для сварки под флюсом характерно глубокое проплавление основного металла.

Преимущества автоматической сварки под флюсом: повышение производительности процесса сварки в 5 – 20 раз; увеличивается качество сварных соединений; уменьшается себестоимость 1 м сварного шва.

Повышение производительности достигается за счёт использования больших сварочных токов (до 2000 А) и непрерывности процессов сварки. Применение непокрытой проволоки позволяет приблизить токопровод на расстояние 30 – 50 мм от дуги и тем самым устранить опасный разогрев электрода при большой силе тока. Плотная флюсовая защита сварочной ванны предотвращает разбрызгивание и угар расплавленного металла. Увеличение силы тока позволяет сваривать металл большой толщины (до 20 мм) за один проход без разделки кромок.

Флюсы служат для изоляции сварочной ванны от атмосферы воздуха, обеспечения устойчивого горения дуги, формирования поверхности шва и получения, заданных состава и свойств наплавленного металла. Флюсы

классифицируют по назначению, химическому составу и способу изготовления.

Автоматическую сварку под флюсом применяют в серийном и массовом производствах для выполнения длинных прямолинейных и кольцевых швов в нижнем положении на металле толщиной 2 – 100 мм. Под флюсом сваривают стали различных классов. автоматическую сварку широко применяют при изготовлении котлов, резервуаров для хранения жидкостей и газов, корпусов судов, мостовых балок и других изделий. Она является одним из основных звеньев автоматических линий для изготовления сварных автомобильных колёс и станков для производства сварных прямошовных и спиральных труб.

Дуговая сварка в защитном газе (рис.5.15). При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струёй защитного газа.

В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон и гелий) и активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.), иногда – смеси двух газов и более. В нашей стране наиболее распространено применение аргона **Ar** и углекислого газа **CO₂**.

Аргонодуговой сваркой можно сваривать неплавящимся и плавящимся электродами. Сварку неплавящимся электродом применяют, как правило, при соединении металла толщиной **0,5 – 6 мм**; плавящимся электродом – от **1,5 мм** и более. В аргоне неплавящимся вольфрамовым электродом ($T = 3370^{\circ}\text{C}$) можно сваривать с расплавлением только основного металла (толщиной до 3 мм), а при необходимости получения усиления шва или заполнения разделки кромок (толщина более 3 мм) – и присадочного материала (прутка или проволоки).

Сварку неплавящемся электродом ведут на постоянном токе прямой полярности. В этом случае дуга легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 10 – 15 В. При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость её горения и снижается стойкость электрода. Однако дуга обратной полярности обладает одним важным технологическим свойством: при её действии с поверхности свариваемого металла удаляются оксиды. Указанное свойство дуги обратной полярности используют при сварке алюминия, магния и их сплавов, применяя для питания дуги переменный ток.

Сварку в углекислом газе выполняют только плавящимся электродом на повышенных плотностях постоянного тока обратной полярности.

Преимущества по сравнению с ручной дуговой сваркой и автоматической под флюсом:

- высокая степень защиты расплавленного металла от воздействия воздуха;

- отсутствие на поверхности шва при применении аргона оксидов и шлаковых включений;
- возможность ведения процесса во всех пространственных положениях;
- возможность визуального наблюдения за процессом формирования шва и его регулирования;
- более высокая производительность;
- относительно низкая стоимость сварки в углекислом газе.

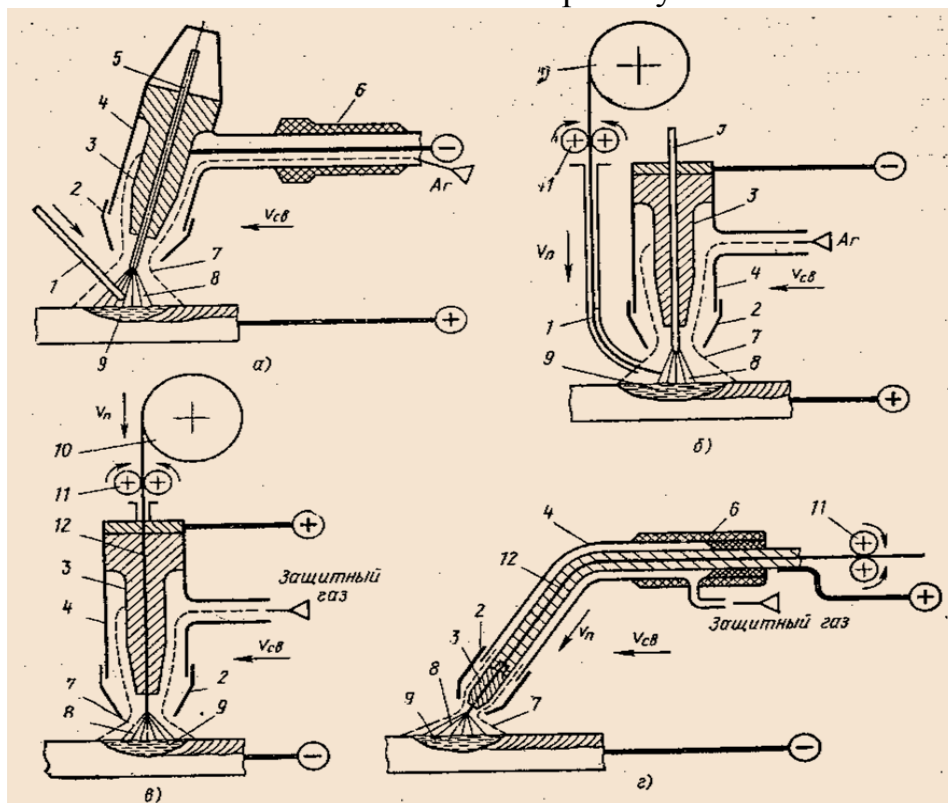


Рис.5.15. Виды сварки в защитных газах:

1 – присадочный пруток или проволока; 2 – сопло; 3 – токоподводящий мундштук; 4 – корпус горелки; 5 – неплавящийся вольфрамовый электрод; 6 – рукоятка горелки; 7 – атмосфера защитного газа; 8 – сварочная дуга; 9 – ванна расплавленного металла; 10 – кассета с проволокой; 11 – механизм подачи; 12 – плавящийся металлический электрод (сварочная проволока)

Применение: сваривают узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов и т.п. Аргонодуговую сварку применяют для цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов, а также легированных и высоколегированных сталей.

В углекислом газе сваривают конструкции из углеродистой и низколегированной сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.д.). Преимущества полуавтоматической сварки в CO_2 с точки зрения её стоимости и производительности часто приводит к замене её ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

На рис.5.16 приведена схема сварки в защитных газах.

На рис.5.17 показан рабочий момент сварки в защитном газе.

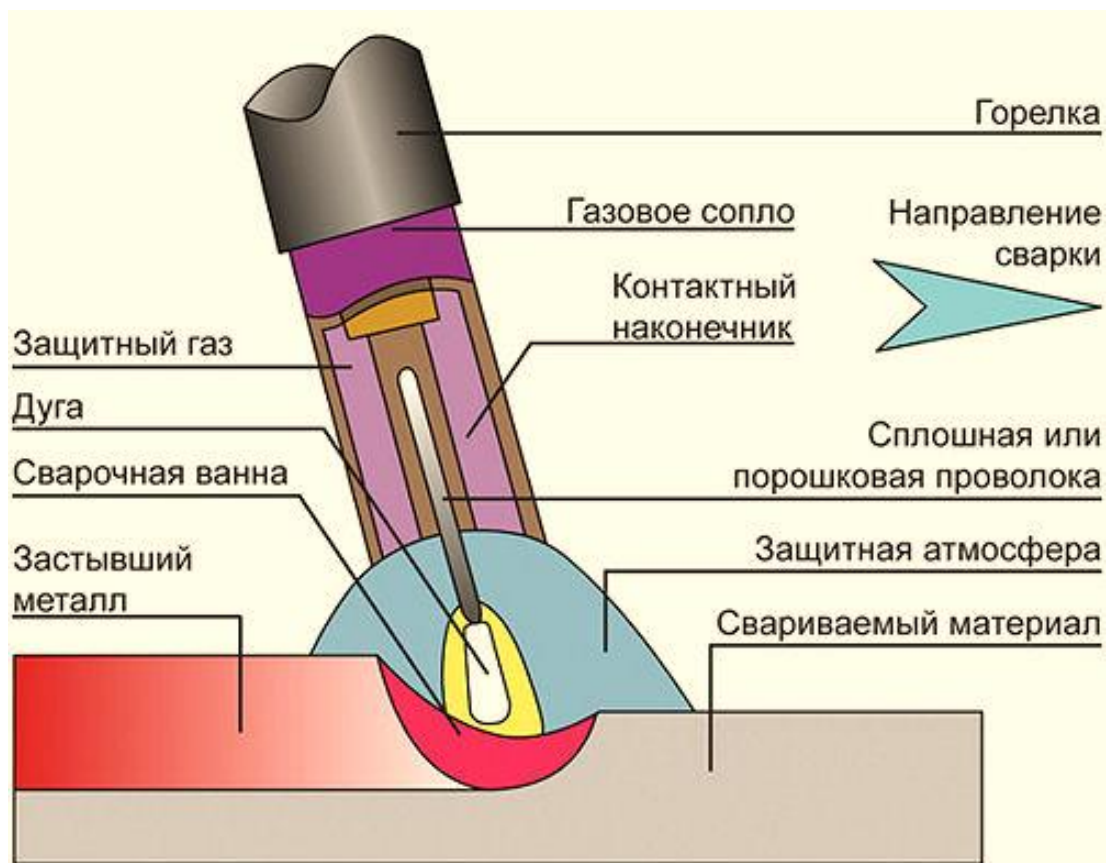


Рис. 5.16. Схема сварки в защитных газах



Рис.5.17. Сварка в защитном газе

Плазменная сварка. Плазменная струя, применяемая для сварки, представляет собой направленный поток частично или полностью ионизированного газа, имеющего температуру 10000 – 20000°С.

Плазму получают в плазменных горелках, пропуская газ через столб сжатой дуги. Дуга горит в узком канале сопла горелки, через который продувают газ. При этом столб дуги сжимается, что приводит к повышению в нём плотности энергии и температуры. Газ, проходящий через столб дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла в виде высокотемпературной плазменной струи. В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, водород, гелий, воздух и их смеси. Газ выбирают в зависимости от процесса обработки и вида обрабатываемого материала.

Применяют два основных плазменных источника нагрева:

- плазменную струю, выделенную из столба косвенной дуги, рис.5.18, а;
- плазменную дугу, в которой дуга прямого действия совмещена с плазменной струей, рис.5.18, б.

Плазменную струю применяют для сварки и резки тонких металлических листов и неэлектропроводных материалов, а также напыление тугоплавких материалов на поверхность заготовки.

Плазменная дуга, обладающая большей тепловой мощностью, используется для сварки высоколегированной стали, сплавов титана, никеля, молибдена, вольфрама и других материалов, а также для резки материалов, особенно тех, резка которых другими способами затруднена, например, меди, алюминия и др.

Преимущества:

- плазменная сварка является более концентрированным источником теплоты и вследствие этого обладает большей проплавляющей способностью (до 10 мм без разделки кромок; уменьшаются сварочные деформации).
- плазменная дуга обладает более высокой стабильностью горения, что обеспечивает повышенное качество сварных швов. Это позволяет выполнять так называемую микроплазменную сварку металла, толщиной 0,025 – 0,8 мм на токах 0,5 – 10 А.
- увеличивая ток и расход газа, можно получить так называемую проникающую плазменную дугу (процесс резки).

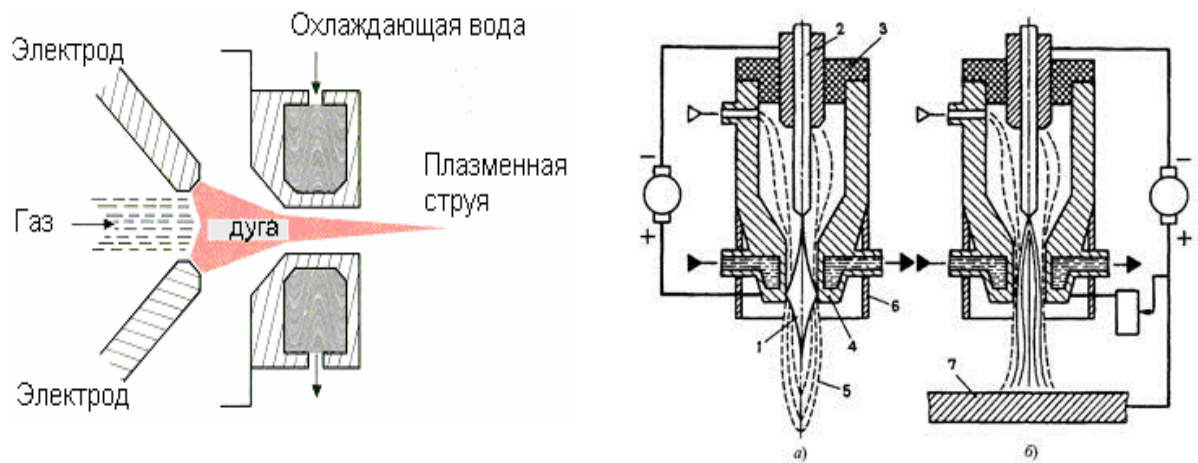


Рис.5.18. Принципиальная схема и схемы получения плазменных источников нагрева:

а – плазменной струи, выделенной из дуги; б – плазменной дуги, совмещённой с плазменной струей



Рис.5.19. Плазменный сварочный аппарат «Горыныч»

Аппарат способен резать любой известный на Земле материал! Температура факела 6500 град., сваривать углеродистые и легированные стали, чугун, цветные металлы и сплавы, нержавеющие стали и сплавы алюминия непосредственно на воздухе толщиной до **8 мм**, осуществлять процессы пайки и пайкосварки практически любых металлов в различных сочетаниях. Уверенно режет любые материалы толщиной до 10 мм. Сварочный аппарат «Горыныч» способен сваривать многие цветные

металлы: алюминий, медь, латунь, бронзу, чугун, нержавейку в любом сочетании, обрабатывать стекло, ПВХ, керамику и камень, очень эффективен при монтаже и последующем ремонте трубопроводов различного назначения, систем отопления, вентиляции, сантехники и различного электрооборудования. Быстро плавит металл в тигле, разогревает небольшие детали для последующейковки, крутки и обработке. Работать им можно также как газоаргонной сваркой, используя те же флюсы и присадки. Качество шва соответствует газосварке, но в отличие от нее, за счет более высокой температуры струи, разогрев локальный и быстрый, поэтому он не коробит тонкие металлы и не отпускает металл, а варит в три раза быстрее. Минимальная толщина металла при пайке **0,5 мм**. Широко применяется в автосервисах при кузовном ремонте, сварке блоков цилиндров и крышек клапанов, для пайки радиаторов и печек, восстановления литых дисков, при ремонте силовых деталей автомобиля.

Недостатки плазменной сварки – недолговечность горелок вследствие частого выхода из строя сопел и электродов.

Электрошлаковая сварка (рис.5.20). При электрошлаковой сварке основной и электродный металлы расплавляются теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через шлаковую ванну.

Процесс электрошлаковой сварки начинается с образования шлаковой ванны в пространстве между кромками основного металла и формирующими устройствами (ползунами), охлаждаемыми водой, подаваемой по трубам, путём расплавления флюса электрической дугой, возбуждаемой между сварочной проволокой и вводной планкой. После накопления определённого количества жидкого шлака дуга шунтируется шлаком и гаснет, а подача проволоки и подвод тока продолжается. При прохождении тока через расплавленный шлак, являющийся электропроводящим электролитом, в нём выделяется теплота, достаточная для поддержания высокой температуры шлака (до 2000°С) и расплавления кромок основного металла и электродной проволоки. Проволока вводится в зазор и подаётся в шлаковую ванну с помощью мундштука. Проволока служит для подвода тока и пополнения сварочной ванны расплавленным металлом. Как правило, электрошлаковую сварку выполняют при вертикальном положении свариваемых заготовок. По мере заполнения зазора между ними мундштук для подачи проволоки и формирующие ползуны передвигаются в вертикальном направлении, оставляя после себя затвердевший сварной шов.

В начальном и конечном участках шва образуются дефекты. В начале шва - непровар кромок, в конце шва – усадочная раковина и неметаллические включения. Поэтому сварку начинают на вводной, а заканчивают на выходной планках, которые затем удаляют газовой резкой.

Шлаковая ванна – более распределённый источник теплоты, чем электрическая дуга. Основной металл расплавляется одновременно по всему периметру шлаковой ванны, что позволяет вести сварку металла большой толщины (до 150 мм) за один проход.

Преимущества по сравнению с автоматической сваркой под флюсом:

- повышенная производительность, меньше затрат на выполнение 1 м сварного шва;
- макроструктура шва лучше, так как отсутствует многослойность шва (шов однопроходной);
- уменьшаются затраты вследствие повышения производительности, упрощения подготовки кромок заготовок, уменьшения сечения шва, а также расходов на проволоку, флюсы и электроэнергию.

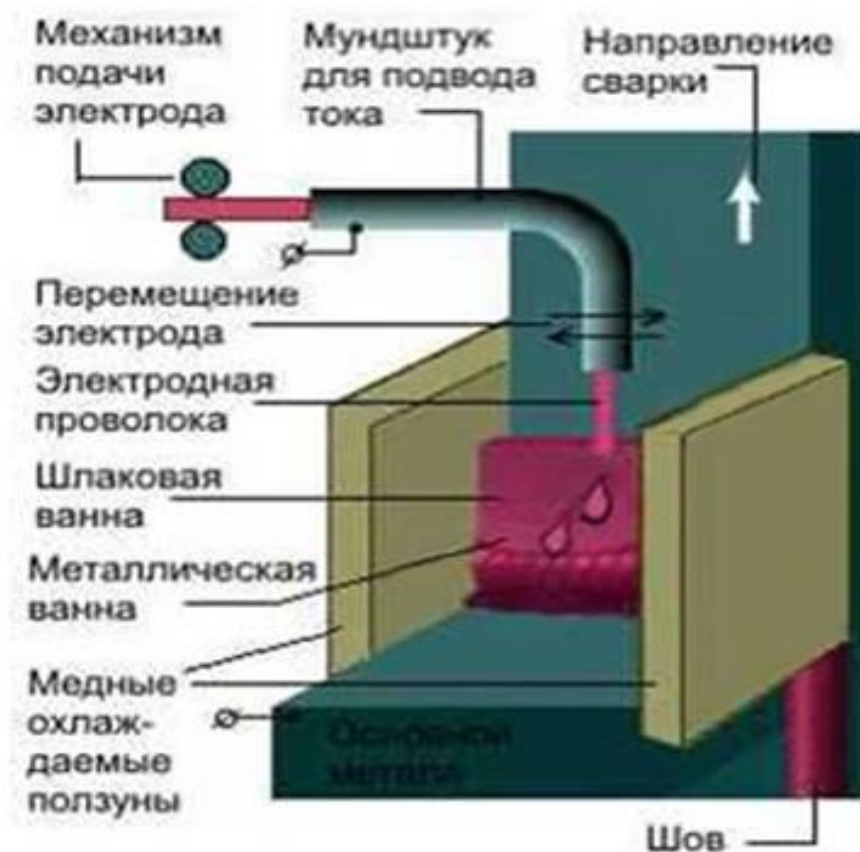


Рис.5.20. Схема процесса электрошлаковой сварки

Недостатки – образования крупного зерна в шве и околошовной зоне вследствие замедленного нагрева и охлаждения. После сварки необходима термическая обработка (отжиг или нормализация) для измельчения зерна в металле сварного соединения.

Применение – в тяжёлом машиностроении для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций, таких, как станины и детали мощных

прессов и станков, коленчатые валы судовых дизелей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления и т.п. Толщина свариваемого металла составляет 50 – 2000 мм.

На рис.5.21. изображён рабочий момент электрошлаковой сварки ковanej конструкции.

5.3. Химические способы сварки

Химические способы сварки включают в себя термитную и газовую сварку.

Термитная сварка. Способ [сварки](#), при котором для нагрева металла используется [термит](#), состоящий из порошкообразной смеси металлического алюминия или магния и железной окалины.

При использовании термита на основе алюминия соединяемые детали заформовывают огнеупорным материалом, подогревают, место сварки заливают расплавленным термитом, который предварительно зажигают (электродугой или запалом).



Рис.5.21. Электрошлаковая сварка ковanej конструкции

Жидкое железо, сплавляясь с основным металлом, даёт прочное соединение. Сварка термитом на основе алюминия применяется для

соединения стальных и чугунных деталей — стыковки рельсов, труб, заварки трещин, наплавки поверхностей при ремонте. Термит на основе магния используется в основном для соединения телефонных, телеграфных проводов и жил кабелей. Из термитной смеси изготавливают цилиндрические шашки с осевым каналом для провода и выемкой с торца для запала. Подлежащие сварке концы проводов заводят в шашку, после чего шашку зажигают и провода осаживают. Термит на основе магния может быть использован также для сварки труб небольших диаметров.

Чаще всего соединяют термитной сваркой рельсы (рис.5.22), провода, линии электропередачи и связи, а также стыки арматуры. Эффективен данный способ для сваривания отломившихся элементов изделий из стали, таких как зубья в больших шестеренках. Благодаря своим преимуществам термитный сварочный процесс активно используется в ремонтных работах чугунных и стальных конструкций.

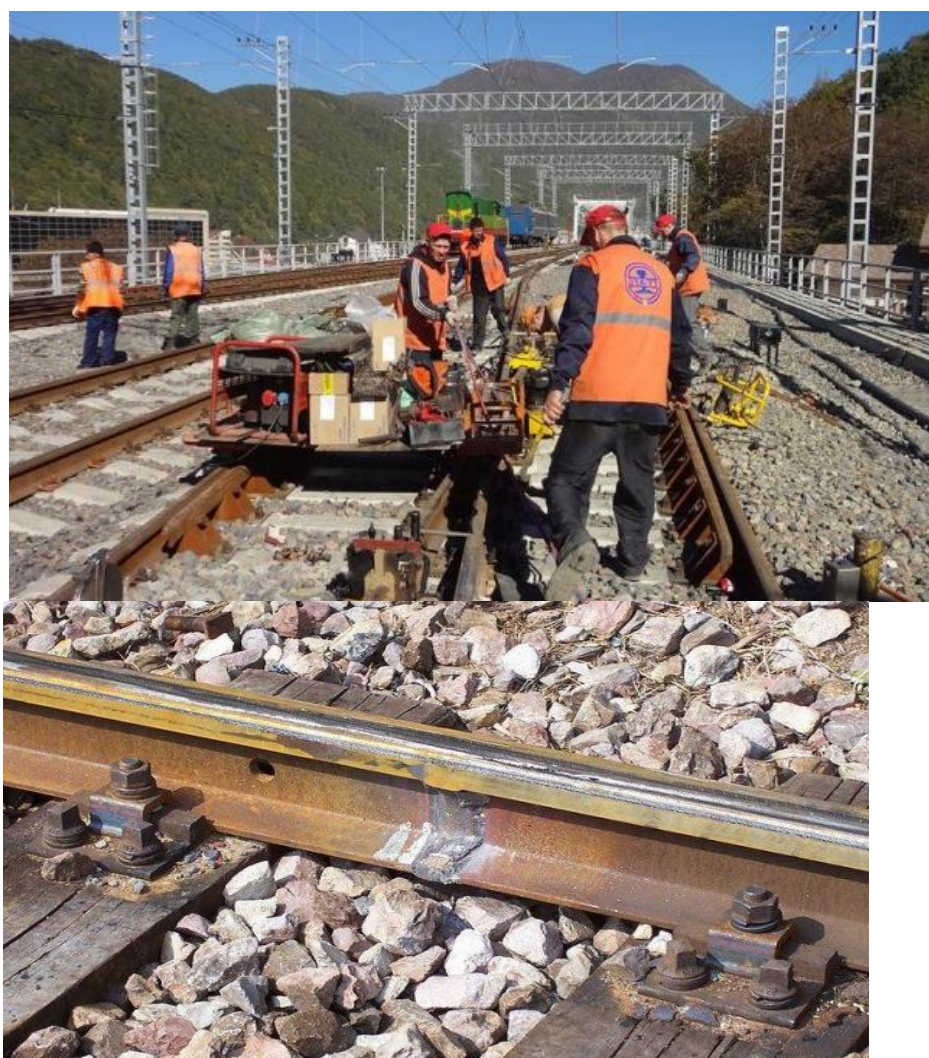


Рис.5.22. Термитная сварка рельсов

Газовая сварка. При газовой сварке место соединения нагревают до

расплавления высокотемпературным газовым пламенем (рис.5.23, а). При нагреве газосварочным пламенем **4** кромки свариваемых заготовок **1** расплавляются, а зазор между ними заполняется присадочным металлом **2**, который вводят в пламя горелки **3** извне. Газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода.

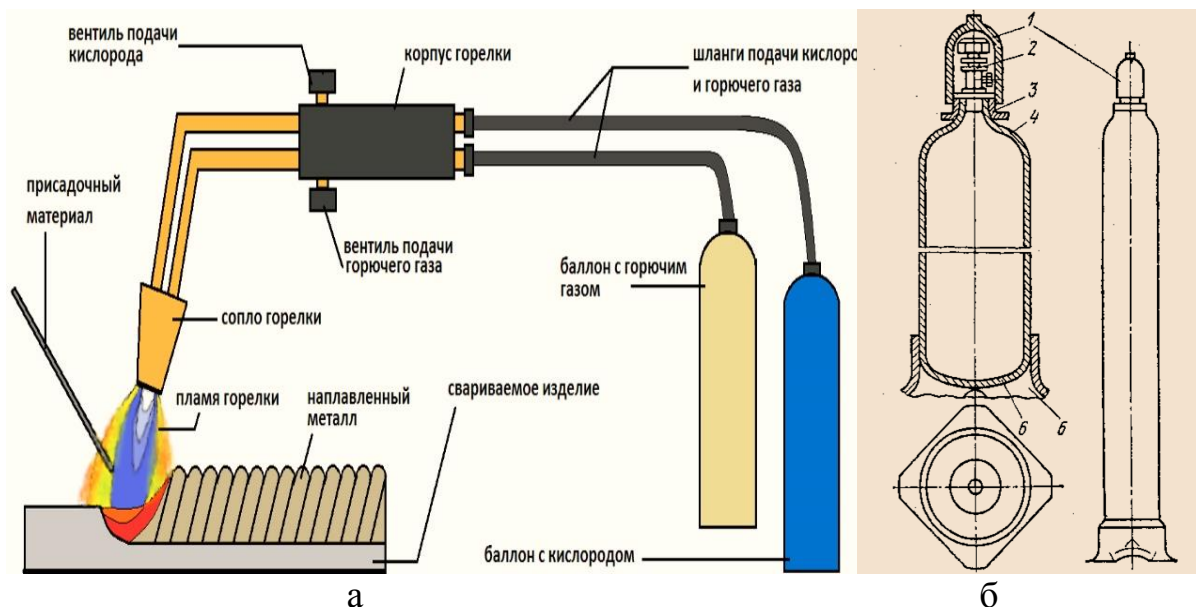


Рис.5. 23. Схема газовой сварки (а) и схема газового баллона (б)

Кислород, используемый для сварочных работ, поставляют к месту потребления в стальных баллонах под давлением 15 МПа.

Баллоны (рис.5.23, б):

1 – колпак; 2 - запорный вентиль; 3 – кольцо; 4 – горловина; 5 – башмак; 6 – днище, окрашивают в голубой цвет с чёрной надписью «**Кислород**».

Средняя жидкостная вместимость баллона 40 дм³. При давлении 15 МПа он вмещает 6000 дм³ кислорода.

Для снижения давления газа на выходе из баллона и поддержания постоянной величины рабочего давления применяют **газовые редукторы** (рис.5.24).

Кислородные редукторы понижают давление от 15 до 0,1 МПа, а ацетиленовые – от 1,6 до 0,02 МПа. Редукторы, применяемые в сварочной технике, обычно имеют два манометра, один из которых измеряет давление газа до входа в редуктор, второй – на выходе из него. Корпус редуктора окрашивают в определённый цвет, например, в голубой для кислорода, в белый для ацетилена и т.д. К сварочной горелке кислород от редуктора подают через специальные резиновые шланги.

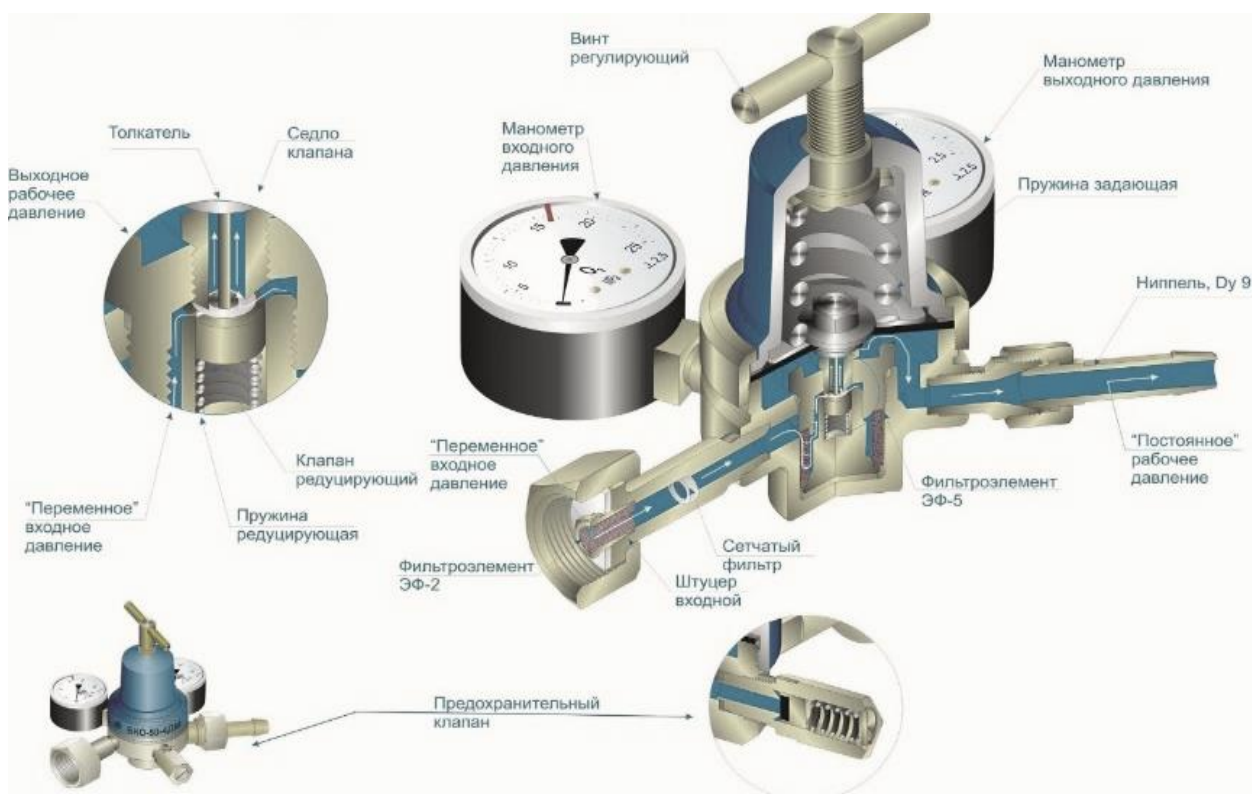


Рис.5.24 Редукторы для сжатого газа

Для газовой сварки применяют **ацетилен**, так как он имеет большую теплоту сгорания по сравнению с другими горючими газами и высокую температуру пламени (3200°C). Ацетилен (C_2H_2) – взрывоопасен при избыточном давлении свыше 0,175 МПа. Для безопасного хранения в баллоне его растворяют в ацетоне. **Ацетиленовые баллоны** окрашивают в белый цвет и делают на них красной краской надпись «Ацетилен». Давление ацетилена в баллоне 1,5 МПа. В баллоне находится пористая масса (активированный уголь), ацетилен, пропитывая её, становится безопасным. На рис.5.25 показан рекламный плакат газовых баллонов.



Рис.5. 25 Газовые баллоны с различным газом

Газосварочные горелки (рис.5.26, рис.5.27) – устройство для газовой сварки с регулируемым смешиванием газов и созданием направленного газового пламени.



Рис. 5.26 Газосварочная горелка инжекторного типа

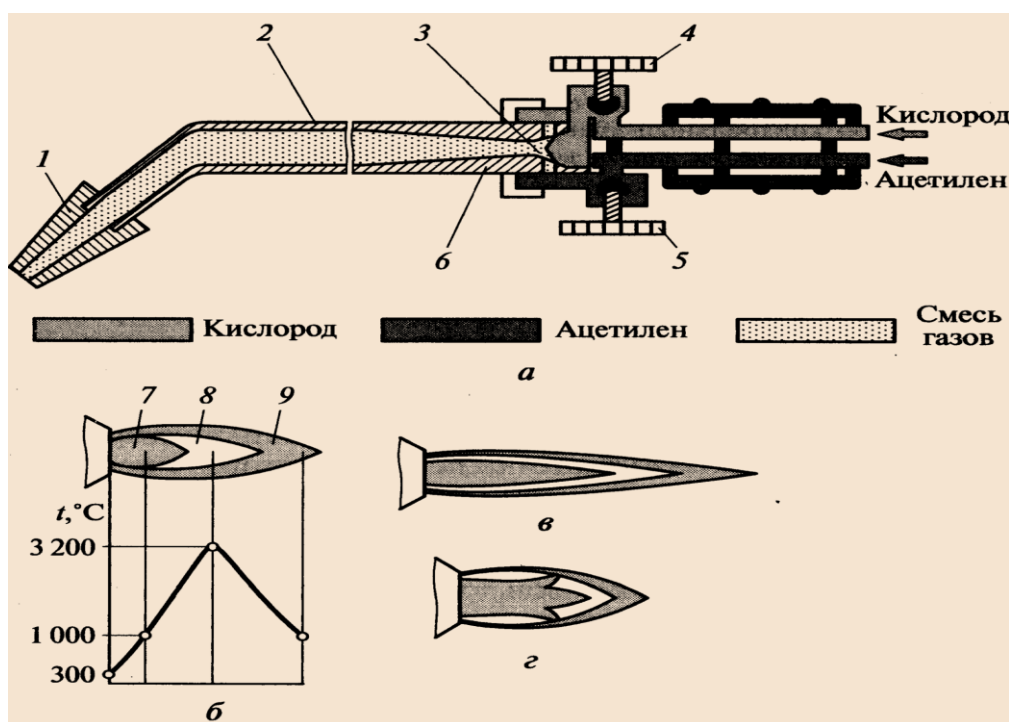


Рис. 5.27. Схема газосварочной горелки инжекторного типа (а) и виды (б – г) ацетилено-кислородного сварочного пламени:

б – нормальное; в – окислительное; г – восстановительное; 1 – сменный наконечник; 2 – мундштук; 3 – смешительная камера (для горючей смеси); 4 – кислородный вентиль; 5 – вентиль горючего газа; 6 – кольцевой инжектор; 7 – ядро пламени; 8 - восстановительная зона пламени; 9 – факел

Для сварки чаще всего используют газосварочные горелки инжекторного типа (рис.5.27), так как они наиболее безопасны. Под давлением 0,1...0,4 МПа кислород поступает в горелку через вентилятор 4 и кольцевой инжектор 6. Выходя с большой скоростью из узкого канала инжектора, кислород подсасывает горючий газ, поступающий через вентиль 5. В смешительной камере 3 получаем горючую смесь, которая через мундштук 2 подаётся к сменному наконечнику 1.

Присадочную проволоку, для газовой сварки, выбирают в зависимости от состава сплава свариваемого металла. Для сварки чугуна применяют специальные литые чугунные стержни. Для наплавки износостойких покрытий – литые стержни из твёрдых сплавов. Для сварки цветных металлов и некоторых специальных сплавов используют флюсы. Роль флюса состоит в растворении оксидов и образовании шлаков, легко всплывающих на поверхность сварочной ванны.

При газовой сварке заготовки нагреваются более плавно, чем при дуговой; это и определяет основные области её применения:

- для сварки металлов малой толщины (0,2 – 3 мм);
- легкоплавких цветных металлов и сплавов;
- для металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения, например для инструментальных сталей, чугуна, латуней;
- для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках.

На рис.5.28 показаны способы газовой сварки.

На рис.5.29 показан рабочий момент газовой сварки.

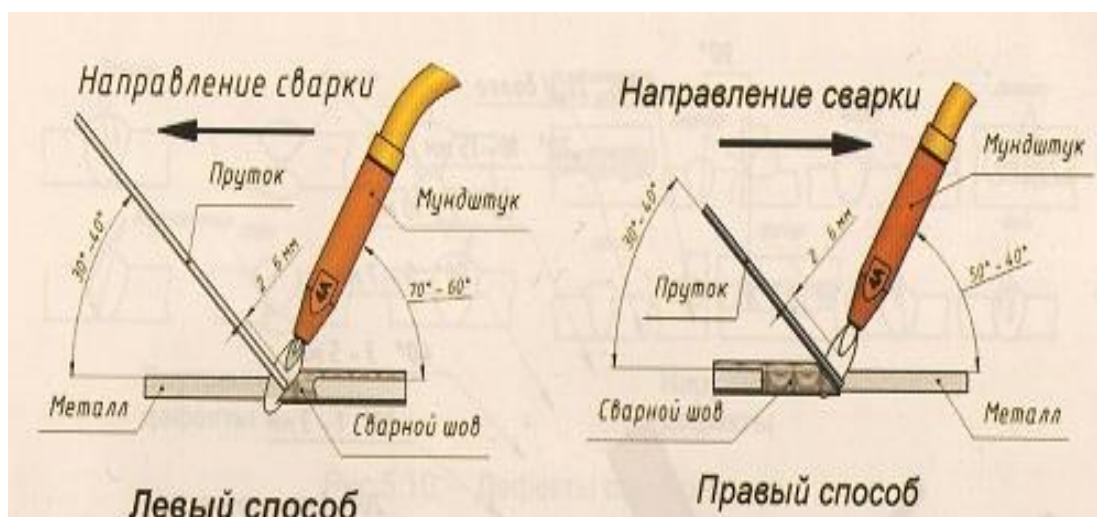


Рис. 5.28. Способы выполнения газовой сварки.



Рис. 5.29. Работа с газосварочной горелкой

При увеличении толщины металла производительность газовой сварки резко снижается. При этом за счёт медленного нагрева свариваемые изделия значительно деформируются. Это ограничивает применение газовой сварки.

Термическая резка металлов. Газокислородная резка заключается в сжигании металла в струе кислорода и удалении этой струей образующихся оксидов (рис.5.30). При горении железа в кислороде выделяется значительное количество теплоты.

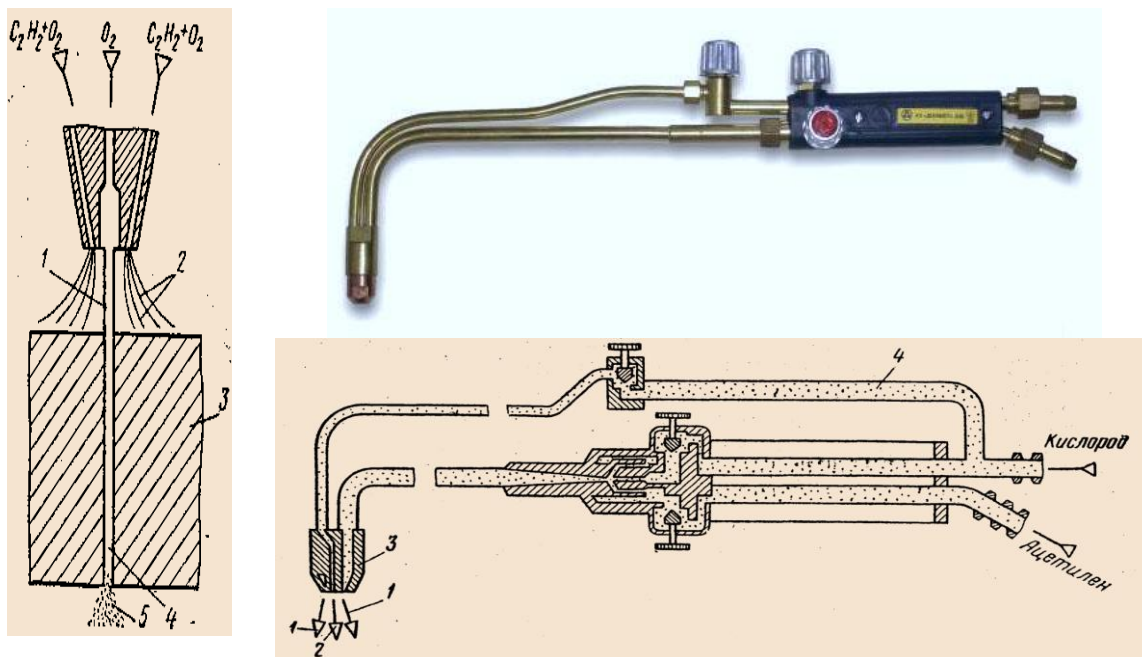


Рис.5.30. Схемы газокислородной резки и газокислородный резак

Для начала горения металл подогревают до температуры его воспламенения в кислороде (например сталь – до 1000 – 1200°C). На рис.5.30, показан процесс газокислородной резки. Металл 3 нагревается в начальной точке реза подогревающим ацетилено-кислородным пламенем 2, затем направляется струя режущего кислорода 1, и нагретый металл начинает гореть. Горение металла сопровождается выделением теплоты, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие ниже слои на всю толщину металла. Образующиеся оксиды 5 расплавляются и выдуваются струей режущего кислорода из зоны реза 4. Конфигурация перемещения струи соответствует заданной форме реза.

По характеру и направленности кислородной струи различают следующие способы резки. Разделительная – резка на всю толщину металла. Поверхностная – для удаления поверхностных дефектов отливки.

Резка металла может быть ручной и машинной. Для ручной резки применяют универсальный резак типа УР со сменными мундштуками (рис.5.30). В резак конструктивно объединены подогревающая часть и режущая. Режущая часть состоит из дополнительной трубки 4 для подачи режущего кислорода. В мундштуке находятся два концентрически

расположенных отверстия для выхода подогревающего пламени 1 и режущей струи 2.

Ручная резка вследствие неравномерности перемещения резака и вибрации режущей струи не обеспечивает высокого качества поверхности реза, поэтому полость реза механически обрабатывают. Для получения реза высокого качества применяют машинную резку. Машинную резку выполняют специальными автоматами и полуавтоматами с одним или несколькими резаками – по металлическому копиру или на станках с ЧПУ(рис.5.31).

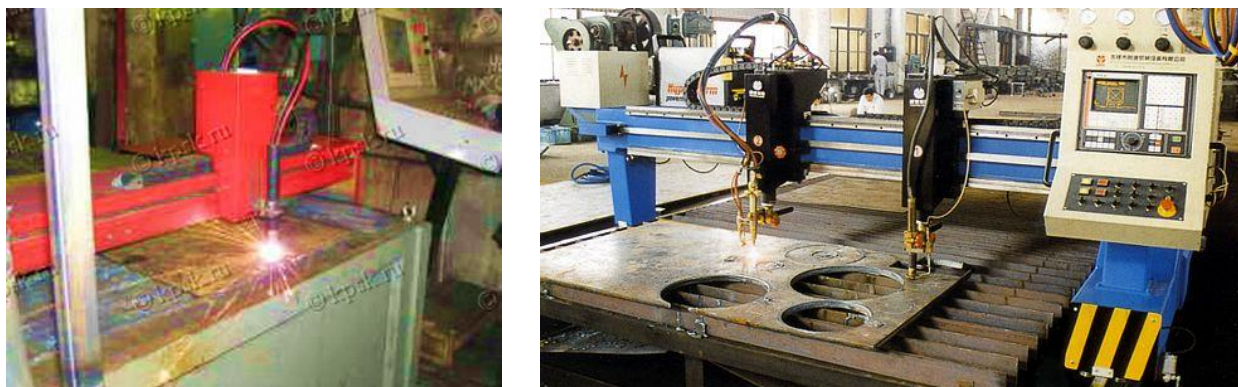


Рис. 5.31. Машины плазменной резки

"Кристалл-1.5x2.5" с числовым программным управлением предназначена для высокоточного раскроя листового проката черных, цветных металлов и их сплавов толщиной от 1 до 20 мм (в штатной комплектации).

5.4. Лучевые виды сварки

К лучевым видам сварки относятся **электронно-лучевые и лазерная сварка.**

Электронно-лучевая сварка. Метод сварки плавлением, при которой для нагрева используется энергия ускоренных электронов. Электронный луч (рис.5.32) – это сжатый поток электронов, перемещающихся с большой скоростью от катода к аноду в сильном электрическом поле. При соударении электронного потока с твёрдым телом до 90 % кинетической энергии электронов переходит в тепловую, обеспечивая уровень температуры в месте соударения 5000 – 6000°С.



Рис.5.32. Схема установки электронно-лучевой сварки

Камера с находящейся на ней (или в ней) электронной пушкой, формирующей электронный луч, может откачиваться как до высокого ($\sim 10^{-3}$ Па), так и до низкого (~ 1 — 10 Па) вакуума, но с отдельной откачкой объема электронной пушки до 10^{-3} Па.

В современных установках для сварки, сверления, резки или фрезерования электронный луч фокусируется на площади диаметром менее $0,001$ см, что позволяет получить большую удельную мощность. При использовании обычных сварочных источников теплоты (дуги, газового пламени) металл нагревают и плавят за счёт распространения теплоты от поверхности в глубину, при этом форма зоны расплавления в сечении приближается к полукругу F_2 (рис.5.33) при сварке электронным лучом теплота выделяется непосредственно в самом металле F_1 , причём наиболее интенсивно на некоторой глубине под его поверхностью. Отношение глубины проплавления к ширине может достигать $20:1$; такое проплавление называют кинжальным.

Высокая концентрация теплоты в пятне нагрева позволяет сверлить такие материалы, как сапфир, рубин, алмаз, стекло. Незначительная ширина зоны теплового воздействия даёт возможность резко уменьшить деформацию заготовки. Кроме того, за счёт вакуума в камере обеспечивается зеркальная поверхность соединения и дегазация (приставка **de...** - обозначающая отделение, удаление) расплавленного металла.

Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из тугоплавких химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых,

ниобиевых, циркониевых, молибденовых и т.п.), а также из алюминиевых и титановых сплавов и высоколегированных сталей. Металлы и сплавы можно сваривать в однородных и разнородных сочетаниях, со значительной разностью толщин, температур плавления и других теплофизических свойств. Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная – до 100 мм.

Электронно-лучевой сваркой можно соединять малогабаритные изделия, применяемые в электронике и приборостроении, и крупногабаритные изделия длиной и диаметром несколько метров.

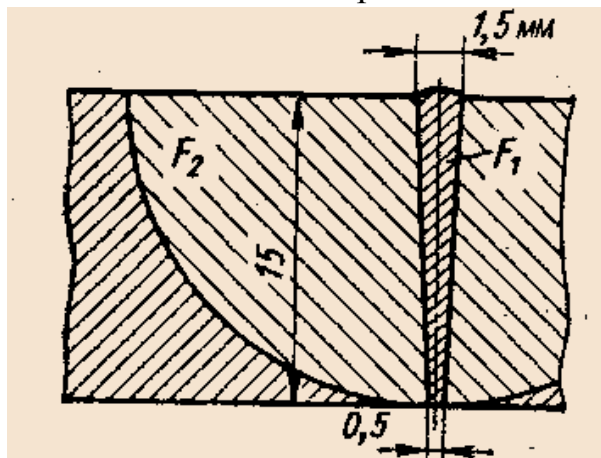


Рис.5. 33. Киньжальное проплавление при электронно-лучевой сварке: F_2 и F_1 – сечения швов при дуговой и электронно-лучевой сварке (ЭЛС)

Методом ЭЛС реализуется сварка большинства токопроводящих материалов (легированные и высоколегированные стали; титановые, вольфрамовые, танталовые, ниобиевые, циркониевые, молибденовые и никеливые сплавы; некоторые керамики). На рис.5.34 приведён рабочий момент электроно-лучевой сварки специальной стали.



Рис.5.34. Электронно-лучевая сварка

Минимальная толщина свариваемых заготовок составляет 0,02 мм, максимальная – 100 мм. Способ ЭЛС применяют для соединения малогабаритных (электроника, приборостроение, часовая промышленность) и крупногабаритных (диски диаметром 50 – 2300 мм, цапфы, валы, рычаги, трубные и корпусные изделия) деталей.

Лазерная сварка. Сварка плавлением, при которой для нагрева используется энергия излучения лазера, называется лазерной сваркой.

Излучение возникает в результате вынужденных скачкообразных переходов электронов атомов рабочего тела лазера на более низкие орбиты. Лазерную сварку ведут с использованием вспомогательного газа (гелия или аргона), подаваемого в зону сварки через сопло под давлением. Продувка вспомогательным газом позволяет защитить оптическую систему фокусировки от паров и брызг металла, а металл заготовок от окисления.

Лазерная сварка позволяет соединять разнородные металлы при толщине заготовок 0,5 – 10 мм и скорости сварки до 50 м/мин; обеспечивая небольшое тепловое влияние на околошовную зону и малые деформации готового изделия; легко автоматизировать процесс сварки; сваривать конструкции, которые невозможно соединять обычными способами сварки. Управление лучём с помощью системы специальных зеркал позволяет сваривать труднодоступные места и получать криволинейные сварные швы.

Лазерную сварку малых толщин применяют в электронной и радиотехнической промышленности для сварки проводов, элементов микросхем, при ремонте вакуумных приборов и т.д. Лазерную сварку с глубоким проплавлением применяют при производстве корпусных деталей, валов (в том числе карданных), осей, для сварки труб, арматурных конструкций и т.д.

Лазерная резка применяется для резки заготовок со сложным контуром из листовых материалов, при обработке трёхмерных конструкций (резка труб, профилей и др.), точного раскроя листового материала (стальных листов толщиной до 25 мм), разрезания нетеплопроводных или хрупких материалов (керамик).

Сфокусированным лазерным лучом можно разрезать практически любые материалы. Лазерная резка позволяет получать узкий и точный рез с минимальной зоной термического влияния. Отсутствие механического воздействия на материал позволяет разрезать легкодеформируемые и нежесткие заготовки. На рис.5.35 показана схема и универсальная лазерная установка рис.5.36.

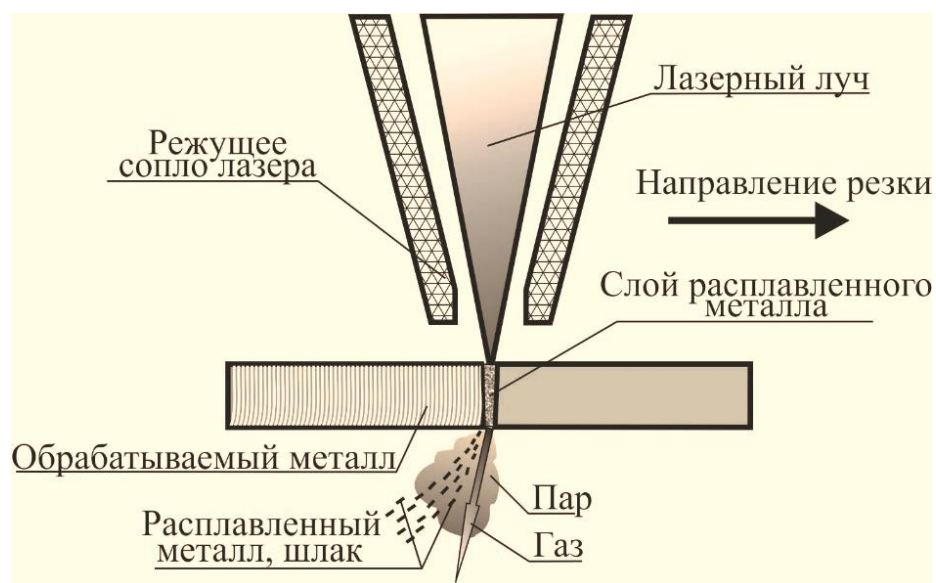


Рис.5.35 Схема лазерной резки



Рис.5.36. Установка для лазерной сварки

Принципиальная особенность лазерных установок серии ALFA-AUTO – это наличие автоматического координатного стола и программы управления шаговыми двигателями, что позволяет выполнять сварные швы любой сложности: прямолинейные, фигурные по заданной траектории.

Наблюдение и контроль процесса лазерной сварки с помощью видеосистемы происходит на мониторе. Возможность замены фокусирующего сварочного объектива на режущую головку значительно расширяет возможности лазерного комплекса ALFA-AUTO, позволяет выполнять резку металлов и делает данную лазерную установку универсальной в своём применении.

На рис.5. 37 показан один из постов лазерной установки.



Рис.5.37. Импульсная лазерная установка для сварки, резки и термообработки

5.5. Механические виды сварки

К механическим видам сварки относятся холодная и ультразвуковая сварка, а также сварка трением и взрывом.

Холодная сварка (рис.5.38). Данный вид сварки применяют для соединения очень пластичных металлов (алюминия и его сплавов, меди, свинца, олова и др.).

Холодная сварка – сварка давлением при значительной пластической деформации без нагрева свариваемых частей внешними источниками теплоты. Подразделяется на три вида: **точечную, шовную и стыковую.**



Рис.5.38. Схема холодной сварки

Точечной холодной сваркой соединяют внахлестку листовые материалы или в стык (рис.5.39).

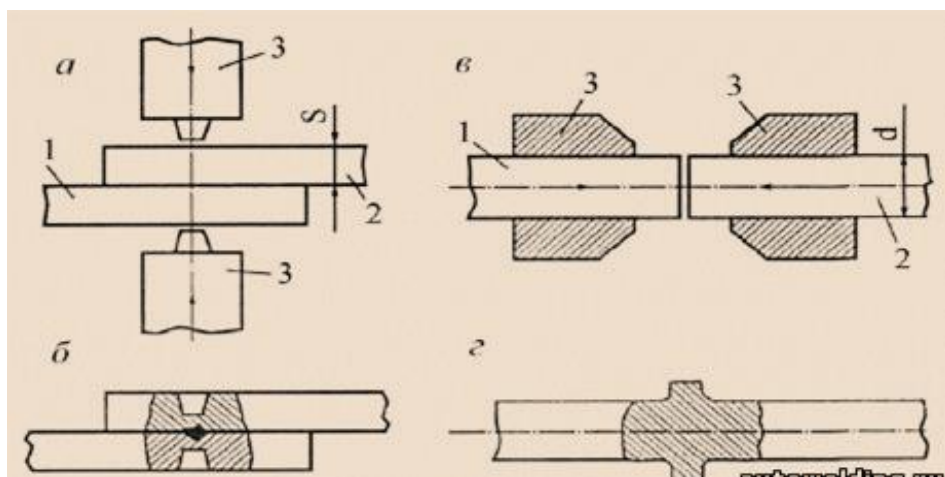


Рис.5.39. Схемы холодной сварки усилиями, нормальными к поверхности соединения:

а, б – внахлестку; в, г – встык; 1, 2 – свариваемые детали; 3 – прижимы

Холодной сваркой в основном сваривают однородные или неоднородные металлы и сплавы, обладающие высокой пластичностью при нормальной температуре. Высокопрочные металлы и сплавы холодной сваркой не сваривают, так как для этого требуются очень большие удельные усилия, которые практически трудно осуществить.

Хорошо свариваются сплавы алюминия, кадмия, свинца, меди, никеля, золота, серебра, цинка и тому подобные металлы и сплавы. К преимуществу этого способа относятся малый расход энергии, незначительное изменение свойств металла, высокая производительность, возможность автоматизации.

Для соединения холодной точечной сваркой могут быть использованы любые прессы (винтовые, гидравлические, рычажные, эксцентриковые), кроме того специализированные установки для стыковой холодной сварки (рис.5.40).



а)

б)

Рис. 5.40. Электropневматический аппарат для сварки прутьев, проволоки и полосы цветных металлов диаметром от 5 до 12,5 мм (а) и длина сваренных медных и алюминиевых прутьев (б)

Шовной холодной сваркой соединяют листовые материалы непрерывным швом (рис. 5.41).

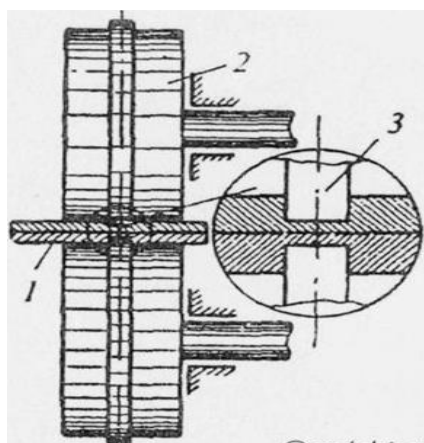


Рис. 5.41. Схема шовной холодной сваркой:

1 – свариваемый металл; 2 – опорные ролики; 3 – ролики-пуансоны (выступы)

Стыковой холодной сваркой соединяют стержни по поверхности стыкуемых торцов.

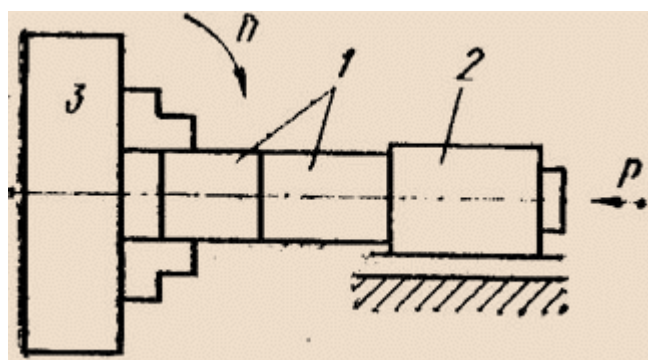


Рис.5.42 Сварка трением

При **сварке трением** используется превращение механической энергии в тепловую. При вращении металлических заготовок 1 одна относительно другой одна установлена в неподвижном зажиме 2, а вторая в подвижном зажиме 3 (рис.5.42), их торцы разогреваются вследствие трения поверхностей соприкосновения. Разогрев производят до пластического состояния, а затем прикладывают осевое усилие P . Образование сварного соединения происходит в результате возникновения металлических связей между контактирующими поверхностями. Окисные пленки, имеющиеся на металлических поверхностях в точке соединения, разрушаются трением и удаляются в результате пластической деформации в радиальных направлениях. Основными параметрами процесса сварки трением являются: скорость относительного перемещения свариваемых поверхностей; величина удельного давления, прилагаемого к свариваемым поверхностям; величина пластической деформации, т. е. осадки.

Необходимый для сварки нагрев при прочих равных условиях обусловлен скоростью вращения и величиной осевого усилия.

Ультразвуковая сварка. Сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний, называется ультразвуковой сваркой (УЗС) (рис.5.43). Реализация УЗС состоит в приложении высокочастотных колебаний (16 – 20 кГц) к свариваемым заготовкам. В заготовках возникают касательные напряжения, вызывающие пластическую деформацию материала свариваемых поверхностей. В месте соединения развивается повышенная температура (0,4 – 0,6) $T_{пл}$, зависящая от свойств свариваемых материалов. Эта температура способствует возникновению пластического состояния свариваемых материалов и их соединению. В месте сварки в процессе охлаждения формируются совместные кристаллы, обеспечивающие прочность сварного соединения. Одновременно под действием ультразвука разрушаются оксидные плёнки на поверхностях заготовок, что также облегчает получения соединения.

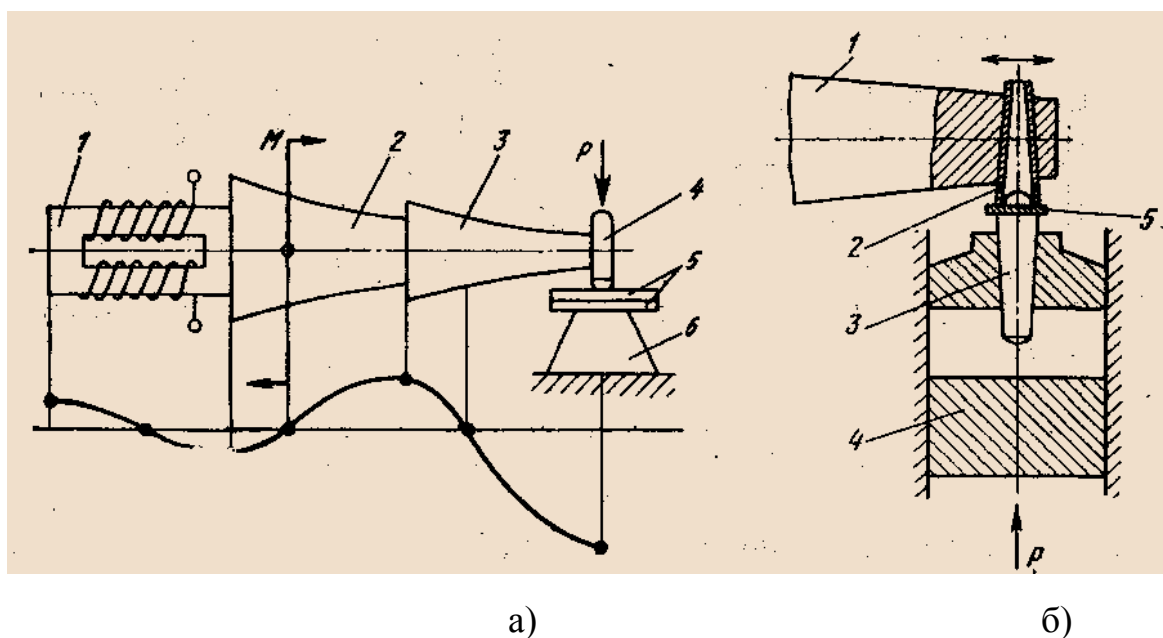


Рис.5.43 а – схема ультразвуковой сварки, где:

1 – преобразователь; 2 – трансформатор; 3 – рабочий инструмент; 4 – наконечник; 5 – свариваемое изделие; 6 – опора;

б – ультразвуковая сварка по контуру, где:

1 – волновод; 2 – сменный полый штифт; 3 – сменный прижимной штифт; 4 – прижимная опора; 5 – свариваемое изделие

Технологические возможности УЗС: соединение металлов без снятия поверхностных плёнок и расплавления; особенно хорошая свариваемость чистого и сверхчистого алюминия, меди, серебра; соединение тончайшей металлической фольги со стеклом и керамикой. Ультразвуком свариваются большинство известных термопластичных полимеров. Для ряда полимеров УЗС является единственно возможным надёжным способом соединения. При УЗС в принципе нет ограничений по нижнему пределу свариваемых толщин

различных металлов. Возможно также соединение с существенным перепадом толщин и свойств свариваемых материалов (например, в соединении металл – стекло может быть отношение 1 : 1000 и больше). Для УЗС также характерны малая энергоёмкость; возможность питания нескольких сварочных головок от одного генератора и возможность выноса их на значительное расстояние; простота автоматизации процесса работы колебательной системы; гигиеничность процесса.

Методы УЗС применяют в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной промышленности. На рис.5.44 показана одна из промышленных установок для ультразвуковой сварки.



Рис.5.44. Ультразвуковая сварка плёнки

Сварка взрывом. Сварку взрывом можно отнести к видам сварки с оплавлением при кратковременном нагреве на воздухе, так как на отдельных участках наблюдаются зоны металла, нагретые до оплавления. Однако на других участках температура может быть не высока, и здесь процесс приближается к холодной сварке.

При осуществлении сварки взрывом химическая энергия превращения заряда взрывчатого вещества (ВВ) в газообразные продукты взрыва трансформируется в механическую энергию их расширения, сообщая одной из свариваемых заготовок большую скорость перемещения. Кинетическая энергия соударения движущейся части с поверхностью неподвижной части

затрачивается на работу совместной пластической деформации контактирующих слоёв металла, приводящей к образованию сварного соединения. Работа пластической деформации сопровождается выделением теплоты, за счёт которой вследствие адиабатического характера процесс при больших скоростях металл в зоне соединения может разогреваться до высоких температур (вплоть до оплавления локальных объёмов). Большинство технологических схем сварки основано на использовании направленного (кумулятивного) взрыва (рис.5.45).

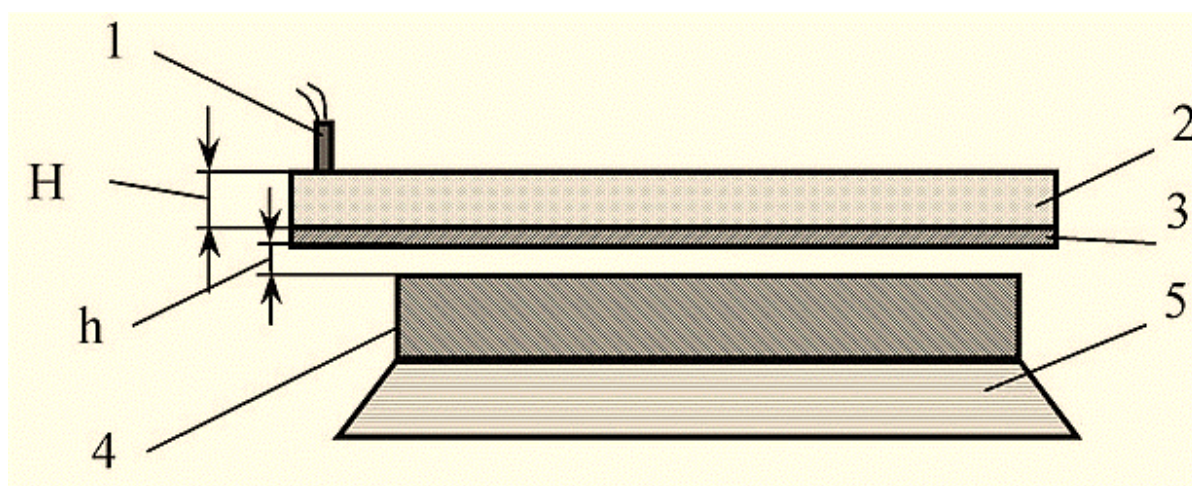


Рис.5.45. Схема сварки взрывом:

1 – детонатор; 2 – взрывчатое вещество; 3 и 4 – свариваемые заготовки; 5 – основание; h – зазор между заготовками; Н – толщина слоя взрывчатого вещества

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов. Перспективы и области применения сварки взрывом определяются возможностью создания в твёрдой фазе прочных соединений за счёт поверхностных металлических связей без развития объёмной диффузии вследствие скоротечности процесса на больших (20 м^2), практически неограниченных площадях. Это позволяет **применять** сварку взрывом при изготовлении заготовок для проката биметалла, плакирования поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов. Целесообразно сочетание сварки взрывом со штамповкой и ковкой. На рис.5.46 зафиксирована удачная фотография сварки взрывом в полевых условиях.

В настоящее время открываются широкие возможности применения сварки взрывом для создания композиций с промежуточными слоями, играющими при нагревах роль диффузионных барьеров между основными и промежуточными слоями. А также для повышения прочности и работоспособности таких переходников с помощью контактного упрочнения промежуточных слоёв при уменьшении их относительной толщины в неограниченных пределах.



Рис.5.46. Сварка взрывом на открытой площадке ЗАО "Импульсные технологии"

5.6. Электромеханические виды сварки

Контактная сварка — один из наиболее распространенных и быстро развивающихся способов получения неразъемных соединений самых разнообразных конструкционных материалов в широком диапазоне толщин и сечений. В настоящее время ~30 % всех сварных соединений выполняются с помощью контактной сварки, а, по существующим прогнозам, доля этого способа в мировом сварочном производстве достигнет 40 %.

Широкое использование и перспективы контактной сварки в промышленности, особенно в массовом производстве, обусловлены следующими причинами:

1. Высокой технико-экономической эффективностью и, в частности, очень высокой производительностью процесса, намного превышающей производительность других способов сварки.
2. Возможностью легкой механизации, автоматизации и роботизации процесса сварки
3. Весьма благоприятным термомеханическим циклом, обеспечивающим достаточно высокое качество соединений большинства конструкционных материалов.

4. Высокой культурой и хорошими гигиеническими условиями технологического процесса.

Контактная сварка — процесс образования неразъемных соединений конструкционных металлов в результате их кратковременного нагрева электрическим током и пластического деформирования усилием сжатия, со стороны электродов.

Согласно ГОСТ 2601—84 контактная сварка принадлежит к термомеханическому (термодеформационному) классу способов сварки. Соединение в этом случае, как и при других способах сварки, образуется за счет формирования металлических связей между атомами в зоне контакта соединяемых деталей. При этом затрачивается тепловая и механическая энергия для обеспечения физического контакта и активации соединяемых поверхностей.

Известные способы сварки классифицируются по ряду технических и технологических признаков (ГОСТ 19521—74):

- 1) по технологическому способу (форме) соединений — точечная, шовная, стыковая;
- 2) по конструкции соединения: виду сборки деталей — нахлесточные и стыковые (торцевые) соединения, предусмотренные выступы на одной из деталей — рельефная сварка;
- 3) по предельному состоянию металла в зоне сварки — с расплавлением металла и без расплавления;
- 4) по числу одновременно выполняемых соединений (швов) — одно- и многоточечная, сварка одним или сразу несколькими швами, одновременная сварка одного или нескольких стыков;
- 5) по способу подвода и роду сварочного тока — наиболее распространенные способы с кондукционным (контактным) подводом тока или с индукционным нагревом, характерным в основном для стыковой сварки; сварка импульсом переменного тока или униполярным импульсом (изменяющийся во времени ток одной полярности);

К электромеханическим видам сварки относятся все способы контактной сварки. Для осуществления контактной сварки кратковременно нагревают место соединения пропуском электрического тока и далее осаживают разогретые заготовки.

Различают контактную сварку: стыковую (СКС), точечную (ТКС) и шовную (ШКС) (см.рис. 5.47, рис.5.48).

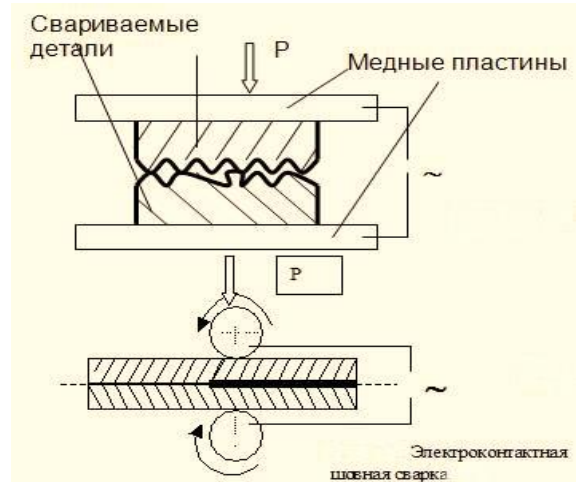
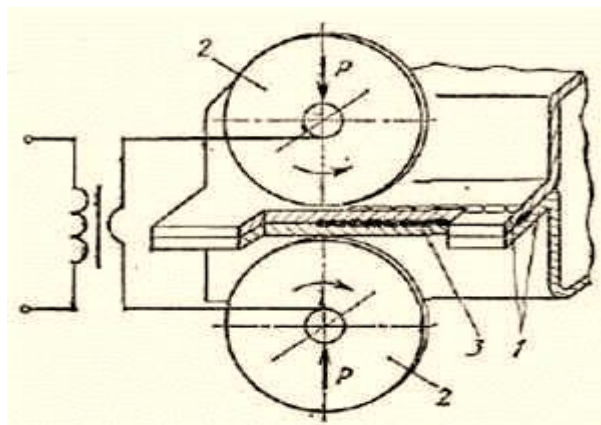
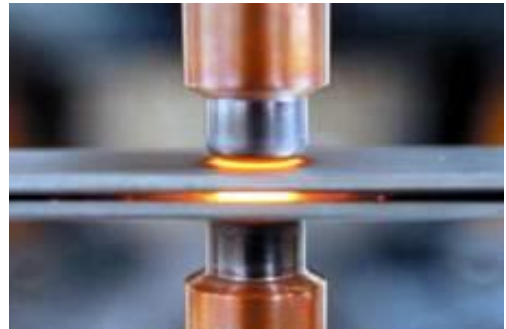
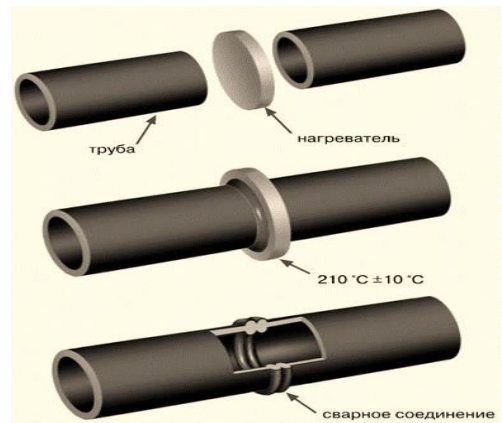
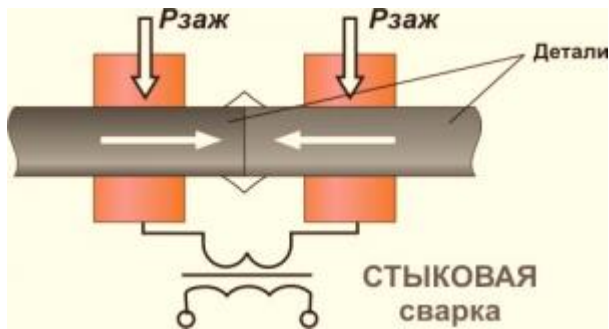


Рис.5.47 Контактная сварка стыковая, точечная, шовная



Рис.5.48 Сварка автомобильных кузовов

5.7. Технологические особенности сварки сталей, чугунов и цветных металлов

Сварка углеродистых и легированных сталей.

Низкоуглеродистые и низколегированные стали обладают хорошей свариваемостью и соединяются большинством способов сварки без особых трудностей.

Углеродистые и легированные стали, с содержанием углерода более 0,3% при типовых режимах сварки, претерпевают закалку в з. т. в. (вероятность образования трещин).

Для обеспечения хорошей свариваемости при дуговой сварке этих сталей рекомендуются следующие технологические мероприятия:

- предварительный и последующий подогрев заготовок до температуры 100 – 300°С в целях замедленного охлаждения и исключения закалки з. т. в.
- проковка электродов, флюсов при температуре 400 – 450°С в течение 3 часов и осушение защитных для предупреждения попадания водорода в металл сварного соединения;
- низкий или высокий отпуск сварных соединений сразу после окончания сварки в целях повышения пластичности закалочных структур и выделения водорода.

Сварка высоколегированных коррозионностойких сталей.

Коррозионная стойкость стали обеспечивается содержанием более 12% Cr, а содержание 8% Ni стабилизирует аустенитную структуру и сохраняет её при нормальных температурах (сталь 10X18H9T и др.). при сварке этих сталей на режимах, обуславливающих продолжительное пребывание металла в области температур 500 – 800° С, возможна потеря коррозионной стойкости металлом и з. т. в. Причиной этого является образования карбидов хрома на границах зёрен и обеднение приграничных участков зёрен хромом. В результате металл сварного соединения становится склонным к так называемой межкристаллитной коррозии рис.5.49.

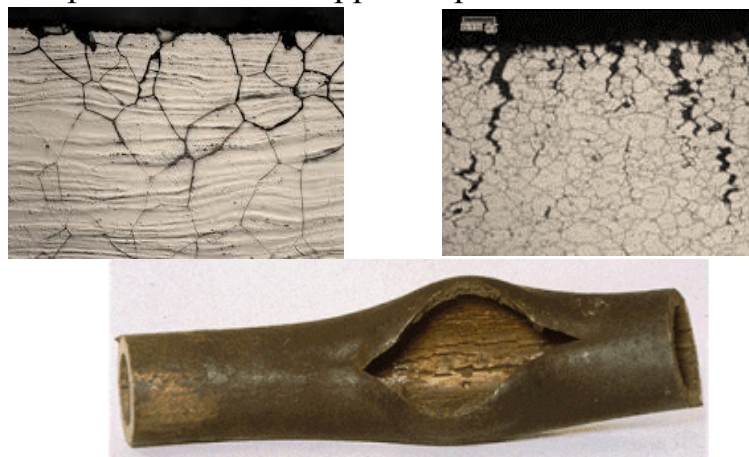


Рис.5.49 Межкристаллитная коррозия стали

При дуговой сварке для предупреждения межкристаллитной коррозии сварных соединений рекомендуется:

- сварка на малых погонных энергиях (q/v , Дж/см) с применением теплоотводящих медных подкладок;
- термическая обработка после сварки – нагрев до $T = 1100^{\circ}\text{C}$ и закалка в воде.

При нагреве происходит растворение карбидов, а закалка фиксирует чисто аустенитную структуру.

При дуговой сварке аустенитных сталей возможно образование в сварных швах горячих трещин. Для предупреждения их рекомендуется вводить в сварочные материалы (электроды, проволоку) легирующие элементы Si, Al, Mo, Mn и другие способствующие измельчению зерна, и снижать содержание вредных примесей. Аустенитные стали, хорошо, свариваются контактной сваркой.

Для обеспечения герметичности тройников, которые ранее производились из двух труб с фасонными вырезами и сваркой встык, была внедрена в производство новая технология – холодная вытяжка кромки фасонного отверстия основной трубы тройника. К образующейся после вытяжки цилиндрической отбортовки приваривается боковая труба на станке контактной сварки. Таким образом, было получено изделие по принципиально новой технологии с герметичным сварным швом (рис.5.50).



Рис.5.50 Контактная сварка нержавеющей стали

Сварка чугуна.

Чугун относится к категории плохо сваривающихся сплавов. Его сваривают при исправлении дефектов в отливках и ремонте деталей. Дуговая сварка чугуна чугунными электродами и с покрытиями не обеспечивает хорошего качества сварных соединений. Металл шва получает структуру белого чугуна, а зона термического влияния закаливается.

Горячую сварку чугуна выполняют с предварительным подогревом свариваемых деталей до температуры $400 - 700^{\circ}\text{C}$. Сваривают чугунными электродами (диаметром $8 - 25$ мм) со стабилизирующей или специальной обмазкой. Сваренные детали охлаждают вместе с печью. Однако горячая

сварка – дорогой и трудоёмкий процесс. Её применяют для ремонта уникальных деталей. Горячую сварку также выполняют науглероживающим газовым пламенем с флюсом на основе буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$).

При холодной сварке чугуна сваривают без подогрева стальными, медножелезными, медноникелевыми электродами и электродами из аустенитного чугуна. Стальные электроды применяют со стабилизирующей или качественной обмазкой. Стальные электроды не исключают отбел и закалочных структур, но они просты и обеспечивают мягкий хорошо обрабатываемый шов. Наибольшее применение имеют медно-железные электроды, как более дешёвые и обеспечивающие достаточную прочность металла шва. На рис.5.51 изображён рабочий момент сварки чугуна.



Рис.5.51 Холодная сварка чугуна медно-железным электродом

Сварка медно-железными электродами обеспечивает достаточные пластичность и плотность шва; ее широко применяют для заварки трещин в блоках цилиндров. Наиболее широко используемые электроды — ОЗЧ-1 и МНЧ-1. Электрод состоит из медного стержня и основного покрытия, в состав которого входит 50 % железного порошка. При сварке используют постоянный ток обратной полярности. Сварку ведут участками длиной 30...50 мм с тщательной проковкой каждого слоя.

Сварка меди и её сплавов.

На свариваемость меди большое влияние оказывает содержащиеся в ней вредные примеси (O_2 , H_2 , Bi , Pb и др.). Кислород, находящийся в меди в виде оксида Cu_2O , является одной из причин образования горячих трещин в сварных швах. Выделение водорода при затвердевании сварочной ванны

может привести к образованию газовой пористости (водородная хрупкость). Она может привести к образованию трещин в твёрдом металле в процессе охлаждения.

Для предотвращения указанных дефектов при дуговой сварке меди рекомендуются:

- сварка в атмосфере защитных газов;
- применение сварочной и присадочной проволок, содержащих сильные раскислители (титан, цирконий, бор, фосфор, кремний и др.).

Поскольку медь обладает, высокой теплопроводностью сварку её, выполняют на повышенной погонной энергии, с предварительным подогревом до 300°С. Сварку выполняют с флюсом на основе буры.

Основная трудность при сварке **латуней** – испарения цинка. В результате снижается прочность и коррозионная стойкость латунных швов. **Пары цинка ядовиты.** При сварке в защитных газах преимущественно применяют сварку неплавящимся вольфрамовым электродом (рис.5.52, рис.5.53, рис.5.54), так как при этом меньше испаряется цинк. Латунь обладает меньшей теплопроводностью, чем медь, поэтому для металла толщиной свыше 12 мм необходим подогрев до $T = 150^{\circ}\text{C}$.

Для сварки **бронзы** применяют те же способы и технологию, что и для сварки меди, за исключением оловянных бронз. Их сваривают с большой скоростью и без подогрева, так как в противном случае возможно вплавление легкоплавкой составляющей – олова.

Латуни и бронзы имеют высокое удельное электросопротивление, чем медь, и они достаточно хорошо свариваются контактной сваркой.

Медь контактной сваркой не сваривается.



Рис.5.52. Сварка медных труб



Рис.5.53 Сварка вольфрамовым электродом

Сварку меди неплавящимся вольфрамовым электродом осуществляют на постоянном токе прямой полярности; используют электрод из лантанированного вольфрама, который обладает удовлетворительной устойчивостью в защитных газах, в том числе, и в азоте особой чистоты. При сварке электрод располагают строго в плоскости стыка, наклон электрода $60\text{--}80^\circ$ «углом назад». При сварке меди толщиной более $4\text{--}5$ мм рекомендуется, подогрев до $300\text{--}400^\circ\text{C}$.



Рис.5.54 Сварка в защитном газе (аргон)

Сварка алюминия и его сплавов (рис.5.55, рис.5.56).

Трудности при сварке алюминия и его сплавов обусловлены образованием тонкой прочной и тугоплавкой поверхностной плёнки оксида Al_2O_3 , плавящегося при температуре $2050^\circ C$; склонностью к образованию газовой пористости; склонностью к образованию горячих трещин.

Плёнка оксида. Для разрушения и удаления плёнки и защиты металла от повторного окисления при сварке используют специальные флюсы или ведут сварку в атмосфере инертных газов. Сварку ведут плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности или сваривают неплавящимся электродом на переменном токе с использованием специальных источников тока.

Причиной газовой пористости в сварных швах алюминия является водород. Для предупреждения пористости необходима тщательная механическая очистка свариваемой поверхности заготовок и сварочной проволоки или химическая очистка (например, раствором $NaOH$).

Образования горячих трещин в алюминии и некоторых его сплавов связано с крупнокристаллитной макроструктурой в сварных швах. Склонность к трещинам увеличивается при наличии небольшого количества Si (до 0,5%). Борьба с горячими трещинами ведётся металлургическим путём. В шов через проволоку вводят железо, нейтрализующий вредное влияние кремния, и модификаторы Zr , Ti , и B , способствующие измельчению кристаллов в шве.

Наиболее трудно свариваются термически упрочняемые сплавы системы – дуралюмины. Относительно хорошо свариваются термически не упрочняемые сплавы системы АМц, АМг.

Алюминий и его сплавы также сваривают плазменной и электрошлаковой сваркой; они достаточно хорошо свариваются контактной сваркой. Учитывая высокую теплопроводность и электропроводность алюминия, для его сварки необходимо применять большие силы тока.



Рис.5.55 Аргонная сварка алюминиевых сплавов



Рис.5.56 Установка для автоматической аргодуговой сварки продольных и кольцевых швов обечаек из алюминиевых сплавов

Материалы и сварочная проволока. Спектр алюминиевых сплавов сегодня весьма широк. Что касается алюминиевой проволоки, общим требованием является ее своевременное использование. Хранение при вскрытой упаковке должно быть сведено к минимуму: быстрое окисление поверхности ведет к ухудшению качества проволоки. Особенно сильно вредит проволоке высокая влажность воздуха. Место будущего сварного шва должно быть тщательно очищено от жирных, масляных и других загрязнений. Это должно быть сделано непосредственно перед сваркой. За очень короткое время алюминий покрывается слоем оксида алюминия (Al_2O_3). Этот оксидный слой удаляется посредством очищающего эффекта сварки (при положительной поляризации).

Защитные газы для сварки. Алюминиевые материалы должны свариваться в среде защитных инертных газов. В основном для этого применяется аргон. Но предпочтительнее использовать газовую смесь аргона и гелия. Более высокий показатель теплопроводности гелия определяет соответственно и более высокую температуру сварочной ванны, что оказывается преимуществом при сварке толстых металлических листов. Применение смеси защитных газов способствует более полному газовыделению – образование пор уменьшается.

Сварка тугоплавких металлов и сплавов.

Трудности при сварке тугоплавких металлов Ti, Zr, Mo, Ni других связаны с тем, что они при нагреве интенсивно поглощают газы – кислород, водород и азот. При этом даже незначительное содержание газов приводит к резкому снижению пластических свойств этих металлов.

Титан и его сплавы сваривают в защитной атмосфере аргона высшего сорта. При этом дополнительно защищают струями 1 и 2 аргона корень шва и ещё не остывший до температуры $350^{\circ}C$ участок 3 (рис.5.57, рис.5.58). Перед

сваркой проволоку, и основной металл дегазируют путём отжига в вакууме. Ответственные узлы сваривают в камерах с контролируемой аргонной атмосферой, в том числе и обитаемых, в которых сварщики работают в скафандрах (рис.5.59).

Для сварки титана и его сплавов также применяют плазменную и электронно-лучевую сварку.

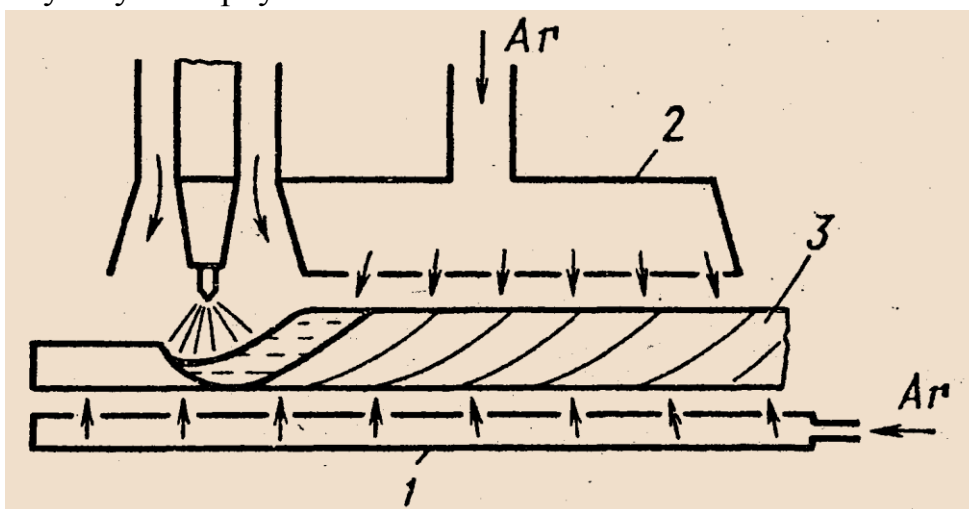


Рис.5.57 Горелка с удлиненной насадкой для аргоннодуговой сварки



Рис.5.58 Аргоннодуговая сварка титана



Рис.5.59 Сварка титана в специальной камере

5.8 Контроль сварных соединений.

Дефекты в сварных соединениях. Дефекты в сварных соединениях бывают двух типов: внешние и внутренние. К внешним дефектам относятся наплывы, подрезы, наружные непровары и несплавления, поверхностные трещины и поры. К внутренним дефектам относятся скрытые трещины и поры, внутренние непровары и несплавления, шлаковые включения и др. (рис.5.60).

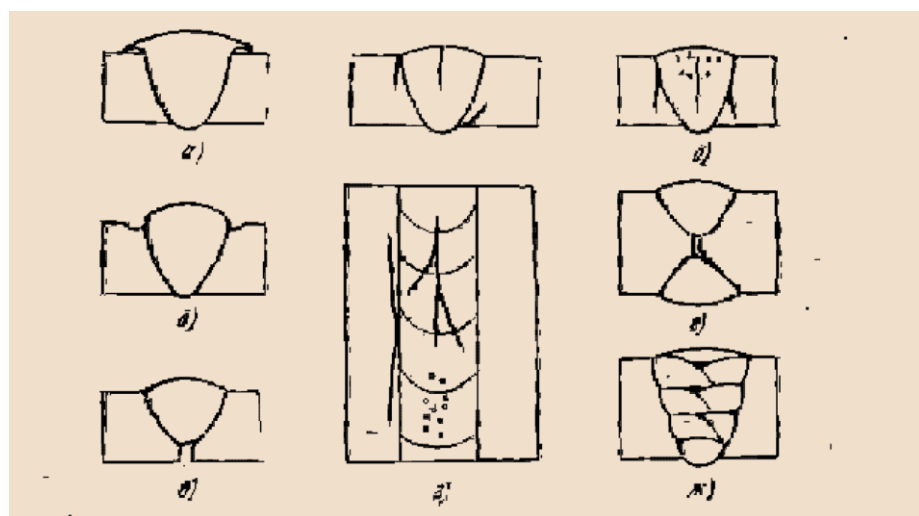


Рис.5.60 Виды дефектов в сварных соединениях:

(а – г) – внешние дефекты: наплывы, подрезы, наружные непровары и несплавления, поверхностные трещины и поры; (д - ж) – внутренние дефекты: скрытые трещины и поры, внутренние непровары и несплавления, шлаковые включения

На рис.5.61 – 5.67 показаны схемы и фотографии дефектов в сварных соединениях.



Рис.5.61 Продольная трещина сварного соединения



Рис.5.62 Пористость в сварном шве

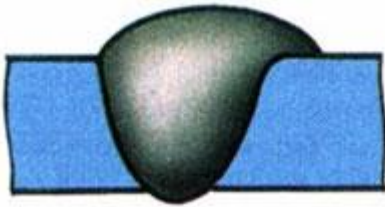


Рис.5.63 Наплывы в сварном шве.

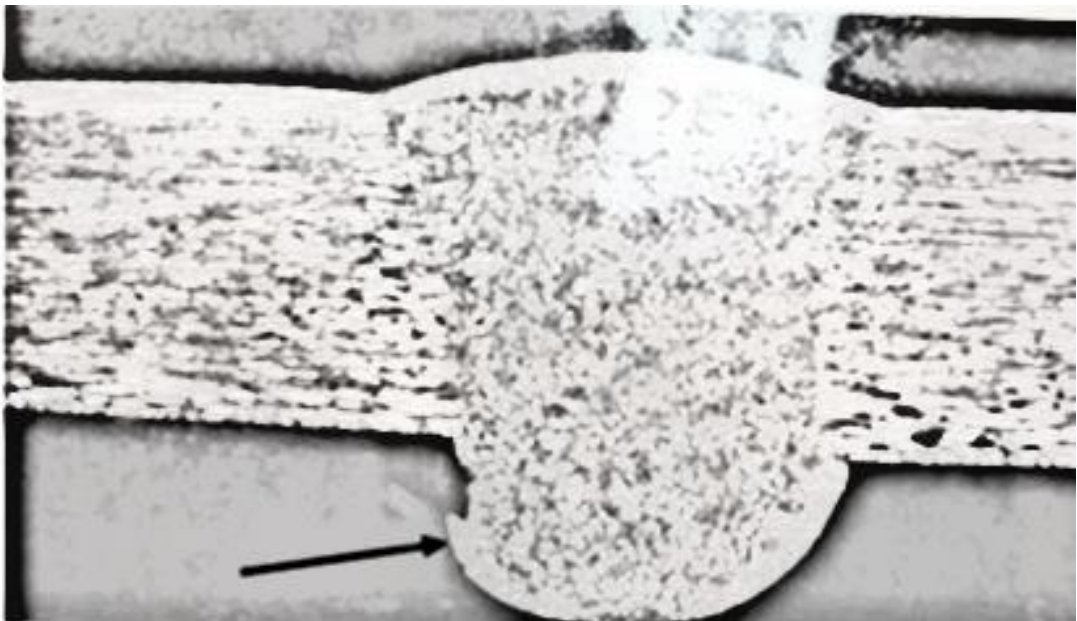


Рис.13.64 Макроструктура сварного шва (проплав)

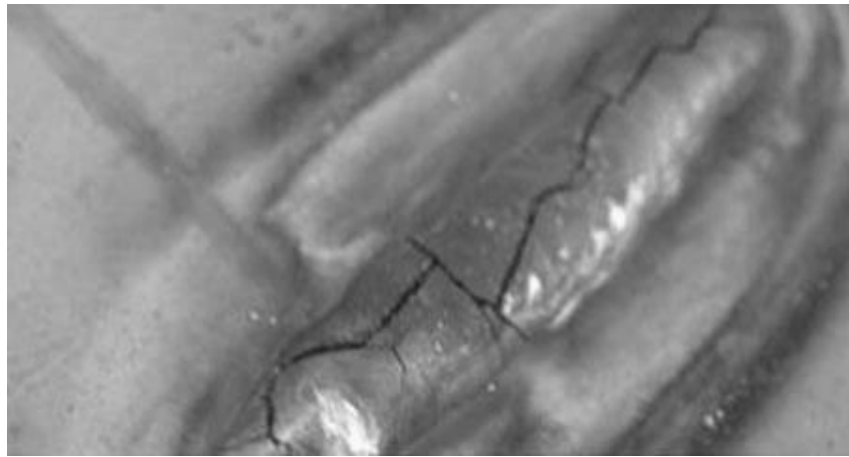


Рис.5.65 Трещины в сварном шве

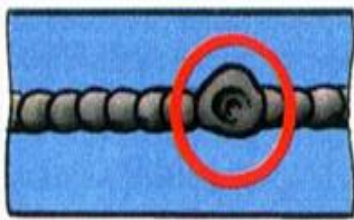


Рис.5.66 Кратер в сварном шве

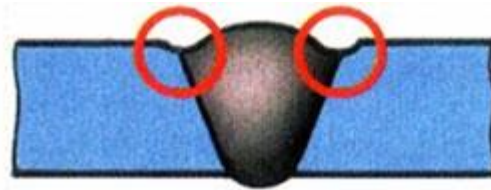
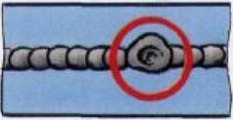







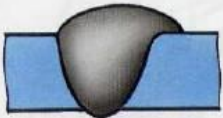





Рис.13.67 Подрезы в сварном шве

Качество сварных соединений обеспечивают предварительным контролем материалов и заготовок, текущим контролем за процессом сварки и приёмочным контролем готовых сварных изделий. В зависимости от нарушения целостности сварного соединения при контроле различают разрушающие и неразрушающие методы контроля.

Таблица дефектов сварных швов и причины их возникновения

НАИМЕНОВАНИЕ	ПРИЧИНА	НАИМЕНОВАНИЕ	ПРИЧИНА
<p>КРАТЕРЫ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Обрыв дуги - Неправильное выполнение конечного участка шва 	<p>ПОДРЕЗЫ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Большой сварочный ток - Длинная дуга - При сварке угловых швов - смещение электрода в сторону вертикальной стенки
<p>ПОРЫ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Быстрое охлаждение шва - Загрязнение кромок маслом, ржавчиной и т.п. - Непросушенные электроды - Высокая скорость сварки 	<p>НЕПРОВАР</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Малый угол скоса вертикальных кромок - Малый зазор между ними - Загрязнение кромок - Недостаточный сварочный ток - Завышенная скорость сварки
<p>ВКЛЮЧЕНИЯ ШЛАКА</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Грязь на кромках - Малый сварочный ток - Большая скорость сварки 	<p>ПРОЖОГ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Большой ток при малой скорости сварки - Большой зазор между кромками - Под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная
<p>НЕСПЛАВЛЕНИЯ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Плохая зачистка кромок - Большая длина дуги - Недостаточный сварочный ток - Большая скорость сварки 	<p>НЕРАВНОМЕРНАЯ ФОРМА ШВА</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Неустойчивый режим сварки - Неточное направление электрода
<p>НАПЛИВ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Большой сварочный ток - Неправильный наклон электрода - Излишне длинная дуга 	<p>ТРЕЩИНЫ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Резкое охлаждение конструкции - Высокие напряжения в жестко закрепленных конструкциях - Повышенное содержание серы или фосфора
<p>СВИЩИ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Низкая пластичность металла шва - Образование закалочных структур - Напряжение от неравномерного нагрева 	<p>ПЕРЕГРЕВ (ПЕРЕЖОГ) МЕТАЛЛА</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Чрезмерный нагрев околошовной зоны - Неправильный выбор тепловой мощности - Завышенные значения мощности пламени или сварочного тока

Методы контроля.

При **предварительном** контроле основного и сварочных материалов устанавливают, **удовлетворяют** ли сертификатные данные в документах заводов-поставщиков требованиям, предъявляемым к материалам в соответствии с назначением и ответственностью сварных узлов и конструкций. Перед сборкой и сваркой заготовок проверяют, **соответствуют** ли их форма и габаритные размеры установленным, а также контролируют качество подготовки кромок и свариваемых поверхностей. При изготовлении ответственных конструкций сваривают контрольные образцы. Из них вырезают образцы для механических испытаний. По результатам испытаний оценивают качество основного и сварочных материалов, а также квалификацию сварщиков, допущенных к сварке данных конструкций.

При **текущем** контроле проверяют соблюдение сварщиками установленных параметров режимов сварки и исправность работы сварочного оборудования. Осматривают сварные швы для выявления внешних дефектов и измеряют их геометрические размеры. Замеченные отклонения устраняют непосредственно в процессе изготовления конструкций.

Готовые сварные соединения в зависимости от назначения и ответственности конструкции подвергают **приёмочному** контролю:

- внешнему осмотру для выявления поверхностных дефектов;
- обмеру сварных швов;
- испытаниям на плотность;
- магнитному контролю;
- просвечиванию рентгеновским и гамма-излучением, ультразвуком для выявления внутренних дефектов (рис.5.68)

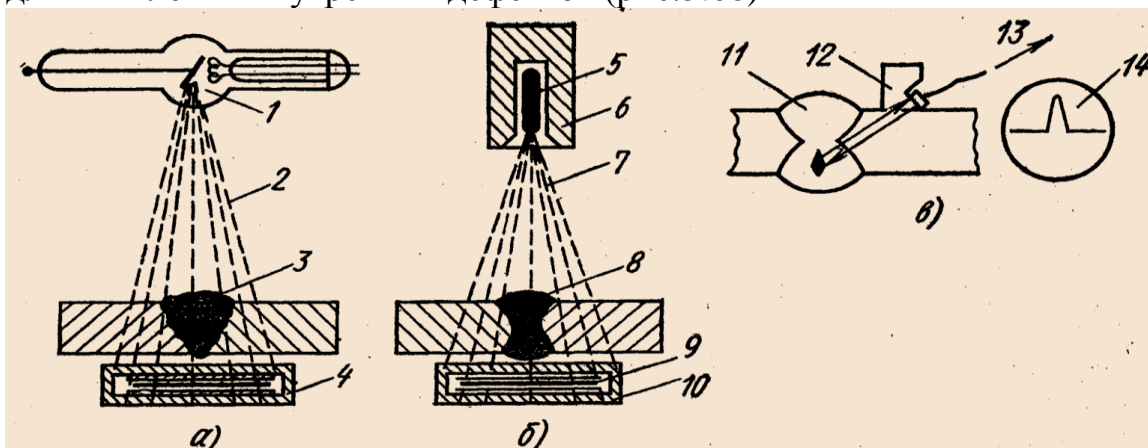


Рис.5.68 Методы контроля сварных соединений:

а – рентгеновский; **б** – гамма-излучением; **в** – ультразвуковой

1 – рентгеновская трубка; 2 – рентгеновские лучи; 3 – сварной шов; 4 – кассета с рентгеновской плёнкой; 5 – ампула с радиоактивным изотопом; 6 – свинцовый контейнер; 7 – гамма-лучи; 8 – сварное соединение; 9 – рентгеновская плёнка; 10 – кассета; 11 – сварное соединение; 12 – пьезометрический щуп; 13 – ультразвуковой дефектоскоп; 14 – осциллограф

На плотность испытывают ёмкости для хранения жидкостей, сосуды и трубопроводы, работающие при избыточном давлении, путём гидравлического и пневматического нагружения, с помощью течеискателей и керосином.

Магнитный контроль основан на намагничивании сварных соединений и обнаружения полей магнитного рассеяния на дефектных участках (рис.5.69).



Рис.5.69 Проверка качества сварных швов магнитной дефектоскопией

При контроле качества сварки магнитными дефектоскопами используется явление электромагнетизма. Прибор создает вокруг исследуемой области магнитное поле, поток линий которого, проходя через металл, искривляется в местах дефектов. Это искажение фиксируется определенными способами, из которых в сварочном производстве используются два - магнитопорошковый и магнитографический. При первом, на поверхность сварного соединения наносят сухой или влажный (в смеси с маслом, керосином или мыльным раствором) ферромагнитный порошок (например, железный), который скапливается в местах дефектов, свидетельствуя, таким образом, о наличии несплошностей.

Более совершенный магнитографический способ предполагает наложение на шов ферромагнитной ленты, на которой после пропускания ее через прибор проявляются имеющиеся дефекты (рис.5.70).

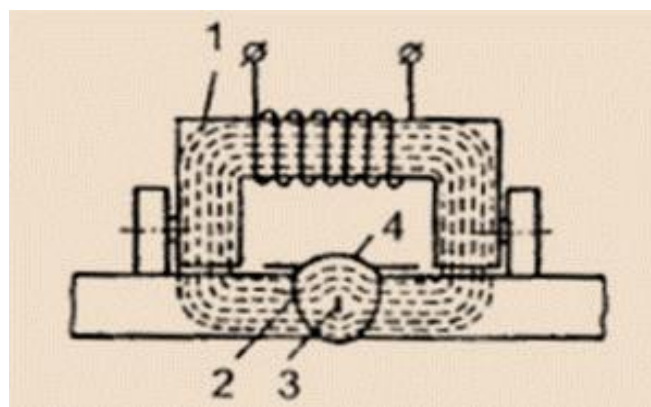


Рис.5.70 Проверка качества сварных швов магнитной дефектоскопией:

1 - магнит, 2 - сварной шов, 3 - дефект, 4 - магнитная пленка.

Магнитным способом контроля могут подвергаться только ферромагнитные металлы. Хромоникелевые стали, алюминий, медь, не являющиеся ферромагнетиками, магнитному контролю не подлежат.

Рентгеновское просвечивание основано на различном поглощении рентгеновского излучения участками металла с дефектами и без них. Сварные соединения просвечивают с помощью специальных рентгеновских аппаратов. После проявления плёнки на ней фиксируют участки повышенного потемнения, которые соответствуют дефектным местам в сварном соединении. Вид и размер дефектов определяют сравнением плёнки с эталонными снимками (рис.5.71).

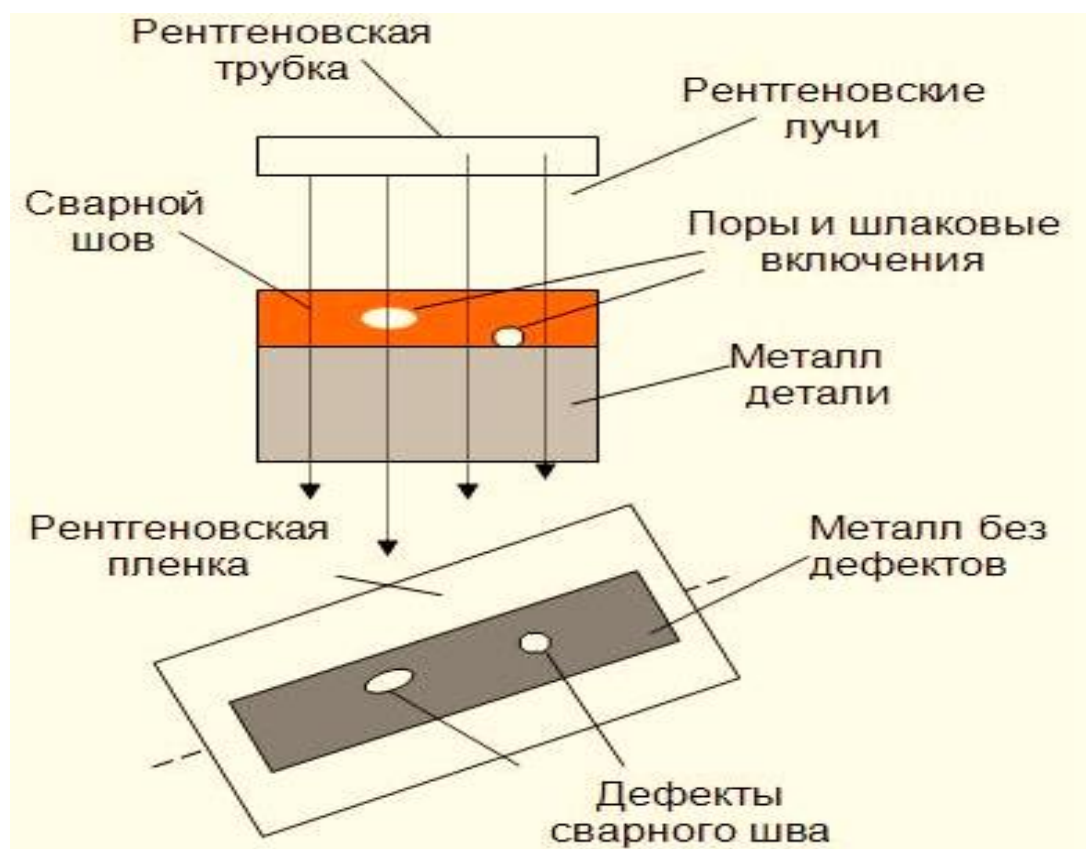


Рис.5.71 Выявление дефектов в сварных швах

Применяемые в промышленности рентгеновские аппараты позволяют просвечивать сварные соединения из стали толщиной 10 – 200 мм, алюминия до 300 мм, меди до 25 мм. При этом фиксируют дефекты, размеры которых составляют 2% толщины металла.

Просвечивание **гамма-лучами** (рис.5.72) по сравнению с рентгеновским имеет ряд преимуществ. Благодаря портативности аппаратуры его можно применять в любых условиях (в цехах, полевых условиях, на монтаже и т.п.). Кроме того, просвечивание гамма-лучами – менее дорогостоящий способ.

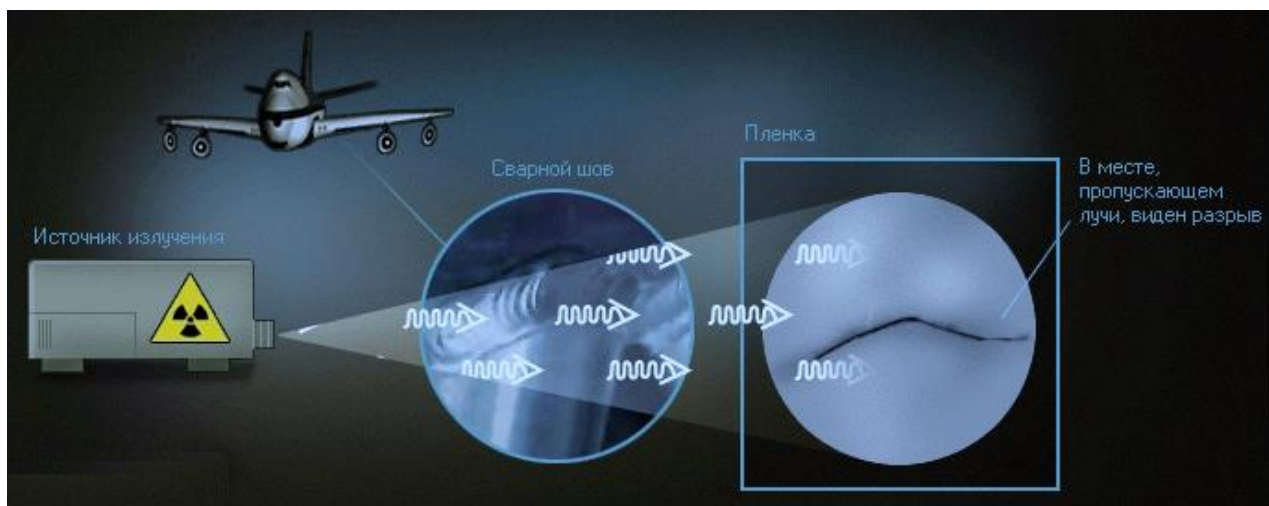


Рис.5.72 Просвечивания гамма-лучами сварных швов

Недостатком его является низкая чувствительность при просвечивании малых толщин (до 50 мм). На больших толщинах чувствительность такая же, как у рентгеновского метода.

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн отражаться от поверхности раздела двух сред. При встрече с поверхностью дефекта возникает отражённая ультразвуковая волна, дефект фиксируется на экране осциллографа.

Промышленные ультразвуковые дефектоскопы (рис.5.73) позволяют обнаруживать дефекты на глубине 1 – 250мм. При этом можно выявлять дефекты с минимальной площадью (1 – 2 мм²). С помощью ультразвукового метода можно выявить наличие дефекта и даже место его расположения, но нельзя установить его вид.



Рис.5.73 Проверка сварных соединений трубопроводов

5.9 Технологичность сварных соединений

Понятие технологичности. При проектировании сварных заготовок следует учитывать требования к технологичности их изготовления. Под технологичностью понимают выбор такого конструктивного оформления заготовок, которое обеспечивает:

- удобство и простоту изготовления любыми видами сварки и при различных режимах;
- применение высокопроизводимых видов сварки;
- автоматизацию и механизацию максимального числа операций технологического процесса;
- низкую себестоимость процесса сварки за счёт экономии сварочных материалов;
- повышение производительности и высокого уровня механизации;
- сведение к минимуму искажений формы, вызываемых тепловым и механическим воздействиями при сварке.

Технологичность обеспечивается:

- выбором металла;
- выбором типа сварного соединения;
- выбором формы свариваемых элементов;
- выбором вида сварки;
- мероприятий по уменьшению сварочных деформаций и напряжений.

Выбор металла.

При выборе металла для сварочных заготовок необходимо учитывать не только его эксплуатационные свойства, но и его свариваемость или возможность применения технологических мероприятий, обеспечивающих хорошую **свариваемость**.

Для получения сварных соединений, равноценных по работоспособности основному металлу, при конструировании сварных заготовок следует по возможности выбирать хорошо свариваемые металлы.

При применении в связи с эксплуатационной необходимостью металлов с пониженной свариваемостью конструировать необходимо с учётом этого свойства. Для сведения к минимуму неблагоприятных изменений свойств металлов сварного соединения и исключения в нём дефектов необходимо применять виды и режимы сварки, оказывающие минимальное термическое и другие воздействия на металл, и проводить технологические мероприятия (подогрев, искусственное охлаждение и др.), снижающие влияние на него сварочных воздействий. Термическая обработка после сварки (нормализация, закалка с отпуском и др.) может в значительной степени устранить неоднородность свойств в сварных заготовках (табл.1).

Проведение этих мероприятий во многом зависит от габаритных размеров и конструктивного оформления сварных заготовок. Для сложных заготовок с элементами больших толщин и размеров при наличии криволинейных швов в различных пространственных положениях можно применять только хорошо свариваемые металлы. Последние сваривают универсальными видами сварки, где не нужен подогрев, а также термическая обработка.

Для простых малогабаритных узлов возможно применение металлов с пониженной свариваемостью, поскольку при их изготовлении используют самые оптимальные с точки зрения свариваемости виды сварки, например, электронно-лучевую или диффузионную в вакууме. При этом легко осуществить все необходимые технологические мероприятия и требуемую термическую или механическую обработку после сварки.

Классификация сталей по свариваемости

Группа свариваемости	Сталь	
	<i>Углеродистая</i>	<i>Конструкционная легированная</i>
Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, 0,8; сталь 10,20, 12кп, 16кп, 20кп	15Г, 20Г, 15ХМ, 10 ХСНД, 10ХГСНД, 15ХГСНД
Удовлетворительная	Ст5; сталь 30, 35	12ХН2, 14Х2МР, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХМ
Ограниченная	Ст6, сталь 40, 45, 50	35Г, 40Г, 45Х, 30ХГСА, 40ХМФА, 30ХГСМ
Плохая	Сталь 65, 70, 80, У7, У8, У9, У10	50Г, 8Х3, 45ХНЗМФА, 8Х3, 5ХНТ

Выбор типа сварного соединения.

Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку.

По первому признаку различают четыре основных типа сварных соединений: **стыковые, тавровые, нахлесточные, угловые** (рис.5.74).

Кромки разделяют в целях полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом. Форму и размеры элементов разделки (угол, притупление и зазоры) назначают, исходя из условий проплавления, обеспечения формирования корня шва (без не проваров и прожогов) и минимального объёма наплавленного металла.

Тип сварного соединения наряду с общими конструктивными соображениями выбирают с учётом обеспечения равнопрочности соединения

с основным металлом и технологичности. Выбор разделки кромок зависит от толщины металла, его теплофизических свойств и вида сварки.

Стыковые соединения элементов плоских и пространственных заготовок наиболее распространены. Соединения имеют высокую прочность при статических и динамических нагрузках. Их выполняют практически всеми видами сварки. Кроме того, такая форма соединения работоспособнее вследствие равномерного распределения деформаций и напряжений.

Тавровые соединения широко применяют при изготовлении пространственных заготовок. Эти соединения выполняют всеми видами сварки.

Нахлесточные соединения часто применяют для сварки листовых заготовок при необходимости простой подготовки и сборки под сварку. Эти соединения менее прочны по сравнению со стыковыми соединениями. В тоже время нахлесточное соединение – основное соединение при термомеханической сварке, особенно при точечной и шовной контактной сварке. Точечные соединения часто играют роль связующих соединений и рабочих усилий не передают.

Угловые соединения, как правило, выполняют в качестве связующих. Они не предназначены для передачи рабочих усилий. Их выполняют всеми видами термической сварки.

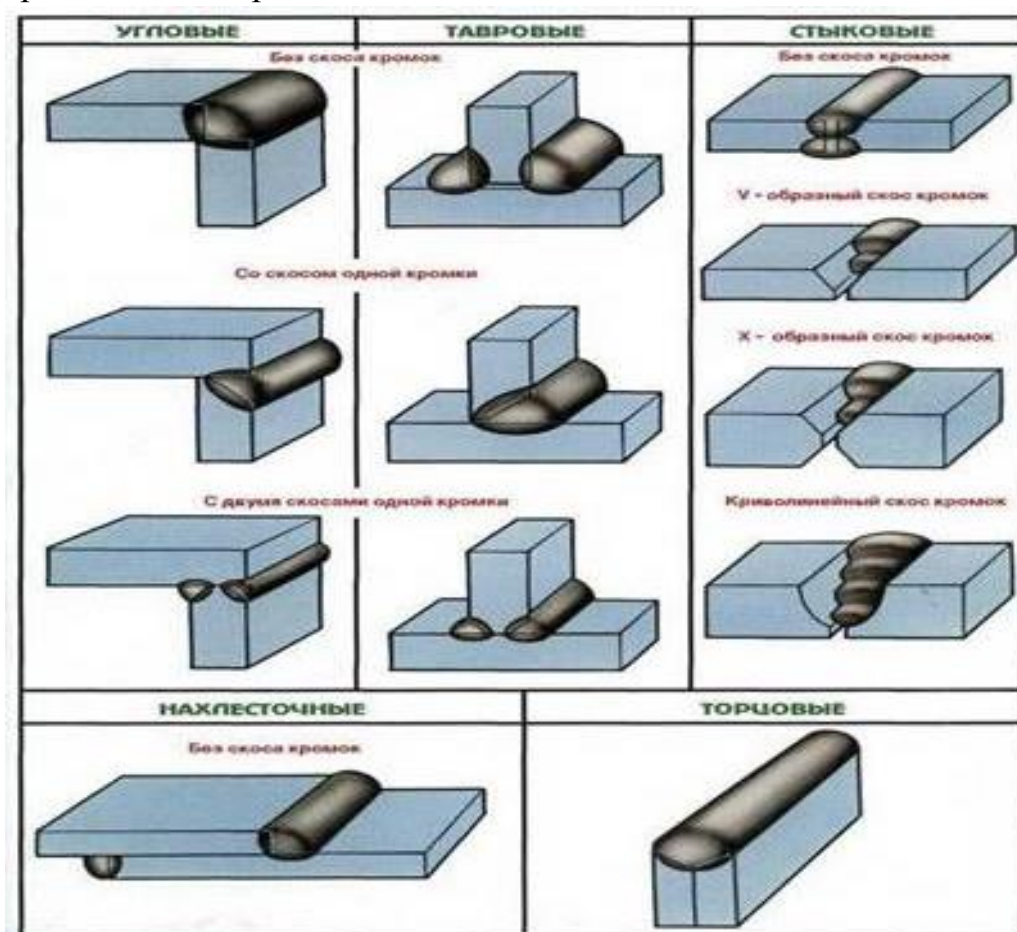


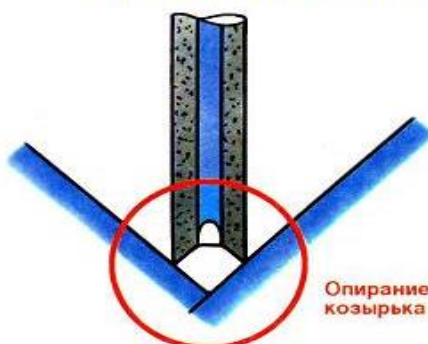
Рис.5.74 Основные типы сварных соединений

Выбор формы свариваемых элементов (Рис.5.75).

Сварные заготовки изготавливают из проката: листа, труб, профилей, а также из литых, кованных и штампованных элементов. При конструировании размеры и форму свариваемых элементов с точки зрения их технологичности следует выбирать, исходя из применения:

- высокопроизводительных автоматических способов сварки;
- выполнения сварки в нижнем положении;
- свободного доступа к лицевой и коневой частям шва;
- проведения при необходимости подогрева и последующей термообработки;
- сведения к минимуму длины сварных швов и массы основного и наплавленного металлов.

С ГЛУБОКИМ ПРОПЛАВЛЕНИЕМ ИЛИ ОПИРАНИЕМ КОЗЫРЬКА НА ОСНОВНОЙ МЕТАЛЛ



Применяют электроды с покрытием увеличенной толщины. Стержень электрода плавится быстрее покрытия, поэтому на конце электрода образуется втулка (козырек). Оперев козырек на кромки изделия, дугу перемещают вдоль шва. Давление газов вытесняет металл из сварочной ванны, образуя валик. Глубина провара получается больше, чем при сварке электродом на весу. Способ используют для выполнения тавровых и угловых швов в "лодочку" электродами ОЗС-3

Сварку опиранием в вертикальном положении по направлению сверху вниз можно выполнять электродами АНО-9. При наложении угловых швов с катетом 8 мм применяют электроды диаметром 4 мм. Скорость сварки 10м/ч

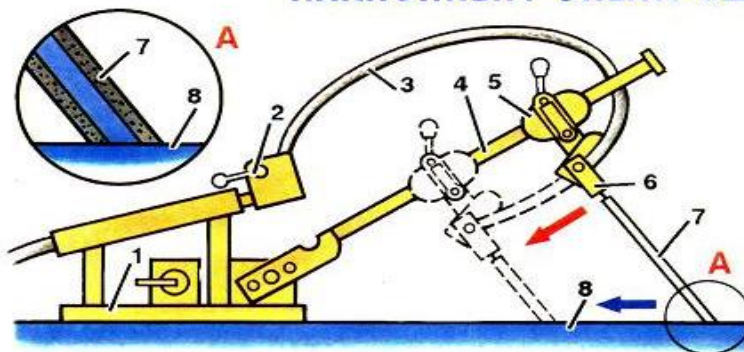
ЛЕЖАЩИМ ЭЛЕКТРОДОМ



В разделку шва укладывают один или несколько электродов с качественным покрытием диаметром 6-10 мм. Поверх кладут бумажную изоляцию и прижимают медной колодкой. Электрод включают в сварочную цепь. Дуга возбуждается вспомогательным электродом, а затем горит лежащий электрод, расплавляясь и заполняя металлом разделку



НАКЛОННЫМ ЭЛЕКТРОДОМ



1. Опора с магнитом
2. Рубильник
3. Питающий кабель
4. Направляющая штанга

5. Каретка
6. Электрододержатель
7. Электрод диаметром 6 мм длиной не более 700 мм
8. Свариваемый металл

Опора с помощью магнита фиксирует устройство на поверхности свариваемого металла. Электрод под необходимым углом крепится к электрододержателю каретки. Рубильником подают ток в сварочную цепь. По мере сгорания электрода каретка движется по штанге под собственным весом. Покрытие электрода опирается на свариваемое изделие, обеспечивая постоянную длину дуги. Верхняя часть козырька длиннее нижней, поэтому дуга отклоняется в сторону свариваемого изделия

Рис. 5.75 Высокопроизводительные автоматические способы сварки

Указанным рекомендациям соответствует, элементы простой геометрической формы: **прямолинейные, цилиндрические, конические, полусферические с длинными прямыми и замкнутыми кольцевыми стыковыми и тавровыми соединениями.** При выборе сортамента материалов для изготовления элементов предпочтительнее прокатные, гнутые или штамповочные профили и оболочки, тонкий лист и тонкостенные трубы и их сочетания.

Выбор вида сварки (табл.1).

Вид сварки выбирают, исходя из:

- размера и формы соединяемых заготовок;
- расположения швов в сварном соединении;
- физико-химических свойств, соединяемых материалов;
- возможности механизации и автоматизации процесса сварки.

Примеры: листовые конструкции из всех марок сталей и цветных сплавов – дуговую и электрошлаковую варку. Для получения стыковых соединений заготовок компактных, полых и развитых сечений – контактную сварку. В производстве тонколистовых конструкций – точечная и шовная контактная сварка.

В том случае, когда желательно ограничить температуру нагрева материала в зоне соединения, применяют холодную и ультразвуковую сварку.

Выбор способа уменьшения сварочных деформаций и напряжений. При проектировании сварных заготовок необходимо предусматривать конструктивные и технологические мероприятия по устранению или уменьшению сварочных деформаций и напряжений. Внешние сварочные деформации приводят к снижению точности размеров заготовок и требуют назначения больших припусков на механическую обработку.

Сварочные деформации и напряжения возникают вследствие локальной пластической деформации отдельных зон сварного соединения из-за неравномерного разогрева при сварке (рис.5.76, рис.5.77).


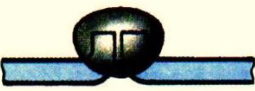
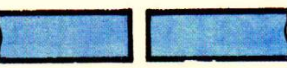




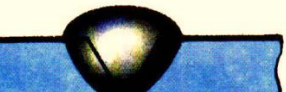
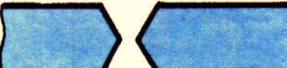






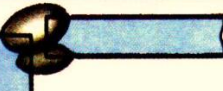

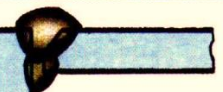






Основные закономерности процесса развития внешних сварочных деформаций сводятся к следующему:

- абсолютное укорочение возрастает с увеличением объема наплавленного металла и зоны разогрева заготовки;
- при симметричном размещении наплавленного металла происходит деформации поперечных и продольных усадок;
- при несимметричном расположении наплавленного металла происходит деформация угловая и изгиба;

Величина деформации определяется, с одной стороны, величиной остаточного укорочения, с другой – сопротивлением сварной заготовки

деформации растяжения (сжатия), изгиба или кручения, т.е. соответствующей её жёсткостью.

Таблица 1

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых деталей, мм
			подготовленных кромок	сварного шва	
СТЫКОВОЕ	С отбортовкой	Односторонний			1 - 4
	Без скоса				1 - 6
	Без скоса	Двусторонний			3 - 8
	С V-образным скосом	Односторонний			3 - 60
	С X-образным скосом	Двусторонний			8 - 120
	С K-образным скосом				8 - 100
	С криволинейным скосом				15 - 100
УГЛОВОЕ	Без скоса	Двусторонний			2 - 30
	Со скосом одной кромки				3 - 60
ТАВРОВОЕ	Без скоса	Двусторонний			2 - 40
	С двумя скосами одной кромки				8 - 100
НАХЛЕ-СТОЧНОЕ	Без скоса	Двусторонний			2 - 60

Рекомендации: поперечную и продольную усадки сварных заготовок можно компенсировать увеличением размеров заготовки под сварку на

величину предполагаемой деформации; уменьшить сваркой обратноступенчатым способом.

Угловая деформация может быть устранена или снижена предварительным угловым изгибом заготовок перед сваркой; уменьшением сечения шва заменой V – образной разделки на U – образную; симметричным размещением наплавленного металла относительно центра тяжести сечения шва заменой V – образной разделки на X – образную; жёстким закреплением свариваемых элементов при сварке или применением рёбер жёсткости.

Деформацию изгиба можно исключить предварительным обратным прогибом балки перед сваркой; рациональной последовательностью укладки швов относительно центра тяжести сечения сварной балки; термической (горячей) правкой путём нагрева зон.

Для предупреждения возникновения высоких сварочных напряжений не следует допускать скопления сварных швов и пересечений их друг с другом, рекомендуется использовать способы сварки, обеспечивающие минимальный разогрев заготовок. Для снятия напряжений применяют высокий отпуск сварных заготовок, а также прокатку или правку сварных швов.

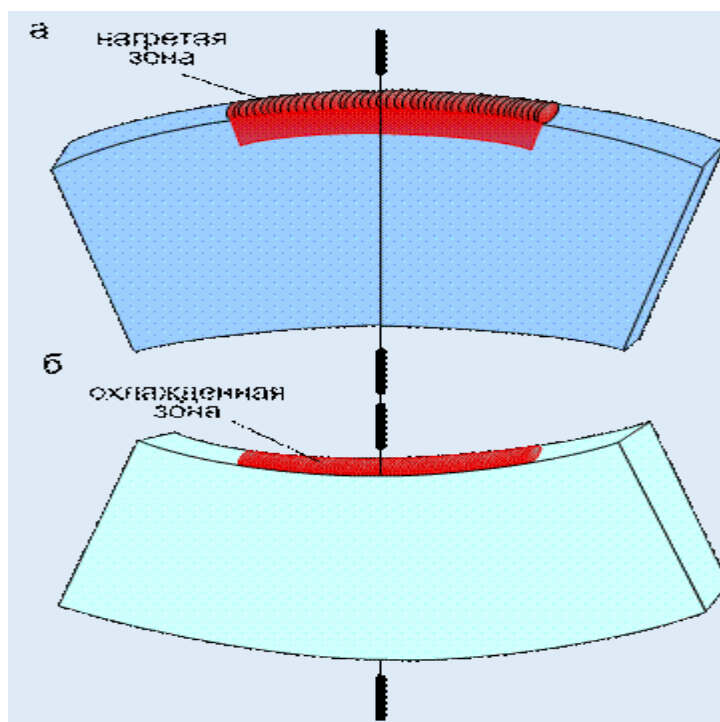


Рис. 5.76 Деформации металла при неравномерном нагреве:
а – нагретая зона; б – охлажденная зона

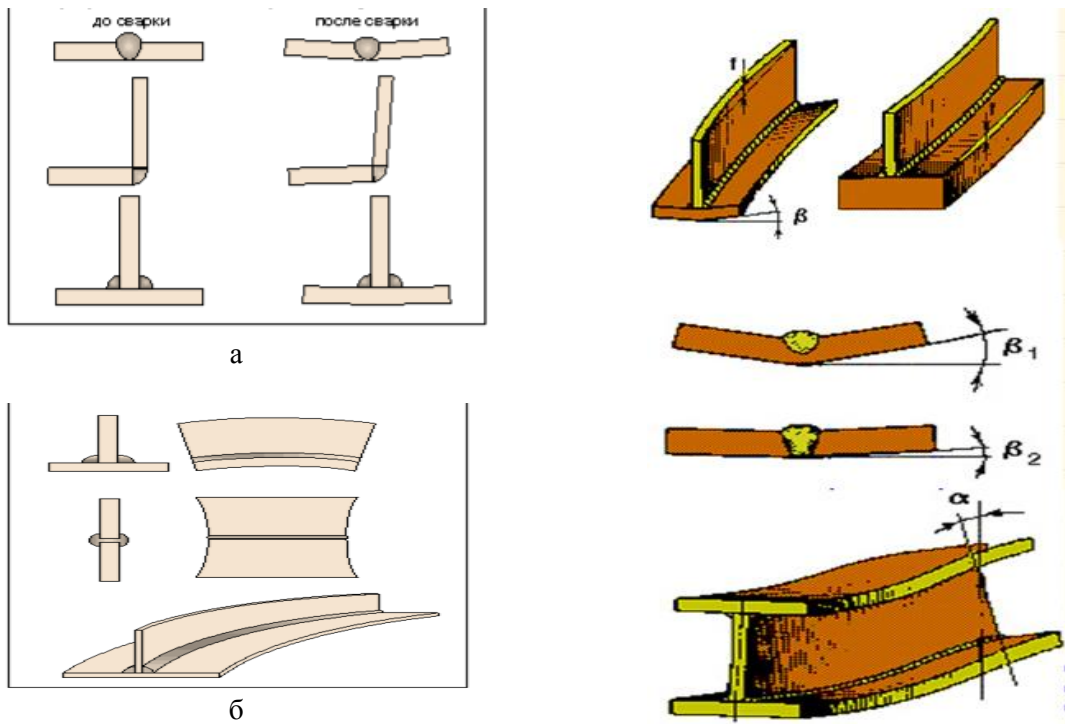


Рис.5.77 Деформация от поперечной усадки (а) и деформация от продольной усадки (б)

Контрольные вопросы

1. В чём сущность процесса сварки?
2. Свариваемость сплавов.
3. Виды сварки плавлением.
4. Виды сварки давлением.
5. Зона термического влияния сварных швов.
6. Полная тепловая мощность электрической дуги.
7. Процесс ручной дуговой сварки.
8. Режим ручной дуговой сварки.
9. Газовая сварка. Газовые горелка и резак.
10. Лучевые виды сварки.
11. Механические виды сварки.
12. Сущность сварки сталей, чугунов, цветных металлов.
13. Дефекты сварных швов.
14. Контроль сварных соединений.

Глава 6. Механическая обработка заготовок.

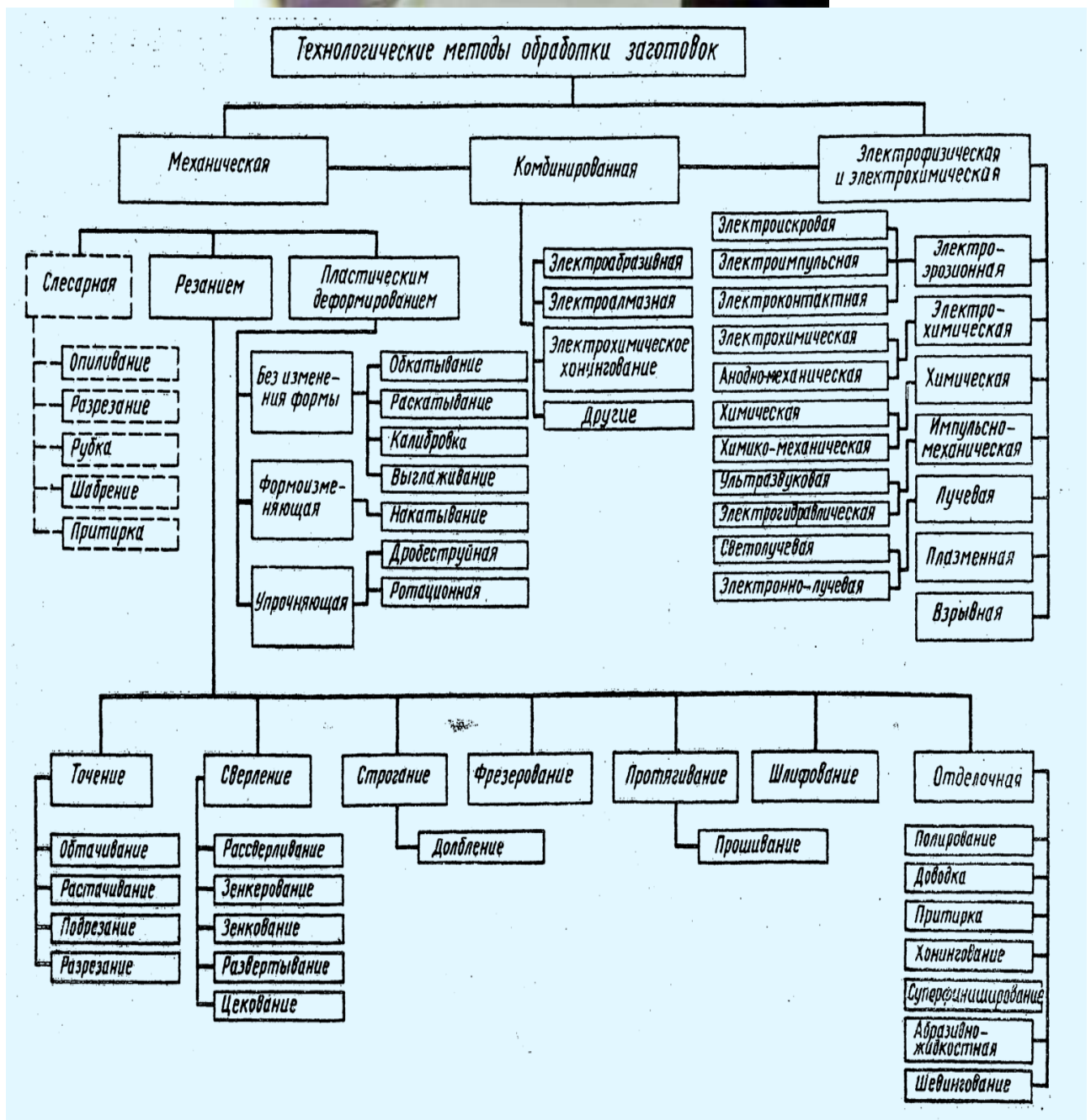
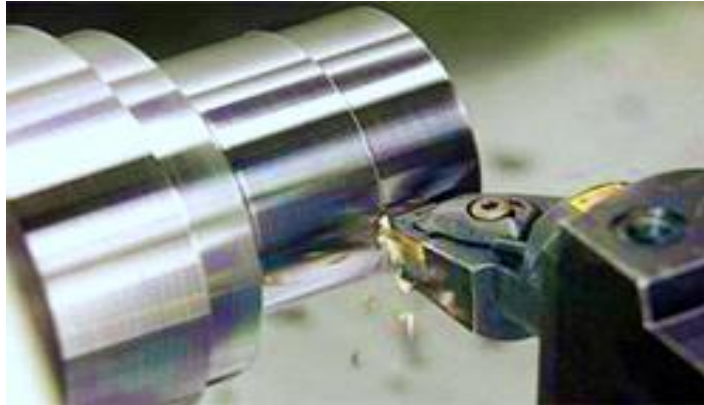


Рис.6.1. Условная классификация технологических методов обработки заготовок деталей машин

На рис.6.2. – 6.5. приведены панорама механического цеха, изделия, полученные резанием и примеры различных методов обработки заготовок.



Рис.6.2. Механический цех (станочный парк) по обработки заготовок деталей машин



Рис.6.3. Готовые детали после механической обработки

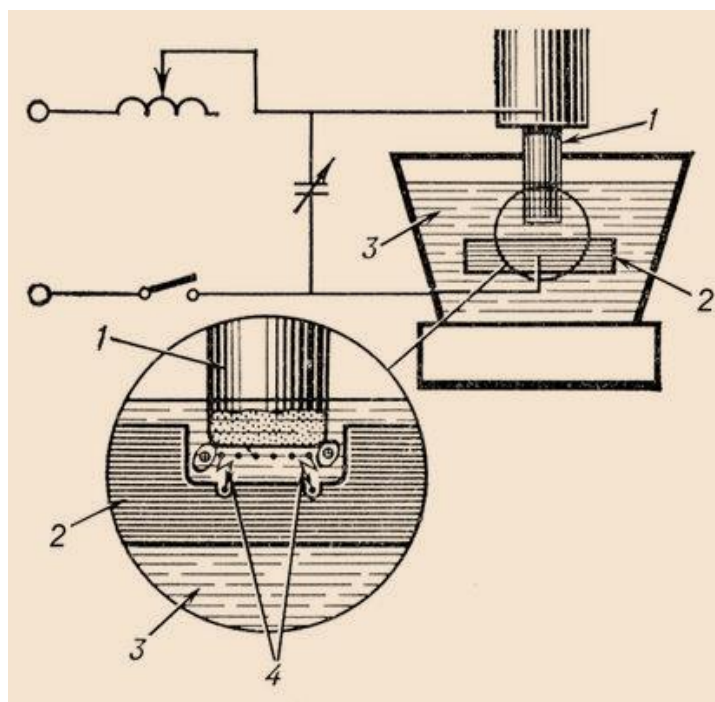


Рис.6.4. Схема электроэрозионного метода обработки:

1 – инструмент; 2 - заготовка; 3 – жидкий электролит; 4 – электрические разряды (обработка производится прямым копированием в ванне с рабочей жидкостью с одновременной прокачкой её через электрод-инструмент или без прокачки и т.д.)



а



б

Рис.6.5. Электрохимический станок SFE -4000M продукция ПКП «СТАНКОФИНЭКСПО» (а) и продукция станка SFE -4000M: штампы, матрицы, пуансоны (б)

Электрохимический станок SFE-4000M предназначен для ЭХРО (электрохимической размерной обработки) формообразующих поверхностей штамповой, прессовой оснастки, матриц, пуансонов, пресс-форм, вставок пресс-форм в полуавтоматическом режиме управления

6.1. Физико-механические основы обработки материалов резанием.

Классификация движений в металлорежущих станках. Схемы обработки резанием. Для осуществления процесса резания необходимо, чтобы:

- материал инструмента был твёрже обрабатываемого материала;
- инструмент имел специфическую форму клина;
- заготовка и инструмент совершали относительные перемещения.

Совокупность оборудования, инструментов, приспособлений и обрабатываемой заготовки называют технологической системой.

Современные заготовки не могут играть роль деталей машин и механизмов, поскольку заготовки имеют существенные отклонения от заданных размеров, формы и шероховатости поверхностей. Поэтому необходимо превращать заготовки в детали машин путём обработки их, как правило, резанием.

При этом достигается точность, например, размеров, определяемая миллиметрами, их сотыми, тысячными и даже меньшими долями. Качество технологических систем в значительной степени определяет технический уровень государства.

Обработка металлов резанием (ОМД) – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхностей детали. Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщать относительные движения.

Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя металла или вызывает изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют **движениями резания**. К ним относят:

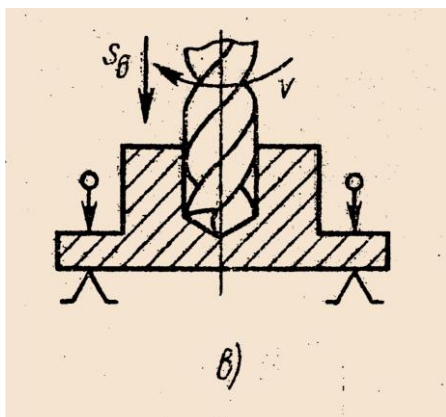
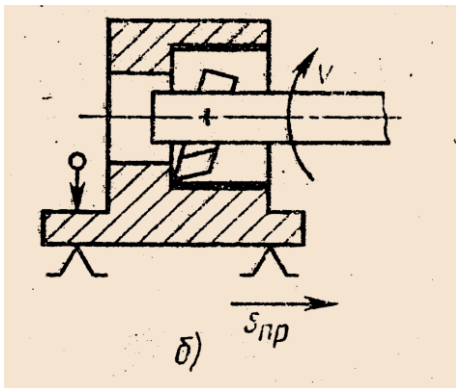
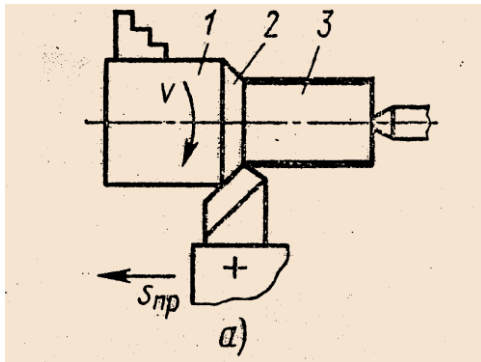
- главное движение;
- движение подачи.

За главное принимают движение, определяющее скорость деформирования и отделения стружки. За движение подачи – движение, обеспечивающее врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть: непрерывными или прерывистыми, а по своему характеру вращательными, поступательными, возвратно-поступательными. Скорость главного движения обозначают V , величину подачи – S .

Движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с неё определённого слоя материала, называют установочными. К вспомогательным движениям относят транспортирование

заготовок, закрепление заготовок и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка и др.

Схемы обработки заготовок (рис.6.6). Обработанную поверхность на схеме выделяют другим цветом или утолщёнными линиями. На схемах обработки показывают характер движений резания и их технологическое назначение, используя условные обозначения. Существуют подачи: продольная $S_{пр}$, поперечная $S_{п}$, вертикальная $S_{в}$, круговая $S_{кр}$, окружная S_o и др. В процессе резания на заготовке различают обрабатываемую поверхность 1, обработанную поверхность 3 и поверхность резания 2.



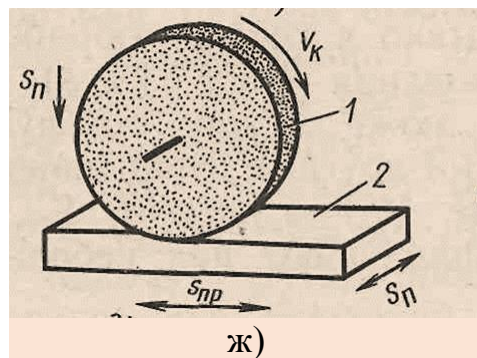
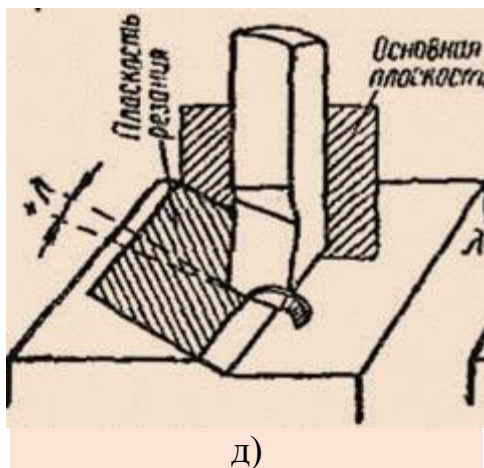
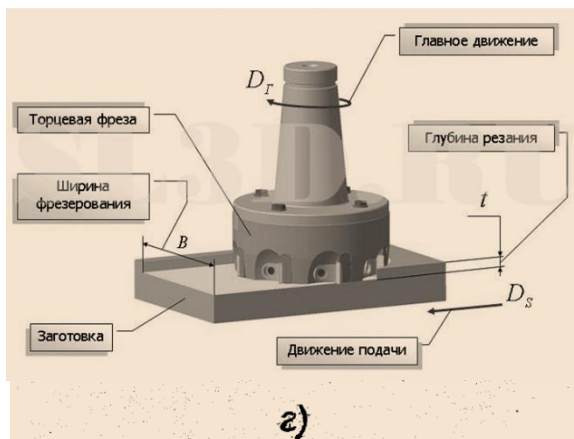


Рис.6.6. Схемы обработки заготовок:

а – точением; б – растачивание; в – сверление; г – фрезерование; д – строгание; ж – шлифование

Формообразования поверхностей. Пространственную форму детали определяет сочетание различных поверхностей. Геометрическая поверхность представляет собой совокупность последовательных положений (следов) одной производящей линии, называемой образующей, движущееся по другой производящей линии, называемой направляющей. Например, для образования круговой цилиндрической поверхности прямую линию (образующую) перемещают по окружности (направляющей). Механическая

обработка заготовок деталей машин реализует четыре метода формообразования поверхностей:

- образование поверхностей по методу копирования (рис.6.7) – режущая кромка инструмента 1 соответствует форме образующей обрабатываемой поверхности детали 2.

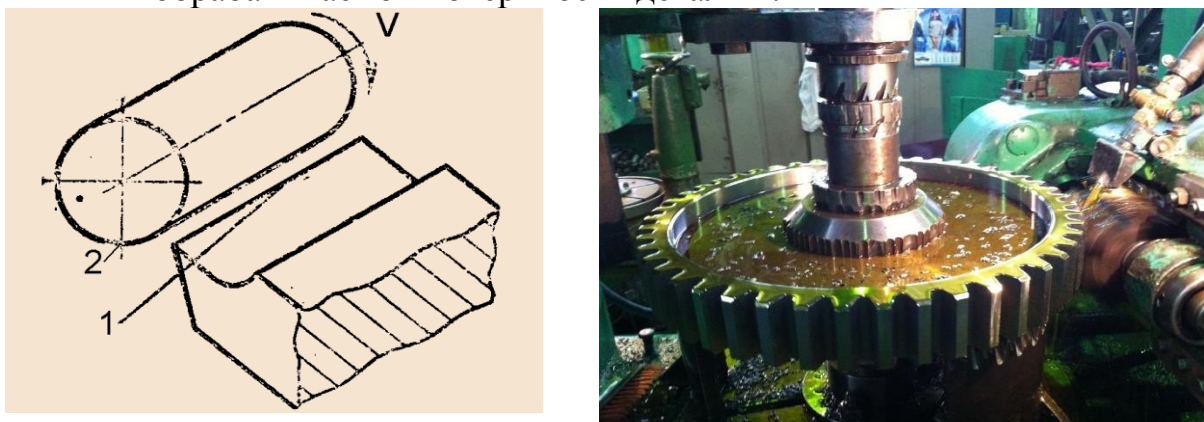


Рис.6.7. Метод копирования

- образование поверхностей по методу следов (рис.6.8) – образующая линия 1 является траекторией движения точки режущей кромки (вершины) инструмента, а направляющая линия 2 – траекторией движения точки заготовки.

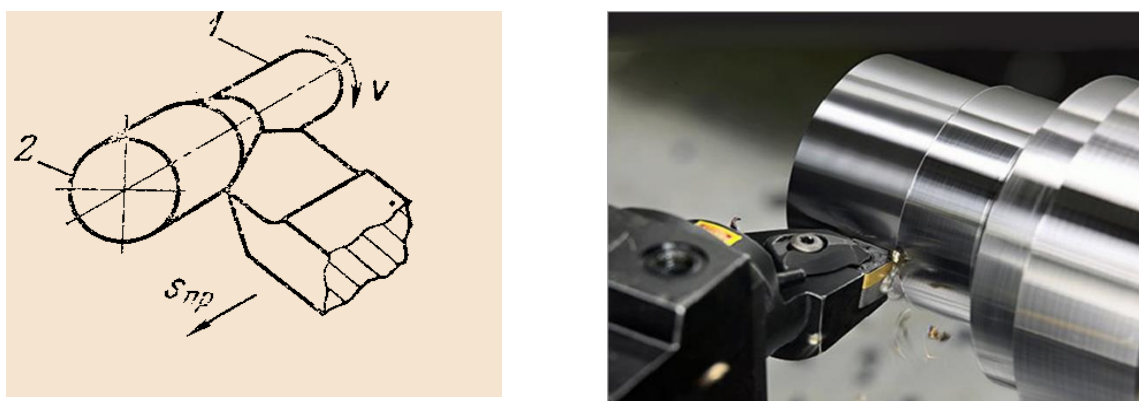


Рис.6.8. Метод следов

- образование поверхностей по методу касания (рис.6.9) – образующая линия 1 служит режущая кромка инструмента, а направляющая линия 2 поверхности касательная к ряду геометрических вспомогательных линий – траекториям точек режущей кромки инструмента.

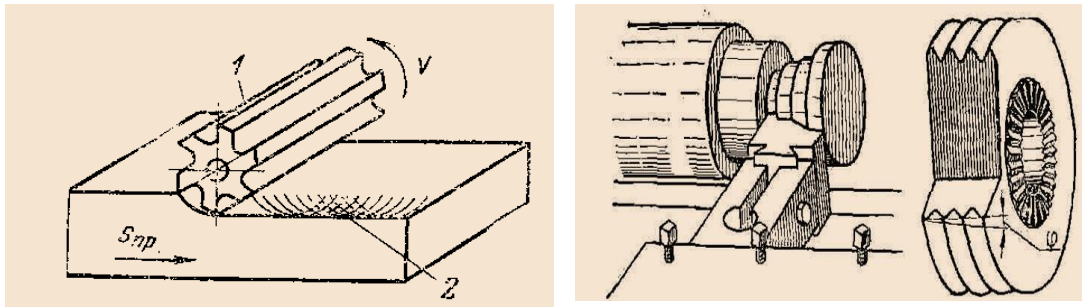


Рис.6.9. Метод касания

- образование поверхностей по методу *обкатки* (огибания) (рис.6.10) – направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовок.

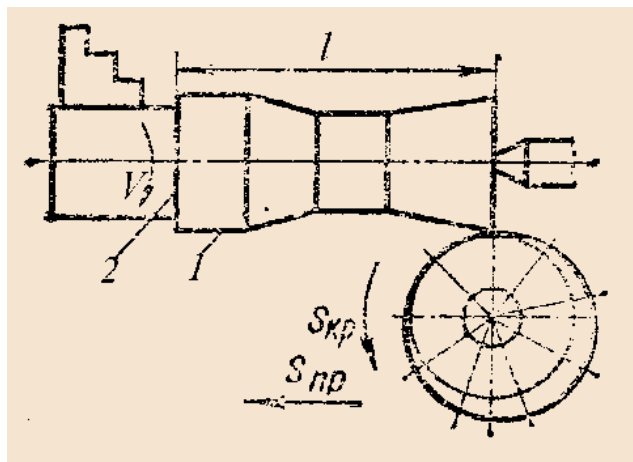


Рис.6.10. Метод обкатки

Режимы резания и геометрия срезаемого слоя. При назначении режимов резания определяют **скорость резания, подачу и глубину резания.**

Скорость резания v (м/мин) называют расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента относительно заготовки в единицу времени. При точении (главное движение вращательное):

$$V = \pi D_{\text{заг}} n / 1000,$$

Главное движение возвратно-поступательное:

$$V = Lm (k + 1) / 1000,$$

где L – расчётная длина хода инструмента, мм; m – число двойных ходов инструмента в минуту; k – коэффициент, показывающий отношение скоростей рабочего и холостого ходов.

Подачей – S (мм/об, мм/дв. хода) называют путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот либо один ход заготовки или инструмента.

Глубина резания – t (мм) называют расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней (рис.6.11).

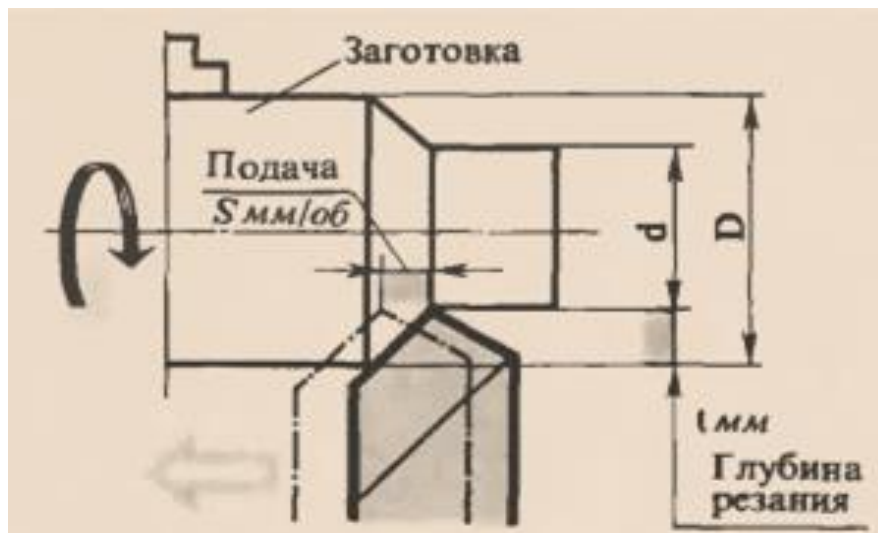


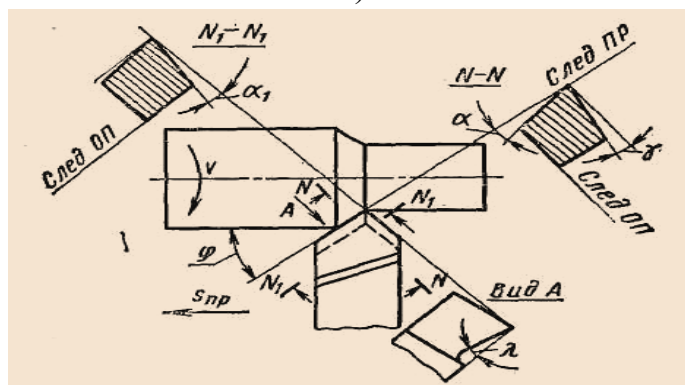
Рис.6.11 Подача и глубина резания при точении

Шероховатость – один из показателей качества поверхности – оценивается высотой, формой, направлением неровностей и другими параметрами. На шероховатость влияют режим резания, геометрия инструмента, вибрации, физико-механические свойства материала заготовки.

Геометрия инструмента и её влияние на процесс резания и качество обработанной поверхности. Углы инструмента оказывают существенное влияние на процесс резания и качество обработки (рис.6.12).



а)



б)

Рис.6.12. Элементы токарного прямого проходного резца (а) и углы резца (б):

ОП – основная плоскость; ПР – плоскость резания.

Главный передний угол – γ оказывает большое влияние на процесс резания. С увеличением его уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал, снижается сила резания и расход мощности. Одновременно улучшаются условия схода стружки, а качество обработанной поверхности заготовки повышается. Чрезмерное увеличение угла γ приводит к снижению прочности главной режущей кромки, увеличению износа вследствие выкрашивания, ухудшению условий теплоотвода от режущей кромки.

При обработке деталей из хрупких и твёрдых материалов для повышения стойкости резца следует назначать меньшие значения угла γ , иногда даже отрицательные. При обработке деталей из мягких и вязких материалов передний угол увеличивают.

Главный задний угол – α уменьшает трение между главной задней поверхностью инструмента и поверхностью резания заготовки, что уменьшает износ инструмента по главной задней поверхности.

Главный угол в плане – Ψ оказывает значительное влияние на шероховатость обработанной поверхности. С уменьшением угла Ψ шероховатость обработанной поверхности снижается, однако увеличивается активная рабочая длина главной режущей кромки, возрастает сила резания, возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработанной поверхности.

В процессе резания углы γ и α резца меняются. Это можно объяснить тем, что меняется положение плоскости резания в пространстве вследствие вращения заготовки и поступательного движения резца, так как фактической поверхностью резания, к которой касательная плоскость резания, будет винтовая поверхность. При работе с большими подачами, а также при нарезании резьбы изменение углов γ и α будет существенным, что необходимо учитывать при изготовлении резцов. Углы γ и α в процессе резания могут оказаться переменными, что имеет место при обработке сложных поверхностей типа кулачков, лопаток турбин и т.п.

Физическая сущность процесса резания. Резание металлов – сложный процесс взаимодействия режущего инструмента и заготовки, сопровождающийся рядом физических явлений, например, деформированием срезаемого слоя металла. В начальный момент процесса резания, когда движущийся резец под действием силы P вдавливается в металл, в срезаемом слое возникают упругие деформации. При движении резца упругие деформации, накапливаясь по абсолютной величине, переходят в пластические. В прирезцовом срезаемом слое материала заготовки возникает сложное упругонапряжённое состояние. В плоскости, перпендикулярной к траектории движения резца, возникают нормальные напряжения σ_y , а в

плоскости, совпадающей с траекторией движения резца, - касательные напряжения τ_x . В точке приложения действующей силы значения τ_x наибольшее. По мере удаления от точки **A** τ_x уменьшается. Нормальные напряжения σ_y вначале действуют как растягивающие, а затем быстро уменьшаются и, переходя через нуль, превращаются в напряжения сжатия. Срезаемый слой металла находится под действием давления резца, касательных и нормальных напряжений (рис.6.13).

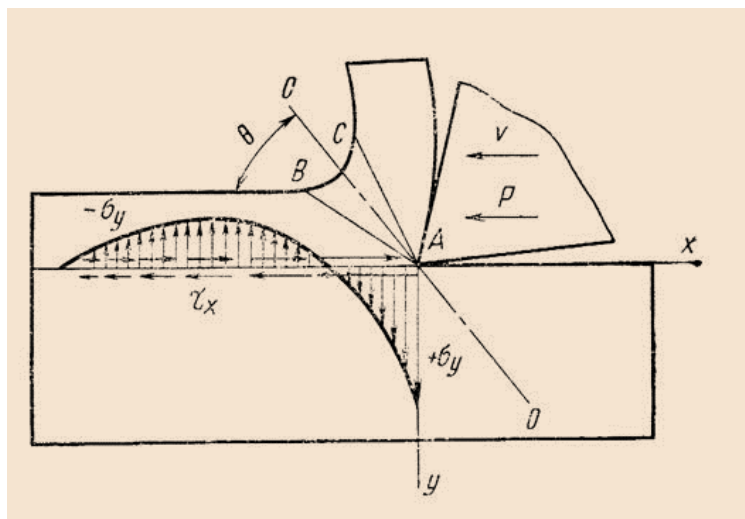


Рис.6.13. Схема упругонапряженного состояния металла при обработке резанием

Сложное упругонапряжённое состояние металла приводит к пластической деформации, а рост её – к сдвиговым деформациям, т.е. к смещению частей кристалла относительно друг друга. Сдвиговые деформации происходят в зоне стружкообразования **ABC**, причём деформации начинаются по плоскости **AB** и заканчиваются по плоскости **AC**, в которой завершается разрушение кристаллов, т. е. скалывается элементарный объём металла и образуется стружка. Далее процесс повторяется и образуется следующий элемент стружки.

Условно считают, что сдвиговые деформации происходят по плоскости **OO**, которую называют плоскостью сдвига. Она располагается примерно под углом $\theta = 30^\circ$ к направлению движения резца. Угол θ называют углом сдвига. Срезанный слой металла дополнительно деформируется вследствие трения стружки о переднюю поверхность инструмента. Структуры металла зоны **ABC** и стружки резко отличаются от структуры основного металла. В зоне **ABC** расположены деформированные и разрушенные кристаллы, сильно измельчённые и вытянутые в цепочки в одном, в полнее определённом направлении, совпадающем с направлением плоскости **OO**, которая с плоскостью сдвига составляет угол β (рис.6.14).

Характер деформирования срезаемого слоя зависит от физико-механических свойств материала обрабатываемой заготовки, геометрии

инструмента, режима резания, условий обработки. В процессе резания заготовок из пластичных металлов и сталей средней твердости превалирует пластическая деформация. У хрупких металлов пластическая деформация практически отсутствует. Поэтому при резании деталей из хрупких металлов угол β близок к нулю, а при резании деталей из пластичных металлов β доходит до 30° , что свидетельствует о сложном внутреннем процессе деформирования кристаллов и формировании новой структуры. Знание законов пластического деформирования и явлений, сопровождающих процесс резания, позволяет повысить качество обработанных поверхностей деталей машин и их надежность.

При резании металлов образуется стружка **сливная, скалывания и надлома**. Сливная стружка, появляющаяся при резании пластичных металлов, представляет собой сплошную ленту с гладкой прирезцовой стороной. На внешней стороне её видны слабые пилообразные зазубрины. Стружка скалывания, образующаяся при резании металлов средней твердости, представляет собой ленту с гладкой прирезцовой стороной, на внешней стороне – ярко выраженные зазубрины. Стружка надлома образуется при резании хрупких металлов и состоит из отдельных, не связанных между собой элементов. Вид образующейся стружки зависит от физико-механических свойств металла обрабатываемой детали, режима резания, геометрии режущего инструмента, применяемых в процессе резания смазочно-охлаждающих веществ.

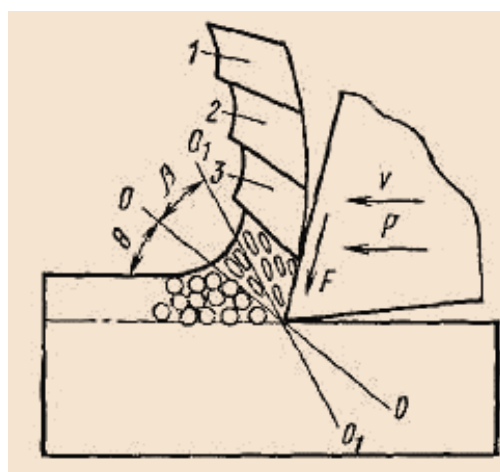


Рис.6.14. Схема процесса образования стружки

Силы резания. Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы P (рис.14.15), приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке. Направление вектора силы совпадает с вектором скорости резания v . Работа, затрачиваемая на деформацию и разрушения материала заготовки (P_v), расходуется на упругое и пластическое деформирование металла, его разрушение, преодоление сил

трения задних поверхностей инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

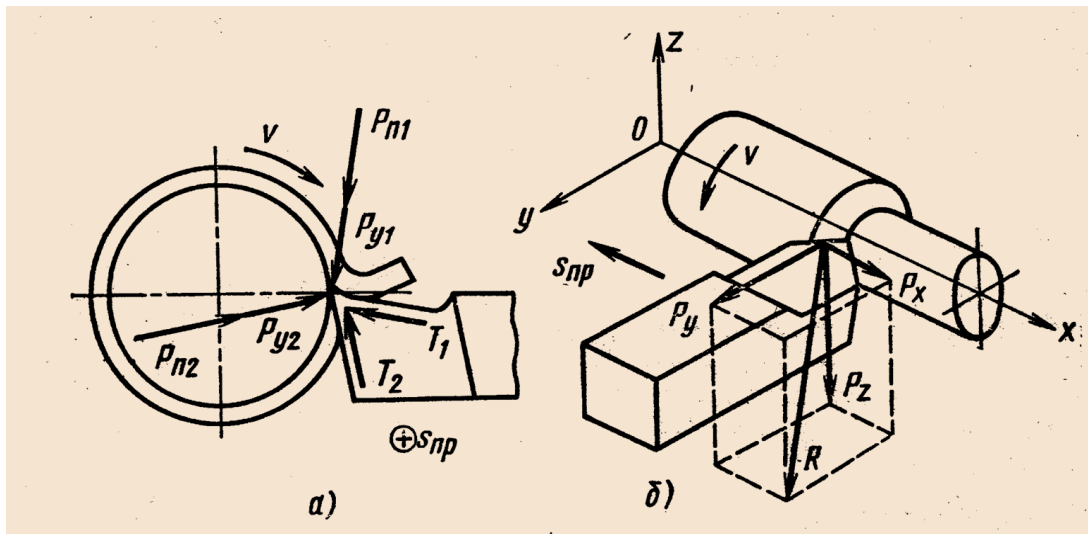


Рис.6.15. Силы, действующие на резец (а), и разложение сил резания на составляющие (б)

В результате сопротивления металла деформированию возникают реактивные силы, действующие на режущий инструмент. Это силы упругого (P_{y1} и P_{y2}) и пластического (P_{n1} и P_{n2}) деформирования, векторы которых направлены перпендикулярно к передней и главной задней поверхности резца. Наличие нормальных сил обуславливает возникновения сил трения (T_1 и T_2), направленных по передней и главной задней поверхностям инструмента. Указанную систему сил приводят к равнодействующей силе резания:

$$\mathbf{R} = P_{y1} + P_{y2} + P_{n1} + P_{n2} + T_1 + T_2.$$

Считают, что точка приложения сил \mathbf{R} находится на рабочей части главной режущей кромки инструмента. Абсолютная величина, точка приложения и направление равнодействующей силы резания R в процессе обработки переменны. Это можно объяснить неоднородностью структуры металла заготовки, переменной поверхностной твёрдостью материала заготовки, непостоянством срезаемого слоя металла (наличие штамповочных и литейных уклонов и др.), изменением углов γ и α в процессе резания. Для расчётов используют не равнодействующую силу резания \mathbf{R} , а её составляющие, действующие по трём взаимно перпендикулярным направлениям – координатным осям металлорежущего станка.

Вертикальная составляющая сил резания P_z действует в плоскости резания в направлении главного движения (по оси z). По силе P_z определяют:

- крутящий момент на шпинделе станка;
- эффективную мощность резания;

- деформацию изгиба заготовки в плоскости xOz ;
- изгибающий момент, действующий на стержень резца;
- ведут динамический расчёт механизмов коробки скоростей станка.

Радиальная составляющая силы резания P_y действует в плоскости xOy перпендикулярно к оси заготовки. По силе P_y определяют:

- величину упругого отжатия резца от заготовки;
- величину деформации изгиба заготовки в плоскости xOy .

Осевая составляющая силы резания P_x действует в плоскости xOy , вдоль оси заготовки. По силе P_x рассчитывают:

- механизм подачи станка;
- изгибающий момент, действующий на стержень резца.

По величине деформации заготовки от сил P_z и P_y рассчитывают ожидаемую точность размерной обработки заготовки и погрешность её геометрической формы. По величине суммарного изгибающего момента от сил P_z и P_y рассчитывают стержень резца на прочность.

Равнодействующая сила резания R :

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}.$$

Крутящий момент на шпинделе станка, Н х м:

$$M_{к.ш} = P_z D_{заг.} / (2 \times 1000).$$

Изгибающий момент, действующий на стержень резца, Н х м:

$$M = L \sqrt{P_z^2 + P_y^2}.$$

Эффективной мощностью N_e называют мощность, расходуемую на процесс деформирования и срезания с заготовки слоя металла. При точении цилиндрической поверхности на токарно-винторезном станке эффективная мощность, кВт:

$$N_e = P_z \sqrt{(60 \times 10^3)^2 + P_x n s_{пр} / (60 \times 10^6)},$$

где n – частота вращения заготовки, об/мин.

Мощность электродвигателя станка N_3 , кВт:

$$N_3 = N_e / \eta,$$

где η – КПД механизмов и передач станка.

6.2. Точность и производительность обработки резанием

Под **точностью обработки** понимается соответствие изготовленного изделия или партии изделий (детали, узла, машины) эталону, т.е. его (её) чертежу. Применительно к обрабатываемым деталям различают размерную (соответствие размеров изделия чертежу) и геометрическую (соответствие формы, волнистости и шероховатости поверхности требованиям чертежа) точность, соответствие физико-химических свойств, структурного состояния (микротрещины, надрывы, измельчённая структура) поверхностных слоёв; соответствие остаточных напряжений в поверхностных и глубинных слоях детали (глубина их проникновения, величина, знак) требованиям чертежа и т. д.

Физико-механическое состояние обработанной поверхности характеризуется деформационными изменениями её поверхностных слоёв. Следствием этих изменений является *наклёп* – деформационное упрочнение поверхности и степень деформации отдельных зёрен. Наклёп поверхностного слоя оценивается по глубине h_n и степени u_n наклёпа: $u_n = 100 (H_{\max} - H_{исх}) / H_{исх}$, где H_{\max} и $H_{исх}$ – значения максимальной и исходной микротвёрдости поверхностного слоя металла. Наклёп как деформационное упрочнение поверхностного слоя зависит от пластических свойств обрабатываемого металла, режимов резания, геометрии и износа режущего инструмента, условий обработки.

Производительность обработки (число деталей, выпускаемых в единицу времени) рассчитывается по формуле $Q = 1 / T_{шт}$, в которой штучное время $T_{шт}$ складывается из основного технологического (T_o), подготовительно-заключительного ($T_{п-з}$) времён и времени на организационное и техническое обслуживание рабочего места ($T_{o.т}$). Основное технологическое время, т.е. время, затрачиваемое непосредственно на обработку поверхности (детали), $T_o = T_m + T_b + T_{х.х}$. Машинное время T_m – это время, затрачиваемое на снятие стружки: $T_m = L / (ns_o)$, где L – длина обработки, мм; n – частота вращения, мин^{-1} ; S_o – подача на оборот, мм. Вспомогательное время T_b – время, затрачиваемое на следующие этапы перемещения режущего инструмента с рабочей подачей: подвод, врезание, прохождение участков, не требующих снятия стружки, перебег (гарантированный отвод инструмента). Время холостых ходов $T_{х.х}$ – время, затрачиваемое на быстрый подвод – отвод режущего инструмента в зону обработки.

6.3. Инструментальные материалы

Общие требования, предъявляемые к материалам инструментов. Процесс резания сопровождается большим давлением на режущий инструмент, трением и тепловыделением. Такие условия работы выдвигают

ряд требований, которым должны удовлетворять материалы, предназначенные для изготовления режущего инструмента:

- инструментальные материалы должны иметь высокую твёрдость, превышающую твёрдость обрабатываемого материала (алмазы, карбиды кремния, карбиды вольфрама и др.), а также стали после закалки и соответствующего отпуска;
- инструментальные материалы должны отличаться высокой механической прочностью. Так как режущий инструмент может работать в условиях переменных значений сил, важно, чтобы инструментальный материал сочетал в себе высокую твёрдость с сопротивляемостью на сжатие и изгиб, обладал высоким пределом выносливости и ударной вязкости;
- важнейшим требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, является его высокая теплостойкость (красностойкость) – способность сохранять при нагреве твёрдость, необходимую для осуществления процесса резания. Наряду с этим инструментальные материалы должны быть малочувствительны к циклическим температурным изменениям. Последнее может привести к термомеханической усталости материала, а это способствует образованию усталостных трещин;
- важнейшее требование, предъявляемое к характеристике инструментального материала – высокая износостойкость. Износостойкость – это способность инструментального материала сопротивляться при резании удалению его частиц с контактных поверхностей его инструмента. Она зависит от твёрдости, прочности и теплостойкости инструментального материала;
- инструментальные материалы должны обладать высокой теплопроводностью. Чем она выше, тем меньше опасность возникновения шлифовочных ожогов и трещин. Высокая теплопроводность улучшает условия отвода тепла из зоны резания, повышает износостойкость инструмента;
- инструментальные материалы должны быть по возможности дешёвыми, не содержать дефицитных элементов, что не будет увеличивать стоимость изготовления деталей.

Рекомендации по рациональному выбору инструментального материала для режущего инструмента, предназначенного для обработки различных материалов, представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Инструментальный материал	Обрабатываемый материал	Область применения
Инструментальные углеродистые стали:	Металлические сплавы, дерево,	Ручной режущий инструмент

У7А, У8А, ...У12А, У13А	пластик	(напильники, зубила и др.), резцы, свёрла, фрезы для обработки дерева (рис.6.16)
Инструментальные легированные стали: 9ХС, ХВГ, ХВСГ	Металлические сплавы, дерево, пластик	Металлорежущий инструмент, работающий с низкими скоростями резания (плашки, развёртки, свёрла малого диаметра и др.), деревообрабатывающий инструмент (рис.6.17)
Быстрорежущие стали: Р9, Р18, Р6М5, Р18Ф2К5	Металлические сплавы	Инструмент сложной формы: свёрла, фрезы, зенкера, протяжки, долбяки и др. (рис.6.18)
Металлокерамические твёрдые сплавы: группа ВК; группа ТК; группа ТТК; безвольфрамовые	Цветные сплавы, некоторые легированные стали. Конструкционные стали. Конструкционные стали	Пластинки различной формы, закрепляемые на резцах и фрезах механически или пайкой. Инструмент сложной формы, выполненный спеканием – монолитные твёрдосплавные свёрла, фрезы, метчики и др. (рис.6.19). Пластинки различной формы, закрепляемые механически на резцах и фрезах, применяемые на чистовых операциях.
Керамические инструментальные материалы	Металлические сплав, закалённые стали, твёрдые неметаллические	Пластинки различной формы, закрепляемые на резцах и фрезах механически

	материалы	(рис64.20)
Поликристаллические алмазы (рис.14.21 и 14.22)	Алюминиевые сплавы, неметаллические материалы, керамика, стекло.	Пластинки однородные или на металлокерамической основе с толщиной слоя поликристалла 1...1,5 мм, закрепляемые на резцах и фрезах механически

Все перечисленные требования, рассматриваются вместе, характеризуют физико-механические свойства и экономические показатели инструментальных материалов.

Ниже приводятся примеры применения инструментальных материалов в соответствии с таблицей 6.1.

- углеродистые инструментальные стали (рис.6.16);
- легированные инструментальные стали (рис.6.17);



Рис.6.16. Напильники из углеродистых сталей



Рис.6 17. Инструмент из легированных сталей

- высоколегированные инструментальные (быстрорежущие) стали и сплавы (рис.6.18);



Рис.6.18. Различный инструмент из быстрорежущих сталей

- твёрдые сплавы (рис.6.19);



Рис.6.19. Изделия для бурового инструмента

- минеральную керамику; (кристаллический оксид алюминия Al_2O_3)
рис.6.20;



Рис.6.20. Применение фрез с керамическими пластинками

- абразивные (от латинского – соскабливание) материалы; (корунд, наждак, кремнь, пемза, электрокорунд, карборунд, карбид бора) рис.6.21.



Рис.6.21. Различные виды абразивного инструмента

- алмазные материалы (рис.6.22). Алмаз – драгоценный камень, минерал (от латинского руда) – одна из модификаций углерода. Алмаз обладает наивысшей твёрдостью из всех минералов, встречающихся в природе.



Рис. 6.22. Различные виды алмазного инструмента

6.4. Общие сведения о металлорежущих станках

Классификация металлорежущих станков. Совокупность различных металлорежущих станков предприятий, региона, страны называют станочным парком. При этом для характеристики или отличия данного станка от других станков необходима их классификация. В нашей стране принята классификация по технологическому признаку. Это значит, что главной отличительной чертой в классификации является метод обработки заготовок (точение, сверление, фрезерование и др.). Признаки отдельных групп станков представляются в закодированном виде с помощью цифр и букв. В зависимости от вида обработки станки делят на девять групп, а каждую группу на десять подгрупп (типов станков). Подгруппы характеризуют назначение станков, их компоновку, степень автоматизации или вид применяемого инструмента.

Приведём описание металлорежущих станков отечественного производства, используя данную систему шифра, при этом шифр группы и её

название дано курсивом, а шифр типа станка и его название указаны в скобках.

Группа 0 – резервная.

Группа 1 – токарные станки (0 – специализированные автоматы и полуавтоматы; 1 – одношпиндельные автоматы и полуавтоматы; 2 – многошпиндельные автоматы и полуавтоматы; 3 – револьверные; 4 – сверлильно-отрезные; 5 – карусельные; 6 – токарные и лоботокарные; 7 – многолезцовые; 8 – специализированные; 9 – разные токарные).

На рис.6.23. приведён пример станка, предназначенного для выполнения различных токарных работ и нарезания метрической, модульной, дюймовой и питчевой резьб. Детали устанавливаются в центрах или патроне.



Рис.6.23. Токарный станок модели 16К20

Группа 2 – сверлильные и расточные станки (0 – резервные; 1 – вертикально-сверлильные; 2 – одношпиндельные полуавтоматы; 3 – многошпиндельные полуавтоматы; 4 – координатно-расточные; 5 – радиально-сверлильные; 6 – горизонтально-расточные; 8 – горизонтально-сверлильные; 9 – разные сверлильные).

На рис.6.24 приведён пример радиально-сверлильного станка 2М55.

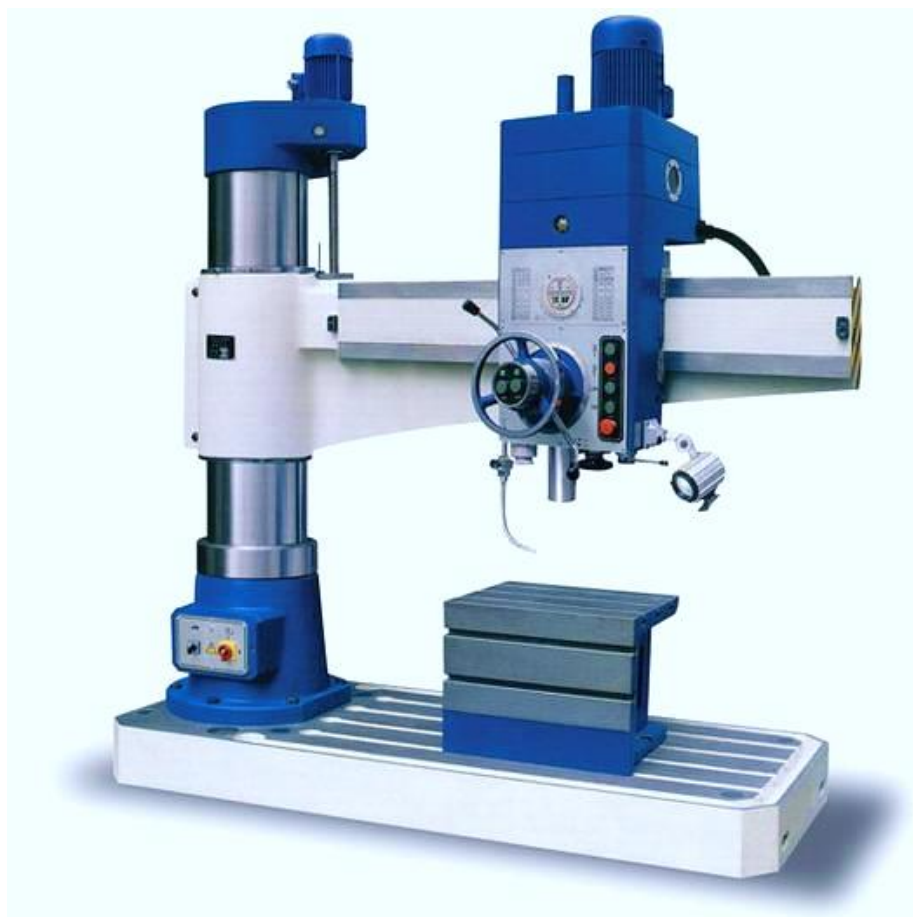


Рис.6.24. Станок радиально-сверлильный модели 2М55

Благодаря своей универсальности станок модели 2М55 находит применение везде, где требуется обработка отверстий – от ремонтного цеха до крупносерийного производства. На станке можно производить сверление в сплошном материале, рассверление, зенкерование, развёртывание, подрезку торцов, нарезку резьбы метчиками и другие подсобные операции.

Группа 3 – шлифовальные и доводочные станки (0 – резервная; 1 – круглошлифовальные; 2 – внутришлифовальные; 3 – обдирочные шлифовальные; 4 – специализированные шлифовальные; 5 – резервная; 6 – заточные; 7 – плоскошлифовальные; 8 – притирочные и полировочные; 9 – разные работающие абразивом).

На рис.6.25 показан один из моделей тяжёлых круглошлифовальных станков.

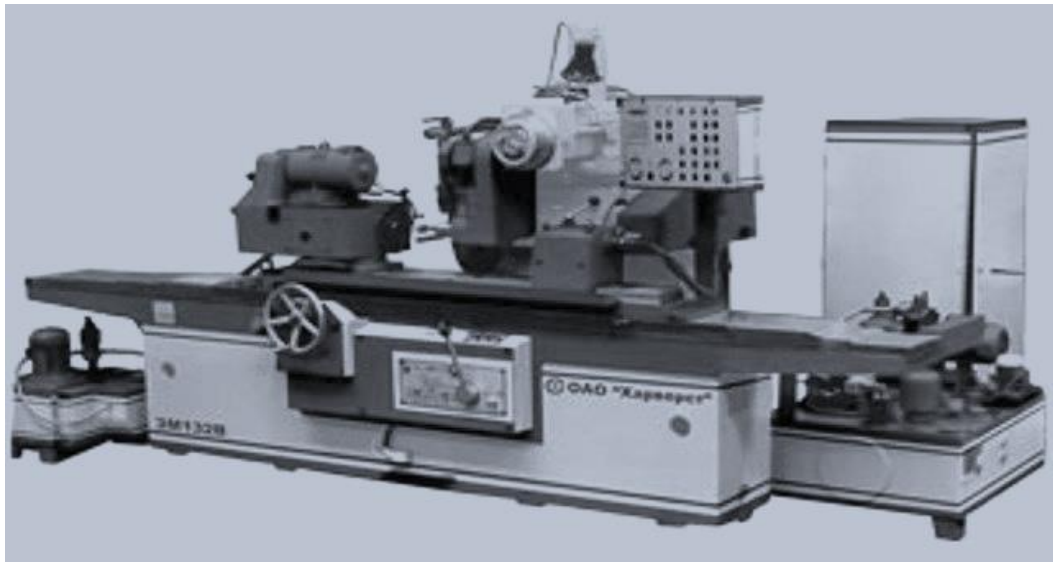


Рис.6.25. Тяжёлый круглошлифовальный станок

Группа 4 – комбинированные станки. Группа 5 – зубо- и резьбообрабатывающие станки (0 – резбонарезные; 1 – зубостругальные для цилиндрических колёс; 2 – зуборезные для конических колёс; 3 – зубофрезерные; 4 – для нарезания червячных пар; 5 – для обработки торцов зубьев; 6 – резьбофрезерные; 7 – зубоотделочные; 8 - зубо- и резьбошлифовальные; 9 – разные зубо- и резьбообрабатывающие станки) рис.6.26.



Рис.6.26. Станок токарно-фрезерный комбинированный

Группа 6 – фрезерные станки (0 – резервная; 1 – вертикальные консольные; 2 – непрерывного действия; 3 – резервная; 4 – копировальные и гравировальные; 5 - вертикальные бесконсольные; 6 – продольные; 7 – консольные широкоуниверсальные; 8 – горизонтальные консольные; 9 – разные фрезерные).

На рис.6.27 приведена одна из марок фрезерных станков.



Рис.6.27. Широкоуниверсальный фрезерный станок модель 6Д82Ш

Группа 7 – строгальные, долбежные, протяжные станки (0 – резервная; 1 – продольно-строгальные одностоечные; 2 – продольно-строгальные двухстоечные; 3 – поперечно-строгальные; 4 – долбежные; 5 – протяжные горизонтальные; 6 – резервная; 7 – протяжные вертикальные; 8 – резервная; 9 – разные строгальные). На рис.6.28 и 6.29 приведены станки группы 7.

Группа 8 – разрезные станки (0 – резервная; 1 – разрезные, работающие резцом; 2 – разрезные работающие, абразивным кругом; 3 – разрезные, работающие гладким диском; 4 – правильно-отрезные; 5 – пилы ленточные; 6 – пилы дисковые; 7 – пилы ножовочные). На рис.6.30 приведён один из станков группы 8.

Группа 9 – разные станки (1 – опилочные; 2 – пилонасекательные; 3 – правильно- и бесцентрово-обдирочные; 4 – балансировочные; 5 – для испытания свёрл и шлифовальных кругов; 6 – делительные машины).



Рис.6.28. Стругальный станок



Рис.6.29. Станок долбежный по металлу

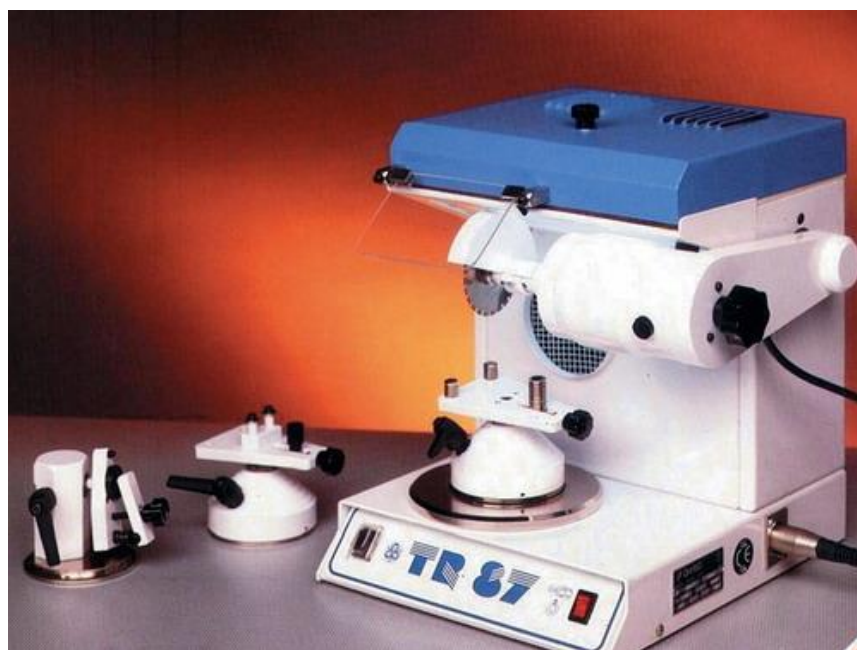


Рис.6.30. Разрезной станок TR. 87.00



Рис.6.31. Станок для испытания абразивных кругов

Обозначение модели станка состоит из сочетания трёх или четырёх цифр и букв. Первая цифра означает номер группы, вторая – номер подгруппы (тип станка), а последние одна или две цифры – наиболее характерные технологические параметры станка. Условный типоразмер станка обычно показывает наибольший размер обрабатываемой заготовки.

Например, 1Е116 означает токарно-револьверный одношпиндельный автомат с наибольшим диаметром обрабатываемого прутка 16 мм.

2Н125 – вертикально-сверлильный станок с наибольшим условным диаметром сверления 25 мм.

Буква, стоящая после первой цифры, говорит о различном исполнении и модернизации основной базовой модели. Буква в конце цифровой части означает модификацию базовой модели, класс точности станка или его особенности.

Используют также систему обозначений точности станков:

Н – нормальный класс точности;

П – повышенный класс точности;

В – высокоточный класс точности;

А – особо высокой точности;

С – особо точные станки.

Для станков с программным управлением принята особая система индексации. Обозначение **Ц** – это станки с цикловым управлением, **Ф1** – с цифровой индексацией положения, а также с предварительным набором координат, **Ф2** – с позиционной системой ЧПУ, **Ф3** – с контурной системой ЧПУ, **Ф4** – с комбинированной системой ЧПУ. Обозначение станков с учётом их точности и программного управления расшифровывают в определённом порядке.

Например: модель **16Д20П** означает токарно-винторезный станок повышенной точности; **6Р13К-1** – вертикально-фрезерный консольный станок с копировальным устройством; **1Г34ОЩ** – токарно-револьверный станок с горизонтальной головкой, повышенной точности, с цикловым программным управлением. Модель **2255АФ1** – координатно-расточной двухстоечный станок особо высокой точности с предварительным набором координат и цифровой индексацией; модель **2202ВМФ4** – это многоцелевой (сверлильно-фрезерно-расточной) горизонтальный станок высокой точности с инструментальным магазином и комбинированной системой ЧПУ (буква М означает, что станок имеет магазин с инструментами).

Станки также подразделяют на широкоуниверсальные, универсальные (общего назначения), специализированные и специальные. Специализированные и специальные обозначают буквенным индексом (из одних или двух букв), присвоенным каждому заводу с номером модели станка. *Например,* модель МШ-245 – рейкошлифовальный полуавтомат повышенной точности Московского завода шлифовальных станков.

Кинематические зависимости в металлорежущих станках. Станки содержат одну или несколько передач. Передачей называется механизм или сочетание механизмов, передающих движения от одного элемента станка к другому (например, с вала на вал) или преобразующих движение, (например, вращательное в поступательное). Тот элемент, который передаёт движение, называют ведущим, а элемент, получающий движение – ведомым. Их движения должны быть строго согласованы, а если соотношения между ведущим и ведомым элементами должны изменяться, то между ними необходим орган настройки данной передачи.

Кинематические зависимости определяют расчётным путём, чаще всего с помощью компьютера. Органы станков изображают условными значками. Кинематика станка наиболее полно представляется в виде кинематических схем рис.6.32 и рис.6.33.

В станках обычно используют следующие передачи:

- ременные;
- зубчатые;
- цепные;
- червячные;
- реечные;
- винтовые.

Каждая передача характеризуется передаточным отношением. Передаточным отношением называют число, показывающее, во сколько раз частота вращения ведомого элемента меньше или больше частоты вращения ведущего элемента:

- **ременная передача.** Передаточное отношение передачи $i = n_2 \eta_p / n_1 = d_1 \eta_p / d_2$, (η_p – коэффициент проскальзывания ремня, 0,96...0,99);
- **цепная передача.** $i = n_2 / n_1 = z_1 / z_2$;
- **зубчатая передача.** $i = n_2 / n_1 = z_1 / z_2$;
- **червячная передача.** $i = n_2 / n_1 = k / z$, k – число заходов у червяка;
- **реечная передача** – преобразует вращательное движение реечного зубчатого колеса или червяка в поступательное движение зубчатой рейки. Если у реечного колеса z зубьев, а модуль зубьев рейки равен m мм, то за n оборотов реечного колеса рейка перемещается на величину s , мм;

$$s = n \pi m z.$$
- **винтовая передача** состоит из винта и гайки и служит для преобразования вращательного движения винта в поступательные движения гайки. Если шаг резьбы винта равен t мм, число заходов резьбы k , то за n оборотов ходового винта гайка перемещается в осевом направлении на величину s , мм.

$$S = n t k.$$

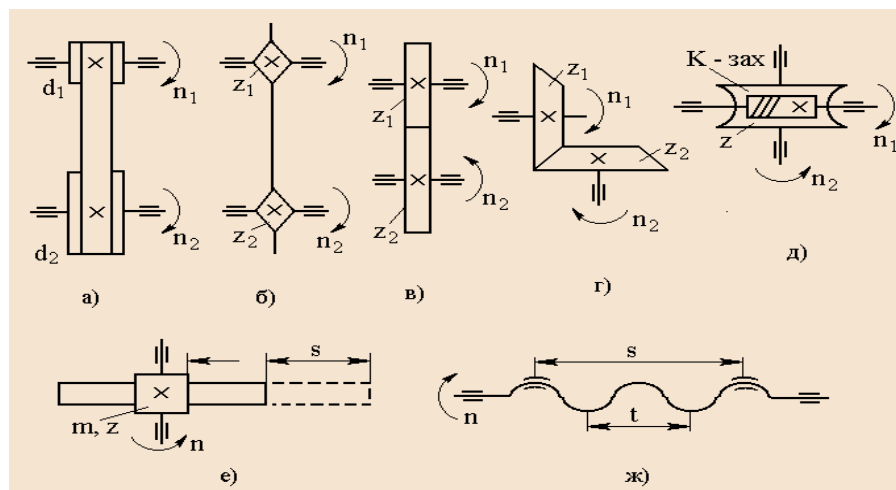


Рис.6.32. Кинематическое изображение передач:

а – ременная; б – цепная; в – зубчатая цилиндрическая; г – зубчатая коническая; д – червячная; е – реечная; ж – винтовая

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Вал, ось, стержень		Телескопическое соединение валов	
Конец шпинделя для центровых работ		Кулачковая односторонняя муфта сцепления	
Конец шпинделя для патронных работ		Фрикционная односторонняя дисковая муфта	
Ходовой винт для передачи движения		Фрикционная односторонняя электромагнитная муфта	
Радиальный подшипник без уточнения типа		Глухое, неподвижное соединение детали с валом	
Радиальный подшипник скольжения		Свободное для вращения соединение детали с валом	
Радиальный подшипник качения		Подвижное вдоль оси соединение детали с валом	
Глухое жесткое соединение двух соосных валов		Соединение детали с валом посредством вытяжной шпонки	
Эластичное соединение двух соосных валов		Общее обозначение электродвигателя	

Рис.6.33. Условные обозначения основных передач и механизмов металлорежущих станков

На рис.6.34...6.40 приведены некоторые виды передач, которые используются в промышленном оборудовании

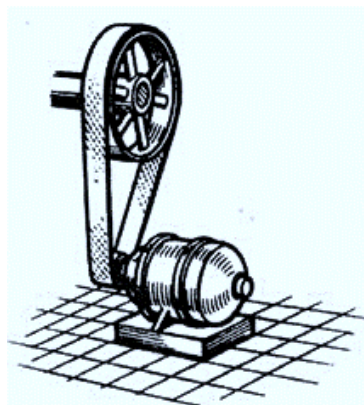
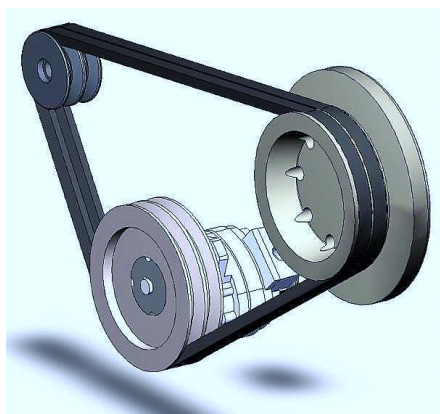


Рис.6.34. Ременная передача

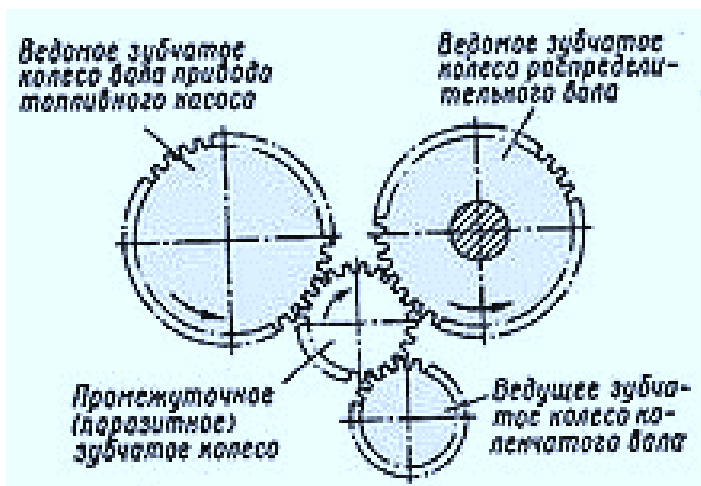


Рис.6.35. Зубчатая цилиндрическая передача

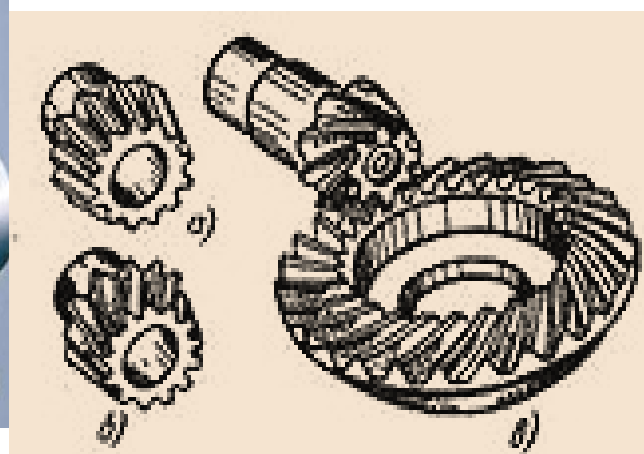


Рис.6.36. Зубчатая коническая передача.

а – с прямыми зубьями; б – с косыми зубьями; в – коническая передача с косыми зубьями

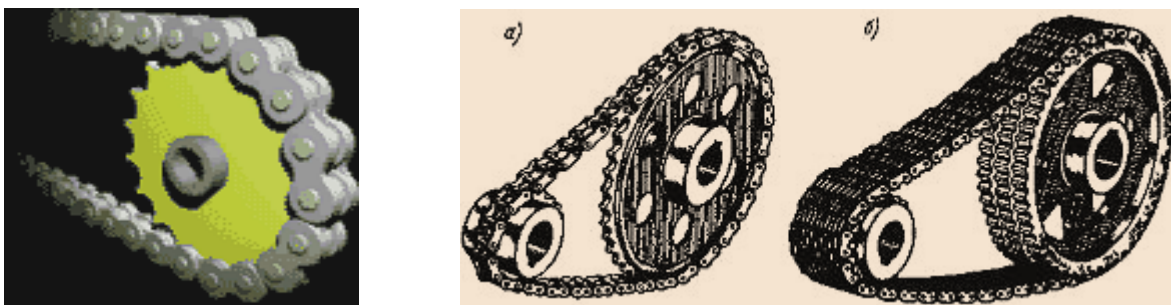


Рис.6.37. Цепная передача:

а) – роликовой цепью; б) – зубчатой цепью

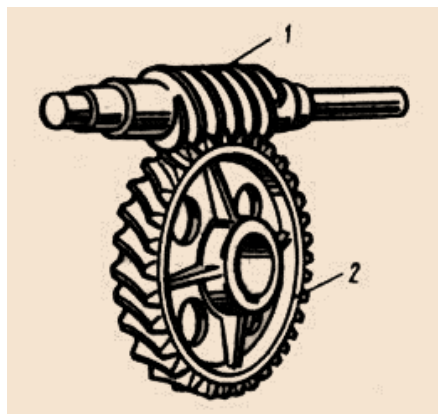


Рис.6.38. Червячная передача: 1 – червяк; 2 – червячное колесо

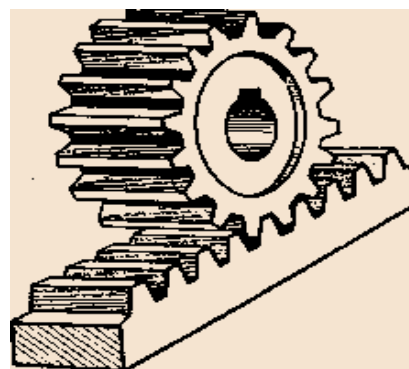
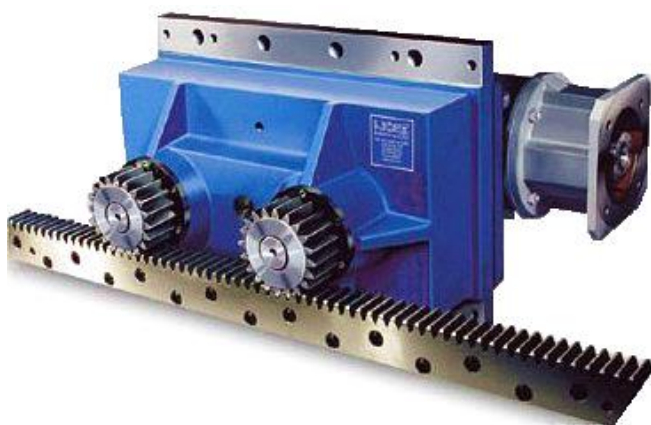


Рис. 6.39. Реечная передача

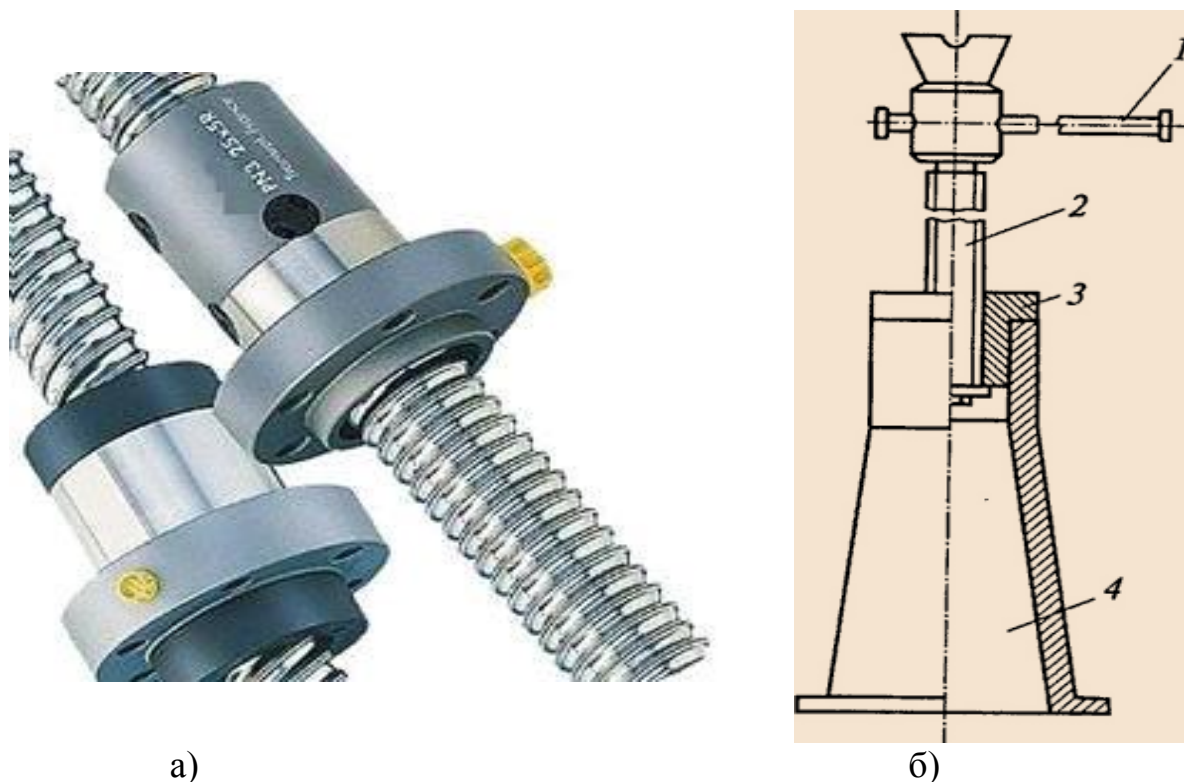


Рис.6.40. Винтовая передача^

(а) – винтовой домкрат, (б) 1 — рукоять; 2 — подвижный винт; 3 — неподвижная гайка; 4 — станина

Для ступенчатого изменения скорости движения используют двух-, трёх- и четырёхскоростные асинхронные электродвигатели или различные механизмы на основе зубчатых передач. Движение с вала 1, который вращается с постоянной частотой, передаётся на вал 2 двумя парами зубчатых колёс z_1/z_2 и z_3/z_4 . Включает одну из передач с помощью электромагнитных фрикционных односторонних А и Б. Передаточное отношения передач различны, поэтому вал 2 имеет две частоты вращения. Такие механизмы используют в станках с программным управлением.

«Конус» зубчатых колёс с накидным зубчатым колесом применяют в универсальных станках (рис.6.41).

Для бесступенчатого изменения частоты вращения шпинделей станков применяют фрикционные вариаторы (рис.6.42).

В механизмах с зубчатыми колёсами для реверсирования переключают кулачковые муфты вправо или влево (рис.6.43 и рис.6.44).

Для получения прерывистого движения в многошпиндельных станках-автоматах применяют мальтийский механизм (рис.6.45).

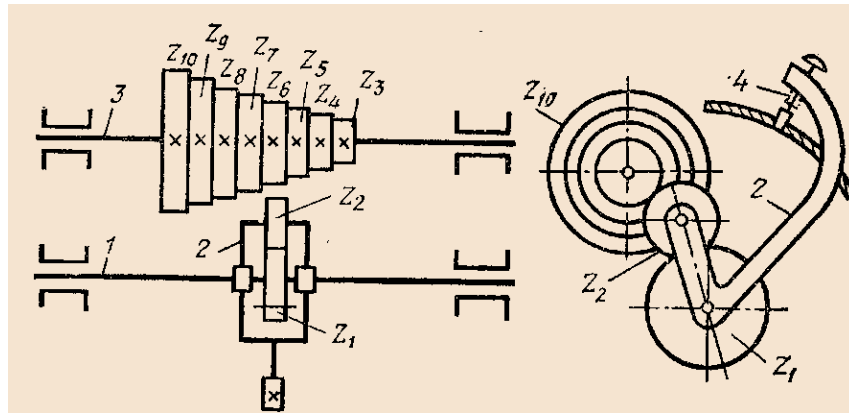


Рис.6.41. Механизм с накидным зубчатым колесом

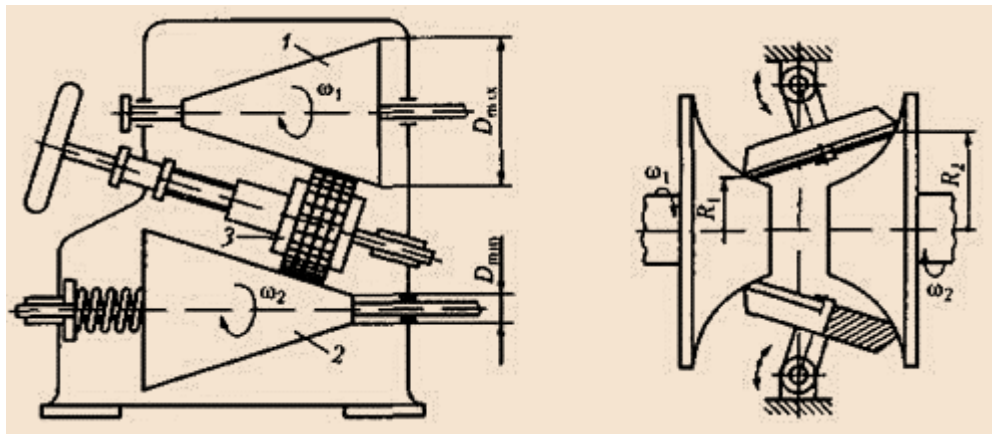


Рис.6.42. Механизм бесступенчатого изменения скорости (вариатор)

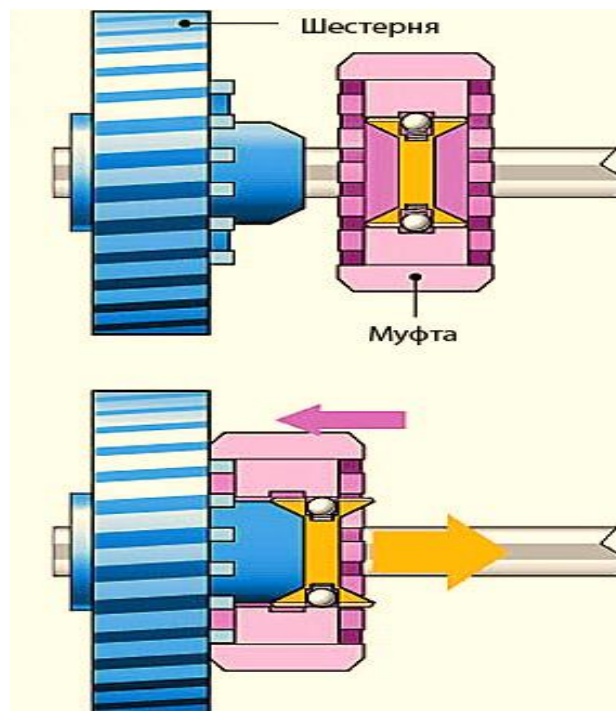


Рис.6.43. Механизм передач с помощью муфты

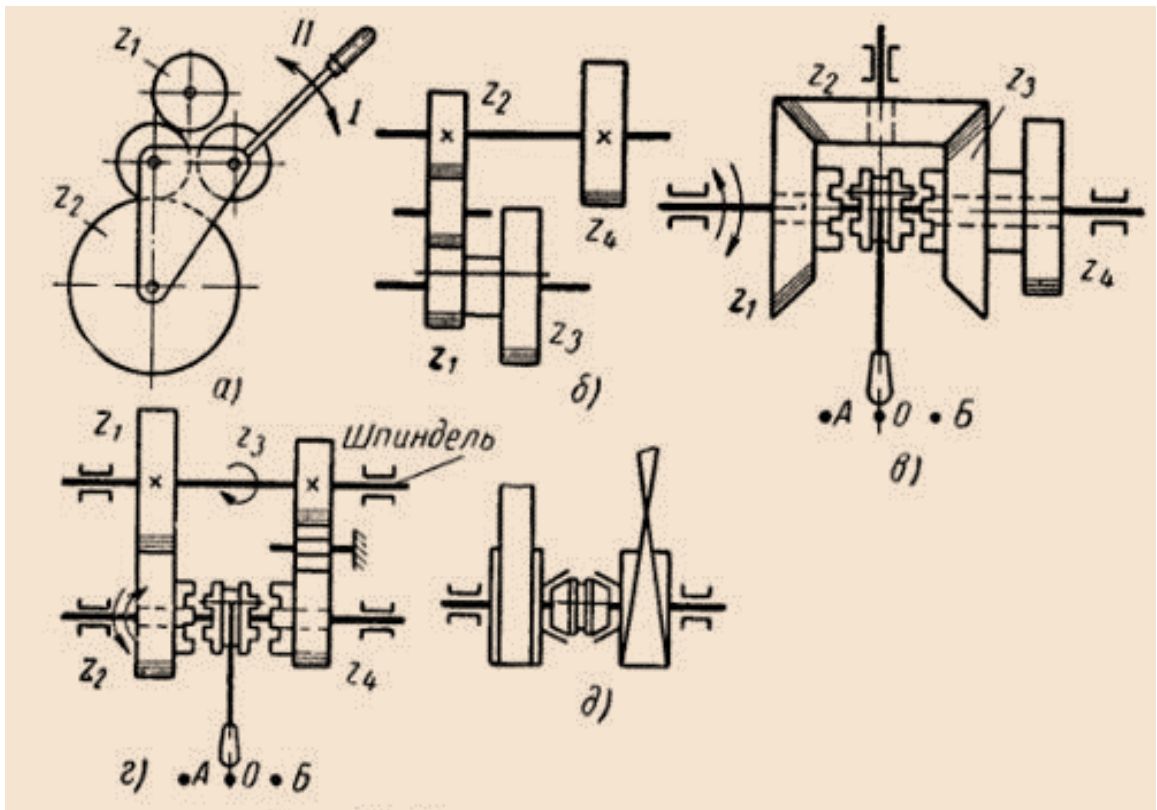


Рис.6.44 Схемы реверсивных механизмов

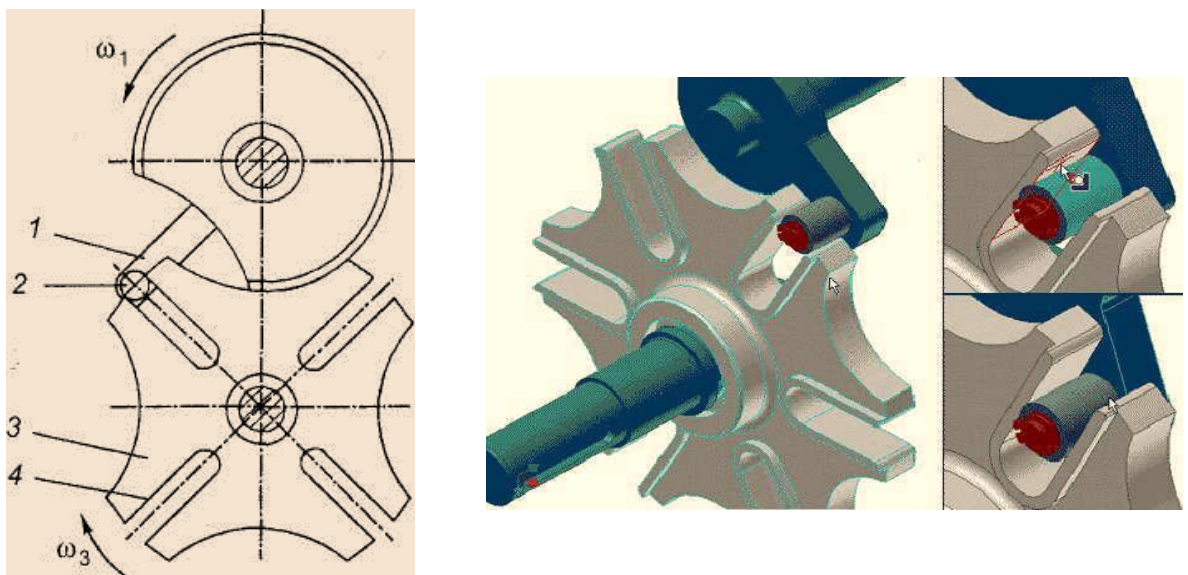


Рис.6.45. Мальтийский механизм:

1 — ведущий кривошип; 2 — ролик; 3 - мальтийский крест; 4 - паз мальтийского креста

Мальтийские кресты широко применяются в машинных автоматах. Они относятся к механизмам прерывистого действия и предназначены для преобразования равномерного вращения ведущего звена в периодические с остановками ведомого звена, работают плавно без ударов (в отличие от храповых механизмов).

6.5. Лезвийная обработка деталей машин

Технологические методы, изложенные в предыдущих главах, преимущественно применяют для получения заготовок, которые в результате последующей обработки превращаются в деталь. Для возможности последующей обработки заготовка отличается от соответствующей детали размерами, формой и более грубым качеством поверхности.

Резанием называют процесс образования новых поверхностей, сопровождающийся удалением припуска с образованием стружки. Различают резание лезвийными и абразивными инструментами. Лезвийные инструменты имеют правильную заданную геометрическую форму лезвий, обеспечивающую снижение энергетических затрат на обработку, заданные требования к обработанным поверхностям и высокую долговечность режущих инструментов.

Выполнение обработки резанием возможно при соблюдении следующих условий:

- твёрдость лезвия инструмента должна превышать твёрдость материала заготовки;
- должно соблюдаться соответствие геометрических параметров лезвия и траектории движения инструмента относительно заготовки с условиями образования стружки. Так, одно и то же лезвие, в зависимости от траектории его движения, может отделять стружку, разрезать или мять заготовку;
- зона пластической деформации или разрушения материала при образовании стружки должна быть значительно меньше характерного размера заготовки, например, её толщины, иначе может произойти деформация.

В лезвийной обработке (в зависимости от вида и направления движений резания, вида обработанной поверхности) можно выделить следующие технологические методы:

- точение;
- строгание;
- долбление;
- протягивание;
- сверление;
- фрезерование;
- резьбонарезание.

Точение. Лезвийная обработка резанием (ЛОР) цилиндрических и торцовых поверхностей называется точением. Главное движение – *вращательное* – придаётся заготовке или режущему инструменту; *движение подачи* – прямолинейное или криволинейное – придаётся режущему инструменту вдоль, перпендикулярно или под углом к оси вращения.

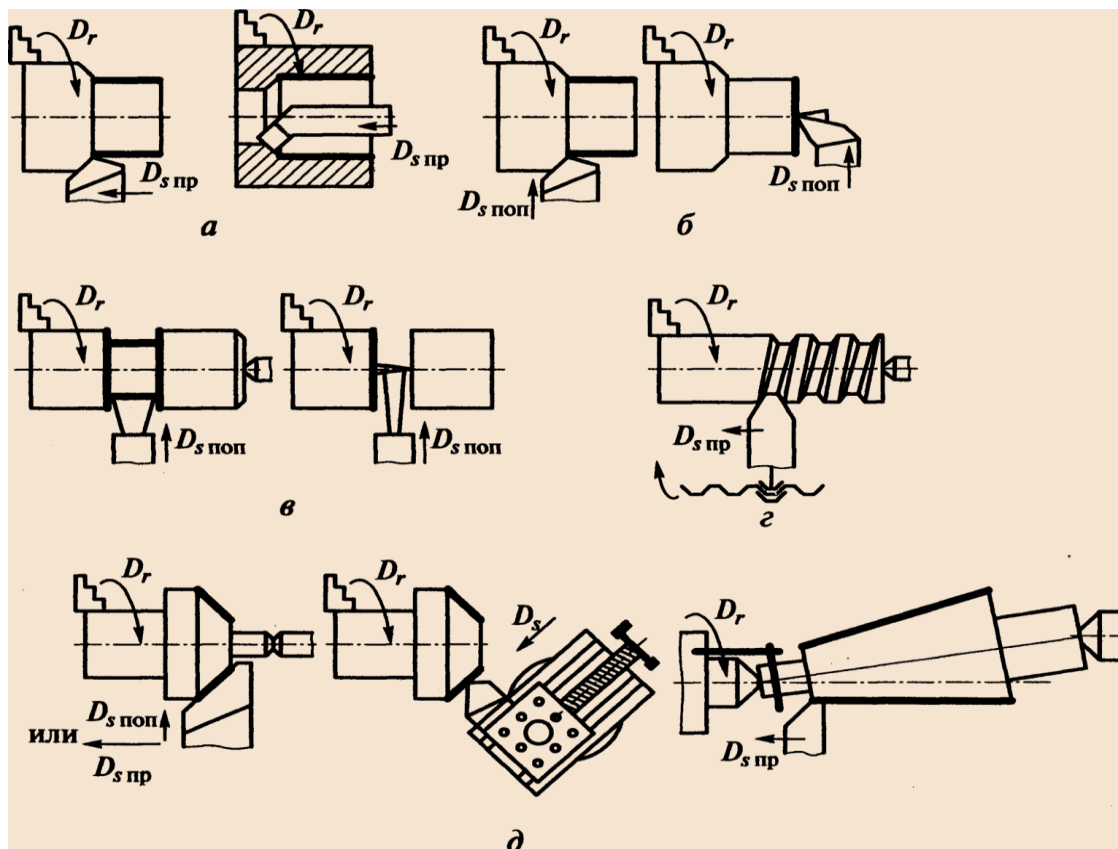


Рис.6.47. Основные технологические схемы точения:

а – продольное точение; б – поперечное точение; в – нарезание канавки и отрезание; г – нарезание резьбы; д – точение конической поверхности; D_r – главное движение резания; $D_{s\text{ пр}}$, $D_{s\text{ поп}}$ – движение подачи продольное и поперечное

В зависимости от вида обработанной поверхности различают *обтачивание* (обработка наружных поверхностей) и *расточивание* (обработка внутренних поверхностей). В зависимости от направления движения подачи различают *продольное точение* (рис.6.47, а) (движение подачи направленно вдоль оси вращения заготовки); *поперечное точение* (рис.6.47, б) (движение подачи направленно перпендикулярно оси вращения заготовки); *нарезание канавок и отрезание* (рис.6.47, в); *точение конусов* (движение подачи направлено под углом к оси вращения заготовки); *нарезание винтовых поверхностей – резьбы* (рис.6.47, г) и *точение фасонных поверхностей – конической поверхности* (рис.6.47, д).

Резцы (рис.6.48.). По характеру обработки различают резцы для чернового, получистового, чистового точения. По типу инструментального материала и способу его крепления на головке различают резцы цельные из углеродистых или из быстрорежущих сталей; с механическим креплением пластины твёрдого сплава (рис.6.49) или кристалла сверхтвёрдого материала. По виду пластины твёрдого сплава различают резцы с перетачиваемыми и неперетачиваемыми пластинами.

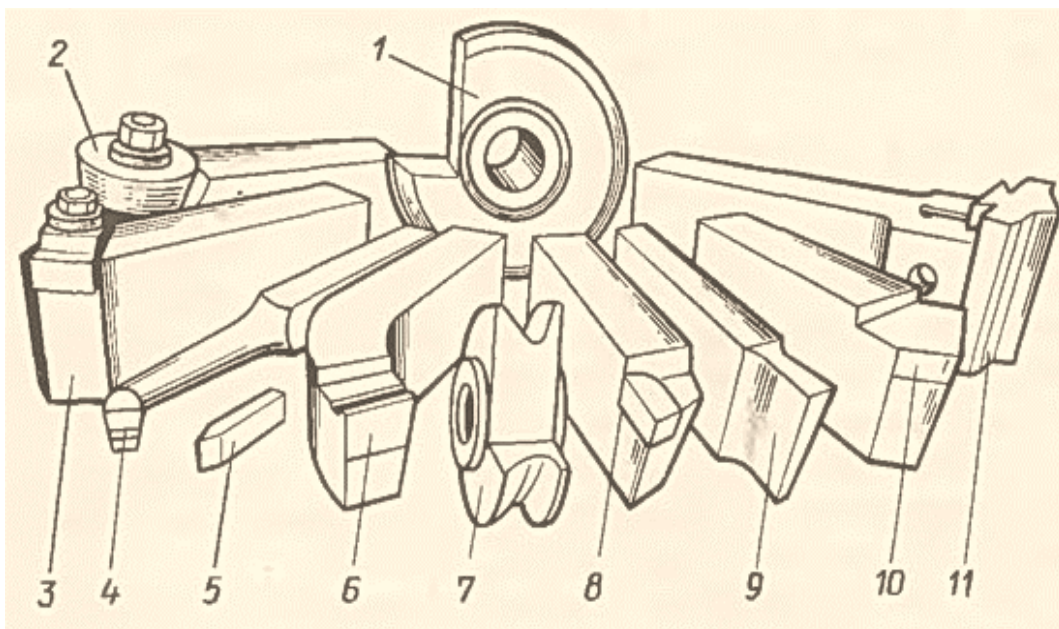


Рис.6.48. Токарные резцы:

- по конструкции головки: прямые 10 (рис.6.48), отогнутые 6 и т.д.
- по виду обработки: проходные, подрезные, расточные 4, резьбовые 5 и отрезные 9;
- по способу изготовления: цельные, составные 8 и с механическим креплением 3;
- по форме режущей кромки: прямолинейные и криволинейные 1, 2, 7 и 11.

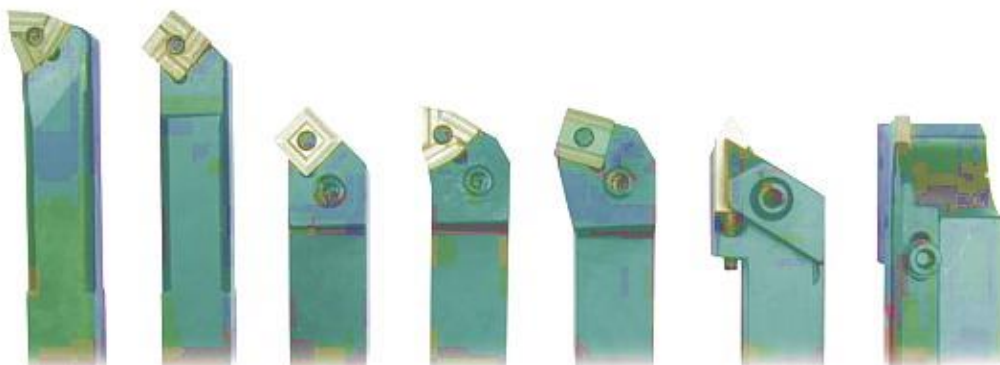


Рис.6.49. Токарные резцы с пластинами твёрдого сплава

Основные станки токарной группы показаны на рис.6.50.

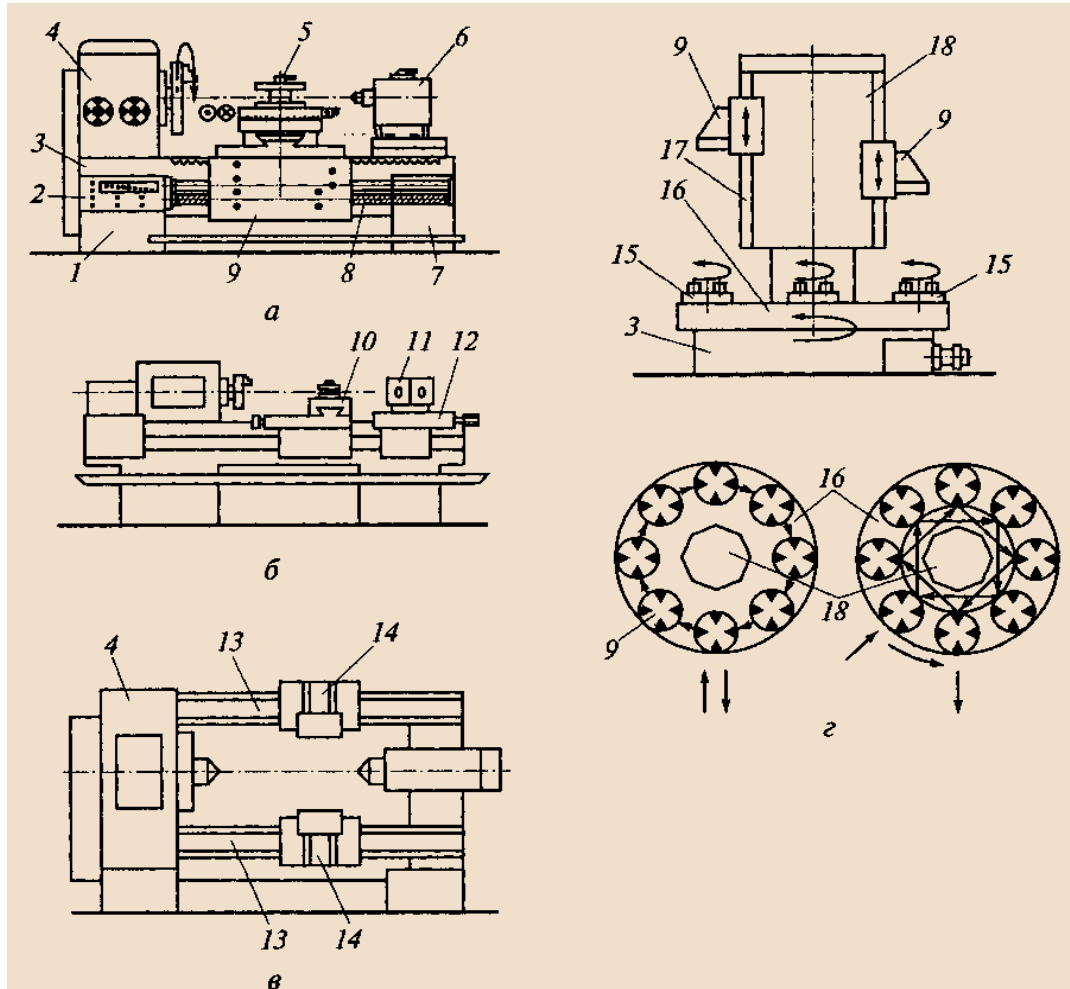


Рис.6.50. Станки токарной группы:

а – универсальный токарно-винторезный; б – патронный токарно-револьверный полуавтомат; в – токарно-гидрокопировальный автомат; г – вертикальный многошпиндельный полуавтомат; 1, 7 – передняя и задняя тумбы; 2 – коробка подач; 3 – станина; 4, 6 – передняя и задняя бабки; 5 – резцедержатель; 8 – ходовой винт; 9 – суппорт; 10 – поперечный суппорт; 11 – револьверная головка; 12 – револьверный суппорт; 13 – траверса; 14 – верхний и нижний суппорт; 15 – шпиндель; 16 – карусель; 17 – направляющие; 18 – центральная колонна; → - направление движения

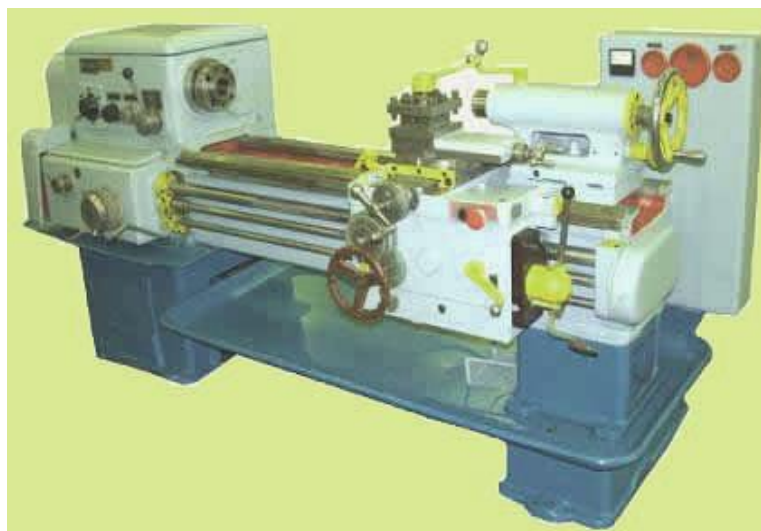


Рис.6.51, а – универсальный токарно-винторезный станок 1К62

Универсальный токарно-винторезный станок 1К62 (рис.6.51, а) предназначен для выполнения разнообразных токарных работ, в том числе для нарезания резьб: метрической, дюймовой, модульной, питчевой и архимедовой спирали. Токарно-винторезный станок **1К62** может использоваться для обработки закаленных заготовок, так как шпиндель станка установлен на специальных подшипниках, обеспечивающих его жесткость. Токарная обработка разнообразных материалов может производиться с ударной нагрузкой без изменения точности. Высокая мощность главного привода станка, большая жесткость и прочность всех звеньев кинематических цепей главного движения и подачи, виброустойчивость, широкий диапазон скоростей и подач позволяют выполнять на токарно-винторезном станке 1К62 высокопроизводительное резание твердосплавным и минералокерамическим инструментом. Токарно-винторезный станок 1К62 является одной из наиболее распространенных моделей токарно-винторезных станков группы 1К62 производства ОАО ФНПЦ «Станкомаш» (г. Челябинск).



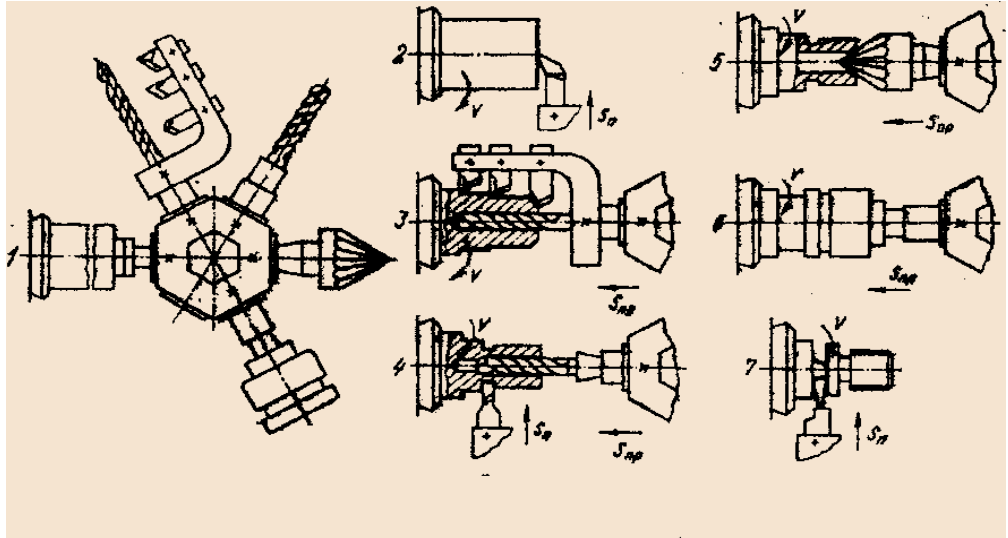


Рис.6.51, б – патронный токарно-револьверный полуавтомат 1740РФ3 и схемы обработки поверхностей заготовок:

1 – подача прутка до упора; 2 – подрезание правого торца; 3 – обтачивание двух цилиндрических поверхностей, снятие фаски и сверление отверстия; 4 – зенкерование отверстия и протачивание кольцевой канавки; 5 - зенкования; 6 – нарезание резьбы; 7 – отрезание детали

Патронный токарно-револьверный полуавтомат (рис.6.51, б) предназначен для токарной обработки деталей в патроне или центрах деталей сложной конфигурации: обточки цилиндрических, конических и сферических поверхностей, подрезки торцов, прорезки различных канавок, нарезания резьбы, сверления, развертывания центральных отверстий, растачивания в условиях серийного, крупносерийного производства.

Токарный автомат КТ131 (рис.6.51, в) используется в крупносерийном и массовом производстве для токарной обработки деталей типа тел вращения с прямолинейным и криволинейным профилем из гладких, цилиндрических штучных заготовок, а также прорезки или подрезки не более 3-х канавок или торцов. Автомат изготавливается для нужд народного хозяйства, как специальный, для обработки согласованных с заказчиком конкретных деталей. Токарный автомат КТ131 предназначен для токарной обработки с одной стороны деталей типа тел вращения с прямолинейным и криволинейным профилем из гладких, цилиндрических, штучных заготовок. Обработка производится гидроконтролируемым суппортом.



Рис.6.51, в – токарный гидрокопировальный автомат КТ131

При очень больших программах выпуска применяют ротационные **вертикальные шестишпиндельные токарные полуавтоматы** (рис.6.51, г) непрерывного действия. Такие станки представляют собой как бы несколько одношпиндельных вертикальных полуавтоматов, помещенных на карусель. На каждом шпинделе выполняется одна и та же обработка заготовок. В зоне загрузки обработанная деталь снимается и устанавливается новая заготовка. Для этого при входе в эту зону вращение соответствующего шпинделя прекращается. При обработке на одношпиндельных или многошпиндельных многорезцовых полуавтоматах величины подач у разных суппортов увязаны между собой (подачи у всех резцов, установленных на одном суппорте, одинаковые).

Существуют многошпиндельные (шести и восьми) позиционные вертикальные полуавтоматы последовательного действия, на которых в разных позициях производится различная токарная обработка (а также сверление отверстий и нарезание резьб). Установку заготовки, подлежащей обработке, производят в одной позиции, в то время как в других позициях одновременно производится обработка различных поверхностей деталей.



Рис.6.51, г – вертикальный многшпindelный полуавтомат

Приспособления. Для закрепления заготовок на токарных станках. Характер установки и закрепления заготовки, обрабатываемой на токарном станке, зависит от:

- типа станка;
- вида обрабатываемой поверхности;
- характеристики заготовки (отношение длины заготовки к диаметру);
- требуемой точности обработки.

На рис.6.52 представлены наиболее часто употребляемые приспособления для закрепления заготовок на токарных станках.

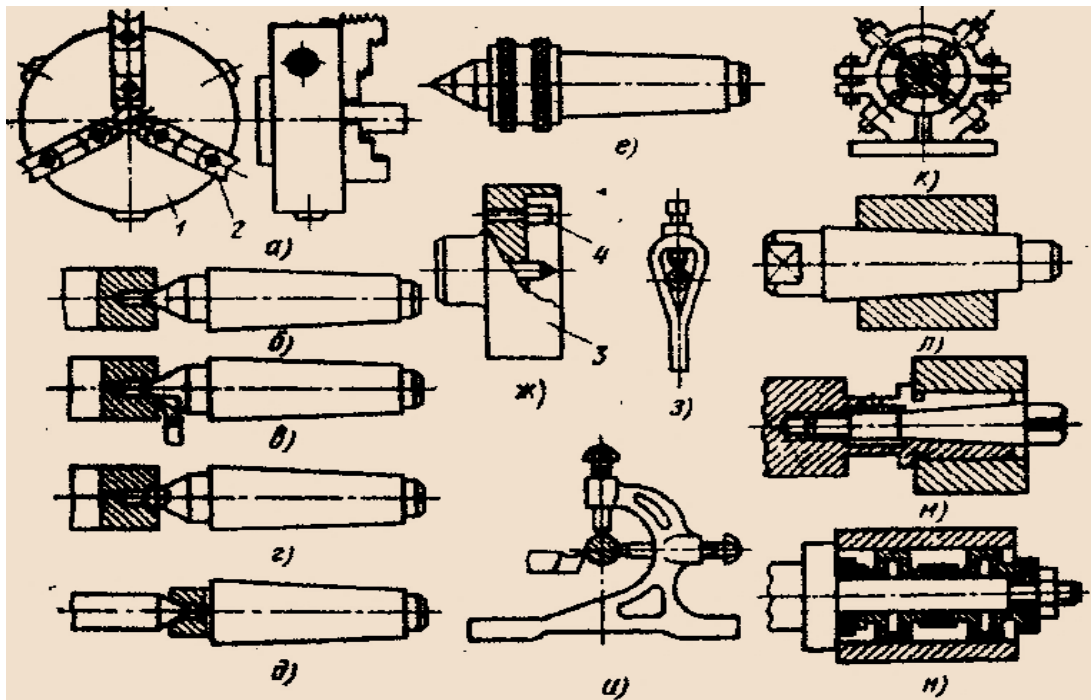


Рис.6.52. Приспособления для закрепления заготовок на токарных станках:

а – самоцентрирующий патрон (1 – корпус; 2 – кулачки); б – центр упорный; в – центр срезанный; г – центр шариковый; д – обратный центр; е – центр вращающийся; ж – поводковый патрон (3 – корпус; 4 – цилиндрический палец, передающий крутящий момент на хомутик); з – хомутик; и – открытый люнет; к – закрытый люнет; л – коническая оправка; м – цанговая оправка с разжимными упругими элементами – цангами; н – упругая оправка с гидропластмассой, гофрированными втулками

На токарно-винторезных станках для закрепления заготовок используют трёхкулачковые самоцентрирующие патроны. При отношении $l/d = 4 \dots 10$ (l – длина, d – диаметр заготовки) заготовку устанавливают в центрах. Для установки заготовки в центрах её необходимо зацентровать, т.е. сделать центровые отверстия с торцов вала. Центровые отверстия делают специальными центровачными свёрлами.

На токарно-револьверных станках, полуавтоматах и автоматах для закрепления заготовок – прутков используют цанговые патроны.

Строгание и долбление. Строгание и долбление – это технологические методы обработки открытых плоскостей и линейчатых поверхностей, когда главное движение резание имеет возвратно-поступательный характер и может быть сообщено либо заготовке, либо инструменту – резцу. Поддачи носят прерывистый (шаговый) поступательный характер и направлены перпендикулярно вектору скорости резания. При строгании главное движение резания осуществляется в горизонтальной плоскости (рис.14.53, а), а при долблении – в вертикальной (рис.6.53, б). На рис.6.54 показаны основные станки строгальной группы.

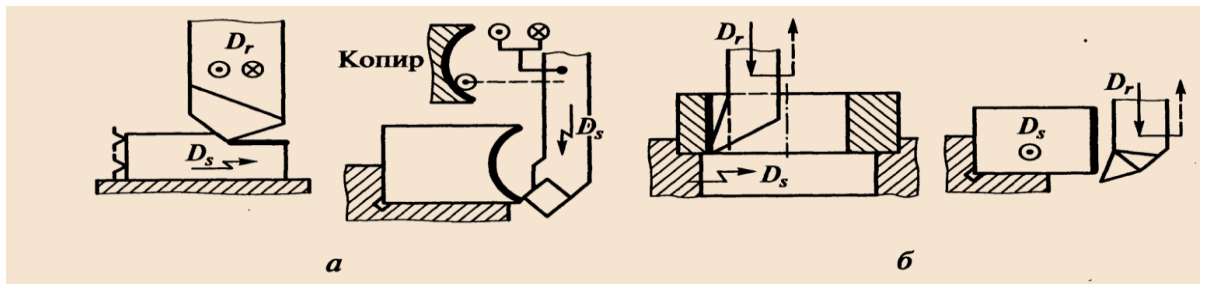


Рис.6.53. Основные технологические схемы строгания и долбления наружных поверхностей:

а – строгание; б – долбление; D_r – главное движение резания; D_s – движение подачи; \rightarrow – рабочий ход; $-\ - \rightarrow$ – холостой (обратный) ход

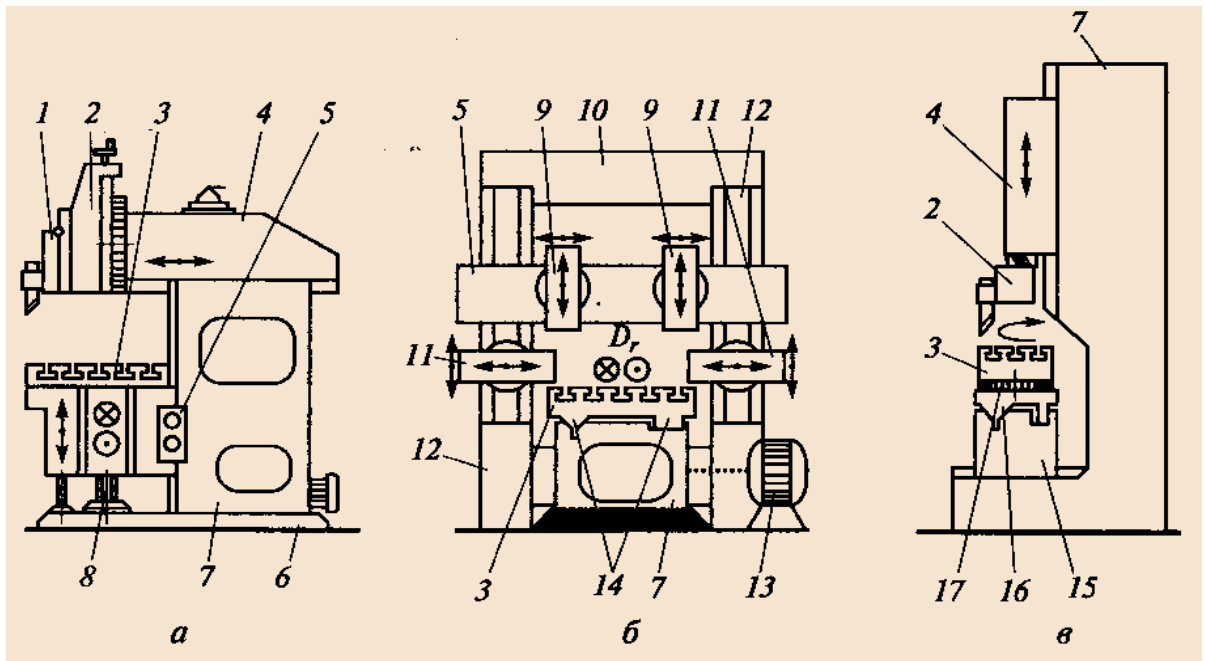


Рис.6.54. Станки строгальной группы:

а – поперечно-строгальный; б – продольно-строгальный; в – долбежный; 1 – качающаяся плита; 2 – супорт; 3 – стол; 4 – ползун; 5 – траверса; 6 – фундаментная плита; 7 – станина; 8 – домкрат; 9 – вертикальные супорты; 10 – поперечена; 11 – боковые супорты; 12 – стойки; 13 – главный электродвигатель; 14 – направляющие; 15 – поперечные салазки; 16 – продольные салазки; 17 – поворотные салазки; \leftrightarrow - перемещение элементов станка

Оба метода отличаются значительными динамическими нагрузками на механизм станка при реверсах исполнительного узла, так как ускорения разгона и торможения в каждом цикле движения приводит к возникновению высоких инерционных сил. Поэтому скорости главного движения на таких станках обычно не превышает 50 м/мин. Это обстоятельство, а также наличие холостого хода инструмента увеличивают длительность обработки и снижают её производительность. Поэтому там, где это возможно, строгание и долбление заменяют фрезерованием и протягиванием. Стругание целесообразно применять для обработки длинных узких поверхностей.

Из строгальных станков различных конструкций и назначений в промышленности наиболее широко применяются продольные и поперечно-строгальные станки.

Продольные строгальные станки подразделяются на двухстоечные и одностоечные. У тех и других главным движением является возвратно-поступательное движение стола с заготовкой, а вертикальная или поперечная подачи сообщаются режущему инструменту. Станки рассчитаны на применение резцов, лезвие которых изготовлено из быстрорежущей стали или твёрдого сплава. В зависимости от габаритных размеров продольно-строгальные станки могут иметь длину строгания от 1 до 30 м. (рис.6.55).



Рис.6.55. Продольно-строгальный станок

Поперечно-строгальные станки (рис..56) применяются в единичном и серийном производстве и во вспомогательных цехах машиностроительных заводах. На них обрабатывают заготовки с длиной обработки не более 1000 мм.



Рис.6.56. Поперечно-строгальный станок

Долбежные станки (рис.6.57) служат для обработки внутренних и наружных линейчатых поверхностей, которые невозможно или сложно получить фрезерованием или точением. В основном долбление выполняют на заготовках небольшой высоты в единичном и мелкосерийном производствах.



Рис.6.57. Долбежный станок

Протягивание. Это один из наиболее производительных методов механической обработки заготовок, эффективность которого в 10 раз и более превышает аналогичный показатель других методов резания. Это

обуславливается необходимостью лишь одного кратковременного хода многолезвийного инструмента – протяжки относительно заготовки.

Главным движением резания при протягивании является поступательное, винтовое или вращательное движение протяжки относительно заготовки. Непрерывность удаления припуска обеспечивается подачей S_z , заложенной в конструкции протяжки и осуществляемой благодаря увеличению размеров каждого последующего ряда режущих зубьев по сравнению с предыдущим рядом (рис.6.58).

Подача S_z определяет толщину слоя, срезаемого одним зубом, и находится в пределах 0,015...0,35 мм/зуб. Численное значение подачи зависит от обрабатываемого материала, конструкции и материала протяжки. При протягивании профиль обработанной поверхности копируется профилем режущих зубьев. Поэтому протяжки – узкоспециальный инструмент, применяемый для обработки поверхностей со строго заданными формой и размерами. В зависимости от характера обработанной поверхности протяжки могут быть внутренними и наружными. Внутренние протяжки предназначены для обработки круглых, квадратных, многогранных и шлицевых отверстий, а также шпоночных и других фигурных пазов (рис.6.59). Наружные протяжки предназначены для обработки наружных поверхностей, пазов, уступов.

Внутренние цилиндрические поверхности обрабатывают протяжками или прошивками после сверления, растачивания, зенкерования, так же обрабатывают отверстия, полученные на стадии заготовительных операций.

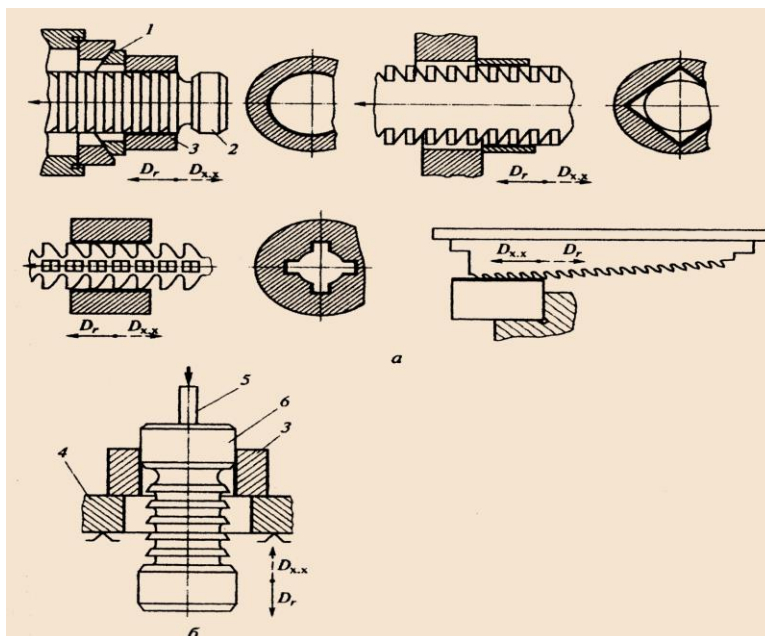


Рис.6.58. Основные технологические схемы протягивания (а) и прошивания (б):

1 – плавающая опора; 2 – протяжка; 3 – заготовка; 4 – стол; 5 – шток поршня; 6 – прошивка; D_r – главное движение резания; $D_{x,x}$ – обратный (холостой) ход; \rightarrow – действие силы протягивания

При обработке чугунных заготовок, а также заготовок из труднообрабатываемых материалов применяют протяжки, оснащённые твёрдосплавными зубьями. В случае цилиндрической протяжки эти зубья в виде набора колец устанавливают на цилиндрическом стержне и закрепляют.

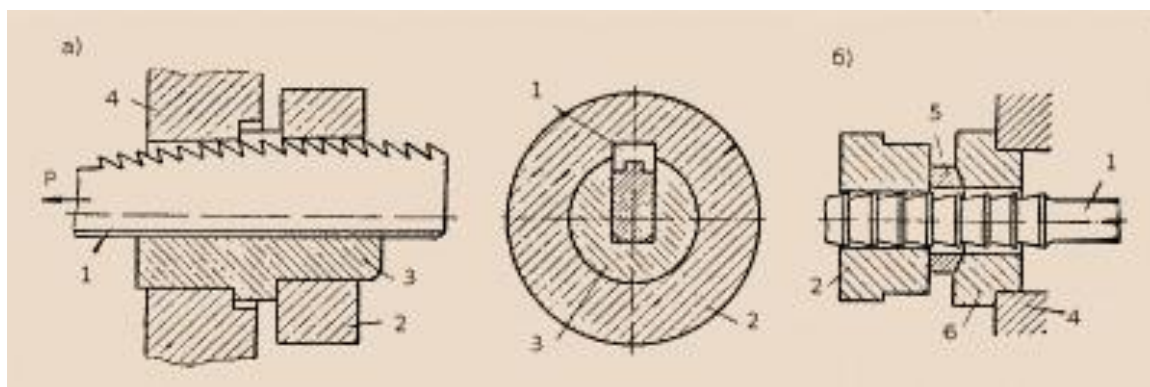


Рис.6.59. Протягивание отверстий:

а — шпоночной канавки; б — круглого отверстия: 1 — протяжка; 2 — заготовка; 3 — направляющая втулка; 4 — упорный кронштейн станины станка; 5 — сферическая подкладка; 6 — втулка-седло под сферическую подкладку 5.

Протяжные станки отличаются простой конструкцией и большой жёсткостью, что объясняется тем, что в станках отсутствует цепь движения подачи (рис.6.60 и рис.6.61). Основной характеристикой протяжного станка является тяговое усилие на штоке рабочего цилиндра.



Рис.6.60. Вертикально-протяжной станок



Рис.6.61. Горизонтально-протяжной станок

Сверление. Процесс ЛОР цилиндрических отверстий с прямолинейной образующей называется сверлением. В этом процессе главное движение – вращательное - придаётся инструменту, а движение подачи – прямолинейное – придаётся инструменту вдоль оси его вращения.

В зависимости от вида обработанной и обрабатываемой поверхностей, а также от качества обработанной поверхности различают:

- сверление (рис.6.62, а) для получения сквозных и глухих отверстий;
- рассверливание (рис.6.62, а) для увеличения диаметра ранее просверленного отверстия;
- зенкерование (рис.6.62, б) также увеличивает диаметр отверстия, но достигается большая точность и производительность обработки, особенно отверстий полученные в заготовке методом литья или давления;
- развёртывание (рис.6.62, в) – чистовая операция, обеспечивающая высокую точность отверстия;
- зенкование (рис.6.62, г) – обработка заготовки цилиндрическими и коническими углублениями под головку болтов и винтов;
- цекование (рис.6.62, д) - обработка торцовых опорных плоскостей для головок болтов, винтов и гаек.

Процесс сверления протекает в более тяжёлых условиях, чем точение. В процессе резания затруднены отвод стружки и подача охлаждающей жидкости в зону резания. Выделяемая при резании теплота в основном поглощается режущим инструментом и заготовкой. Особенно это заметно

при сверлении отверстий в материалах, характеризующихся низким коэффициентом теплопередачи (пластмассы, бетон и др.). при обработке этих материалов до 95 % выделяемой теплоты поглощается сверлом, и если не использовать охлаждение, то произойдёт оплавление режущих кромок сверла. Скорость резания по сечению сверла непостоянна, она уменьшается от периферии сверла к его центру. Следовательно, по сравнению с точением при сверлении увеличены деформации срезаемого слоя и стружки; трение в парах сверло – заготовка; стружка – сверло; стружка – заготовка.

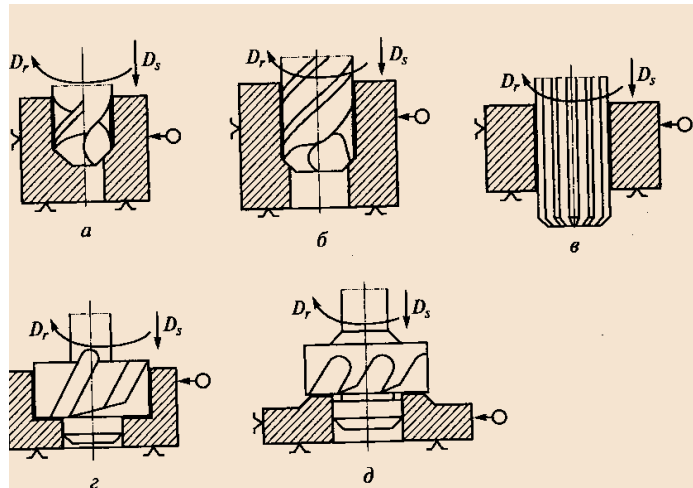


Рис.6.62. Основные технологические схемы сверления:

а – сверление и рассверливание; б – зенкерование; в – развёртывание; г - зенкования; д – цекование; D_r – главное движение резания; D_s – движение подачи; \rightarrow - направление движения D_r и D_s

На рис.6.63 представлены станки сверлильной группы.

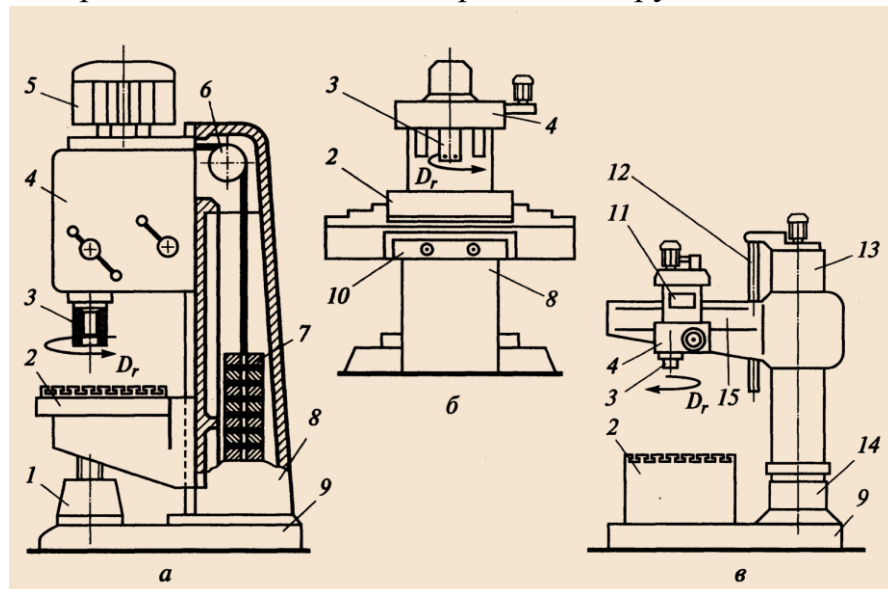


Рис.6.63. Станки сверлильной группы:

а – вертикально-сверлильный; б – вертикально-сверлильный с ЧПУ; в – радиально-сверлильный; 1 – домкрат; 2 – стол; 3 – шпиндель; 4 – сверлильная головка; 5 – электродвигатель; 6 – блок; 7 – противовес; 8 – вертикальная станина (колонна); 9 – фундаментная плита; 10 – салазки; 11 – коробка скоростей; 12 – винтовой механизм; 13 – гильза; 14 – тумба; 15 – траверса; \rightarrow - направление главного движения D_r

На рис.6.64 изображена фотография вертикально-сверлильного станка с ЧПУ.



Рис.6.64. Вертикально-сверлильный станок с ЧПУ

В единичном и мелкосерийном производстве применяются вертикально-сверлильные станки (рис.6.63, а). В индивидуальном и серийном производстве широко применяют вертикально-сверлильные станки с числовым программным управлением (рис.6.63, б). При последовательной обработке нескольких отверстий в массивных или крупногабаритных заготовках, когда практически невозможно точно совместить ось вращения режущего инструмента с осью обрабатываемого отверстия, применяют радиально-сверлильные станки.

Фрезерование – один из высокопроизводительных и распространённых методов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом – фрезой. Процесс ЛОР плоских и фасонных плоскостей с линейной образующей называется фрезерованием. В этом процессе главное движение – вращательное – придаётся инструменту, а движение подачи – поступательное прямолинейное - придаётся заготовке в направлениях вдоль и перпендикулярно оси вращения инструмента.

Особенностями процесса фрезерования является прерывистый характер процесса резания каждым зубом фрезы и переменность толщины срезаемого слоя. Каждый зуб фрезы участвует в резании только на определённой части

оборота фрезы, остальной ход по воздуху зуб совершает вхолостую, этим обеспечивается его охлаждение и дробление стружки.

На фрезерных станках обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различных профилей (рис.6.65).

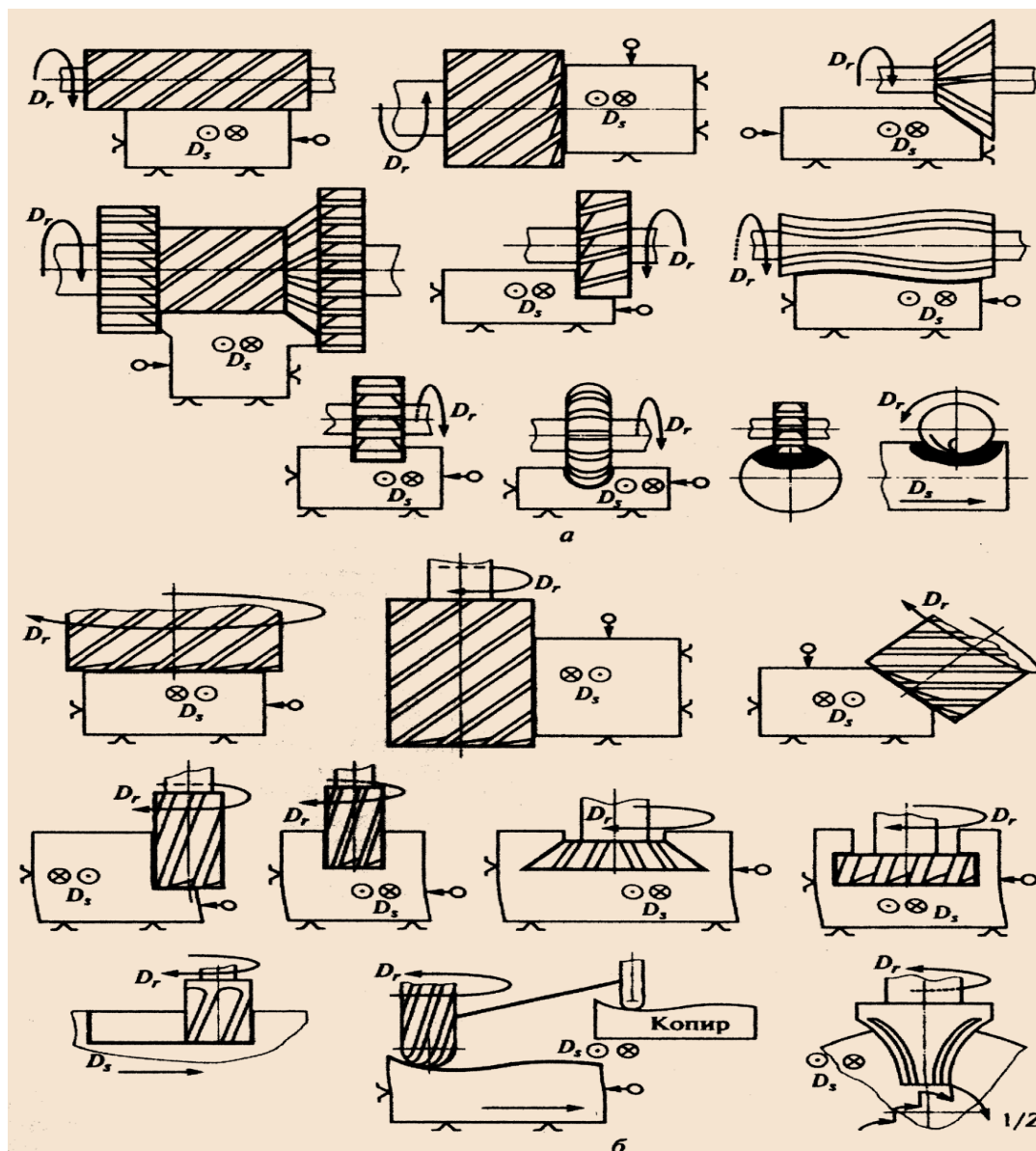


Рис.6.65. Технологические схемы фрезерования на станках:

а – горизонтально-фрезерных; б – вертикально-фрезерных;

D_r – главное движение резания; D_s – движение подачи; $1/Z$ – делительный поворот заготовок; \rightarrow - направление движения D_r и D_s

Типы фрезерных станков. Конструкции фрезерных станков многообразны. Выпускаются станки универсальные, специализированные и специальные (рис. 6.66).

Горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол, называют универсальными.

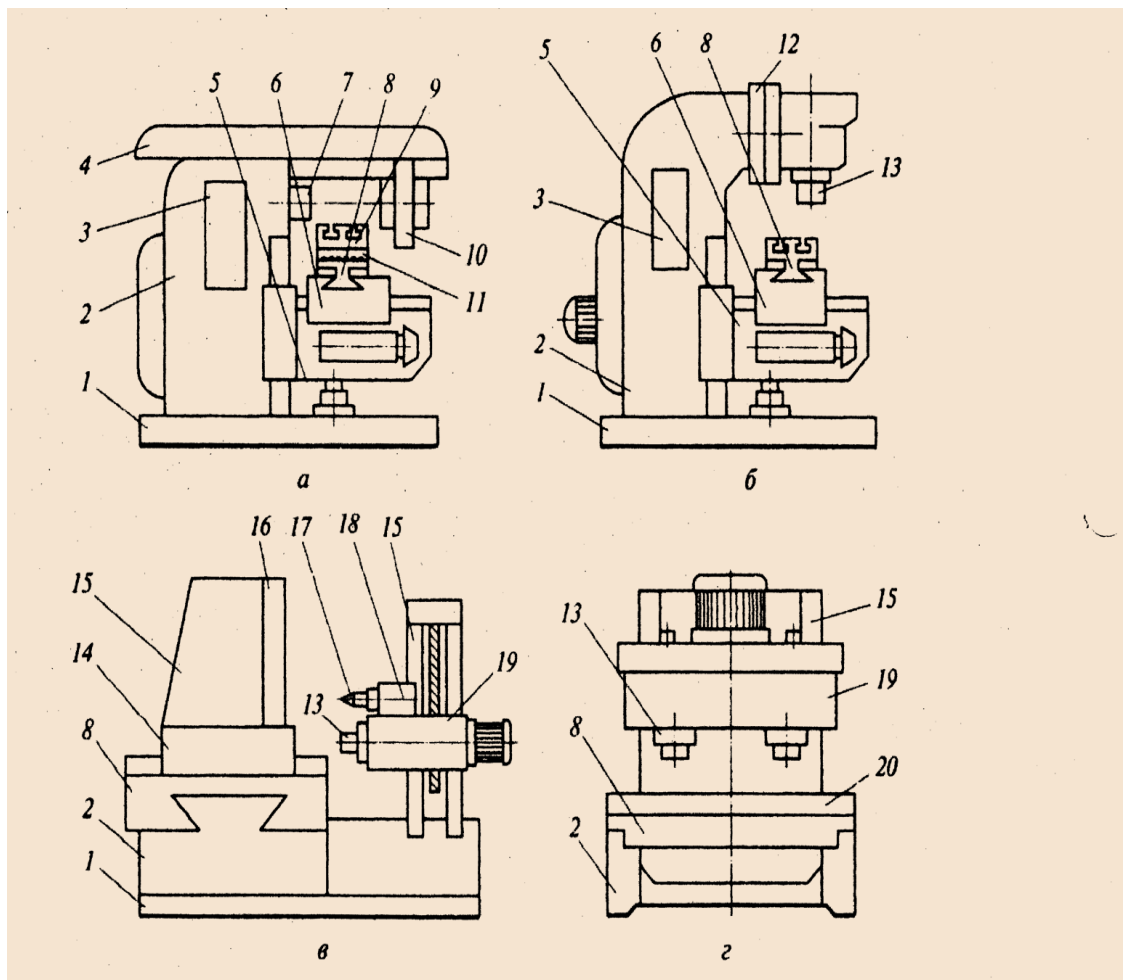


Рис.6.66. Станки фрезерной группы:

а – горизонтально-фрезерный; б – вертикально-фрезерный; в – копировально-фрезерный; г – карусельно-фрезерный;

1 – фундаментная плита; 2 – станина; 3 – коробка скоростей; 4 – хобот; 5 – консоль;
 6 – продольные салазки; 7 – шпиндельный узел; 8 – поперечные салазки; 9 – стол; 10 – серьга; 11 – поворотные салазки; 12 – поворотная планшайба; 13 – шпиндель; 14, 16 – стол; 15 – стойка; 17 – шуп; 18 – следящий привод; 19 – фрезерная головка (бабка); 20 – карусель

Типы фрез. В зависимости от назначения и вида обрабатываемых поверхностей различают следующие типы фрез (рис.6.67): цилиндрические, торцовые, дисковые, угловые, шпоночные, фасонные.

Фрезы изготовляют цельными или сборными. Режущие кромки могут быть прямыми или винтовыми. Цельные фрезы изготовляют из инструментальных сталей. У сборных фрез зубья (ножи) выполняют из быстрорежущих сталей или оснащают пластинками из твёрдых сплавов и закрепляют в корпусе фрезы пайкой или механически.

Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках (рис.6.68) цилиндрическими фрезами и на вертикально-фрезерных станках (рис.6.69, рис.6.70) торцовыми фрезами. Цилиндрическими фрезами целесообразно обрабатывать горизонтальные плоскости шириной до 120 мм. В большинстве случаев плоскости удобнее обрабатывать торцовыми фрезами вследствие большой жёсткости их крепления в шпинделе и более плавной

работы, так как число одновременно работающих зубьев торцевой фрезы больше числа зубьев цилиндрической фрезы.

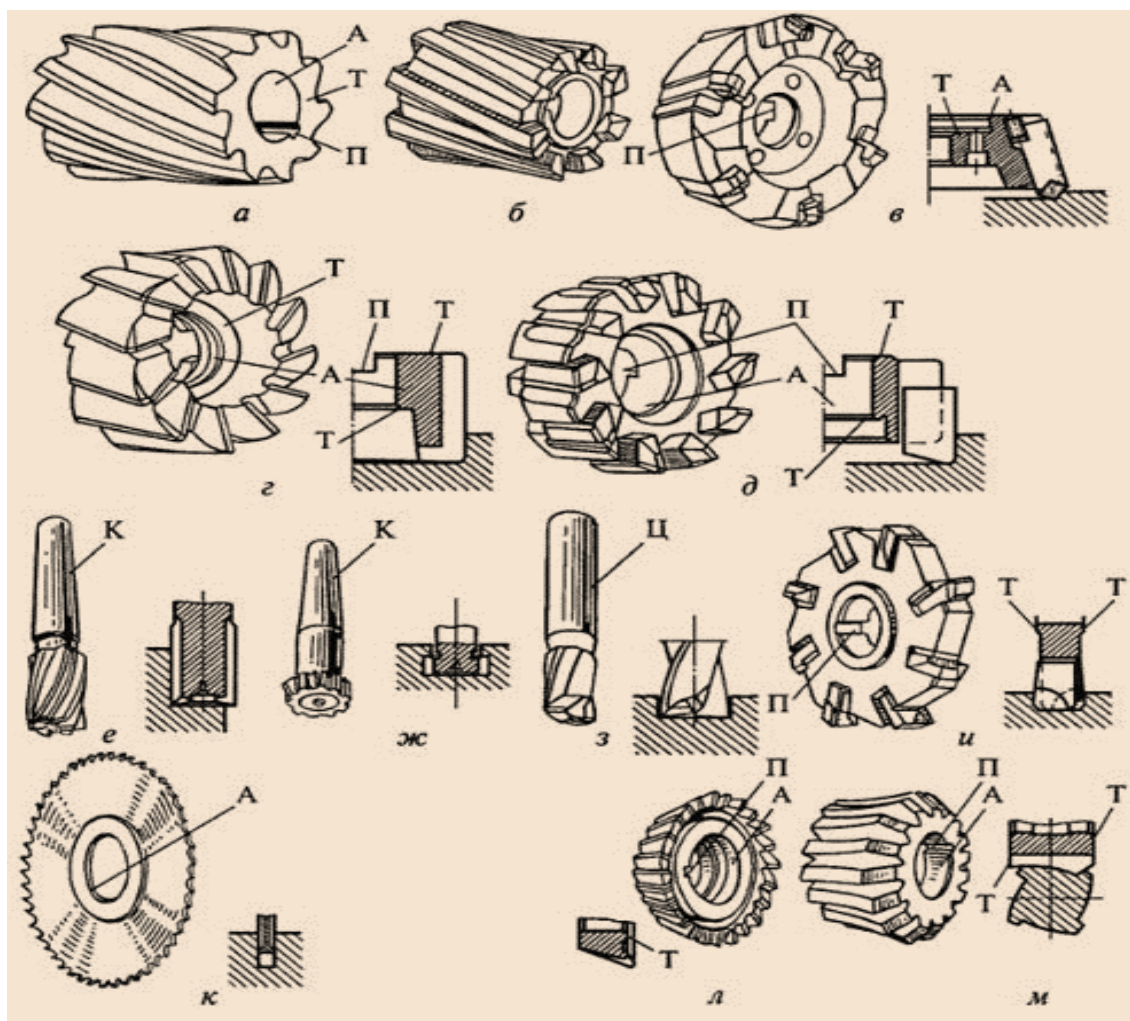


Рис.6.67. Основные типы фрез:

а,б – цилиндрические; в,г,д – торцовые; е,ж – концевые; з – шпоночные; и – дисковые двух- и трёхсторонние; к – прорезные и отрезные; л – угловые; м – фасонные; А – насадные фрезы, имеющие цилиндрические или конические отверстия; Т – торцовые базы крепления фрез; П – фрезы с продольными и поперечными шпоночными пазами; К и Ц – концевые фрезы с коническими и цилиндрическими хвостовиками

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцовыми фрезами и торцовыми фрезерными головками, а на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами.

Наклонные плоскости и скосы фрезеруют торцовыми и концевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная головка со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости (рис.6.71).

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез на горизонтально-фрезерных станках.

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют концевыми и дисковыми фрезами на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках.



Рис.6.68. Горизонтально-фрезерный станок с ЧПУ



Рис.6.69. Вертикально-фрезерный станок



Рис.6.70. Работа на фрезерном станке



Рис.6.71. Универсальный вертикально-фрезерный станок с поворотной шпиндельной головкой X6432

Уступы и пазы целесообразнее фрезеровать дисковыми фрезами (рис.6.72), так как они имеют большое число зубьев и допускают работу с большими скоростями резания.



Рис.6.72. Набор дисковых фрез

Фасонные пазы фрезеруют фасонной дисковой фрезой, *угловые* пазы - одноугловой и двухугловой фрезами на горизонтально-фрезерных станках (рис.6.73).

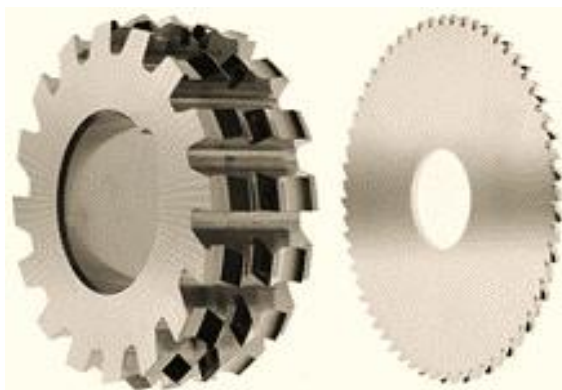


Рис.6.73. Дисковые фасонные фрезы

Паз клиновой фрезеруют на вертикально-фрезерном станке за два прохода: прямоугольный паз – концевой фрезой, затем скосы паза – концевой одноугловой фрезой (рис.6.74). Т – образные пазы, которые широко применяют в машиностроении как станочные пазы, например, на столах фрезерных станков.

Шпоночные пазы фрезеруют концевыми или шпоночными фрезами (рис.6.75) на вертикально-фрезерных станках. Точность получения шпоночного паза – важное условие при фрезеровании, так как от неё зависит характер посадки на шпонку сопрягаемых с валом деталей. Фрезерование шпоночной фрезой обеспечивает получение более точного паза; при переточке по торцовым зубьям диаметр шпоночной фрезы практически не изменяется.

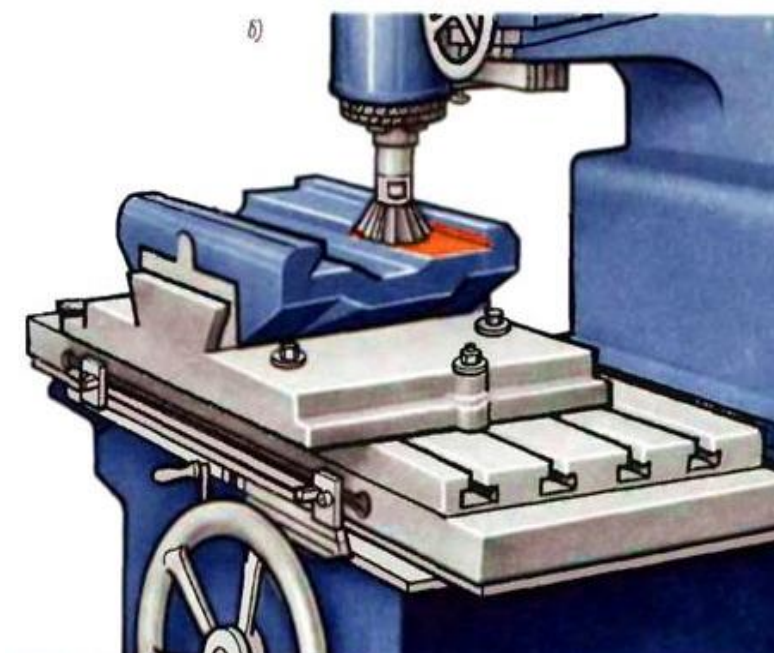


Рис. 6.74. Обработка паза одноугловой концевой фрезой

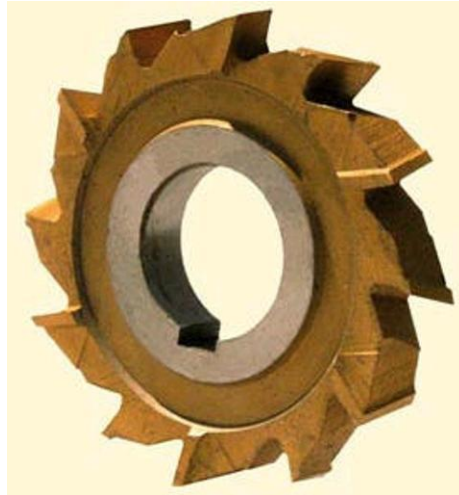


Рис.6.75. Шпоночная фреза

Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей фрезеруют на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках фасонными фрезами соответствующего профиля.

Фрезерование цилиндрических зубчатых колёс на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках модульными фрезами (рис.6.76).

Фрезерование поверхности заготовок большой массы и размеров (типа станины, корпусов, коробок передач, рамных конструкций и т. п.) на продольно-фрезерных станках (рис.6.77) торцовыми и концевыми фрезами (рис.6.78). Продольно-фрезерные станки строят одностоечными и двухстоечными с длиной стола 1250 – 12000 мм и шириной 400 – 5000 мм. Шпиндель каждой фрезерной головки при наладке станка может выдвигаться в осевом направлении 100...200 мм. Вследствие отсутствия консоли станки этого типа имеют большую жёсткость, что позволяет работать на повышенных режимах резания.

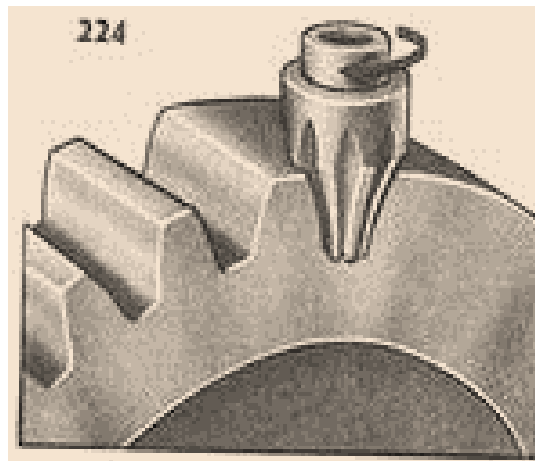


Рис.6.76. Фрезерование пальцевой модульной фрезой



Рис.6.77. Продольно-фрезерный станок

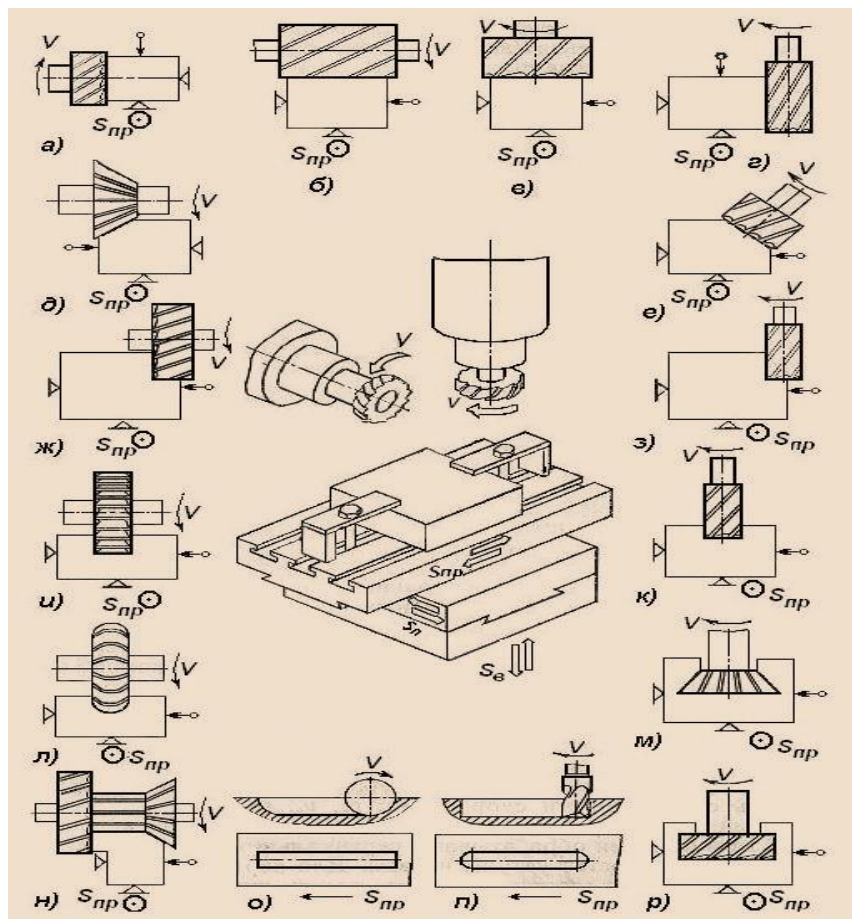


Рис.6.78 Типы фрез и схемы обработки поверхностей на фрезерных станках:

- а, в, е – торцовые; б – цилиндрическая; г, з, к – концевые; д – угловая;
- ж – дисковая; двухсторонняя; и – дисковая трехсторонняя; л – фасонная;
- м – «ласточкин хвост»; н – набор фрез; о – прорезная; от резная;
- п – шпоночная; р – Т-образная

Резьбонарезание. Нарезание резьбы – одна из распространённых операций в машиностроении. Наружные и внутренние резьбы наиболее просто выполнять на токарно-винторезном станке токарно-резьбовыми (рис.6.79) или фасонными (резьбовыми) резцами (рис.6.80, рис.6.81).

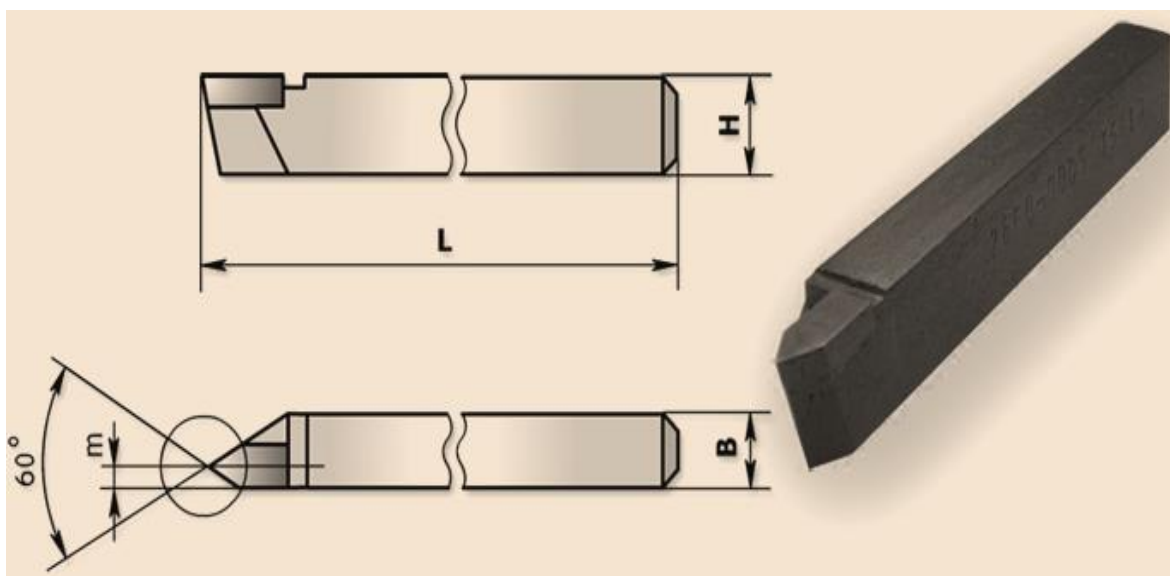


Рис.6.79. Резцы токарные резьбовые предназначенные для нарезания наружной резьбы

На рис.6.80 показана схема нарезание наружной метрической резьбы токарным резьбовым резцом.

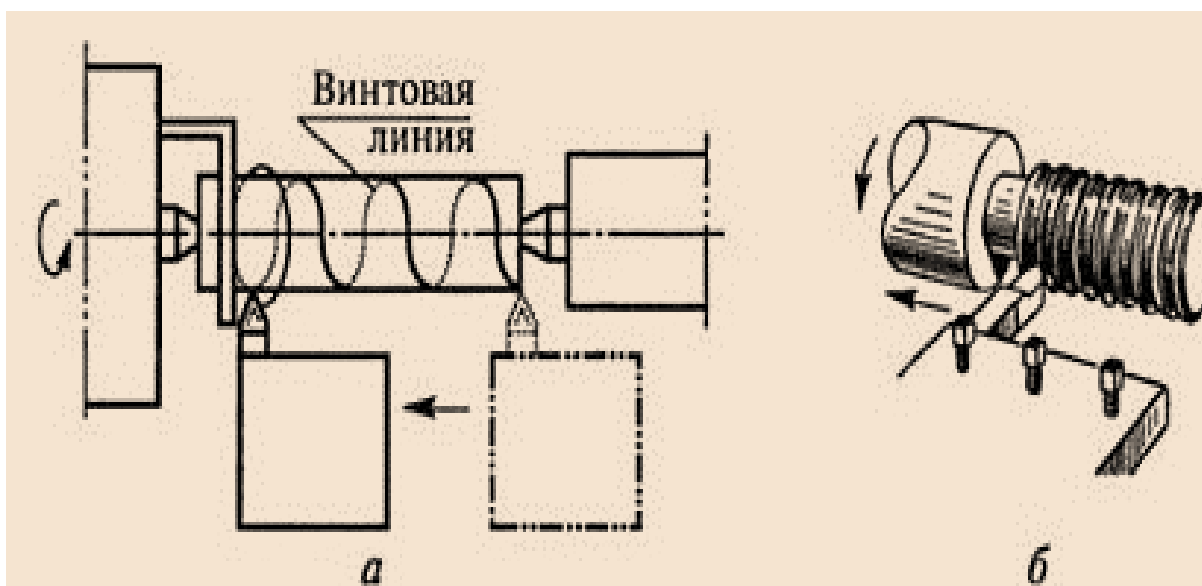


Рис. 6.80. Нарезание резьбы токарным резьбовым резцом:

а – схема движения инструмента и заготовки; б – нарезание однозаходной резьбы



Рис.6.81. Фасонные (резьбовые) резцы

Резьбовые резцы имеют профиль, соответствующий профилю нарезаемой резьбы. Скорость движения продольной подачи должны быть равна шагу резьбы. Нарезание резьбы проводится за несколько рабочих ходов. Чаще всего резец устанавливают перпендикулярно оси центров станка и оба его лезвия режут одновременно и снимают симметричные стружки.

Наружные резьбы часто нарезают плашками. Плашки представляют собой гайку, в которой с помощью отверстий образованы режущие зубья (рис.6.82).



Рис.6.82. Набор плашек для нарезания наружной резьбы

Пример нарезание наружной резьбы плашками показано на рис.6.83.

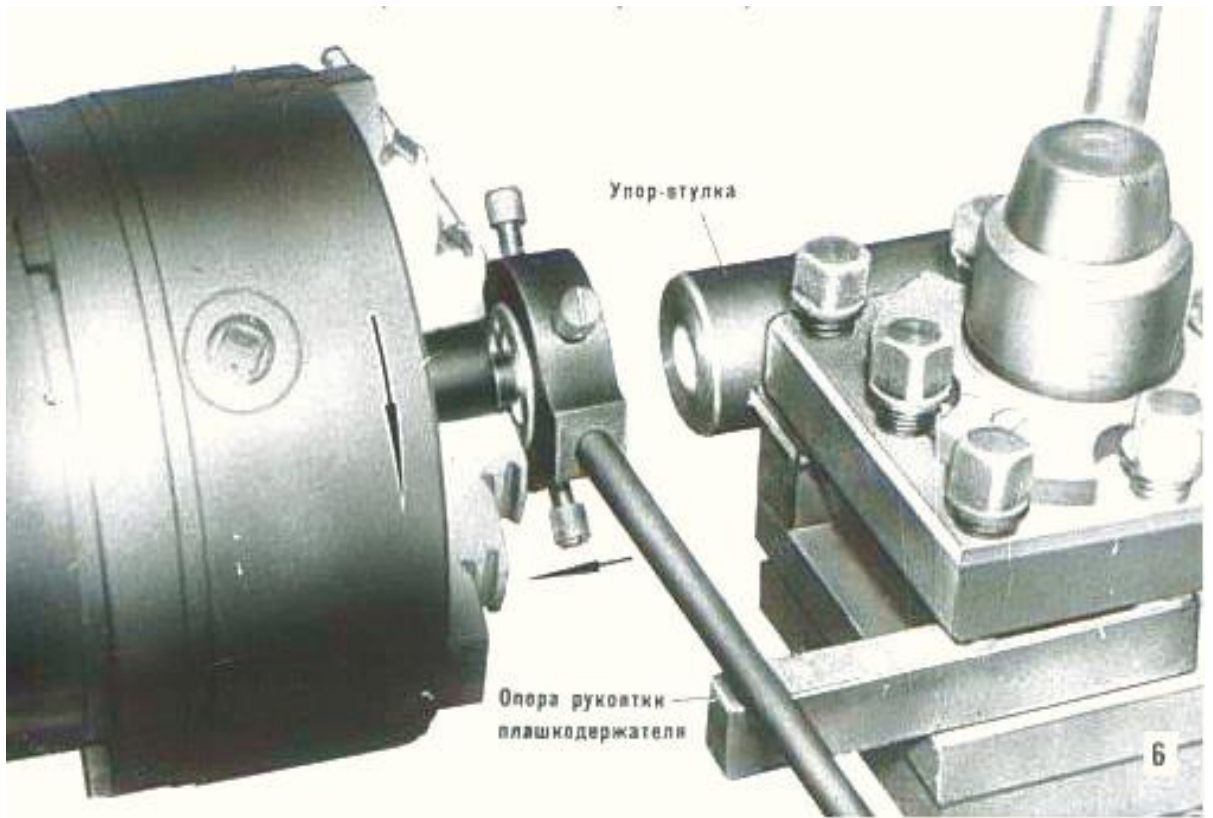


Рис.6.83. Нарезание резьбы плашкой с применением упора-штулки, закреплённого в резцедержателе

Внутренние резьбы часто нарезают метчиком (рис.6.84), который представляет собой винт, снабжённый одной или несколькими продольными канавками, образующими режущие кромки и передние поверхности на его зубьях. Пример нарезание внутренней резьбы метчиком показано на рис.6.85.



Рис. 6.84. Набор метчиков для нарезания внутренних резьб



Рис.6.85. Нарезание внутренней резьбы метчиком

В технике используют разнообразные типы резьб. Они могут быть наружными и внутренними, цилиндрические и конические, правыми и левыми, однозаходные и многозаходные, а также метрическими, дюймовыми, модульными. Кроме того, по форме профиля резьбы бывают треугольными, прямоугольными, трапецидальными, круглыми др. (рис.6.86). Наибольшее распространение в крепёжных соединениях получила метрическая цилиндрическая резьба.

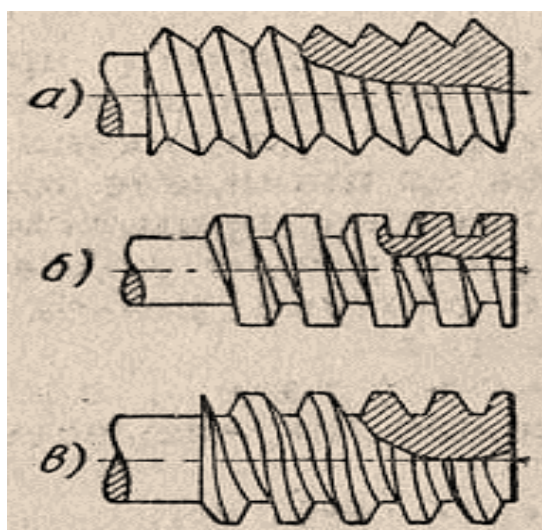


Рис.6.86. Профиль резьбы:
а – треугольная резьба; б – прямоугольная ; в – трапецидальная

На рис.6.87 показан токарно-резьбовой станок.

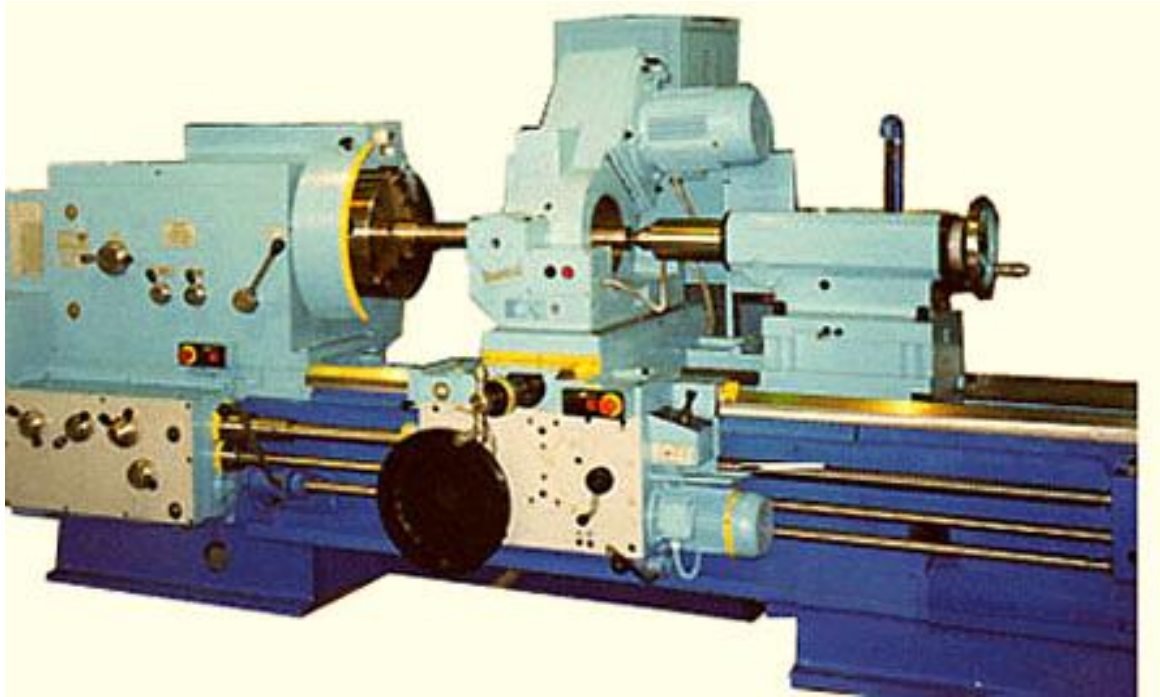


Рис.6.87. Станок для нарезания любого профиля резьбы

Контроль резьбовых соединений. Резьбовые соединения контролируются комплексным методом или по элементам. При комплексном измерении определяется сумма погрешностей отдельных элементов резьбы. Для этого используются **специальные резьбовые калибры** - резьбовые пробки и кольца (рис.6.88). Признак правильности проверяемого резьбового соединения - свободное навинчивание проходной стороны и невозможность навинчивания для непроходной стороны.



Рис.6.88. Специальные резьбовые калибры

Наружную резьбу (винт, болт) проверяют резьбовыми *кольцами или скобами*, внутреннюю (гаек, втулок и т. д.) - *резьбовыми пробками*.

Резьбовые калибры-пробки изготавливаются цельными и со вставками на коническом хвостовике. Так же как и гладкие калибры, резьбовые калибры имеют длинную резьбовую часть проходную, а короткую - непроходную. Длина резьбовой части непроходного калибра имеет 3 – 5,5 витка. Проходной калибр имеет полный профиль. Кроме того, непроходная часть калибра снабжена на конце гладкой цилиндрической направляющей. **Цельные резьбовые калибры** предназначены для измерения небольших диаметров, а для измерения больших диаметров служат вставные пробки с коническим хвостовиком.

Резьбовые калибры-кольца изготавливаются двух видов - жесткие (нерегулируемые) и регулируемые. Проходные нерегулируемые кольца имеют резьбу по всей ширине, а у непроходных – укороченный профиль резьбы. Регулируемые кольца имеют ролики, за счет которых можно регулировать износ. Следует отметить, что регулируемые кольца более экономичны в эксплуатации, так как допускают возможность многократных регулировок. Резьбовые скобы несравненно производительнее в работе, чем резьбовые кольца.

В производственной практике для проверки наружной резьбы часто используются роликовые резьбовые скобы (рис.14.89), состоящие из корпуса, двух парных проходных роликов и двух парных непроходных роликов. Все ролики легко вращаются на валиках. Проходные ролики имеют полную нарезку (не менее 8 витков профиля), а у непроходных роликов профиль несколько короче, а число витков на одном ролике два, а на противоположном один.

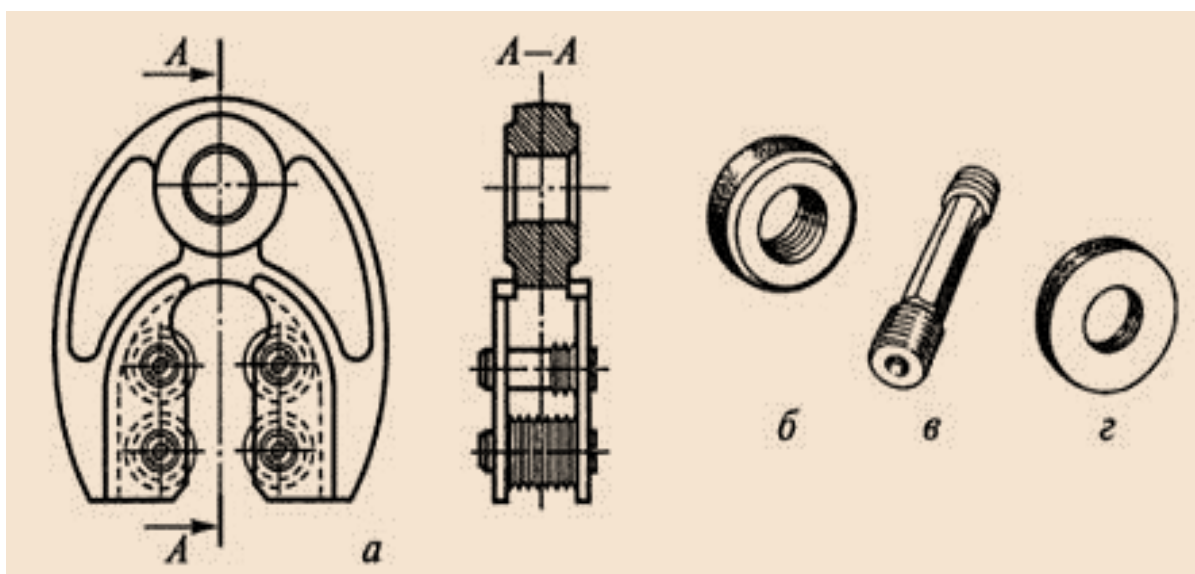


Рис.6.89. Резьбовые калибры:

а – предельная резьбовая роликовая скоба; б – проходное кольцо; в – резьбовой калибр; г – непроходное кольцо

Недостатком резьбовых роликовых скоб является их деформация, приводящая к несколько увеличенным погрешностям измерения. Однако они имеют и преимущества: их легко устанавливать непосредственно на детали, обрабатываемые на станке, легко контролировать и регулировать при износе, а также они обеспечивают высокую производительность.

Наряду с совершенствованием технологических процессов все более широко совершенствуются средства контроля, которые автоматизируются и механизмируются.

Обработка заготовок зубчатых колёс на зуборезных станках. Нарезание зубчатого венца по своей кинематике является наиболее сложной операцией, в процессе которой резанием необходимо удалить большой объём металла из впадины между зубьями. На рис.6.90 показаны зубчатые венцы, обработанные на зубонарезных станках.

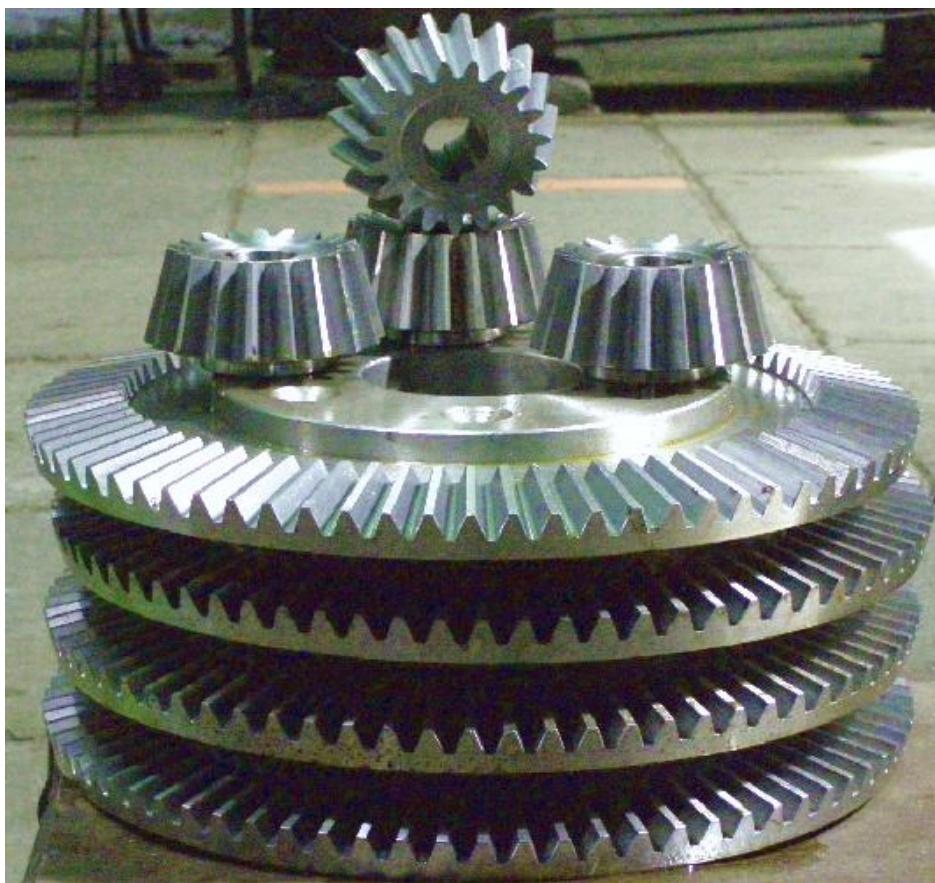


Рис.6.90. Готовые зубчатые венцы, обработанные на зуборезных станках

На рис.6.91 показан зуборезный станок. Обработка зубьев производится торцовой зуборезной головкой (рис.14.92).

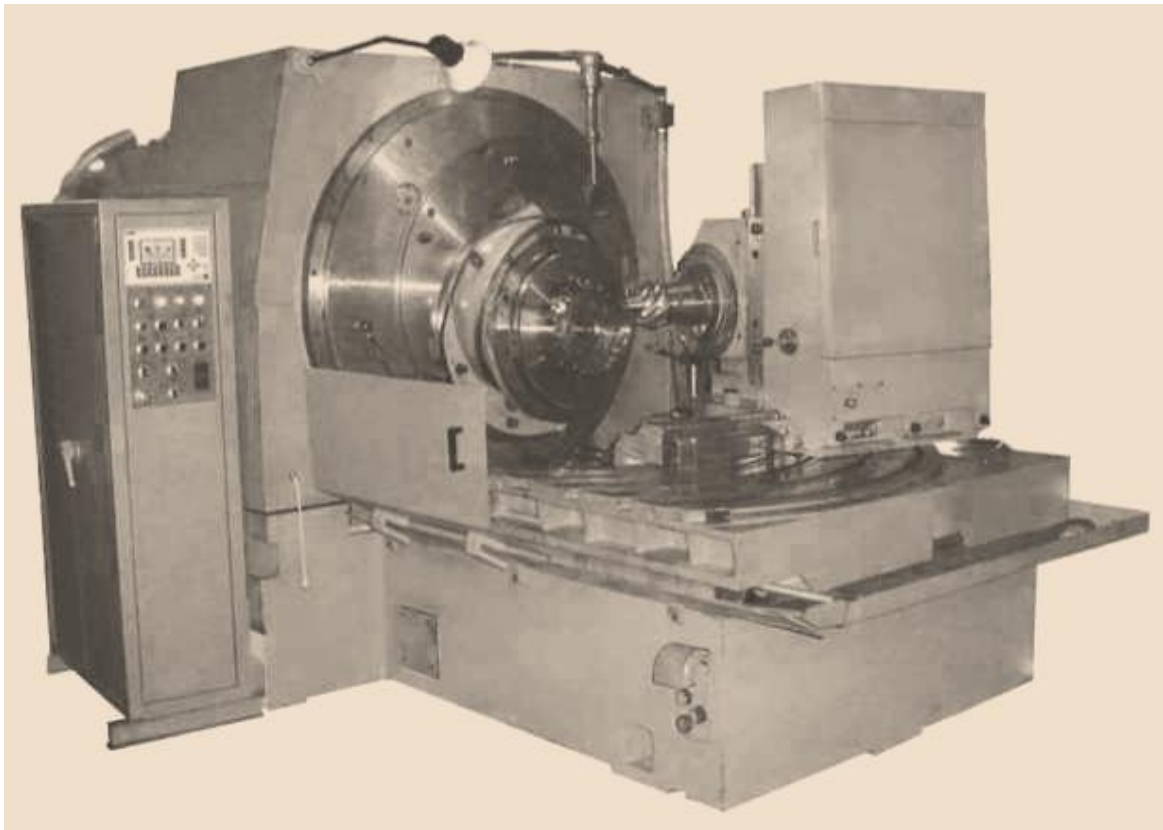
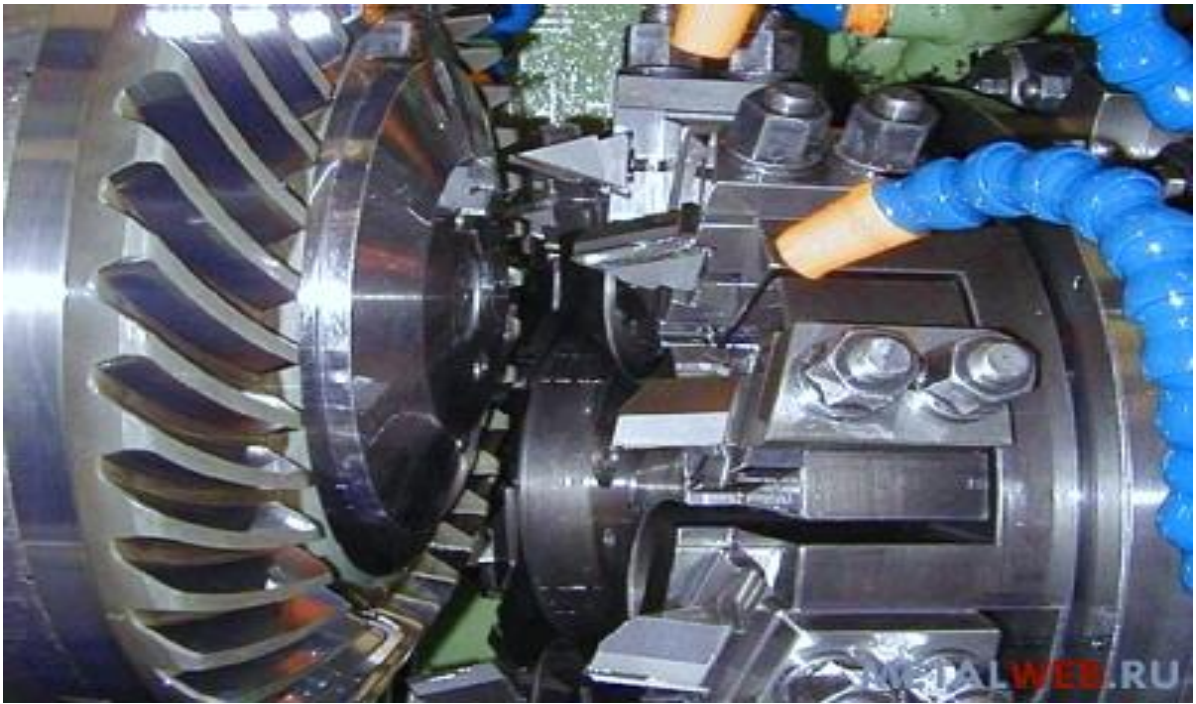


Рис.6.91. Зуборезный станок с ЧПУ.



Рис.6.92. Круговая резцовая головка

На рис.6.93, а, б приведены примеры нарезание конических зубчатых колёс круговой резцовой головкой.



а)



б)

Рис.6.93. Нарезание конических зубчатых колёс круговой резцовой головкой

Различают два метода формирования рабочего профиля зубьев: **копирование** и **обкатка**. Обработка цилиндрических зубчатых колёс фрезерованием **методом копирования** модульными фрезами основана на профилировании зубьев фасонным инструментом, модульной дисковой или пальцевой фрезой (рис.6.94). В методе копирования нарезания колёс внешнего зацепления режущим инструментом – дисковой фрезой проводится на горизонтальных или универсально-фрезерных станках (рис.6.95).

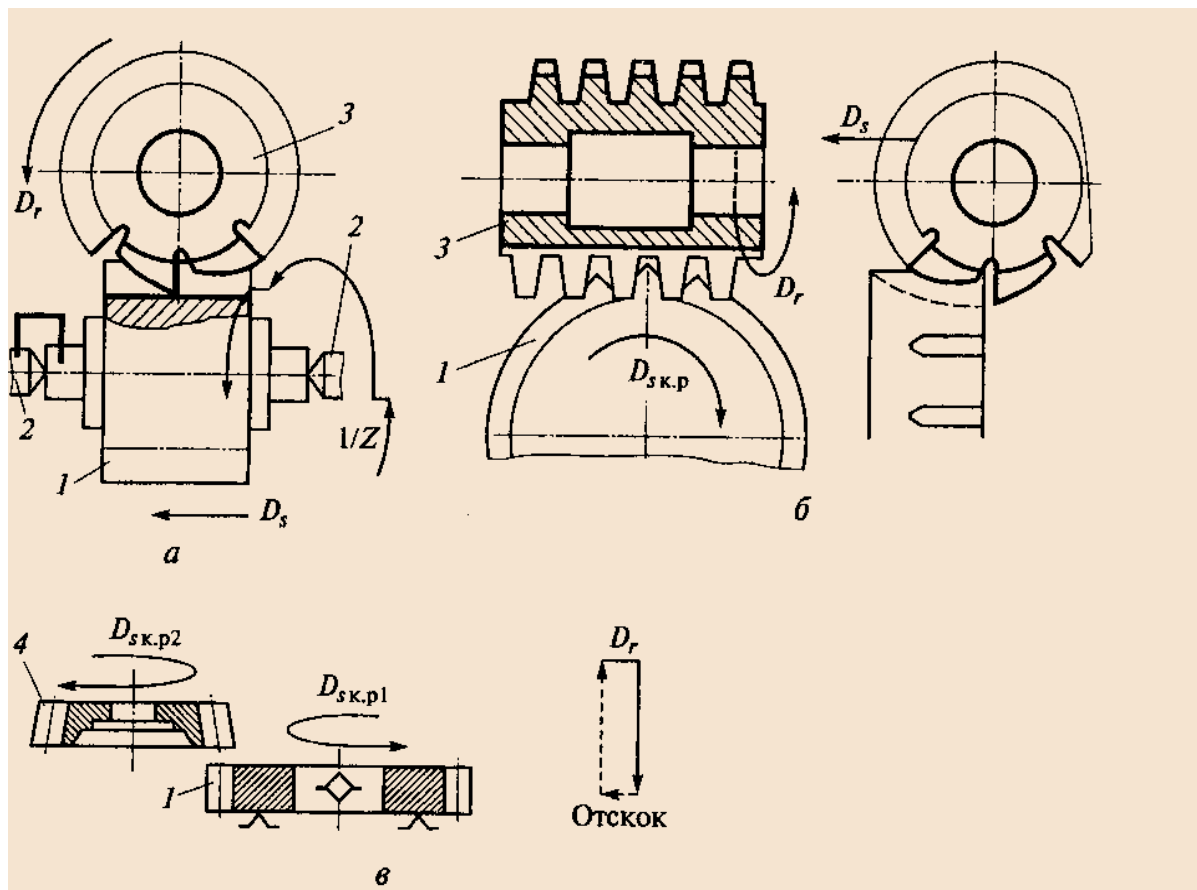


Рис.6.94. Обработка цилиндрических зубчатых колёс фрезерованием методами копирования (а), обкатки (б) и долбления (в):

1 – заготовка; 2 – центр; 3 – дисковая или червячная фреза; 4 – долбяк; D_r – главное движение резания; D_s – движение подачи; $D_{ск.р}$, $D_{ск.р1}$, $D_{ск.р2}$, -- обкатные движения; $1/Z$ – делительный поворот; \rightarrow – направление движения

Заготовка 1 устанавливается в центрах 2 универсальной делительной головки. В процессе фрезерования впадины между зубьями колеса фрезе сообщают вращательное движение резания, а заготовке – движение продольной подачи. После прорезания одной впадины заготовка поворачивается на угол, равный шагу между зубьями $1/Z$, -- это так называемый делительный поворот. Теоретически для каждого модуля и числа зубьев требуется отдельная модульная фреза, каждая из которых может быть использована для нарезания колёс данного модуля в определённом интервале зубьев. Деление заготовки производится механической

делительной головкой, поэтому нарезаемый зубчатый венец имеет большую погрешность по шагу. Метод малопроизводителен и имеет низкую точность. Метод используется при нарезании зубчатых венцов в ремонтных мастерских, в единичном производстве или при нарезании крупномодульных колёс.

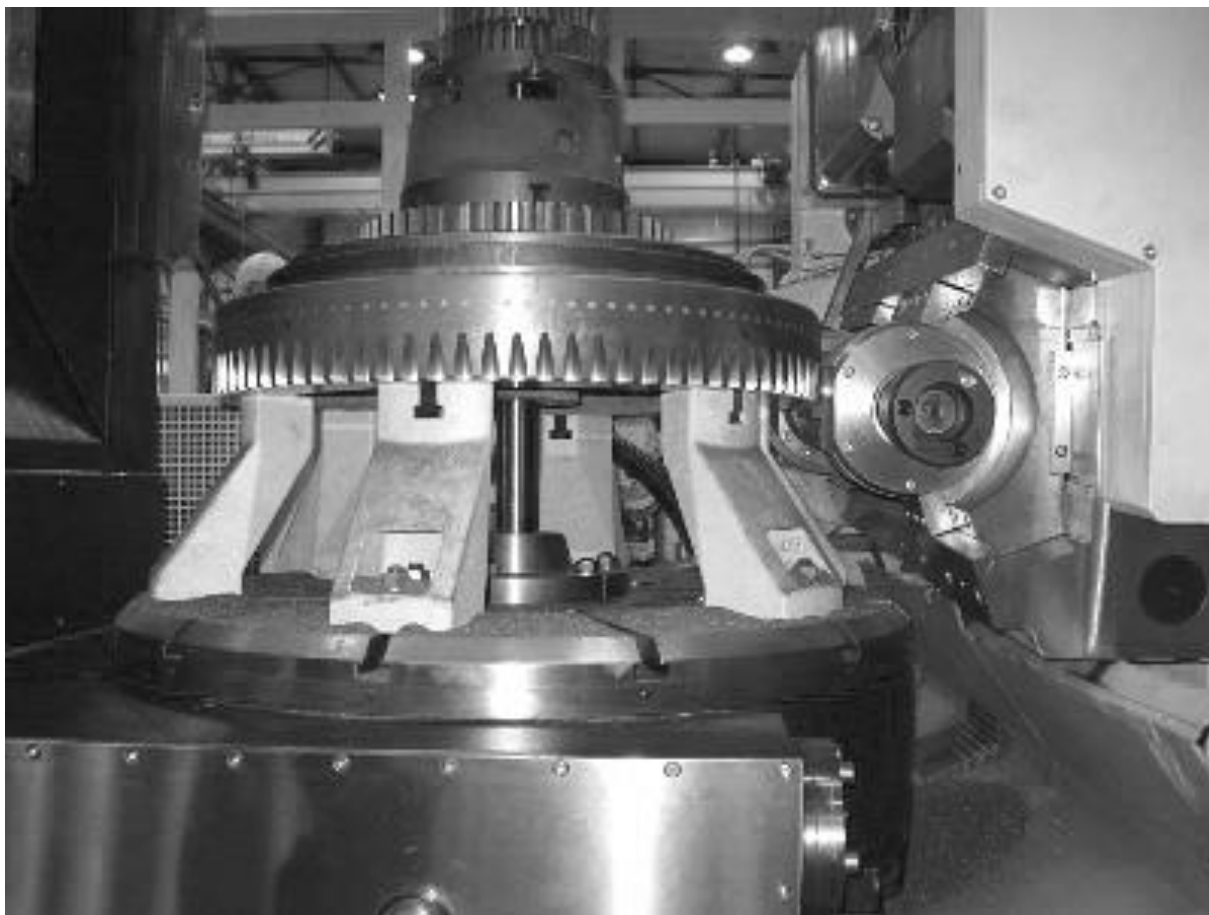


Рис.6.95. Вертикальный копировальный зубофрезерный станок

Обработка зубчатых колёс **червячными фрезами методом обкатки** (рис.6.94,6) основана на имитации зацепления рейка – колесо. Режущий инструмент (червячная фреза 3) представляет собой рейку с зубьями, расположенными по винтовой линии (при вращении инструмента имитируется осевое перемещение рейки). Для кинематического обеспечения имитации реечного зацепления заготовки 1 придаётся обкатанное движение $D_{sk,p}$. Применение прецизионных фрез и жёсткого высокоточного оборудования с ЧПУ позволяет получить высокую степень точности (рис.6.95).



Рис.6.96. Вертикальные обкаточные зубофрезерные станки

Обработка зубчатых колёс **долблением** основана на имитации зацепления шестерня – колесо (рис.6.94, в). Режущий инструмент (долбяк 4) представляет собой зубчатое колесо, зубья которого имеют эвольвентный профиль. Для исключения возможности трения между задними поверхностями зуба долбяка и обратной поверхностью долбяка при обратном ходе отводят от заготовки на $0,1 \dots 0,2$ мм (величина отскока). Зубодолбление – наиболее универсальный метод нарезания цилиндрических колёс. Он позволяет нарезать прямо- и косозубые колёса, колёса внешнего и внутреннего зацепления (рис.6.97). По производительности зубодолбление уступает зубофрезерованию червячными фрезами.



Рис.6.97. Обработка зубчатых колёс долблением

В основу зубострогания методом обкатки положено зацепление двух конических зубчатых колёс, одно из которых плоское. Нарезаемое коническое колесо 1 (рис.6.98, а) находится в зацеплении с производящим плоским коническим колесом 2, зубья которого имеют форму кольцевой рейки. Для имитации производящего колеса используют два строгальных резца 4, образующих впадину между зубьями. Строгальные резцы перемещаются по направляющим люльки 3, вращающейся вокруг оси производящего колеса (Dsk.p). Резцы попеременно совершают возвратно-поступательные движения по направлению к вершине конусов производящего колеса и заготовки. Для кинематического обеспечения имитации зубчатого зацепления заготовке придаётся возвратно-качательное движение (Dsk.p1). в результате сложения главного и обкатного движения на заготовке образуется две неполные впадины и один полностью обработанный зуб. После нарезания одного зуба заготовка отводится от резцов. Направление вращения люльки с резцами и заготовки изменяются, затем они возвращаются в исходное положение (холостой ход). Способ позволяет нарезать прямые зубья и используется в мелкосерийном и

серийном производстве. На рис.6.99 показан станок для обработки зубчатых колёс зубостроганием.

Конические колёса с круговыми зубьями нарезают по методу обкатки резцовыми головками рис.6.98, б.

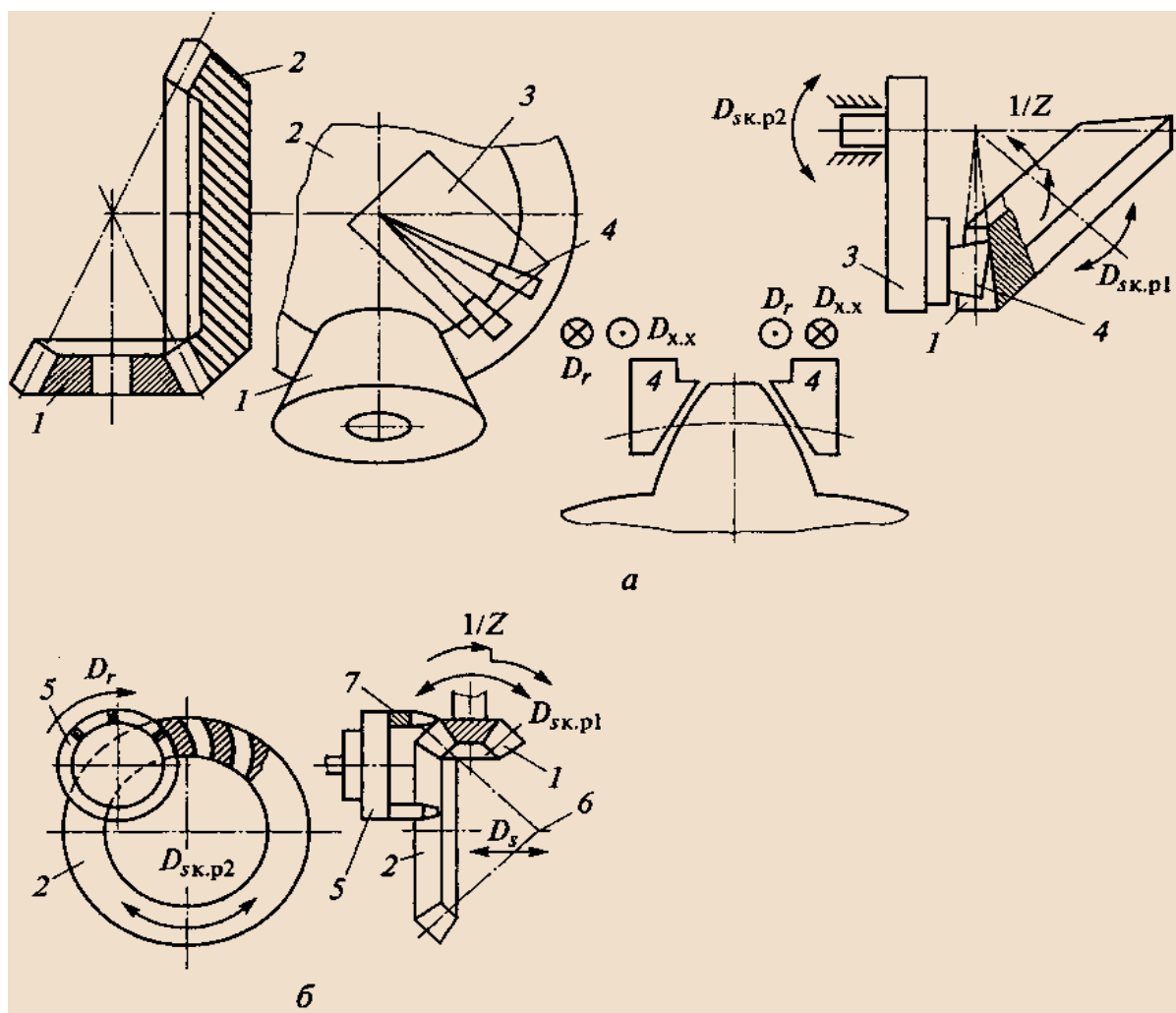


Рис.6.98. Обработка конических зубчатых колёс зубостроганием (а) и круговой резцовый головкой (б):

1 – нарезаемое коническое колесо; 2 – производящее плоское коническое колесо; 3 – люлька; 4 – строгольные резцы; 5 – резцовая головка; 6 – ось производящего колеса; 7 – резец; D_r – главное движение резания; D_s – движение подачи; $D_{x,x}$ – движение холостого хода; $D_{ск.р1}$, $D_{ск.р2}$ – обкатные движения; $1/Z$ – делительный поворот; \rightarrow – направление движения D_r , D_s , $D_{x,x}$

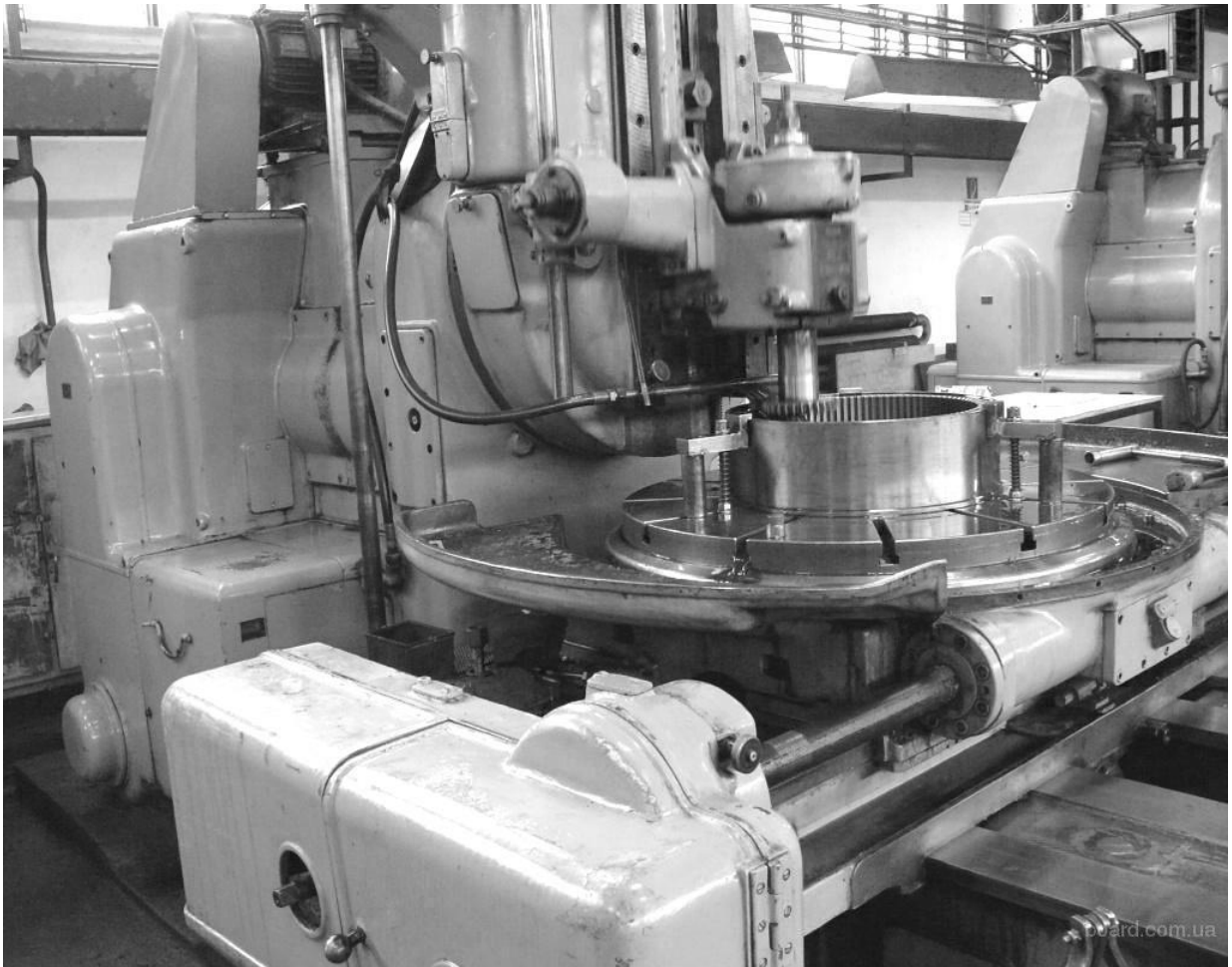


Рис.6.99. Обработка зубчатых колёс зубостроганием

6.6 Абразивная обработка деталей машин, шлифование

Основные характеристики твердых составляющих абразивно-полировальных материалов

Основными характеристиками абразивного материала являются форма абразивных зерен, их крупность, твердость и механическая прочность, абразивная способность, минеральный и гранулометрический составы.

Форма абразивных зерен определяется природой абразивного материала, характеризуется их длиной, высотой и шириной. Абразивные зерна можно свести к следующим видам: изометричные, пластинчатые, мечевидные. Для отделочных работ предпочтение отдается изометричной форме зерен.

Абразивные зерна характеризуются состоянием поверхности (гладкая, шероховатая), кромок и выступов (острые, закругленные, прямолинейные, зубчатые и др.). Зерно с острыми углами значительно легче проникает в обрабатываемый материал. Зерна - сростки, неплотные по структуре, выдерживают меньшие усилия резания и быстрее разрушаются.

Для определения твердости установлены шкалы, в которых определенные материалы расположены в порядке возрастающей твердости, где любое последующее твёрже предыдущего и может его царапать.

Сравнительные данные о твердости по различным шкалам

Материал	Твёрдость	
	по Моосу	по Хрущеву М. М., Берковичу Е. С.
Тальк	1	2,4
Гипс	2	36
Кальцит	3	109
Флюорит	4	189
Апатит	5	536
Ортоклаз	6	795
Кварц	7	1120
Топаз	8	1427
Корунд	9	2060
Алмаз	10	10060

Алмаз и кубический нитрид бора обладают наибольшей твердостью. Ниже приведена средняя микротвердость алмаза, кубического нитрида бора, а также инструментальных и конструкционных материалов (в МН/м² при 20° С): алмаз - 98 000; кубический нитрид бора - 91 000; карбид бора - 39 000; карбид кремния - 29 000; электрокорунд - 19 800; твердый сплав ВК8-17500; сплав ЦМ332 - 12 000; сталь Р18-4 900; сталь ХВГ - 4500; сталь 50-1960.

С повышением температуры твердость материалов снижается. Так, например, при нагреве электрокорунда от 20 до 1000 °С его микротвердость снижается от 19 800 до 5880 МН/м² (рис.6.100)

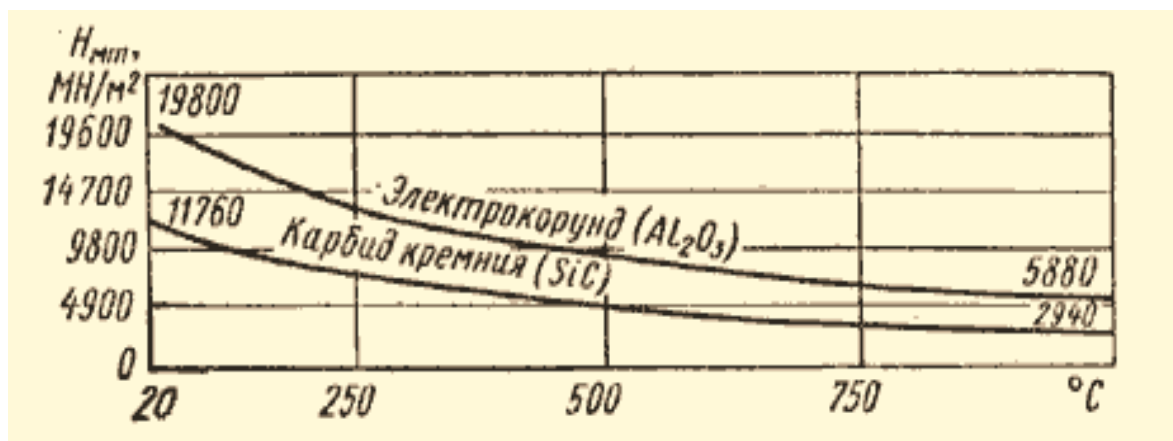


Рис.6.100 Влияние температуры на твёрдость абразивно-полировальных материалов

В качестве абразивов используют минералы естественного и искусственного происхождения: алмазы; кубический нитрид бора, встречающийся под названиями эльбор, кубаит, боразон, карбид бора и карбид кремния; электрокорунды белый, нормальный и легированный хромом и титаном и др. Условно относятся к этой группе "мягкие" абразивные материалы: крокус, окись хрома, диатомит, трепел, венская известь, тальк и др. В производственной практике гидрополирования в качестве абразива используют вибротела - отходы кирпича, стекольной и керамической промышленности, косточки плодовых фруктов.

Естественный алмаз - минерал, состоящий из одного химического элемента - углерода. Встречается в виде небольших кристаллов различной формы от 0,005 до нескольких карат (карат равен 0,2 г). Алмазы бывают бесцветные или окрашенные в различные тона: желтые, темно-зеленые, серые, черные, фиолетовые, красные, голубые и др. Алмаз является наиболее твердым минералом.

Высокая твердость обеспечивает алмазному зерну весьма высокие режущие свойства, способность разрушать поверхностные слои твердых металлов и неметаллов. Прочность алмаза на изгиб невысокая. Одним из существенных недостатков алмаза является сравнительно низкая температурная устойчивость. Это значит, что при высоких температурах алмаз превращается в графит, такое превращение начинается в обычных условиях при температуре близкой к 800 °C.

Искусственный (синтетический) алмаз. Синтетические алмазы получают из графита при высоких давлениях и высокой температуре. Они имеют те же физические и химические свойства, что и природные алмазы.

Кубический нитрид бора. (КНБ) - сверхтвердый материал, впервые синтезированный в 1957г, содержит 43,6% бора и 56,4% азота. Кристаллическая решетка КНБ является алмазоподобной, т.е. она имеет такое же строение, как и решетка алмаза, но содержит атомы бора и азота. Параметры кристаллической решетки КНБ несколько большие, чем решетки алмаза; сказанным, а также меньшей валентностью атомов,

образующих решетку КНБ, объясняется его несколько меньшая твердость в сравнении с алмазом.

Кристаллы кубического нитрида бора имеют теплостойкость до 1200°С, что является одним из главных достоинств по сравнению с алмазом. Эти кристаллы получают путем синтеза гексагонального нитрида бора при наличии растворителя (катализатора) в специальных контейнерах на гидравлических прессах, обеспечивающих требуемое высокое давление (порядка 300-980 МН/м²) и высокую температуру (около 2000 °С).

В отличие от алмаза, кубический нитрид бора нейтрален к железу и не вступает с ним в химическое взаимодействие. Высокая твердость, термостойкость и нейтральность к железу, сделали кубический нитрид бора весьма перспективным сверхтвердым материалом для обработки различных железосодержащих сплавов (легированных сталей и др.) обеспечивающим резкое снижение адгезионного и диффузионного износа инструмента (по сравнению с алмазным).

Из кубического нитрида бора приготавливаются шлифпорошки и микропорошки, из которых изготовляют абразивно-доводочные и полировальные пасты (пасты "Эльбора", пасты "Кубонита").

Карбид бора представляет собой соединение бора с углеродом. Твердость и абразивная способность зерен карбида бора ниже твердости алмазов и зерен из КНБ, но выше зерен из электрокорунда и карбида кремния. Карбид бора используется в порошках и пастах для доводки изделий из твердых материалов. Практикой установлено, что карбид бора, рационально применять для притирки точных конических и фасонных поверхностей.

Электрокорунды, куда входят электрокорунд белый, электрокорунд нормальный и электрокорунд с присадкой хрома - электрокорунд хромистый, с присадкой титана - электрокорунд титанистый и др.

Благодаря высокой твердости, прочности и острым краям зерна, электрокорунд белый интенсивно снимает слой металла с поверхностей закаленных, цементированных и азотированных сталей. Электрокорунд белый используют для приготовления абразивно-доводочных абразивных материалов.

Электрокорунд хромистый имеет розовую окраску, обладает постоянством физико-механических свойств и высоким содержанием монокристаллов. Форма зерен преимущественно изометрическая. При осуществлении окончательной операции замечено, что электрокорунд хромистый заметно улучшает светоотражательную способность обработанных поверхностей.

Электрокорунд титанистый близок к электрокорунду нормальному, но отличается от последнего большим постоянством свойств. Присадки титана увеличивают вязкость абразивного материала.

Электрокорунд нормальный - искусственный абразивный материал, имеющий высокую твердость (ниже алмазов, зерен КНБ и карбида бора), применяется при приготовлении полировальных паст.

Карбид кремния представляет собой химическое соединение углерода с кремнием. В зависимости от содержания примесей, карбид кремния бывает двух марок: зеленый, содержащий не менее 97% карбида кремния, и черный, в котором карбида кремния 95 – 97%.

Зеленый карбид кремния по сравнению с черным более хрупок. Возможно, что это и определяет превосходство зеленого карбида кремния над черным при обработке твердых и сверхтвердых материалов. Абразивная способность зеленого карбида кремния примерно на 20% выше, чем черного.

Естественный корунд представляет собой горную породу, состоящую в основном из кристаллической окиси алюминия. В лучших образцах корунда содержится до 95% окиси алюминия. Цвет корунда различный: розовый, бурый, синий, серый и др. Корунд более вязок и менее хрупок, чем наждак, и обладает большей твердостью. Корунд широко применяют в виде порошков и микропорошков; он входит в состав абразивных смесей, используемых при доводке и полировке, а также чистке поверхности.

Наждак представляет собой горную породу, содержащую до 60% кристаллической окиси алюминия (глинозема). Это мелкокристаллическое вещество черного или черно-серого цвета. Вследствие значительного содержания примесей, по абразивной способности наждак уступает корунду. Наждак идет на изготовление абразивно-доводочных материалов.

Окись хрома представляет собой порошок темно-зеленого цвета. В виде порошков используется для приготовления мягких полировальных паст, применяющихся при тонкой обработке стальных деталей и деталей из цветных металлов и неметаллов (например, полировальная паста ГОИ).

Окись алюминия (глинозем) представляет собой порошок белого цвета, полученный прокаливанием окиси алюминия с примесью других веществ. Размолотый, промытый и хорошо отшлифованный порошок просушивают. Окись алюминия в виде порошков идет для приготовления тонких паст, используемых для обработки стальных, чугуновых деталей, а также деталей из стекла и пластмасс.

Крокус в основном состоит из окиси железа (до 75-97%), является очень тонким полирующим технологическим материалом, используется при полировании оптических стекол и благородных металлов.

На рис.6.101 приведены различные формы шлифовальных кругов и работа полировальным кругом.



Рис.6.101 Абразивно – полировальные материалы

6.7. Технологичность деталей машин.

Сущность понятия «технологичность» определяется совокупностью условий, позволяющих выполнять в производственных условиях деталь или изделие в целом с наименьшими затратами материалов, инструментов, энергии и пр. Изготовить технологичную деталь становится проще, быстрее и дешевле. Рассматриваемый термин непременно связывается с объемом, т.е. количеством выпускаемой продукции, и зависит от этого объема. Задача создания технологичных деталей и изделий решается, прежде всего, на этапе конструирования. Экологический аспект понятия «технологичность», как правило, превалирует над другими аспектами. Среди различных технологических методов, выполняемых последовательно, обработка резанием и сборка являются заключительным. Многие показатели качества изделия представляют собой совокупность свойств, созданных методами резания.

Решающую роль в технологическом обеспечении процессов разработки, освоения и выпуска продукции заданного качества играет технолог.

В зависимости от характеризующих свойств детали, прежде всего, различают показатели технологической рациональности конструкции. Такая рациональность обеспечивает возможность использования меньшего числа единиц оборудования, инструмента, измерительных средств и пр. Такой показатель технологичности, как преемственность конструкции детали, выражается в том, становится возможность использовать одну или группу свойств деталей, изготовленных ранее и признанных технологичными при изготовлении новых.

Показатели технологичности деталей, связанные с энерго- и материалоемкостью, временем на изготовление деталей, также весьма полно характеризуют понятие «технологичность». Так, например, меньшее количество электроэнергии, расходуемое на изготовление детали, по

сравнению с другим вариантом, требующим большего количества энергии, безусловно, говорит о технологичности в пользу первого варианта. Очевидно, что сравнение вариантов изготовления по одному или ограниченному числу показателей не является правомерным. Здесь необходим развёрнутый анализ показателей.

Предварительные замечания. Форма и размеры деталей машин, обрабатываемых на металлорежущих станках, в частности токарных, а также требования, предъявляемые к этим деталям, весьма разнообразны. Тем не менее, рассматривая эти детали с различных точек зрения, можно разделить их на сравнительно небольшое количество классов.

Так, в общероссийском классификаторе промышленной и сельскохозяйственной продукции (ОКП), отведено два класса для деталей общемашиностроительного назначения: класс 40 — тела вращения и класс 50 — детали, кроме тел вращения. Классы делятся на подклассы, группы, подгруппы и виды.

Закрепление за одним рабочим местом деталей, имеющих одинаковую или почти одинаковую конфигурацию (однотипных), обеспечивает специализацию этого рабочего места, а возможность работы без существенных переналадок позволяет резко повысить производительность труда. Однако подбор однотипных деталей, обеспечивающих длительную загрузку станка, возможен лишь при изготовлении их в очень больших количествах, так как весьма схожих по конфигурации деталей не так уж много. Технология обработки однотипных деталей называется типовой и используется главным образом в крупносерийном производстве.

Разбивка деталей на классы по общности их обработки или по видам оборудования, используемого при обработке с дальнейшим делением на укрупненные группы, обеспечивает возможность составления такого технологического процесса при изготовлении деталей малыми партиями, при котором их изготовление осуществляется наиболее рационально и экономично. Решение этой задачи, известное как метод групповой обработки деталей, разработано доктором технических наук С. П. Митрофановым.

Сущность метода групповой обработки деталей. Сущность метода пооперационного группирования деталей состоит в следующем. Все детали разбиваются на классы по признаку оборудования, обеспечивающего наиболее рациональное изготовление деталей по определенным технологическим операциям (либо полностью — при деталях простой конфигурации, обрабатываемых за одну операцию). Например, создаются классы деталей, обрабатываемых на токарных, револьверных, фрезерных и других станках.

Решение технологических требований к деталям, получаемые лезвийной обработкой.

Деталь, обрабатываемая точением, должна удовлетворять определённым технологическим требованиям:

- содержать по возможности наибольшее число поверхностей, имеющих форму тел вращения;
- масса детали должна быть уравновешена относительно оси вращения;
- желательно избегать, чтобы обрабатываемые поверхности не имели разрывов (шпоночных пазов, лысок), а также избегать применения нежёстких элементов в конструкции детали (длинные и тонкие шейки, тонкостенные втулки);
- желательно использовать расчленённые конструкции деталей с большими перепадами диаметров, например, отдельно выполнять вал с шейкой и кольцом. Затем кольцо напрессовывается на шейку и при необходимости выполняется совместная чистовая обработка;
- если деталь заканчивается сферической поверхностью, желательно торец выполнять плоским;
- участки, имеющие один размер, но разные допуски, необходимо разграничивать, кольцевыми канавками;
- острые грани обработанных поверхностей должны быть притуплены или скруглены и т.д.

Деталь, обрабатываемая строганием или долблением, должна удовлетворять следующим технологическим требованиям:

- обрабатываемые поверхности следует располагать в одной плоскости для возможности обработки их за один проход;
- обрабатываемые поверхности должны обеспечить свободный выход резца в конце рабочего хода;
- при строгании поверхностей, расположенных под углом одна к другой, необходимо предусмотреть разделительную канавку для выхода инструмента и правильной дальнейшей сборки сопрягаемых деталей в узле;
- нецелесообразно строгать ребристые, прерывистые поверхности, избегать строгание поверхностей, расположенных в углублениях;
- желательно, чтобы шпоночные пазы, обрабатываемые долблением, были открытыми. При долблении несквозных шпоночных пазов необходимо предусмотреть кольцевые канавки для выхода инструмента;
- нецелесообразно обрабатывать долблением длинные поверхности, так как потребуются резцы с большим вылетом, что приведёт к большим деформациям и разрушению резца.

Деталь, обрабатываемая сверлением, должна удовлетворять определённым технологическим требованиям.

Контрольные вопросы

1. Сущность физико-механической обработки материалов резанием.
2. Что входит в понятие «режимы резания»?
3. Что значить точность и производительность обработки материалов?
4. Инструментальные материалы.
5. Резания. Технологические методы ОМР?
6. В чём сходство и различие в обработке металлов на фрезерном и строгальном станках?
7. Понятие «технологичность деталей машин».

Список рекомендуемой литературы

1. Барон Ю.М. Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов. ООО Издательство «Питер», 2012. 512 с.
2. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов. Под ред. Д.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула. Изд-во ТулГУ. – 2007.
3. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М. Машиностроение, 2003. – 511 с.
4. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для студентов электротехнических и электромеханических спец. ВУЗов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М. Высшая школа, 2004. – 518 с.

Литература для углублённого изучения дисциплины

1. Богодухов С.И. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении: учеб. пособие для студ. ВУЗов / С.И. Богодухов, А.Д. Проскурин, Р.М. Сулейманов и др.; под общ. Ред. С.И. Богодухова. – Старый Оскол: ТНТ (Тонкие наукоёмкие технологии), 2010. – 559 с.
2. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для студентов ВУЗов, обуч. по напр. «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / А.В. Шишкин и др.; под ред. В.С. Чередниченко. – 3-е изд., стер. – М.: ОМЕГА-Л, 2007. – 751 с.
3. Стратиевский И.Х., Юрьев В.Г., Зубарев Ю.М. Абразивная обработка: Справочник. М.; Машиностроение, 2010. 352 с.
4. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. Под ред. З.И. Кремня. СПб: Плитехника, 2007. 422 с.

5. Григорьев С.Н., Смоленцев Е.В., Волосова М.А. Технология обработки концентрированными потоками энергии: Учеб. пособ. Старый Оскол: ТНТ, 2009. 280 с.