



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**С.И. Платов**  
**Д.В. Терентьев**  
**Р.Н. Амиров**  
**Е.Н. Ширяева**

## **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве практикума*

Магнитогорск  
2020

**Рецензенты:**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой металлургических технологий и оборудования,  
Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»

**А.Н. Шаповалов**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин  
и оборудования,  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова»

**Н.Ш. Тютеряков**

**Платов С.И., Терентьев Д.В., Амиров Р.Н., Ширяева Е.Н.**

**Технология конструкционных материалов в машиностроении** [Электронный ресурс] : практикум / Сергей Иосифович Платов, Дмитрий Вячеславович Терентьев, Руслан Низамиевич Амиров, Елена Николаевна Ширяева ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (4,97 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Данный практикум составлен в соответствии с программой дисциплины «Технология конструкционных материалов».

Практикум содержит контрольные вопросы, в нем приведены схемы и рисунки, которые позволяют лучше понять сложные технологические процессы производства стали, а также наглядно представить конструктивное устройство агрегатов по производству стали.

УДК 621.7

© Платов С.И., Терентьев Д.В.,  
Амиров Р.Н., Ширяева Е.Н., 2020

© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова», 2020

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ... 7	7
1.1. Классификация металлических материалов.....	7
1.2. Классификация неметаллических материалов.....	32
ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	38
2.1. Физическая сущность процесса.....	38
2.2. Изучение кристаллизации слитка спокойной стали.....	41
2.3. Способы изготовления отливок.....	48
2.4. Дефекты отливок.....	52
ГЛАВА 3. ПРОИЗВОДСТВО СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА.....	57
3.1. Производство чугуна в доменной печи.....	57
3.2. Производство стали в мартеновских печах.....	63
3.3. Производство стали в кислородных конверторах.....	69
3.4. Производство стали в дуговых электропечах.....	74
ГЛАВА 4 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.....	80
4.1. Производство проката.....	80
4.1.1. Прокатные изделия.....	80
4.1.2. Технологическая схема производства.....	80
4.1.3. Исходный материал и его подготовка.....	83
4.1.4. Температурные условия горячей прокатки.....	85
4.1.5. Охлаждение металла.....	86
4.1.6. Классификация прокатных станов.....	89
4.1.7. Изготовление специальных видов проката.....	95
4.2. Прессование металла.....	101
4.3. Волочение металла.....	104
4.4. Ковочно-штамповочное производство.....	108
4.5. Горячая объемная штамповка.....	115
4.6. Холодная штамповка.....	119
ГЛАВА 5 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ И ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	124
5.1. Электрическая дуговая сварка.....	125
5.1.1. Ручная дуговая сварка.....	125
5.1.2. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка.....	128

5.1.3. Электрошлаковая сварка .....	129
5.2. Электрическая контактная сварка .....	131
5.2.1. Стыковая сварка .....	131
5.2.2. Точечная сварка.....	133
5.2.3. Шовная сварка .....	134
5.3. Газовая сварка.....	135
5.4. Пайка металлов.....	135
5.5. Сварка трением.....	136
5.6. Резка металлов.....	137
5.6.1. Газокислородная резка .....	137
5.6.2. Дуговая резка.....	138
ГЛАВА 6. ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ .....	140
6.1. Производство деталей из пластмасс .....	140
6.2. Производство изделий из резины.....	141
6.3. Производство деталей из металлических порошков .....	143
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	148
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	149

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный практикум составлен в соответствии с программой дисциплины «Технология конструкционных материалов».

Предметом изучения являются наиболее прогрессивные и распространенные в промышленности технологические методы формообразования заготовок и деталей различными методами. При этом студенты получают общеинженерную технологическую подготовку, которая является фундаментом для специальной технической подготовки.

Практикум содержит контрольные вопросы, в нем приведены схемы и рисунки, которые позволяют лучше понять сложные технологические процессы производства стали, а также наглядно представить конструктивное устройство агрегатов по производству стали.

Содержание и структура практикума соответствует рабочей программе дисциплины и требованиям государственного образовательного стандарта.

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость изучения дисциплины «Технология конструкционных материалов» связана с возникновением определенных технологических проблем в области машиностроения, решение которых во многом зависит от правильного выбора технологического процесса изготовления изделий.

Цель этого практикума – получение знаний по выбору технологических методов производства заготовок и деталей. К основным задачам относятся ознакомление с основами рационального выбора конструкционных материалов и изучение методов их получения и обработки. Это объясняется тем, что проблема рационального выбора технологии изготовления машиностроительных изделий – одна из основных в современном промышленном производстве. Без знаний в области технологии материалов решить ее невозможно.

Дисциплина «Технология конструкционных материалов» достаточно широко раскрывает решение данной проблемы, находясь в одном ряду с такой дисциплиной, как «Материаловедение».

В работе рассмотрены металлургические способы получения металлических материалов и технологические процессы изготовления полуфабрикатов и изделий, предназначенных для машиностроения, описаны дефекты, возникающие в процессе изготовления различных полуфабрикатов и готовых изделий, и указаны способы их устранения.

Классические схемы параллельного углубления лекционного материала и контроля за его усвоением во время практических занятий дополнена контрольными вопросами для проверки усвоения материалов.

# ГЛАВА 1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

## 1.1. Классификация металлических материалов

Сплавы на основе железа

Железо – металл серебристо-белого цвета. Атомный номер 26, атомная масса 55,85. Технические сорта железа содержат 99,8–99,9 % Fe. Температура плавления железа 1539 °С. Известны две полиморфные модификации:  $\alpha$  и  $\gamma$ . Модификация  $\alpha$ -Fe существует ниже 911 °С и выше 1392 °С, имеет решетку ОЦК с периодом 0,286 нм (при 20–25 °С). Для интервала температур 1392–1539 °С,  $\alpha$ -железо нередко обозначают как  $\delta$ -железо.

До температуры 768 °С  $\alpha$ -железо магнитно (ферромагнитно). Критическую точку (768 °С), соответствующую магнитному превращению, т. е. переходу из ферромагнитного состояния в парамагнитное, называют точкой Кюри и обозначают А2.

Модификация  $\gamma$ -Fe существует в интервале температур от 911 до 1392 °С, имеет ГЦК-решетку, период которой при 911 °С равен 0,364 нм. Решетка ГЦК более компактна, чем решетка ОЦК. В связи с этим при превращении  $\alpha$ -железа в  $\gamma$ -железо объем уменьшается приблизительно на 1 %.

Углерод является неметаллическим элементом II периода четвертой группы, атомный номер 6, плотность 2,5 г/см<sup>3</sup>, атомная масса 12,011, температура плавления 3500 °С. Углерод полиморфен. В обычных условиях он находится в виде модификации графита, но может существовать и в виде метастабильной модификации алмаза.

Углерод растворим в железе в жидком и твердом состоянии, также может присутствовать в его сплавах в виде химического соединения цементита, а в высокоуглеродистых сплавах в виде графита. Диаграмма состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C представлена на рисунке 1.1.

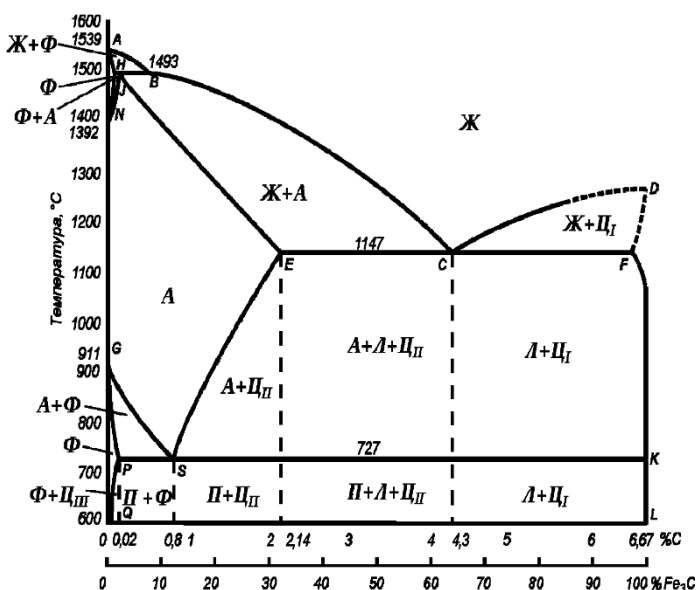


Рис. 1.1. Диаграмма состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C

Диаграммой состояния называется графическое изображение фазового состава сплавов в зависимости от температуры и концентрации химических компонентов в условиях термодинамического равновесия системы.

На рисунке 1.1 изображена диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов, имеющая большое практическое значение, ее используют:

- для определения видов и температурных интервалов термической обработки стали;
- для назначения температурного интервала при обработке давлением;
- для определения температуры плавления и заливки сплавов.

Фазы и структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. В зависимости от температуры и концентрации углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие составляющие.

Аустенит – твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе с предельной концентрацией углерода 2,14% при температуре 1147°C; с понижением температуры до 727°C концентрация углерода уменьшается до 0,8%. Сталь со структурой аустенита имеет высокие пластичность и вязкость. Аустенит немагнитен.

Феррит – твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе с предельной концентрацией углерода 0,02% при температуре 727°C. Сталь со структурой феррита ферромагнитна вплоть до температуры Кюри 770°C, имеет малую твердость и высокую пластичность.

Цементит – химическое соединение железа с углеродом  $\text{Fe}_3\text{C}$  (6,67% C); ферромагнитен до температуры Кюри 210°C, имеет высокие твердость и хрупкость.

Перлит – эвтектоидная смесь феррита и цементита, образующаяся при эвтектоидном распаде аустенита (0,8% C). Сплав, имеющий структуру перлита, ферромагнитен, обладает повышенными прочностью и твердостью.

Ледебурит (4,3% C) – эвтектическая смесь аустенита и цементита; ниже температуры 727°C аустенит превращается в перлит, при этом образуется смесь перлита и цементита – превращенный ледебурит.

Графит – углерод в свободном состоянии, образующийся в результате распада цементита при медленном охлаждении. Графит немагнитен, мягок и обладает низкой прочностью.

Основные свойства сплава определяются содержанием углерода. Взаимодействие углерода с  $\alpha$ - или  $\gamma$ -модификациями железа приводит к образованию железоуглеродистых сплавов, различных по строению и свойствам. Построение диаграммы состояния железо – углерод (цементит) дает представление о температурах и концентрационных границах существования этих сплавов.

На диаграмме состояния железо – цементит:

- линия ABCD – линия ликвидуса, выше нее сплав находится в жидком состоянии;
- линия AECF – линия солидуса, ниже нее сплав находится в твердом состоянии. При температурах, соответствующих линии AECF, заканчивается первичная кристаллизация. В точке C при концентрации углерода 4,3 % образуется эвтектика ледебурит;



- линия PSK – линия эвтектоидного превращения, на которой заканчивается процесс вторичной кристаллизации;
- линия PS – линия нижних критических точек A1;
- линия GSE – начало процесса вторичной кристаллизации твердого раствора;
- линия GS – линия верхних критических точек, она показывает температуру начала выделения феррита из аустенита;
- линия SE – линия верхних критических точек Acm, она показывает температуру начала выделения вторичного цементита и является линией, определяющей предельную растворимость углерода в аустените (Рисунок 1.1).

Сплавы, содержащие до 2,14% С, называют сталями. Сплавы, содержащие более 2,14% С, – чугунами. Сталь, содержащая 0,8% С, называется эвтектоидной сталью; сталь, содержащая менее 0,8% С, – доэвтектоидной; сталь, содержащая более 0,8% С, – заэвтектоидной.

#### *Классификация сталей*

Стали относятся к сплавам на основе железа с углеродом (углеродистые стали). Стали, дополнительно содержащие хром, марганец, кремний, никель, молибден и другие элементы, называют легированными сталями.

Стали являются основными и наиболее распространенными сплавами для изготовления деталей конструкций, инструмента и изделий специального назначения. Сплавы на основе железа имеют хорошее сочетание высокой прочности, твердости, пластичности, вязкости и технологичности.

По химическому составу стали классифицируют на:

- углеродистые;
- легированные.

По назначению стали подразделяют на:

- конструкционные;
- инструментальные;
- стали специального назначения.

По способу производства изделий стали классифицируют на:

- деформируемые;
- литейные.

По способу раскисления при выплавке стали классифицируют на:

- кипящие;
- спокойные;
- полуспокойные.

По металлургическому качеству в зависимости от содержания вредных примесей стали подразделяют на категории:

- стали обыкновенного качества;
- качественные;
- высококачественные;
- особо высококачественные.

К наиболее вредным примесям сталей относятся сера и фосфор. Сера приводит к красноломкости стали, т. е. к хрупкости при горячей обработке давлением. Марганец, который вводят в сталь при раскислении, устраняет вредное влияние серы. Фосфор вызывает хладноломкость, т. е. охрупчивание при низких температурах. Содержание вредных примесей указано в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Содержание вредных примесей

Категория качества стали	Фосфор	Сера	Признак качества
Обыкновенного качества	0,04	0,05	В начале марки – Ст
конструкционная			
Качественная конструкционная	0,035	0,04	По умолчанию
углеродистая			
Качественная инструментальная	0,030	0,028	По умолчанию
углеродистая			
Высококачественная	0,025	0,018	В конце марки – А
инструментальная углеродистая			
Высококачественная	0,025	0,025	В конце марки – А
конструкционная легированная			
Особовысококачественная	0,025	0,015	В конце марки – Ш
конструкционная легированная			

*Углеродистые стали*

Углеродистые стали относятся к железоуглеродистым сплавам с содержанием углерода от 0,05 до 1,35 %. Углеродистые конструкционные стали содержат до 0,65 % С, инструментальные – более 0,65 % С.

Кроме вышеуказанной классификации углеродистые стали подразделяют на следующие группы.

По содержанию углерода углеродистые стали делятся на низкоуглеродистые (до 0,25 % С), среднеуглеродистые (0,3–0,5 % С) и высокоуглеродистые (более 0,50 % С).

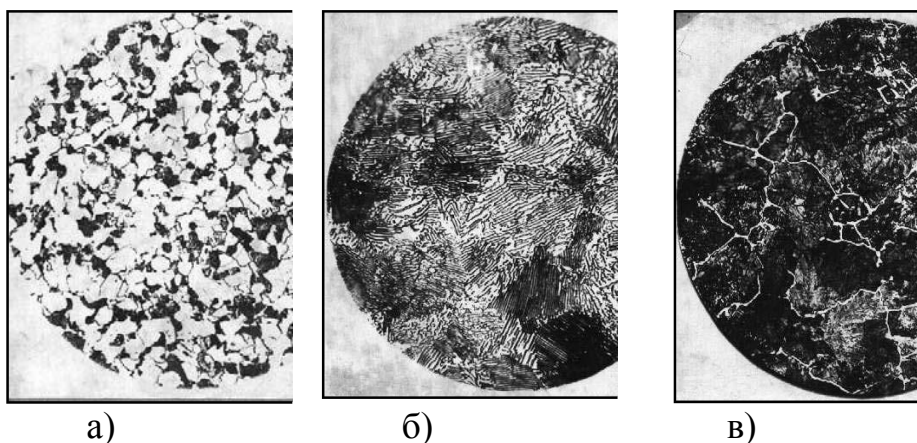


Рис. 1.2. Структура углеродистой стали:  
а – доэвтектоидной; б – эвтектоидной; в – заэвтектоидной

По структуре стали подразделяют на

- доэвтектоидные (до 0,8 % С);
- эвтектоидные (0,8 % С);
- заэвтектоидные (более 0,8 % С).

Углерод является важнейшим элементом, определяющим структуру и свойства углеродистой стали. Даже при малом изменении содержания углерод оказывает заметное влияние на свойства стали. С увеличением содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита. При содержании до 0,8 % С сталь состоит из феррита и перлита (рис. 1.2, а), при содержании более 0,8 % С в структуре стали кроме перлита появляется структурно свободный вторичный цементит (рис. 1.2, в).

Феррит имеет низкую прочность, но сравнительно пластичен. Цементит характеризуется высокой твердостью, но хрупок. Поэтому с ростом содержания углерода увеличивается твердость и прочность, однако уменьшается вязкость и пластичность стали. Рост прочности происходит при содержании углерода в стали до 0,8–1,0 %. При увеличении содержания углерода в стали более 0,8 % уменьшается не только пластичность, но и прочность стали. Это связано с образованием сетки хрупкого цементита вокруг перлитных колоний, легко разрушающейся при нагружении. По этой причине заэвтектоидные стали подвергают специальному отжигу, в результате которого получают структуру зернистого перлита.

Углерод также оказывает существенное влияние на технологические свойства стали – свариваемость, пластичность, обрабатываемость резанием. Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются и обрабатываются давлением. Постоянными примесями в углеродистых сталях являются марганец, кремний, сера, фосфор, а также скрытые примеси – газы: кислород, азот, водород. К полезным примесям (технологическим добавкам) в углеродистых сталях относятся марганец, кремний, хром; их содержание обычно не превышает 1 %.

Марганец и кремний вводят в сталь при раскислении, они упрочняют железо. Марганец увеличивает прокаливаемость (возможную глубину закаленного слоя) сталей, а также уменьшает вредное влияние серы. Содержание вредных

примесей (серы и фосфора) регламентируется стандартами. Основным источником серы и фосфора в стали является исходное сырье – чугуны. Сера снижает пластичность и вязкость стали, а также приводит к красноломкости стали при прокатке и ковке. Она образует с железом соединение FeS – сульфид железа. При нагреве стальных заготовок до температуры горячей деформации включения FeS вызывают в стали хрупкость, а в результате оплавления при деформации образуют надрывы и трещины. Фосфор, растворяясь в железе, уменьшает его пластичность. Кислород и азот мало- растворимы в феррите. Они загрязняют сталь хрупкими неметаллическими включениями, снижают вязкость и пластичность стали. Повышенное содержание водорода охрупчивает сталь и приводит к образованию внутренних трещин – флокенов.

Углеродистые стали, как наиболее дешевые, технологичные и имеющие достаточно высокий уровень механических свойств, применяются для металлоконструкций общего назначения, используются в строительных конструкциях, для изготовления деталей в машиностроении и т. д.

Углеродистые стали по назначению подразделяют на стали общего и специального применения. К сталям специального назначения относят автоматные, котельные, строительные, стали для глубокой вытяжки.

#### *Конструкционные углеродистые стали*

Конструкционные стали наиболее распространенные в настоящее время (и в прогнозируемом будущем) машиностроительные материалы, позволяющие получать сочетание высоких значений механических характеристик и хорошую технологичность при сравнительно невысокой стоимости. Конструкционные стали должны обладать высокой конструктивной прочностью, обеспечивать длительную и надежную работу конструкций в условиях эксплуатации. Материалы, идущие на изготовление конструктивных элементов, деталей машин и механизмов, должны быть вязкими и хорошо сопротивляться ударным нагрузкам. При знакопеременных нагрузках конструкционные стали должны обладать высоким сопротивлением усталости, а при трении – сопротивлением износу. Конструкционные материалы должны иметь высокие технологические свойства – хорошие литейные свойства, обрабатываемость давлением, резанием, хорошую свариваемость.

Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества, благодаря их технологическим свойствам, доступности и возможности получения необходимого комплекса свойств, используются при изготовлении металлоконструкций массового производства, а также слабонагруженных деталей машин и приборов. В таких сталях допускается повышенное содержание вредных примесей, газонасыщенность и загрязненность неметаллическими включениями, поэтому они относятся к наиболее дешевым сталям. Металлургические заводы в основном поставляют их в горячекатаном состоянии без термической обработки.

Углеродистые горячекатаные стали обыкновенного качества по ГОСТ 380–94 «Сталь углеродистая обыкновенного качества» изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст2кп, Ст2пс, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст 3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

Буквы «Ст» обозначают «сталь», цифры – условный номер марки в зависимости от химического состава стали, буквы «кп» (кипящая), «пс» (полуспокойная), «сп» (спокойная) – способ раскисления стали (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Марка конструкционной стали обыкновенного качества

Таблица 1.2

Массовая доля элементов, %

Марка стали	Углерод	Марганец	Кремний
Ст2кп	0,09–0,15	0,25–0,50	Не более 0,05
Ст3пс	0,014–0,22	0,40–0,65	0,05–0,15
Ст6сп	0,38–0,49	0,50–0,80	0,15–0,30

Массовая доля вредных примесей в стали всех марок, кроме Ст0, должна быть не более 0,050 %, фосфора – не более 0,040 %, в стали марки Ст0 серы – не более 0,060 %, фосфора – не более 0,070 %. Массовая доля углерода в сталях колеблется от 0,06 до 0,49 %, массовая доля марганца – от 0,25 до 0,80 %. Полуспокойные и спокойные стали могут содержать повышенное количество марганца (до 1,20 %), тогда в обозначении марок добавляют букву «Г», например Ст5Гпс. В кипящих сталях массовая доля кремния составляет не более 0,05 %, в полуспокойных – 0,05–0,15 %, в спокойных – 0,15–0,3 %. Химический состав сталей обыкновенного качества, по ГОСТ 380–94, приведен в табл. 2. .

Кипящие стали по ударной вязкости отличаются от спокойных и полуспокойных. Порог хладноломкости (температура перехода стали из вязкого состояния в хрупкое) у кипящей стали на 30–40 °С выше, чем у спокойной. Поэтому применение кипящих сталей при низких температурах или в конструкциях, испытывающих динамические или вибрационные нагрузки, недопустимо. Для ответственных конструкций лучше всего использовать спокойные стали.

Кипящие стали, вследствие низкого содержания кремния, имеют невысокий уровень предела текучести и упругости. Этим объясняется высокая способность кипящей стали к вытяжке при деформации.

Недостатком сталей обыкновенного качества является их малая прочность и малая хладнотойкость.

Стали обыкновенного качества Ст2пс, Ст2кп, Ст3кп применяют для неотчетственных, малонагруженных элементов сварных конструкций. Стали Ст4пс,

Ст5сп используют для изготовления деталей клепаных конструкций, болтов, гаек, звездочек, рычагов и других изделий.

Углеродистые качественные конструкционные стали выпускаются в соответствии с ГОСТ 1050–88 «Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали», который устанавливает технические условия для горячекатаного и кованого сортового проката из сталей марок 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 11кп, 15кп, 15пс, 15, 18кп, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50,

55, 58, 60 диаметром или толщиной до 250 мм. Качественные углеродистые стали маркируются буквами и цифрами. Двухзначные числа показывают содержание углерода в сотых долях процента. Последующее буквенное обозначение указывает на степень раскисления: «сп» – спокойная сталь, «пс» – полуспокойная сталь, «кп» – кипящая сталь. При отсутствии буквенного обозначения сталь относится к спокойной стали (рис. 2.24). Содержание углерода в конструкционных углеродистых сталях составляет от 0,05 до 0,65 и%, марганца – от 0,25 до 0,80 %, кремния – от 0,03 до 0,37 % в зависимости от степени раскисления и содержания углерода. По содержанию углерода стали 05кп, 08, 08кп, 10, 15, 20, 25 относятся к низкоуглеродистым, стали 30,

35, 40, 45, 50 – к среднеуглеродистым (рис. 1.4), стали 55, 60 – к высокоуглеродистым.

Содержание примесей в этих сталях меньше, чем в сталях обыкновенного качества. Массовая доля серы в сталях должна быть не более 0,040 %, фосфора – не более 0,035 %, исключая марки 11кп и 18кп.

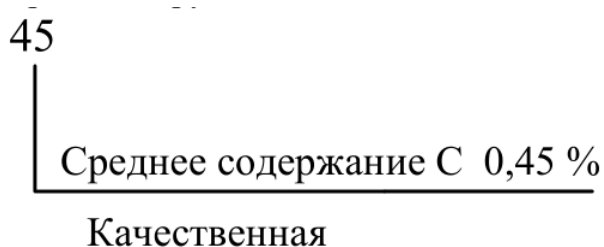


Рис. 1.4. Марка качественной конструкционной стали

Таблица 1.3  
 Механические свойства проката толщиной до 80 мм

Марка стали	Предел текучести $\sigma_t$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_{0.2}$ , Н/мм <sup>2</sup> , не менее	Относительное удлинение $\delta$ , %, не менее	Относительное сужение $\Psi$ , %, не менее
08	196	320	33	60
20	245	410	25	55
30	295	490	21	50
45	355	600	16	40
60	400	680	12	35

Важными характеристиками при выборе марки стали для изготовления детали являются механические свойства и распределение их по сечению. Механические свойства проката из углеродистой качественной конструкционной стали по ГОСТ 1050–88 приведены в табл. 1.3. В соответствии с маркой стали увеличение содержания углерода приводит к росту прочности ( $\sigma_B$  и  $\sigma_T$ ) и уменьшению пластичности ( $\delta$  и  $\Psi$ ).

Кроме содержания углерода на уровень механических свойств большое влияние оказывает термическая обработка. Прокат поставляется в отожженном, нормализованном, улучшенном состояниях.

Низкоуглеродистые кипящие стали характеризуются низким пределом текучести, так как практически не содержат кремния. Их используют для глубокой вытяжки методом холодной штамповки. Низкоуглеродистые стали типа 05кп, 08, 08кп, 10кп, 10 используются без термической обработки, они хорошо штампуются в отожженном состоянии и применяются в автомобилестроении для изготовления изделий сложной формы: крыльев, дверей, капотов, т. е. несущих деталей кузова.

Детали, имеющие высокую твердость поверхностного слоя и вязкую сердцевину, создаваемую термической или химико-термической обработкой, изготавливают из низкоуглеродистых сталей типа 15, 20, 25. Данные стали применяют для изделий, работающих в условиях повышенного износа и динамических нагрузок, но не испытывающих значительных напряжений. Из цементуемых сталей 15кп, 20, 25, 20кп изготавливают болты, винты, фланцы, рычаги, шпиндели, клапаны холодильных аппаратов, змеевики и другие детали, работающие при температурах от минус 40 до 125 °С.

Среднеуглеродистые стали используют для изготовления небольших деталей и узлов во всех отраслях машиностроения. Это улучшаемые стали, свойства которых повышаются после закалки с высоким отпуском. Они не склонны к отпускной хрупкости, дешевы, однако обладают низкой прокаливаемостью. Критический диаметр, при котором обеспечивается сквозная прокаливаемость, не более 12 мм. Улучшаемые стали 30, 35, 40, 45 используются для изготовления деталей средних размеров несложной конфигурации, к которым предъявляются требования повышенной прочности: ролики, валики, втулки, коленчатые валы, звездочки, оси, шайбы, шатуны, зубчатые колеса, болты и др.

Высокоуглеродистые стали применяют после нормализации, закалки, отпуска или поверхностного упрочнения. Они обладают высокой прочностью и износостойкостью, а также высоким пределом упругости, в связи с чем их применяют для изготовления пружин, рессор, канатной проволоки.

#### *Инструментальные углеродистые стали*

Углеродистые инструментальные стали выпускаются по ГОСТ 1435–90

«Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали», который распространяется на прутки и полосы кованные, прутки, полосы и мотки горячекатаные (металлопродукцию) из инструментальной нелегированной углеродистой стали, а также в части норм химического состава – на слитки, заготовку, лист, ленту, проволоку. ГОСТ содержит следующие марки сталей: У7, У8, У8Г, У10, У12, У13, У8А, У9А, У11А и т. д. Углеродистые инструмен-

тальные стали маркируют буквой «У» и последующими цифрами, показывающими содержание углерода. Если указана одна цифра, то содержание углерода соответствует десятым долям процента. Две цифры указывают на то, что содержание углерода процент или более. Эти стали содержат углерода от 0,65 до 1,35 %, марганца и кремния от 0,17 до 0,33 %. В марках с повышенным содержанием марганца (до 0,58 %) указывается буква «Г».

По назначению инструментальные стали делятся на стали для режущего, измерительного и штампового инструмента. Режущий инструмент работает в условиях длительного контакта и трения с обрабатываемым металлом. Материал для изготовления режущего инструмента должен обладать высокой твердостью (HRC 60–62) и износостойкостью. При резании инструмент разогревается, поэтому основным требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, является высокая теплостойкость, т. е. способность сохранять твердость и режущие свойства при длительном нагреве в процессе работы. Углеродистые и низколегированные стали имеют низкую теплостойкость, поэтому их используют при малых скоростях резания.

Штамповые стали применяют для изготовления штампов холодного и горячего деформирования, пуансонов, матриц, пресс-форм для литья под давлением. В зависимости от температурных условий эксплуатации различают штамповые стали для деформирования в холодном и горячем состоянии. Стали для штампов холодного деформирования должны обладать высокой твердостью и износостойкостью, высокой прочностью и удовлетворительной вязкостью для работы при ударных нагрузках. Стали для штампов горячего деформирования должны иметь высокую прочность, ударную вязкость, высокую окалиностойкость и обладать высоким сопротивлением термической усталости (разгаростойкости). Углеродистые стали применяются для изготовления штампов холодного деформирования, режущего (в основном для обработки дерева) и измерительного инструмента.

Сталь, из которой изготовлена металлопродукция, по химическому составу, с учетом содержания вредных примесей, подразделяют на качественную и высококачественную. Буква «А» в конце марки указывает на то, что сталь высококачественная (рис. 1.5).

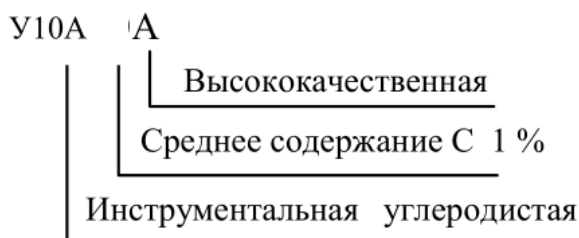


Рис. 1.5. Марка инструментальной стали



Механические свойства инструментальной нелегированной стали

Марка стали	Твердость НВ, не менее	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>
У7, У7А, У8, У8Г	187	650
У11, У11А, У12, У12А	212	750

По состоянию материала металлопродукцию изготавливают без термической обработки, термически обработанной – Т, нагартованной – Н. В технических требованиях указывают твердость обработанной металлопродукции, а также временное сопротивление разрыву (табл. 1.4).

В отожженном состоянии инструментальные стали имеют низкую твердость (НВ 150–180), что позволяет изготавливать из них инструмент резанием и давлением. После закалки инструментальные нелегированные стали получают высокую твердость в поверхностном слое (HRC 63–65) и сохраняют вязкую мягкую сердцевину, что является благоприятным для такого инструмента, как ручные метчики, пилы, напильники, стамески, долота, зубила. Углеродистые инструментальные стали имеют низкую прокаливаемость и сильное смягчение при разогреве режущей кромки более 200 °С, что ограничивает их использование. Низкая прокаливаемость не позволяет изготавливать инструмент сечением более 20–25 мм.

Углеродистые стали применяются для изготовления режущего инструмента: фрезы, сверла, резцы и т. д. Режущая кромка инструмента должна обладать высокой твердостью ( $\geq 60$  HRC) и износостойкостью. Эти свойства имеют высокоуглеродистые стали после термической обработки, закалки с низким отпуском. Так, например, стали У7, У7А обладают большей вязкостью, чем стали, содержащие более 0,8 % С, и их используют для изготовления зубил, молотков, топоров, а также игольной проволоки и слесарно-монтажных инструментов. Стали У8, У8А, У9 применяют для изготовления инструментов для обработки дерева, для форм литья под давлением оловянно-свинцовистых сплавов, для калибров простой формы. Для штампов холодной штамповки используют стали У10, У11, У11А. Стали с высоким содержанием углерода ( $> 1$  %) марок У13, У13А применяют для изготовления напильников, бритвенных ножей, лезвий, хирургических инструментов.

#### *Углеродистые стали специального назначения*

Строительные стали предназначены для изготовления мостов, ферм, труб газо- и нефтепроводов и других конструкций. Строительные конструкции, как правило, сварные, поэтому необходимым требованием к данным сталям является высокая свариваемость.

Свариваемость стали определяется углеродным эквивалентом, который зависит в основном от содержания углерода. Для обеспечения хорошей свариваемости содержание углерода в строительных сталях не должно превышать

0,18 %. В качестве строительных наиболее часто используются углеродистые стали обыкновенного качества Ст1, Ст2, Ст3, Ст5, по степени раскисления спокойные, полуспокойные. Для конструкций неотвественного назначения используют кипящие стали обыкновенного качества.

Строительные стали потребитель не подвергает термической обработке, поскольку их конечные свойства обеспечивают на металлургическом заводе. Эти стали поставляют в горячекатаном, реже в нормализованном состоянии. Для получения более высоких прочностных характеристик стали должны содержать повышенное количество Mn и Si, до 1–1,25 % каждого элемента. Чем выше предел текучести, являющийся расчетной характеристикой конструкций, тем меньше сечение и, соответственно, масса конструкций. Строительные низкоуглеродистые стали используют там, где требуется высокая жесткость конструкций. Их применяют для армирования железобетонных изделий. К недостаткам этих сталей относят низкую хладнотойкость, характеристикой которой служит температура перехода из вязкого состояния в хрупкое. Эксплуатация конструкций в условиях Сибири и районах Крайнего Севера приводит к снижению их механических характеристик, что требует большой массы конструкций. Повышение прочности, хладнотойкости и надежности при эксплуатации достигается легированием сталей.

Стали для глубокой вытяжки применяются для изготовления деталей из тонкого листа, что составляет до 50 % массы легковых автомобилей. Глубокая вытяжка применяется также для изделий легкой пищевой промышленности: консервные банки, крышки, эмалированная посуда и т. д.

Основным требованием, предъявляемым к тонколистовой стали для пищевой и автомобильной промышленности, является способность к глубокой вытяжке, что свойственно сталям с низким содержанием углерода. Малоуглеродистые стали должны иметь углерода 0,08–0,12 % (ГОСТ 9045–80). Превышение этого предела увеличит прочность, но понизит пластичность, столь необходимую для вытяжки. Содержание углерода ниже 0,06 % нежелательно, поскольку при этом увеличивается склонность стали к газонасыщению, повышению склонности к росту зерна. Сталь должна содержать 0,3–0,45 % марганца. Недостаток содержания марганца ухудшает условия горячей прокатки из-за образования трещин на боковых кромках, а повышенное его содержание снижает эффект кипения стали при выплавке.

Для глубокой, сложной вытяжки используют малопрочные, высокопластичные стали 05, 08, 10 всех видов раскисления. Их поставляют в виде тонкого холоднокатаного листа в соответствии с ГОСТ 9045–80. Широко применяют кипящие стали 05 кп, 08 кп, 10 кп. Способность этих сталей хорошо штамповаться обусловлена низким содержанием углерода и почти полным отсутствием кремния. Кипящая сталь склонна к деформационному старению (упрочнению) из-за повышенной газонасыщенности. В связи с этим используют сталь, легированную ванадием или алюминием: 08Фкп, 08Юкп. Таким образом, стали типа 08кп, 08Юкп применяют для глубокой вытяжки. Перед штамповкой листы имеют  $\sigma_B = 260\text{--}360$  МПа,  $\delta = 42\text{--}50$  %,  $HRB \leq 46$  и отношение  $\sigma_T/\sigma_B = 0,6$ . Чем

ниже это отношение, тем пластичнее материал, а при  $\sigma_T/\sigma_B > 0,75$  штампуемость ухудшается.

Автоматные стали предназначены для изготовления деталей обработкой резанием. С улучшением обрабатываемости резанием растет производительность обработки деталей и изделий. Характеристиками обрабатываемости являются: максимально допустимая скорость и усилие резания, чистота поверхности резания, форма стружки и т. д. Обрабатываемость материала зависит от механических свойств, теплопроводности, структуры и химического состава. Трудно обрабатывать мягкие стали из-за налипания их на инструмент, из-за трудно-ломающейся длинной стружки, однако значительное повышение твердости стали способствует снижению обрабатываемости. Крупнокристаллический материал имеет пониженную вязкость, но лучше режется, так как создается «обработочная хрупкость», стружка измельчается и ломается. При различных операциях обработки (шлифование, точение, фрезерование, сверление и т. д.) обрабатываемость одного и того же материала бывает различной.

Повышение обрабатываемости резанием достигается технологическими и металлургическими приемами. Более эффективны металлургические приемы, предусматривающие введение в конструкционную сталь серы, селена, свинца, фосфора. Эти добавки и образуемые ими включения создают внутреннюю смазку, которая в зоне резания снижает трение между инструментом и стружкой, и облегчают ее измельчение. Сера способствует образованию вытянутых вдоль направления прокатки сульфидов марганца, которые оказывают смазывающее действие, нарушая при этом сплошность металла, т. е. образуя короткую и ломкую стружку. Свинец при содержании до 0,15–0,3 % не растворяется в стали и находится в виде мелких частиц, повышает обрабатываемость резанием при средних и пониженных скоростях резания (до 100 об/мин).

Стали с повышенным содержанием серы или дополнительно легированные указанными элементами относятся к автоматным сталям. В соответствии с ГОСТ 1414–75 эти стали маркируют буквой «А» (автоматная) и последующими цифрами, определяющими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Присутствие свинца обозначает буква «С», селена – буква «Е», остальные обозначения элементов соответствуют ГОСТ 4543–71.

Автоматные сернистые стали А12, А20, А40Г являются углеродистыми, содержат 0,08–0,3 % S и 0,05–0,15 % P, в стали А40Г увеличено количество марганца до 1,5 %. Автоматные стали АС14, АС40, АС35Г2, АС38ХГМ содержат свинец от 0,15 до 0,35 %. По обрабатываемости эти стали превосходят сернистые.

Повышенное количество серы и фосфора снижает качество стали. Автоматным сернистым сталям свойственна анизотропия механических свойств (пониженные вязкость, пластичность и сопротивление усталости в поперечном направлении прокатки). Невысокий уровень механических свойств и низкая коррозионная стойкость ограничивают применение автоматных сталей: они используются для изготовления неотчетливых деталей машин. Сернистые стали А12, А20 используют для изготовления крепежных деталей и малонагруженных изделий сложной формы, но с высокими требованиями по размерам и

чистоте поверхности. Стали А30, А40Г предназначены для деталей, испытывающих более высокие напряжения. Свинецсодержащие стали АС40, АС45Г2 широко применяют на автомобильных заводах для изготовления деталей двигателей на станках-автоматах.

#### Легированные конструкционные стали

ГОСТ 4543–71 «Прокат из легированной конструкционной стали» распространяется на прокат горячекатаный и кованный толщиной до 250 мм, калиброванный из легированной конструкционной стали, применяемой в термически обработанном состоянии. В части норм химического состава стандарт распространяется на все другие виды проката, слитки, поковки и штамповки.

В зависимости от химического состава конструкционная сталь делится на категории: качественная, высококачественная – А, особовысококачественная – Ш. К особовысококачественной стали относятся стали электрошлакового переплава. В зависимости от основных легирующих элементов сталь делится на группы: хромистая, марганцовистая, хромомарганцевая, никельмолибденовая, хромомарганцевоникелевая и т. д. По состоянию материала прокат изготавливают без термической обработки, термически обработанный – Т, нагартованный – Н.



Рис. 1.6. Марка легированной конструкционной стали

Таблица 1.5

Массовая доля элементов, %, по ГОСТ 4543–71

Марка стали	Углерод	Кремний	Марганец	Хром	Никель	Другие элементы
20Х	0,17–0,23	0,17–0,37	0,50–0,80	0,70–1,0	-	-
18ХГТ	0,17–0,23	0,17–0,37	0,80–1,1	1,0–1,3	-	0,03–0,09Ti
40ХН	0,36–0,44	0,17–0,37	0,50–0,80	0,45–0,75	1,0–1,4	-
20ХН3А	0,17–0,24	0,17–0,37	0,30–0,60	0,60–0,90	2,75–3,15	-
38ХН2МА	0,33–0,40	0,17–0,37	0,25–0,50	1,30–1,70	1,3–1,7	0,2–0,3Mo

Таблица 1.6

## Механические свойства проката после закалки и отпуска

Марка стали	Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\Psi$ , %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Размер сечения заготовки, мм
20Х	635	780	11	40	59	15
40Х	785	980	10	45	59	25
40ХС	1080	1230	12	40	34	25
40ХН	785	980	11	45	69	25
20ХН3А	735	930	12	55	108	15
40Х2Н2А	930	1080	12	50	78	25
38ХМ	885	980	11	45	69	25
18ХГТ	885	980	9	50	78	-

Маркировка сталей содержит цифровые и буквенные обозначения: 15Х, 45Г, 18ХГТ, 40ХС, 40ХФА, 12ХН3А, 20ХН2М, 45ХН2МФА. В обозначении марок первые две цифры указывают среднюю массовую долю углерода в сотых долях процента. Буквы за цифрами означают: Р – бор, Ю – алюминий, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Г – марганец, Н – никель, М – молибден, В – вольфрам. Цифры, стоящие после букв, указывают примерную массовую долю легирующего элемента в целых единицах процентов. Отсутствие цифры означает, что в марке содержится до 1,5 % этого легирующего элемента. Буква «А» в конце наименования марки означает «высококачественная сталь» (рис. 1.6). Особовысококачественная сталь обозначается буквой «Ш» через тире в конце наименования марки. Например, качественная сталь – 30ХГС, высококачественная – 30ХГСА, особовысококачественная – 30ХГС-Ш.

Химический состав легированных конструкционных сталей приведен в табл. 1.5.

Механические свойства проката, определяемые на образцах, изготовленных из термически обработанных заготовок по ГОСТ 4543–71, должны соответствовать нормам, указанным в табл. 1.6.

#### *Литейные стали*

Стальные отливки в общем объеме производства занимают незначительное место, однако по абсолютному количеству их много. Это объясняется тем, что для получения изделий сложной формы литейный способ производства более прост и дешевле по сравнению с обработкой металлов давлением. Стальное литье, выполненное без литейных дефектов по механическим свойствам, может не уступать кованным изделиям. Стальные фасонные отливки получают путем литья в земляные, металлические формы или методами точного литья.

Для изготовления отливок предусмотрены следующие марки стали (ГОСТ 977–88 «Отливки стальные»): конструкционные нелегированные – 15Л, 20Л, 35Л; конструкционные легированные – 20ГЛ, 30ГСЛ, 45ФЛ, 35НГМЛ,

27Х5ГСМЛ, 03Н12Х5М3ТЮЛ; легированные со специальными свойствами – 20Х13Л, 09Х17Н3СЛ, 12Х18Н12М3ТЛ (коррозионно-стойкие); 20Х5МЛ, 40Х9С2Л, 45Х17Г13Н3ЮЛ (жаростойкие); 20Х12ВНМФЛ, 08Х17Н34В5Т3Ю2РЛ (жаропрочные); 85Х4М5Ф2В6Л, (Р6М5Л), 90Х4М4Ф2В6Л (быстрорежущие); 110Г13Л, 110Г13ФТЛ, 120Г10ФЛ (износостойкие).

Маркируют литейные углеродистые стали цифрами, определяющими среднее содержание углерода в сотых долях процента, с добавлением буквы «Л» в конце марки: 15Л, 20Л, 40Л, 50Л (рис. 1.7).

Литейные углеродистые стали содержат углерод от 0,12 до 0,55 %. В их состав входят примеси: до 0,9 % Mn, до 0,52 % Si, менее 0,06 % S и 0,08 % P.

Литейные свойства углеродистых сталей хуже, чем литейные свойства чугунов и цветных литейных сплавов. Стали обладают низкой жидкотекучестью и склонны к образованию горячих литейных трещин. У сталей высокая температура плавления и очень большая линейная усадка (до 2,3 %).

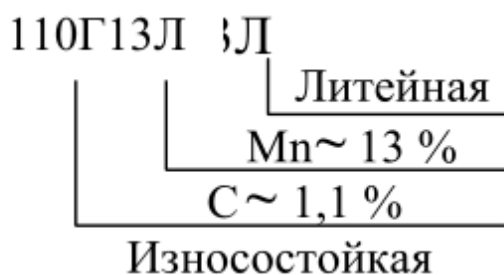


Рис. 1.7. Марка литейной стали

Таблица 1.7

Механические свойства конструкционных нелегированных литейных сталей

Марка стали	Категория прочности	Вид термической обработки	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\Psi$ , %	Ударная вязкость КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
20Л	К20	НО	216	412	22	35	491
30Л	К25	Н	255	471	17	30	343
35Л	К25	Н	275	491	15	25	343
50Л	К30	Н	334	569	11	20	245
30Л	КТ30	3О	294	491	22	33	343
50Л	КТ40	3	392	736	14	20	294

Примечание. НО – нормализация или нормализация с отпуском, 3О – закалка и отпуск.

Литая углеродистая сталь имеет низкие прочностные свойства из-за образования при затвердевании отливок крупнозернистой структуры. Для повышения пластичности и ударной вязкости стальные отливки можно подвергать улучшению (закалка с высоким отпуском) или нормализации. Прочностные свойства литейных сталей увеличиваются с повышением содержания углерода, однако это приводит к снижению относительного удлинения и ударной вязкости. Механические свойства стальных отливок в зависимости от категории прочности и термической обработки приведены в табл. 1.7.

Производство стальных фасонных отливок широко используется в железнодорожной, транспортной, тяжелой, автотракторной и других отраслях машиностроения. Углеродистая сталь марок 15Л, 20Л, 30Л, 35Л используется для литья тормозных дисков, шестерен, корпусов и других деталей, работающих при средних удельных давлениях. Стали с повышенным содержанием углерода 50Л, 55Л применяются для износостойких деталей, не испытывающих ударных нагрузок. Низкоуглеродистые литейные стали применяются для изготовления деталей, подвергающихся ударным нагрузкам, арматуры, узлов сварно-литейных конструкций. Среднеуглеродистые стали используются для изготовления крупных шестерен, зубчатых колес и станин, валов токарных станков.

#### *Чугуны*

Чугуны относятся к материалам с высокими литейными свойствами и являются наиболее распространенными сплавами для фасонного литья. У чугунов более низкая, чем у сталей, температура плавления, высокая жидкотекучесть, малая усадка, высокое сопротивление образованию усадочных трещин, что и позволяет отливать детали сложной формы.

Промышленные чугуны содержат 2,0–4,5 % С, 1,0–3,5 % Si, 0,5–1,0 % Mn, до 0,3 % P и до 0,2 % S. Содержание кремния в чугунах соизмеримо с содержанием углерода, поэтому кремний является не примесью, а легирующим элементом чугуна.

В зависимости от назначения чугуны подразделяются на чугуны общего и специального применения. К чугунам общего назначения относятся: серые, высокопрочные, ковкие и чугуны с вермикулярным графитом. Чугуны специального назначения: легированные, антифрикционные чугуны. При легировании повышаются механические и специальные свойства чугунов. Легированные чугуны применяют в качестве износостойких, коррозионностойких, жаропрочных, жаростойких материалов.

#### *Серые чугуны*

Серые чугуны – это основная группа литейных материалов. Принадлежность чугуна к серому чугуну определяется пластинчатой формой графита (рис. 1.8, а). По ГОСТ 1412–85 «Чугун с пластинчатым графитом для отливок» определяются марки, механические свойства и химический состав серых чугунов. Для изготовления отливок предусматриваются следующие марки чугуна: СЧ 10, СЧ 15, СЧ 18, СЧ 20, СЧ 21, СЧ 24, СЧ 25, СЧ 30, СЧ 35. Условное обозначение марки (рис. 1.9) включает буквы «СЧ» – серый чугун и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления при растяжении (МПа  $10^{-1}$ ). Например, чугун СЧ 10 имеет временное сопротивление при растя-

жении не менее 100 МПа. Чугун СЧ 10 имеет ферритную, а чугун СЧ 35 – перлитную основу.

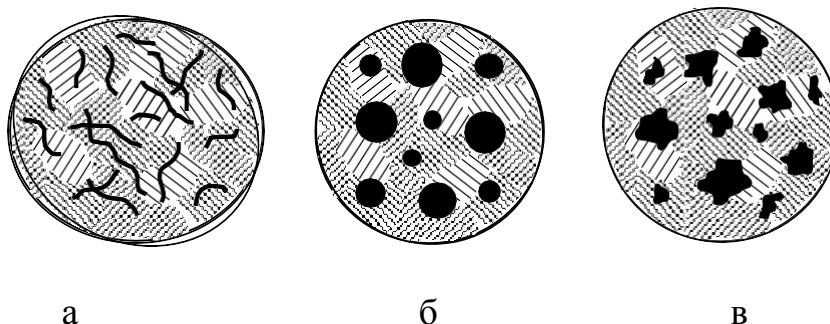


Рис. 1.8. Структура чугунов с перлитной металлической основой: а – серого; б – высокопрочного; в – ковкого

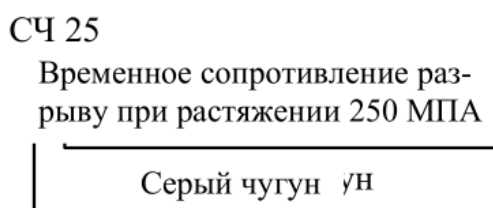


Рис. 1.9. Марка серого чугуна

Механические свойства чугуна зависят от толщины стенки отливки: с увеличением толщины стенки отливки уменьшается прочность и твердость серого чугуна (табл. 1.8).

Таблица 1.8  
Ориентировочные данные о временном сопротивлении при растяжении в отливках разного сечения

Марка чугуна	Толщина стенки, мм		
	8	50	150
	Временное сопротивление разрыву при растяжении, МПа, не менее		
СЧ 10	120	75	65
СЧ 25	270	180	150
СЧ 35	380	260	205

По действующему стандарту серые чугуны в зависимости от марки содержат углерода 2,9–3,7 %, кремния 1,2–2,6 %, марганца 0,5–1,1 %, фосфора до 0,3 % и серы до 0,15 %. Сера снижает прочность чугуна и поэтому является вредной примесью. Фосфор повышает жидкотекучесть чугуна, но может снижать прочность и ударную вязкость.

Основные области применения серого чугуна – станкостроение и тяжелое машиностроение, автомобильная промышленность и сельскохозяйственное



машиностроение. Из чугуна изготавливают станины станков, корпусные детали, картеры, шкивы, крышки, санитарно-техническое оборудование.

#### Высокопрочные чугуны

При модифицировании чугуна 0,05 % магния или церия графит кристаллизуется в шаровидной форме. Чугуны с шаровидным графитом называют высокопрочными. По ГОСТ 7293–85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок» высокопрочные чугуны маркируются следующим образом: ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, ВЧ 100. Обозначение марки включает буквы «ВЧ» – высокопрочный чугун и цифровое обозначение величины минимального временного сопротивления разрыву при растяжении (МПа  $10^{-1}$ ). Например, чугун ВЧ 100 (табл. 1.9) имеет временное сопротивление разрыву при растяжении не менее 1000 МПа.

Таблица 1.9

Механические свойства чугуна с шаровидным графитом для отливок по ГОСТ 7293–85

Марка чугуна	$\sigma_b$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	$\sigma_{0,2}$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	$\delta$ , %	Твердость, НВ
ВЧ 35	350 (35)	220 (22)	22	140–170
ВЧ 45	450 (45)	310 (31)	10	140–225
ВЧ 60	600 (60)	370 (37)	3	192–277
ВЧ 80	800 (80)	480 (48)	2	218–351
ВЧ 100	1000 (100)	700 (70)	2	270–360

Чугуны ВЧ 35 и ВЧ 40 имеют ферритную, ВЧ 45 и ВЧ 50 – перлитно-ферритную, ВЧ 60, ВЧ 70 и ВЧ 80 – перлитную металлическую основу (рис. 1.8, б).

В отличие от серых чугунов с пластинчатым графитом во всех высокопрочных чугунах содержание углерода практически одинаково высокое, что обеспечивает хорошие литейные свойства. Примесь фосфора снижает пластичность, поэтому его содержание не должно превышать 0,1 %. Особенно вредна сера: она снижает механические свойства и ослабляет действие модификаторов. Содержание серы не должно превышать 0,02–0,01 %, это меньше допуска в качественных сталях.

Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом используют для замены литой стали в изделиях ответственного назначения: валки горячей прокатки, станины и рамы прокатных станов, молотов, прессов, коленчатые валы дизельных двигателей. Высокопрочный чугун применяют и для замены серого чугуна, если необходимо увеличить срок службы изделия или снизить его массу.

Чугун с вермикулярным графитом по свойствам и внутреннему строению занимает промежуточное положение между серым и высокопрочным чугуном. Графит вермикулярной формы представляет переходную форму от пластинчатой к шаровидной. В чугуне с вермикулярным графитом может содержаться не более 40 % шаровидного графита. Для изготовления отливок применяются чу-

гуны следующих марок: ЧВГ 30, ЧВГ 35, ЧВГ 40, ЧВГ 45. Обозначение марки включает буквы «ЧВГ» – чугун с вермикулярным графитом и цифровое обозначение минимального значения временного сопротивления разрыву при растяжении (МПа  $10^{-1}$ ).

Чугуны марок ЧВГ прочнее, а при одинаковой прочности пластичнее чугунов марок СЧ. Они превосходят чугуны марок ВЧ по демпфирующей способности и обрабатываемости резанием. Механические свойства чугуна с вермикулярным графитом для отливок приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Механические свойства чугуна с вермикулярным графитом по  
ГОСТ 28394–89

Марка чугуна	$\sigma_b$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	$\sigma_{0,2}$ , МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	$\delta$ , %	Твердость, НВ
ЧВГ 30	300 (30)	240 (24)	3,0	130–180
ЧВГ 35	350 (35)	260 (26)	2,0	140–190
ЧВГ 40	400 (40)	320 (32)	1,5	170–220
ЧВГ 45	450 (45)	380 (38)	0,8	190–250

Чугуны с вермикулярным графитом применяют вместо серых чугунов для отливок базовых деталей станков и кузнечно-прессового оборудования, массивных изложниц, кокильной оснастки.

#### Ковкие чугуны

Ковкий чугун получают отжигом белого чугуна. При отжиге белого чугуна образуется графит в благоприятной для механических свойств компактной, хлопьевидной форме. Относительное удлинение ковкого чугуна может достигать гарантированного уровня 10–12 %, у исходного белого чугуна не превышает 0,2 %, а у чугуна с пластинчатым графитом – 1 %.

Механические свойства ковких чугунов приведены в таблице 1.11.

Таблица 1.11

Механические свойства ковкого чугуна по ГОСТ 1215–79

Марка чугуна	Временное сопротивление разрыву, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> ), не менее	Относительное удлинение, %, не менее	Твердость, НВ
КЧ 30–6	294 (30)	6	100–163
КЧ 37–12	362 (37)	12	110–163
КЧ 45–7	441 (45)	7	150–207
КЧ 60–3	588 (60)	3	200–269
КЧ 80–1,5	784 (80)	1,5	270–320

Белый чугун, предназначенный для отжига на ковкий, содержит 2,4–2,9 % С, 1,0–1,6 % Si, 0,3–1,0 % Mn, не более 0,18 % Р и 0,20 % S.

Содержание углерода и кремния в ковком чугуне должно быть меньше, чем в сером. В таком случае при кристаллизации обеспечивается формирование структуры белого чугуна по всему сечению отливки.

В соответствии с ГОСТ 1215–79 отливки из ковкого чугуна изготавливают следующих марок: КЧ 30–6, КЧ 33–8, КЧ 35–10, КЧ 37–12 ферритного класса с ферритной или ферритно-перлитной металлической основой; КЧ 45–7, КЧ 50–5, КЧ 55–4, КЧ 60–3, КЧ 65–3, КЧ 70–2, КЧ80–1,5 перлитного класса (рис. 1.8, в). Обозначение марки включает буквы «КЧ» – ковкий чугун и цифровые обозначения величины минимального временного сопротивления разрыву при растяжении (кгс/мм<sup>2</sup>) и величины минимального относительного удлинения в процентах (рисунок 10).

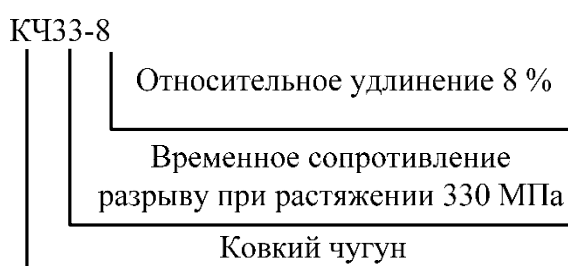


Рис. 1.10. Марка ковкого чугуна

#### Антифрикционные чугуны.

Антифрикционные чугуны применяют для работы в узлах трения со смазкой, подшипников скольжения, втулок, вкладышей. По ГОСТ 1585–85 «Антифрикционные чугуны» в качестве антифрикционных используют серые чугуны с пластинчатым графитом АЧС-1, АЧС-2, ..., АЧС-6, высокопрочные чугуны с шаровидным графитом АЧВ-1, АЧВ-2 и ковкие чугуны АЧК-1, АЧК-2. В обозначении марки цифра означает порядковый номер, от которого зависит химический состав чугуна.

#### Легированные чугуны.

Чугуны, легированные углеродом, хромом, кремнием, алюминием, никелем, медью и другими элементами, относятся к чугунам со специальными свойствами: износостойкие, жаростойкие, жаропрочные и коррозионностойкие.

По действующему стандарту регламентируются механические свойства легированных чугунов, которые приведены в таблице 1.12.

По ГОСТ 7769–82 «Чугун легированный для отливок со специальными свойствами» чугун подразделяется на виды и марки по легированию и по назначению. К хромистым чугунам относятся чугуны марок ЧХ1, ЧХ3, ЧХ16, ЧХ22С, ЧХ28Д2; к кремнистым – ЧС5, ЧС17, ЧС15М4; к алюминиевым – ЧЮ6С5, ЧЮ22Ш; к марганцевым – ЧГ6С3Ш, ЧГ8Д3; к никелевым – ЧНХТ, ЧН2Х2, ЧН19Х3Ш. В обозначении марок чугуна первая буква «Ч» – чугун, последующие буквы определяют легирующие элементы: Х – хром, С – кремний, Г – марганец, Н – никель, Д – медь, М – молибден, Т – титан, П – фосфор, Ю –

алюминий; буква Ш указывает на шаровидную форму графита. Цифры, стоящие после каждой буквы, означают примерную массовую долю основных легирующих элементов в процентах.

Таблица 1.12

Механические и эксплуатационные свойства чугунов

Марка чугуна	Временное сопротивление, МПа, не менее		Твердость, НВ	Эксплуатационные свойства
	растяжению	изгибу		
ЧХЗ	150	310	228–364	Жаростойкий до 973 К, износостойкий
ЧХЗ2	290	460	245–340	Жаростойкий до 1423 К, износостойкий
ЧС15М4	60	140	390–450	Коррозионностойкий в кислотах, щелочах, солях
ЧХ22С	290	540	215–340	Коррозионностойкий в газовых средах до 1273 К
ЧЮХШ	390	590	187–364	Жаростойкий до 923 К
ЧХ9Н5	350	700	490–610	Износостойкий
ЧГ8ДЗ	150	330	176–285	Магнитный, износостойкий

Отливки из легированных чугунов используются в условиях повышенных температур, в агрессивных средах, при значительном трении изделий. Хромистые чугуны ЧХ1, ЧХ2, ЧХ3, относящиеся к жаростойким и износостойким, применяются для изготовления деталей термических печей, колосников, горелок, кокилей. Кремнистые чугуны с высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью ЧС5, ЧС15М4, ЧС15 используются для изготовления топочной арматуры котлов, деталей компрессоров, теплообменников и деталей химической аппаратуры. Марганцевые чугуны, относящиеся к износостойким и маломагнитным ЧГ7Х4, ЧГ8ДЗ, применяют для деталей насосов, мельниц, дробе- и пескоструйных камер, немагнитных деталей арматуры.

#### Инструментальные материалы

По ГОСТ 5950–73 «Прутки и полосы из инструментальной легированной стали» металлопродукцию по назначению подразделяют на две группы: для изготовления инструмента, используемого для обработки металлов и других материалов в холодном состоянии и для обработки металлов давлением при температуре выше 300 °С. Данный стандарт распространяется на горячекатаные, кованные, калиброванные прутки и полосы из легированной инструментальной стали.

В первую группу входят высоко- и среднеуглеродистые легированные стали следующих марок: 9ХФ, 13Х, ХВ4, Х, 9ХС, ХВГ, Х12, Х12ВМФ, 6Х4М2ФС, 8ХЧВ2МФС2. Вторую группу в основном составляют среднеуглеродистые легированные стали следующих марок: 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХМФС, 4Х2В5МФ, 6Х3МФС. В обозначении марок инструментальных сталей первые цифры определяют массовую долю углерода в десятых долях процента. Цифры отсутствуют, если массовая доля углерода близка к единице или больше единицы. Например: сталь 9ХФ содержит 0,8–0,9 % С, 0,15–0,30 % V, 0,15–0,35 % Si, 0,30–0,60 % Mn, 0,40–0,70 % Cr; сталь 4Х5МФС содержит 0,32–0,40 % С, 0,9–1,2 % Si, 0,20–0,50 % Mn, 4,5–5,5 % Cr, 0,30–0,50 % V, 1,2–1,5 % Mo.

Быстрорежущие стали. Высоколегированные стали, предназначенные для изготовления инструментов высокой производительности, относятся к группе быстрорежущих сталей (табл. 1.13).

Таблица 1.13

Состав быстрорежущих сталей, %

Марка стали	С	Cr	W	V	Mo	Co
P18	0,7–0,8	3,8–4,4	7,0–18,5	1,0–1,4	1,0	–
P6M5	0,80–0,88	3,8–4,4	5,5–6,5	1,7–2,1	5,0–5,5	–
P14Ф4	1,2–1,3	4,0–4,6	13,0–14,5	3,4–4,4	1,0	–
P10K5Ф5	1,45–1,55	4,0–4,6	10,0–11,5	4,3–5,1	1,0	5,0–6,0

Основное свойство этих сталей – высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением большого количества вольфрама совместно с другими карбидообразующими элементами – молибденом, хромом, ванадием.

Вольфрам и молибден в присутствии хрома связывают углерод в специальный труднокоагулируемый при отпуске карбид типа Me<sub>3</sub>C (Me – условное обозначение металла) и задерживают распад мартенсита. Выделение дисперсных карбидов, которое происходит при повышенных температурах отпуска (500–600 °С), вызывает дисперсионное твердение мартенсита – явление вторичной твердости (рисунок 1.11).



Рис. 1.11. Марка быстрорежущей инструментальной стали

Твердые сплавы получают из порошков карбидов вольфрама (WC), карбидов титана (TiC) и карбидов тантала (TaC), смешанных с порошком кобальта (Co). Твердые сплавы применяют в виде пластинок определенной формы и размеров, изготавливаемых методом порошковой металлургии. Пластины предварительно прессуют, а затем спекают при температуре 1500–1900 °С.

Различают твердые сплавы: вольфрамовые – BK2, BK3, BK3M, BK4B, BK6M, BK6, BK6B, BK8, BK8B, BK10, BK15, BK20, BK25; титановольфрамовые – T30K4, T15K6, T14K8, T5K10, T5K12B; титанотанталовольфрамовые – TT7K12, TT10K8B. Пластины твердого сплава (HRA 86–92) обладают высокой износостойкостью и красностойкостью (800–1000 °С), что позволяет вести обработку со скоростями резания до 800 м/мин. Пластины припаивают к державкам или корпусам инструментов медными (латунными) припоями или крепят механическим способом.

В промышленности применяют многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластины (трех-, четырех-, пяти- и шестигранные и др.), которые крепят механическим способом. После износа одной из режущих кромок пластины в работу вводят следующую. Недостатком твердых сплавов является пониженная пластичность.

Твердые сплавы группы BK используют для обработки деталей из хрупких металлов, пластмасс, неметаллических материалов, а сплавы группы ТВК – для обработки деталей из пластических и вязких металлов и сплавов.

Мелкозернистые твердые сплавы (BK6M и др.) применяют для обработки деталей из труднообрабатываемых коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов, твердых чугунов, бронз, закаленных сталей, сплавов легких металлов, сплавов титана, фосфора, керамики, стекла, ферритов. Трехкарбидные сплавы ТТК отличаются от сплавов групп BK и ТВК повышенной износостойкостью, прочностью и вязкостью, их применяют для обработки труднообрабатываемых сталей аустенитного класса.

## Цветные металлы и их сплавы

### Алюминиевые сплавы

Алюминий – легкий металл с плотностью 2700 кг/м<sup>3</sup>, обладает высокими теплопроводностью и электропроводимостью, стоек к коррозии. Температура плавления алюминия ~ 658 °С.

Алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. Те и другие могут быть не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. К деформируемым алюминиевым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al–Mn (АМц), содержащие до 1,6 % Mn, и сплавы системы Al–Mg (АМг), содержащие до 5,8 % Mg. Эти сплавы обладают высокой пластичностью и невысокой прочностью. К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al–Cu–Mg (дуралюмины, ковочные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного химического состава. Дуралюмины (Д16–Д18) содержат 3,8–4,8 % Cu, 0,4–1,8 % Mg, а также 0,4–0,9

% Mn, который повышает коррозионную стойкость сплавов. После термической обработки эти сплавы приобретают высокие прочность и пластичность. Ковочные сплавы (АК6–АК8) содержат 1,8–4,8 % Cu, 0,4–0,8 % Mg, 0,4–1 % Mn, 0,6–1,2 % Si, хорошо деформируются в нагретом состоянии, обладают высокой прочностью после термообработки.

Литейные алюминиевые сплавы применяют для изготовления деталей машин и приборов литьем. Наиболее широко используют сплавы алюминия с содержанием 10–13 % Si, например, АК12 (АЛ2).

Сплавы алюминия с медью (до 5,3 % Cu) АМ5 (АЛ19) применяют для литья деталей, работающих при достаточно высоких нагрузках (кронштейны, арматура и др.).

Сплавы алюминия с магнием (до 9,5–11,5 % Mg) обладают хорошей коррозионной стойкостью и применяются для отливок, работающих во влажной атмосфере АМг10 (АЛ27) и АМг5К (АЛ13). Часто отливки из алюминиевых литейных сплавов подвергают термической обработке для повышения прочности, пластичности, снижения остаточных напряжений.

Алюминий применяют для приготовления спеченных алюминиевых сплавов (САС) и спекаемых алюминиевых пудр (САП), из которых изготавливают детали методами порошковой металлургии, позволяющей получать детали с особыми свойствами: коррозионной стойкостью, прочностью, пористостью.

#### Магний и его сплавы

Магний – легкий металл с плотностью 1740 кг/м<sup>3</sup>, температурой плавления 651 °С. Промышленный магний марки Мг96 содержит 99,96 % Mg, марки Мг95 – 99,85 % Mg. Магниевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные, не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые магниевые сплавы (МА) (ГОСТ 14957–76) содержат до 2 % Mn, до 5 % Al, десятые доли процента церия, например, сплавы МА2, МА8, не упрочняемые термической обработкой; высокопрочные сплавы – до 9 % Al и 0,5 % Mn (сплав МА5). Жаропрочные магниевые сплавы содержат добавки циркония, никеля и др.

Литейные магниевые сплавы (МЛ6, МЛ3) (ГОСТ 2856–79) содержат 2,5–9 % Al и 0,5–1,5 % Zn, 0,15–0,5 % Mn, имеют невысокий модуль упругости ( $E = 43\ 000$  МПа) и вследствие этого хорошие демпфирующие свойства (гасят колебания конструкции). Однако эти сплавы обладают невысокой коррозионной стойкостью, и для ее повышения отливки оксидируют, покрывают лаками.

#### Медь и ее сплавы

Медь – тяжелый цветной металл, имеет плотность 8940 кг/м<sup>3</sup>, температуру плавления 1083 °С, обладает высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, малым удельным электросопротивлением, высокой теплопроводностью. Медь широко используют для изготовления электропроводов, деталей электрических машин и приборов, в химическом машиностроении. Медь по чистоте подразделяют на марки М0 (99,97 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,5 % Cu), М4 (99 % Cu).

Медные сплавы разделяют на бронзы и латуни. Бронзы (ГОСТ 493–79, 613–79) – это сплавы меди с оловом (4–33 % Sn), свинцом (30 % Pb), алюминием (5–11 % Al), кремнием (4–5 % Si), сурьмой и фосфором. Латуни – это сплавы меди с цинком (до 50 % Zn) с небольшими добавками алюминия, кремния, никеля, марганца (ГОСТ 17711–93, 15527–70). Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Л – латунь, Бр – бронза), после чего следуют первые буквы основных названий элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество легирующего элемента в процентах. Например, ЛЦ40Мц1,5 – латунь, содержащая 40 % Zn, 1,5 % Mn, остальное Cu.

Бронзы и латуни разделяют на деформируемые и литейные. Литейные бронзы и латуни отличаются от деформируемых тем, что в их состав вводят добавки, улучшающие литейные свойства сплава: повышающие жидкотекучесть, уменьшающие усадку. Однако эти добавки снижают пластические свойства литейных бронз и латуней по сравнению с деформируемыми.

#### Титан и его сплавы

Титан – тугоплавкий металл с температурой плавления 1665 °С, плотностью 4500 кг/м<sup>3</sup>. Временное сопротивление разрыву чистого титана  $\sigma_b = 250$  МПа, относительное удлинение  $\delta = 70$  %; он обладает высокой коррозионной стойкостью. Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей. Поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40 %. Однако титан имеет низкую жаростойкость, так как при температурах выше 500–600 °С легко окисляется и поглощает водород. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него изготавливают сложные отливки, но его обработка резанием затруднительна.

Для получения сплавов с заданными свойствами титан легируют (ГОСТ 19807–91) алюминием, молибденом и др. Наибольшее применение нашли сплавы, легированные алюминием, например сплав ВТ 5 (до 5 % Al) с  $\sigma_b = 700–900$  МПа,  $\delta = 10–12$  %. Из этого сплава получают поковки, отливки.

Для получения требуемых механических свойств титановые сплавы подвергают термической обработке (отжигу, закалке и старению) в печах с защитной атмосферой. Титан и его сплавы используют для изготовления деталей самолетов, в химическом машиностроении, судостроении и других областях машиностроения.

## 1.2. Классификация неметаллических материалов

#### Строение и виды полимеров

Строение полимеров. Полимерами называются вещества с большой молекулярной массой ( $> 10^4$ ), у которых молекулы состоят из одинаковых групп атомов звеньев (рисунки 1.12).



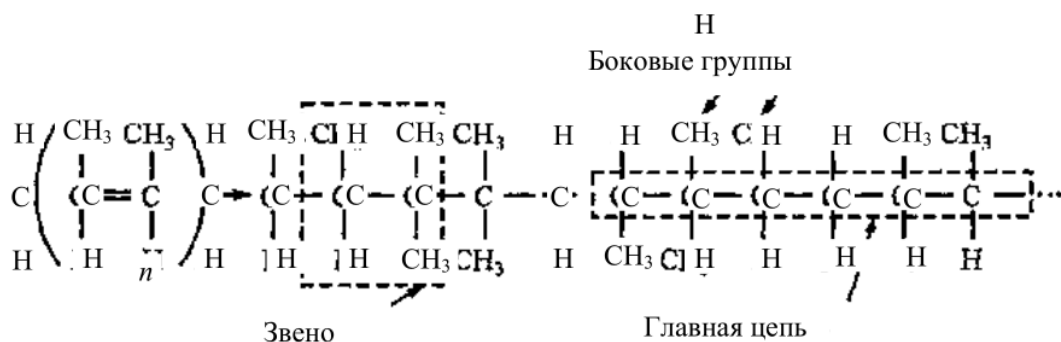


Рис. 1.12. Схема строения линейной макромолекулы

Каждое звено представляет собой измененную молекулу исходного низкомолекулярного вещества мономера.

В зависимости от характера связей между линейными молекулами различают термопластичные и термореактивные полимеры. Первые способны многократно размягчаться при нагреве и твердеть при охлаждении без изменения своих свойств, вторые при нагреве остаются твердыми вплоть до полного термического разложения.

Это различие в поведении при нагреве объясняется тем, что у термопластичных полимеров между молекулами действуют относительно слабые силы Ван-дер-Ваальса. При нагреве связи между молекулами значительно ослабляются, материал становится мягким и податливым. У термореактивных полимеров кроме сил Ван-дер-Ваальса имеются поперечные ковалентные связи между молекулами. Благодаря им термореактивный материал остается твердым при нагреве.

Линейные молекулы имеют главные цепи и боковые группы (рис. 1.12). При молекулярной массе  $10^4$ – $10^6$  в линейной молекуле объединяются сотни звеньев и длина главной цепи во много раз больше размеров боковых групп. Боковые группы образуют атомы (водород, галоиды), радикалы (ОН–, CN–,  $C_6H_5$ – и др.), короткие полимерные цепи из нескольких звеньев. Очевидно, что при наличии боковых групп нескольких видов имеются возможности разместить их вдоль главной цепи как неупорядоченно, так и в определенном порядке. Полимеры с неупорядоченным чередованием групп называются нерегулярными, с упорядоченным – регулярными.

Структура молекул определяется способом производства полимера. При обработке полимеров (нагрев, растворение и т. д.) структура молекул почти не изменяется, и нельзя, например, нерегулярный полимер сделать регулярным. Общая структура полимеров складывается из структуры молекул и надмолекулярной структуры, т. е. взаимной укладки линейных молекул в полимерном веществе. Надмолекулярная структура появляется под влиянием сил притяжения между молекулами и теплового движения самих молекул. Для нерегулярных полимеров характерны пачечные структуры, когда на сравнительно больших участках главные цепи соседних молекул располагаются параллельно. У регулярных полимеров типичными надмолекулярными структурами являются кристаллы.

Макромолекулы в полимерном веществе упакованы не плотно, и мерой плотности упаковки является так называемый свободный объем, т. е. разность между фактическим удельным объемом вещества и теоретическим удельным объемом при самой плотной упаковке. При нагреве свободный объем увеличивается. В зависимости от свободного объема полимерное вещество находится в одном из физических состояний: стеклообразном, высокоэластичном, вязкотекучем. Переходы из одного состояния в другое происходят без выделения или поглощения теплоты. Температуры переходов называются температурами стеклования  $t_{ст}$  и текучести  $t_{тек}$ .

Виды полимеров. Полиэтилен – один из наиболее широко применяемых полимеров. Выпускают полиэтилены высокого давления (ПЭВД) и низкого давления (ПЭНД). Прочность, теплостойкость и химическая стойкость ПЭНД выше, чем ПЭВД. Последний обладает хорошей газонепроницаемостью.

Полипропилен хорошо выдерживает изгиб, обладает высокой износостойкостью, устойчив к действию легких кислот и щелочей.

Полистирол – хрупкий полимер, обладающий высокой радиационной стойкостью, легко подвергающийся старению. Промышленностью выпускают полистирол обычный (марки ПСМСМ и ПСМ), суспензионный (ПС-С, ПС-СП) и эмульсионный (ПСЭ-1, ПСЭ-2). Предел прочности составляет 35-45 МПа.

Политетрафторэтилен – линейный полимер, превосходный диэлектрик, устойчив к окислителям, щелочам, кислотам, органическим растворителям. В России выпускается под маркой «фторопласт-4», имеющей низкий коэффициент трения.

Полиметиленоксид – линейный полимер, хорошо сопротивляется усталостным и динамическим знакопеременным нагрузкам, обладает низкой ползучестью, высокой износостойкостью.

Полифениленсульфид характеризуется высокой термостойкостью, устойчивостью к окислению, радиационной стойкостью.

Полифениленоксид – простой ароматический полиэфир линейного строения. Полимер нетоксичен, стоек к агрессивным средам, грибковой плесени.

Полиэтилентерефталат – сложный линейный ароматический полиэфир терефталевой кислоты. Для изделий, изготовленных из него, характерна стабильность формы.

Поликарбонаты – сложные полиэферы. В России выпускаются под маркой «дифлон». Полимер устойчив к действию ультрафиолетового излучения, обладает низкой стойкостью к действиям микроорганизмов.

Полиарилаты – сложные ароматические полиэферы, обладают высокой прочностью и термостойкостью.

Полиоксибензоаты характеризуются высокой термостойкостью, не плавятся вплоть до температуры разложения 550 °С.

Полиимиды выпускаются в виде пресс-порошков марок ПМ-67, ПМ-69. Для изделий, изготовленных из полиимидов, характерны высокая стабильность размеров, низкая ползучесть при высоких температурах, высокая термостойкость.

Полиамиды в нашей стране хорошо известны под маркой «нейлон-7». Для них характерна высокая износостойкость, ударная вязкость, устойчивость к действию органических растворителей.

Эпоксидная смола представляет собой олигомеры или полимеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных групп. Отвердителями смол служат многомерные, олигомерные и полимерные соединения различных классов. Смолы обладают высокой стойкостью к действию щелочей, солей, окислителей, органических растворителей. Полимерные конструкционные материалы (ПКМ), изготовленные на основе эпоксидных смол, обладают высокими механическими свойствами.

Фенолформальдегидные смолы – полимеры, представляют собой продукты поликонденсации фенола с формальдегидами. В зависимости от условий поликонденсации образуются термореактивные или термопластичные смолы. Большинство из них устойчивы к действию кислот.

Фурановые смолы представляют собой олигомерные продукты, содержащие в молекулах фурановые цепи и способные превращаться в присутствии катализатора или при нагревании в трехмерные полимеры. Промышленностью выпускаются смолы марок ФА, ФЛ, ФАЭД. Отверждение происходит с участием специальных реагентов (пироксидов, кислот, солей, эпоксидов и др.) или под действием тепла, излучений высокой энергии и др.

Кремнийорганические полимеры представляют собой термостойкие, высокомолекулярные, элементоорганические соединения, содержащие в составе элементарного звена макромолекулы атомы кремния и углерода. Промышленностью выпускаются кремнийорганические смолы К-41, К-44 и др. Устойчивы к действию большинства кислот и щелочей.

#### Строение стекла

Стекло- твердый аморфный прозрачный в той или иной области оптического диапазона (в зависимости от состава) материал, полученный при переохлаждении расплава, содержащего стеклообразующие компоненты (оксиды Si, В, Al, Р и т. д.) и оксиды металлов (Li, К, Mg, Pb и т. д.).

Основу стекла образует объемная сетка из однородных структурных элементов. В наиболее простом по составу кварцевом стекле такими элементами являются тетраэдры  $[SiO_4]$ , которые соединяются своими вершинами (рисунок 1.13).

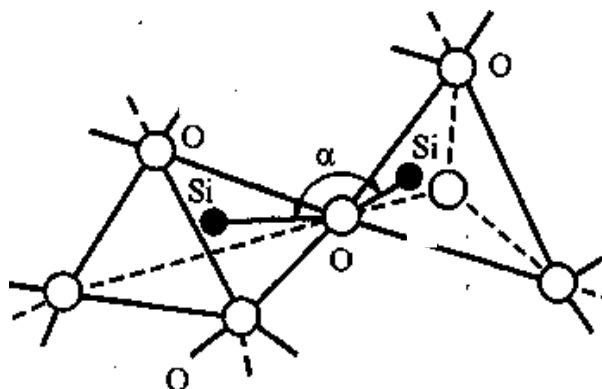


Рис. 1.13. Строение кварцевого стекла

Из таких же тетраэдров образована структура кристаллического кварца. Различие между двумя веществами одинакового химического состава объясняется размещением  $[\text{SiO}_4]$ : углы между связями  $\text{SiO}_4$  в кварцевом стекле характеризуются более широкими пределами ( $120\text{--}180^\circ$ ), чем углы в кристаллическом кварце. Структура аморфного стекла возникает при охлаждении стеклянной массы, когда повышение ее вязкости препятствует кристаллизации.

Основную массу промышленных стекол составляют силикатные стекла с добавками других оксидов. По сравнению с кварцевым стеклом они размягчаются при более низких температурах и легче перерабатываются в изделия.

В силикатных стеклах атомы соединяются ковалентно-ионными связями; в объемную сетку кроме кремния и кислорода входят также алюминий, титан, германий, бериллий; ионы щелочных и щелочноземельных металлов размещаются в ячейках стекол, что приводит к изменению их свойств, в том числе цвета, и является причиной структурной неоднородности.

При охлаждении однофазный расплав расслаивается на две или несколько жидких фаз разного химического состава. Затвердевшее стекло имеет многофазную структуру. Расслоение силикатных стекол характерная особенность их структуры.

При определенном соотношении содержания кремния, кислорода и других элементов очень трудно предупредить зарождение и рост кристаллов. Кристаллизация, или «расстекловывание», с образованием крупных кристаллов отрицательно влияет на прочность и прозрачность стекла. Кристаллизацию предупреждают подбором химического состава стекла и условий его варки. Напряжения в стеклянных изделиях из-за различной плотности в разных участках устраняют нагревом, достаточным для перестройки элементов структуры и выравнивания плотности. Из стекол специального состава при помощи контролируемой кристаллизации получают ситаллы стеклокристаллические материалы. Структура ситаллов представляет собой смесь очень мелких ( $0,01\text{--}1\ \mu\text{м}$ ), беспорядочно ориентированных кристаллов ( $60\text{--}95\%$ ) и остаточного стекла ( $5\text{--}40\%$ ). Исходное стекло по химическому составу отличается от остаточного стекла, в котором накапливаются ионы, не входящие в состав кристаллов. Такая структура создается в стеклянных изделиях после двойного отжига (первый нужен для формирования центров кристаллизации, второй - для выращивания кристаллов на готовых центрах). Для образования кристаллов в стекла вводят  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и другие соединения.

#### Строение керамики

Керамикой называются материалы, полученные при высокотемпературном спекании минеральных порошков. При нагреве исходные вещества взаимодействуют между собой, образуя кристаллическую и аморфную фазы. Керамика представляет собой пористый материал, содержащий ковалентные или ионные кристаллы – сложные оксиды, карбиды или твердые растворы на их основе. Аморфная фаза является стеклом, которое по своему химическому составу отличается от кристаллов. Керамический материал содержит одну или несколько кристаллических фаз; отдельные виды керамики совсем не имеют стекла в своей структуре. Как правило, керамика имеет поликристаллическую

структуру с прослойками стекла и с беспорядочным расположением зерен и поэтому однородна по свойствам.

Характерной особенностью керамических материалов является хрупкость. Сопротивление разрушению тем выше, чем мельче кристаллы и меньше пористость. Например, плотная микрокристаллическая керамика на основе  $Al_2O_3$  с размерами зерен 1–5 мкм в 5–6 раз прочнее обычной. Изделия из плотной мелкозернистой керамики – тонкой керамики – получают по более сложной технологии, и поэтому они дороги. Пористую керамику используют в качестве огнеупорных материалов, фильтров, диэлектриков в электротехнике. Более прочную плотную керамику применяют для некоторых деталей машин.

## ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 2.1. Физическая сущность процесса

Основной причиной и движущей силой процесса кристаллизации является стремление вещества к наиболее устойчивому в термодинамическом отношении состоянию, т.е. к наименьшему запасу свободной энергии.

Изменение величины свободной энергии в зависимости от температуры для металла в кристаллизованном и жидком состояниях схематически показано на рис. 2.1. При температуре  $T_0$  свободные энергии  $F$  обоих состояний равны. Такую температуру называют равновесной или теоретической температурой кристаллизации. При  $T_0$  обе фазы (жидкая и твердая) могут сосуществовать одновременно и бесконечно долго: процесс кристаллизации при этой температуре еще не начинается.

Разность между теоретической и фактической температурами кристаллизации называется степенью переохлаждения  $\Delta T$ :

$$\Delta T = T_0 - T_{кр.}$$

Определение температур критических точек плавления и кристаллизации осуществляют при медленных нагреваниях и охлаждениях, т. е. в равновесном состоянии. Эти процессы изображают с помощью кривых нагревания (рис. 2.2) и охлаждения (рис. 2.3).

При нагреве всех кристаллических тел, в том числе металлов, наблюдается четкая граница перехода из твердого состояния в жидкое (рис. 2.2). Такая же резкая граница существует и при переходе из жидкого состояния в твердое (рис. 2.3).

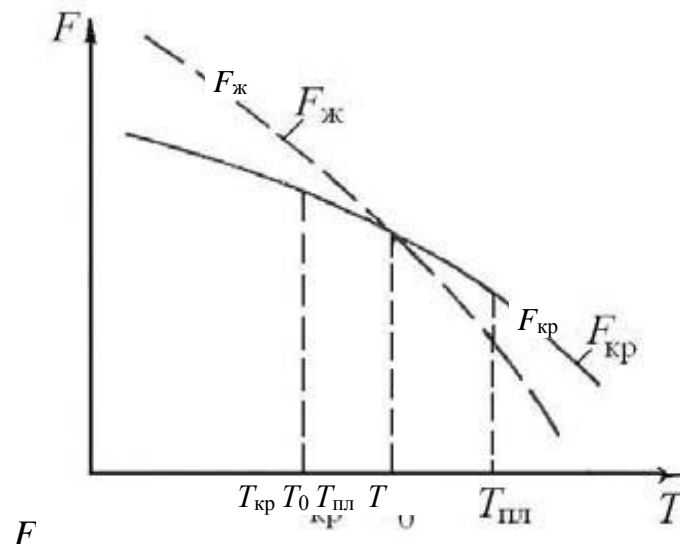


Рис. 2.1. Изменение свободной энергии  $F$  жидкого и кристаллизованного металла в зависимости от температуры  $T$

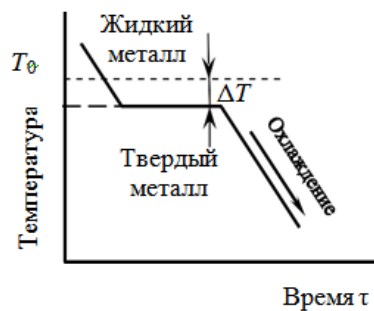
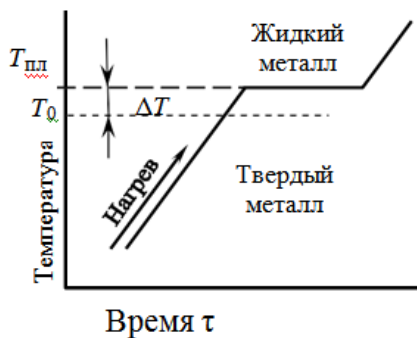


Рис. 2.2. Кривая нагревания      Рис. 5.3. Кривая охлаждения

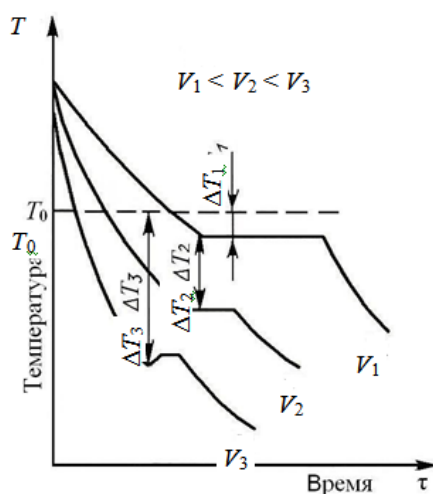


Рис. 2.4. Кривые охлаждения в случае кристаллизации металла при различных степенях переохлаждения

На кривой нагревания внешний подвод тепла сопровождается повышением температуры металла, сохраняющего свою кристаллическую решетку. На горизонтальном участке кривой нагрева подвод тепла продолжается, но он не приводит к повышению температуры, т. е. подводимая энергия целиком расходуется на разрушение закономерного расположения атомов. Внешне это проявляется в переходе твердого состояния в жидкое. После разрушения последних участков кристаллической решетки продолжающийся подвод тепла вызывает повышение температуры жидкого металла.

При охлаждении происходит обратный процесс. Горизонтальный участок кривой охлаждения показывает, что происходит кристаллизация, сопровождающаяся выделением тепла, которое называется *скрытой теплотой кристаллизации*. Кристаллизация металла происходит при некотором переохлаждении  $\Delta T$ , величина которого зависит от природы самого металла, от степени его загрязненности различными включениями и от скорости охлаждения.

Кривые охлаждения, характеризующие процесс кристаллизации чистых металлов при охлаждении с разной скоростью, приведены на рис. 2.4. При очень медленном охлаждении степень переохлаждения невелика и процесс

кристаллизации протекает при температуре, близкой к равновесной (рис. 2.4, кривая  $V_1$ ).

С увеличением скорости охлаждения степень переохлаждения возрастает (кривые  $V_2, V_3$ ) и процесс кристаллизации протекает при температурах, лежащих ниже равновесной температуры кристаллизации. Чем чище жидкий металл, тем более он склонен к переохлаждению. При затвердевании очень чистых металлов степень переохлаждения  $\Delta T$  может быть очень велика.

Процесс кристаллизации начинается с образования кристаллических зародышей (центров кристаллизации) и продолжается в процессе роста их числа и размеров. Вокруг образовавшихся центров начинают расти кристаллы (рис. 2.5, *a*). Каждый из растущих новых кристаллов ориентирован в пространстве произвольно (рис. 2.5, *б, в*). При уменьшении количества жидкости поверхности растущих кристаллов соприкасаются друг с другом, их правильная внешняя форма нарушается и получается произвольной (рис. 2.5, *г*). Кристаллы с неправильной внешней формой называются *зернами* или *кристаллитами* (рис. 2.5, *г*). Твердые тела, в том числе и металлы, состоящие из большого количества зерен, называют *поликристаллическими*.

Таким образом, процесс кристаллизации состоит из двух этапов:

- 1) образование центров кристаллизации (зародышей);
- 2) рост кристаллов вокруг этих центров.

Установлена зависимость числа центров кристаллизации (ч. ц.) и скорости роста кристаллов (с. к.) от степени переохлаждения  $\Delta T$  (рис. 2.6). Каждый из этих параметров изменяется по закону кривых распределения, т. е. число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов, возрастая с увеличением степени переохлаждения, имеют максимум. Размер образовавшихся кристаллов зависит от соотношения числа центров кристаллизации и скорости роста кристаллов при температуре кристаллизации, т. е. от степени переохлаждения.

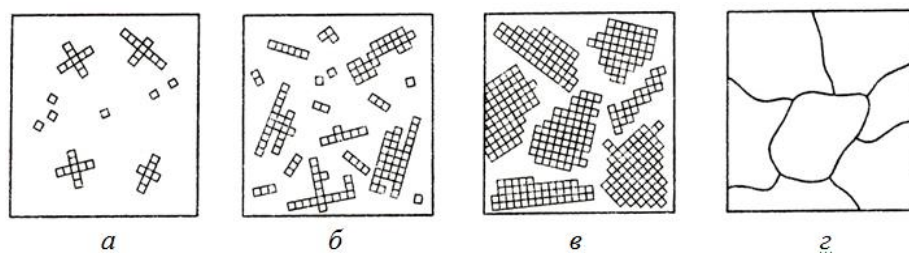


Рис. 2.5. Схемы процесса кристаллизации металла



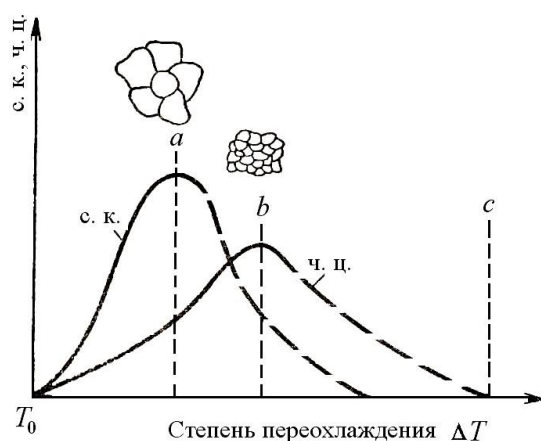


Рис. 2.6. Зависимость параметров кристаллизации от степени переохлаждения: ч. ц. – число центров кристаллизации, образующихся в единицу времени; с. к. – скорость роста кристаллов

При равновесной температуре  $T_0$  число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов равны нулю, процесса кристаллизации не происходит. Если жидкость переохладить до температуры, соответствующей точке  $a$ , то образуются крупные зерна (рис. 2.6). При переохлаждении, соответствующей точке  $b$ , образуется мелкое зерно, так как в этом случае скорость роста кристаллов незначительная, а центров кристаллизации много. Если очень сильно переохладить жидкость (точка  $c$  на рис. 2.6), то число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов становятся равными нулю, жидкость не кристаллизуется. Образуется аморфное тело.

Кроме тепловых процессов на кинетику процесса кристаллизации, на количество и размеры кристаллизующихся зерен оказывают влияние вторичные факторы. К ним относится случайное наличие в расплаве жидкости посторонних нерастворимых частиц (из шихтовых материалов) или их специальное введение (модифицирование), а также действие ультразвука или механической вибрации.

Кристаллизация без каких-либо посторонних воздействий или без наличия готовых центров кристаллизации называется *самопроизвольной*, при наличии готовых центров – *несамопроизвольной*.

Чистые металлы применяют в технике очень редко в связи с тем, что они в большинстве случаев не могут обеспечить необходимых механических и физических свойств, которые удается получить в сплавах.

Металлический сплав образуется в результате взаимодействия двух или нескольких химических элементов. Он обладает металлическими свойствами, отличающимися от свойств исходных компонентов.

Сплавы можно получить методом сплавления, порошковой металлургией, диффузией, осаждением из газовой среды различных металлов и неметаллов.

## 2.2. Изучение кристаллизации слитка спокойной стали

От качества стального слитка в значительной степени зависит качество готовых изделий, поэтому вопросу кристаллизации слитка в изложнице уделя-

ют большое внимание. Формирование стального слитка представляет сложный процесс, включающий тепловые, гидродинамические, фазовые и другие превращения. Наиболее важная роль принадлежит процессу кристаллизации – фазовому превращению жидкого расплава в твердые кристаллы.

В слитке спокойной стали различают следующие основные кристаллические зоны (рис.2.8):

- корковый слой мелких кристаллов;
- зона столбчатых кристаллов;
- зона крупных неориентированных кристаллов;
- усадочная раковина;
- конус осаждения;
- мост металла над раковиной.

Механизм формирования кристаллических зон слитка спокойной стали очень сложный и до настоящего времени по этому вопросу нет единого мнения.

Согласно теории объемной кристаллизации весь процесс кристаллизации металла происходит одновременно во всем объеме стального слитка. Механизм кристаллизации стали в любой части слитка одинаков. Сначала в расплаве образуются отдельные кристаллы, не связанные друг с другом. Затем кристаллы увеличиваются в размерах и срастаются. Различие форму и размеров кристаллов по объему слитка теория объемной кристаллизации объясняет влиянием на их развитие переохлаждением затвердевающего расплава, которое неодинаково в различных частях слитка.

Согласно теории последовательной кристаллизации она начинается с образования у стенок изложницы тонкой затвердевшей оболочки. В дальнейшем кристаллизация происходит только на поверхности раздела затвердевшей оболочки с жидким расплавом. Эту поверхность называют фронтом кристаллизации. По мере увеличения толщины слоя затвердевшего металла фронт кристаллизации последовательно перемещается от поверхности к оси слитка. Последовательная теория исключает возможность образования кристаллов в объеме жидкой сердцевины вследствие невозможности отведения от места их образования скрытой теплоты кристаллизации.

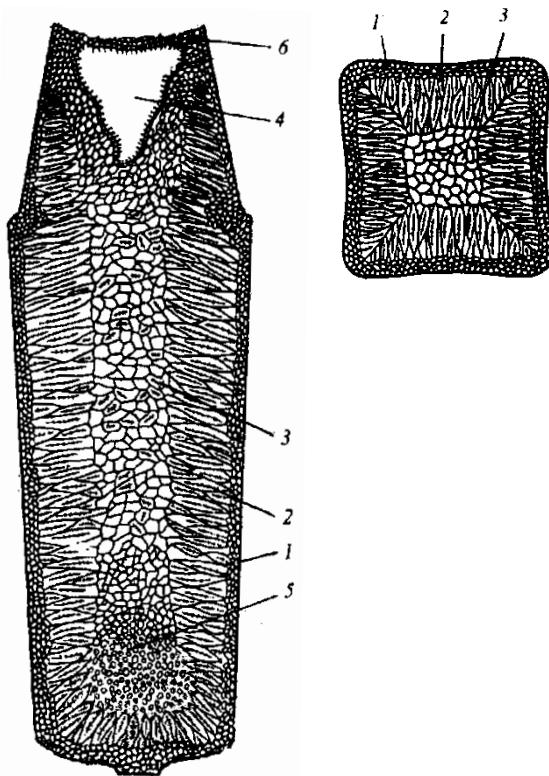


Рис 2.8. Строение слитка спокойной стали:  
 слева - продольное сечение; справа - поперечное сечение;  
 1 - корковый слой мелких кристаллов; 2 - зона столбчатых кристаллов; 3 - зона крупных неориентированных кристаллов; 4 - усадочная раковина; 5 - конус осаднения; 6 - мост металла над раковиной

Кроме этих двух основных теорий кристаллизации слитка спокойной стали имеются и комбинированные теории, соединяющие в себя отдельные элементы теорий объемной и последовательной кристаллизаций.

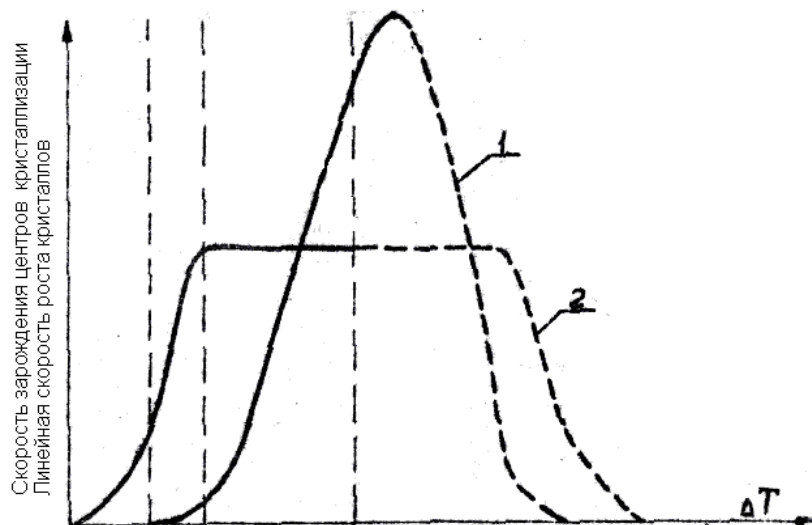


Рис. 2.9. Схема зависимости – скорость зарождения и роста кристаллов от переохлаждения расплава: 1 – скорости зарождения центров кристаллизации; 2 – Скорости роста кристаллов

Скорость зарождения и роста кристаллов при затвердевании стали в значительной степени зависит от переохлаждения расплава ( $\Delta T$ ) (рис.2.9). При большом переохлаждении одновременно зарождается и растет много кристаллов, поэтому образуется мелкокристаллическая структура.

При небольшом переохлаждении быстро растут уже зародившиеся кристаллы, а новые кристаллы практически не зарождаются, поэтому образуется крупнокристаллическая структура.

В структуре слитка спокойной стали, выявляемой травлением его продольного осевого разреза, представленной на рис. 2.8, различают следующие структурные зоны, отличающиеся формой кристаллов и их размерами: сравнительно тонкую наружную корку, состоящую из мелких равноосных кристалликов; зону вытянутых крупных столбчатых кристаллов; центральную зону крупных неориентированных кристаллов и «конус осаждения» - мелкокристаллическую зону у донной части слитка, имеющую конусообразную форму.

Наружная зона образуется после соприкосновения жидкой стали с холодными стенками изложницы. Быстрое переохлаждение металла приводит к образованию большого числа центров кристаллизации и быстрому росту кристаллов. Высокая скорость кристаллизации (при большом их числе) не позволяет им вырасти до значительных размеров и принять определенную ориентацию. Поэтому по периферии слитка образуются мелкие неориентированные кристаллы. Толщина корковой зоны мелких кристаллов невелика: 6-15 мм. Объясняется это тем, что охлаждение жидкого металла с большой скоростью протекает в течение очень короткого времени. В дальнейшем охлаждение существенно замедляется, оставаясь в то же время строго направленным, что и вызывает появление зоны столбчатых кристаллов. Замедление скорости охлаждения происходит вследствие нагревания стенок изложницы и снижения, в связи с этим их охлаждающей способности, а также вследствие замедления отвода тепла через корочку затвердевшего металла, толщина которой непрерывно увеличивается. Кроме того, вследствие усадки затвердевающего слитка между стенками изложницы и слитком быстро образуется зазор, также затрудняющий отвод тепла. В результате уменьшения скорости охлаждения существенно унижается скорость кристаллизации и сильно уменьшается количество вновь образующихся кристаллов. Поэтому растущие от затвердевшей корочки кристаллы получают возможность развиваться до значительных размеров. Направление их роста определяется направлением отвода тепла: главные оси кристаллов растут в сторону, противоположную направлению отвода тепла. Поскольку тепло от каждой кристаллизующейся точки отводится к стенке изложницы кратчайшим путем, т.е. в направлении, нормальном к стенке изложницы, кристаллы оказываются вытянутыми в этом же направлении. В крупных слитках с большим поперечным сечением наблюдается отклонение кристаллов к головной части слитка (к тепловому центру слитка).

Зона столбчатых кристаллов. Протяженность зависит от интенсивности охлаждения слитка, теплопроводности стали, определяемой её составом, и от содержания в стали водорода. Увеличение скорости охлаждения и увеличение содержания водорода способствуют развитию этой зоны. Наиболее протяжен-

ная зона столбчатых кристаллов наблюдается в слитках малотеплопроводных никелевой и хромоникелевой сталей.

Зона крупных неориентированных кристаллов. В центральной части слитка направленный теплоотвод слаб, так как затвердевающий металл удален от всех стенок изложницы примерно на одинаковое расстояние. Поэтому образующиеся кристаллы не имеют определенной ориентировки и получаются равноосными. Вследствие малой скорости кристаллизации они вырастают до значительных размеров.

Образование «конуса осаждения» в нижней части слитка обычно объясняют опусканием на дно изложницы кристаллов, зародившихся в объеме жидкого металла центральной части слитка, а также обломившихся под воздействием потоков жидкого металла непрочных ветвей столбчатых кристаллов. Это опускание кристаллов происходит в силу разности плотностей затвердевшего и жидкого металла.

Структурная неоднородность слитков затрудняет получение стальных изделий с одинаковыми механическими свойствами в их различных частях.

*Усадочная раковина в слитке спокойной стали.*

В верхней части слитка находится полость, называемая усадочной раковиной (см. позицию 4 на рис. 1.1). Причиной образования усадочной раковины служит усадка стали в процессе затвердевания, т.е. увеличение плотности стали при её переходе из жидкого в твердое состояние. Величина усадки в зависимости от состава стали изменяется в пределах 2,0-5,3%. Усадочная пустота в слитке, как и в любой другой кристаллизующейся отливке, всегда образуется в месте затвердевания последних порций металла.

Ту часть слитка, в которой расположена усадочная раковина, отрезают при прокатке и отправляют в переплав. Величину усадки, определяемую природой стали, уменьшить нельзя. Поэтому, чтобы свести обрезь металла к минимуму, принимают меры к тому, чтобы усадочную раковину сконцентрировать в верхней части слитка и уменьшить глубину её проникновения внутрь слитка. Для этого в обычной практике прибегают к следующим мерам, обеспечивающим более позднее затвердевание верхней части слитка по сравнению с остальным его объемом:

1. Спокойную сталь, как правило, разливают в изложницы» уширяющиеся кверху. Большая масса жидкого металла в верхней части слитка способствует замедленному его охлаждению.

2. На изложницу устанавливают прибыльные надставки, футерованные огнеупорами. Ввиду меньшей теплопроводности огнеупоров по сравнению с металлическими стенками изложницы охлаждение металла в прибыльной части замедляется.

3. После наполнения слитка поверхность жидкого металла в прибыльной надставке засыпают теплоизолирующими или разогревающими смесями. В качестве теплоизолирующих засыпок используют асбестит, обожженный вермикулит, коксошлаковую смесь и др. Более эффективно применение разогревающих смесей - люнкеритов, которые представляют собой порошкообразную смесь горючих и нейтральных компонентов. В качестве горючих компонентов

используют алюминий (14-28%), ферросилиций (0-15%), коксик или древесный уголь (0-50%), в качестве нейтральных - шамот, боксит, вермикулит. В прибыльной надставке горючие компоненты, медленно окисляясь, выделяют тепло, обогревающее жидкий металл, а нейтральные составляющие и продукты окисления горючих составляющих образуют теплоизоляционный слой, замедляющий отвод тепла от верха слитка. Расход люнкерита составляет 0,5-2,0 кг на 1 т стали.

При применении перечисленных мер, величина головной обрезки слитков спокойной углеродистой стали составляет 12-16%, а для мелких слитков и легированных сталей достигает 20% (донная обрезь слитков спокойной стали равна 1-4%).

*Специальные методы обогрева и утепления верха слитка.*

Наряду с применением обычных прибыльных надставок и люнкеритов часто пользуются следующими способами обогрева, и теплоизоляции верхней части слитков спокойной стали, обеспечивающими уменьшение потерь металла в виде обрезки при прокатке.

-Применение теплоизоляционных вкладышей. Вкладыши в виде пластин закрепляют у стенок прибыльной надставки или же в верхней части изложницы вдоль ее стенок. В последнем случае изложницы применяют без прибыльных надставок.

Наиболее часто вкладыши изготавливают из песка с добавкой бумаги, отходов целлюлозного производства, глины и ряда связующих, иногда из асбестита со связующими. Обычно вкладыши применяют в сочетании с засыпкой верха слитка люнкеритом или экзотермическими смесями.

Вследствие низкой теплопроводности вкладышей охлаждение металла в прибыльной части изложницы происходит медленнее, чем при использовании обычных прибыльных надставок; это уменьшает глубину усадочной раковины в слитке и величину обрезки металла при прокатке. В последние годы вкладыши применяют все шире, поскольку при относительной дешевизне их использование снижает величину головной обрезки на 2-5%.

-Применение экзотермических вкладышей обходится дороже теплоизоляционных и их используют реже. Вкладыши укрепляют у стенок верхней части изложницы или в прибыльной надставке; иногда прибыльную надставку обмазывают изнутри экзотермической массой.

Экзотермические смеси, из которых на связке (жидкое стекло) готовят вкладыши, содержат горючее вещество (алюминий), окислитель (окалину) и нейтральные наполнители (шамот, глину, вермикулит). При контакте с горячим металлом алюминий окисляется за счет кислорода окислителя и при этом выделяется тепло. В результате обогрева уменьшается глубина проникновения в слиток усадочной раковины и снижается головная обрезь на 5-8%.

-Электродуговой обогрев. В прибыльную надставку вводят графитовый электрод, устанавливая его над поверхностью металла. Электрод соединяют с одним из концов обмотки питающего трансформатора, другой конец обмотки соединяют с поддоном. После зажигания дуги на поверхность металла в надставке засыпают шлакообразующую смесь (например, из шамота, извести и

плавикового шпата). Образующийся шлак повышает устойчивость горения дуги и предохраняет металл от науглероживания материалом электрода. Обогрев слитка массой от 0,5 до 8 т длится от 0,5 до 2,2 ч. Выход годного металла повышается на 5-8% при расходе электроэнергии, составляющем 15-40 кВт·ч на 1 т стали.

-Газовый обогрев. После наполнения слитка в прибыльную надставку засыпают шлаковую смесь и над поверхностью металла устанавливают газокислородную горелку. Обогрев в течение 15-20 мин в результате сжигания природного или коксового газа в кислороде позволяет повысить выход годного металла на 6-8%. Шлак, получающийся при расплавлении шлаковой смеси в надставке, предохраняет металл от окисления.

-Электрошлаковая подпитка. Поверхность металла в прибыли покрывают сверху шлаком, состоящим из  $CaO$ ,  $CaF_2$ ,  $Al_2O_3$ , обладающим электропроводностью и большим электросопротивлением. В шлак погружают электрод из стали того же состава, что и отливаемый слиток. При прохождении электрического тока от электрода к металлу шлак нагревается до температуры, превышающей температуру плавления стального электрода. Электрод плавится, и капли металла через шлак поступают в головную часть слитка. Таким образом, происходит не только обогрев головной части слитка, но и питание усадки слитка металлом плавящегося электрода. Способ позволяет получать слитки без усадочной раковины и увеличить выход годного металла на 15% и более. В качестве плавящихся электродов при электрошлаковой подпитке обычно используют литники, образующиеся при сифонной разливке.

Осуществить газовый и электродуговой обогрев, а также электрошлаковую подпитку довольно сложно и пользоваться этими способами в условиях массового производства затруднительно. Поэтому их чаще применяют при производстве дорогих высоколегированных сталей, когда это оказывается экономически целесообразным.

В данной лабораторной работе изучение кристаллизации слитка спокойной стали производится путем моделирования.

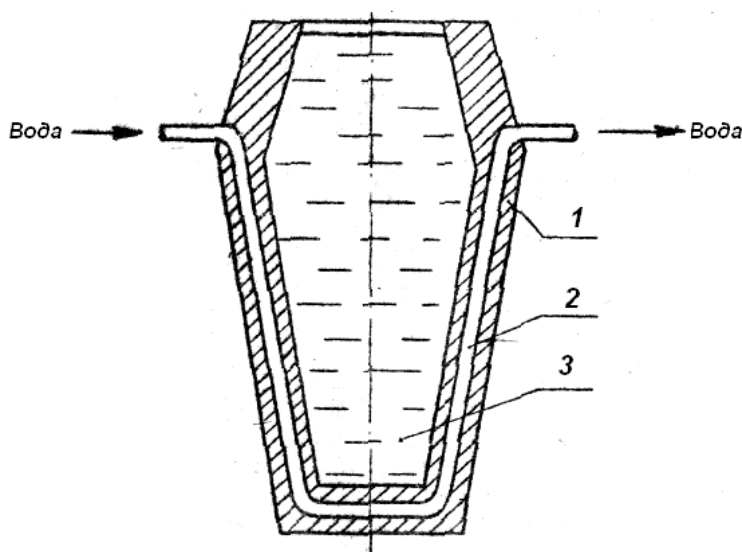


Рис. 2.10. Модель изложницы для спокойной стали

Веществом, моделирующем сталь, является гипосульфит натрия кристаллический ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ). Модель изложницы показана на рис.2.10 и состоит из U-образного алюминиевого корпуса 3, установленного на подставке 1. внутри корпуса имеется канал 7, по которому циркулирует охлаждающая вода. В верхней части корпуса расположены две пластмассовые пластины 5, моделирующие футеровку прибыльной части слитка. К алюминиевому корпусу болтами 2 крепятся две прозрачные пластины 4 из оргстекла, служащие передней и задней стенками изложницы и позволяющие вести наблюдение за процессом кристаллизации расплава.

Для удобства наблюдения за изложницей включают светильник.

### 2.3. Способы изготовления отливок

#### **Классификация способов получения отливок.**

Современное литейное производство располагает следующими способами изготовления отливок: 1) в песчано-глинистых формах с ручной и машинной формовкой; 2) в металлических формах; 3) под давлением; 4) по выплавляемым моделям; 5) в оболочковых формах; 6) центробежным литьем; 7) электрошлаковым литьем; 8) под низким давлением; 9) вакуумным всасыванием; 10) выжиманием; 11) жидкой штамповкой.

Область применения этих способов определяется многими факторами: типом производства (единичное, серийное, массовое); массой отливок (мелкие – до 100, средние – до 1000, крупные – более 1000 кг); точностью и чистотой поверхности отливок; литейными свойствами сплавов; экономической целесообразностью использования того или иного способа.

**Разновидности литейных форм.** Для получения отливок используют различные литейные формы, отличающиеся: сроком службы (разовые, многократные); состоянием перед заливкой (сухие, подсушенные, сырые, химически твердеющие, самотвердеющие) и технологией изготовления (вручную, на машинах, по выплавляемым моделям и др.).

Разовые формы изготавливают из песчано-глинистых, песчано-смоляных формовочных смесей, и служат они для получения только одной отливки. По толщине стенок разовые формы могут быть толстостенные (30-250 и более мм), тонкостенные (10-20 мм) и оболочковые (до 10 мм). Разовую форму изготавливают разъемной, состоящей из нижней и верхней полуформ. К разовым формам относят также неразъемные формы, изготовленные по выплавляемым моделям. После заливки разовую форму разрушают для освобождения затвердевшей отливки.

Многократные разъемные формы изготавливают из шамота, асбеста, алебаstra, цемента и других огнеупорных материалов. Такие формы выдерживают несколько десятков и сотен заливок. После заливки многократную форму раскрывают, не разрушая ее, извлекают готовую отливку и снова собирают для очередной заливки.

Многократные формы (кокили) изготавливают металлическими: из чугуна, стали и иногда из медных и алюминиевых сплавов. От температуры плав-



ления сплава, из которого получают отливку, зависит срок службы кокиля. Так, в одном кокиле можно изготовить до нескольких сотен отливок из стали, до нескольких тысяч отливок из чугуна и до сотен тысяч отливок из сплавов цветных металлов. Из-за высокой стоимости кокили используют только в серийном и массовом производстве отливок. Отливка извлекается из кокиля специальными толкателями, которые при раскрытии половин кокиля выходят из своих гнезд и выталкивают отливку.

### Изготовление отливок в разовых формах

**Общее понятие о разовой форме.** В настоящее время большинство отливок изготавливают в разовых песчано-глинистых формах. На рис. 3.4, *а* приведен чертеж отливки втулки, а на рис. 3.4, *б* – разовая литейная форма для нее. Литейная форма состоит из двух полуформ 1, образующих, полость 2, имеющую конфигурацию отливки, ограниченную стенками полуформ и стержнем 3, установленным на стержневые знаки в форме. Для заливки жидкого металла в форме изготавливают вертикальные 4 и 5 и горизонтальные 6 и 7 каналы, называемые литниковой системой.

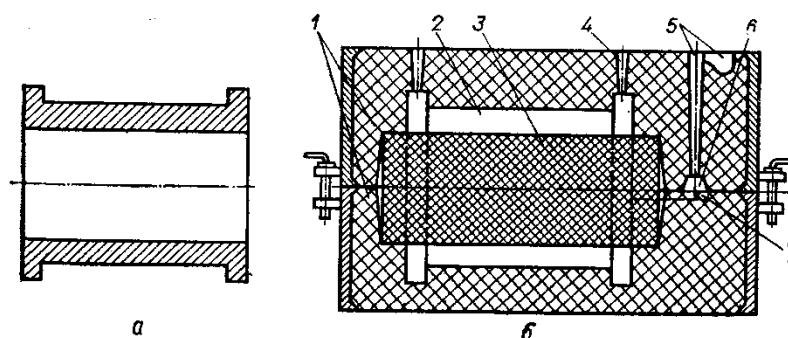


Рис. 2.11. Отливка втулки и форма для ее изготовления

Инструменты и оснастка, используемые при изготовлении разовой формы, показаны на рис. 2.12. Уплотняют формовочную смесь пневматическими (*а*) или ручными (*б*) трамбовками. Для отвода газов из формы делают наколы душником (*в*). Удаляют модель из формы подъемниками, которые забивают в деревянные или ввинчивают в металлические модели (*г*). Исправляют готовую форму отделочным инструментом: гладилками (*д*), торцовыми гладилками (*е*), ложками (*ж*), крючками (*з*), ланцетами (*и*). Формовку осуществляют в металлических рамках – опоках (*к*). Верхняя опока 1 соединяется с нижней 4 штырями 2, которые пропускают в проушины 3. Для удержания смеси в опоках делают буртики 5.

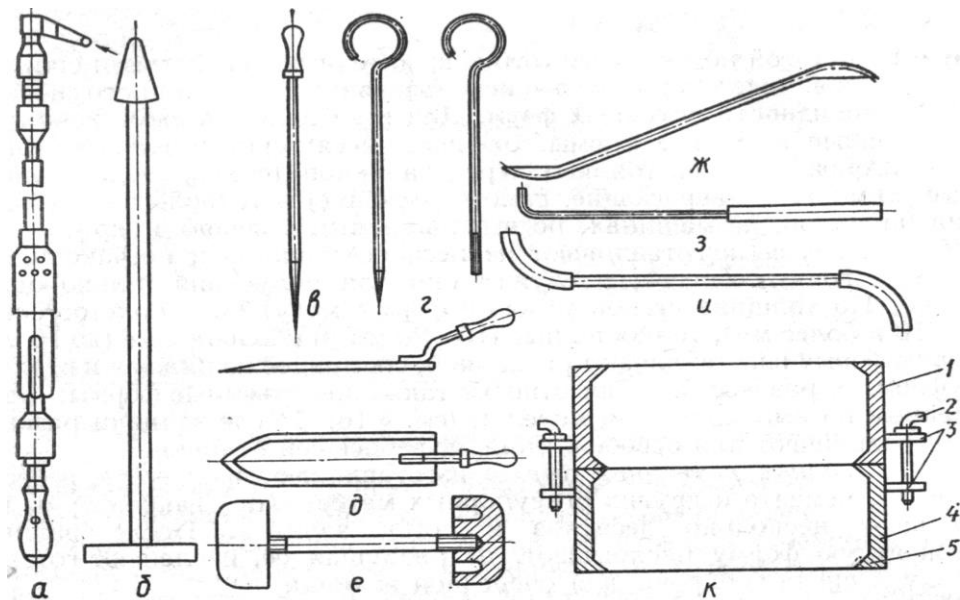


Рис. 2.12. Формовочный инструмент и опока

**Состав и назначение модельного комплекта.** В модельный комплект входят: модель будущей отливки; один или несколько стержневых ящиков (если отливка имеет полости или отверстия); модели литниковой системы; подмодельная доска (при ручной формовке) или модельная плита (при машинной формовке).

С помощью модели в литейной форме получают отпечаток наружной конфигурации отливки. В стержневых ящиках изготавливают песчаные стержни, обеспечивающие получение внутренней полости отливки. При формовке на подмодельную доску устанавливают модель или полумодел.

Модельный комплект должен: отвечать форме и размерам отливки с учетом линейной усадки металла и припусков на механическую обработку; быть достаточно прочным; не изменять размеры при хранении и многократном использовании; его конструкция не должна затруднять набивку формы и удаление из нее модели или стержня из стержневого ящика; быть легким и недорогим.

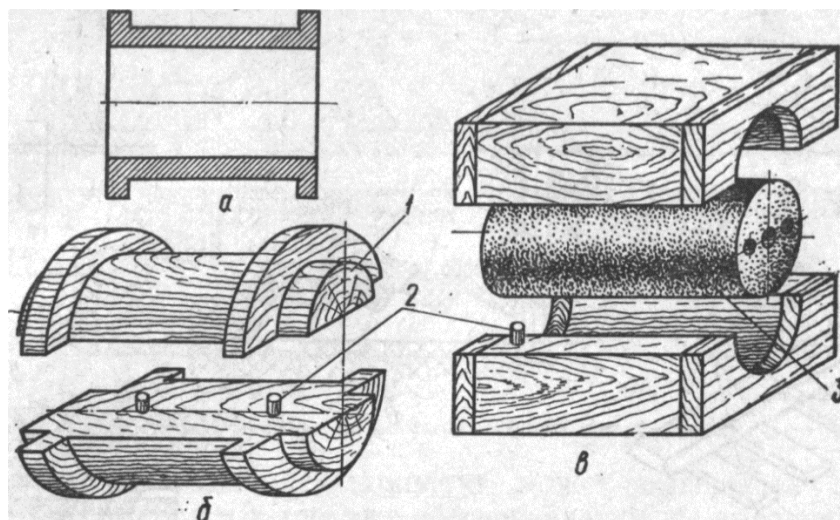


Рис. 2.13. Модельный комплект

Модельный комплект для ручной формовки изготавливают для серийного производства из твердых пород древесины (клен, бук, береза), а в единичном – из ели и сосны. Неразъемные модели используют для отливок несложной конфигурации, которые могут быть заформованы в одной полуформе. Для сложных отливок модель изготавливают разъемной, что позволяет удалять ее из формы без разрушения последней. С этой же целью вертикальные стенки модели, перпендикулярные плоскости разъема формы, делают с уклоном в пределах от 0,5 до 3° (нижний предел для высоких моделей, верхний – для низких). Размеры модели по сравнению с размерами детали увеличивают на величину линейной усадки металла, из которого изготавливают отливку, и на величину припусков на механическую обработку, предусмотренных ГОСТами и нормативами.

На рис. 2.13 дан чертеж отливки (а), рисунок разъемной модели (б) и стержневого ящика со стержнем (в) для нее. В отличие от отливки модель вместо отверстия имеет выступающие части 1, называемые стержневыми знаками. Знаки образуют в форме отпечатки, на которые устанавливают изготовленный в стержневом ящике стержень 3. Стержневой ящик состоит из двух половин, которые, как и полумодели, взаимно ориентируют с помощью цилиндрических штырей 2.

Литниковая система (рис. 2.14, а) состоит из литниковой чаши 1, стояка 2, шлакоуловителя 3 и питателей 4. Литниковая чаша уменьшает динамический напор струи металла и частично отделяет шлак. Стояк, соединяющий литниковую чашу со шлакоуловителем, делают конусным. Шлакоуловитель трапецевидального сечения размещают в верхней половине формы в плоскости разъема. Он должен задержать шлаковые и земляные включения, не допустив их в полость формы. Это достигают понижением скорости металла в шлакоуловителе, изменяя направление его движения. При торможении металла шлаковые включения всплывают и задерживаются в шлакоуловителе. Хорошо очищает металл шлакоуловитель гребенчатого типа (рис. 2.14, б). При машинной формовке используют фильтровальную огнеупорную сетку 5, которую устанавливают в воронку (рис. 2.14, в) или в шлакоуловитель (рис. 2.14, г). Питатели подводят металл непосредственно в полость формы. Размещают их в нижней полуформе в плоскости разъема.

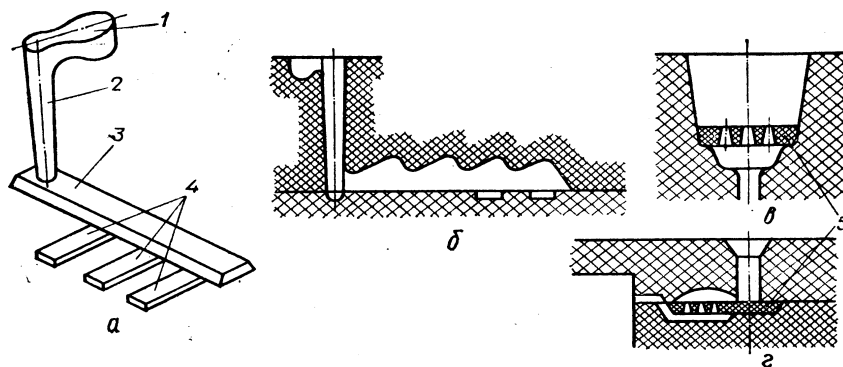


Рис. 2.14. Литниковая система

Литниковая система во время заливки должна быть заполнена жидким металлом, так как разрыв струи приводит к всасыванию воздуха и шлака в полость формы, а также к образованию окисленных плен в месте разрыва. Поэтому между элементами литниковой системы выдерживают определенное соотношение: суммарная площадь сечения всех питателей ( $F_{\text{п}}$ ) должна быть меньше площади сечения шлакоуловителя ( $F_{\text{ш}}$ ), который в свою очередь, имеет сечение меньше, чем стояк ( $F_{\text{с}}$ ). К литниковой системе относится также выпор – вертикальный канал 4 (рис. 2.11), располагаемый в самой верхней точке отливки. Он служит для выхода воздуха из полости формы при ее заливке, а также для сбора всплывающей грязи и контроля заполнения формы металлом.

Модельный комплект при машинной формовке изготавливают из сплавов легких металлов. Металлические полумодели закрепляют винтами на металлических плитах. На этой же плите монтируют модели литниковой системы. Такие плиты называют модельными. Так как при машинной формовке две полуформы изготавливают отдельно на разных машинах, то полумодели закрепляют на координатных модельных плитах, чтобы обеспечить совпадение двух полуформ при их сборке.

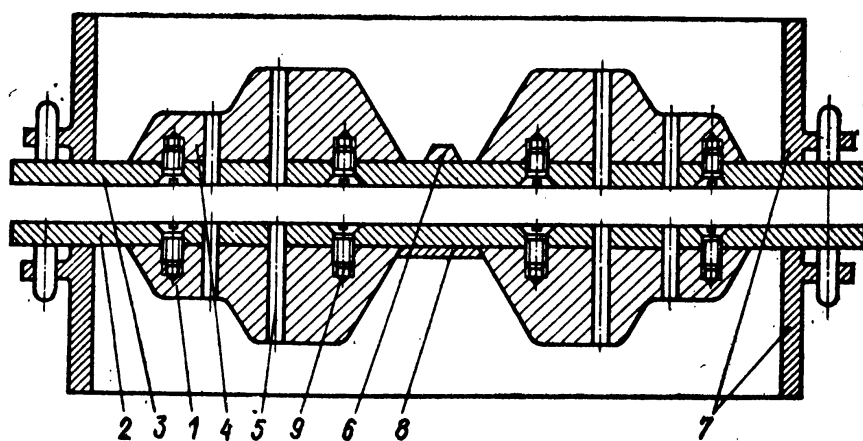


Рис. 2.15. Модельные плиты для машинной формовки

На рис. 2.15 показаны верхняя 3 и нижняя 2 модельные плиты с опоками 7. Полумодели верхняя 4 и нижняя 1 зафиксированы контрольными штифтами 5 и закреплены винтами 9. Таким же образом закреплены модели шлакоуловителя 6 и питателя 8.

Металлический модельный комплект может выдержать десятки и сотни тысяч формовок и к тому же обеспечивает более высокую точность получаемых отливок, чем деревянный.

## 2.4. Дефекты отливок

В процессе получения заготовок из деталей методом литья важной задачей является своевременное обнаружение брака промежуточной и окончательной продукции и его устранение. Бракованной отливкой называют такую, которая имеет хотя бы один неисправимый и недопустимый по техническим условиям дефект.

Классификация дефектов предусматривается специальным ГОСТом, который определяет различные виды дефектов: заливы, коробление, корольки, наросты, недолив, отбел, пригар, раковины газовые и шлаковые, рыхлоты или пористость, спаи, трещины горячие и холодные, ужимины, несоответствие металла стандартам и техническим условиям по химическому составу, микроструктуре и физико-механическим свойствам, несоответствие веса отливок стандартам, механические повреждения и другие виды дефектов.

Основных видов брака отливок меньше, к ним можно отнести следующие:

Коробление – изменение размеров и контуров отливки под влиянием усадочных напряжений.

Причины: нерациональная конструкция отливки (например, разностенная), что приводит к возникновению внутренних напряжений; неправильный подвод металла, ухудшающий равномерность его остывания; неправильно выбранный состав сплава или повышенная температура заливаемого металла, вызывающие чрезмерную усадку; неправильный режим охлаждения отливки и недостаточная податливость формы и стержней.

Газовые раковины – пустоты, расположенные на поверхности или внутри отливки (поверхность гладкая блестящая).

Причины: содержание в металле большого количества газов, пониженная газопроницаемость или повышенная влажность формовочных смесей и стержневых; чрезмерное местное смачивание формы при извлечении модели; недостаточная вентиляция форм и стержней; недостаточно просушенные формы или смеси; неправильная окраска форм и стержней; чрезмерно высокая температура металлической формы; низкая температура заливаемого сплава; чрезмерно быстрое заполнение формы; неправильная конструкция отливки.

Песчаные раковины – закрытые или открытые раковины, полностью или частично заполненные формовочным материалом.

Причины: местное разрушение и засорение форм при сборке; недостаточная прочность формовочной и стержневой смесей или красок; применение неисправных изделий; неправильное крепление отъемных частей модели; слабая или неравномерная набивка формы и стержней; неправильный подвод литниковой системы; обвал формы; нетехнологичность конструкции отливки.

Усадочные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, имеющие шероховатую поверхность с грубокристаллическим строением.

Причины: неправильный подвод расплава в форму; заливка форм перегретым сплавом; неправильная конструкция отливки, допускающая скопление больших объемов расплава в отдельных ее частях.

Рыхлоты или пористость – крупнозернистая или неплотная строение сплава с наличием межкристаллических пустот большей или меньшей величины.

Причины: неправильная конструкция отливки; недостаточное питание отливки жидким металлом в процессе затвердевания из – за неправильного расположения прибылей, выпоров и литников, неправильные размеры и установка холодильников (металлических вкладышей); повышенное содержание элемен-

тов, способствующих увеличению усадки; чрезмерно высокая температура заливки.

Шлаковые раковины – открытые или закрытые пустоты, полностью или частично заполненные шлаком.

Причины: окисленная и загрязненная шихта; нестойкие огнеупоры; низкая температура металла и низкая его жидкотекучесть; неправильная литниковая система, не отделяющая шлака; нерациональное устройство ковшей, плохо задерживающих шлак; небрежная заливка металла в формы; нераскисленный металл.

Трещины горячие и холодные – разрывы или несквозные или надрывы в стенках отливок. Поверхность излома в горячих трещинах окислена, т.к. они появляются при высоких температурах; в холодных трещинах поверхность излома чистая, или покрытая легким цветом побежалости.

Причины: неправильная конструкция отливки с резким переходом от толстых к тонким сечениям; сопротивление форм и стержней нормальной усадке металла из-за чрезмерной плотности набивки; неправильно подготовленный формовочный и стержневой состав смесей; малая податливость смесей; повышенное содержание элементов, увеличивающих усадку или уменьшающих предел прочности при высоких температурах; заливка форм перегретым металлом и неправильный подвод металла.

Недолив и спай – недолив характеризуется неполным заполнением формы металла и нарушением конфигурации формы отливки, а спай – это сквозные или поверхностные потоки преждевременно застывшего металла с закругленными краями.

Причины: недостаточное количество металла в ковше; низкая температура сплава при заливке и недостаточная жидкотекучесть его; уход металла из формы в следствии неплотной сборки; недостаточное сечение литниковой системы; нерациональная конструкция отливки.

Заливы – тонкие различные по величине и форме выступы на отливке, не предусмотренные чертежом, образующиеся на плоскости разъема формы.

Причины наличие излишнего зазора между полуформами.

Перекося – несоответствие конфигурации отливки чертежу из-за смещения одной части отливки относительно другой.

Причины: неправильное центрирование опок при чрезмерном износе штырей.

Разностенность.

Причины: неправильная установка или смещение стержней при заливке формы из-за непрочного их крепления в форме.

Ликвация – неоднородность химического состава по сечению отливки.

Причины: высокая температура заливки сплава; недостаточное перемешивание жидкого металла перед разливкой; избыток присадок.

13. Морщинистость (складчатость) - это формирование на поверхности отливки множества беспорядочно расположенных морщин или складок.

Причину возникновения дефекта усматривают в скоплении на поверхности формы большого количества углерода, выделяемого при температурном

разложении углеводородов, которые входят в состав связующих материалов. Предотвратить морщинистость можно путем уменьшения органических составляющих смеси и улучшением вентиляции формы. Этому способствует также повышение температуры заливаемого металла.

#### **Методы исправления дефектов.**

Наиболее распространенными методами исправления дефектных отливок являются:

- холодная заварка;
- заварка с подогревом;
- металлизация;
- газовая сварка с общим подогревом отливок;
- пропитка;
- декоративное исправление;

Холодной заваркой исправляют дефекты чугунных отливок. При этом используют стальные, медные или медные с железной оболочкой, медно-никелевые и другие электроды. Дефектное место предварительно разделяют зубилом или высверливают. Разделанная под заварку раковина должна иметь чашеобразную форму с отлогими стенками под углом 35-40°. Трещины вырубят на всю длину и глубину.

Чугун по сравнению со сталью обладает плохой свариваемостью. Большая хрупкость, повышенная чувствительность к скорости охлаждения, резкий переход от твердого состояния к жидкому, и наоборот, затрудняют процесс заварки дефектов на отливках из чугуна.

Ввиду неравномерности нагрева при холодной сварке завариваемое место получается по структуре и твердости неоднородным. При холодной сварке может образоваться отбел, трещины и другие дефекты в сварном шве или в теле отливки. Заварку ведут так, чтобы сварной шов выступал над поверхностью тела отливки. После заварки и термической обработки валик усиления срезают по всей длине шва.

Заваркой с подогревом до 600-650°C исправляют дефекты, расположенные на обрабатываемых поверхностях чугунных отливок. При этом обеспечивается однородность наплавленного чугуна с основным. После заварки отливку медленно охлаждают, для этого заваренное место засыпают раскаленным коксом.

Металлизацию применяют после заварки для предотвращения поверхностной пористости в отливках из серого чугуна. Перед металлизацией место заварки зачищают. Затем на поверхность отливки наносят металлизатором слой сплава толщиной 0,3-0,8 мм. При этом за один проход наносится слой 0,03 мм.

Газовую сварку с подогревом применяют для исправления дефектов в отливках из серого чугуна. Этот способ заварки обеспечивает высокую прочность и плотность сварного соединения, а также однородность химического состава основного и наплавленного чугуна. Отливка перед заваркой нагревается до 700°C. В качестве присадочного материала применяют чугунные стержни диаметром 5-6 мм и длиной 350-450 мм. Присадочный материал и место заварки

отливки нагревают кислородно-ацетиленовым пламенем или пламенем другого газа (водорода, паров бензина, керосина и др.). После заварки отливки подвергают отжигу.

Пропитыванием составами исправляют пористость отливок. С этой целью отливки погружают на 8-12 ч в водный раствор хлористого аммония (нашатыря). Проникая в поры и тонкие по площади поперечного сечения отверстия, раствор образует окислы, которые и заполняют различные пустоты. Используют также пропитку под давлением водными растворами соды и медного купороса, жидким стеклом, бакелитовым или карбинольным лаком. Раствор под давлением 3-5 кгс/см<sup>2</sup> просачивается в поры и заполняет их продуктами коррозии или коллоидной пленкой. Иногда для пропитки отливок из цветных сплавов применяют метод вакуумирования с использованием бакелитового лака.

Декоративное исправление чугунных отливок замазками или мастиками применяют для улучшения внешнего вида отливок в местах, не подвергающихся механической обработке. Замазки должны обладать хорошей плотностью и достаточной адгезией (прилипанием) к сплаву отливки.

Применяют замазки на основе эпоксидных смол ЭД-5 и ЭД-6, для декоративного исправления поверхности отливок используют замазку на основе стиракрила. Стиракрил предварительно перемешивают с чугунной стружкой, а затем с эфиром в соотношении 2:1. Полученная тестообразная масса затвердевает при 15- 20°С за 3-4 ч без нагрева, обладает хорошей механической прочностью, устойчива к действию растворителей, почти не дает усадки, применяется для заделки поверхностных дефектов больших размеров.

При заварке отливок из алюминиевых сплавов применяют восстановительное пламя, так как алюминий сильно окисляется. Для уменьшения окисления и растворения образовавшегося тугоплавкого окисла применяют флюс следующего состава, %: 15LiCl, 7KF, 3Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 30NaCl и 45KCl. Перед заваркой алюминиевые отливки нагревают до 400-420°С. Чистые алюминиевые прутки или прутки, содержащие 92% Al и 8% Cu, являются присадочным материалом. После заварки алюминиевые отливки для снятия внутренних напряжений нагревают до 350 С .

При заварке бронзовых отливок в качестве присадочного материала применяют бронзовые прутки, в которые для раскисления вводят алюминий, фосфор и марганец. В качестве флюса применяют материал, содержащий 68% буры, 10% борной кислоты, 2% древесного угля и 20% поваренной соли. Дефекты в отливках заваривают газовой горелкой. После заварки отливки нагревают до 550-600°С и быстро охлаждают для улучшения структуры бронзы.



## ГЛАВА 3. ПРОИЗВОДСТВО СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

### 3.1. Производство чугуна в доменной печи

Доменная печь является непрерывно работающим плавильным агрегатом шахтного типа. Сверху в неё загружают шихтовые материалы, а снизу, через фурмы, подают воздух для сжигания топлива. Продукты доменной плавки - жидкий чугун и шлак - выпускают снизу. Профиль доменного плавильного пространства доменной печи (рисунок 3.1) выбран таким образом, чтобы в нем происходило равномерное опускание загруженных материалов и равномерное распределение по горизонтальному сечению печи поднимающихся снизу газов.

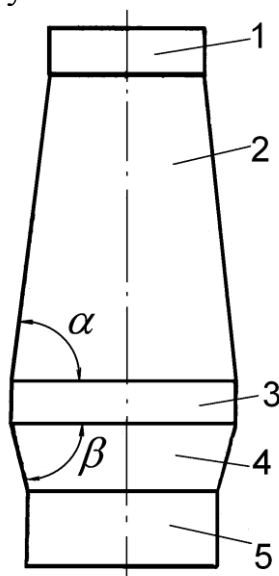


Рис.3.1. Профиль доменной печи:

- 1- – колошник;
- 2- – шахта;
- 3- – распар;
- 4- – заплечики;
- 5- – горн

Доменная печь снаружи заключена в металлический кожух толщиной 20-25 мм в верхней части и 35—40 мм в нижней. Кожух выполняется цельно сваренным. С внутренней стороны кожуха находится огнеупорная футеровка, охлаждаемая холодильником.

Верхняя часть печи называется колошником. Через колошник печи, имеющий форму цилиндра, производится загрузка шихты и отвод газов.

Ниже колошника расположена шахта, расширение которой книзу позволяет материалам свободно опускаться вниз.

Заплечики, наоборот, имеют сужающуюся книзу форму, обусловленную тем, что в них происходит уменьшение объёма материалов, в связи с образованием жидких продуктов плавки и выгоранием кокса.

Между шахтой и заплечиками находится наиболее широкая цилиндрическая часть – распар.

Нижняя часть представляет собой цилиндрический горн, в котором накапливаются жидкие продукты плавки – чугуны и шлак. В нижней части горна расположены отверстия – лётки для выпуска чугуна, в верхней части находятся фурмы, через которые в печь подаётся воздух.

Материал на колошник подают либо при помощи двух скипов, движущихся снизу-вверх по наклонному мосту, либо при помощи транспортера.

Основной частью колошникового устройства является засыпной аппарат, который предназначен для загрузки и равномерного распределения шихтовых материалов в печи.

Конструкция двухконусного засыпного аппарата представлена на рис. 2,а. Он состоит из приёмной воронки, малого конуса, вращающегося распределителя шихты, большого конуса и газового затвора. Материал из скипа высыпается в приёмную воронку на поверхность малого конуса. При опускании малого конуса шихта просыпается вниз на поверхность большого конуса.

Чтобы обеспечить равномерную загрузку материалов по всей окружности печи, перед очередным опусканием малого конуса, он вместе с приёмной воронкой и порцией шихты поворачивается на  $60^\circ$ . Перед открыванием большого конуса производят обычно 5—6 опусканий малого конуса. Когда уровень шихты в доменной печи опустится до определенного уровня, большой конус и материалы высыпятся в печь. Конструкция засыпного аппарата с двумя конусами устраняет выделение газа в атмосферу и обеспечивает равномерную загрузку печи.

Слабым местом аппарата являются стыки конусов с соответствующими воронками. Здесь в связи с повышенным давлением в печи просачивается доменный газ, и содержащаяся в нем пыль вызывает абразивный износ металла. Поэтому стойкость конусов низкая, малый конус заменяют почти через каждые полгода, а большой через 1,5—2,5 г.

Среди ряда бесконусных загрузочных устройств хорошо зарекомендовала себя конструкция фирмы "Поль Вюрт" (Люксембург). Схема подобного устройства показана на рис. 3.2, б.

Засыпной аппарат состоит из приёмного бункера, в который шихта сыпается с транспортной ленты. Далее шихта поступает в один из двух промежуточных бункеров с герметическими затворами и во вращающийся распределитель шихты, который равномерно рассыпает материалы по поверхности конуса. После набора подачи конус открывается, и материал сыпается в печь.

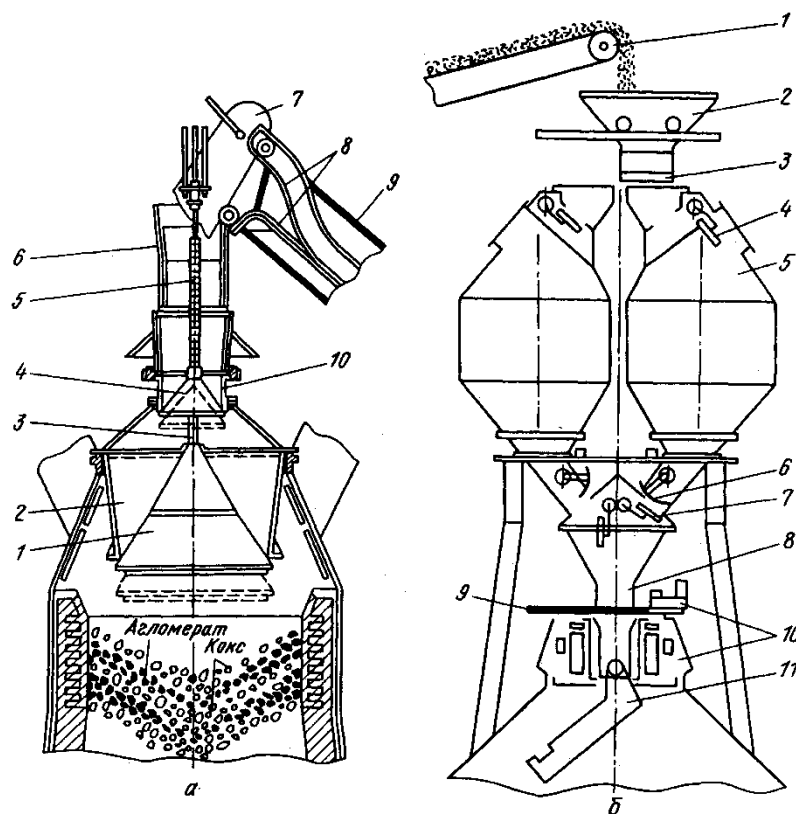


Рис. 3.2. Засыпной аппарат двухконусный (а) и бесконусный фирмы "Поль—Вюрт" (б):

а: 1 — большой конус; 2 — воронка (чаша); 3 — штанга; 4 — малый конус; 5 — полая трубчатая штанга; 6 — приемная воронка; 7 — скип; 8 — рельсы наклонного моста; 9 — наклонный мост; 10 — воронка;

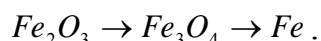
б: 1 — конвейер шихтоподачи; 2 — приемная воронка; 3 — затвор; 4 — верхний газоотсекающий клапан; 5 — бункер; 6 — затвор бункера; 7 — нижний газо-отсекающий клапан; 8 — трубка; 9 — отсечная задвижка; 10 — механизм вращения лотка; 11 — вращающийся лоток

В доменной печи загружаемые шихтовые материалы, в результате протекания механических, физических и физико-химических процессов, постепенно превращаются в чугун, шлак и доменный газ. Задача доменного процесса заключается в восстановлении оксидов железа, что обеспечивается непрерывным встречным движением шихты (вниз) и газов (вверх) и взаимодействием опускающихся шихтовых материалов и восходящего потока газов, образующихся при горении кокса в горне.

Длительность пребывания каждой опускающейся порции материалов в доменной печи составляет 4—6 ч. Образующиеся при сгорании кокса газы движутся вверх с большой скоростью навстречу твердым материалам по всему сечению печи, причем длительность пребывания образующегося газа в доменной печи составляет 1—3 с. За это время газ нагревает шихтовые материалы и восстанавливает оксиды металлов.

В процессе нагревания опускающихся материалов из них удаляется влага, происходит разложение карбонатов, а оксиды железа под действием твердого углерода кокса и восстановительных газов  $CO$  и  $H_2$  превращаются в железо.

Восстановление оксидов в печи протекает ступенчато: от высших к низшим. При температуре более 570°C восстановление проходит следующие стадии:



Металлическое железо еще в твердом состоянии начинает науглероживаться, в результате чего снижается его температура плавления. Восстановление железа заканчивается при температуре 1000—1100°C и из оксидов начинают восстанавливаться кремний, марганец и фосфор, которые вместе с науглероженным железом образуют стекающие в горн капли чугуна.

В нижней половине шахты из составных частей пустой породы руды и флюсов начинается образование состоящего из оксидов ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ) жидкого шлака, понижению температуры которого способствуют оксиды железа и марганца ( $FeO$ ,  $MnO$ ). В стекающем вниз шлаке постепенно расплавляется вся пустая порода и флюс, а также зола сгоревшего кокса. В зоне заплечиков и горна из оксидов, растворенных в шлаке, при его взаимодействии с раскаленным коксом, происходит усиленное восстановление кремния, марганца, фосфора. Здесь же поглощенная металлом в процессе плавления сера переходит в шлак. Железо и фосфор полностью восстанавливаются из шлака и переходят в чугун, а степень восстановления марганца, кремния и полнота удаления серы из чугуна во многом зависят от температуры, количества и состава шлака.

Жидкий чугун и шлак, имеющие разную плотность, разделяются в горне на два слоя.

Для ускорения протекающих в доменной печи процессов, с целью повышения её производительности, применяются следующие методы:

1- улучшение подготовки и качества сырых материалов, а также замена обычного агломерата офлюсованным, что позволяет исключить из состава шихты известняк и снизить расход кокса;

2- повышение температуры воздушного дутья до 1100—1300°C;

3- вдувание природного газа одновременно с обогащением дутья кислородом;

4- повышение давления газов под колошником доменной печи.

Основной продукт доменной плавки – чугун – сплав железа с углеродом, марганцем, кремнием, серой и фосфором. В состав легированных чугунов входят, кроме того, хром, никель, титан и ванадий, количество которых зависит от состава шихтовых материалов и назначения чугуна. Доменные чугуны по своему назначению подразделяются на несколько видов:

- Передельный чугун в жидком или твердом виде используется в мартеновских печах, конвертерах и электропечах для производства стали. Средний состав передельного чугуна: 4,0—4,5% C ; 0,5—1,5% Mn ; 0,2—1,3% Si ; 0,15—0,3% P ; 0,02-0,06% S .

- Литейный чугун используется для получения чугунных отливок деталей машин. В отличие от передельного, литейный чугун, содержащий повышенное содержание кремния, обладает более высокой жидкотекучестью и хорошо заполняет литейные формы.

*Доменный шлак* состоит из оксидов различных элементов, используется в качестве сырья при производстве различных строительных материалов: цемента, бетона, шлаковой пемзы, стеновых материалов, шлакового щебня.

*Доменный газ* является топливом, которое после очистки от пыли используется для обогрева насадок воздухонагревателей, в прокатных и термических цехах, на теплоэлектроцентрали.

Отделяемая при очистке газа колошниковая пыль содержит в виде оксидов 40—45%  $Fe$  и используется в качестве компонента шихты при производстве агломерата.

Современный доменный цех, включающий до 5—8 печей, состоит из нескольких участков и отделений, предназначенных для подготовки и подачи шихты и дутья, уборки продуктов плавки и очистки отходящих газов.

*Рудный двор* в доменных цехах предназначен для приёмки шихтовых материалов, хранения требуемого их запаса, усреднения и подачи на бункерную эстакаду. Он представляет собой площадку, где материалы хранятся в штабелях. Разгрузка материалов осуществляется вагоноопрокидывателями. Обслуживаются рудные дворы грейферными кранами – перегружателями, которые передвигаются над штабелями.

*Бункерная эстакада* предназначена для хранения у печи требуемого оперативного запаса материалов, их приемки, а также механизации набора и подачи к колошниковому подъёмнику. Бункера представляют собой бетонированные конусообразные емкости, оборудованные барабанными затворами для выдачи материалов. Подача материалов на эстакаду осуществляется конвейерным или рельсовым транспортом.

Подача шихты на колошник доменной печи осуществляется двумя способами: скиповым и конвейерным.

Основными элементами *скипового подъёмника* являются: наклонный мост, два перемещающихся по мосту скипа и скиповая лебедка. Подача материалов от бункеров к скиповому подъёмнику осуществляется либо вагон-весами (старые цеха), либо конвейерами. Взвешивание материалов в последнем случае производится в весовых воронках непосредственно около печи. Скиповые подъёмники не обеспечивают требуемый темп загрузки печей большой производительности. Поэтому в настоящее время наиболее часто применяют *конвейерную систему подачи*. Конвейер размещен в закрытой галерее. Работает он непрерывно, а загружаемые материалы размещаются на нем порциями с определенными интервалами.

*Подача и нагрев дутья*. Объём воздушного дутья, необходимого для нормальной работы доменной печи, достигает  $2,5 \text{ м}^3/\text{мин}$  на  $1 \text{ м}^3$  её полезного объёма, что для печи объёмом  $5000 \text{ м}^3$  составляет  $10\text{—}12 \text{ тыс. м}^3/\text{мин}$ . Подача таких количеств воздуха под давлением  $3,5\text{--}4,0 \text{ МПа}$  осуществляется со станции.

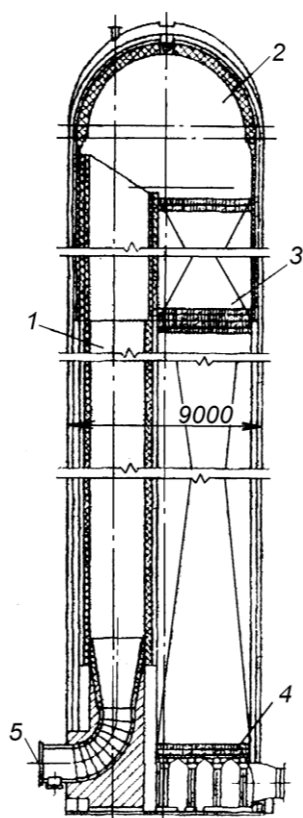


Рис. 3.3. Разрез воздухонагревателя

- 1- камера горения;
- 2- подкупольное пространство;
- 3- насадка;
- 4- подсадочная решетка;
- 5- горелка

Воздухонагреватель представляет собой аппарат с наружным диаметром 9—11 м и высотой до 55 м (рисунок 3.3). Внутренняя поверхность его в герметичном корпусе из листовой стали, футерована огнеупорным кирпичом и разделена на две части: камеру сгорания и камеру с огнеупорной насадкой. Сначала в камеру сгорания 1 через горелку 5 поступает смесь газа и воздуха, где от соприкосновения с раскаленными стенками камер она воспламеняется и сгорает. Продукты сгорания, повернув под куполом вниз и проходя через огнеупорную насадку 3, нагревают её и уходят по каналам в дымовую трубу. После нагрева насадок до нужной температуры прекращают подачу топлива и через клапан подают в обратном направлении поток холодного воздуха, который при прохождении через нагретую насадку нагревается и по кольцевому воздухопроводу и далее через фурмы направляется в доменную печь. Для непрерывной подачи дутья на печи должно быть не менее трех воздухонагревателей.

#### Очистка доменного газа.

Вместе с газом из колошника доменной печи выносятся много пыли, поэтому, прежде, чем использовать газ как топливо, его нужно очистить от пыли.

Наиболее часто применяемая схема комплекса газоочистных сооружений доменной печи следующая: газ из доменной печи по вертикальному газоотводу

и наклонному газопроводу направляется в пылеуловитель для грубой очистки и далее поступает в скруббер высокого давления, а из него - в трубы-распылители. После полутонкой очистки газ попадает в электрофильтры, где производится его тонкая очистка. Отсюда чистый газ направляется в газовую сеть завода.

#### Уборка жидких продуктов плавки.

Для выпуска из доменной печи жидких продуктов плавки предназначены чугунные и шлаковые лётки. Для вскрытия лётки применяют электрическую бурильную машину, которая просверливает чугунную корку на внутренней поверхности лётки. Чугун через лётку поступает в стационарный желоб и затем через поворотный или качающийся желоб попадает в чугуновозные ковши. После выпуска чугунную лётку забивают огнеупорной массой с помощью электропушки.

Чугун из доменного цеха перевозится либо в открытых чугуновозных ковшах, либо в ковшах миксерного типа. Шлак по желобу сливают в стальные или чугунные шлаковые чаши. Подвергают грануляции и используют для производства строительных материалов.

Большую часть жидкого чугуна направляют в мартеновские или конвертерные цеха для передела в сталь, а остальное - на другие заводы в виде чушек, которые получают на разливочной машине. Разливочная машина представляет из себя двухленточный наклонный конвейер из чугунных форм - мульд, прикрепленных к опирающимся на ролики шарнирно-пластинчатым бесконечным цепям. Для ускорения кристаллизации чугуна мульды сверху орошаются водой. На разгрузочном конце машины чугунная чушка вываливается из мульды и падает по желобу в вагон.

### **3.2. Производство стали в мартеновских печах**

Сущность мартеновского процесса состоит в переработке чугуна и металлического лома на подду отражательной печи. В мартеновском процессе недостаточно тепла жидкого чугуна. Для плавления твердых шихтовых материалов, для покрытия значительных тепловых потерь и нагрева стали до необходимых температур, в печь подводится дополнительное тепло, получаемое путем сжигания в рабочем пространстве топлива в струе воздуха, нагретого до высоких температур.

Для обеспечения максимального использования подаваемого в печь топлива необходимо, чтобы процесс горения топлива заканчивался полностью в рабочем пространстве. В связи с этим, в печь воздух подается в количестве, превышающем теоретически необходимое. Это создает в атмосфере печи избыток кислорода. Здесь также присутствует кислород, образующийся в результате разложения при высоких температурах  $CO_2$  и  $H_2O$ . Таким образом, газовая фаза печи имеет окислительный характер и поэтому окисление железа и примесей металлической шихты начинается с момента завалки в печь при непосредственном взаимодействии газовой фазы с шихтой.

Для интенсификации горения топлива в рабочем пространстве часть воз-

духа, идущего на горение, может заменяться кислородом. Газообразный кислород может также подаваться непосредственно в ванну (аналогично продувке металла в конвертере). В результате этого во время плавки происходит окисление железа и других элементов, содержащихся в шихте ( $Si$ ,  $Mn$ ,  $S$ ,  $P$  и т.д.). Образующиеся при этом оксиды  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  и др., вместе с частицами постепенно разрушающейся футеровки, примесями, вносимыми шихтой, образуют шлак. Шлак легче металла, поэтому он покрывает металл во все периоды плавки.

#### Устройство мартеновской печи.

Мартеновская печь представляет собой пламенную регенеративную печь, предназначенную для переработки чугуна и металлического лома в сталь заданного состава. Мартеновская печь состоит из следующих основных элементов (рисунок 3.4): рабочего пространства, головок, вертикальных каналов, шлаковиков, регенераторов, боровов с перекидными устройствами, котлов-утилизаторов и дымовой трубы.

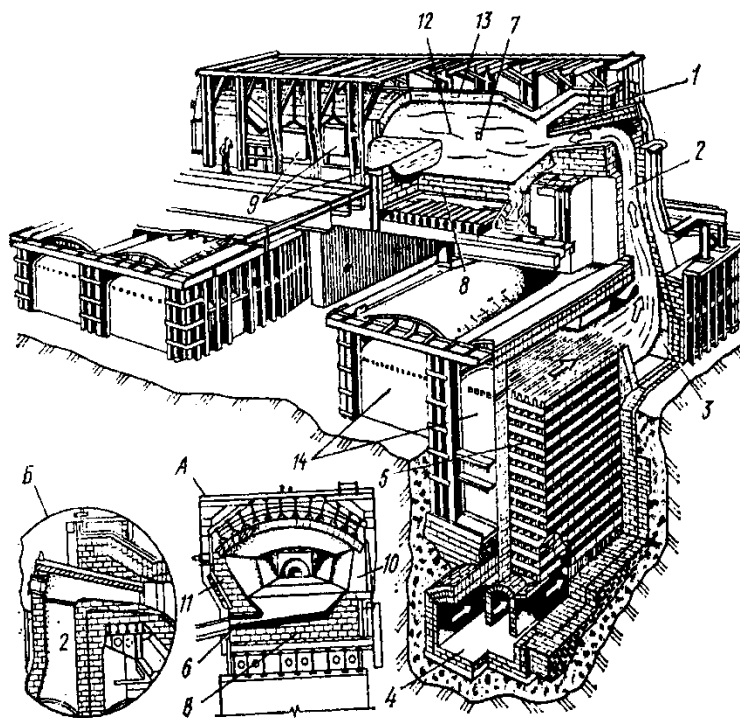


Рис. 3.4. Современная мартеновская печь

1- головка; 2- вертикальный канал; 3- шлаковик; 4- борова, 5- насадка газового регенератора; 6- сталевыпускное отверстие; 7- отверстие в задней стенке печи для спуска шлака; 8- под; 9- завалочные окна; 10- передняя стенка; 11- задняя стенка; 12- рабочее пространство; 13- свод, 14- регенераторы (газовый и воздушный); А - поперечный разрез рабочего пространства печи; Б — разрез по "головке" печи

Мартеновская печь условно делится на верхнее и нижнее строения. К верхнему строению относятся рабочее пространство, головки и вертикальные каналы, которые располагаются выше рабочей площадки печи. К нижнему строению относятся все другие элементы печи и расположены они ниже уровня



рабочей площадки.

Рабочее пространство печи ограничено сверху сводом, снизу подиной. Подина печи имеет наклон к задней стенке, в которой предусмотрено отверстие для выпуска готовой стали. В передней стенке имеются проемы - завалочные окна, которые служат для загрузки твердой шихты, заливки жидкого чугуна (по специальному желобу), взятия проб и наблюдения за ходом плавки. Как правило, количество этих завалочных окон нечетное, что связано с необходимостью иметь окно по центру печи. Завалочные окна закрыты специальными футерованными крышками с отверстиями, через которые можно наблюдать за плавкой и состоянием печи.

Головки (правая и левая) предназначены для подачи топлива и воздуха для горения в рабочее пространство и отвода из него продуктов сгорания. Головки расположены в торцах рабочего пространства и через вертикальные каналы соединены со шлаковиками.

Шлаковики предназначены для осаждения и накопления пыли и частиц шлака, выпадающих из проходящих через них продуктов сгорания. Шлаковики представляют собой камеры, вытянутые под головками параллельно поперечной оси печи. Сечение шлаковиков больше сечения вертикального канала. Поэтому дымовые газы, попадая в шлаковик, резко теряют свою скорость, одновременно изменяя направление движения. При этом большая часть плавильной пыли ( $\approx 60\%$ ) оседает в шлаковиках.

Регенераторы (воздушные и газовые) предназначены для подогрева поступающих в печь газа и воздуха за счет использования тепла выходящих из рабочего пространства продуктов сгорания. Регенераторы представляют собой прямоугольные камеры, заполненные решеткой из огнеупорного кирпича, называемой насадкой.

Борова – каналы для подвода газа и воздуха к регенераторам и отвода продуктов сгорания от регенераторов к котлу-утилизатору или дымовой трубе.

Система перекидных клапанов предназначена для изменения направления потоков газа и воздуха с одной стороны печи на другую. Для этого в боровах, газопроводах устанавливают перекидные и регулирующие устройства: газовые клапаны, воздушные клапаны, дымовые клапаны и воздушные задвижки, переключение которых осуществляется специальными устройствами.

Котел-утилизатор предназначен для утилизации тепла отходящих продуктов сгорания.

Дымовая труба служит для отвода отходящих продуктов сгорания в атмосферу.

Все элементы мартеновской печи выкладывают из огнеупорных материалов. В зависимости от характера огнеупорных материалов, из которых выложено рабочее пространство, мартеновские печи делятся на основные и кислые. Для кладки основных мартеновских печей применяют магнезитовый, магнезитохромитовый, хромомагнезитовый кирпич, магнезитовый порошок (для наварки пода). Для кладки кислых печей используют динасовый кирпич и кварцевый песок. Для кладки элементов нижнего строения печей используют форстеритовый, высокоглиноземистый, магнезитовый и шамотный кирпич. Ог-

неупорная кладка печи крепится металлической арматурой, что придает всей конструкции печи строительную прочность. Узлы и детали печи, работающие в условиях высоких температур, постоянно охлаждаются.

Мартеновская печь – агрегат, симметричный относительно вертикальной оси. Топливо и воздух для его горения поступают в рабочее пространство поочередно то с правой, то с левой стороны. В результате сгорания топлива в рабочем пространстве возникает факел. Продукты сгорания отводятся из рабочего пространства соответственно через головку противоположной стороны. Изменение подачи топлива и воздуха, т.е. изменение направления факела в рабочем пространстве, осуществляется системой клапанов и шиберов и называется «перекидкой» клапанов. Продукты сгорания, выходя из рабочего пространства через отводящую головку, после шлаковиков, где они очищаются от пыли и частичек шлака, при температуре 1500-1600 °С сверху поступают в регенератор. Проходя через насадку (огнеупорную кладку регенератора), продукты сгорания передают ей значительную часть содержащегося в них тепла. В результате этого насадка нагревается до 1200-1300 °С.

После изменения направления подачи в рабочее пространство топлива и воздуха (после перекидки клапанов), через эту нагретую насадку будут проходить холодные газ и воздух. Насадка будет охлаждаться, а газ и воздух, идущие в рабочее пространство, будут нагреваться до температуры 1100-1200 °С. Через регенераторы противоположной отводящей стороны проходят выходящие из рабочего пространства, нагретые до высокой температуры продукты сгорания и насадки этих регенераторов нагреваются.

Так, периодически, в течение плавки изменяется направление подачи в печь топлива и воздуха - то справа, то слева. Это обеспечивает поступление в печь воздуха и топлива с постоянной высокой температурой.

Шихтовые материалы основного мартеновского процесса (основная огнеупорная кладка рабочего пространства печи) состоят из металлической части (чугун, металлический лом, раскислители и легирующие) и неметаллической части (железная руда, агломерат, известняк, известь, боксит, плавиковый шпат). Соотношение количества чугуна и стального лома в шихте может быть различным в зависимости от процесса, выплавляемых марок стали.

По характеру шихтовых материалов основной мартеновский процесс подразделяется на несколько разновидностей, наибольшее распространение из которых получили скрап-рудный и скрап-процесс.

*При скрап-рудном процессе* основную массу металлической шихты (от 55 до 75 %) составляет жидкий чугун. Этот процесс широко применяется на заводах с полным металлургическим циклом.

*При скрап-процессе* основную массу металлической части шихты (от 55 до 75%) составляет металлический лом. Чугун (25-45%), как правило, применяется в твердом виде. Таким процессом работают заводы, на которых нет доменного производства.

#### Ход плавки при основном скрап-процессе.

В мартеновской печи различают обычно следующие периоды: заправка печи, завалка шихты, прогрев шихты и заливка жидкого чугуна, плавление, до-

водка, раскисление и легирование, выпуск:

– заправка печи служит для поддержания в рабочем состоянии всех элементов огнеупорной кладки плавильного пространства. Для этого в момент выпуска предыдущей плавки, по мере освобождения от металла и шлака, на стенку и подину с помощью заправочной машины забрасывают огнеупорные материалы (магнезитовый порошок, дробленый обожженный доломит и т.п.). После выпуска из печи металла и шлака подину тщательно осматривают и, если нужно, исправляют замеченные неровности;

– завалка шихты. Подготовленная к плавке твердая шихта подается к печам в мульдах - специальных чугуновых коробах (емкостью до  $3,3 \text{ м}^3$ ), установленных на тележках. Завалочная машина специальным хоботом захватывает мульд и вводит в печь через завалочное окно. При вращении хобота с мульдой вокруг оси содержимое мульды вываливается на подину печи;

– прогрев шихты. Перед заливкой в печь жидкого чугуна вся загруженная твердая шихта прогревается в печи до температуры плавления чугуна;

– заливка жидкого чугуна в печь осуществляется из чугуновозных ковшей с помощью заливочного крана по специальному желобу, установленному в одно или два заливочных окна;

– период плавления начинается сразу после заливки чугуна и продолжается до тех пор, пока вся твердая шихта будет расплавлена. В этот период в печь подается максимальное количество топлива. В процессе заливки чугуна и в первый момент плавления происходит интенсивное образование шлака, поскольку весь кремний и часть марганца, содержащиеся в чугуне, окисляются (в шлак также частично переходят оксиды железа). Толстый слой шлака затрудняет передачу тепла от факела к металлу. Образующийся в результате окисления углерода газ  $\text{CO}$  вспенивает шлак и он самотеком выходит из печи в специально подготовленные шлаковые чаши. Этот шлак называют первичным. Состав этого шлака характеризуется низкой основностью и высоким содержанием  $\text{FeO}$  и  $\text{MnO}$ , что благоприятствует удалению фосфора. С первичным шлаком из печи удаляется значительное количество нежелательных оксидов ( $\text{Si}_2\text{O}_3$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). За период плавления полностью окисляется кремний, почти полностью марганец и большая часть углерода. Химический состав металлической ванны в момент полного расплавления заметно отличается от состава, который сталь должна иметь перед выпуском; температура металла невысока. В связи с этим главное назначение следующего периода плавки, называемого доводкой, состоит в том, чтобы обеспечить необходимый нагрев металла и довести его до заданного химического состава;

– доводка состоит из двух стадий: рудного кипения, когда в ванну вводят добавки железной руды (окислитель), извести, металл продувают газообразным кислородом, и чистого кипения, когда окисление растворенного в металле углерода продолжается без каких-либо добавок, за счет растворенного в шлаке и металле кислорода. В период чистого кипения металл окончательно доводится до требуемых температуры и химического состава (удаляются газы, неметаллические включения, в металле содержится необходимое количество

углерода и минимальное содержание серы и фосфора);

– раскисление и легирование - завершающий период плавки. Основное назначение этого периода состоит в том, чтобы снизить содержание растворенного в металле кислорода и довести состав металла до заданного по содержанию всех элементов. Раскисляющие и легирующие добавки частично вводят в печь, частично в сталеразливочный ковш во время выпуска металла;

– выпуск. Для выпуска металла из печи со стороны задней стенки пробивают сталевыпускное отверстие, и металл по желобу стекает в установленный под ним сталеразливочный ковш.

Начиная от момента расплавления и до выпуска, из печи отбирают пробы металла и шлака на анализ в экспресс-лабораторию цеха. Температуру металла измеряют платино-платонородиевыми или вольфрамо-молибденовыми термомпарами погружения.

Продолжительность мартеновской плавки, в зависимости от варианта процесса и массы завалки, составляет 5-8 часов.

#### Устройство мартеновского цеха.

В состав современного мартеновского цеха входят следующие отделения: шихтовые отделения, миксерное отделение, главное здание, отделение раздевания слитков, отделение подготовки изложниц.

Шихтовые отделения (для магнитных и сыпучих материалов) служат для приемки и хранения поступающих в цех твердых и заправочных материалов. Для разгрузки и погрузки материалов в отделениях установлены мостовые магнитные и грейферные краны. В главное здание шихта передается в мульдах, установленных на железнодорожных тележках.

Главное здание мартеновского цеха состоит из шихтового открылка, печного и разливочного пролетов.

Шихтовый открылок располагается на уровне пола рабочей площадки печей, примыкает к печному пролету и предназначен для обеспечения бесперебойной подачи мульдовых составов с шихтой к печам. На открылок составы с шихтой подаются заблаговременно и перед началом завалки их подают к печи на мульдовый путь.

Печной пролет оборудован напольными завалочными машинами для завалки шихты с помощью мульд и мостовыми кранами для заливки чугуна. Жидкий чугун подают в печной пролет из миксерного отделения чугуновозами. Ковш поднимают заливочными кранами и заливают из них чугун в печь через специальные желоба, которые перед заливкой устанавливают с помощью крана в рабочие окна печи. В пролетах между печами располагают подвесные бункера для хранения ферросплавов, переносные бункера для заправочных материалов, участки ремонта желобов для заливки чугуна, заправочные торкрет-машины.

В печном пролете размещаются мартеновские печи, пульта управления ими, а также транспортные пути для подачи шихтовых, заправочных и вспомогательных материалов. Печи располагаются в одну линию вдоль центральных колонн главного здания; со стороны шихтового открылка размещаются пульта управления. На рабочей площадке печного пролета, между печами и пультами управления, расположены три железнодорожных пути: для подачи к печам

мульдовых составов с шихтой, для передвижения напольной завалочной машины, для подачи к печам чугуновозных ковшей с жидким чугуном из миксерного отделения.

*-Разливочный пролет* примыкает непосредственно к печному со стороны задней стенки печей. Он служит для приема выпускаемой из печей стали, её разливки по изложницам и для уборки из цеха шлака. Пролет оборудован разливочными, консольными и велосипедными кранами. В нем размещены разливочные площадки, разливочные пути для тележек с изложницами, путь для вывоза шлака и мусора, стенды для сталеразливочных и шлаковых ковшей, участки ремонта ковшей.

Из мартеновской печи готовую сталь выпускают в разливочный пролет по желобу в сталеразливочные ковши. Из них сталь разливают по изложницам, установленным на составе тележек. Шлак из печи во время плавки сливают через среднее рабочее окно в шлаковую чашу. После заполнения чашу выдают в разливочный пролет, где её разливочным краном переставляют на шлаковозы.

Шлак, сливаемый через шлаковые отверстия в задние стенки печи, и избыточный шлак, вытекающий из сталеразливочного ковша во время выпуска стали, попадают в шлаковые чаши, установленные рядом с разливочным ковшом.

Заполненные чаши также ставят краном на шлаковозы и вывозят по шлаковому пути.

### **3.3. Производство стали в кислородных конверторах**

В последние годы кислородно-конвертерный способ получения стали стал ведущим, вытеснив ранее господствующий мартеновский и обеспечивает выплавку большей части мирового производства стали.

Такое изменение структуры сталеплавильного производства диктуется значительными технико-экономическими преимуществами кислородно-конвертерного способа выплавки стали по сравнению с мартеновским: более высокая производительность, меньшие капитальные затраты, более широкие возможности для механизации и автоматизации технологических процессов.

Основными конструктивными элементами конвертера (рисунок 3.5) являются: корпус, опорное кольцо, опорные узлы и привод поворота конвертера.

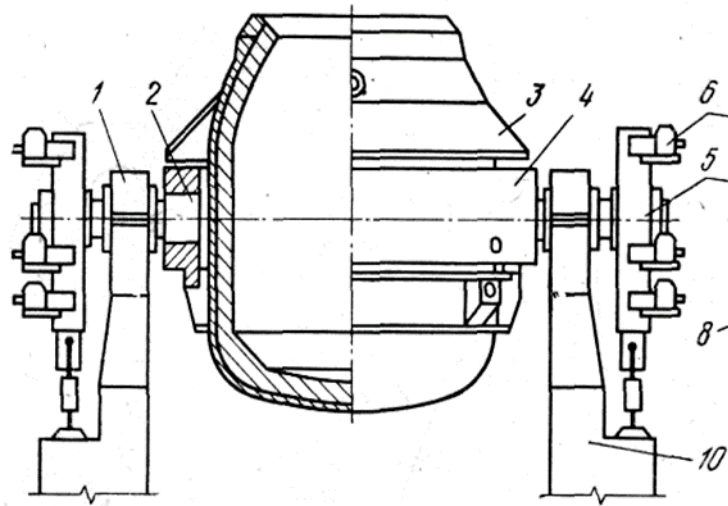


Рис. 3.5. Кислородный конвертер:

1 — опорный подшипник; 2 — цапфа; 3 — защитный кожух; 4 — опорное кольцо; 5 — навесной электродвигатель с редуктором; 6 — корпус ведомого колеса; 7 — опорная станина

Корпус конвертера имеет симметричную форму и состоит из сферического дна, цилиндрической средней части и горловины в виде усеченного конуса. С целью уменьшения деформации и прожогов горловины верхняя ее часть (шлем) выполнена массивной и съемной. У основания горловины сделано отверстие (лётка), которое предназначено для слива стали из конвертера в сталеразливочный ковш.

Днище конвертера может быть глухим неотъемным, отъемным и вставным. При отъемном или вставном днище упрощается ремонт футеровки, но возникает опасность прорыва металла в шов, соединяющий днище с цилиндрической частью.

Для защиты от действия расплавленного металла и шлака, и уменьшения тепловых потерь корпус конвертера изнутри футерован огнеупорным кирпичом. Футеровка корпуса выполняется многослойной. Первый слой — арматурный — непосредственно примыкает к кожуху и предназначен для предохранения корпуса конвертера от соприкосновения с расплавленным металлом. Этот слой выполняют из магнезитового или хромомagneзитового кирпича. Внутренний слой футеровки называют рабочим, он в процессе работы конвертера постепенно изнашивается под действием металла и шлака. Для кладки рабочего слоя используют доломитовый или магнезито-доломитовый кирпич.

Иногда между рабочим или арматурным слоем помещают набивку из магнезитосмоляной или доломитосмоляной массы.

Корпус конвертера помещают в опорное кольцо и закрепляют в нем. Крепление корпуса в кольце шарнирное, компенсирующее температурные деформации.

Поворот конвертера вокруг горизонтальной оси и установки его в различные положения для выполнения технологических операций — загрузки металлолома, заливки чугуна, продувки, слива металла и шлака осуществляется

механизмом поворота.

Сущность кислородно-конвертерного способа состоит в продувке жидкого чугуна, заливаемого в конвертер, технически чистым кислородом, подаваемым в конвертер сверху через водоохлаждаемую фурму. В жидкую ванну добавляют также металлический лом и сыпучие неметаллические материалы. При продувке струя кислорода окисляет содержащиеся в чугуне углерод, кремний и другие примеси, в результате чего чугун превращается в сталь. Процессы окисления примесей чугуна кислородом идут с выделением большого количества тепла, за счет которого расплавляются добавляемые шихтовые материалы. При этом они отбирают избыток тепла и предотвращают перегрев металла. В отличие от других сталеплавильных процессов, процесс плавки стали в конвертере идет без повода тепла извне.

Технология плавки в кислородном конвертере приведена на рисунке 3.6.

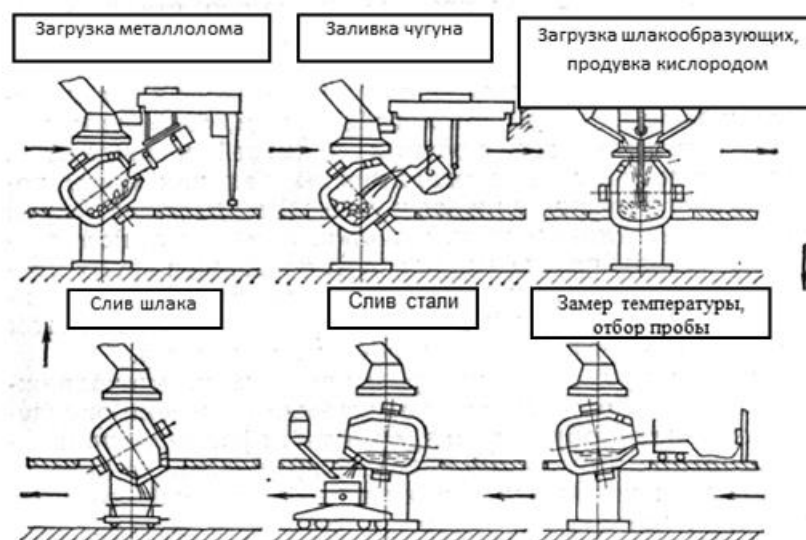


Рис. 3.6. Технологическая схема производства стали в кислородном конвертере

*Загрузка металлолома.* Подготовленный к плавке металлический лом подается из шихтового отделения в загрузочный пролет в совках, установленных на самоходных тележках (скраповозах). С тележек совки снимаются специальной загрузочной машиной и подаются к конвертеру.

*Заливка чугуна в конвертер* осуществляется заливочным краном из ковшей, подаваемых в загрузочный пролет из миксерного отделения или отделения перелива на чугуновозах.

Жидкий чугун и металлолом (20-30 % от массы чугуна) составляют металлическую часть шихты для конвертерного производства стали.

*Период продувки.* Конвертер устанавливают в вертикальное положение, опускают фурму и включают подачу кислорода. В начале продувки в конвертер загружают основную массу шлакообразующих добавок. Остальную их часть загружают отдельными порциями в течение всего периода продувки. Шлакообразующие подаются в конвертер из расходных бункеров, устанавливаемых под

конвертером с помощью питателей, весов-дозаторов, ленточных конвейеров, промежуточных бункеров и желобов.

Шлакообразующие шихтовые материалы применяют для наведения в конвертере шлака, участвующего в процессе окисления примесей чугуна. В качестве шлакообразующих материалов в кислородно-конвертерном процессе используют свежесушенную известь и известняк.

Применение извести и известняка для конвертерной плавки вызвано необходимостью в очень короткий срок получать шлак заданного состава. Это необходимо для быстрого удаления примесей серы и фосфора и получения качественной стали. Для ускорения шлакообразования применяют разжижающие добавки, к которым относится плавиковый шпат и боксит.

При подаче шлакообразующих и кислорода на поверхности металлической ванны возникает шлак, состоящий из свободных и химически связанных оксидов железа, магния, марганца, кремния, кальция, алюминия, фосфора и других элементов, входящих в состав шихтовых материалов. Шлак участвует в химических реакциях окисления и восстановления железа, дефосфорации и других процессов, протекающих в металлической ванне.

Продувка продолжается 15-20 мин и заканчивается на заданном для выплавляемой марки стали содержании углерода. К этому моменту металл должен быть нагрет до необходимой температуры (1580-1650 °С), а содержание серы и фосфора не должно превышать допустимых для стали данной марки пределов.

По окончании продувки из горловины выводят фурму, конвертер плавно переводят в горизонтальное положение. Через горловину конвертера отбирают пробы металла и шлака, измеряют температуру.

*Отбор пробы и замер температуры.* На основании результатов анализа принимают решение либо о выпуске плавки, либо о проведении корректировочных операций, которые должны обеспечивать получение заданной температуры и заданного содержания углерода.

Возможно проведение следующих операций по исправлению плавки:

1. При избыточном содержании углерода производят додувку. Время продувки определяют на основании результатов предыдущих аналогических плавков.

2. При недостаточном содержании углерода вводят науглероживающие добавки (кокс, графит) в струю металла при разливке.

3. При слишком высокой температуре в конвертер вводят охладители – лом, руду, известь и др., давая выдержку до 5 мин.

4. При недостаточной температуре проводят додувку при повышенном положении фурмы или же предварительно вводят ферромарганец, а затем продувают.

5. При избытке марганца также проводят додувку при повышенном положении фурмы.

Корректировочные операции удлиняют плавку, поэтому являются нежелательными.

Слив стали. Готовую сталь из конвертера сливают в сталеразливочный ковш, установленный под конвертером на самоходной тележке (сталевозе). Од-



новременно со сливом стали из приемной воронки по специальному поворотному желобу в сталеразливочный ковш подают добавки – раскислители и легирующие.

Слив шлака. Шлак из конвертера сливают в шлаковую чашу, установленную на шлаковозе. Для этого конвертер наклоняют горловиной вниз.

Продолжительность плавки мало зависит от вместимости конвертера и составляет примерно 35-40 мин.

В состав современного конвертерного цеха входят главный (конвертерный) корпус и ряд отделений, тесно связанных с ним единым технологическим процессом и расположенных в отдельных зданиях. К ним относятся отделения: перелива чугуна, шихтовые, непрерывной разливки стали и шлаковые.

Главный корпус разделен на следующие пролеты: загрузочный, конвертерный, сыпучих материалов, шлаковый, подготовки ковшей, котлов – охладителей и энергетический (рисунок 3.7).

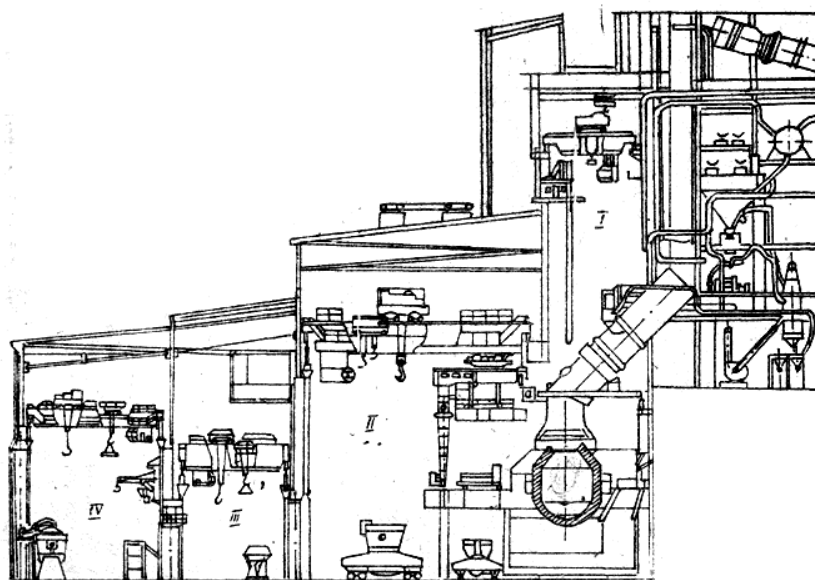


Рис. 3.7. Разрез главного корпуса кислородно-конвертерного цеха

I - конвертерный пролет; II - загрузочный пролет; III – шлаковый пролет; IV -пролет подготовки ковшей; V - пролет сыпучих материалов; VI - пролет котлов – охладителей;

1 - конвертер; 2 - чугуновоз; 3 - самоходная площадка; 4 - сталевоz; 5 - стенд для установки сталеразливочных ковшей; 6 - стенд для сушки сталеразливочных ковшей; 7 - литейный кран; 8 - мостовой кран; 9 - заливочный кран; 10 - полупортальная машина; 11 - машина для перемещения кислородных фурм; 12 - мостовой кран; 13 - наклонный конвейер; 14 - котел-охладитель; 15 - передвижной реверсивный конвейер; 16 - расходный бункер; 17 - система дозирования и загрузки шлакообразующих

В загрузочном пролете расположены полупортальные машины для загрузки металлического лома и заливочные краны для заливки жидкого чугуна.

В конвертерном пролете установлены три конвертера с газоотводящими трактами, машины для подачи кислорода с фурмами, мостовой кран для обслу-

живания ремонтных работ.

Шлакообразующие материалы подаются наклонными конвейерами в верхнюю часть пролета сыпучих материалов, где реверсивными передвижными конвейерами распределяются по расходным бункерам. Система дозирования и загрузки обеспечивает подачу взвешенных порций разливочных шлакообразующих материалов в конвертер по ходу плавки. Раскислители и легирующие загружаются краном в расходные бункера, расположенные в торце пролета. После взвешивания эти материалы нагреваются в специальных печах и по желобу подаются в сталеразливочный ковш.

В шлаковом пролете производится перестановка шлаковых ковшей, вывозимых самоходным шлаковозом, мостовым краном на самоходные шлаковозы, которые далее вывозятся в шлаковые отделения.

Пролет подготовки ковшей служит для смены футеровки сталеразливочных и чугуновозных ковшей.

В пролете котлов-охладителей располагаются котлы-охладители отходящих конвертерных газов с системой трубопроводов. В энергетическом пролете находится оборудование для очистки газов и панели систем управления электроприводами.

Отделение перелива чугуна служит для приема передвижных миксеров из доменного цеха и слива чугуна из них в заливные ковши, которые самоходными чугуновозами подаются в главный корпус. Здесь же осуществляются взвешивание металла, взятие проб и замер температуры жидкого чугуна. Помимо специализированного отделения, в главном корпусе предусмотрен участок перелива чугуна из передвижных миксеров в заливочные ковши.

Шихтовое отделение магнитных материалов предназначено для приема и хранения запаса лома, заполнения совков, их взвешивания и установки на скраповоз, который доставляет груженные совки непосредственно на рабочую площадку конвертеров. Отделение сыпучих материалов служит для хранения и подготовки их к плавке, состоит из приемных бункеров и системы транспортеров, связывающих это отделение с главным корпусом.

Отделение непрерывной разливки служит для литья стали в непрерывную заготовку определенного сечения. Отделение состоит из пролетов, в которых размещены машины непрерывной разливки стали (МНЛЗ), пролета подготовки и ремонта промежуточных ковшей и пролета подготовки технологического оборудования. Отлитые на МНЛЗ заготовки поступают на склад для зачистки, термической обработки и хранения перед отправкой в прокатный цех.

Шлаковое отделение служит для приема и переработки конвертерного шлака. Жидкий шлак сливают из чаш в ямы, охлаждают, дробят и отгружают в вагоны, отправляя в отвал или потребителю.

### **3.4. Производство стали в дуговых электропечах**

В настоящее время наиболее качественные конструкционные, высоколегированные, инструментальные и шарикоподшипниковые стали выплавляют в дуговых электропечах вместимостью до 200 т. Источником тепла в них служит

электрическая дуга, возникающая между угольными электродами и металлом. Электросталь имеет низкое содержание серы и фосфора, неметаллических включений, хорошо раскислена и по качеству превосходит кислородно-конвертерную и мартеновскую.

Принципиальная схема устройства дуговой сталеплавильной печи показана на рис.3.8.

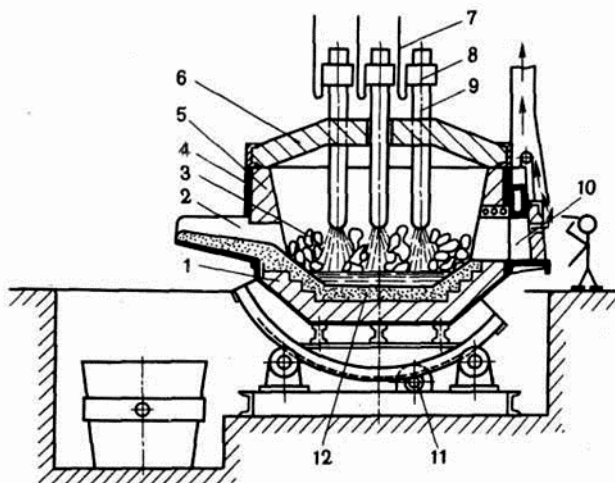


Рис. 3.8. Схема дуговой электропечи

1 – футеровка; 2 – желоб для выпуска стали; 3 – металлическая шихта; 4 – стальной кожух печи; 5 – стенка печи; 6 – свод печи; 7 – кабель; 8 – электрододержатель; 9 – электрод; 10 – рабочее окно печи; 11 – механизм наклона печи; 12 – под печи

Печь имеет цилиндрическую форму и состоит из стального кожуха, выложенного изнутри огнеупорным кирпичом (футерованного). Днище печи, на котором располагаются расплавляемые материалы, называется подом (подина). Сверху печь накрывается сводом, имеющим отверстия для трех электродов (по числу фаз трехфазного электротока). В стенке печи расположено рабочее окно для слива шлака, загрузки ферросплавов, взятия проб, закрытое при плавке заслонкой. Готовую сталь выпускают через выпускное отверстие со сливным желобом. Печь опирается на секторы и имеет привод для наклона в сторону рабочего окна и желоба.

Схема технологического процесса производства стали в дуговых печах представлена на рис.3.9.



Рис. 3.9. Схема технологического процесса производства стали в дуговых электропечах

Существует два варианта проведения электроплавки:

- на свежей шихте (с окислением примесей).
- переплав легированных отходов (без окислительного периода).

При плавке по первому варианту шихта состоит из малоуглеродистого лома с добавкой науглероживателя (кокс, электродный бой) или чугуна. Передельный чугун добавляют в таком количестве, чтобы после расплавления шихты углерода было больше на 0,4...0,6 %, чем в готовой стали, что необходимо для нормального кипения металла. Избыточное количество углерода окисляют в процессе плавки. Металл легируют присадками ферросплавов (сплавы железа с элементами, необходимыми для легирования и раскисления) с целью получения стали нужного состава.

При производстве и последующей обработке высококачественных легированных сталей отходы производства составляют 30...50 % (бракованные слитки, обрезь при прокатке, стружка и т.п.).

При плавке по второму варианту состав готовой стали почти полностью определяется составом этих отходов и легирующие элементы добавляют только для некоторой корректировки состава. За счет отсутствия окислительного периода плавка на отходах значительно короче (примерно на 1 ч) по сравнению с плавкой на свежей шихте.

Рассмотрим основные технологические операции процесса выплавки стали в электрических печах.

-*Заправка печи* проводится перед каждой очередной плавкой. Она заключается в ремонте поврежденных участков подины, образовавшихся при предыдущей плавке. В эти места с помощью заправочной машины насыпают сухой магнезитовый порошок.

-*Загрузка печи.* Шихта загружается в печь сверху из корзины с откидным

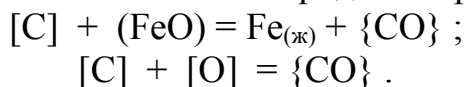
дном. Для этого свод поднимают и отводят в сторону. Основную массу шихты (до 90% и более) составляет стальной скрап. В качестве флюса, используемого для образования шлака, применяют известь.

*-Период плавления.* После окончания завалки опускают свод, электроды подводят к поверхности шихты и включают ток. При постепенном опускании электроды проплавляют в шихте колодцы, а жидкий металл стекает вниз, собираясь в центральной части подины. Шлак, образующийся при плавлении флюса, закрывает жидкий металл, предохраняя его от окисления. На некотором расстоянии от поверхности жидкой ванны электроды останавливаются и затем по мере повышения уровня металла начинают подниматься вверх под действием автоматического регулятора.

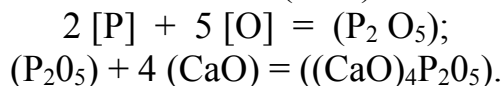
*-Расплавление шихты* в печи занимает основное время плавки и в зависимости от размера печи и мощности установленного трансформатора составляет 1...3 ч.

Окислительный период плавки. Задачами этого периода являются: окисление избыточного углерода, окисление и удаление фосфора, дегазация металла, удаление неметаллических включений.

В начале окислительного периода в печь порциями добавляют железную руду. В результате присадки руды образуется окислительный шлак, содержащий до 15...20% FeO и до 50% CaO. Растворенный в металле углерод взаимодействует с FeO и растворенным в ванне кислородом по реакциям:

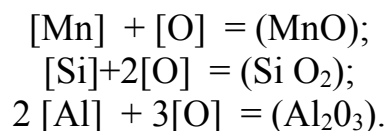


В квадратных скобках указаны элементы, растворенные в металле, в круглых - в шлаке, в фигурных – газовая фаза. Происходит бурное выделение пузырей CO, которые вспенивают поверхность ванны, покрытой шлаком. При кипении из металла удаляются растворенные в нем вредные газы N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>. Они проникают в пузырьки CO и вместе с ними удаляются из металла. Энергичное перемешивание способствует также и удалению из металла неметаллических включений, которые выносятся на поверхность потоками металла или поднимаются наверх вместе с пузырьками газа. Для интенсификации окислительного периода плавки металл продувают кислородом. Удаление из стали фосфора происходит путем перевода его в шлак вида (CaO)<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в процессе реакции:

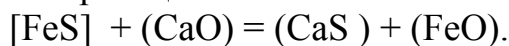


По достижению заданного содержания углерода и фосфора окислительный шлак удаляют с поверхности металла и переходят к восстановительному периоду.

Восстановительный период плавки. Задачи этого периода заключаются в следующем: раскисление металла, удаление серы, корректирование химического состава стали. В начале восстановительного периода в печь присаживают шлакообразующие смеси на основе извести. Удаление растворенного в ванне кислорода осуществляется присадкой раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия) в металл и на шлак. При этом происходят следующие реакции:



В результате раскисления растворенный кислород связывается в оксиды и удаляется из ванны в виде нерастворенных в металле неметаллических включений. В восстановительный период плавки активно происходит удаление серы из металла в шлак вида  $\text{CaS}$  по реакции



После раскисления в сталь вводят легкоокисляющиеся легирующие элементы (хром, ванадий, титан) в виде ферросплавов. Никель, вольфрам и другие элементы, не окисляющиеся при плавке, вводят с шихтой или в процессе ее плавления. Плавку считают готовой, когда сталь имеет заданный состав и температуру, обеспечивающую ее разливку.

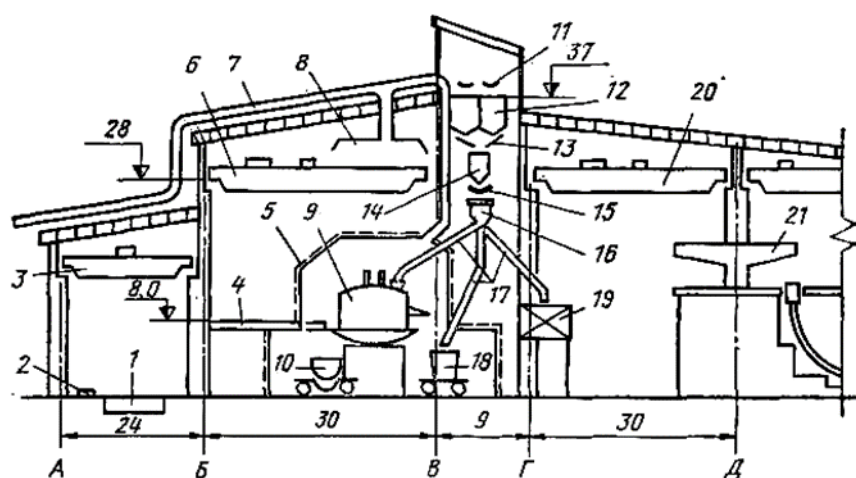


Рис. 3.10. Поперечный разрез современного электросталеплавильного цеха:

1 – бункер для лома; 2 – рельсовый путь; 3 – кран; 4 – рабочая площадка; 5 – герметичный кожух; 6 – кран; 7 – трубопровод; 8 – зонтик; 9 – печь; 10 – тележка со шлаковым ковшом; 11 – конвейер; 12 – расходный бункер; 13 – питатель; 14 – весы – дозатор; 15 – конвейер; 16 – распределительная воронка; 17 – наклонный желоб; 18 – сталевоз; 19 – установки для доводки; 20 – кран; 21 – машина непрерывной разливки стали

*-Выпуск металла.* Печь плавно наклоняют в сторону выпускного отверстия и выпускают плавку по желобу в сталеразливочный ковш для последующей разливки в изложницы или на МНЛЗ (машинах непрерывного литья заготовок).

*-Выпуск шлака.* Шлак выпускают из печи в шлаковый ковш. Для этого печь наклоняют в сторону рабочего окна.

Основные линии массопотоков электросталеплавильного цеха:

доставка и загрузка стального лома;

доставка и загрузка в печь шлакообразующих материалов;

доставка и загрузка в печь и в ковш ферросплавов;

транспортирование ковшей с жидкой сталью к месту разливки и установ-

кам внепечной обработки;

разливка и уборка слитков или литых заготовок;

уборка шлака.

Кроме того, в цехе существуют массопотоки, связанные с обеспечением ремонта печей и оборудования.

Современный электросталеплавильный цех (рис.7.3) включает следующие пролеты: шихтовый А-Б, печной Б-В, пролет сыпучих материалов В-Г, распределительный Г-Д и далее группу пролетов МНЛЗ.

Особенностью этого цеха является установка печей в герметичном дымо- и шумоизолирующем кожухе, газы из которого отводят по трубопроводу к газоочистке. Стальной лом доставляют в шихтовое отделение по рельсовому пути и с помощью крана перегружают в корзины. По поперечным путям корзины перемещают в печной пролет и краном загружают шихту в печь, для чего раздвигают верхние шторы кожуха. Сыпучие материалы и ферросплавы из расходных бункеров выдают в весы-дозатор, а из них на продольный конвейер. Последний доставляет материалы в распределительную воронку, направляющую материалы в одну из наклонных течек для загрузки в печь, либо в ковш сталевоза либо к установке для доводки состава и температуры металла в ковше. После выпуска стали в ковш сталевоз выезжает из кожуха и устанавливается под установкой для доводки, где могут выполняться следующие операции: отбор проб, замер температуры, продувка аргоном с введением алюминия для раскисления, корректирующие добавки ферросплавов, добавки стальной обрезки для корректировки температуры. Затем сталевоз выезжает в зону действия крана, которым ковш доставляется к МНЛЗ. Шлаковая тележка выезжает из кожуха в распределительный пролет, откуда шлаковые ковши вывозят автошлаковозами.

## ГЛАВА 4 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

### 4.1. Производство проката

#### 4.1.1. Прокатные изделия

Металлургическая промышленность выпускает разнообразные виды проката, отличающиеся по форме поперечного сечения и размерам. Некоторые виды проката показаны на рис. 4.1. Все эти изделия, перечень которых называется сортаментом, как правило, стандартизованы, т.е. основные требования к ним изложены в ГОСТе.

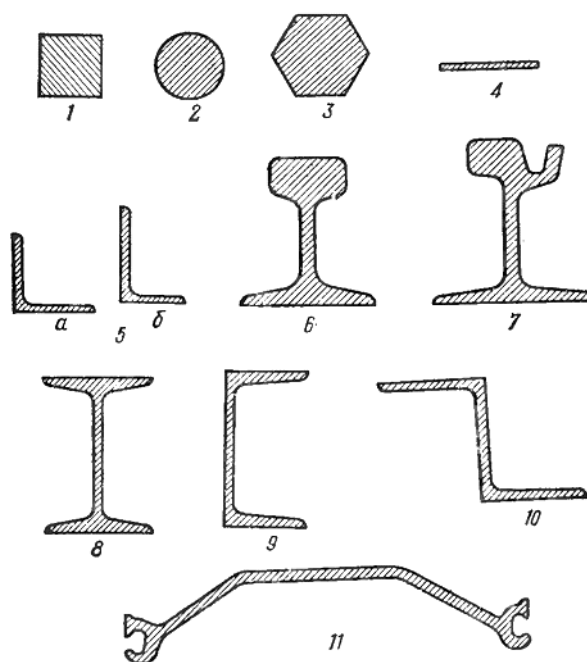


Рис. 4.1. Поперечные сечения некоторых видов проката

- 1 – квадратное;  
2 – круглое; 3 – шестигранное; 4 – лента; 5 – угольник: а – равнобокий, б – неравнобокий; 6 – рельс железнодорожный; 7 – рельс трамвайный; 8 – двутавр; 9 – швеллер; 10 – зетовый профиль; 11 – шпунт

#### 4.1.2. Технологическая схема производства

Завод с полным металлургическим циклом, производящий металл в том или другом виде из исходных материалов, включает в свой состав следующие цехи: доменные (производство чугуна), конвертерные, электросталеплавильные, мартеновские (производство стали и других металлов); цехи горячей прокатки (горячекатаный прокат и трубы); цехи холодной прокатки (производство холоднокатаных листов, лент и труб); калибровочные цехи (производство калиброванного металла в прутках и бунтах с высоким качеством поверхности и высокими допусками по размерам); цехи антикоррозионных и других видов покрытий (лужение, оцинкование, алюминирование, хромирование и др.); цехи гнутых профилей (получение тонкостенных гнутых профилей широкого сорта-



мента из листового проката); термические цехи и различные виды отделки металла. Доменные, сталеплавильные и прокатные цехи являются основными цехами металлургического завода. Обычно на металлургическом заводе полного цикла предусматривается получение кокса. Такое сочетание цехов является наиболее рациональным с точки зрения использования отходящих газов доменных и коксовых печей, теплоты жидкого чугуна при передаче его из доменного в сталеплавильные.

Длительное время получение готового проката выполнялось по технологической схеме «слиток – готовый прокат». В этих условиях получали слиток небольшой массы и выбирался он с таким расчетом, чтобы непосредственно из него можно было получить необходимое изделие за один нагрев. Однако по мере развития машиностроения и металлургии, главным образом высокопроизводительных способов получения стали, возникла необходимость разливать сталь в слитки значительной массы – 6-10 т и более. Получение готового проката из такого слитка за один нагрев не всегда представляется возможным. По этой причине начали строить обжимные станы, задача которых состояла в обработке слитка в заготовку. Данное обстоятельство привело к новой технологической схеме: слиток – полупродукт (заготовка) – готовый прокат.

Прокатное производство металлургического завода в соответствии с этой технологической схемой включает систему станов, обеспечивающих получение полупродукта в виде слябов, блюмов и других заготовок, и систему станов, которые выпускают готовый прокат в виде сортовой стали, горяче- и холоднокатаных листов, лент, труб и пр. (рис. 4.2). Поэтому прокатные цехи, как правило, имеют в своем составе: обжимные (блюминги, слябинги) и заготовочные станы, являющиеся основными агрегатами, связывающими сталеплавильные цехи и прокатные станы, выпускающие готовый прокат; сортовые станы (рельсобалочные, крупно-, средне-, мелкосортные и проволочные); листопрокатные станы; трубные станы и др.

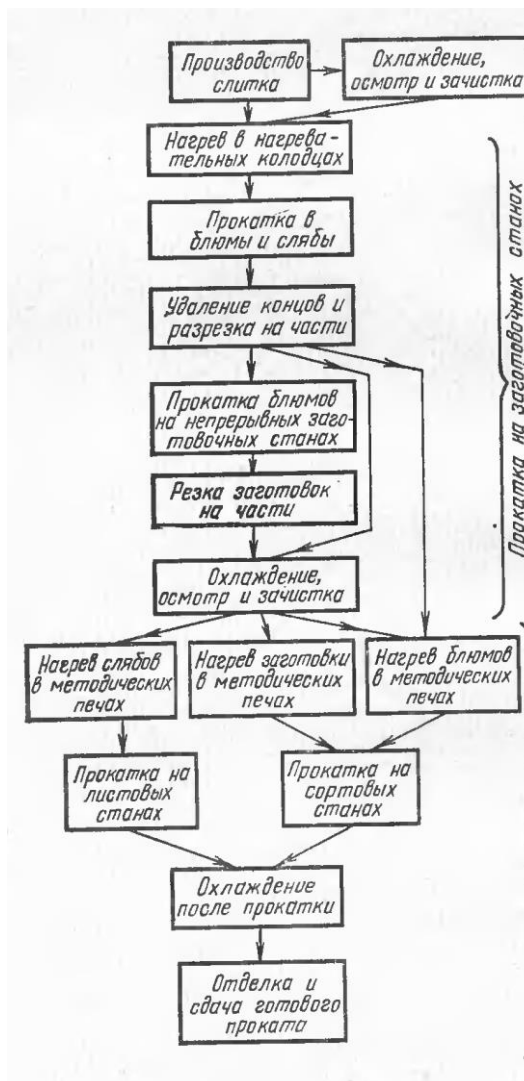


Рис. 4.2. Технологическая схема производства проката из обычного слитка



Рис. 4.3. Технологическая схема производства проката из заготовок, полученных на МНЛЗ

Наряду с такой технологической схемой к концу прошлого века произошел переход к схеме «литая заготовка – готовый прокат». Непрерывное литье стальных заготовок длительное время не применялось из-за значительных трудностей выполнения технологического процесса самой разливки. Однако этот процесс обеспечивает получение химически более однородной плотной заготовки, что резко повышает выход годного. Например, на слябах спокойной углеродистой стали выход годного выше на 20%, чем при разливке в изложницы. Вместе с тем исключается необходимость иметь отделение подготовки изложниц и поддонов, а также стрипперное отделение. Применение непрерывной разливки стали снижает себестоимость металлургического передела, так как при этом устраняется необходимость в дорогостоящем оборудовании обжимных цехов, исключаются расходы на содержание обслуживающего и административного персонала.

Установлено, что себестоимость проката в этих условиях снижается на 8-10% при улучшении во многих случаях механических свойств и других харак-

теристик стали. Кроме того, непрерывная разливка существенным образом меняет условия работы в сталеплавильных цехах, позволяет механизировать и автоматизировать все металлургическое производство: получение чугуна, стали, готового проката. Поэтому непрерывная разливка получает значительное развитие во всех странах.

Непрерывным литьем стали изготавливают слябы сечением до 300x2320 мм, квадратные заготовки сечением до 320x320 мм, а также круглые полые трубные заготовки. На рис. 4.3 приводится технологическая схема производства проката из литой заготовки, которая выгодно отличается от схемы рис. 4.2 исключением ряда операций на первых этапах обработки исходного материала.

Технологическая схема получения того или иного вида готового проката предусматривает включение всех необходимых последовательных операций обработки, начиная с подготовки слитка или заготовки для нагрева и кончая завершающей отделкой и определением качества готового проката. Вместе с тем следует иметь в виду, что технология изготовления даже одного и того же вида изделия может в какой-то мере отличаться, если производство его осуществляется на другом прокатном стане, хотя основные операции изготовления имеют много общего.

К основным технологическим операциям любой технологической схемы производства проката следует отнести: подготовку исходных материалов; нагрев перед прокаткой (кроме холодной прокатки, когда часто требуется другая операция – термическая обработка); горячую и холодную прокатку; калибровку и производство гнутых профилей; отделку с операциями резки, правки, термической обработки, удаления поверхностных дефектов, травления и пр.

#### ***4.1.3. Исходный материал и его подготовка***

При производстве прокатных изделий исходным материалом служат слитки и заготовки. Наиболее удобны при прокатке, нагреве и транспортировке слитки и заготовки квадратного и прямоугольного сечений. Поэтому для производства сортового проката чаще всего используют слитки и заготовки квадратного и близких к нему сечений, для прокатки листа – прямоугольного сечения. Производство бесшовных труб может выполняться непосредственно из слитков и заготовок круглого сечения. По высоте слиткам придают некоторую конусность, значение которой принимается в зависимости от вида стали и способа разливки, формы поперечного сечения слитка и его назначения. Так, слитки из углеродистых и низколегированных сталей отливают с конусностью менее 3%, из высоколегированных сталей – с конусностью 3-6%.

Масса и форма слитка определяются видом материала, типом и конструкцией прокатного стана, сортаментом получаемых изделий и пр. На заготовочных станах прокатывают слитки массой до 1500 кг, на блюмингах – 3-10 т и выше, на слябингах – 8-25 т. Для специальных видов производства применяют и более крупные слитки.

Качество самого слитка существенно влияет на свойства прокатных изделий. Слиток считается качественным, если усадочная раковина, рыхлость, лик-

вация, макроструктура, газовые пузыри, неметаллические включения и другие внутренние пороки находятся в допустимых пределах, а поверхностные дефекты (трещины, плёны, завороты и пр.) отсутствуют. В цехах, производящих слитки, совершенствуются и внедряются технологические процессы, способствующие уменьшению дефектов слитка. Так, весьма эффективные результаты дает разливка металла в вакууме. При этом заметно снижается его загрязнение неметаллическими включениями (в 2-5 раз), к лучшему изменяются состав этих включений и распределение их по сечению слитка, уменьшается содержание газа в стали, особенно водорода.

Существенно улучшается качество стали при рафинировании синтетическими шлаками. При этом снижается содержание серы (в 2-3 раза), кислорода (на 30-50%), неметаллических включений (в 2-4 раза), уменьшается пораженность волосовинами (в 5-10 раз), повышается ударная вязкость, уменьшается склонность к хрупкому разрушению. Эффективным средством от окисления металла при разливке является защита струи инертными газами, например аргоном. Защитная атмосфера снижает содержание кислорода (в 1,5-1,8 раза) и неметаллических включений в стали. Слиток становится более плотным, улучшаются его пластические свойства. Все это повышает качество проката. Для ответственных изделий из некоторых сталей (шарикоподшипниковая, трансформаторная и др.) слитки массой до 10 т изготавливают электрошлаковым переплавом, что обеспечивает высокую плотность слитка и низкое содержание неметаллических включений и газов. Изделия из такого металла обладают высокими эксплуатационными показателями.

Однако полностью избежать появления дефектов слитков не удастся. Поэтому перед нагревом слитки следует осматривать, а поверхностные дефекты удалять. К сожалению, такая возможность существует не всегда. Надо помнить, что на металлургических заводах до 90-95% слитков сразу после разливки в горячем состоянии поступают в нагревательные колодцы или печи, что практически исключает возможность тщательного осмотра слитков. Кроме того, близкозалегающие подкорковые пузыри и неметаллические включения проявляются лишь в процессе прокатки и могут быть обнаружены только на заготовках. Поэтому технологическая схема производства проката «слиток – полупродукт – готовый прокат» в данном случае является весьма целесообразной, так как дефекты слитка, в том числе и трудно обнаруживаемые, выявляются на полупродукте и могут быть удалены. Это гарантирует получение прокатных изделий с необходимыми качественными показателями их поверхности.

Полупродукт или заготовка служит исходным материалом при производстве различных изделий на станах, производящих готовый прокат. К полупродукту относятся следующие виды проката:

1. Блюмы – заготовки квадратного или близкого к нему сечения, получаемые на блюминге или непрерывной разливкой. Сечения блюмов принимаются в пределах 400 X 400...150X150 мм. При этом следует иметь в виду, что на ряде блюмингов получают фасонную (чаще всего разрезную) заготовку для прокатки крупных балок, швеллеров и других профилей.

2. Слябы – заготовки прямоугольного сечения, получаемые на слябинге, блюминге или непрерывной разливкой. Слябы имеют толщину от 50 до 300 мм, а ширину от 500 до 1800 мм и более.

3. Заготовка – полупродукт квадратного или близкого к нему сечения размером от 150 X150 до 50x50 мм. Этот вид полупродукта прокатывают на заготовочных станах и получают непрерывной разливкой, а в некоторых случаях при обработке легированных сталей и сплавов – ковкой.

#### **4.1.4. Температурные условия горячей прокатки**

Нагрев металла перед прокаткой или другим видом пластической обработки выполняется с целью уменьшения его сопротивления деформированию и повышения пластичности. Горячая прокатка производится в интервале температур, который устанавливается на основании данных о поведении металла при различных температурах. Выбирая температуру нагрева металла, следует учитывать не только необходимую обрабатываемость, но и требуемую температуру конца прокатки, т.е.

$$t_{\text{нач}} = t_{\text{кон}} + \Delta t,$$

где  $\Delta t$  – общее падение температуры за время обработки с момента выдачи металла из печи до окончания прокатки.

Неверно выбранные температуры и режимы нагрева приводят к перегреву, вскрытию подкорковых пузырей, пережогу, что может служить причиной окончательного брака металла или резкого снижения механических характеристик и качества поверхности готового проката. При пережоге происходит окисление границ зерен, теряется пластичность, обработка становится невозможной. При перегреве металла наблюдается значительный рост зерна, что может сохраниться в готовом изделии с понижением механических свойств металла. Чтобы избежать эти явления, максимальную температуру нагрева для стали принимают на 200-250 °С ниже линии солидуса по диаграмме «железо – углерод». Температура нагрева стали перед горячей прокаткой в зависимости от химического состава обычно устанавливается в пределах 1150-1280 °С.

Нижнюю границу температуры конца прокатки установить гораздо труднее. В данном случае приходится принимать во внимание размеры поперечного сечения проката и толщину его отдельных участков, скорость прокатки и интенсивность деформации, требуемые механические свойства, макро- и микроструктуру, способ охлаждения после прокатки и др. В одних случаях повышение температуры конца прокатки экономически выгодно, поскольку повышается производительность стана и уменьшается расход энергии на прокатку. В других случаях, наоборот, идут по пути снижения температуры конца прокатки, с тем, чтобы обеспечить в последних проходах получение мелкозернистой структуры и высоких механических свойств.

Стальные слитки в прокатных цехах чаще всего нагревают в нагревательных колодцах.

Выбирая режим нагрева, необходимо учитывать теплопроводность металла и его физико-химическое состояние. Особенно это касается высокоуглеродистых, легированных и специальных сталей в литом состоянии, имеющих низкую теплопроводность и во многих случаях низкую пластичность при температурах 600-800°С. Так, например, теплопроводность быстрорежущей стали Р18 при комнатной температуре в литом состоянии ниже углеродистой, например инструментальной У13, в три раза, а низкоуглеродистой в пять раз. Поэтому время нагрева быстрорежущей стали следует выбирать более продолжительным, чем углеродистой. Во избежание появления трещин стали с низкой теплопроводностью следует особо осторожно нагревать до температур 600-800°С. Выше 800°С пластичность сталей, как правило, допускает максимально возможные скорости нагрева.

В производственных условиях режимы нагрева выбирают на основании соответствующих расчетов и опытных данных. На металлургических заводах полного цикла до 90-95% слитков поступают для нагрева в горячем состоянии с температурой 600-900°С и выше. Посадка в колодцы горячего металла обеспечивает высокую экономию топлива, а также обеспечивает высокое качество нагрева – равномерный нагрев по сечению.

Наряду с положительным влиянием нагрева всегда следует помнить, что повышение температуры влечет за собой образование окалины, появление обезуглероженного слоя и других дефектов. Обезуглероживание, толщина слоя которого может достигать 2-3мм, особенно губительно сказывается на качестве изделий при производстве инструментальных, шарикоподшипниковых и других сталей.

#### ***4.1.5. Охлаждение металла***

Основная масса металла, прокатываемого в горячем состоянии, охлаждается в холодильниках или на воздухе в штабелях. Однако некоторые средне- и высокоуглеродистые, низко- и высоколегированные стали и сплавы требуют после горячей прокатки замедленного, регулируемого охлаждения. Это вызывается необходимостью получить требуемую структуру и механические характеристики металла, предохранить прокат от появления поверхностных и внутренних трещин при охлаждении, а также снять остаточные напряжения.

При горячей прокатке одновременно с появлением наклепа наблюдается процесс разупрочнения. Это снижает внутренние напряжения, возникающие благодаря взаимодействию отдельных участков деформируемого тела в процессе пластического изменения формы. Однако при охлаждении проката из-за неравномерной потери тепла по сечению изделия, а также в результате структурных превращений в нем возникают продольные, радиальные и тангенциальные (в поперечном направлении) напряжения. Размер и знак внутренних напряжений в процессе охлаждения не сохраняются постоянными. В первый период охлаждения поверхностные слои изделия испытывают напряжения растяжения, а внутренние – напряжения сжатия. При последующем охлаждении поверхностные слои испытывают действие сжимающих напряжений, а внутренние –

растягивающих, так как усадка более холодных поверхностных слоев практически прекратилась, а внутренние слои, продолжая охлаждаться, уменьшают свои размеры, сжимая тем самым холодные периферийные участки, с которыми имеется неразрывная связь. Подсчетом можно установить, что при одностороннем охлаждении прокаткой заготовки, имеющей температуру  $850^{\circ}\text{C}$ , возникают внутренние напряжения до 250 МПа на каждые  $100^{\circ}\text{C}$  разницы температуры при  $E=10^5$  МПа и температурном коэффициенте линейного расширения  $\alpha=12\cdot 10^{-6}$ .

Тепловые напряжения суммируются с напряжениями, возникшими по другим причинам. Результирующее значение внутренних напряжений, если совпадает их знак, может достигать значений, при которых происходит разрушение металла. Тогда в прокатном изделии возникают внешние или внутренние микро- и макротрещины, способные при определенных условиях расти. Следует иметь в виду, что подобные трещины в сталях, принимающих закалку на воздухе, могут появляться не только в процессе охлаждения, но и во время последующего вылеживания при комнатной температуре. Опасными в этих случаях бывают даже незначительные внешние воздействия (толчок, встряхивание, нанесение царапины, местное изменение температуры, например при зачистке абразивными кругами, и пр.), что может служить причиной появления глубоких трещин или даже полного разрушения.

Размер и характер залегания трещин зависят от их происхождения. Мелкие неглубокие трещины чаще всего можно обнаружить на наиболее охлажденных участках поверхности. При неблагоприятных условиях охлаждения поверхностные трещины могут развиваться на значительную глубину сечения изделия и даже вызывать полное нарушение его сплошности.

Внутренние короткие извилистые трещины, которые наблюдаются на изломах в виде пятен серебристого цвета, называют флокенами. Их появление можно наблюдать как в процессе охлаждения металла непосредственно после прокатки, так и в течение весьма продолжительного периода (до двух-трех недель и более). Считается, что основной причиной возникновения флокенов является водород, который при охлаждении стали выделяется вследствие резкого уменьшения растворимости. Накапливаясь в некоторой полости изделия, атомарный водород превращается в молекулярный, что вызывает появление значительного внутреннего давления. Благодаря неравномерной усадке и структурным превращениям напряжения, возникающие при охлаждении стали, достигают в отдельных участках весьма высоких значений (3000 МПа и более). Давление молекулярного водорода и эти внутренние напряжения способны вызывать образование флокенов.

Предрасположение углеродистых и легированных сталей к образованию поверхностных трещин и флокенов при охлаждении после прокатки определяется химическим составом, составом и подготовкой шихты, тщательностью проведения процесса выплавки, способом разлива, режимом прокатки и охлаждения, размерами прокатного изделия и пр. Весьма чувствительны к образованию трещин в период охлаждения многие стали перлитно-мартенситного и мартенситного классов, как, например, быстрорежущая, инструментальная вы-

сокоуглеродистая, инструментальная легированная, конструкционные хромо- никелевые, хромоникельвольфрамовые, хромистые нержавеющие мартенситно- го класса, жаропрочные сплавы (хромаль, фехраль) и др.

Уменьшение поражения стали флокенами достигается соответствующим режимом охлаждения главным образом блюмов и слябов, который заключается в охлаждении проката вначале до 200-500°C с последующим нагревом до 680-700 °С и выдержкой при этой температуре или сразу выдержкой при температуре 500-700°C в течение более чем суток.

Существенным способом снижения флокеночувствительности металла является удаление водорода из жидкой стали вакуумированием. Обработанная таким образом сталь позволяет значительно сократить время замедленного охлаждения и противоблокенной термической обработки.

Для уменьшения внутренних напряжений, возникающих при охлаждении металла, и тем самым устранения возможности появления флокенов и поверхностных трещин применяют регулируемое падение температуры, вплоть до 10-15 и даже до 3-4 град/ч. При этом необходимо также учитывать и то обстоятельство, что скорость охлаждения металла определяет не только величину внутренних напряжений и способность металла им противостоять, но и существенно влияет на структурное состояние и физико-механические свойства металла. Известно, что ускоренное охлаждение после прокатки улучшает некоторые механические свойства конструкционных сталей, заметно повышает пластичность аустенитовых. Поэтому при выборе режима охлаждения металла после горячей прокатки все это необходимо учитывать, чтобы обеспечить получение качественного металла с соответствующей структурой, механическими и другими свойствами.

В практике прокатного производства применяют следующие способы охлаждения металла после горячей прокатки:

1) охлаждение на стеллажах-холодильниках и на воздухе в штабелях; такое охлаждение применяют для сталей, не склонных к образованию трещин и флокенов;

2) охлаждение при обдувании сухим или влажным воздухом и обрызгивание водой, при этом наблюдается ускоренное охлаждение, т.е. происходит процесс закалки и сорбитизации с прокатного нагрева, что способствует улучшению структуры стали и повышению некоторых механических свойств;

3) ускоренное охлаждение в воде. Это способствует улучшению структуры и механических свойств стали, облегчает последующее удаление окалины;

4) замедленное охлаждение сталей и других материалов, склонных к образованию трещин, флокенов и других дефектов.

В зависимости от требуемой скорости падения температуры охлаждение металла производят в различных материалах (песок, гравий, шлаковата и пр.), в неотопливаемых колодцах, в термостатах, отопливаемых печах и колодцах.



#### 4.1.6. Классификация прокатных станов

Помимо основной операции – прокатки металла в валках, в прокатном цехе выполняют разнообразные вспомогательные операции, к которым относятся нагрев, транспортировка исходных материалов к рабочей клетки, кантовка, уборка после прокатки, резка, охлаждение, правка, свертывание в бунты или рулоны, разнообразные способы отделки, термическая обработка и т.п. Поэтому устройства и механизмы, обеспечивающие деформирование металла в валках, называют основным оборудованием, а машины и агрегаты, используемые для выполнения всех остальных технологических операций при производстве проката, – вспомогательным оборудованием.

Линия, по которой располагают основное оборудование, называется главной линией прокатного стана. Основными элементами ее являются (рис. 4.4): рабочая клетка 1, в которой устанавливают прокатные валки 2, обеспечивающие деформирование металла. В главной линии может быть несколько рабочих клеток. Размеры прокатных валков (диаметр и длина бочки) являются определяющей характеристикой рабочей клетки. Валки приводятся во вращение от двигателя 8. На некоторых типах станов каждый валок приводится во вращение от отдельного электродвигателя. Тип и мощность двигателей зависят от назначения и производительности стана. При постоянной частоте вращения валков чаще всего используют синхронные электродвигатели. На станах с регулируемой скоростью прокатки – двигатели постоянного тока с питанием от специальных преобразователей или выпрямителей. На рис. 4.4 схематично изображены передаточные механизмы и устройства, обеспечивающие передачу вращения от двигателя к рабочим валкам. К ним относятся: нажимное устройство 3, с помощью которого верхний валок перемещается в пазах станины, муфты 4, шпиндели 5, шестеренная клетка 6 и редуктор 7. На ряде станов некоторые элементы главной линии отсутствуют. Например, при раздельном приводе каждого валка шестеренная клетка и редуктор не нужны (блюминг, слябинг и другие станы).

Механизмы прокатных станов, обеспечивающие деформирование металла, а также выполнение вспомогательных операций, имеют разнообразное устройство; их конструкция определяется видом прокатываемых изделий, качественными показателями, технологическим процессом и требуемой производительностью. В связи с этим прокатные станы различают по назначению и другим признакам.

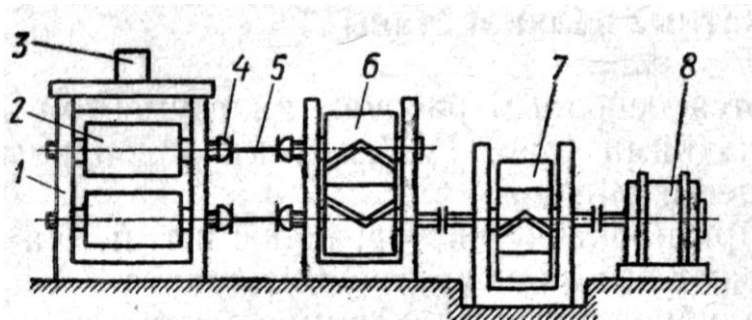


Рис. 4.4. Схема расположения основных элементов главной линии прокатного стана

Прокатные станы по назначению в соответствии с принятой общей технологической схемой производства проката подразделяют на станы для производства полупродукта и станы для выпуска готового проката.

К станам для производства полупродукта относятся блюминги и слябинги, используемые для прокатки слитков в полупродукт крупного сечения. Диаметр валков как основная характеристика стана в данном случае равен 800-1400 мм; заготовочные станы, используемые для получения полупродукта, но более мелкого сечения из блюмов, а иногда и из слитков сравнительно небольшой массы (обычно не более 1500 кг). Диаметр валков этих станов принимается равным 450-800 мм.

К станам для выпуска готового проката относятся: рельсобалочные, используемые для производства железнодорожных рельсов, двутавровых балок, швеллеров крупных размеров и других крупносортовых профилей. Диаметры валков этих станов равны 750-900 мм; крупносортовые с диаметром валков 500-700 мм, используемые для прокатки сортовой стали (круг, квадрат 80-200 мм, двутавровые балки и швеллеры № 12...24 и др.); среднесортные с диаметром валков 350-500 мм, используемые для производства таких сечений проката, как круг, квадрат 40-80 мм, балки и швеллеры до № 16 и др.; мелкосортные с диаметром валков 250...350 мм, предназначенные для прокатки круга, квадрата 8-40 мм, уголка до 50x50 мм и др.; штрипсовые с диаметром валков 300-400 мм, используемые для прокатки полос шириной от 64 до 500 мм, толщиной от 1,5 до 10 мм; проволочные с диаметром валков 250-300 мм, прокатывающие катанку 5,5-9 мм; толстолистовые с длиной бочки 2000-5000 мм, предназначенные для производства толстых листов толщиной до 60 мм;

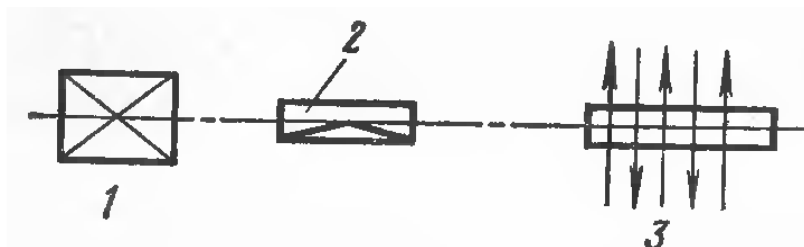


Рис. 4.5. Схема одноклетевого прокатного стана  
1 – двигатель; 2 – шестеренная клеть; 3 – рабочая клеть

Широкополосные непрерывные и полунепрерывные с длиной бочки 1700-2800мм, используемые для прокатки горячекатаных толстых и тонких листов; тонколистовые горячей и холодной прокатки с длиной бочки 700-2800 мм; универсальные, используемые для прокатки полос шириной от 200 до 1500 мм; трубные, используемые для производства бесшовных и сварных труб; колесо- и бандажепрокатные, обеспечивающие получение железнодорожных колес и бандажей.

Кроме того, существуют станы для особых видов проката, например, шаропрокатные, для прокатки осей, периодических профилей, зубчатых колес и пр.

Прокатные станы одного и того же назначения могут существенно отличаться по своей конструкции, расположению рабочих клеток и другим признакам, которые определяются необходимой производительностью, технологическим процессом. Поэтому кроме классификации прокатных станов по назначению их различают еще по расположению рабочих клеток, а также расположению и количеству валков в рабочей клетке.

Рассмотрим классификацию прокатных станов по расположению рабочих клеток. Простейшим типом этой классификации является одноклетевой стан (рис. 4.5). Такие станы имеют широкое распространение при производстве полупродукта (блюминги, слябинги) и готового проката (станы горячей и холодной прокатки листа, ленты и др.). Характерно, что станы с более сложным расположением клеток в основном повторяют оборудование главной линии одноклетевого прокатного стана.

Получили распространение прокатные станы с последовательным расположении клеток, количество которых принимают равным требуемому числу проходов полосы между валками. Прокатка на таких станах ведется по принципу «в каждой клетке – один проход». Наиболее совершенными станами подобного типа являются непрерывные (рис. 4.6). Расстояние между клетями таких станов принимается по возможности минимальным, а длина стана в направлении прокатки – меньше длины прокатываемой полосы. Поэтому прокатка может выполняться или во всех клетях одновременно, что наиболее целесообразно, или в нескольких. Важное условие прокатки на непрерывных станах – постоянство секундного объема металла по клетям.

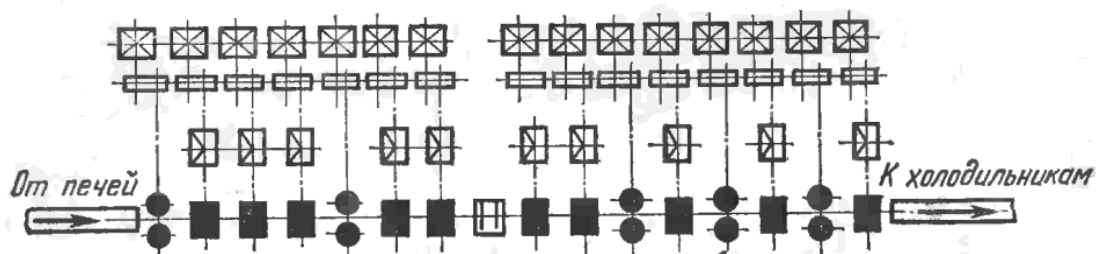


Рис. 4.6. Схема непрерывного стана

Количество прокатных валков и их взаимное расположение в рабочей клетке у разных станов существенно различаются, причем сами оси валков могут занимать горизонтальное, вертикальное и наклонное положения. Рассмотрим типы клеток прокатных станов, различающихся по расположению и количеству в них валков.

Двухвалковая клетка (клетка дуо) представлена на рисунке 4.7.

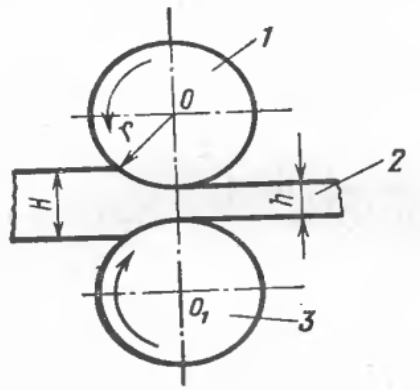


Рис. 4.7. Схема продольной прокатки (клеть дуо)

Такие клетки, получившие значительное распространение, используют реверсивными и нереверсивными. На реверсивных клетях прокатывают профили крупных размеров (бюмы, слябы, балки, рельсы и пр.). Нереверсивные применяют при производстве различных заготовок, сортового проката, листа и пр.

Трехвалковая клетка с валками, оси которых расположены в одной вертикальной плоскости (клетка трио) (рисунок 4.8).

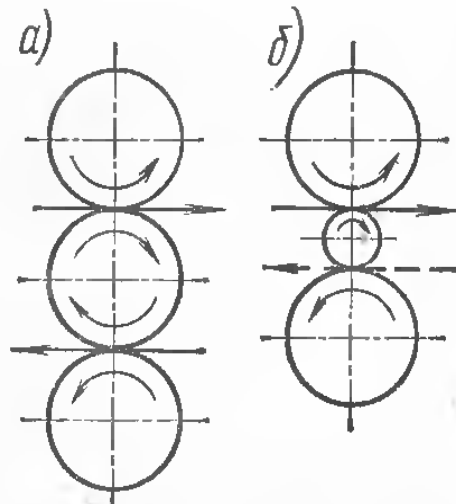


Рис. 4.8. Расположение валков в клетке трио

Такие клетки применяют при прокатке сортового металла (рис. 4.8, а). На них благодаря возможности сопряженного размещения калибров на бочке располагают значительно больше ручьев, чем на валках клетей дуо. При производстве листа применяют трехвалковые клетки со средним валком меньшего диаметра, чем нижний и верхний, – клетки трио-Лаута (рис. 4.8, б). Средний валок не приводной и вращается в результате трения при прижатии его к верхнему или нижнему приводным валкам в процессе прокатки.

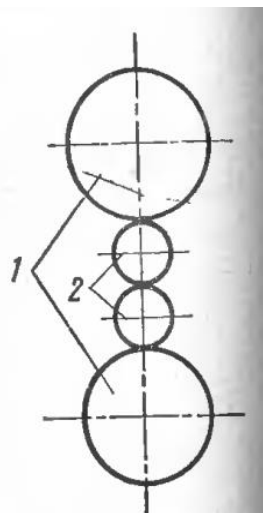


Рис. 4.9. Четырехвалковая клеть (клеть кварто)

Существенным недостатком трехвалковых клетей является необходимость установки дорогостоящих подъемных устройств (подъемно-качающиеся столы и пр.). Поэтому в настоящее время их не устанавливают.

Четырехвалковая клеть (клеть кварто) (рис. 4.9) имеет два рабочих 2 и два опорных 1 валка, расположенных один над другим. Прокатка выполняется между двумя рабочими приводными валками меньшего диаметра, которые для снижения их прогиба и увеличения жесткости всей системы покоятся на опорных валках значительно большего диаметра. Четырехвалковые клетни получили широкое распространение при горячей и холодной прокатке толстых и тонких листов и ленты. Обычно опорные валки таких клетней неприводные.

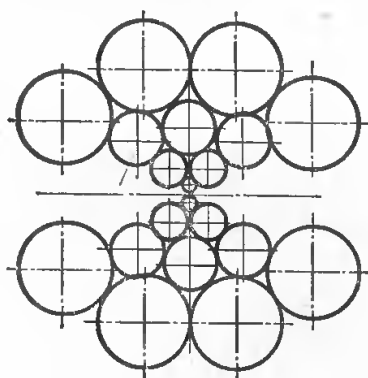


Рис. 4.10. Расположение валков в 20-валковой клетни

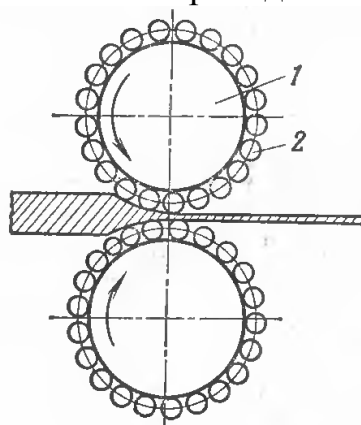


Рис. 4.11. Расположение валков в планетарной клетни

Многовалковые клетни изготавливают 12-валковыми и 20-валковыми (рис. 4.10). Такое усложнение конструкции рабочей клетни оправдывается высокой жесткостью всей системы, а также рядом преимуществ применения рабочих валков малого диаметра, обеспечивающих одновременно уменьшение удельных усилий прокатки и размера контактной поверхности. Это заметно снижает полное усилие прокатки, а, следовательно, и расход энергии на прокатку и обеспечивает получение весьма тонких листов и ленты. Многовалковые клетни оказались выгодными при холодной прокатке широких (200-1000 мм) и тонких

(0,02-0,2 мм) листов и ленты из стали, цветных металлов и сплавов. В связи с тем, что диаметры рабочих валков в таких многовалковых клетях незначительны ( $D_p=3-50$  мм), валки чаще всего являются неприводными и привод их осуществляется через промежуточные опорные валки.

Планетарные клетки (рис. 4.11) имеют два приводных опорных валка 1 и две системы рабочих валков 2, подшипники которых заключены в обоймы с зубчатым зацеплением, что обеспечивает движение рабочих валков вокруг опорных. Подобные клетки используют для прокатки листа и ленты в горячем состоянии с высокими обжатиями в одной клетке (до 90-95%).

Помимо клеток с горизонтально расположенными валками существуют клетки с вертикальными валками, а также спаренные или универсальные клетки когда одновременно имеются горизонтальные 1 и вертикальные 2 валки (рисунок 4.12).

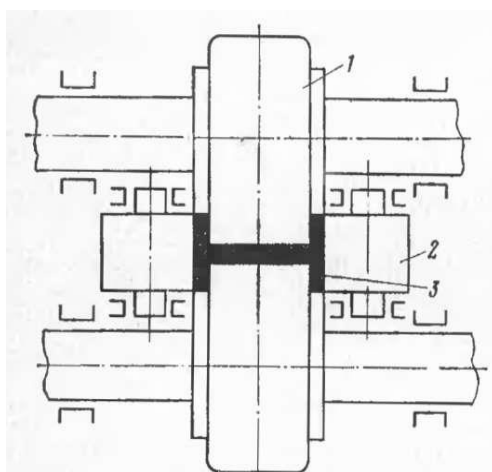


Рис. 4.12. Расположение валков в универсальной балочной клетке

Вертикальные валки обеспечивают обжатие полосы 3 в поперечном направлении без ее кантовки. Клетки с вертикальными валками значительно сложнее по своей конструкции и более дорогостоящие, чем клетки с горизонтальными валками. Поэтому их применяют только в тех случаях, когда кантовка полосы перед подачей в следующий проход или нежелательна, или затруднена, например, из-за возможного появления трещин при скручивании, или сложности кантовки при прокатке фасонных профилей, широких полос и пр.

Клетки с вертикальными валками применяют в непрерывных заготовочных, непрерывных среднесортных, мелкосортных, проволочных и штрипсовых станах.

Клетки с косо расположенными валками (рисунок 4.13).

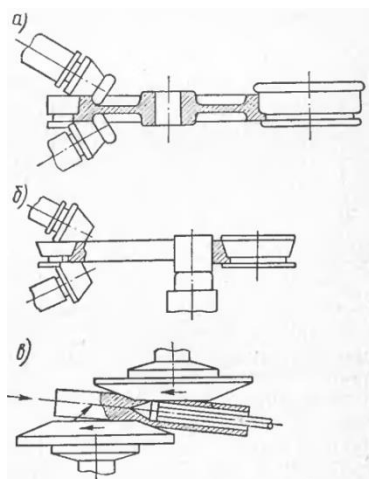


Рис. 4.13. Клетки с косо расположенными валками: а, б – колесопрокатные, в – для прошивки труб

Длительное время их применяли только при производстве труб (прошивные, вытяжные, обкатные, расширительные клетки). В настоящее время такое расположение валков широко используется также при производстве периодических профилей (шаров, осей и пр.).

#### **4.1.7. Изготовление специальных видов проката**

##### **Колеса и бандажи**

Колеса и бандажи для железнодорожного транспорта производят путем обработки металла в пластическом состоянии. Процесс изготовления включает такие операции, как ковка и прошивка заготовки на прессе и прокатка на колесо- или бандажепрокатном стане.

Цельнокатанные колеса, т.е. колеса, выполняемые за одно целое с бандажом, изготавливают диаметрами 950, 1050 и 1250 мм из углеродистой стали с содержанием 0,6-0,7% С и 0,6-0,9% Мп, т.е. из стали, по своему составу близкой к рельсовому металлу. В качестве исходного материала при производстве цельнокатанных колес обычно используют слитки массой 3-5 т и заготовки круглого или многогранного сечения, получаемые прокаткой. Массу слитка выбирают такой, чтобы из него можно было изготовить несколько колес.

Рассмотрим последовательность технологических операций при производстве колес из слитка (рис. 4.14).

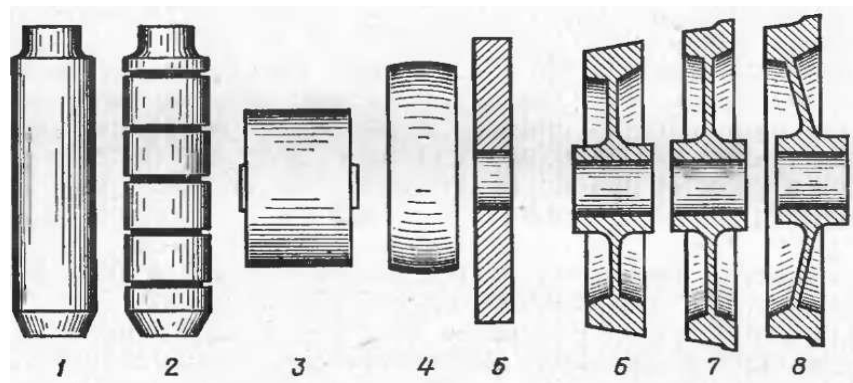


Рис. 4.14. Последовательность технологических операций при производстве цельнокатаных колес

Принятые к обработке слитки *1* предварительно осматривают и удаляют все поверхностные дефекты. Затем их разрезают на слиткорезных многорезцовых токарных станках (операция *2*) на отдельные заготовки *3* (из каждой заготовки получают одно колесо). Металл до температуры обработки (1200-1250 °С) нагревают в кольцевых печах с вращающимся подом. По выдаче из печи заготовки поступают к устройству для гидросбива окалины водой давлением 15 МПа. Затем заготовка передается к гидравлическим штамповочным прессам, на которых осуществляют операции осадки *4* (на прессе усилием 200 Н) с дополнительным гидросбивом окалины, прошивки центрального отверстия и придания заготовке формы черного колеса *5* (на прессе усилием 500 Н). По следующую обработку выполняют на прессе усилием 1000 Н, где производится формовка ступицы, диска и обода.

Полученная ковкой колесная заготовка *6* поступает на колесопрокатный стан, где производится окончательная выкатка обода и гребня и раскатка диска (операция *7*). Последней операцией пластической обработки колеса (операция *8*) является выгиб диска, калибровка обода и удаление небольшой перемычки в центральном отверстии ступицы, что выполняется на прессе усилием 350 Н.

Колесопрокатный стан (рис. 4.15) имеет четыре приводных рабочих вала, из которых два (*1* и *2*) коренных и два (*3* и *4*) наклонных. Для лучшей обработки гребня колеса используют еще два неприводных прижимных ролика *5*.



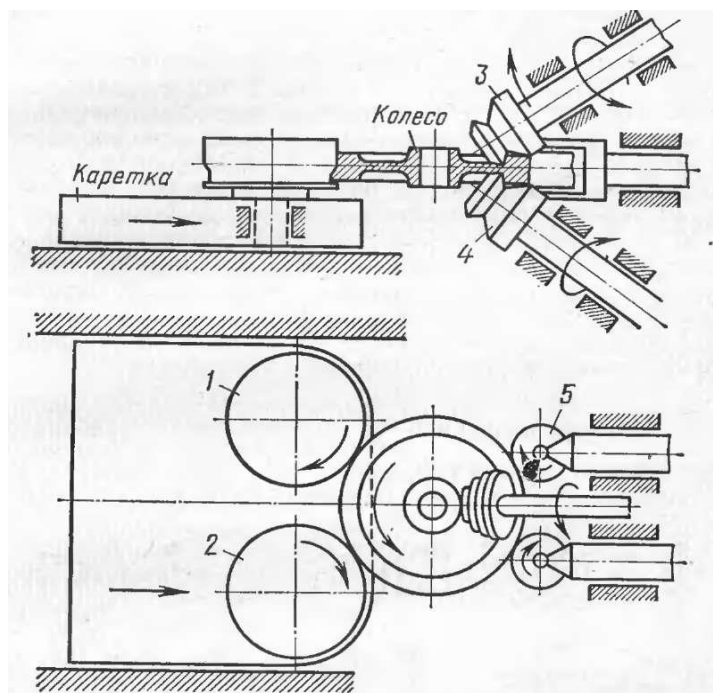


Рис. 4.15. Схема прокатки на колесопркатном стане

### Гнутые профили

При горячей прокатке фасонных профилей с толщиной стенки отдельных участков менее 2-3 мм из-за быстрого и неравномерного охлаждения металла в валках возникают значительные трудности или невозможность получения точных размеров изделия, поэтому излишне завышенные размеры некоторых участков поперечного сечения горячекатаных профилей часто приходится дополнительно обрабатывать на механических станках с потерей металла в стружку.

Между тем производство проката способом профилирования полос и ленты в холодном состоянии на роликогибочных станах дает возможность получать изделия с более рациональным распределением металла по сечению, а, следовательно, изготавливать профили большей прочности при сохранении массы. Кроме того, методы производства гнутых профилей позволяют получать линейные размеры изделия высокой точности с низкой шероховатостью их поверхности, что устраняет необходимость применять дополнительную обработку перед установкой в готовое изделие. При этом экономия металла в зависимости от вида изделия составляет от 10 до 70%, а в среднем около 25%.

Производство профилированного проката на роликогибочных станах заменило малопродуктивный способ гибки металла в штампах. На профилегибочных прокатных агрегатах получают изделия для строительной, машиностроительной, автомобильной и авиационной промышленности. Некоторые виды гнутых профилей показаны на рисунке 4.16.

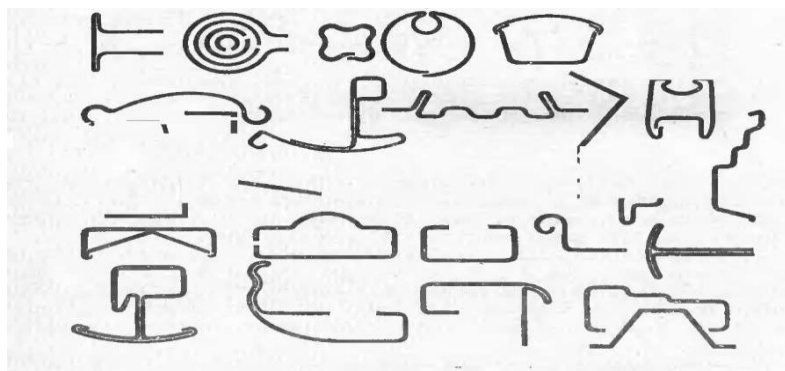


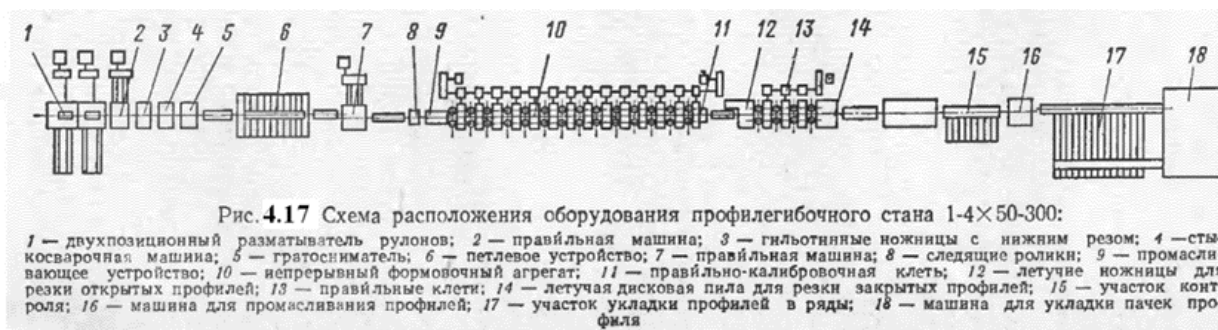
Рис. 4.16. Виды гнутых профилей

Исходным материалом при производстве гнутых профилей являются полосы и ленты из стали, цветных металлов и сплавов. Процесс профилирования является непрерывным и заключается в изменении формы поперечного сечения полосы при ее прохождении через последовательно установленные пары валков – роликов без изменения площади поперечного сечения.

Профилегибочные агрегаты аналогичны формовочным клетям трубосварочных станов и имеют приводные горизонтальные валки и холостые вертикальные валки. В каждой паре валков полосе, благодаря пластическому изгибу, придается промежуточная форма сечения, а в последней паре валков полоса получает окончательный требуемый профиль.

Процесс профилирования можно совмещать со сваркой, пайкой, пробивкой отверстий, рифлением, резкой и рядом других операций (окрашивание, промасливание, травление, лужение, оцинкование и др.). Для этого в потоке непосредственно за роликгибочным станом или в помещении для отделки устанавливают соответствующие машины.

Производство изделий профилированием выполняют двумя способами: прерывным из отдельной заготовки и непрерывным из рулона. Во втором случае концы рулонов перед формовкой сваривают встык. По окончании формовки готовый профиль разрезают на ходу ножницами, если позволяет форма профиля, или дисковыми пилами. Размещение оборудования такого стана показано на рисунке 4.17.



Хотя профилированием обрабатывают полосы толщиной до 20 мм и шириной до 2000 мм, наиболее характерными типами установок являются агрега-

ты, на которых производится гибка следующих полос 1 – 4x400 – 1500 мм, 2 – 10x400 – 1200 мм и т.п. размеров.

### Периодические профили

Периодические профили, в отличие от обычных, имеют закономерно изменяющееся сечение в направлении длины изделия, причем оно может периодически повторяться много раз. Такие профили, получаемые периодической прокаткой, могут представлять собой готовое изделие (например, арматурная полоса, лемех, полуоси автомобилей и тракторов и др.) или полуфабрикат для штамповки деталей автомобилей, тепловозов и др. Получение заготовок периодической прокаткой экономически выгодно, так как при их последующей обработке значительно сокращаются операции штамповки (уменьшаются загрузка прессов и молотов, расход энергии, рабочей силы и др.). Экономия металла составляет до 20-30 % по сравнению со штамповкой деталей из обычного проката. Производство периодических профилей в отдельных случаях может полностью исключить такие операции, как ковка, штамповка и обдирочные работы на металлорежущих станках. Характерно, что механические характеристики металла при производстве периодических профилей не ухудшаются, а, в большинстве случаев, возрастают.

Периодические профили получают двумя основными способами: продольной и поперечно винтовой прокаткой.

*Продольную прокатку* периодических профилей производят в ручьевых валках, выполненных с неодинаковым радиусом по длине окружности.

*Поперечно-винтовой и поперечной* прокаткой изготавливают периодические круглые профили, являющиеся заготовками для последующей штамповки или обработки резанием, – оси, шары для шарикоподшипников и шаровых мельниц, различные шестерни и др.

Прокатка круглых периодических профилей существенно отличается от продольной прокатки. Так, круглый периодический профиль с переменным диаметром по длине получают на двух- и трехвалковых станах с дисковыми (рис. 4.18, *а*) или коническими (рис. 4.18, *б*) валками, которые располагаются в рабочей клетки под углом  $120^\circ$  один к другому. Кроме того, их устанавливают с некоторым перекосом ( $4-8^\circ$ ) по отношению к оси прокатки, что обеспечивает поступательное винтовое движение прокатываемой заготовки через очаг деформации.

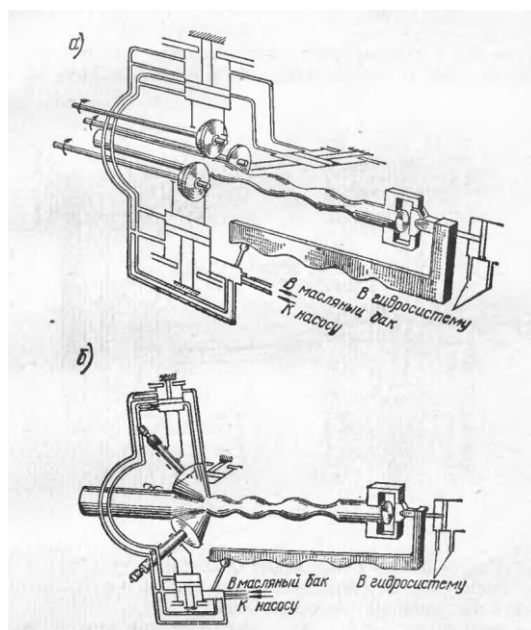


Рис. 4.18. Схемы трехвалковых станов для прокатки периодических профилей

Заготовками являются круглые полосы, которые после нагрева до 1100-1150°C подаются к упору зажима. Захват переднего конца полосы производится автоматически одновременно с опусканием ролика следящего клапана на копировальную линейку. Гидравлическое устройство перемещает зажимный патрон вместе с обрабатываемым металлом в направлении рабочего хода, создавая необходимое тяговое усилие. Копировальная линейка, перемещаясь одновременно с зажимным патроном, обеспечивает через гидравлический нажимный механизм изменение расстояния между рабочими валками, благодаря чему получается требуемый периодический профиль круглого сечения. Прокатка заканчивается освобождением заготовки, после чего процесс повторяется в той же последовательности.

При производстве шаров диаметром 15-25 мм для подшипников качения и диаметром 25-125 мм для помола руды, угля, цемента и т.д. в шаровых мельницах получили распространение двухвалковые станы поперечно-винтовой прокатки. Прокатку заготовок шаров подшипников качения выполняют из калиброванных круглых прутков, диаметр которых на 1,5-2 мм меньше диаметра шара. При этом шарикоподшипниковая сталь нагревается до 850-900°C в индукционной печи и, проходя термостат, подается во вращающиеся в одну сторону валки.

Поскольку на каждом валке имеются ручьи, выполненные по винтовой линии, а оси валков установлены под некоторым углом, подобно валкам прошивных трубопрокатных станов, то поступившая к валкам заготовка, вращаясь, продвигается в направлении оси. При этом она постепенно приобретает форму шара, который за каждый оборот валков выбрасывается с другого конца. Для увеличения производительности шаропрокатного стана применяют двух-, трех- и четырехзаходные винтовые калибры, которые за каждый оборот валков обес-

печивают получение двух, трех и четырех шаров. Чтобы удержать заготовку от смещения с оси прокатки, устанавливают направляющие боковые линейки.

На аналогичных станах осуществляют прокатку заготовок сферических роликов для подшипников качения, а также другие цилиндрические и профилированные тела вращения короткой длины. Калибровку валков в данном случае выполняют применительно к требуемому профилю. Наибольшее затруднение при этом вызывает получение плоских торцов заготовки.

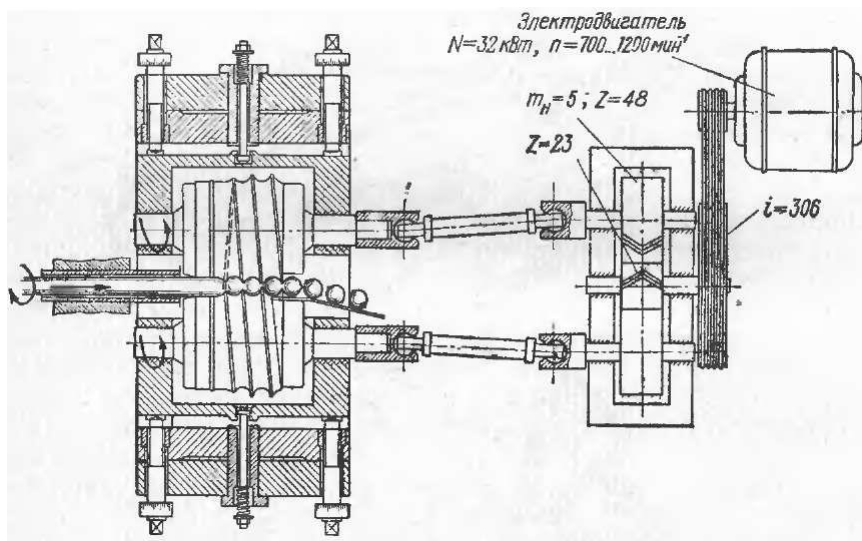


Рис. 4.19. Схема стана для прокатки шаров

## 4.2. Прессование металла

### Назначение и сортамент изделий

Процесс прессования представляет собой выдавливание металла, помещенного в замкнутую полость контейнера, через отверстие матрицы. Этот способ обработки находит широкое применение при деформировании, как в горячем, так и в холодном состоянии металлов, металлических порошков и неметаллических материалов (пластмасс и др.).

Прессованием изготавливают прутки диаметром 3-250 мм, трубы диаметром 20-400 мм при толщине стенки 1,5-12 мм, полые профили с несколькими каналами сложного сечения, с наружными и внутренними ребрами, разнообразные профили с постоянным и изменяющимся (плавно или ступенчато) сечением по длине. Некоторые виды изделий, получаемых прессованием, представлены на рис. 4.20.

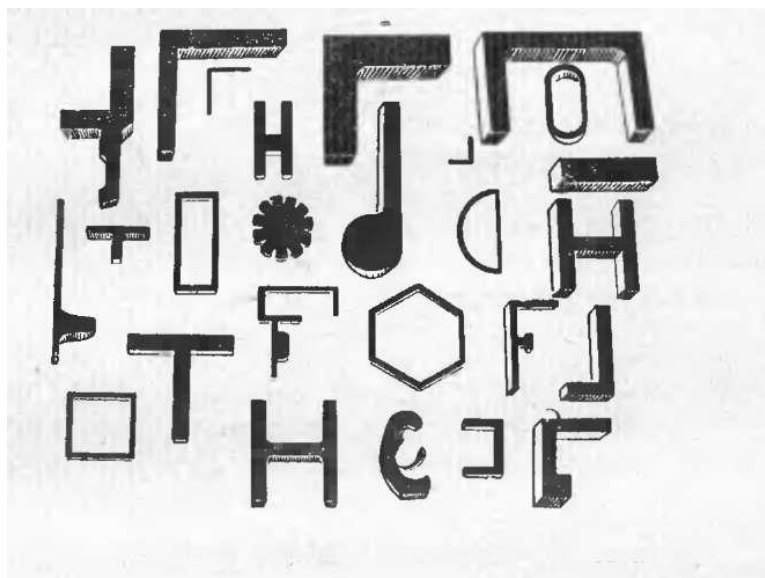


Рис. 4.20. Виды изделий, получаемых прессованием

Профили для изготовления деталей машин, несущих конструкций и других изделий, получаемые прессованием, часто оказываются более экономичными, чем изготавливаемые прокаткой, штамповкой или отливкой с последующей механической обработкой. Кроме того, прессованием получают изделия весьма сложной конфигурации, что исключается при других способах пластической обработки.

К основным преимуществам прессования металла относятся: возможность обработки с высокими вытяжками, в том числе малопластичных металлов и сплавов; возможность получения практически любого поперечного сечения изделия, что при обработке металла другими способами не всегда удается; получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы; производство изделий с высокими качеством поверхности и точностью размеров поперечного сечения, что во многих случаях превышает принятую точность при пластической обработке металла другими способами (например, при прокатке). К недостаткам получения изделий прессованием следует отнести: повышенный расход металла на единицу изделия из-за существенных потерь в виде пресс-остатка; появление в некоторых случаях заметной неравномерности механических и других свойств по длине и поперечному сечению изделия; сравнительно высокую стоимость прессового инструмента.

#### Методы прессования металлов

Основным отличительным признаком методов прессования является наличие или отсутствие поступательного перемещения металла относительно стенок приемника (контейнера), за исключением небольших участков вблизи матрицы, называемых мертвыми зонами, где перемещение металла отсутствует. Наряду с наиболее распространенным методом прессования с прямым истечением (рис. 4.21, а, б), которое используется для получения сплошных и полых изделий, широкое применение получил обратный (обращенный) метод (рис.

4.21, в, г), а также другие схемы истечения металла (рис. 4.21, д-и). Каждый из этих методов имеет определенные преимущества. Так, например, при боковом истечении металла (рис. 4.21, ж) помимо удобств приема пресс-изделия обеспечивается минимальная разница механических свойств изделия в поперечном и продольном направлениях.

Процесс прессования выполняется в условиях неравномерного всестороннего сжатия металла, что положительно сказывается на увеличении его пластичности. Поэтому прессованием можно обрабатывать металлы и сплавы с низкой природной пластичностью. Однако трехосное сжатие вызывает необходимость значительных усилий при обработке. Поэтому прессование требует повышенного расхода энергии на единицу объема деформируемого тела.

При прессовании внешнее трение существенно влияет на весь ход процесса. Особенно заметна роль трения при прямом методе прессования. В этом случае при движении металлу приходится преодолевать значительное трение по стенкам контейнера, внутренней поверхности матрицы и поверхности выходного оча.

При обратном прессовании перемещение металла сосредоточивается только вблизи матрицы и около поверхности оча. При этом наблюдается пониженный расход энергии на выполнение прессования, так как необходимое усилие прессования в 1,5-2 раза ниже, чем при прямом методе. Однако метод обратного прессования имеет ряд существенных недостатков. К ним, прежде всего, следует отнести сокращенный сортамент получаемых изделий, иногда меньшую производительность и низкое качество поверхности изделий. По этим причинам этот метод получил меньшее распространение.

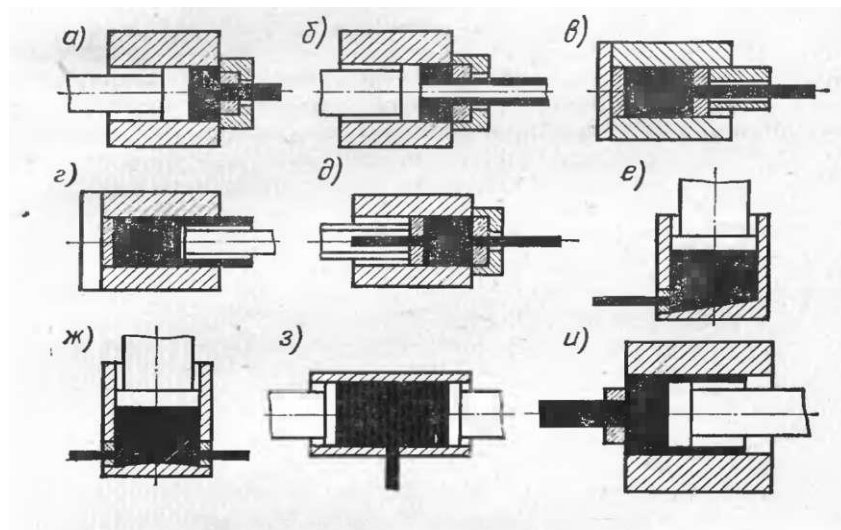


Рис. 4.21. Методы прессования металлов

- а* – с прямым истечением прутка; *б* – с прямым истечением трубы;
- в* – с обратным истечением прутка; *г* – с обратным истечением трубы;
- д* – с совмещенными прямым и обратным методами истечения;
- е* – с боковым истечением в один канал;
- ж* – с боковым истечением в два канала;
- з* – двусторонним боковым истечением; *и* – прессование с «рубашкой»

### 4.3. Волочение металла

Назначение процесса волочения и сортамент изделий.

Обработка металла волочением, т.е. протягивание прутка через отверстие, выходные размеры которого меньше, чем исходное сечение прутка, находит широкое применение в металлургической, кабельной и машиностроительной промышленности. Волочением получают проволоку с минимальным диаметром 0,002 мм, прутки диаметром до 100 мм, причем не, только круглого сечения, трубы главным образом небольшого диаметра и с тонкой стенкой. Волочением обрабатывают стали разнообразного химического состава, прецизионные сплавы, а также практически все цветные металлы (золото, серебро, медь, алюминий и др.) и их сплавы. Изделия, полученные волочением, обладают высоким качеством поверхности и высокой точностью размеров поперечного сечения. Если изделию требуется придать в основном эти характеристики, то такой вид обработки называют калибровкой.

Волочение чаще всего выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию большинства металлов сопровождает наклеп. Это свойство в совокупности с термической обработкой используют для повышения некоторых механических характеристик металла. Так, например, арматурная проволока диаметром 3-12 мм из углеродистой конструкционной стали (0,70-0,90 %С) при производстве ее волочением обеспечивает предел прочности 1400-1900 МПа и предел текучести 1200-1500 МПа.

Волочение выгодно отличается от механической обработки металла резанием (строганием), фрезерованием, обточкой и пр., так как при этом отсутствуют отходы металла в виде стружки, а сам процесс заметно производительнее и менее трудоемок.

Волочением можно изготавливать полые и сплошные изделия часто сложного поперечного сечения, производство которых другими способами не всегда представляется возможным (например, тонкие изделия, прутки значительной длины).

Волочение представляет собой один из древнейших способов обработки металла давлением. Впервые волочение начали применять 3-3,5 тыс. лет до н.э.

Волочение труб выполняют на короткой неподвижной оправке (рис. 4.22, *а*), на длинной движущейся оправке (рис. 4.22, *б*), на плавающей оправке (рис. 4.22, *в*) и без оправки (рис. 4.22, *г*). При волочении без оправки наблюдается уменьшение наружного и внутреннего диаметров трубы.



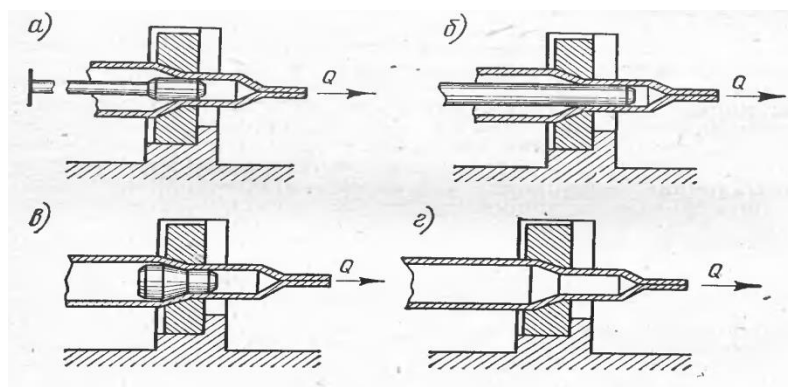


Рис. 4.22. Способы волочения труб

В тех случаях, когда требуется увеличить диаметр трубы, применяют раздачу волочением (рис. 4.23). При этом диаметр трубы получает приращение за счет уменьшения толщины стенки. Длина трубы, как правило, уменьшается лишь незначительно.

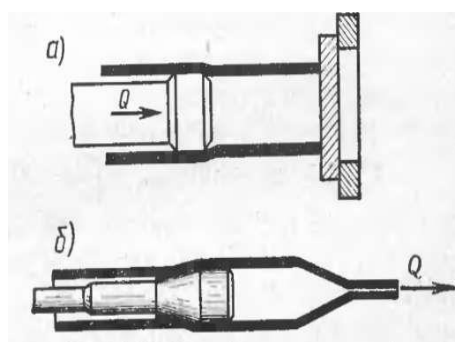


Рис. 4.23. Способы раздачи труб

### Устройство волочильных станов

Машины, обеспечивающие выполнение пластической деформации металла при протягивании прутка через отверстие в целях изменения размеров и формы сечения исходного продукта обработки, называют волочильными станами. Основными элементами их являются волочильный инструмент и тянущее устройство. Принцип работы волочильных станов определяется характером работы тянущего устройства. Станы могут быть с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепные, реечные, гидравлические и др.) и с наматыванием на барабан (барабанные). Первый тип машин применяют для волочения профилей, сматывание в бунт которых вызывает определенные трудности, например из-за значительных размеров поперечного сечения прутка или возможности нарушения формы его сечения. Барабанные волочильные станы используют для волочения проволоки, а также сплошных и полых профилей из черных и цветных металлов, если форма их поперечного сечения при этом не нарушается.

Станы с прямолинейным движением прутка при волочении строят чаще всего цепными. Основными элементами такого стана являются станина 3, бесконечная цепь 2, тележка с захватом 4, стойка для крепления волок 5, двигатель и передающие движение механизмы (рисунок 4.24).

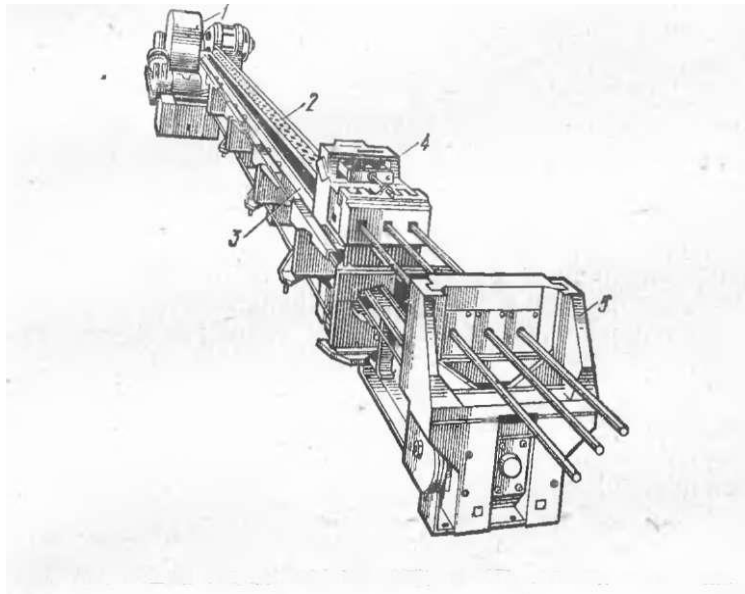


Рис. 4.24. Общий вид цепного многопруткового волочильного стана

Для увеличения производительности волочильных станов применяют многониточное (многопрутковое) волочение, причем если число одновременно протягиваемых прутков не превышает пяти, то волокни располагают в горизонтальной плоскости; при большем количестве волок их располагают в ряд в вертикальной плоскости.

Барабанные станы в зависимости от характера их работы и количества барабанов, делят на: однократные, или однобарабанные; многократные, или многобарабанные, которые подразделяются по способу выполнения на них волочения на многократные, работающие без скольжения; многократные, работающие со скольжением, и многократные, работающие с противонатяжением (рисунок 4.25).

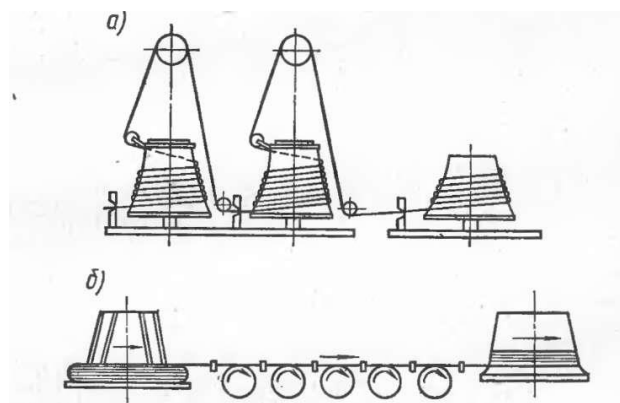


Рис. 4.25. Схемы волочильных станов

Однократные станы используют при волочении толстой проволоки и прутков чаще всего диаметром от 4 до 25 мм. По способу укладки металла на барабане изготовляют станы с вертикальным и горизонтальным расположением оси барабана. В последнем случае упрощается заправка металла и снятие бунта с барабана.

Принцип работы станов многократного волочения заключается в том, что пластическое деформирование прутка последовательно выполняется в нескольких волоках, причем по выходе из одной волоки протягиваемый металл наматывается на барабан и в то же время другой конец прутка сматывается с него, поступая через следующую волоку на другой барабан, и т.д. Такой способ волочения через несколько последовательно расположенных между барабанами волок заметно повышает производительность волочильного стана вследствие сокращения вспомогательных операций. Такие станы могут иметь до 30 волок.

Сматывание проволоки с барабана во время волочения без скольжения выполняется различным образом. Из рис. 4.25, а видно, что сматывание проволоки производится через систему роликов, один из которых имеет возможность свободно вращаться вокруг оси барабана.

Станы многократного волочения, работающие со скольжением существенно отличаются от станов, работающих без скольжения. При волочении со скольжением протягиваемую проволоку навивают вокруг тяговых шкивов (шайб) один или несколько раз так, чтобы тяговое усилие на каждом шкиве обеспечивалось действием сил трения, которые возникают между поверхностью шкива и обхватывающей его в процессе волочения проволокой. При работе такого стана за каждый оборот тянущей шайбы на нее наматывается один виток проволоки и вместе с этим один виток сматывается (сходит) с проскальзыванием витков по рабочим поверхностям шайб, что и создает необходимое тяговое усилие волочения.

#### Волочильный инструмент

Основной инструмент при волочении – это волоки разнообразной конструкции. При производстве полых изделий с утоненной стенкой помимо волок к волочильному инструменту относятся оправки (длинные и короткие).

Волока обычно состоит из двух деталей: обоймы 1 и собственно волоки 2 (рисунок 4.26).

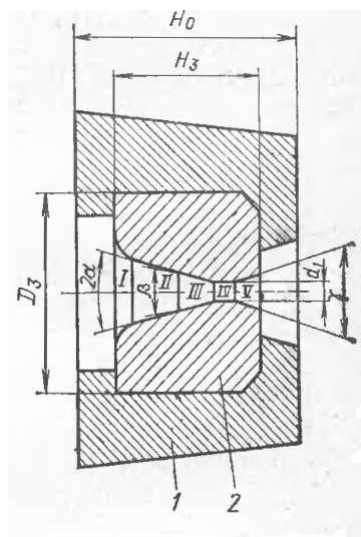


Рис. 4.26. Разрез волоки

Такая конструкция волокна обусловлена особыми условиями ее работы и свойствами материала, из которого она изготовлена. Для увеличения стойкости волокон против истирания их делают из твердых сплавов металлокерамическим способом (из карбидов вольфрама и титана, иногда ванадия, молибдена, тантала, бора и др.). Применяют также волокна из керамических твердых сплавов – микролита, термокорунда, которые отличаются высокой износостойкостью и в то же время их стоимость во много раз ниже обычных волокон из вольфрамовых сплавов. При волочении тончайшей стальной проволоки (менее 0,2 мм) для изготовления волокон применяют технические алмазы. Все эти материалы наряду с высокой твердостью и стойкостью против истирания отличаются низкой вязкостью. Чтобы избежать разрушения такой волокна в процессе работы, ее заключают с предварительной затяжкой (запрессовкой и пр.) в обойму из достаточно вязкой и прочной стали. При этом заметно уменьшаются растягивающие напряжения в кольцевом направлении волокна в момент волочения или исключаются напряжения сжатия со стороны обоймы.

#### **4.4. Ковочно-штамповочное производство**

##### Назначениековки и штамповки

Пластическая обработка металлов прерывистым воздействием универсального инструмента или соответствующей рабочей частью специального инструмента (штампа) для придания телу заданной формы и размеров называется в первом случае ковкой, а во втором – штамповкой.

Ковочно-штамповочное производство находит широкое применение в машиностроении и приборостроении, в производстве предметов народного потребления и других отраслях народного хозяйства. Получение изделий ковкой и штамповкой позволяет максимально приблизить исходную форму заготовки к форме и размерам готовой детали и тем самым уменьшить или полностью исключить дорогостоящие операции с потерей металла в стружку. При изготовлении изделий из прокатных заготовок на машиностроительных заводах с использованием только металлорежущих станков теряется в виде стружки до 30-40 % металла. Предварительная же обработка этих заготовок методами ковочно-штамповочного производства снижает отходы металла в 4-5 раз, уменьшает необходимый парк металлорежущих станков и в целом дает значительную экономию средств. Кроме того, ковка и штамповка улучшают свойства металла, вследствие чего наиболее ответственные детали многих машин и приборов часто изготавливают только из поковок.

##### Характеристика исходных материалов и основные технологические операции

Для процессовковки исходными материалами являются слитки, масса которых может составлять от нескольких килограммов до 250-350 т, и прокатные заготовки. Для горячей штамповки используют кованую, прокатанную, прессованную заготовки и заготовки, получаемые волочением, а также жидкий металл. При листовой штамповке исходный материал – это горяче- и холодно-

катаные листы и ленты из различных сталей, сплавов на основе алюминия, меди, никеля, титана, благородных металлов и другие материалы.

Все основные положения теории обработки металла давлением, касающиеся механизма пластического деформирования, энергосиловых параметров, термомеханических режимов и пр., используемые для прокатки и других способов обработки, полностью применимы при деформировании металла ковкой-штамповкой.

Выбирая технологические операции производства поковок, необходимо учитывать направление волокна в исходной заготовке, которое получается при предварительном деформировании (например, при прокатке) и в готовом изделии. Металл изделия при волокнистом строении характеризуется анизотропностью свойств. Например, поковка, изготовленная протяжкой, имеет лучшие механические свойства вдоль оси, а поковка, изготовленная осадкой, – в радиальном направлении. Поэтому в процессахковки и штамповки способ обработки выбирают таким, чтобы обеспечить расположение волокон в изделии, отвечающее максимальному повышению механических характеристик металла в нужном направлении. Наиболее наглядным примером необходимости учета направленности волокна является изготовление коленчатых валов. Если коленчатый вал изготовить механической обработкой на металлорежущих станках из поковки в виде пластины, то волокна в щеках вала получаются подрезанными (рис. 4.27, а), что снижает прочность этих участков. Если при изготовлении коленчатого вала применяют операции гибки или передачи металла, то получают волокнистую структуру, расположенную по контуру вала (рис. 4.27, б), а, следовательно, и повышенную его прочность.

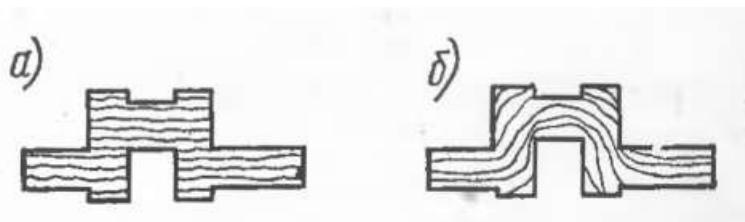


Рис. 4.27. Расположение волокна в поковке коленчатого вала в зависимости от способа его изготовления

Подготовка исходного материала (слиток, прутковый или листовой металл) к ковке и штамповке включает такие операции, как сортировка, разрезка на мерные длины, удаление поверхностных дефектов, термическая обработка, если это необходимо, и др. Если деформирование выполняется в горячем состоянии, возникает необходимость нагрева металла. При ковке часто нагрев выполняют в камерных печах, а нагрев крупных слитков – в печах с выдвижным подом. При горячей штамповке наряду с пламенными печами большое распространение получил индукционный нагрев, так как при нем быстро достигается необходимая температура, что сокращает потери металла в окалину по сравнению с нагревом в пламенных печах и, практически, исключается обезуглероживание поверхностного слоя.

## Ковка. Основные технологические операции

При получении изделий ковкой исходный продукт обрабатывают многократным прерывистым воздействием универсального инструмента молота или прессы. Смещаемый объем деформируемого тела по высоте' свободно перемещается по контактной поверхности инструмента. Ковка находит применение при единичном и мелкосерийном производстве и выполнении ремонтных работ. Данным способом изготавливают тяжелые поковки (до 250 т и более – валы гидротурбин, цельнокованные паровые котлы и др.), поковки средней массы (50-400 кг – коленчатые валы крупных дизелей, маховики, диски и др.) и мелкие поковки массой до 50 кг самого разнообразного назначения.

Технологические процессы ковки представляют собой различные сочетания и последовательность основных и вспомогательных операций, таких, как биллетировка, осадка, протяжка, разгонка, прошивка, гибка, скручивание, рубка, кузнечная сварка и др., а также операции отделки и термической обработки, если это необходимо.

Ковку выполняют с применением кузнечного инструмента, который можно подразделить на основной, обеспечивающий деформирование металла (рисунок 4.28), и вспомогательный, используемый для удержания и манипулирования поковкой в процессе обработки, – это всевозможные патроны, вилки, клещи с различной формой губок (рисунок 4.29).

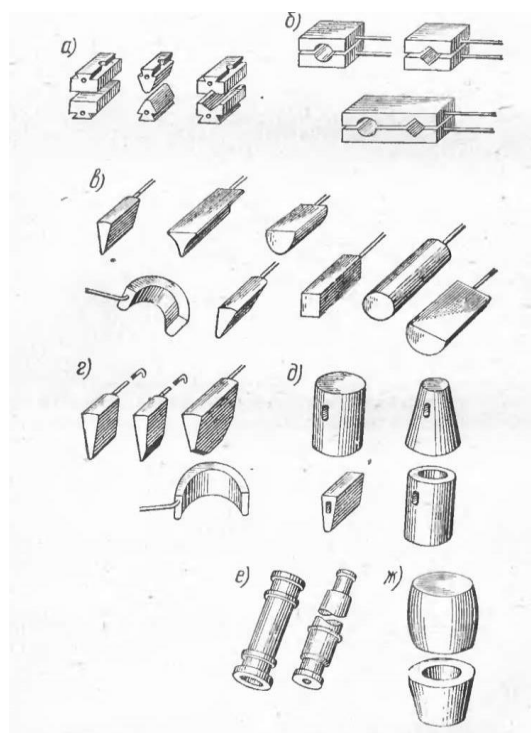


Рис. 4.28. Инструмент, применяемый при ковке  
а – бойки; б – наметки; в – топоры; г – прошивки; д – оправки; е – калибры  
ж – калибры

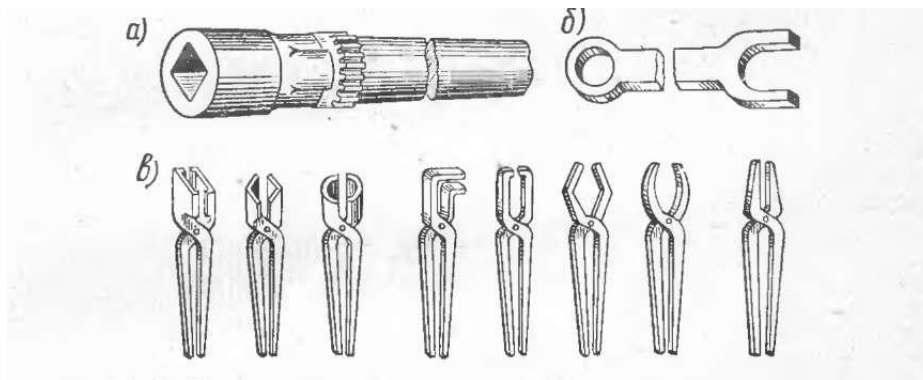


Рис. 4.29. Удерживающий инструмент, применяемый при ковке  
 а – патрон; б – вилка; в – клещи с различной формой губок

### Основные операцииковки

Биллетировка слитка представляет собой операцию обжатия ребер заготовки для придания ей формы тела вращения. При этом одновременно со снятием конусности слитка разрушается литая дендритная структура, происходит заварка пузырей и других дефектов литого металла.

Осадка – процесс уменьшения высоты заготовки с одновременным увеличением площади ее поперечного сечения (рисунок 4.30, а). Осадку производят для устранения литой структуры, повышения степени уковки, получения поковок с относительно малой высотой (для производства зубчатых колес, дисков и пр.) и как предварительную операцию перед прошивкой при изготовлении барабанов, колец и др. Для предотвращения продольного изгиба при осадке высоту заготовки принимают не более 2,5 ее диаметра, при этом процесс выполняют между плоскими и вогнутыми (вырезными) бойками.

Высадка – это осадка части заготовки. При этом происходит увеличение площади поперечного сечения части заготовки с одновременным уменьшением ее продольных размеров. Эта операция может производиться различным образом, например осаживанием заготовки, имеющей местный нагрев (рисунок 4.30, б), или ограничением деформирования на определенном участке заготовки с помощью колец (рисунок 4.30, в).

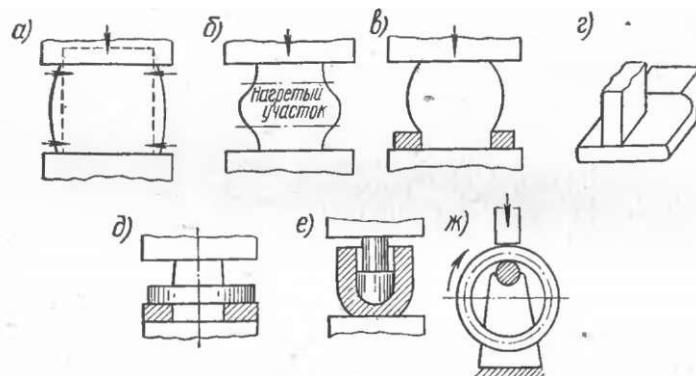


Рис. 4.30. Некоторые операцииковки

Протяжка – это удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Протяжку и ее разнообразные варианты исполь-

зуют при производстве гладких, ступенчатых, коленчатых валов и других изделий; она занимает до 70 % всего времени обработки.

Разгонка используется для увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины (рисунок 4.30, *з*). Разгонку чаще всего выполняют подкладным инструментом (круглым, овальным, плоским).

Прошивка представляет собой операцию получения полостей в заготовке за счет вытеснения металла (рисунок 4.30, *д, е*). Она может выполняться сплошным прошивнем на молотах или прессах, при этом прошиваемая поковка поворачивается на 180 °. При получении отверстий значительного диаметра (более 400 мм) прошивки делают полыми, что уменьшает усилие прошивки. Придание точных размеров отверстию по диаметру производят продавливанием калибра. Прошитая заготовка в дальнейшем может подвергаться обработке (раскатке).

Раскатка – операция, заключающаяся в увеличении диаметра кольцевой заготовки при вращении за счет уменьшения ее толщины с помощью бойка, оправки или роликов (рисунок 4.30, *ж*). Раскатка используется при изготовлении поволоков, имеющих незначительную толщину стенки по сравнению с диаметром отверстия (кольца, бандажи, венцы, различные обечайки). Операция раскатки аналогична протяжке заготовки, концы которой соединены между собой – см. рисунок 4.30, *е*.

Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы. Гибку чаще всего выполняют между подкладными опорами.

Закручивание – поворот части заготовки вокруг продольной оси. Эту операцию применяют при производстве поволоков некоторых типов коленчатых валов, крупных спиральных сверл и др. Закручивание выполняют вручную или с помощью крана, для чего используют воротки, вилки и другой инструмент.

Отрубка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента.

Передача металла – смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки. Подобные операции применяют при ковке коленчатых валов. Заготовка деформируется на ограниченном участке, когда возникает необходимость выполнить ось заготовки ступенчатой.

В качестве примера получения поковки опорного вала методомковки из слитка показана схемаковки за три выноса (рисунок 4.31)



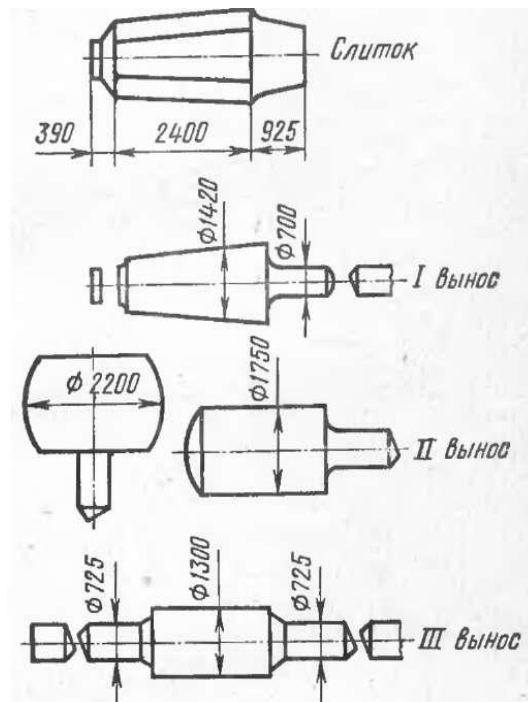


Рис. 4.31. Схемаковки опорного вала

После первого нагрева производят подкатку прибыльной части слитка под патрон и его биллетировку. Второй нагрев обеспечивает осадку биллетированной заготовки и протяжку осаженного блока. После третьего нагрева обрабатывают боковые поверхности и шейки до требуемых размеров поковки.

Ковочные молоты и прессы.

Ковку выполняют на молотах и прессах. Первые представляют собой машины динамического воздействия на обрабатываемую заготовку, вторые – статического.

Ковочные молоты. Наибольшее применение получили паровоздушные и приводные молоты.

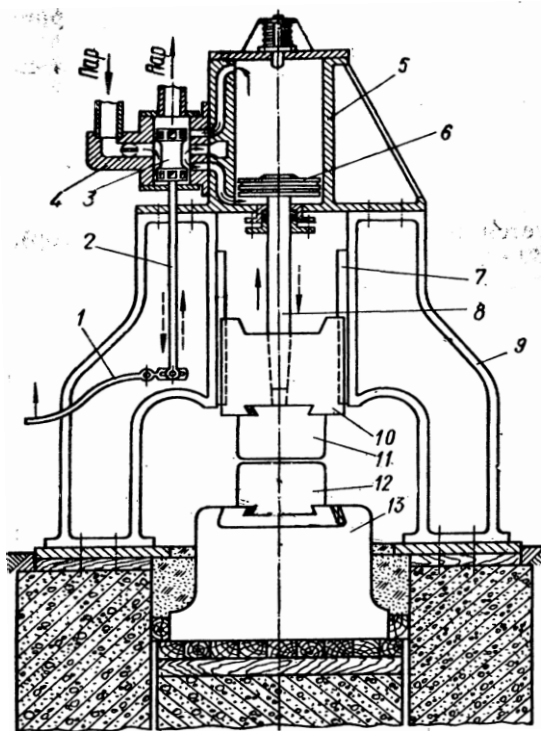


Рис. 4.32. Паровоздушный ковочный молот

В паровоздушном молоте подъем и опускание бабы 10 с закрепленным на ней верхним бойком 11 по направляющим 7 производится при подаче пара или сжатого воздуха давлением 0,7-0,9 МПа в рабочий цилиндр 5 (рис. 4.32). Подача пара регулируется с помощью золотникового устройства 4. При перемещении золотника 3 с помощью рычага 1 и тяги 2 вверх или вниз пар поступает в верхнюю или нижнюю полость цилиндра 5 и перемещает поршень 6, соединенный штоком 8 с бабой 10. При падении бабы давление пара на верхнюю часть поршня создает дополнительное усилие. Нижний боек 12 неподвижно закреплен на массивной стальной фундаментной плите – шаботе 13, лежащей на дубовой подушке на отдельном фундаменте. Чем больше масса шабота, тем большая часть кинетической энергии падающих частей превращается в энергию деформации заготовки. Обычно она в 15 раз больше массы падающих частей.

Установка станины 9 и шабота 13 на отдельных фундаментах обеспечивает свободный доступ к бойкам, оберегает конструкцию молота от сотрясений, но не гарантирует параллельности бойков. Паровоздушные молоты строят с массой падающих частей 1-8 т.

#### Гидравлические прессы.

Прессы отличаются от молотов тем, что они оказывают статическое воздействие на заготовку.

В гидравлическом прессе плунжер 6 (рис. 4.33)

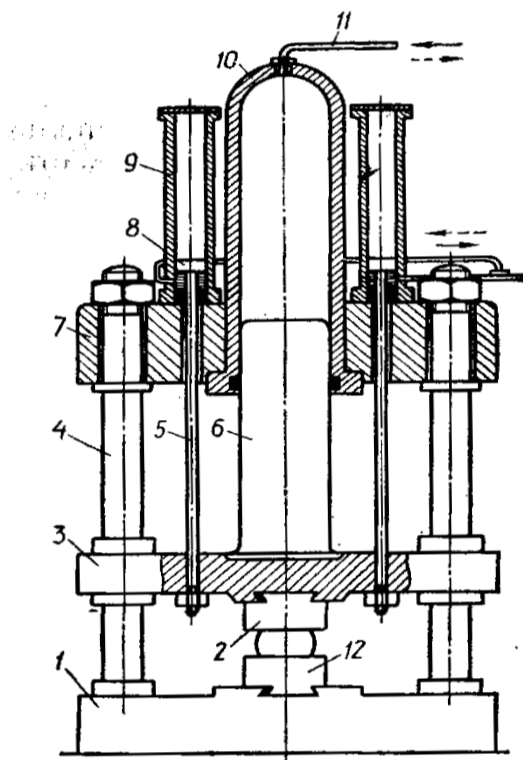


Рис. 4.33. Гидравлический ковочный пресс перемещает подвижную траверсу 3 с закрепленным на ней верхним бойком 2. Необходимое для деформирования поковки усилие создается с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), поступающей под давлением 20-30 МПа в рабочий цилиндр 10 по трубопроводу 11. Поднимается плунжер 6 с траверсой 3 с помощью тяг 5 и перемещающихся в цилиндрах подъема 9 поршней 8. Нижний боек 12 крепится к нижней плите 1. Нижняя и верхняя 7 неподвижные плиты соединены четырьмя направляющими колоннами 4, по которым перемещается траверса 3.

Гидравлические прессы изготовляют с максимальным усилием 5-150 МН. Они чаще используются для получения крупных поковок, а также при ковке малопластичных высоколегированных сталей и сплавов цветных металлов. Имеются также прессы, в которых вместо приводной насосной станции используется паровой насос (мультипликатор), создающий давление жидкости 30-60 МПа.

#### 4.5. Горячая объемная штамповка

Характеристика процесса. Объемная штамповка – процесс изготовления поковок в штампах, при котором течение металла в стороны во время деформирования ограничено поверхностями отдельных частей штампа. Рабочая полость штампа при замыкании его составных частей в конце штамповки – ручей – соответствует форме поковки.

По сравнению со свободной ковкой объемная штамповка имеет следующие преимущества: 1) в 50-100 раз большая производительность (десятки и сотни поковок в час); 2) большая однородность и точность поковок (припуски и допуски на поковку в 3-4 раза меньше, чем при ковке), благодаря чему значи-

тельно уменьшается расход металла в стружку; 3) возможность получения поковок сложной формы без напусков; 4) высокое качество поверхности. На одном штампе в зависимости от сложности, материала и массы заготовки и способа штамповки можно изготовить от 10 до 25 тысяч поковок.

К недостаткам объемной штамповки относятся: сложность и дороговизна инструмента-штампа (иногда нескольких), ограниченность массы поковок (0,3-100 кг, в отдельных случаях до 3 т), так как усилия деформирования при штамповке гораздо выше, чем при ковке.

Наиболее эффективна объемная штамповка в крупносерийном и массовом производствах.

Виды штампов и способы штамповки. Различают объемную штамповку в открытых и закрытых штампах.

В открытых штампах между подвижной и неподвижной частями штампа имеется зазор – заусеночная (или облойная) канавка, в которую вытекает избыточный объем металла заготовки (рисунк 4.34, *а*).

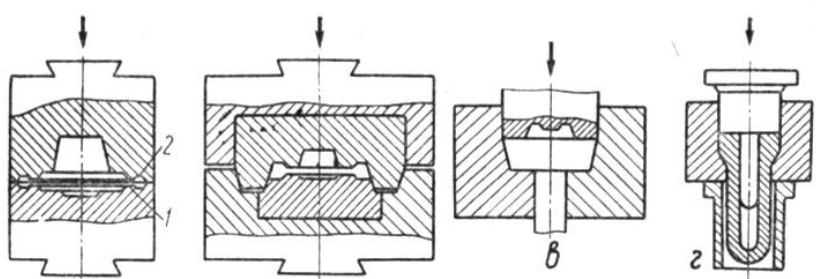


Рис. 4.34. Схемы горячей объемной штамповки и заготовительных ручьев

Образующийся при этом заусенец (облой) затем обрезается.

В закрытых штампах (рисунок 4.34, *б*) деформирование металла протекает в закрытой полости. Штамповка происходит без образования заусенца, и в этом случае расход металла меньше, но предъявляются повышенные требования к точности объема заготовки. Микроструктура металла поковок при штамповке в закрытых штампах более благоприятна, так как волокна металла нигде не пересекаются. Штамповка в закрытых штампах позволяет получить большую степень деформации и штамповать малопластичные сплавы. Закрытые штампы могут быть с одной и с двумя плоскостями разреза (рисунок 4.33, *в*). Близкой к схеме штамповки в закрытых штампах является штамповка выдавливанием (рисунок 4.34, *г*).

Оборудование для горячей объемной штамповки

Горячую объемную штамповку выполняют на штамповочных молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах и специализированных машинах узкого назначения.

Штамповочные молоты предназначены для штамповки поковок разнообразной формы, преимущественно в многоручьевых открытых штампах.

Основным типом штамповочных молотов являются паровоздушные штамповочные молоты с массой падающих частей 630-25000 кг. По принципу действия они подобны паровоздушным ковочным молотам, но имеют кон-

структивные отличия, обусловленные повышенными требованиями к точности перемещения частей штампов. Станина 4 и шабот 2 имеют общий фундамент 1 (рис. 4.35).

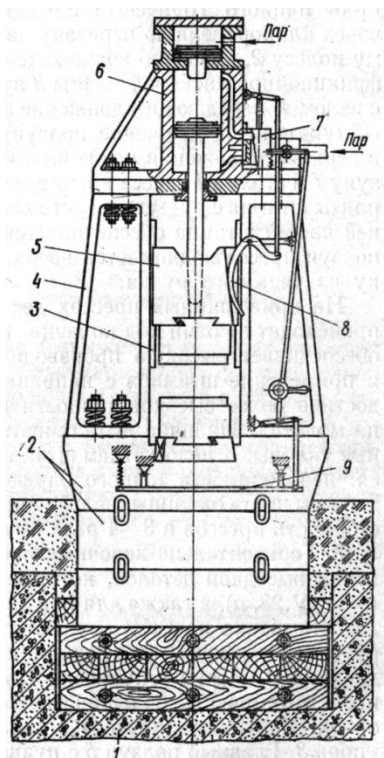


Рис. 4.35. Паровоздушный штамповочный молот

Стойки станины 4 установлены непосредственно на шаботе и соединены с ним с помощью болтов с пружинами. Масса шабота в 20-30 раз больше массы падающих частей. Баба 5 с прикрепленной к ней верхней частью штампа перемещается по установленным на стойках направляющим 3, которые имеют устройство для регулирования зазора. Штамповочные молоты имеют педально-автоматизированное управление. Если педаль 9 не нажата, то баба совершает возвратно-поступательные перемещения, выдерживая зазор между частями штампа 200-300 мм. Эта – холостая работа молота обеспечивается саблеподобным рычагом 8, поворот которого определяется положением бабы и который управляет через золотниковое устройство 7 подачей пара в силовой цилиндр 6. При нажатии на педаль 9 увеличивается размах колебаний бабы и верхняя половина штампа ударяет по заготовке. Штамповка поковок на молоте происходит обычно за 3-5 ударов. При последнем ударе обе части штампа смыкаются по плоскости разъема. Средняя масса поковок при массе падающих частей 1000 кг составляет 0,5-2 кг, при 10 000 кг – 40-100 кг

Штамповочные прессы. Для объемной штамповки применяют винтовые, фрикционные, гидравлические и кривошипные горячештамповочные прессы.

Винтовые фрикционные прессы усилием до 6,3 МН применяют для штамповки в открытых и закрытых штампах мелких поковок (до 20 кг). Они малопроизводительны и применяются в основном в мелкосерийном производстве.

Гидравлические прессы для штамповки аналогичны ковочным гидравлическим прессам, но имеют более жесткую конструкцию, большую скорость перемещения подвижной поперечины и выталкивателя для удаления из штампа поковок. Эти прессы с усилием до 750 МН применяются для штамповки крупных поковок в открытых и закрытых штампах с одной и двумя плоскостями разъема.

Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах является наиболее прогрессивным методом объемной штамповки. Такие прессы с усилием 6,3-100 МН применяют для получения поковок различной формы из сортового или периодического проката в открытых и закрытых штампах, в том числе выдавливанием. На рисунке 4.36 представлена схема кривошипного горячештамповочного прессы. От электродвигателя 1 через клиноременную передачу движение сообщается большому зубчатому колесу 2, свободно вращающемуся на коленчатом валу 4. С помощью фрикционной дисковой муфты 3 зубчатое колесо 2 может быть соединено с валом 4, передающим движение шатуну 5, который сообщает возвратно-поступательное движение ползуну 7. Для остановки коленчатого вала в верхнем положении после выключения муфты служит тормоз 6. К ползуну 7 и столу 14 пресса крепятся соответственно верхняя 10 и нижняя 13 плиты штампа с ручьевыми вставками 11 и 12. Совмещение верхней и нижней частей штампа обеспечивается направляющими колонками 9. Когда ползун прессы поднимается вверх, выталкиватели 8 выталкивают поковку из чистового ручья.

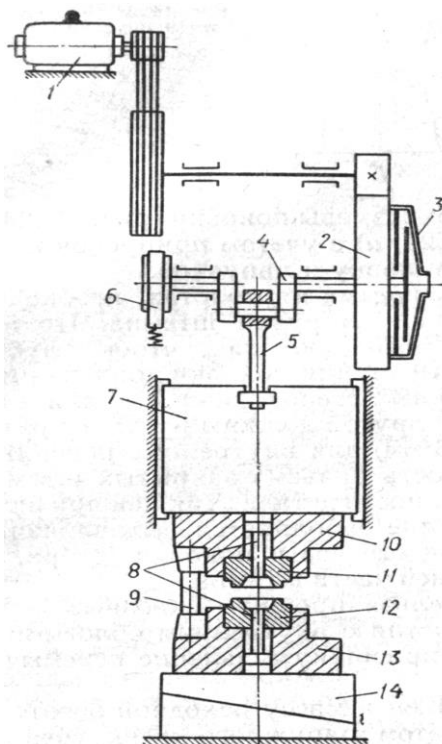


Рис. 4.36. Схема кривошипного горячештамповочного прессы

На кривошипных прессах деформирование металла в каждом ручье происходит за один ход ползуна. Большое число ходов в минуту (35-90) обеспечи-

ваает высокую производительность. Постоянство хода ползуна и применение штампов с направляющими колонками дает возможность достичь более высокой точности поковок по сравнению со штамповкой на молотах. Наличие выталкивателей позволяет уменьшить штамповочные уклоны. К недостаткам штамповки на кривошипных прессах относятся: необходимость точного определения массы заготовок; заготовки не должны иметь окалины; стоимость прессов в 3-4 раза выше, чем молотов.

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) предназначены для штамповки высадкой деталей, которые не требуют штамповки по всей длине (рисунок 4.37, а), а также для прошивки (рисунок 4.37, б).

Штамповка на ГКМ осуществляется в штампах с двумя плоскостями разъема, состоящих из трех частей: неподвижной 2 (рисунок 4.37, в) и подвижной 1 матриц и пуансона 4. Двойной разъем штампов дает возможность штамповать большинство поковок без штамповочных уклонов и облоя. Заготовку (пруток) устанавливают в неподвижную матрицу до упора 3

Главный ползун 5 с пуансоном 4 приводится в движение от кривошипно-шатунного механизма. Прежде чем пуансон 4 соприкоснется с торцом заготовки, подвижная матрица 1 прижимает ее к неподвижной матрице 2, а упор 3 отходит в сторону. Зажимной ползун 6 с подвижной матрицей 1 перемещается от бокового ползуна 7, который в свою очередь приводится в движение от кулачков 8, сидящих на главном валу 9.

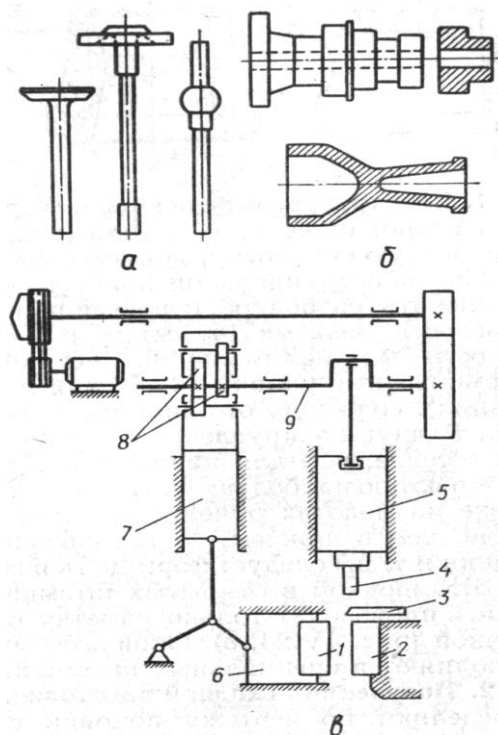


Рис. 4.37. Штамповка поковок на горизонтально-ковочной машине

#### 4.6. Холодная штамповка

Характеристика основных видов холодной штамповки. Холодной называют штамповку без нагрева заготовок. Ее разделяют на объемную и листовую.

Холодная объемная штамповка позволяет почти полностью исключить обработку резанием и обеспечивает по сравнению с последней уменьшение трудоемкости изготовления деталей на 30-80 % и повышение коэффициента использования материала до 50 %. При холодной высадке коэффициент использования материала достигает 95 %, а производительность – 800 штук в минуту.

Основные виды холодной объемной штамповки: выдавливание, высадка, объемная формовка и калибровка (чеканка). Холодные объемные формовка, высадка и калибровка аналогичны соответствующим процессам горячей объемной штамповки, а холодное выдавливание – прессованию. Но они обеспечивают достижение большей точности и более качественной поверхности деталей. Например, обычная точность после калибровки составляет  $\pm 0,1-0,25$  мм, а повышенная –  $\pm 0,05-0,15$  мм.

Листовой штамповкой называют процесс изготовления деталей из листа, полосы или рулонного материала. Толщина деталей незначительно отличается от толщины листового материала и не превышает 10 мм.

Достоинства этого вида штамповки следующие: высокая производительность (до 40 тысяч деталей в смену); высокая точность штамповок, не требующих дальнейшей механической обработки; возможность автоматизации процесса; экономическая целесообразность при массовом и серийном производствах.

В автомобилестроении штамповкой из листового материала получают около 60 % деталей, в точном машиностроении и приборостроении – до 75 %, а в производстве товаров широкого потребления – до 98 %.

Оборудование для холодной штамповки.

Холодное выдавливание выполняется на кривошипных или гидравлических прессах. Процесс холодной объемной формовки сходен с объемной калибровкой, и эти операции выполняются обычно на кривошипно-коленных прессах.

Холодная высадка производится на холодновысадочных автоматах, подобных горизонтально-ковачным машинам. Они обеспечивают автоматическую подачу заготовки, перемещение ее из ручья в ручей штампа и отрезку изделий от прутка.

Листовую штамповку чаще всего выполняют на кривошипных и реже (крупногабаритных деталей) – на гидравлических прессах. Применяют кривошипные прессы простого и двойного действия. Устройство и работа кривошипного прессы простого действия и горячештамповочного прессы аналогичны (рисунки 4.38).



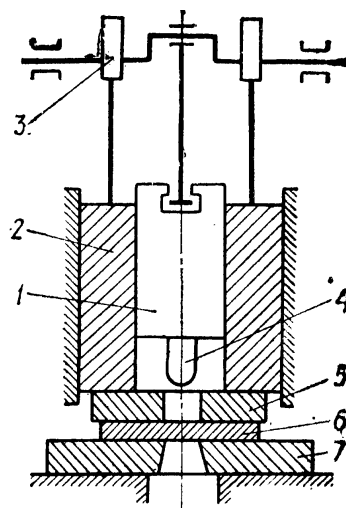


Рис. 4.38. Схема кривошипного прессы двойного действия

Пресс двойного действия имеет два ползуна – внутренний и наружный. Внутренний ползун 1 приводится в движение от кривошипно-шатунного механизма, а наружный 2 – от кулачков 3, закрепленных на коленвале. При движении вниз наружный ползун обгоняет внутренний, прижимает складкодержателем 5 заготовку 6 к матрице 7 и остается неподвижным при деформировании заготовки пуансоном 4, прикрепленным к внутреннему ползуну. По окончании штамповки оба ползуна поднимаются.

#### Получение изделий холодной объемной штамповкой

Холодное выдавливание – процесс получения штамповок при пластическом течении металла в полости штампа. При холодном выдавливании, в отличие от прессования, заготовкой является не слиток, а штучная прутковая заготовка. При этом получается не протяженный профиль, а чаще всего готовая деталь, требующая незначительной обработки резанием. Пластическое деформирование выдавливанием происходит в условиях неравномерного всестороннего сжатия и обеспечивает высокую степень деформации. Для мягких, пластичных металлов (алюминия) степень деформации, определяемая отношением площадей поперечного сечения заготовки и детали, может быть больше 10 000 %. Но выдавливание требует, высоких давлений: для алюминия до 0,7 ГПа, для сталей до 3 ГПа. Различают прямое, обратное и комбинированное выдавливание.

При прямом выдавливании (рисунок. 4.39, а) металл вытекает через отверстие в неподвижной матрице в направлении движения пуансона 2. Удаляется деталь 3 с помощью выталкивателя 4. Таким методом получают детали типа стрижней с утолщениями и труб с фланцами (болты, клапаны и т.п.) При обратном выдавливании направление течения металла противоположно движению пуансона 2 (рисунок 4.39, б). Удаляется деталь 3 с помощью съемника 5. Таким методом получают полые детали с дном (корпусы туб, стаканы и т.п.). Штамповка деталей методом комбинированного выдавливания сопровождается течением металла в разных направлениях (рисунок 4.39, в).

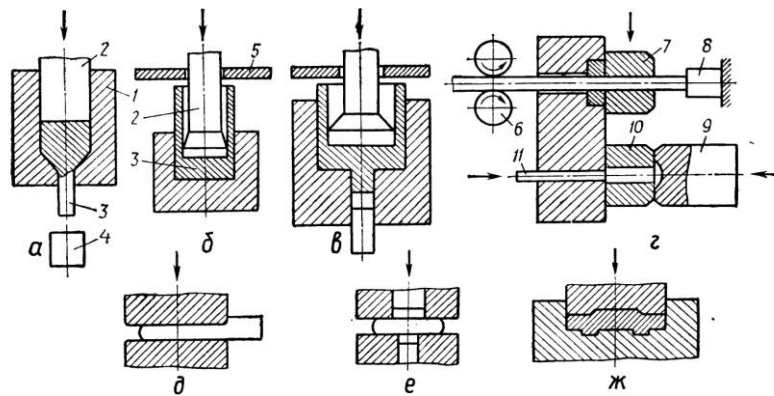


Рис. 4.39. Виды холодной объемной штамповки

Холодная высадка применяется при изготовлении широкого ассортимента деталей в массовом производстве: болтов, гаек, шпилек, винтов, шурупов, заклепок, гвоздей, спиц и др. Исходной заготовкой служат проволока или прутки диаметром 0,5-38 мм. Холодная высадка деталей производится за 1, 2, 3 и более переходов (ударов) в зависимости от формы высаживаемой части и ее размеров.

Схема высадки заклепки на холодновысадочном автомате показана на рис. 4.39, з. Автомат имеет механизмы подачи, отрезки и переноса заготовки с линии подачи на линию высадки, а также механизмы высадки и выталкивания. Пруток или проволока роликами 6 подается через матрицу 7 до упора 8. Матрица перемещается на линию высадки, отрезая при этом заготовку от прутка. Высадка заклепки 10 осуществляется пуансоном 9, а удаляется она из матрицы выталкивателем 11.

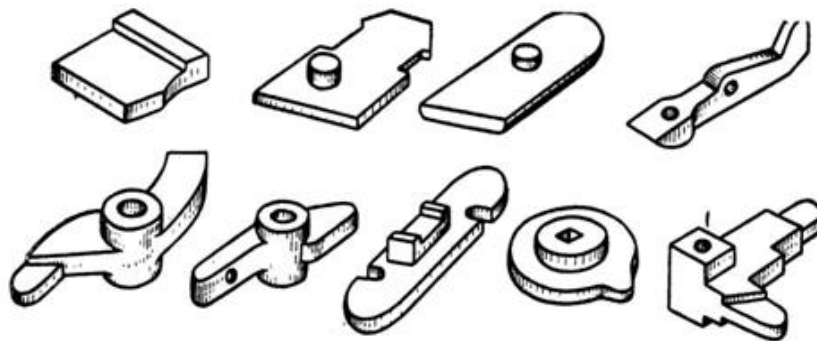


Рис. 4.40. Детали, получаемые холодной формовкой

Холодную формовку применяют для изготовления сложных по форме деталей с площадью горизонтальной проекции до 5000 мм<sup>2</sup> и высотой до 25 мм (рисунок 4.40). Ее производят в открытых и закрытых штампах. Исходной заготовкой обычно является штучная заготовка из сортового или листового проката, полученная горячей штамповкой либо точным литьем. Иногда (чаще при штамповке в закрытых штампах) заготовкой служит полоса или пруток, но при этом расход материала по сравнению со штучной заготовкой возрастает на 10-30 %.

Технологический процесс изготовления деталей холодной формовкой включает обычно следующие операции: резку заготовок, формовку (иногда

предварительную и окончательную), обрезку заусенца (при открытой штамповке), калибровку (или зачистку).

При холодной формовке применяют следующие основные формоизменяющие операции: осадку плоскопараллельными бойками (рисунок 4.39, д); открытую осадку с выдавливанием в одну или две стороны для образования бобышек, выступов (рисунок 4.39, е) закрытую осадку с истечением металла в одну или две полости штампа для формовки частичных утолщений с одновременным формообразованием требуемого контура (рисунок 4.39, ж). Холодную формовку в закрытых штампах применяют в основном для изготовления деталей из сплавов цветных металлов.

При формовке за несколько переходов для повышения пластичности производят промежуточный отжиг. Холодную формовку, как и холодное выдавливание, производят со смазкой.

## ГЛАВА 5 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ И ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Физическая сущность сварки.

Сваркой металлов называется процесс получения неразъемных соединений металлических изделий, осуществляемый за счет использования межмолекулярных и межатомных сил сцепления. Для приведения этих сил в действие необходимо сблизить атомы соединяемых металлов на расстояния порядка  $10^{-8}$  см, т.е. на такие, которые примерно равны параметрам кристаллических решеток этих металлов. Указанному процессу сближения атомов и молекул способствует нагрев свариваемых поверхностей до расплавленного или пластического состояния и приложение механического усилия сжатия.

Сварку широко применяют для соединения однородных и разнородным металлов и сплавов, металлов с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, стеклом и пр.), а также при изготовлении изделий из пластмасс, некоторых горных пород, смол и пр. Однако наиболее важное значение имеет сварка металлов, которая, как и другие способы обработки металлов, широко применяется в современном машиностроении и в строительстве.

Классификация способов сварки.

Современные способы сварки классифицируют по двум основным признакам: по состоянию металла в процессе сварки и по виду энергии, используемой для нагрева свариваемых частей. По первому признаку различают сварку плавлением и сварки давлением.

При сварке плавлением кромки соединяемых деталей, так называемый основной металл, и, в большинстве случаев, дополнительный присадочный металл нагревают до расплавленного состояния, образуя общую сварочную ванну. После удаления источника нагрева металл ванны охлаждается и затвердевает, образуя наплавленный металл, или сварной шов, соединяющий свариваемые поверхности в одно целое.

При сварке давлением сварное соединение образуется нагревом свариваемых поверхностей до пластического состояния или до начала плавления и дополнительным приложением механических усилий сжатия. Такие весьма пластичные металлы, как свинец, алюминий, медь, никель и др., можно сваривать и в холодном состоянии только за счет давления.

По виду энергии, используемой для нагрева металла, все способы сварки можно разделить на основные группы: электрические, химические, механические и лучевые.

Наиболее распространенной является группа электрических способов, при которых для нагрева металла используется электрический ток. В зависимости от принципа превращения электрической энергии в тепловую, используемую в процессе сварки, различают следующие основные виды электрической сварки: дуговую, контактную, электрошлаковую, индукционную, плазменную.

К группе химических способов сварки принадлежат газовая и термитная. Нагрев металла при этих способах сварки осуществляется за счет тепла экзо-

термических реакций окисления различных веществ, находящихся в газообразном или твердом состоянии.

К механическим способам сварки относятся: горновая или кузнечная, холодная давлением, трением, взрывом и ультразвуком. При этих методах сварки для соединения металлов используют соответствующие виды механической энергии. Группа лучевых способов сварки объединяет: электронно-лучевую, лазерным лучом, гелиосварку (сварку солнечными лучами).

Из перечисленных способов сварки наиболее важное значение имеют электрическая дуговая, контактная и газовая.

## 5.1. Электрическая дуговая сварка

### 5.1.1. Ручная дуговая сварка

Электроды для ручной дуговой сварки.

Ручную дуговую сварку выполняют штучными электродами, которые сварщик подает к свариваемому изделию и перемещает в нужном направлении. При сварке по методу Бенардоса применяют угольные или графитовые электроды диаметром 6-30 мм, длиной 200-300 мм. Для сварки по методу Славянова используют металлические электроды, имеющие диаметр 1,6-12 мм и длину 150-450 мм. Сварку в инертных газах осуществляют вольфрамowymi электродами диаметром 1-6 мм.

Для сварки сталей электроды изготавливают из стальной сварочной проволоки.

Дуговая сварка стержнями из стальной проволоки не применяется вследствие плохой устойчивости дуги. Для повышения устойчивости горения дуги на электродные стержни наносят там называемые тонкие, или стабилизирующие, покрытия. В их состав входят соединения щелочных (калия, натрия) или щелочноземельных (кальция) металлов, которые в дуге легче ионизируются, чем кислород и азот воздуха, что улучшает устойчивость горения дуги. Однако электроды с тонкими покрытиями не обеспечивают высоких механических свойств металла шва, который сильно насыщается азотом и кислородом воздуха. Для защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом на электродные стержни 5 наносят толстые, или качественные, покрытия 4 (рис. 5.1).

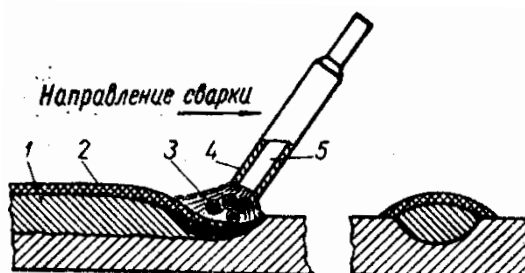


Рис. 5.1. Схема плавления электрода с толстым покрытием

Их составляющими, кроме стабилизирующих и клеящих (жидкое стекло), являются шлако- и газообразующие вещества и раскислители. Для получения наплавленного металла специального состава и свойств в них вводят также различные легирующие элементы.

Шлакообразующими веществами являются окислы ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ), карбонаты ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) и другие соединения ( $\text{CaF}_2$ ), вносимые в покрытия в виде минералов (кремнезема, мрамора) и руд (титановой, марганцевой). При плавлении покрытия они образуют шлаки, которые покрывают капли 3 электродного металла и металл 1 шва и этим защищают расплавленный металл от азота и кислорода воздуха. После остывания металла шва и шлака шлаковая корка 2 легко удаляется с поверхности шва.

Легирующими элементами являются хром, молибден, ванадий и др. В покрытия их вводят тогда, когда электроды предназначены для сварки легированных сталей, получения износостойких наплавов и пр.

Для изготовления покрытых электродов все кусковые материалы шихты покрытия дробят, размалывают, просеивают и смешивают с жидким стеклом. Полученную массу наносят на электродные стержни. Затем электроды просушивают и прокаливают.

По назначению выделяют четыре группы покрытых электродов для сварки сталей: углеродистых (У), легированных (Л), теплоустойчивых (Т) и высоколегированных (В). Пятую группу составляют электроды для наплавки с целью создания поверхностных слоев с особыми свойствами (Н). В зависимости от механических и других свойств наплавленного металла эти группы электродов подразделяются на типы. Каждому типу может соответствовать одна или несколько марок электродов.

#### Виды сварных соединений.

Основными видами соединений, применяемых при ручной, автоматической и полуавтоматической дуговой сварке, являются стыковые, угловые, тавровые и внахлестку.

Конструктивные элементы основных соединений, используемых при ручной дуговой сварке, приведены на рисунке 5.2.

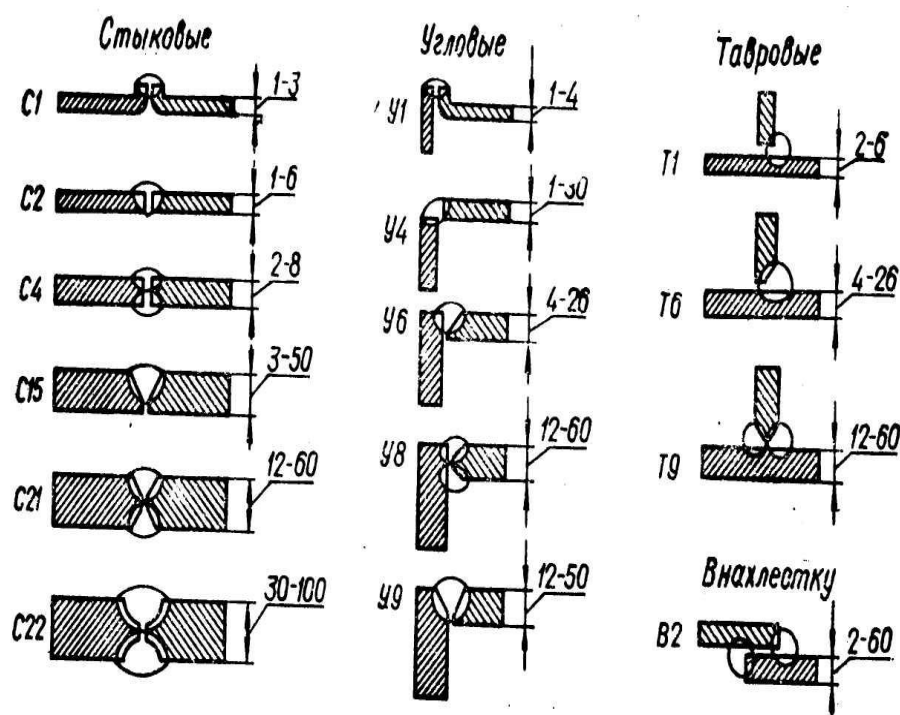


Рис. 5.2. Основные виды сварных соединений

Стыковые соединения в зависимости от толщины свариваемых листов выполняют с отбортовкой (С1) без скоса кромок (С2, С4), с односторонним (С15) и двусторонним (С21) симметричным или несимметричным скосом кромок одного или обоих листов. Двусторонний симметричный скос кромок обоих листов криволинейной формы (С22) применяют для листов толщиной 30-100 мм. Чтобы обеспечить провар по всему сечению свариваемых листов, между кромками оставляют зазор 0-4 мм в зависимости от толщины металла. Во избежание прожига острые кромки листов притупляют на 1-3 мм. Общий угол раскрытия кромок  $54 \pm 6^\circ$ .

Угловые и тавровые соединения, так же как и стыковые, в зависимости от толщины листов выполняют (см. рис. 5.2) без скоса кромок (У1, У4, Т1), а также с односторонним (У6, Т6) и двусторонним (У8, У9, Т9) скосами кромок одного или обоих листов. При скосе одной кромки угол раскрытия составляет  $50 \pm 5^\circ$ , а при скосе двух кромок –  $54 \pm 6^\circ$ . Соединения внахлестку (В2) применяют для листов толщиной 2-60 мм. Сваривают их с одной или двух сторон сплошным или прерывистым швом.

#### Выбор режима сварки.

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются диаметр электрода и сила сварочного тока. Скорость сварки и напряжение дуги при ручной сварке, как правило, не регламентируются. Их подбирает сварщик в зависимости от марки электрода и положения шва в пространстве. Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, слоя (первого или последующих) шва и положения швов в пространстве. Сила сварочного тока в основном зависит от диаметра электрода.

### 5.1.2. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка

Устройство и принцип работы сварочных автоматов.

При автоматической дуговой сварке все основные операции процесса (зажигание дуги, подача сварочной проволоки к изделию, поддержание постоянной длины дуги и перемещение дуги по направлению сварки) механизированы.

Схема устройства сварочного автомата представлена на рисунке 5.3, а.

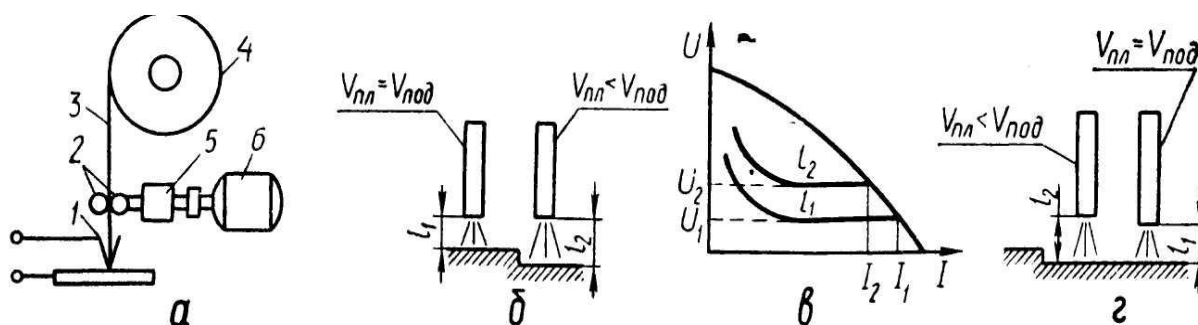


Рис. 5.3. Схемы устройства сварочного автомата и процесса саморегулирования длины дуги

Электродвигатель 6 с помощью механического редуктора 5 передает вращение роликам 2, подающим проволоку к изделию. Сварочную проволоку 3 подающие ролики сматывают с мотка или бухты, помещенной на барабане или в кассете 4, и направляют через токоподводящий мундштук 1 в зону сварки.

В зависимости от принципа поддержания постоянства длины дуги, изменяющейся в процессе сварки в связи с неровностями поверхности свариваемого металла, нестабильностью напряжения в сети, пробуксовыванием проволоки в подающих роликах и т.п., сварочные автоматы делят два типа: с автоматическим регулированием и с саморегулированием длины дуги.

Более простыми и широко применяющимися являются автоматы, построенные по принципу саморегулирования длины дуги, с постоянной скоростью подачи проволоки.

Саморегулирование длины дуги основано на использовании зависимости изменения скорости плавления проволоки от изменения длины дуги. При постоянной скорости подачи проволоки, равной скорости ее плавления, и при случайном увеличении длины дуги от  $l_1$  до  $l_2$  (рисунок 5.3, б) согласно внешней характеристике источника сварочного тока (рисунок 5.3, в) уменьшится ток в дуге от  $I_1$  до  $I_2$  и почти пропорционально току уменьшится скорость плавления проволоки. Поэтому скорость подачи проволоки окажется больше скорости ее плавления, и длина дуги снова достигнет величины  $l_1$  (рисунок 5.3, г). При уменьшении длины дуги происходит обратное явление: ток и скорость плавления возрастают и длина дуги увеличивается. На саморегулирование большое влияние оказывают форма внешней характеристики источника сварочного тока и плотность тока. Наиболее интенсивно оно протекает при использовании источников тока с падающей или возрастающей внешней характеристиками и



плотностях тока, превышающих 50-100 А/мм<sup>2</sup>. При плотностях тока ниже этого предела саморегулирование затрудняется, и в этом случае необходимо применить только автоматическое регулирование постоянства длины дуги.

Способ сварки под флюсом.

При автоматической дуговой сварке защита расплавленного металла от атмосферного воздуха в зоне сварки осуществляется с помощью порошкообразного вещества, называемого флюсом, или с помощью защитных газов. При сварке под флюсом к свариваемому изделию 9 подается голая проволока 1 и отдельно флюс 3 (рисунок 5.4).

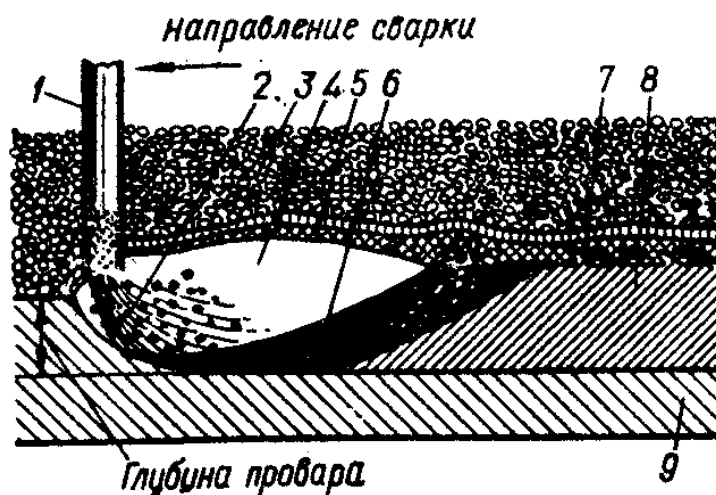


Рис. 5.4. Схема сварки под слоем флюса

Сварочная дуга 2 горит под слоем флюса между концом сварочной проволоки и изделием. Расплавленная часть флюса 5 окружает газовый пузырь и покрывает сварочную ванну 6 тонким слоем шлака, препятствуя этим соприкосновению расплавленного присадочного и основного металла с кислородом и азотом воздуха. После остывания металла и шлака последний, в виде корки 7, легко отделяется от наплавленного металла 8. Неиспользованная часть флюса отсасывается с изделия обратно в бункер флюсоотсасывающими устройствами.

При автоматической дуговой сварке под флюсом по сравнению с ручной до 10-20 раз повышается производительность из-за использования больших токов, достигается однородность и повышается качество металла шва, экономится сварочная проволока вследствие меньших потерь на угар и разбрызгивание и отсутствия огарков.

### 5.1.3. Электрошлаковая сварка

При электрошлаковой сварке основной и присадочный металлы расплавляются теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

В пространство между кромками вертикально установленных деталей 7, приставной стальной или медной планкой 1 и шлако-удерживающими медными

ползунами 4 подается флюс 10 и одна или несколько сварочных проволок 6 диаметром 2-3 мм (рисунок 5.5).

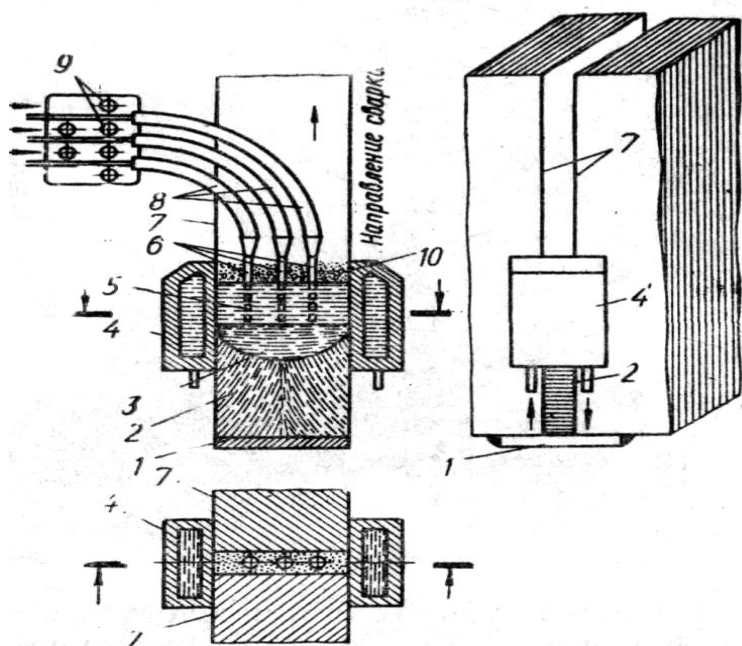


Рис. 5.5. Схема электрошлаковой сварки

Сварка начинается с возбуждения дуги под слоем флюса между электродными проволоками и приставной планкой. При расплавлении флюса и образовании шлаковой ванны 5 сварочные проволоки погружаются в расплавленный шлак, и горение дуги прекращается. Однако ток продолжает течь через расплавленный шлак и тепло, выделяющееся в нем, расходуется на дальнейшее плавление флюса, кромок свариваемых изделий и присадочного металла.

При сварке по изогнутым токоподводящим мундштукам 8 с помощью системы роликов 9 непрерывно подается проволока в жидкий шлак. Автомат с помощью колес или специальных электромагнитов перемещается по вертикальной плоскости вместе с ползунами. Последние, охлаждаясь проточной водой, способствуют принудительному формированию сварного шва 2, образуемого из ванны расплавленного металла 3. По трубе, установленной несколько выше мундштуков 5, в зону сварки подается флюс. За один проход автомата одной проволокой при силе тока 600-900 А сваривают металл толщиной до 60 мм. Большие толщины сваривают с поперечным движением проволоки или с одновременной подачей в сварочную ванну нескольких проволок. Для этой же цели используют и специальной формы присадочный металл.

В качестве источников сварочного тока при электрошлаковой сварке применяют сварочные трансформаторы с жесткой внешней характеристикой. Этот метод сварки находит широкое применение в тяжелом машиностроении при изготовлении сварно-литых и сварно-кованых конструкций, в производстве толстостенных котлов высокого давления и пр.

## 5.2. Электрическая контактная сварка

Контактная сварка (сварка сопротивлением) основана на разогреве свариваемых изделий джоулевым теплом и механическом сжатии разогретых изделий.

Сила сварочного тока при контактной сварке достигает десятков и даже сотен тысяч ампер. Такие токи получают в понижающих однофазных сварочных трансформаторах, имеющих во вторичной обмотке чаще всего один виток. Для регулирования сварочного тока первичную обмотку трансформатора делят на несколько секций, от которых к переключателю ступеней регулирования сделано от 4 до 16 отводов. Величина вторичного напряжения составляет 1-12 В. Увеличивая или уменьшая количество витков первичной обмотки, включенных в сеть, изменяют вторичное напряжение, а вместе с ним и сварочный ток. Чем меньше включено в сеть витков первичной обмотки, тем больше вторичное напряжение, первичный и вторичный (сварочный) токи.

Сопротивление места сварки зависит от чистоты и состояния поверхности свариваемого материала, сопротивления самого материала, величины давления, прикладываемого к свариваемым изделиям, и от других факторов. Наибольшее сопротивление имеет место контакта свариваемых изделий, где и выделяется наибольшее количество тепла. Время сварки в зависимости от толщины и рода свариваемого материала изменяется от сотых и даже тысячных долей секунды до нескольких минут. Когда детали нагреваются до пластического состояния или до оплавления, к ним прикладывается усилие осадки и детали свариваются.

Основные виды контактной сварки

Существует много видов и разновидностей электрической контактной сварки. Однако основных способов три: стыковая, точечная и шовная. Отдельную группу составляет сварка аккумулированной энергией. Из этой группы наибольшее применение имеет конденсаторная сварка.

### 5.2.1. Стыковая сварка

**Схема стыковой сварки.**

При стыковой сварке свариваемые детали 1 (стержни, полосы, рельсы, трубы) закрепляют в медных зажимах машины (рисунок 5.6).

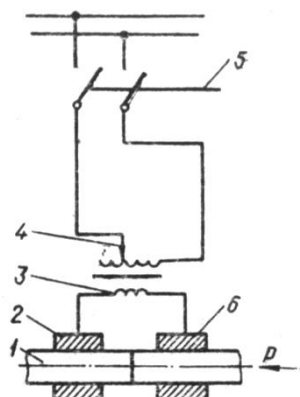


Рис. 5.6. Схема стыковой сварки

Зажим 6 установлен на подвижной плите, перемещающейся по направляющим станины, а зажим 2 укреплен на неподвижной плите. Вторичный виток 3 сварочного трансформатора соединен с плитами медными гибкими шинами. Первичную обмотку трансформатора включают в сеть переменного тока через выключающее устройство 5. Для регулирования мощности трансформатора и изменения силы сварочного тока предназначен переключатель ступеней 4. Перемещение подвижной плиты и сжатие свариваемых изделий силой  $P$  осуществляется механизмом сжатия.

Основные виды стыковой сварки – сварка методом сопротивления и методом оплавления. При сварке сопротивлением детали с тщательно подготовленными торцами под небольшим давлением приводят в соприкосновение. После этого в сеть включают трансформатор. Как только детали нагреваются до пластического состояния, одновременно с выключением тока механизмом сжатия производят их осадку и сварку. Сварку сопротивлением применяют для соединения изделий из малоуглеродистых сталей и цветных металлов сечением до 300 мм<sup>2</sup>. При большем сечении не достигается равномерный нагрев по всему сечению стыка и качество соединения ухудшается.

Сварку оплавлением применяют при изготовлении изделий большего сечения. Различают сварку прерывистым и непрерывным оплавлением. Если сваривают прерывистым оплавлением, то детали, зажатые в машине при включенном напряжении холостого хода вторичной цепи, приводят в кратковременное соприкосновение и опять разводят на небольшое расстояние. Во время разведения деталей сварочная цепь разрывается при силе тока в тысячи и десятки тысяч ампер, вследствие чего между торцами свариваемых изделий происходит сильное искрообразование и разбрызгивание расплавленного металла. Чередую одно за другим замыкание с размыканием, осуществляют равномерное оплавление всего сечения стыка. После приложения к месту сварки усилия осадки наружу стыка выдавливаются расплавленный металл и оксиды, и образуется прочное сварное соединение. Ток выключают в конце осадки.

Сварку непрерывным оплавлением выполняют на машинах с непрерывной подачей деталей только в сторону их сближения. Зажатые в машине детали включаются под напряжение вторичной цепи, а затем их сближают до соприкосновения. Соприкосновение свариваемых поверхностей сначала происходит в отдельных местах, где имеются микровыступы. В образующихся элементарных контактах возникают большие плотности тока, и металл здесь быстро нагревается до расплавления и испарения. Когда вся поверхность свариваемых торцов плавится и покрывается слоем жидкого металла, к изделиям прикладывают усилия осадки с одновременным выключением тока. Детали соединяются в одно целое так же, как и при сварке, прерывистым оплавлением.

Стыковую сварку оплавлением применяют для углеродистых и легированных сталей с поперечным сечением до  $4 \cdot 10^4$ - $6 \cdot 10^4$  мм<sup>2</sup>, цветных и разнородных металлов. Наиболее широко её используют для соединения железнодорожных рельсов, составного режущего инструмента, магистральных газо- и нефтепроводов и пр.

Машины для стыковой сварки изготавливают мощностью 0,75-1000 кВт и больше.

### 5.2.2. Точечная сварка

Схема точечной сварки.

Точечную сварку применяют для соединения листовых конструкций, в которых необходимо обеспечить нужную прочность, а обеспечение плотности не является обязательным. Суммарная толщина листов обычно не превышает 10-12 мм. При точечной сварке сложенные внахлестку детали 1 (рис. 5.7, а) зажимают с некоторым усилием между медными электродами 2, к которым через электрододержатели 3 подводится ток от сварочного трансформатора 4. Нижний электрод устанавливают неподвижно, а верхний вместе с электрододержателем перемещается с помощью механизма сжатия, который создает между электродами необходимое давление  $P$ . Зажав изделие, включают трансформатор, и место контакта между изделиями нагревается до образования ядра из расплавленного металла. Последующим приложением усилия осадки осуществляется сварка металлов, которая заканчивается снятием давления и выключением тока. Ядро сварной точки имеет столбчатую дендритную структуру. Места контактов между электродами и изделиями нагреваются до более низкой температуры, так как выделяющееся здесь тепло активно отводится медными электродами, обычно охлаждаемыми водой.

На точечных машинах сваривают углеродистые, легированные, высоколегированные стали и цветные металлы. Различают так называемые мягкие и жесткие режимы. Мягкие режимы характеризуются относительно большей выдержкой сварной точки под током и небольшой плотностью тока. Их применяют при сварке углеродистых, низколегированных и другого типа сталей, склонных к закалке. Для мягких режимов время выдержки сварной точки под током составляет 0,2-3 с, плотность тока – 80-160 А/мм<sup>2</sup> и давление на электроды – 15-40 МПа.

Жесткие режимы характеризуются меньшей выдержкой сварной точки под током, большей плотностью тока и большим давлением. Поэтому они обеспечивают более высокую производительность сварки. Такие режимы используют для сварки низкоуглеродистых и высоколегированных сталей, не склонных к закалке. Их также применяют для сварки цветных металлов (меди, алюминия), имеющих большую электро- и теплопроводность. Время выдержки на жестких режимах составляет 0,001-0,1 с, плотность тока – 150-350 А/мм<sup>2</sup> и давление на электроды – 40-100 МПа.

Виды точечной сварки.

Кроме рассмотренной выше основной схемы точечной сварки, в промышленности применяют одностороннюю точечную сварку, которая бывает односточечной (рис. 5.7, б), двухточечной (рис. 5.7, в) и многоточечной (рис. 5.7, г). При односторонней сварке электроды 2 располагают с одной стороны свариваемых изделий, а с другой подкладывают медные или бронзовые шины 5. При сварке ток проходит через электроды 2, свариваемые изделия и медные шины 5.

Разновидностью многоточечной сварки является рельефная сварка (рис. 5.7, д), при которой в одной из свариваемых деталей в местах соединений предварительно производится холодная высадка выступов. Рельефную сварку осуществляют на специальных сварочных прессах между медными плитами 2, которые являются электродами машины. После предварительного сжатия и включения тока происходит одновременный нагрев всех выступов, а после приложения усилия сжатия – их сварка.

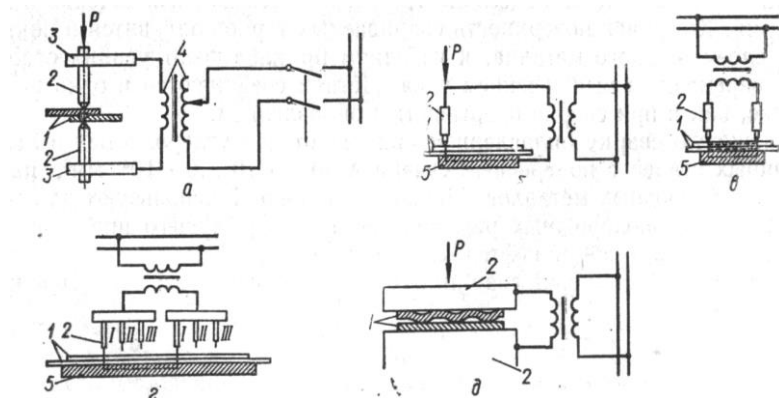


Рис. 5.7. Основные схемы точечной контактной сварки

### 5.2.3. Шовная сварка

Схема и разновидности шовной сварки.

Шовную или роликовую, сварку применяют для получения прочных и плотных швов при изготовлении тонкостенных сосудов, предназначенных для хранения и транспортирования жидкостей, газов и других продуктов, а также в производстве тонкостенных труб.

Различают два основных способа шовной сварки – непрерывную и прерывистую. При непрерывной сварке подача тока на ролики и вращение роликов непрерывны. Такой вид сварки применяют при изготовлении изделий из низкоуглеродистых сталей толщиной до 1 мм. Для больших толщин непрерывная подача тока на ролики не дает качественного сварного соединения. Такие толшины сваривают прерывистым методом, при котором ролики вращаются непрерывно, а ток подается прерывисто. Вследствие этого в месте сварного соединения образуется ряд непрерывных точек, из которых каждая предыдущая перекрывается последующей. Прерывистым методом изготовляют сварные соединения высокого качества, как из углеродистых сталей, так и из нержавеющей, а также из алюминиевых и медных сплавов.

Для прерывистой подачи тока на ролики шовные машины имеют игнитронные прерыватели. Продолжительность включения тока при прерывистой сварке составляет 0,02-0,12 с, а время перерывов (пауз) между включениями – 0,02-0,35 с.

Серийные шовные машины выпускают мощностью 25-200 кВт с педальным или пневматическим приводом.

### 5.3. Газовая сварка

Для получения сварного соединения при газовой сварке кромки основного металла и присадочный металл нагревают до расплавленного состояния пламенем горючих газов, сжигаемых в специальных сварочных горелках в смеси с кислородом.

В качестве горючего газа наибольшее применение получил ацетилен, который при сгорании в кислороде дает температуру пламени, достаточную для сварки сталей и большинства других металлов и их сплавов. Для сварки металлов (свинца, алюминия и пр.), температуры плавления которых ниже температуры плавления стали, могут быть использованы и иные горючие газы, например водород, природный газ и другие, дающие более низкую температуру пламени.

Наиболее часто газовую сварку применяют при изготовлении листовых и трубчатых конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной до 3-5 мм, при исправлении дефектов в отливках из серого чугуна и бронзы, а также в производстве изделий из цветных металлов и их сплавов.

### 5.4. Пайка металлов

При пайке металлов до плавления доводят только легкоплавкий присадочный металл, называемый припоем. Соединяются изделия за счет диффузии расплавленного припоя, проникающего в нагретые до температуры его плавления поверхностные слои основного металла. В зависимости от температуры плавления припоя различают пайку мягкими и твердыми припоями,

Пайка мягкими припоями.

К мягким припоям относятся такие, температура плавления которых не превышает 400 °С. Для соединения почти всех металлов применяют оловянно-свинцовые припои марок ПОС-90, ПОС-40 и ПОС-30, содержащие соответственно 90, 40 и 30 % олова (остальное – свинец и примеси). Температура плавления их составляет 180-260 °С. Мягкие припои обеспечивают прочность соединения до 50-70 МПа.

Для защиты нагретого основного металла и расплавленного припоя от окисления, а также для растворения образующихся оксидов и растекания жидкого припоя по поверхности места спая применяют такие флюсы, как канифоль, хлористый цинк или смесь хлористого цинка с хлористым аммонием и др. Мягкие припои выпускают в виде прутков, проволоки, порошка или пасты, состоящей из порошка припоя и флюса.

Нагревают изделие и расплавляют припой обычно паяльниками, рабочая часть которых изготавливается из меди и имеет клиновидную форму. Паяльники нагревают в горнах, паяльными лампами или газовыми горелками, однако наиболее часто для этой цели применяют электронагрев. Пайка мягкими припоями возможна и при погружении изделий в ванну с расплавленным припоем. Для получения качественных соединений поверхность изделий в месте спая

необходимо тщательно очистить механическим или химическим способом; зазор не должен превышать 0,1 мм.

Пайка твердыми припоями.

Твердые припои имеют температуру плавления 500-1083 °С. К ним относятся чистая медь и сплавы меди с цинком и серебром. Наиболее часто применяют медно-цинковые припои марок ПМЦ-42, ПМЦ-47 и ПМЦ-52. Они имеют соответственно 42, 47 и 52 % меди и температуру плавления 840, 860 и 885 °С.

Для пайки изделий особенно ответственного назначения часто применяют такие медно-серебряные припои, как ПСр-25, ПСр-45, которые содержат 10-70 % серебра (остальное – медь и цинк). Серебряные припои имеют температуру плавления 780-830 °С.

При пайке твердыми припоями предел прочности соединений достигает 400-500 МПа. В качестве флюсов используют буру, борную кислоту или их смеси, хлористый цинк и пр. Изделия нагревают сварочными горелками, в соляных ваннах, в нагревательных печах с нейтральной, восстановительной или защитной атмосферой, на контактных электрических машинах и высокочастотных установках. Зазор в соединении не должен превышать 0,05-0,08 мм.

Хорошо поддаются пайке все углеродистые и легированные стали, в том числе нержавеющие и инструментальные, твердые сплавы, серые и ковкие чугуны, большинство цветных металлов и их сплавов.

## 5.5. Сварка трением

Для сварки трением (рис. 5.8) используют преобразование механической энергии в тепловую, осуществляемое при взаимном перемещении свариваемых поверхностей. Работа сил трения, превращающаяся в теплоту, интенсивно нагревает трущиеся поверхности. Свариваемые детали нагреваются до пластического состояния, после чего их сжимают осевыми усилиями. Так в большинстве случаев сваривают встык детали круглого сечения, например трубы, стержни, некоторые режущие инструменты (сверла, метчики, развертки, концевые фрезы и пр.), изготавливаемые из однородных и разнородных металлов, а также из различных пластмасс.

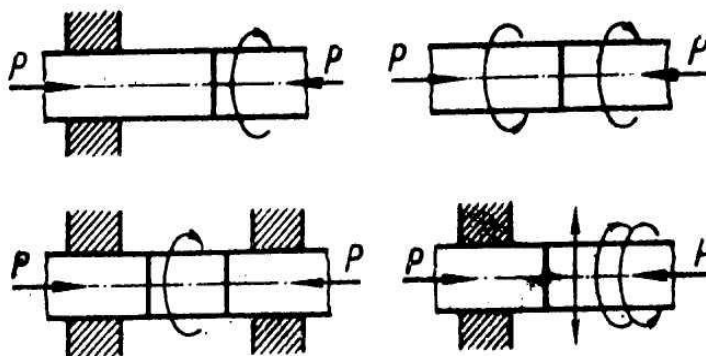


Рис. 5.8. Основные схемы сварки трением



## 5.6. Резка металлов

### 5.6.1. Газокислородная резка

Газокислородная резка основана на способности металла, подогретого газокислородным пламенем до температуры воспламенения, сгорать в струе чистого, так называемого режущего, кислорода.

Для кислородной резки необходимо, чтобы металл удовлетворял следующим основным требованиям:

- 1) температура воспламенения металла должна быть ниже температуры его плавления;
- 2) температура плавления оксидов металла должна быть ниже температуры плавления самого металла;
- 3) при горении металла должно выделяться достаточное количество тепла, необходимого для нагрева нижележащих слоев до температуры воспламенения;
- 4) теплопроводность металла не должна быть слишком высокой;
- 5) оксиды металла, образующиеся при резке, должны быть достаточно жидкотекучими и легко выдуваться из полости реза.

Этим требованиям наиболее полно удовлетворяют только углеродистые и низколегированные стали, содержащие до 0,7 % углерода.

Стали с большим содержанием углерода, а также высоколегированные стали, чугуны, цветные металлы и их сплавы не удовлетворяют перечисленным требованиям и не поддаются кислородной резке обычным способом. Поэтому применяют кислородно-флюсовую резку некоторых металлов, при которой в зону резки вместе с режущим кислородом подается порошкообразный флюс. Им в большинстве случаев является железный порошок, который при сгорании вызывает дополнительное выделение тепла и разжижает тугоплавкие оксиды.

Обычную газокислородную резку производят ручным, полуавтоматическим и автоматическим способами.

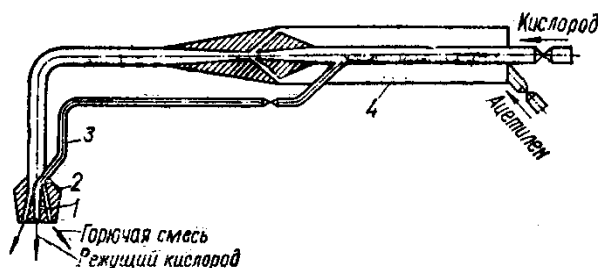


Рис. 5.9. Ручной ацетиленогазовый резак

Ручной ацетиленогазово-кислородный резак состоит из сварочной горелки 4 с отдельной трубкой 3, предназначенной для подачи режущей струи кислорода (рисунок 5.9). Наконечник резака имеет два наружных 2 и пять внутренних 1 сменных мундштуков. Горючая газокислородная смесь подается по наружному

мундштуку 2 и на выходе образует подогревательное пламя кольцеобразной формы. Режущий кислород поступает по внутреннему мундштуку.

Газокислородная резка происходит следующим образом. После того как разрезаемый металл нагреется подогревательным пламенем до температуры воспламенения (на что в зависимости от толщины его затрачивается 5-40 с), подается струя кислорода и металл загорается. При горении выделяется значительное количество тепла, которое распространяется вглубь металла и подогревает нижележащие слои до температуры воспламенения. Жидкие оксиды, образующиеся при сварке, выдуваются из полости реза режущим кислородом.

Ручными резаками можно разрезать сталь толщиной 6-300 мм со скоростью 550-800 мм/мин. Специальными резаками разрезают сталь толщиной до 3 м и больше.

Механизированную кислородную резку производят с помощью специальных переносных и стационарных газорезательных машин.

При газокислородной резке используют не только ацетилен, но и другие горючие газы, например природный и нефтяной газы, водород, а также горючие жидкости – керосин и бензин. Газокислородная резка по качеству и производительности превосходит многие другие способы резки и поэтому широко применяется в практике.

### *5.5.2. Дуговая резка*

– Резка угольными и металлическими электродами основана на расплавлении металла дугой и удалении его из полости реза под действием силы тяжести металла и давления газов дуги;

– скорость и глубина расплавления металла в основном зависят от силы тока. Поэтому при дуговой резке используют большие токи: 300- 600 А – при резке металлическими электродами и 400-1500 А – при резке угольными электродами. Оба способа используют преимущественно в монтажных работах при разборке старых металлоконструкций, прожигании отверстий, разрезке чугунных изделий и изделий из высоколегированных сталей;

– воздушно-дуговая резка является усовершенствованной дуговой, при которой металл, расплавленный дугой, выдувается из полости реза струей сжатого воздуха. При этом способе используют преимущественно графитовые электроды, вдоль оси которых подается струя сжатого (около 0,4 МПа) воздуха. Резку производят постоянным током обратной полярности при силе тока 150-400 А. Этот способ применяется для удаления дефектных мест под заварку, а также при резке листов из нержавеющей сталей толщиной до 20 мм;

– кислородно-дуговая резка. При этом способе металл подогревается до температуры воспламенения теплом дуги, горящей между металлическим электродом и изделием. Сжигание металла в кислороде и удаление оксидов из плоскости реза происходит за счет струи кислорода, подаваемой в зону резки через специальное сопло, расположенное на держателе. Применяют кислородно-дуговую резку при монтажно-сборочных работах;

– резку плазменной дугой прямого действия используют для разрезания толстых листов алюминия и его сплавов (до 100-120 мм), нержавеющей стали и медных сплавов. Плазменную дугу косвенного действия применяют для резки тонких стальных листов, алюминиевых и медных сплавов, жаропрочных сплавов и некоторых неметаллических материалов (керамики и пр.)

Плазменную резку производят специальным резаком – плазмотроном, который в отличие от плазменной горелки имеет несколько большие размеры и мощность. В качестве плазмообразующего газа при резке применяют аргон, его смесь с водородом, очищенный азот и сжатый воздух. Воздушно-плазменная резка металла небольшой толщины с использованием циркониевых электродов обеспечивает высокое качество резки, а скорость ее в 2-5 раз выше скорости газокислородной резки.

## ГЛАВА 6. ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

### 6.1. Производство деталей из пластмасс

Пластмассами называются материалы, получаемые на основе природных или синтетических полимеров (смол), которые на определенной стадии производства или переработки обладают высокой пластичностью.

Свойства пластмасс определяются физико-механическими характеристиками их основы – смолы.

В зависимости от поведения при нагреве смолы (и соответственно пластмассы) подразделяют на термопластичные и термореактивные.

*Термопластичные пластмассы* (термопласты) при каждом нагреве размягчаются, переходят в вязкотекучее состояние, а при охлаждении отвердевают. К термопластам относятся: органическое стекло, полистирол, полиэтилен, полипропилен, винипласт, капрон и др.

*Термореактивные пластмассы* (реактопласты) при нагреве вначале размягчаются, а затем при определенной температуре переходят в твердое, неплавкое и нерастворимое состояние, поэтому они не могут повторно перерабатываться. К реактопластам относятся пластики на основе фенолоформальдегидной, полиэфирной и других смол.

Для придания пластмассе различных свойств в ее состав вводят другие компоненты: наполнители, пластификаторы, а также различные добавки.

*Наполнителями* служат органические или неорганические вещества в виде порошков (древесная или кварцевая мука, графит), волокон (бумажных, хлопчатобумажных, асбестовых, стеклянных) или листов (ткани, слюда, древесный шпон). Наполнители повышают прочность, износостойкость, теплоустойчивость или другие свойства пластмасс и могут составлять 40-80% их объема.

*Пластификаторами* называют малолетучие вещества (глицерин, касторовое или парафиновое масло и др.), вводимые в состав пластмасс с целью повышения их пластичности и эластичности.

К *добавкам* относятся:

стабилизаторы – вещества, замедляющие разрушение пластмассы при воздействии тепла, света и других факторов (сажа, сернистые соединения, фенолы);

смазки, облегчающие процесс прессования пластмасс (воск, стеарин, олеиновая кислота); красители – охра, крон, родамин.

При изготовлении поро- и пенопластов добавляют газообразователи – вещества, которые при нагреве разлагаются, выделяют большое количество газов, вспенивающих смолу.

Свойства пластмасс. Широкое применение пластмасс в машиностроении стало возможным благодаря их специфическим свойствам. К ним относятся:

- малая плотность (для большинства пластмасс – 0,9-1,8 г/см<sup>3</sup>), позволяющая значительно уменьшать массу деталей и оборудования;
- высокая коррозионная стойкость;

- высокие электроизоляционные характеристики;
- хорошие антифрикционные свойства ряда пластмасс разрешают с успехом применять их для изготовления подшипников скольжения;
- высокий коэффициент трения некоторых пластмасс позволяет применять их для изготовления деталей тормозных устройств;
- высокая прозрачность и другие оптические свойства некоторых пластмасс;
- большой диапазон твердости и эластичности;
- возможность переработки в изделия самыми производительными способами – литьем, выдавливанием и т.п. с коэффициентом использования материала 0,90-0,95.

Вместе с тем, при выборе пластмасс для изготовления различных деталей необходимо учитывать, что им присущи:

- малая прочность, жесткость и твердость;
- большая ползучесть, особенно у термопластов;
- низкая теплостойкость: для большинства пластмасс рабочая температура составляет от – 60 до + 200 °С, немногие могут работать при 300-400 °С;
- низкая теплопроводность (в 500-600 раз меньше, чем у металлов), затрудняющая отвод тепла в узлах трения, например в подшипниках скольжения;
- старение – потеря свойств под действием тепла, света, воды и других факторов.

Переработка пластмасс в изделия.

Полимеры – основа пластмассы – могут находиться в двух агрегатных состояниях: твердом – аморфном или кристаллическом и жидком – вязкотекучем. При нагреве до определенных температур они разлагаются, минуя парообразное состояние.

## **6.2. Производство изделий из резины**

Резина является материалом, обладающим весьма ценными специфическими свойствами: высокой эластичностью и упругостью, способностью многократно изгибаться, сопротивляться истиранию и поглощать вибрации; она гидро- и газонепроницаема, стойка против воздействия жидкого топлива и масел, обладает высокими диэлектрическими свойствами. Благодаря этому резина находит широкое применение для изготовления самых разнообразных изделий: шин для автомашин, мотоциклов, самолетов; рукавов для подачи различных жидких и газовых сред (воды, топлив, масел, газов), приводных ремней и транспортерных лент, уплотняющих элементов (сальников, прокладок, манжет); амортизаторов, подшипников, электроизоляционных элементов, водооградительных средств, строительных конструкций и многих других.

Резина является продуктом переработки каучуков. Натуральный *каучук* получают из растений (гваяюлы, кок-сагыза и др.).

Развитие техники, естественно, не могло ограничиться использованием только натурального каучука и привело к созданию синтетического. Исходным сырьем для получения синтетического каучука служат: этиловый спирт, ацетилен, бутан, этилен, бензол, изобутилен и др.

Из синтетических наибольшее применение получили каучуки: бутадиеновый, бутадиен-стирольный, нитрильный, изопреновый, полисилоксановый.

Каучук (натуральный или синтетический) является основой резины. Другими компонентами резиновых смесей являются:

- вулканизирующие вещества, придающие резине требуемую твердость, прочность, упругость и другие свойства. В качестве вулканизирующих веществ используют серу, перекиси марганца, свинца, бензола;
- ускорители вулканизации: оксиды магния, цинка и др.;
- наполнители — вещества, уменьшающие расход каучука и придающие резине необходимые физико-механические свойства. Наполнители бывают порошкообразные (сажи, оксиды кремния или титана, мел, тальк, каолин и др.) и тканевые (корд, бельтинг, рукавные ткани);
- пластификаторы, повышающие пластичность и морозостойкость резины (стеариновая и олеиновая кислоты и др.);
- противостарители, препятствующие окислению каучука (вазелин, воск, парафин);
- красители (охра, ультрамарин).

Процесс изготовления изделий из резины состоит из приготовления сырой резиновой смеси, получения из нее полуфабрикатов или готовых изделий и их вулканизации.

Приготовление сырой резиновой смеси.

Для получения смеси каучук разрезают на куски и для повышения пластичности пропускают через нагретые до 40-50 °С вальцы. Затем в специальных смесителях или на вальцах смешивают с порошкообразными компонентами (наполнителем, вулканизирующими веществами, ускорителями вулканизации и др.) и получают однородную пластичную и малоупругую массу – *сырую резину*. Она легко формуется, растворяется в органических растворителях, при нагреве становится клейкой.

Листовые полуфабрикаты и изделия из резины получают каландрированием сырой резины; изделия сложной формы – выдавливанием, прессованием, литьем под давлением.

*Каландрированием* получают листовую резину и прорезиненную ткань.

Для получения резиновых листов или лент заданной толщины сырую резиновую смесь 3 (рис. 6.1) пропускают между верхними валками каландров, аналогичных по конструкции трехвалковой клетки листопркатного стана для металлов. Верхний и средний валки каландра подогревают до 50-90°С, а нижний охлаждают до 15°С. Выходящую из каландра листовую резину наматывают на деревянный барабан 1.

*Прорезинивание* ткани производят на каландрах, отличающихся от рассмотренного тем, что на них резиновая смесь 3 провальцовывается и одновре-

менно втирается в непрерывно движущуюся ткань, подаваемую с барабана 2 в зазор между нижними валками.

Листовая резина или прорезиненная ткань поступает на раскрой. Сложные фасонные заготовки вырубают или вырезают из нее по шаблонам.

*Выдавливание* (шприцевание) применяют для получения резиновых профилей: трубок, шнуров, полос. Для этого сырую резиновую массу с помощью червячного винта перемещают в обогреваемом цилиндре и выдавливают через матрицу определенного сечения аналогично экструдированию пластмасс.

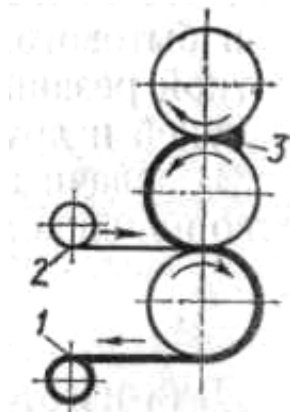


Рис. 6.1. Схема получения резинового листа

*Прессование* заключается в формировании изделий сложной формы из сырой резины или прорезиненной ткани, иногда с армирующими элементами в подогретой пресс-форме при давлении 2-10 МН/м<sup>2</sup>. Прессованием получают из резины клиновидные ремни, муфты, манжеты и т.п.

*Литье под давлением* применяется для получения сложных по конфигурации и крупногабаритных изделий и осуществляется в нагретых до 80-100 °С пресс-формах при давлении до 120 МН/м<sup>2</sup> аналогично литью пластмасс.

Вулканизация – это процесс обработки отформованного из сырой резины изделия с целью повышения его прочности, твердости и других физико-механических свойств. Обычно вулканизацию проводят в автоклавах, котлах при температуре 130-150°С и давлении 0,1-0,4 МН/м<sup>2</sup>. При этом вулканизирующие вещества взаимодействуют с линейными молекулами каучука, происходит их укрупнение и образование сетчатой структуры. В результате этого теряется пластичность каучука, изделие становится прочнее, повышается стойкость к тепловым и химическим воздействиям.

### 6.3. Производство деталей из металлических порошков

При разработке материалов и создании готовых деталей методом порошковой металлургии используются порошки металлов и их сплавов или неметаллических веществ. Из этих порошков вначале прессуют заготовки, которые затем для повышения прочности спекают. Поэтому изделия, полученные из порошков прессованием и спеканием, называют *спекенными*.

Метод порошковой металлургии ценен прежде всего тем, что позволяет получать материалы, которые другими методами получить невозможно: из ме-

таллов со значительной разницей в температуре плавления (например, W-Cu, W-Ag, Mo-Cu), из металлов и неметаллов (бронза-графит), из химических соединений (твердые сплавы из карбидов WC, TiC и др.), материалы с заданной пористостью (вкладыши подшипников, фильтры), электрическими, магнитными и другими свойствами.

Порошковая металлургия, кроме того, отличается минимальными отходами материалов, позволяет резко сократить станочный парк и число рабочих для производства деталей. Поэтому метод порошковой металлургии часто используется для получения деталей общего машиностроения или бытового назначения, которые ранее изготавливались литьем и обработкой резанием. Такие детали изготавливают из порошков сталей, бронз, латуней и других металлов.

В задачи порошковой металлургии, таким образом, входят производство порошков и получение из них заготовок или готовых деталей.

Для изготовления спеченных изделий применяют порошки размером от 0,5 до 500 мкм. Получают такие порошки механическими и химическими методами.

**Механические методы.** К ним относятся: распыление жидкого металла, размол стружки и других отходов металлообработки, дробление в вибрационной мельнице.

*Распыление* жидкого металла осуществляется струей воды или газа под давлением 50-100 МПа. Этим методом получают порошки железа, ферросплавов, нержавеющей стали, жаропрочных сплавов, цветных металлов.

*Размол* отходов металлообработки осуществляют в вихревых или шаровых мельницах.

*Дробление* в вибрационной мельнице применяют для получения порошков нетвердых и хрупких материалов (карбидов, оксидов, керамики и др.).

**Химические методы** заключаются в восстановлении металлов из оксидов или солей углеродом, водородом, природным газом. Восстановлением получают порошки железа (из окалины), вольфрама, молибдена, хрома, меди и других металлов. Сюда же относится метод термической диссоциации карбониллов – соединений типа  $Me_x(CO)_y$ , где  $Me$  – один из металлов, обеспечивающий получение порошков высокой чистоты.

Этим методом получают порошки железа, никеля, кобальта и некоторых других металлов.

Для получения качественных заготовок или деталей порошки предварительно отжигают, разделяют по размерам частиц, смешивают.

Отжиг порошка способствует восстановлению оксидов, удалению углерода и других примесей, а также устранению наклепа, что стабилизирует его свойства и улучшает прессуемость. Отжигу чаще подвергают порошки, полученные механическим измельчением.

Порошки размером более 50 мкм разделяют с помощью набора сит с различным сечением ячеек, а более мелкие – воздушной сепарацией. Конечные свойства порошковых изделий в значительной степени определяются качеством смешивания компонентов шихты. Эта операция обычно осуществляется в спе-



циальных смесителях, шаровых или вибрационных мельницах и другими способами.

В ряде случаев в порошковую массу вводят различные технологические наполнители, улучшающие прессуемость порошков (например, раствор каучука в бензине), обеспечивающие получение заготовок экструдированием (выдавливанием) или их механическую обработку (парафин, воск), получение заготовок литьем (спирт, бензол) и др.

Процесс формования заготовок состоит в уплотнении порошка под действием приложенного давления с целью получения из него заготовок определенной формы. Формование осуществляется прессованием, экструдированием, прокаткой.

**Прессование** обычно производится в холодных или горячих пресс-формах. Крупные заготовки получают гидростатическим способом.

*Холодное прессование* заключается в следующем: в стальную матрицу 3 (рисунок 9.2, а) пресс-формы с поддоном 1 засыпают определенное количество порошковой шихты 2 и прессуют ее пуансоном 4. При этом резко уменьшается объем порошка, увеличивается контакт между отдельными частицами, происходит механическое их сцепление. Поэтому прочность прессовки повышается, а пористость уменьшается. Недостатком такой схемы прессования является неравномерность распределения давления по высоте заготовки из-за трения ее о стенки матрицы 3. Поэтому заготовки, полученные в таких пресс-формах, обладают различной прочностью, плотностью и пористостью по высоте. Таким способом получают заготовки простой формы и небольшой высоты. Для устранения этого недостатка применяют двустороннее прессование с помощью двух подвижных пуансонов 4 (рисунок 6.2, б). При такой схеме, кроме того, давление прессования уменьшается на 30-40 %.

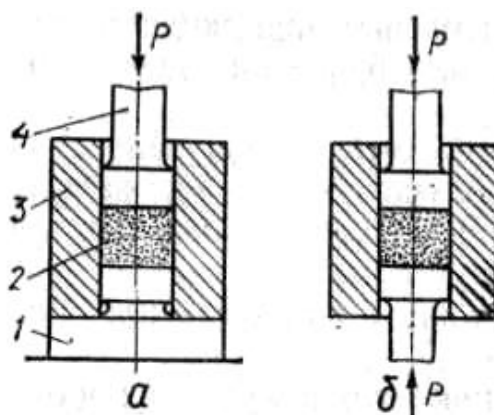


Рис. 6.2. Схема холодного прессования  
а – одностороннее; б – двустороннее

В зависимости от требуемой пористости и прочности материала заготовки, а также ее формы давление прессования составляет 0,1-1 ГПа. *Горячее прессование* совмещает формование и спекание заготовок. Этот процесс осуществляется в графитовых пресс-формах при индукционном или электроконтактном нагреве. Благодаря высокой температуре давление при горячем прессовании можно значительно уменьшить.

Горячее прессование отличается малой производительностью, большим расходом пресс-форм, поэтому применяется, главным образом, для получения заготовок из жаропрочных материалов, твердых сплавов, чистых тугоплавких металлов (W, Mo).

Гидростатическое прессование заключается в обжатии порошка, помещенного в эластичную (например, резиновую) оболочку, с помощью жидкости в гидростате под давлением до 2 ГПа. Этот метод позволяет получать крупногабаритные заготовки типа цилиндров и труб с равномерной плотностью по всему объему.

Экструдированием называется процесс формирования заготовок путем выдавливания шихты через матрицу с отверстием различного сечения (рис. 9.3). Для этого исходный порошок замешивают с пластификатором (парафином, воском) в количестве, обеспечивающем шихте консистенцию пластилина. Этим способом получают прутки, профили различного сечения. Для получения полых изделий (труб и др.) в матрице располагают соответствующую оправку.

Прокатка осуществляется путем обжатия порошковой шихты между горизонтально расположенными валками. Этим способом получают пористые и компактные ленты, - полосы и листы толщиной 0,02-3 мм и шириной до 300 мм из железа, никеля, нержавеющей стали, титана и других металлов.

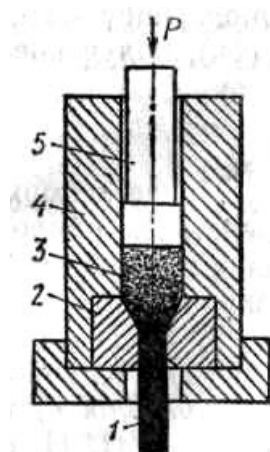


Рис. 6.3. Схема формирования порошков экструдированием  
1 – заготовка; 2 – матрица; 3 – шихта; 4 – контейнер; 5 – пуансон

Процесс прокатки легко совмещается со спеканием и другими видами обработки. Для этого полученную заготовку пропускают через проходную печь и затем подают на прокатку с целью калибровки.

Прокаткой можно получать и двухслойные заготовки (например, железо – медь). Для этого в бункере необходимо установить перегородку для разделения его на две секции вдоль валков.

Для повышения прочности, сформованные из порошков заготовки подвергаются спеканию. Эта операция осуществляется в печах электросопротивления или индукционных с нейтральной или защитной средой в течение 30-90 мин при температуре около  $\frac{2}{3}$  температуры плавления основного компонента.

В процессе спекания происходит восстановление поверхностных оксидов, развиваются диффузионные явления, образуются новые контактные поверхности.

При необходимости повышения точности размеров и уплотнения поверхностного слоя, спеченные детали подвергают *калиброванию* – дополнительному прессованию в стальных пресс-формах или продавливанию прутка через калиброванное отверстие в матрице.

Спеченные заготовки можно обрабатывать резанием – точением, фрезерованием, сверлением. В связи с их пористостью не следует применять смазывающе-охлаждающие жидкости, которые, проникая в поры, могут вызвать внутреннюю коррозию материала. Если выход пор на поверхность необходимо сохранить (например, у вкладышей подшипников), обработку спеченных деталей нужно производить хорошо заточенным режущим инструментом.

Спеченные детали из сплавов на основе железа, титана, никеля и других металлов могут также подвергаться различным видам термической или химико-термической обработки.

При конструировании деталей из порошков следует:

- не допускать значительной разностенности, так как вследствие большой усадки может произойти коробление детали;
- избегать выступов, пазов и отверстий, расположенных перпендикулярно к оси прессования;
- избегать острых углов, а в местах сопряжения элементов детали типа фланец – цилиндр предусматривать закругления радиусом не менее 0,25 мм;
- наружные и внутренние резьбы получать обработкой резанием; толщину стенок детали задавать не менее 1 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном практикуме рассмотрены современные и перспективные технологические способы производства черных и цветных металлов, изготовление заготовок и деталей машин из металлов и неметаллических материалов различными способами.

Рассмотрены существующие способы получения заготовок и деталей из различных конструкционных материалов и перспективы развития технологических процессов в машиностроении.

При изучении дисциплины «Технология конструкционных материалов» нужно учитывать все изменения, которые произошли в промышленности и вузах за последние годы, а также переход многих институтов в категорию университетов и возможность студентов получать образование на уровне как бакалавра, так и магистра.

Технология конструкционных материалов является общетехнической дисциплиной, на базе которой строится технологическая подготовка инженеров. Это комплексная наука о способах получения, переработки и обработки конструкционных материалов.

Целью преподавания дисциплины «Технология конструкционных материалов» ставится, во-первых, передача знаний о строении, физических, химических, механических и технологических свойствах конструкционных металлов и сплавов, а, во-вторых, уже о закономерностях их изменения под воздействием различных внешних факторов.

При изучении дисциплины обеспечивается фундаментальная подготовка студентов в области конструкционных материалов, происходит знакомство со структурными преобразованиями металлов и сплавов на стадиях производственного цикла.

Задачей дисциплины является получение навыка выбирать материалы и методы их упрочнения при изготовлении деталей и конструкций. Студенты должны знать структуру и строение металлов и сплавов, технологию термической и химико-термической обработки, маркировку и области применения металлов и сплавов, а также неметаллических материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воскобойников, В.Г., Кудрин, В.А., Якушев, А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. – 6-изд., перераб. и доп. –М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. - 768с.: 253 ил.
2. Структура и свойства наноструктурированных углеродистых конструкционных сталей : учебное пособие / [М. В. Чукин, Н. В. Копцева, Ю. Ю. Ефимова и др.] ; МГТУ, [каф. МиМТ]. - Магнитогорск, 2011. - 112 с. : ил, диагр., схемы, табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=72.pdf&show=dcatalogues/1/1087773/72.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный.
3. Радионова, Л.В., Шекунов, Е.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. – 217с.
4. Дубинин, Н. П. и др. Технология металлов. –Москва , «Высшая школа», 1964.
5. Вегман, Е.Ф и др. Металлургия чугуна. – Москва: - 3-изд., переработанное и дополненное. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2004 - 774 с.
6. Сосненко, М. Н, Святкин, Б. К. Общая технология литейного производства.- М.: Высшая школа, 1975.
7. Технология конструкционных материалов : учебное пособие / Л. С. Белевский, М. В. Аксенова, И. В. Белевская, Р. Р. Исмагилов ; МГТУ, [каф. ПМиГ]. - Магнитогорск, 2011. - 251 с. : ил., диагр., схемы, табл. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=509.pdf&show=dcatalogues/1/1091042/509.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-0229-9.

Учебное текстовое электронное издание

**Платов Сергей Иосифович  
Терентьев Дмитрий Вячеславович  
Амиров Руслан Низамиевич  
Ширяева Елена Николаевна**

**ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Практикум

4,97 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2020 год  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»  
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,  
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
Кафедра машин и технологий обработки давлением и машиностроения  
Центр электронных образовательных ресурсов и  
дистанционных образовательных технологий  
e-mail: ceor\_dot@mail.ru