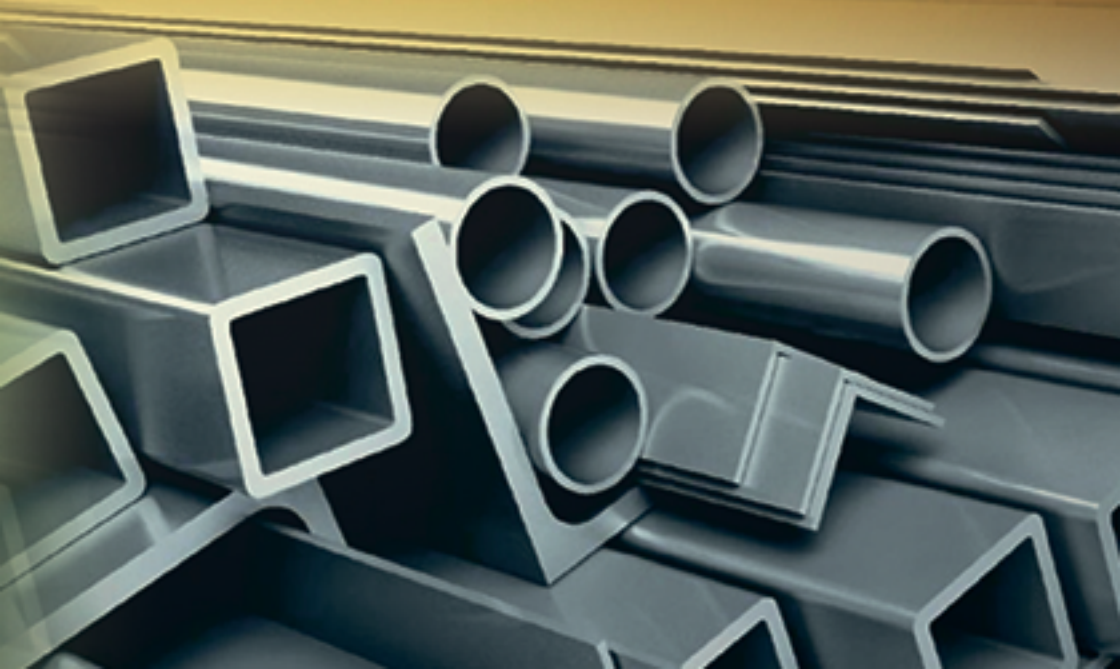


В. Н. Бутырин

# Материаловедение



**В. Н. Бутырин**

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Учебное пособие

Чебоксары  
Издательский дом «Среда»  
2020

УДК 620.22(075)  
ББК 30.3я7  
Б93

***Рецензенты***

д-р пед. наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный педагогический университет»  
*С. В. Жданова;*

канд. физ.-мат. наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»  
*И. Г. Попова*

**Бутырин В. Н.**  
**Б93 Материаловедение** : учебное пособие / В. Н. Бутырин. – Чебоксары:  
ИД «Среда», 2020. – 204 с.

**ISBN 978-5-907313-33-0**

В учебном пособии рассмотрены наиболее применяемые в машиностроении материалы, их структура, закономерности их формирования. В области металлов представлены основные их виды и комбинации в виде сплавов, практика работы с диаграммами состояния сплавов металлов и неметаллов, показана практика борьбы с коррозией, способы обработки. Раскрыта сущность композитных материалов, их применение в современном мире. Комплекс практических работ является дополнением к изложенным темам и направлен на их закрепление.

Пособие предназначено для учащихся техникумов механических и горных специальностей. Может быть использовано студентами вузов и преподавателями соответствующих направлений.

ISBN 978-5-907313-33-0  
DOI 10.31483/a-175

© Бутырин В. Н., 2020  
© ИД «Среда», оформление, 2020

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Предисловие .....</b>	<b>4</b>
<b>1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА.....</b>	<b>14</b>
<b>3. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ.....</b>	<b>17</b>
<b>4. ЧЁРНЫЕ МЕТАЛЛЫ .....</b>	<b>20</b>
<b>5. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ СПЛАВЫ .....</b>	<b>56</b>
<b>6. ПОЛИМЕРЫ .....</b>	<b>60</b>
<b>7. КОМПОЗИЦИОННЫЕ И НАНОМАТЕРИАЛЫ .....</b>	<b>65</b>
<b>8. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ .....</b>	<b>72</b>
<b>9. СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ.....</b>	<b>77</b>
<b>10. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ .....</b>	<b>120</b>
<b>Приложение .....</b>	<b>193</b>
<b>Список использованных источников .....</b>	<b>203</b>



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение» предназначено для студентов очной и заочной форм обучения и разработано для специальностей автомеханического и горно-геологического циклов дисциплин согласно ФГОС СПО соответствующих специальностей.

В учебном пособии изложены теоретические сведения о строении и свойствах материалов, диаграммы состояния основных сплавов, методы обработки металлов и борьбы с их коррозией, а также ряд практических работ по курсу.

Изучение «Материаловедения» способствует успешному формированию профессиональных компетенций специалистов среднего звена.

Практические работы направлены на совершенствование знаний, полученных на теоретических занятиях. Они развивают у студентов практические навыки проводить исследования, расчёты и контроль.

## 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Все вещества по внутреннему строению делаются на 2 основные группы: аморфные и кристаллические. Свойства, характеризующие аморфные и кристаллические тела, указаны в структурно-логической схеме, изображенной на рис. 1.

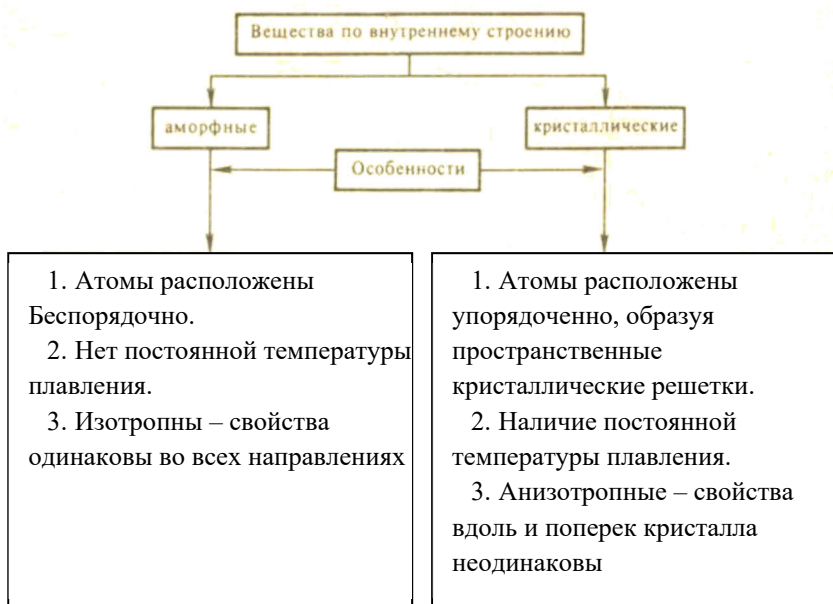


Рис. 1. Структурно-логическая схема свойств веществ

**Строение и свойства материала.** Все материалы по своей применимости делятся на три группы:

- конструкционные;
- вспомогательные;
- эксплуатационные.

Каждая из названных групп включает различные виды материалов. Среди конструкционных материалов главными являются металлы. Они условно подразделяются на два вида, представленных на рис. 2.

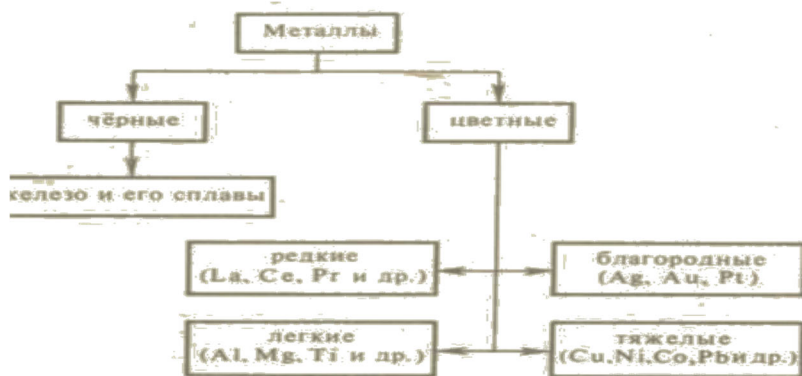


Рис. 2. Структурная схема металлов

**Строение металлов.** Всякое вещество может находиться в твёрдом, жидком и в газообразном агрегатном состоянии. Твёрдые вещества могут быть кристаллическими и аморфными. Кристаллическое вещество отличается от аморфного упорядоченным расположением атомов и ионов в материале.

Из известных в настоящее время элементов Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева 76 являются металлами. Для всех металлов и их сплавов характерно кристаллическое состояние. Металлы и их сплавы обладают рядом характерных свойств: высокими значениями тепло- и электропроводности, относительно небольшим сопротивлением электрическому току, хорошей отражательной способностью, пластичностью.

Атомы металлов характеризуются небольшим количеством (1–2) электронов на наружной электронной оболочке, поэтому их ионизационный потенциал невелик, что и объясняет лёгкость отрыва у них внешних электронов, при этом атомы превращаются в положительно заряженные ионы, «омываемые газом» из свободных коллективизированных электронов. Устойчивость металла, представляющего собой ионно-электронную систему, определяется силами притяжения и отталкивания между ионами и обобщёнными электронами, образуя металлическую связь. Поэтому в металле атомы располагаются на расстоянии друг от друга, соответствующих минимальной суммарной силе взаимодействия, образуя правильную кристаллическую решётку с минимальной энергией взаимодействия.

Кристаллическая решётка представляет собой воображаемую пространственную сетку, в узлах которой располагаются атомы (ионы).

Большинство металлов имеют кристаллическую решётку одного из трёх типов: объёмно-центрированная кубическая (**ОЦК**) – атомы расположены в вершинах куба, а один в центре его объёма (рис. 3, *а*) – металлы: К, Na, Li, Ti, Zr, W, Ta, Fe, Cr и др.; гранецентрированная кубическая (**ГЦК**) – атомы располагаются в вершинах куба и в центре каждой грани (рис. 3, *б*) – металлы: Fe<sub>α</sub>, Sr, Th, Pb, Ni, Ag, Au, Pd, Pt, Cu, Co и др.; гексагональная плотноупакованная (**ГПУ**) – атомы расположены в вершинах и в центре шестигранных оснований призмы, а три атома – в средней плоскости призмы (рис. 1, *в*) – металлы: Mg, Ti<sub>α</sub>, Cd, Os, Sn, Co<sub>β</sub> и др.

В кристалле плотность атомов в различных направлениях неодинакова, поэтому и свойства кристаллических тел зависит от направления, т.е. возникает анизотропия. Она характерна для так называемых монокристаллов.

В отличие от монокристаллов технические литые металлы являются поликристаллами, состоящими из большого количества различно ориентированных кристаллов. В этом случае анизотропии нет. Однако, после специальной механической обработки такой металл может стать анизотропным.

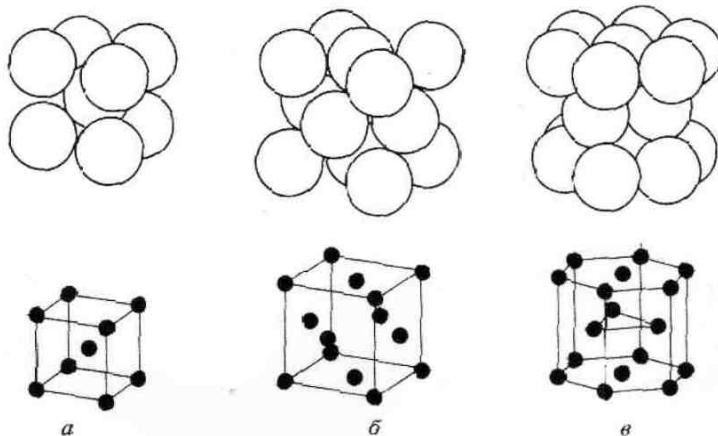


Рис. 3. Пространственные кристаллические решётки металлов: *а*) объёмно-центрированная кубическая; *б*) гранецентрированная кубическая; *в*) гексагональная плотноупакованная

Размеры кристаллической решетки характеризуются ее параметрами, измеряемыми в ангстремах – Å ( $\text{\AA} = 10^{-8}$  см или  $1\text{\AA} = 0,1$  нм).

**Кристаллизация металлов.** При переходе металла из жидкого состояния в твердое происходит так называемый процесс **кристаллизации** (рис. 4). Такая кристаллизация называется **первичной**.

### Центры кристаллизации

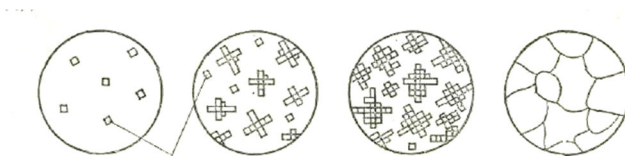


Рис. 4. Последовательные этапы процесса кристаллизации

Кристаллизация состоит из двух стадий:

- 1) образование центров кристаллизации;
- 2) рост кристаллов.

Представим процесс кристаллизации металла в виде графика кривой охлаждения (рис. 5).

Процесс кристаллизации не проходит мгновенно, а развивается постепенно. При медленном охлаждении температуры охлаждения и нагревания равны. При этом оба процесса происходят с большим выделением тепла, поэтому температура на кривой **постоянная** до тех пор, пока не кристаллизуется весь объем металла. В процессе кристаллизации происходит как зарождение новых центров кристаллизации, так и рост кристаллов одновременно.

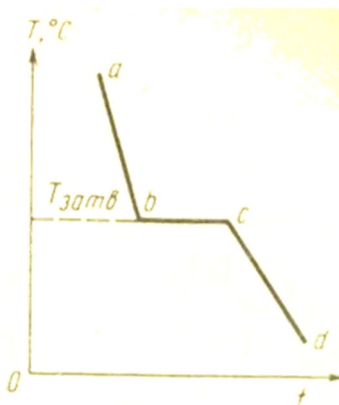


Рис. 5. Кривая охлаждения металлов:

ab – металл в жидком состоянии; bc – процесс кристаллизации;  
cd – металл в твердом состоянии

В большинстве случаев при кристаллизации металлов механизм образования кристаллов носит так называемый **дендритный характер**.

Кристаллы правильной формы называются **монокристаллами**. **Зерно** – это обособленный границами элемент поликристалла, который может иметь и правильную форму.

Дендритная кристаллизация характеризуется тем, что рост зародышей происходит с неравномерной скоростью. После образования зародышей их развитие идет главным образом в тех направлениях решетки, которые имеют наибольшую плотность упаковки атомов (минимальное межатомное расстояние).

В этих направлениях образуются длинные ветви будущего кристалла – так называемые **оси первого порядка** (1 на рис. 6).

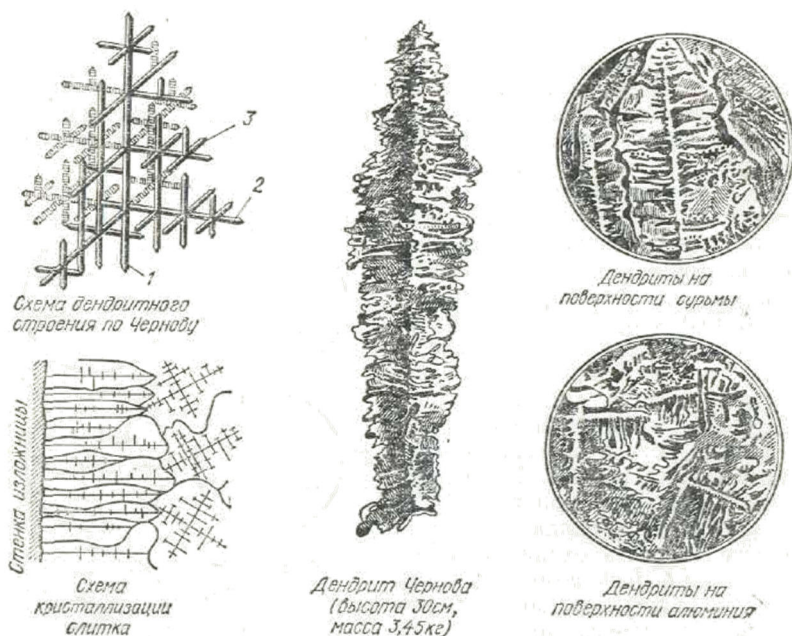


Рис. 6. Дендритная кристаллизация

От осей первого порядка под определенными углами начинают расти новые оси, которые называют **осями второго порядка** (2 на рис. 6), от осей второго порядка растут **оси третьего порядка** (3 на

рис. 6) и т.д. По мере кристаллизации образуются оси более высокого порядка (четвертого, пятого, шестого и т.д.), которые постепенно заполняют все промежутки, ранее занятые жидким металлом

**Строение слитков и отливок.** Строение стального слитка впервые было описано в 1878 г. Д.К. Черновым.

На рисунке 7 представлена структура стального слитка. Она состоит из трех зон. Вверху слитка имеется **усадочная раковина а**.

Зона I состоит из дезориентированных мелких кристаллов – дендритов, образовавшихся при интенсивном охлаждении у стенок изложницы, поскольку в пограничном слое жидкого металла происходит резкий перепад температур и переохлаждение, благодаря чему возникает большое количество центров кристаллизации. Эта оболочка имеет мелкозернистое строение.

Зона II – зона столбчатых кристаллов. Зона III – зона равноосных, крупных кристаллов.

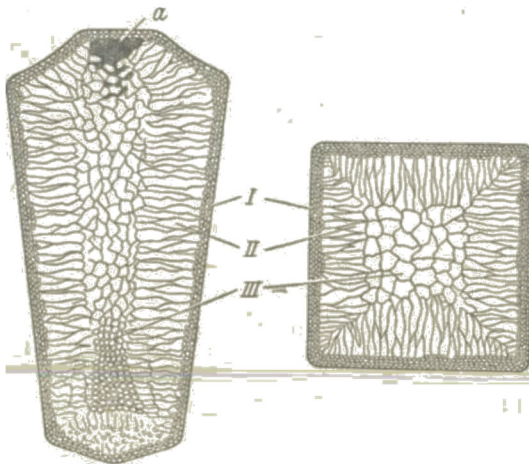


Рис. 7. Схема строения стального слитка

Свойства металлов в значительной мере зависят от размеров зерен. Металлы, имеющие **мелкозернистое строение**, обладают более **высокими механическими свойствами и лучшей обрабатываемостью**, чем металлы с крупным зерном.

Величина зерен зависит от: **числа центров кристаллизации и скорости роста кристаллов.**

**Чем больше центров кристаллизации,** тем больше кристаллов образуется в данном объеме и каждый **кристалл (зерно) меньше.**

На образование центров кристаллизации влияет скорость охлаждения.

**Чем больше скорость охлаждения металла,** тем больше возникает в нем центров кристаллизации, и **зерна получаются мельче** (рис. 8).

Методом получения мелкого зерна при затвердевании металла является создание искусственных центров кристаллизации.

Для этого в расплавленный металл вводят специальные вещества, называемые **модификаторами**. Процесс искусственного регулирования размеров зерен получил название **модифицирования**.

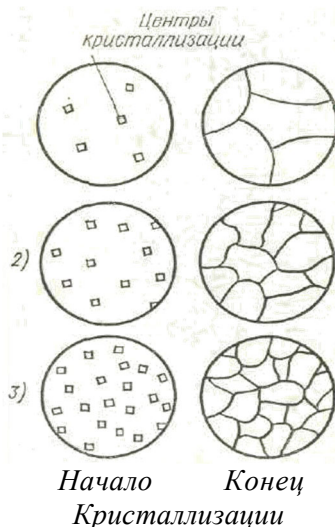


Рис. 8. Влияние скорости охлаждения на возникновение центров кристаллизации и на величину образующихся зерен:

1 – медленное охлаждение, 2 – ускоренное охлаждение,  
3 – быстрое охлаждение

### Дефекты кристаллической решетки металлов

Рассмотренные выше кристаллические решетки являются идеальными. Однако в реальных условиях в металлах в их твёрдом состоянии имеют место диффузионные процессы, то есть перемещение атомов из своих нормальных положений.



Различают три типа дефектов кристаллического строения: *точечные, линейные и поверхностные*.

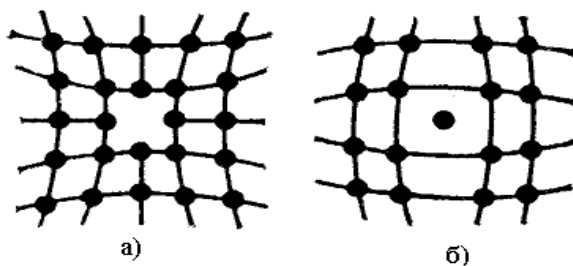


Рис. 9. Точечные дефекты: а – вакансии; б – дислокации

**Точечные дефекты** – это наличие свободных мест (отсутствие атомов) в узлах кристаллической решетки из-за смещения атомов (вакансий) и соответственно вакансиям – дислокации, то есть наличие дислоцированных атомов в межузловых промежутках.

**Линейные дефекты** – это цепочки вакансий в одном направлении (рис. 10).

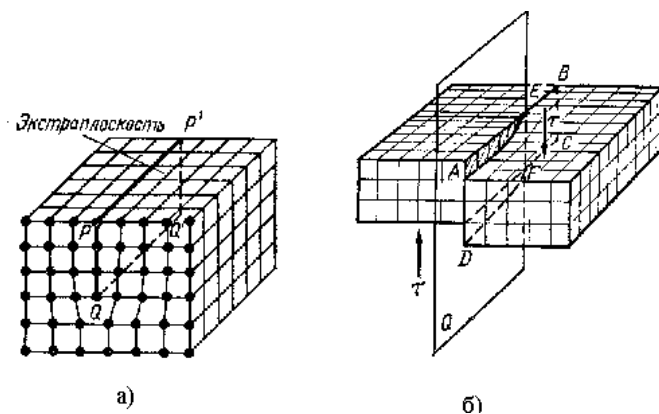


Рис. 10. Линейные дефекты: а – краевые дислокации; б – винтовая дислокация

**Поверхностные дефекты** – наиболее характерны для границ зёрен и блоков, дефекты «паковки» кристаллов. Строение переходного слоя (границы) способствует скоплению в нём дислокации, так как при переходе через границу плоскость скольжения не сохраняется неизменной (рисунок 11).

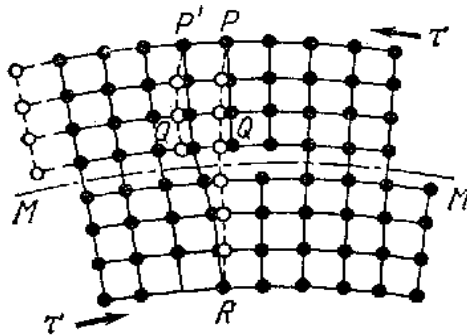


Рис. 11. Схема пластической деформации путем последовательного перемещения дислокаций

*Таким образом, имеем, что пластическая деформация происходит под действием касательных напряжений в результате перемещения небольшого числа атомов в области дислокации или иначе перемещения дислокации. При упругом деформировании происходит незначительное изменение расстояния между атомами в кристаллической решётке металла.*

## 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА

### Строение и свойства металлов и сплавов

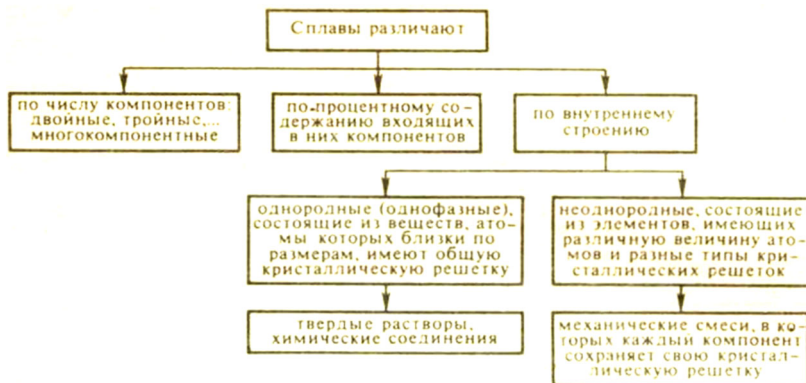


Рис. 12. Классификация сплавов

**Металлическим сплавом** называется сложное вещество, состоящее из двух или более компонентов, полученное путем сплавления.

**Компонентами** называются химические элементы или химические соединения, образующие сплав.

Сплавы могут состоять из нескольких металлов или металлов и неметаллов. В технике металлы и их сплавы обычно относят к одной группе материалов – к металлам.

В жидком состоянии большинство сплавов однородны и в физико-химическом понимании представляют одну *фазу*. После затвердевания в сплаве может образоваться несколько фаз. Количество фаз и их природа определяются характером взаимодействия компонентов сплава при затвердевании.

**Фаза** – это однородная часть сплава, характеризующаяся определённым составом, свойствами, типом кристаллической решетки.

Компоненты, входящие в сплав в жидком состоянии, полностью растворимы друг в друге, т.е. представляют собой *жидкий раствор*, в котором атомы различных элементов более или менее равномерно перемешаны друг с другом (рис. 13, а).

В твёрдом состоянии сплавы могут быть в виде (рисунок 13, б, в, г):

- 1) химического соединения;
- 2) твёрдого раствора;

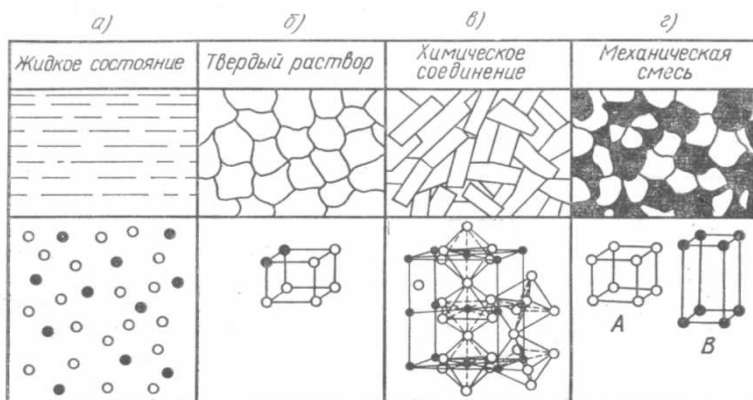
3) механической смеси.

Если компоненты сплава растворяются друг в друге, то образуются так называемые **твердые растворы**. При этом атомы растворимого компонента либо замещают атомы растворителя в его кристаллической решетке, либо внедряются в нее.

Такие сплавы являются однофазными и состоят из зерен твердого раствора с кристаллической решеткой компонента-растворителя.

Если при затвердевании компоненты сплава не взаимодействуют друг с другом, то образуется **механическая смесь** зерен каждого из компонентов. Механическая смесь сплава может состоять из двух и большего числа фаз. При этом каждая из фаз сохраняет свой тип кристаллической решетки.

Ряд компонентов при затвердевании может вступать в химическое взаимодействие и образовывать **химические соединения** как металлов с неметаллами (например, карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ), так и металлов с металлами (например,  $\text{CuAl}_2$ ); последние обычно называют **металлическими** соединениями.



1. Сплав однородный, одна кристаллическая решетка

2. Свойства улучшенные

1. Сплав однородный, одна кристаллическая решетка

2. Свойства новые

1. Сплав неоднородный, каждый компонент сохраняет свою кристаллическую решетку

2. Свойства компонентов сохраняются

Рис. 13. Структура и строение элементарной ячейки пространственной кристаллической решетки различных сплавов из двух металлов **A** и **B**: ● – атомы металла **A**; ○ – атомы металла **B**

Таким образом, фазами в сплавах могут быть: чистые компоненты, твердые растворы или химические (металлические) соединения. Комбинации этих *фаз* образуют структурные составляющие сплавов, характеризующиеся однородным строением.

### Кривые охлаждения сплавов

*Первичной кристаллизацией* называется процесс перехода сплава из жидкого состояния в твердое состояние.

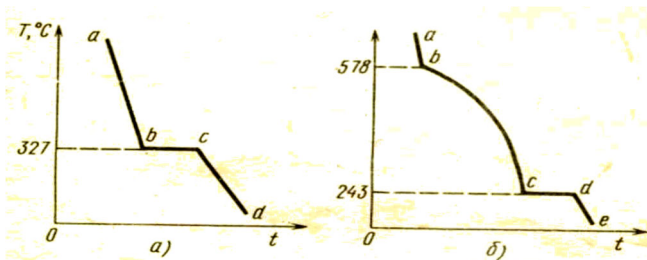


Рис. 14. Кривые охлаждения: а – чистый металл (свинец);  
б – сплав (свинец и сурьма)

Сравним процесс кристаллизации чистого металла и кристаллизации сплава (рис. 15).

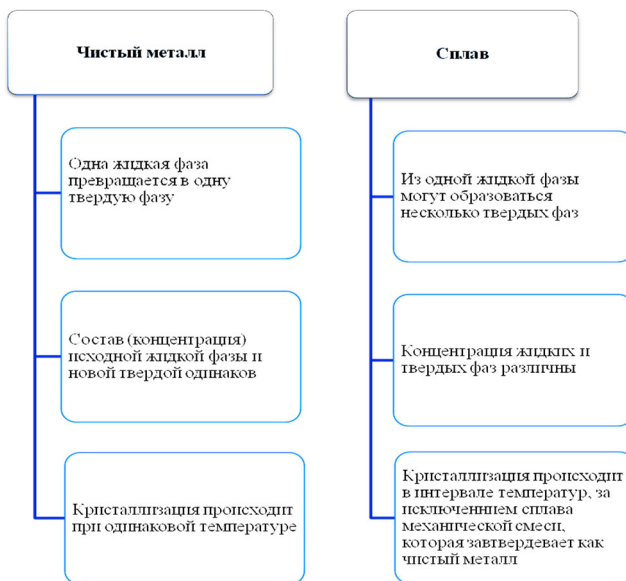


Рис. 15. Процессы первичной кристаллизации

### 3. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

**Диаграмма состояния сплава** представляет собой графическое изображение состояния сплава и показывает превращения, протекающие в сплавах в зависимости от температуры и концентрации элементов.

По вертикали диаграммы состояния откладываются температуры, а по горизонтали концентрация компонентов.

Зависимость агрегатного или фазового состояния сплавов от их состава и температуры определяют экспериментально путем определения критических точек превращений в сплавах по кривым нагрева (охлаждения). По полученным данным строят диаграммы состояния, отражающие связь между состоянием сплавов, их составом и температурой, а также фазовые превращения, происходящие в сплавах при нагреве и охлаждении.

#### **Диаграмма состояния сплавов – твердых растворов**

На рисунке 16 приведена диаграмма состояния сплавов, компоненты которых *A* и *B* обладают неограниченной растворимостью друг в друге.

По вертикали располагают шкалу температур, по горизонтали – ось концентраций компонентов.

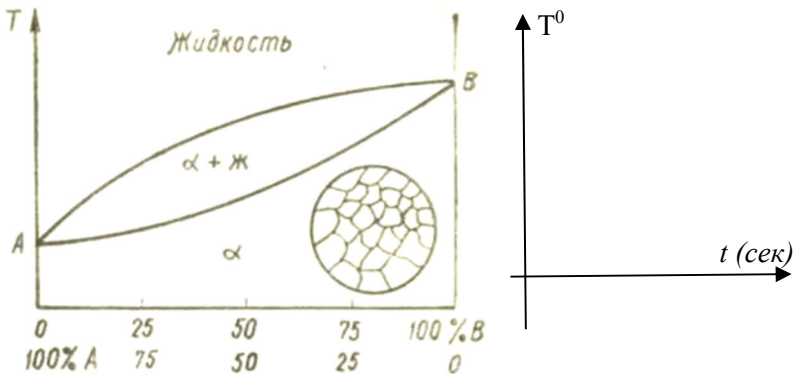


Рис. 16. Диаграмма состояния сплавов – твердых растворов

Диаграмма состояния сплавов – твердых растворов состоит из двух линий: верхней – *ликвидус* (от лат. *liquidus* — жидкий) и нижней – *солидус* (*sotidus* – твердый).

**Линия ликвидус** – это линия, выше которой сплавы находятся в однофазном жидком состоянии.

**Линия солидус** – это линия, ниже которой сплавы находятся в однофазном твердом состоянии состоят из зерен твердого раствора компонентов *A* и *B*.

Между линиями ликвидус и солидус – двухфазном состоянии (кристаллы твердого раствора и жидкость) и ниже линии солидус – в однофазном твердом состоянии.

**Вывод:** как видно из диаграммы, сплавы – твердые растворы в отличие от чистых компонентов затвердевают и плавятся в интервале температур между линиями ликвидус и солидус. Причем температуры начала и конца все время изменяются в зависимости от концентрации компонентов.

### **Диаграмма состояния сплавов-смесей**

Сплавы-смеси также затвердевают и плавятся в интервале температур между линиями ликвидус *ACB* (рис. 17) и солидус *DCF*. И только сплав, соответствующий концентрации точки *C*, плавится, как и чистые компоненты, при постоянной температуре. После затвердевания этот сплав состоит из смеси (рис. 17) мелких зерен обоих компонентов *A* и *B*. Такая смесь называется **эвтектикой (Э)**, сплав с такой структурой – **эвтектическим**, а точка *C* – **эвтектической точкой**.

Соответственно сплавы, расположенные левее точки *C*, называются **доэвтектическими**, правее – **заэвтектическими**.

Затвердевание доэвтектического сплава *I* начинается в точке *1* на линии ликвидус *AC* выпадением кристаллов избыточного компонента *A*. Поэтому в интервале между точками *1* и *2* жидкая фаза сплава обедняется компонентом *A* и соответственно обогащается компонентом *B*. При температуре точки *2* сплав состоит из кристаллов компонента *A* и жидкой фазы, концентрация которой достигла эвтектического состава и поэтому затвердевает с образованием эвтектики (рис. 17).

Процесс затвердевания заэвтектического сплава *III* отличается от рассмотренного тем, что в нем на линии ликвидус *CB* в точке *3* начинают выделяться кристаллы компонента *B*. Поэтому после затвердевания (точка 4) структура этого сплава состоит из кристаллов *B* и эвтектики. При нагревании рассмотренные процессы происходят в обратном порядке.

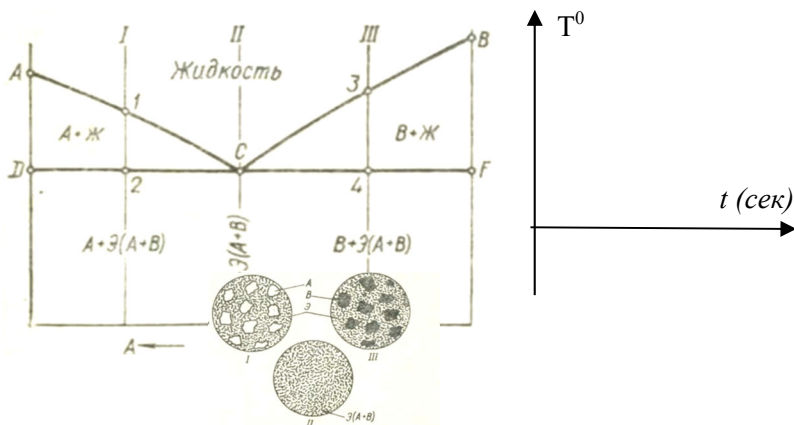


Рис. 17. Диаграмма состояния сплавов-смесей

**Вывод:** как видно из диаграммы, сплавы – механическая смесь затвердевает и плавится в интервале температур между линиями ликвидус и солидус. Причем температуры начала кристаллизации все время изменяются в зависимости от концентрации компонентов, а температура конца кристаллизации постоянная и не зависит от концентрации компонентов. Кроме того, в сплаве механическая смесь существует такая концентрация компонентов, при которой сплав кристаллизуется как чистый металл – эвтектика.

### Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение сплаву.
2. Что такое компонент, фаза?
3. Перечислите типы сплавов.
4. Что называется твердым раствором?
5. Что представляют собой твердые растворы замещения и внедрения?
6. Приведите объяснение твердого раствора, механической смеси, химического (металлического) соединения.
7. Объясните принцип построения диаграмм состояния.
8. Что называется линией ликвидуса и солидуса?
9. В каких сплавах образуется эвтектика и что она собой представляет?
10. Какими свойствами обладает эвтектический сплав.
11. Какое практическое значение имеют диаграммы состав – свойства?



## 4. ЧЁРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

**Компоненты металлургического процесса.** В природе металлы в чистом виде встречаются сравнительно редко. Исключение составляют благородные металлы – золото, серебро, платина, ртуть и др. Из важных для современной техники металлов лишь немногие содержатся в земной коре в больших количествах (алюминий – 7,8%, железо – 4,65%, магний – 2,1%, титан – 0,63%). Ресурсы благородных и редких металлов исчисляются тысячными долями процента. Основная же масса металлов содержится в земной коре в виде химических соединений с другими химическими элементами и задачей металлургов является выделение металлов из этих соединений.

Особую роль в современном производстве играют чёрные металлы, на долю которых в мировом производстве приходится более 90%, а объём их производства является одним из основных показателей уровня развития страны.

Для осуществления металлургических процессов необходимы различные сырые материалы. К ним относятся руда, топливо, флюсы, а также различные огнеупорные материалы.

В качестве **руды** для производства чёрных металлов используют магнитный железняк  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , бурый железняк  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и шпатовый железняк  $\text{FeCO}_3$ . После обогащения её на обогатительных фабриках железные концентраты подвергают либо спеканию в агломерат, либо окомковывают в окатыши, то есть готовят кусковую шихту для доменной печи.

**Топливо для доменной печи** – это органическое вещество, при сжигании которого внутри металлургического агрегата выделяется достаточное для ведения процесса количество теплоты, а также образуются газы, участвующие в восстановлении железа. В металлургических печах используют в качестве топлива **кокс**.

Кокс, как важнейший вид твёрдого топлива, представляет собой твёрдую пористую массу, получаемую сухой перегонкой коксующихся сортов каменного угля при температуре 1000–1100°C без доступа воздуха.

**Флюсы** – это специальные материалы, загружаемые в плавильную печь, для перевода пустой породы в легкоплавкий шлак. Шлак имеет значительно меньшую плотность и температуру плавления, чем у извлекаемого металла. Он служит для защиты расплавлен-

ного металла от контакта его поверхности с печными газами и воздухом, а так же, как среда, в которую переходят вредные примеси из металла.

**Огнеупорные материалы** предназначены для футеровки рабочего пространства доменной печи в зоне ведения плавки.

**Доменный процесс. Производство чугуна.** Чугун традиционно выплавляют в печах шахтного типа – доменных печах. Это агрегаты непрерывного действия, в которые с определённой частотой загружают предварительно подготовленные компоненты – рудный агломерат, кокс и флюсы. Загрузка материалов в доменные печи механизирована и автоматизирована.

Доменная печь является мощным и высокопроизводительным агрегатом, в котором расходуется огромное количество шихты и дутья. Современная, наибольшая по размерам доменная печь объёмом 5500 м<sup>3</sup> ежедневно расходует примерно 23000 т шихты, 18000 т дутья, 1700 т природного газа и выдаёт 12000 т чугуна, 4000 т шлака и 27000 т колошникового газа.

Устройство доменной печи показано на рис. 2. Современная доменная печь – это сооружение высотой 28...35 м и диаметром в самом широком месте (распоре) до 15 м. Очертание рабочего пространства (профиль печи) создаётся огнеупорной кладкой. Прочность кладке придаёт стальной кожух. Через колошник 6 с помощью специального загрузочного устройства – засыпного аппарата 7 ведётся загрузка шихтовых материалов. Двухконусный засыпной аппарат обеспечивает при своём вращении равномерное распределение шихтовых материалов по сечению колошника печи. Так как в нижней части печи происходит сгорание кокса и восстановление шихтовых материалов, новые порции шихты могут постепенно опускаться, то есть, в пространстве печи столб шихты медленно движется вниз, омываясь потоком раскалённых газов, движущихся вверх. В шахте 5 печи шихта нагревается и в нижних зонах шахты, а также в распоре 4 (самая широкая часть доменной печи) и заплечиках 3 происходит восстановление железа, которое каплями стекая в горн 11 через слой кокса и шлака науглероживается и образуется чугун.

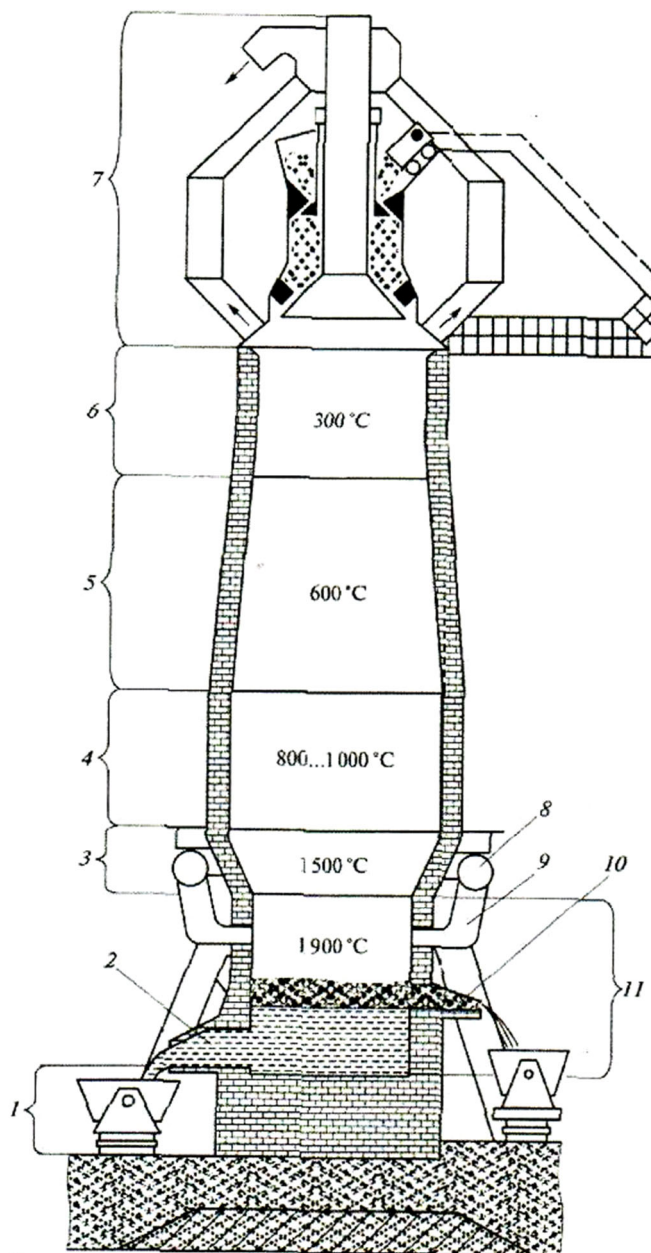
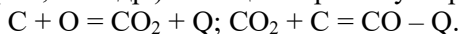


Рис. 2. Доменная печь:

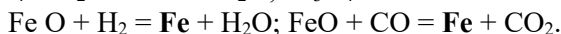
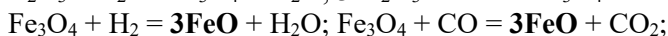
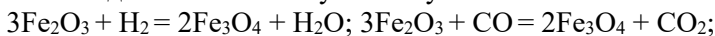
1 — лещадь; 2 — чугунная летка; 3 — заплечики; 4 — распар; 5 — шахта; 6 — колошник; 7 — засыпной аппарат; 8 — газозадуховод; 9 — фурма; 10 — шлаковая летка; 11 — горн

В верхней части горна расположены фурмы 9 – устройства, через которые в доменную печь вдувается подогретый воздух, газ природный для обеспечения горения кокса в нижней части природный газ для печи. Фурмы распределены равномерно по окружности горна. Для поддержания высокой температуры в печи и уменьшения потерь теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, воздух перед вдуванием в доменную печь подогревают в специальных устройствах – воздухонагревателях до 1000...1200°C. Накапливающиеся в горне чугун и шлак, имеющие температуру до 1500°C периодически выпускают из печи. Для выпуска жидкого чугуна служит чугунная лётка 2, а для выпуска шлака – шлаковая лётка 10. Нижняя часть печи (лещадь 1) представляет собой мощную кладку толщиной до 5,5 м. Лещадь и горн – это области нахождения расплавленного чугуна, поэтому их выкладывают из качественного (доменного) шамотного кирпича (повышенные плотность, прочность, огнеупорность) в сочетании с углеродистыми блоками (изготавливают из кокса и антрацита). Огнеупорным бетоном и др.

Доменная печь работает по принципу противотока: сверху вниз опускается столб шихтовых материалов, загружаемых в печь, а снизу вверх навстречу поднимаются горновые газы – продукты сгорания кокса (CO, H<sub>2</sub> и др.). Реакция горения углерода кокса:



Основным процессом в доменной печи является восстановление железа из оксидов железа и получения губчатого железа:



Побочными продуктами доменной плавки являются доменный шлак и колошниковый газ.

Доменный шлак применяется для производства строительных материалов (шлаковаты, шлакобетона...).

Колошниковый газ после очистки используется как топливо на ТЭЦ под названием доменный газ.

В результате восстановления железа, марганца, кремния, фосфора и других элементов в нижней части доменной печи образуется ванна жидкого расплава железа со всеми этими элементами, то есть чугун.

Чугун, его состав и применение. Чугун – сплав (твёрдый раствор) железа с углеродом (до 6,14% С), в котором содержатся примеси кремния (до 4,3%), марганца (до 2%), серы (до 0,07%) и фосфора (до 1,2%).

Углерод, кремний и марганец придают чугуну весьма большую механическую прочность. Углерод, сера и фосфор придают хрупкость. Вредными компонентами считаются сера и фосфор. Задача доменщика как можно меньше серы и фосфора оставить в чугуне и перевести их в состав шлаков.

В зависимости от получаемого химического состава чугуны классифицируют по назначению как литейные, специальные и переплавочные.

**Литейные чугуны** предназначены для получения чугунных отливок. Эти чугуны поступают в литейные цеха в виде чушек – небольших слитков, получаемых из жидкого чугуна. Поступающие на литейные заводы чушки чугуна переплавляют для получения фасонных отливок.

Процесс получения фасонных отливок сложный и состоит из ряда основных и вспомогательных операций, выполняемых в определённой последовательности: изготовление моделей и оснастки, приготовление формовочных смесей, изготовление формы, плавка металла, заливка металла в форму, затвердевание отливки, выбивка отливки из формы.

Модель служит для получения в литейной форме отпечатка, соответствующего конфигурации отливки. Модель является копией отливки, но отличается от неё несколько увеличенными размерами, учитывающие припуски на механическую обработку и усадку металла.

Изготовление формы отливки или формовка – основная наиболее сложная и ответственная операция. Эта операция осуществляется в опоках – жёстких рамках из стали, чугуна или силумина. В большинстве случаев используется две опоки, которые скрепляются штырями, устанавливаемыми в проушины.

При ручной формовке в две опоки сначала изготавливают нижнюю полуформу. Для этого в опоку засыпается специально подготовленную формовочную смесь и уплотняется, затем устанавливается на поверхность уплотнённой в опоке смеси модель отливки, которая обсыпается смесью и уплотняется до середины модели по горизонтальной плоскости. При этом середина модели должна

находиться на поверхности, полностью заполненной формовочной смесью опоки. После этого модель удаляется из опоки.

Аналогично изготавливается верхняя полуформа. Для этого модель в верхней полуформе устанавливается её другой стороной. Плоскость разъёма полуформ посыпают специальной разделительной смесью, верхнюю полуформу устанавливают на нижнюю полуформу, перевернув её на  $180^\circ$ , и полуформы скрепляются между собой. В результате в форме образуется полость, соответствующая наружным очертаниям отливки, внутренние очертания отливки формируются с помощью специальных стержней, изготовленных из формовочных смесей иного состава.

Жидкий металл, полученный в плавильном агрегате, заливают в полость формы по каналам литниковой системы, специально сформированной в верхней полуформе. После затвердевания отливки, опоку разъединяют и извлекают из неё готовую отливку.

**Специальные чугуны** (ферросплавы) выплавляются с высоким содержанием легирующих элементов, например, кремния или марганца при выплавке ферросилиция или ферромарганца. Природно-легированные чугуны выплавляются из руд, имеющих в своём составе ценные примеси (хром, никель, ванадий, титан и др.). Такие чугуны используются для получения отливок со специальными свойствами.

**Передельные чугуны** используют для производства стали. На долю передельных чугунов приходится 80...85% всего выплавляемого в доменных печах чугуна.

#### 4.1. Диаграмма состояния железо-цементит.

##### Железо и его сплавы

Железо – серебристо-светлый металл, имеющий атомную массу 95,85,  $t_{пл} = 1535^\circ$ , прочность  $\sigma_v = 250$  МПа, высокую пластичность  $\delta = 50\%$ . По своему распространению в земной коре железо составляет 5%, т.е. занимает 4-е место.

Структура железа в нормальных условиях – объемно центрированный куб. Она устойчива до  $t=910^\circ$ . Железо имеет несколько модификаций, т.е. аллотропических видоизменений **Fe $_{\alpha}$  – 9 атомов ОЦК; Fe $_{\gamma}$  – 14 атомов ГЦК** (рис. 19).

**Аллотропией** называется способность металлов в твердом состоянии иметь различные кристаллические решетки при различных температурах. Такой процесс называется **вторичной кристаллизацией**.

Аллотропия железа происходит при температуре  $910^{\circ}$  из  $\text{Fe}_{\alpha}$  (альфа-железо 9 атомов) в  $\text{Fe}_{\gamma}$  (гамма-железо 14 атомов).

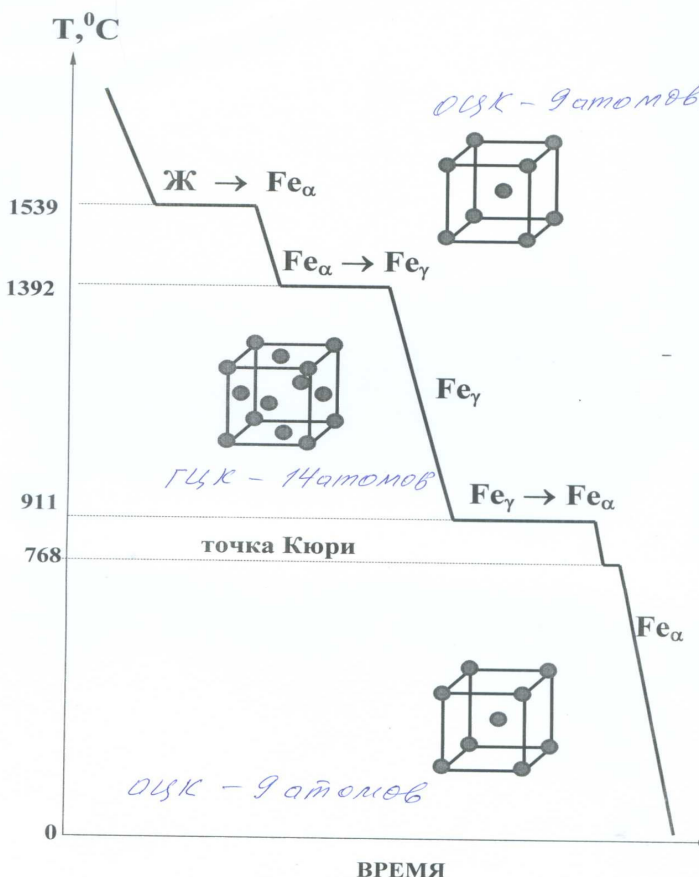


Рис. 19. Кривая охлаждения железа

В зависимости от этого характера взаимодействия железа в различных модификациях с углеродом образуются все три вида сплавов железа с углеродом, о которых было сказано выше, а именно: химическое соединение, твердый раствор и механическая смесь.

#### **4.2. Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов**

**1. Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо.** Атомы углерода внедрены в кристаллическую решетку железа. Растворимость углерода в  $\alpha$ -железе 0,02%, наибольшая растворимость – **0,1% при 727°C**. Поэтому феррит – это почти чистое железо. Оно имеет малую твердость и прочность, но высокую пластичность. Хорошо деформируется в холодном состоянии. При нагревании феррит устойчив до  $t = 911^\circ$ . Он мягкий (НВ 60–100), пластичный  $\delta = 40\%$ , сильно магнитен, хорошо проводит тепло и электричество, прочность  $\sigma_B = 250$  МПа.

**2. Аустенит (А) – тоже твердый раствор внедрения углерода, но в  $\gamma$ -железе.** Здесь атомы углерода внедрены в кристаллическую решетку, но  $\gamma$ -железа. Растворимость углерода в  $\gamma$ -железе, намного больше, чем в  $\alpha$ -железе. Она достигает максимально **2,14% при температуре 1147°C**. В железоуглеродистых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Учитывая, что  $\gamma$ -железо образуется при  $t=727^\circ\text{C}$  и выше, то и аустенит может существовать при высоких температурах (727–1539°C). По пластичности он соизмерим с ферритом, но по твердости примерно в 2 раза выше феррита. Аустенит имеет твердость НВ 160–200 и весьма пластичен ( $\delta = 40\text{--}50\%$ ),  $\sigma_B = 450$  МПа

**3. Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ).** В цементите содержится 6,67% углерода. Температура плавления цементита около 1600°C. Он очень тверд (НВ~800), хрупок и практически не обладает пластичностью ( $\delta = 0\%$ ). Цементит неустойчив и в определенных условиях распадается, выделяя свободный углерод в виде графита по реакции  $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$ .

**4. Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид, т.е. подобный эвтектике, но образующий из твердой фазы) феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода.** Перлит может быть пластинчатым и зернистым (глобулярным), что зависит от формы цементита (пластинки или зёрна) и определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности  $\sigma_B = 800$  МПа; относительное удлинение  $\delta = 15\%$ ; твердость НВ = 160.



**5. Ледебурит (Л) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, содержащая 4,3% углерода.** Ледебурит образуется при затвердевании жидкого расплава при 1147°C. Ледебурит имеет твёрдость HB 600–700 и большую хрупкость. Поскольку при температуре 727°C аустенит превращается в перлит, то это превращение охватывает и аустенит, входящий в состав ледебурита. Вследствие этого при температуре ниже 727°C ледебурит представляет собой уже не смесь аустенита с цементитом, а смесь перлита с цементитом.  $\sigma_B = 250$  МПа.

**Основными структурными составляющими железоуглеродистых сплавов являются: феррит, аустенит, цементит, ледебурит, перлит.**

#### ***Диаграмма состояния железо-цементит***

Все многообразие сплавов железа с углеродом обычно представляется на диаграмме состояния сплава железо-углерод, по оси абсцисс, которой откладывается содержание углерода от 0–6,67%, называемого цементитом, а по оси ординат критические точки температурных изменений в каждом конкретном сплаве, а именно температуры плавления и затвердевания, температуры изменений структуры в нагретом сплаве – их начало и конец (рис. 20, 21).

#### ***Практическая значимость диаграммы сплава железо-углерод***

1. Диаграмма позволяет дать четкую и научную классификацию железоуглеродистых сплавов на два класса: стали и чугуны.
2. Диаграмма позволяет выбирать и обосновывать температурный режим термической обработки деталей машин и заготовок для улучшения механических свойств.
3. Диаграмма позволяет вести подбор материалов для замены деталей при их ремонте, а также обосновывать выбор способов восстановления изношенных поверхностей деталей.
4. Диаграмма позволяет предсказать структуру и свойства деталей и изделий после воздействия температуры.
5. Диаграмма может быть использована при разработке методики установления очага пожара по изменению структуры металлов (деталей, прошедших термическую обработку).

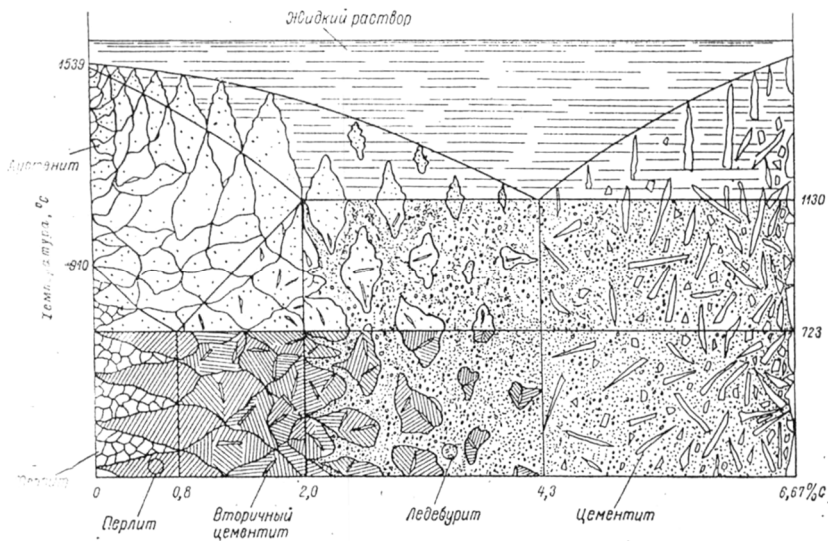


Рис. 20. Диаграмма структурных составляющих цементитной системы



Рис. 21. Диаграмма состояния железо-цементит

Как видно из представленных диаграмм наиболее характерными точками диаграммы являются:

- температура плавления чистого железа, равная  $1539^{\circ}\text{C}$  и плавления цементита, равная  $1600^{\circ}\text{C}$ ;
- температура конца затвердевания всех сплавов (ECF), равная  $1147^{\circ}\text{C}$ ;

– температура начала аллотропических превращений  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо (и обратно), равная  $910^{\circ}\text{C}$ ;

– температура конца аллотропических превращений,  $\alpha$ -железа в  $\gamma$ -желез и обратно, равная  $727^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, можно констатировать, что прямая линия EF, соответствующая температуре  $1147^{\circ}\text{C}$ , показывает, что для всех сплавов железа с углеродом с содержанием его свыше 2,14% конец кристаллизации происходит при одной и той же температуре.

Прямая линия PSK, соответствующая температуре  $723^{\circ}\text{C}$ , показывает, что конец вторичных превращений  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо происходит во всём диапазоне сплавов Fe-Fe<sub>3</sub>C при одной и той же температуре.

Кристаллизация для всех сплавов начинается при снижении температуры по линии АСД. Металл начинает твердеть. Эта линия обычно называется линией **ликвидуса** (линией жидкости). При этом для сплавов с содержанием углерода 4,3% начинает выделяться в твёрдом виде **аустенит** по линии AC, а для сплавов с C 4,3% по линии CD выделяется **цементит**. Значит в области ACE будем иметь жидкий металл и кристаллы аустенита, а в области CDF жидкий металл и кристаллы цементита. Линия AECF линия конца кристаллизации. Ниже её сплавы во всём их диапазоне содержания углерода находятся только в твёрдом состоянии (линия **солидуса**). Для сталей (C = 2,14%) ниже линии AE образуется однородная структура аустенит (по имени английского учёного Р. Аустена).

Для чугунов (C = 2,14–6,67%) структура сплава ниже линии ECF. также отличается друг от друга, так как на диаграмме имеем два участка: по линии EC и DF. Ниже линии EC, поскольку выше был твердый раствор (аустенит) он и затвердеет, с выделением вторичного цементита и будет присутствовать ледебурит (эвтектика), образовавшаяся в точке C.

Ниже линии CF будет первичный цементит и ледебурит (по имени немецкого учёного А. Ледебура). Дальнейшие изменения структуры сплавов происходят при понижении температуры уже в твёрдых металлах, т.е. при вторичной кристаллизации металлов, связанной с переходом  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо по линиям диаграммы GSE и PSK Линия GS показывает начало превращения аустенита в феррит. Поэтому в области GSP структура металла будет состоять

из аустенита и феррита. Линия SE показывает снижение растворимости углерода в железе с понижением температуры. Если в точке E при температуре 1147°C растворимость углерода максимальная и достигает 2,14%, то в точке S при температуре 727°C она составляет всего 0,83%. Следовательно, во всех сталях в интервале концентраций углерода от 0,81% до 2,14% из аустенита выделяется избыточный углерод в виде цементита называемого вторичным. Поэтому структура стали, состоит из аустенита и вторичного цементита. Точка S является концом равновесного существования аустенита и называется эвтектоидной точкой. Она делит стали на доэвтектоидные с содержанием C = до 0,81% и заэвтектоидные C = 0,81–2,14%. При охлаждении аустенита с содержанием углерода 0,81% образуется эвтектоидная смесь, называемая ПЕРЛИТОМ. В связи с этим в остывших структурах можно наблюдать:

- феррит + перлит в сталях с содержанием C до 0,81%;
- перлит + цементит вторичный в сталях с содержанием C = 0,81–2,14%;
- перлит + ледебурит + вторичный цементит в чугунах с C = 2,14–4,43%;
- ледебурит + цементит первичный C = 4,3–6,67%.

Итак, рассматривая превращения в железоуглеродистых сплавах по диаграмме состояния, можно отметить следующие особенности:

- точки C и S являются характерными точками структурных превращений. Выше точки C находится жидкий раствор, а выше точки S твёрдый раствор;
- в точке C сходятся линии, указывающие на начало выделения кристаллов аустенита и цементита из жидкого раствора с образованием эвтектики (ледебурита);
- в точке S сходятся линии, указывающие на начало выделения кристаллов феррита и вторичного цементита и из твёрдого раствора образуется механическая смесь – перлит.

Повышение содержания углерода в доэвтектоидной стали вызывает повышение её твердости и прочности и в тоже время снижение пластичности и вязкости. В заэвтектоидных сталях увеличение содержания углерода ведёт к дальнейшему повышению твёрдости, но пластичность и вязкость снижаются ещё в большей степени. Все описанные выше структуры стали – феррито-перлитная, перлитная и перлито-цементитная обратимы при нагревании.

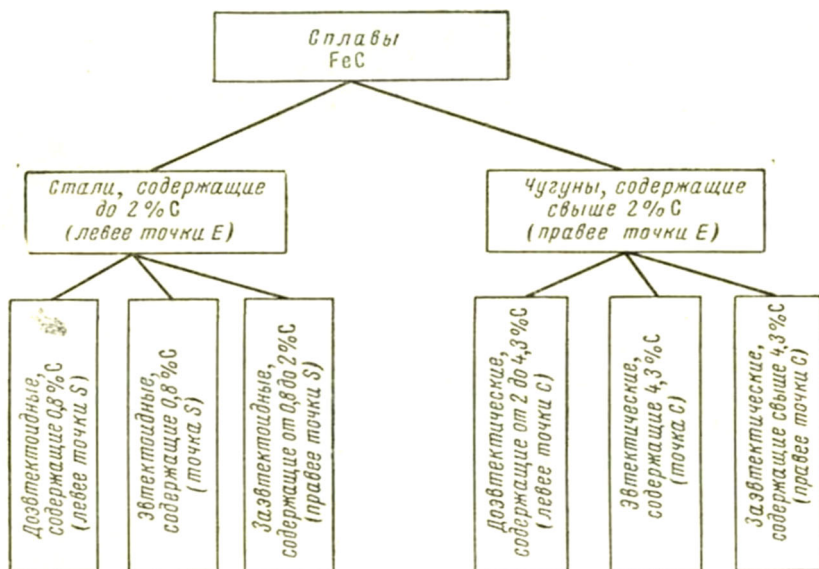


Рис. 22. Классификация железоуглеродистых сплавов по диаграмме Fe–Fe<sub>3</sub>C

Таблица 1

Точки, линии	Температура С°	Содержание углерода, %	Что происходит
D	1600	6,67	Температура кристаллизации – плавления цементита
A	1539	0	Температура кристаллизации – плавления железа
C	1147	4,3	Образование эвтектики чугуна – ледебурита
E	1147	2,14	Максимальное растворение углерода в аустените
G	910	0	Аллотропия железа, Fe $\alpha$ ↔Fe $\gamma$ (ОЦК↔ГЦК)
P	727	0,02	Максимальное растворение углерода в феррите
S	727	0,8	Образование эвтектоида стали – перлита
AC	–	–	Ликвидус стали и чугуна. Линия начала кристаллизации из жидкого сплава аустенита

Продолжение таблицы 1

Точки, линии	Температура, °С	Содержание углерода, %	Что происходит
CD	—	—	Ликвидус чугуна. Линия начала кристаллизации из жидкого сплава цементита первичного
AE	—	—	Солидус стали. Линия конца кристаллизации аустенита из жидкого сплава
ECF	—	—	Солидус чугуна. Линия конца кристаллизации цементита первичного из жидкого сплава и начала кристаллизации ледебурита
GS	—	—	Линия начала кристаллизации феррита из аустенита, $Fe_{\alpha} \leftrightarrow Fe_{\gamma}$ (ОЦК $\leftrightarrow$ ГЦК)
SE	—	—	Линия начала кристаллизации цементита вторичного из аустенита
PSK	—	—	Линия перлитного превращения. Конец кристаллизации феррита и цементита вторичного из аустенита. Превращения перлита из аустенита
<b>Ниже линии PSK структурных превращений не происходит</b>			

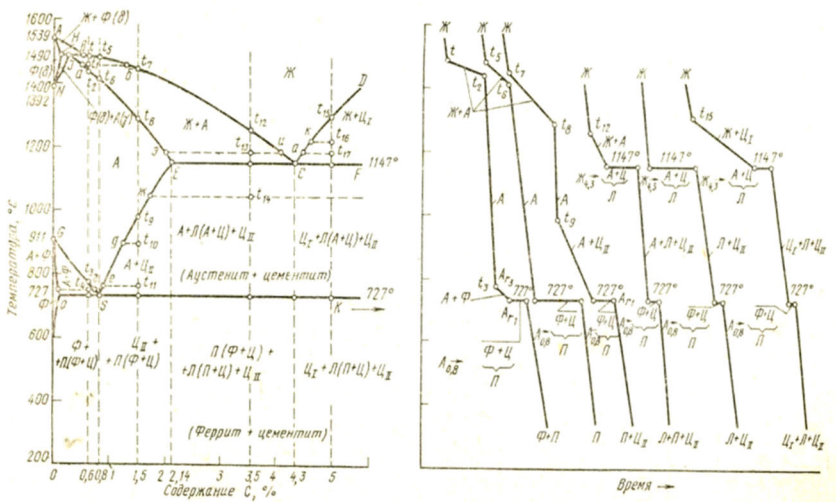


Рис. 23. Кривые охлаждения стали и чугуна

### Вопросы для самопроверки

1. Пользуясь диаграммой железо-цементит, укажите структуру стали, содержащей 0,5% углерода, при 1000, 800 и 650°C.
2. Пользуясь диаграммой железо-цементит, постройте кривую охлаждения сплава, содержащего 1,3% углерода, и укажите превращения, протекающие в сплаве при медленном охлаждении из расплавленного состояния до комнатной температуры.
3. Какая сталь называется эвтектоидной, доэвтектоидной и заэвтектоидной?
4. Какая разница между эвтектикой и эвтектоидом?
5. Укажите структурные составляющие доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей.
6. Укажите структурные составляющие доэвтектических, эвтектических и заэвтектических чугунов
7. Чем отличаются стали от чугунов?
8. Какие структуры называются аустенит, феррит, перлит, цементит и ледебурит?
9. Сколько углерода растворяется в аустените и феррите при 727°C?
10. Какие превращения происходят в белом чугуне, содержащем 3,0% углерода, при медленном охлаждении от 1500 до 20°C?
11. Почему в железоуглеродистых сплавах происходят превращения в твердом состоянии?

### 4.3. Чугуны

**Чугуном называется сплав железа с углеродом, углерода более 2,14%.**

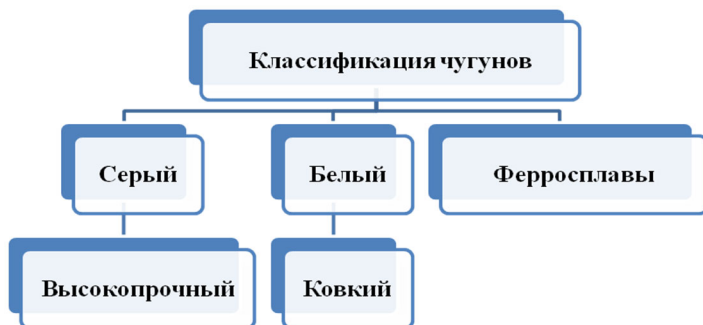


Рис. 24. Классификация чугунов

Углерод в чугуне может быть в связанном соединении в виде цементита и в свободном состоянии, в виде графита. Графит является неметаллической фазой.

Структура графита слоистая, прочность и пластичность его низки. Графит более устойчивая структура, чем цементит. Графит в чугуне является вторичным продуктом, он может образовываться вследствие распада цементита.

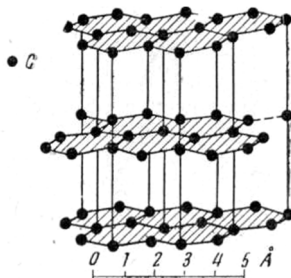


Рис. 25. Кристаллическая решетка свободного углерода

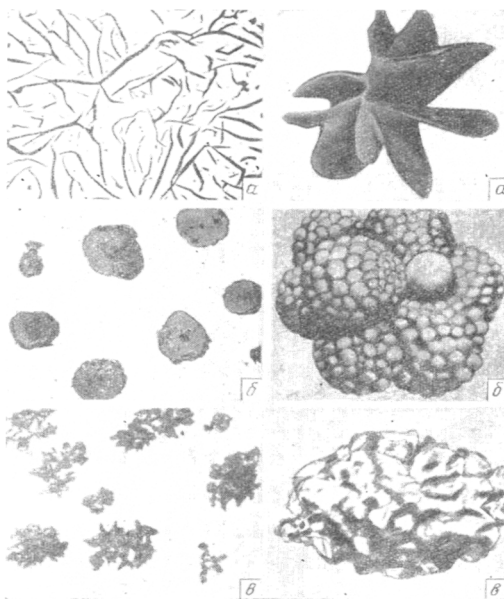


Рис. 26. Микроструктура чугуна с различной формой графита: а – пластинчатая форма графита (в сером чугуне); б – шаровидная форма графита (в высокопрочном чугуне); в – хлопьевидная форма графита (в ковком чугуне).

**Примерный состав серого чугуна:** 3,5–3,6% C; 1,5–3,0% Si; 0,4–0,6% Mn; 0,3–0,8% P; 0,1–0,12% S.



В зависимости от количества и формы выделившегося углерода (зависящей от скорости охлаждения, содержания примесей и последующей обработки) чугуны подразделяются на белые, серые, ковкие и высокопрочные.

### Серый чугун

**Серый чугун** – это сплав, в котором углерод содержится в виде свободного графита, имеющего форму пластинок различных размеров, имеет в изломе серебристый цвет.

Структура серого чугуна состоит из металлической основы (со структурой феррита, доэвтектоидной и перлита эвтектоидной стали) и включений графита, вкрапленных в эту основу.

По структуре металлической основы серые чугуны подразделяют в основном на следующие группы:

**1. Перлитные.** Структура перлитная с включениями графита. Металлическая основа ее состоит из перлита (серая основа), а количество связанного углерода, равно 0,8% (рис. 27). Такой чугун в отливке обладает наивысшей прочностью и достаточно хорошо обрабатывается резанием.

**2. Феррито-перлитные.** Структура феррито-перлитная с включениями графита. Металлическая основа ее состоит из феррита (светлая основа), и перлита (серая основа), а количество связанного углерода до 0,8% (рис. 28). Этот чугун обладает меньшей механической прочностью, но лучше обрабатывается резанием.

**3. Ферритные.** Структура ферритная с включением графита. Основа ее состоит из феррита (светлая основа), а содержание связанного углерода практически равно нулю (рис. 29). Такой чугун обладает пониженными механическими свойствами, но легко обрабатывается резанием.

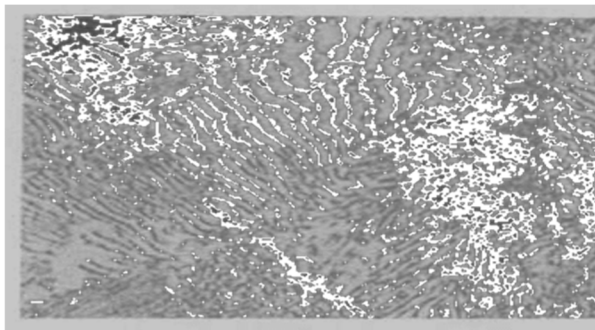


Рис. 27. Перлитный серый чугун

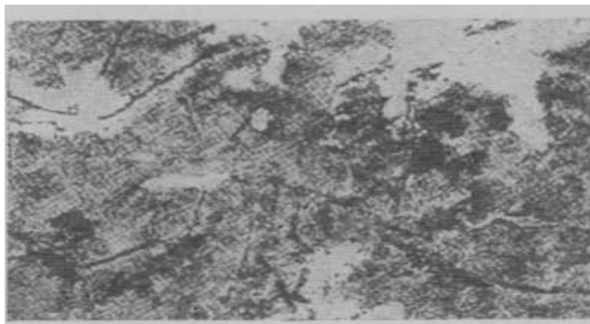


Рис. 28. Феррито-перлитный серый чугун

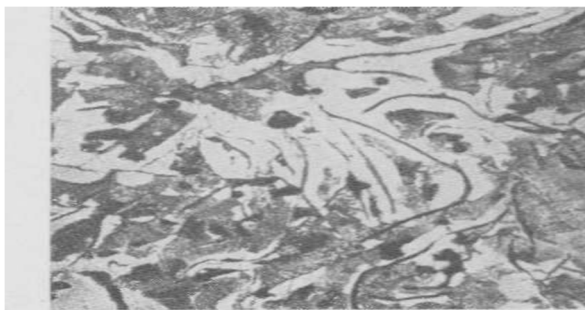


Рис. 29. Ферритный серый чугун

**Серый чугун** – дешевый и недефицитный, типичный литейный сплав находит широкое применение в машиностроении для изготовления литых деталей. Он обладает очень хорошими литейными свойствами (малая усадка, хорошая жидкотекучесть, относительно невысокая температура плавления), легко обрабатывается режущим инструментом.

Механические свойства серого чугуна зависят от структуры его металлической основы и, в значительной мере, определяются количеством, формой и размерами графитовых включений. В связи с низкой механической прочностью графита пластинчатая форма его включений в сером чугуне невыгодна.

Поэтому относительное удлинение и ударная вязкость серых чугунов близки к нулю.

По ГОСТ 1412–85 серый чугун маркируется буквами: С – серый и Ч – чугун. После букв следуют цифры. Первые цифры указывают среднюю величину предела прочности при растяжении в МПа. Марки СЧ–10, СЧ–12, СЧ–18, СЧ–20, СЧ–24, СЧ–28, СЧ–32, СЧ–36.

### **Высокопрочный (модифицированный) чугун**

**Высокопрочный чугун** – это сплав, в котором углерод содержится в виде шаровидного графита. Операция модифицирования заключается в том, что перед разливкой в литейные формы в ковш вводят небольшие добавки, называемые модификаторами, которые оказывают сильное влияние на процесс кристаллизации. Для модифицирования чугуна применяется ферросилиций, алюминий, но лучшим модификатором считается магний, при введении которого (около 0,5%) в жидкий чугун выделяющийся графит приобретает шаровидную форму.

Включения шарообразной формы не вызывают значительной неравномерности в распределении напряжений, и следовательно, такого сильного снижения пластичности, как пластинчатые включения с острыми краями.

По ГОСТ 7293–85 высокопрочный чугун маркируется буквами: *В – высокопрочный и Ч – чугун. После букв следуют цифры. Первые цифры указывают среднюю величину предела прочности при растяжении, а МПа, вторые числа – относительное удлинение в процентах.* В его маркировки отражены прочность и пластичность: ВЧ38–17, ВЧ70–2, ВЧ120–2 и т.д.

### **Ковкий чугун**

**Ковкий чугун** – это сплав, в котором углерод содержится в виде хлопьевидного графита.

Название «ковкий чугун» является условным, поскольку заготовки изделий из него, как и из любого другого чугуна, изготавливают не ковкой, а отливкой. Вместе с тем этот чугун обладает более высокими по сравнению с серым чугуном пластическими свойствами. Ковкий чугун содержит графит в хлопьевидной форме. Это обеспечивает ему значительно более высокую, чем у серого, но несколько меньшую, чем у высокопрочного чугуна, прочность. Его получают путём длительного (70–80 ч) графитизирующего отжига отливок из белого чугуна специального состава при температуре 970–740°C, во время которого происходит частичный или полный распад цементита с образованием свободного углерода – графита в виде хлопьев.

Ковкий чугун применяется для изготовления литых деталей, подвергающихся в работе небольшим ударным нагрузкам (рычаги, педали, кожухи и т.д.).

По ГОСТ 1215–79 ковкий чугун маркируется буквами: К – ковкий и Ч – чугун. После букв следуют цифры. Первые цифры указывают среднюю величину предела прочности при растяжении, а МПа, вторые числа – относительное удлинение в процентах.

Прочность ковкого чугуна сочетается с некоторым запасом пластичности: КЧ30–6 (прочность  $\sigma_B$  до 30 кгс/мм<sup>2</sup>, пластичность  $\delta$  – 6%); КЧ97–12; КЧ63–2.

### Вопросы для самопроверки

1. Какая разница между белыми и серыми чугунами?
2. От чего зависит прочность чугунов с графитом?
3. Укажите методы упрочнения серых чугунов.
4. В чем сущность модифицирования чугунов? Для чего оно производится?
5. Какая форма графита обеспечивает наиболее высокие механические свойства чугунов?
6. Расшифруйте марки чугунов: СЧ 12–28, КЧ 35–10. Укажите их область применения.
7. Расшифруйте марку чугуна ВЧ 45–5. Как его получают?

### 4.4. Стали

**Производство стали.** При производстве стали в качестве металлошихты используют передельный чугун (жидкий или твёрдый в виде чушек), металлолом (в технической литературе используют термин «скрап», в данном случае скрап чёрных металлов), а также металлодобавки.

Суть сталеплавильного процесса заключается в снижении содержания углерода и примесей металлошхиты путём их избирательного окисления и перевода в шлак или газовую фазу. Углерод, окисляясь, удаляется из металла в виде газообразных оксидов СО или СО<sub>2</sub>, другие же примеси так же в виде оксидов переходят в шлак. Примеси различаются по своим физико-химическим свойствам, поэтому для удаления каждой из них в плавильном агрегате необходимо создание определённых условий.

В сталеплавильной печи в процессе плавления шихты образуются две несмешивающиеся среды: жидкий металл и шлак, которые разделяются из-за разных плотностей. Изменяя состав шлака, путём введения в печь флюсов требуемого состава, можно нежелательные примеси металла удалять в шлак, или получать сталь с заданными свойствами, так называемые легированные стали.

В 1863 году появились первые мартеновские печи, в которых получали сталь. Мартеновским способом можно получать сталь высокого качества. До середины прошлого столетия сталь выплавляли параллельно в конвертерах и мартеновских печах. В 1950 году была реализована идея, предложенная в одном из патентов Бессемера о продувке металла в конвертере кислородом. Кислородный конвертер имеет очень высокую производительность, а качество стали не уступает мартеновской. Это привело к тому, что кислородные конвертеры вытеснили из сталеплавильной отрасли мартеновские печи. Производство мартеновской стали постепенно сократилось, строительство новых мартеновских печей не ведётся, а существующие постепенно заменяются конвертерами (рис. 3).

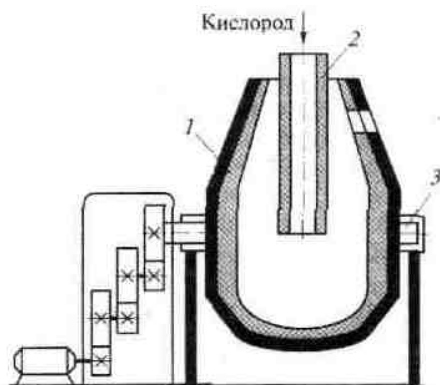


Рис. 3 Кислородный конвертер для выплавки стали:

1 — футеровка конвертера; 2 — водоохлаждаемая фурма; 3 — цапфы; стрелкой показан вариант продувки кислородом сверху

Это агрегат ёмкостью до 400 т, по внешнему виду напоминает сосуд грушевидной формы с рабочим пространством, выполненным из футеровки, сварным корпусом из листовой стали. Конвертер установлен на цапфах для возможности его поворачивания вокруг горизонтальной оси для загрузки шихты и слива стали.

Исходным материалом для производства стали в кислородных конвертерах являются жидкий чугун, стальной лом (до 25% массы металлошихты), железная руда, известь для наведения основного шлака, плавиковый шпат и боксит для увеличения текучести шлака.

Для загрузки шихты конвертер наклоняют. Загружают стальной лом, заливают жидкий чугун и возвращают в вертикальное положение. Далее вводят водоохлаждаемую фурму 2, через которую подают кислород. Температура расплавленного металла в зоне действия кислорода достигает  $2500^{\circ}\text{C}$ , что позволяет перерабатывать значительное количество металлолома.

Конверторный процесс по времени занимает 30...45 мин.

**Свойства стали. Виды сталей.** Сталями считают железоуглеродистые сплавы, содержащие до 2,14% углерода, однако, практическое применение нашли только стали, содержащие углерода до 1,3%.

К достоинствам углеродистой стали относят следующие её качества: хорошие литейные свойства, хорошая упругость, ковкость, сталь легко поддаётся обработке давлением, резанием, хорошо сваривается.

В стали кроме углерода присутствуют неизбежные примеси – сера и фосфор, которые придают стали хрупкость и уменьшают её упругость. Практикой установлено допустимое содержание этих примесей в составе стали.

#### **Влияние примесей стали на ее свойства**

**Углерод** находится в стали обычно в виде химического соединения  $\text{Fe}_3\text{C}$ , называемого цементитом. С увеличением содержания углерода до 1,2% твердость, прочность и упругость стали увеличиваются, но пластичность и сопротивление удару понижаются, а обрабатываемость ухудшается, ухудшается и свариваемость.

**Кремний**, если он содержится в стали в небольшом количестве, особого влияния на ее свойства не оказывает. При повышении содержания кремния значительно улучшаются упругие свойства, магнитопроницаемость, сопротивление коррозии и стойкость против окисления при высоких температурах.

**Марганец** содержится в небольшом количестве и особого влияния на ее свойства также не оказывает. Однако марганец образует с железом твердый раствор и несколько повышает твердость и прочность стали, незначительно уменьшая ее пластичность. Марганец связывает серу в соединение  $\text{MnS}$ , препятствуя образованию вредного соединения  $\text{FeS}$ . Кроме того, марганец раскисляет сталь. При высоком содержании марганца сталь приобретает исключительно большую твердость и сопротивление износу.

**Сера является вредной примесью.** Она находится в стали главным образом в виде  $\text{FeS}$ . Это соединение сообщает стали хрупкость при высоких температурах.

По назначению и качеству углеродистые стали классифицируют на конструкционные и инструментальные (см рис. 31).



Рис. 31. Классификация углеродистых сталей по назначению и качеству

**Углеродистая конструкционная обыкновенного качества сталь (УКОК)** относится к низкоуглеродистой стали, содержание углерода в ней до 0,25%.

Маркируется по ГОСТ 380–81 буквами Ст. и цифрами 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, которые обозначают порядковый номер сплава. Увеличение номера обозначает увеличение содержания углерода и временного сопротивления. Буквы Б и В перед буквами Ст. обозначают группу поставки стали (группа А в обозначении не указывается). Степень раскисления стали обозначается буквами после цифр: **кп** – кипящая; **сп** – спокойная; **пс** – полуспокойная.

Марки: Ст.0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6.

БСт0, БСт1кп, БСт2пс и т.д.

ВСт0, ВСт1кп, ВСт2пс и т.д.

Применение: для слабо нагруженные, неответственные детали: болты, гайки, шайбы, тяги, кожухи и т. д.

**Углеродистая конструкционная качественная сталь (УКК)** относится к низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали.

Маркируется по ГОСТ 1050–74 двумя цифрами 08, 10, 15, 20, 25, 30 ... до 60, они обозначают процентное содержание углерода в *сотых долях* процента. Буквы кп, сп, пс после цифр – указывают степень раскисления.

Применяются для средне и тяжело нагруженных деталей: изготовляют коленчатые и распределительные валы, поршневые и ресорные пальцы, передние оси, шатуны, вилки, втулки, болты, гайки и другие детали.

Углеродистая инструментальная качественная и высококачественная сталь (УИК и УИВК) относится к высокоуглеродистой стали.

Маркируются по ГОСТ 1435–74 буквой **У** и цифрами, показывающими содержание углерода в десятых долях процента. Буква **А** после цифр обозначает, что сталь высококачественная.

### Углеродистые стали

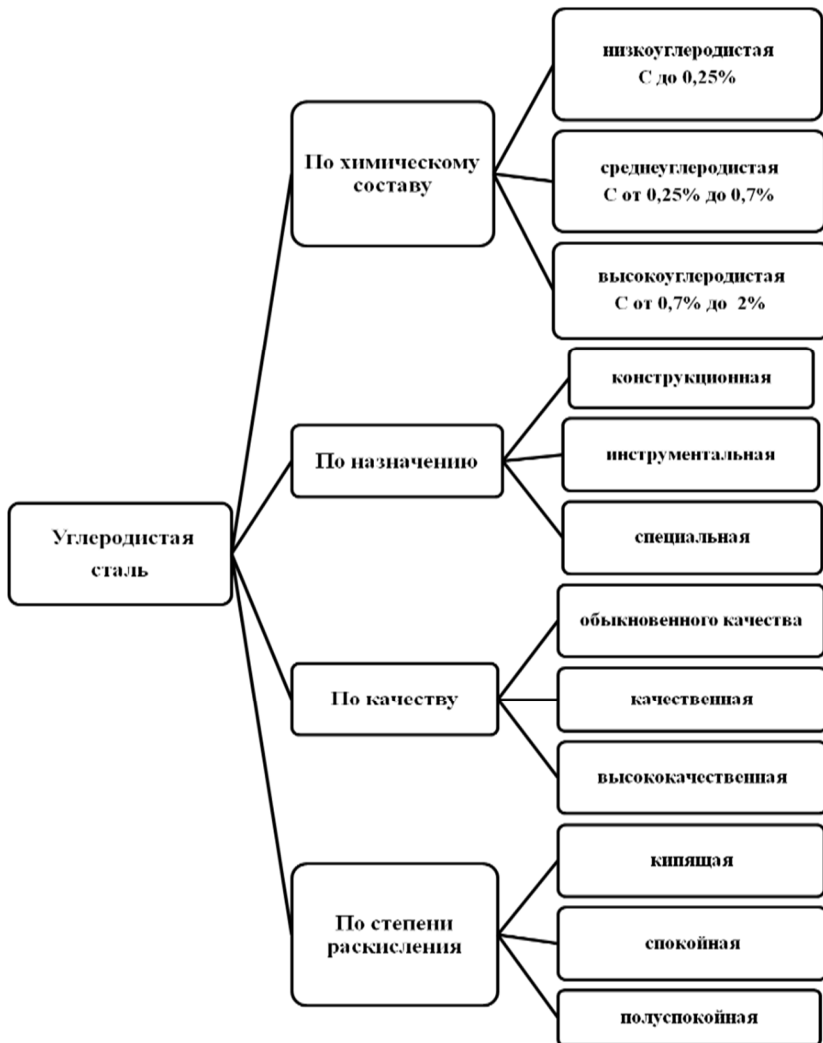


Рис. 32. Классификация углеродистых сталей



**Углеродистая автоматная сталь** относится к среднеуглеродистой стали. Маркируется буквой А – автоматная, и двумя цифрами, показывающими содержание углерода в сотых долях процента. Марки А10, А12, А20, А40.

Характерной особенностью автоматных сталей является хорошая обрабатываемость резанием на металлорежущих станках. Это объясняется повышенным содержанием серы, которая образует большое количество включений сернистого марганца  $MnS$ , нарушающих сплошность металла, а также тем, что фосфор, растворяясь в феррите, сильно снижает его вязкость. При механической обработке автоматных сталей образуется короткая, ломкая стружка, что особенно важно при работе на быстроходных станках-автоматах. Поверхность обработанных деталей получается чистой и ровной. Стойкость режущего инструмента при обработке автоматных сталей повышается, а скорость резания допускается больше, чем при обработке обыкновенных углеродистых сталей.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие основные примеси и в каком количестве входят в углеродистые стали?
2. Какая разница в свойствах, при одинаковом содержании углерода, между сталью обыкновенного качества, качественной и высококачественной?
3. Как делится углеродистая сталь по назначению?
4. Почему сера и фосфор считаются вредными примесями?
5. Какая сталь называется автоматной? Область ее применения.
6. Укажите область применения углеродистой стали в зависимости от содержания в ней углерода.
7. Расшифруйте марки сталей: СтЗкп, сталь 45, сталь У10А. Укажите их состав, свойства и область применения.
8. Назовите марки сталей, применяемых для изготовления коленчатых валов, шатунов, поршневых пальцев, впускных и выпускных клапанов автомобильных и тракторных двигателей.
9. Назовите марки сталей, применяемых для изготовления метчиков, плашек, напильников, сверл, резцов и фрез.

Для придания стали, предъявляемых практикой особых качеств, в состав углеродистой стали вводят дополнительные химические элементы, то есть её легируют, а получаемые при этом стали называют *легированными*.

К особым свойствам стали относят её коррозионную стойкость (нержавеющая сталь), жаропрочность, немагнитные свойства и др. В качестве основных легирующих элементов применяют хром, никель, титан, цирконий, ниобий, ванадий, молибден, кремний, бор и др.

### ***Обозначение сталей и использование***

Стали обыкновенного качества обозначаются: Ст1, Ст2, Ст3...

Стали углеродистые высококачественные – сталь 45, сталь 60 с содержанием углерода 0,45% и 0,6%.

Инструментальные углеродистые качественные стали маркируют буквой У (углеродистая) и числом, указывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента – У8, У10, У13.

Инструментальные углеродистые высококачественные стали в конце марки отмечают буквой А – У8А и т.д.

Для маркировки легированных сталей используют обозначения введённых в их состав легирующих элементов буквами русского алфавита: Н – никель, Х – хром, К – кобальт, М – молибден, Г – марганец. Д – медь, Р – бор, Ц – цирконий и т. д. Первые две цифры в маркировке указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а в инструментальных сталях – в десятых долях. Цифры, стоящие после буквы, указывает на содержание этого элемента в процентах, отсутствие цифры после буквы – 1%. Например: 12Х18Н9С – 0,12% углерода, хрома 18%, никеля 9% и кремния 1%.

Незначительное количество стали используют для фасонного литья, особенно в транспортном машиностроении. Это так называемые литейные стали.

Основная же доля выпускаемой стали на специальных станах, называемых блюмингами и слэбингами, прокатывается и выпускается прокатная сталь различного профиля и каждый профиль имеет множество стандартных типоразмеров. Все параметры каждого типоразмера отдельного профиля сведены в таблицу, названную сортаментом проката.

### ***Основные виды стального проката***

1. Сталь листовая (фольга –  $\delta = 0,2$  мм, жёсть –  $\delta = 0,5$  мм, пищевое железо  $\delta = 0,63$  мм, анодированное оловом, кровельное железо –  $\delta = 1,0$  мм).
2. Сталь круглая (диаметром до 8 мм называется проволокой).
3. Сталь полосовая.

4. Сталь квадратная.
5. Сталь шестигранная.
6. Трубы стальные (круглые цельнокатанные, круглые шовные, квадратные).
7. Балки тавровые.
8. Балки двутавровые.
9. Балки швеллерные.
10. Сталь угловая равнополочная (неравнополочная).
11. Рельс.

Прокат из легируемых сталей применяют в химической промышленности и в условиях агрессивных сред.

**Виды термообработки сталей.** Термической обработкой называется процесс нагрева, выдержки и охлаждения заготовки или детали из стали или других сплавов по заданному режиму.

Выдержка при температуре нагрева необходима для завершения процессов структурных превращений по всему объёму деталей и для выравнивания температуры по объёму.

Скорость охлаждения регулируется средой, в которой происходит охлаждение. Так, при охлаждении деталей вместе с печью скорость охлаждения составляет  $20 \div 30$  °C/час, а скорость охлаждения в воде 300 °C/сек.

Различают следующие основные виды термической обработки: отжиг, закалка и отпуск

Отжигом называется вид термообработки, заключающийся в *нагреве* стали выше температуры  $A_{с3}$  или  $A_{с1}$ , в *выдержке* при этих температурах и *последующем медленном охлаждении с печью*.

Медленное охлаждение стали при отжиге *способствует протеканию равновесных фазовых превращений* и образованию перлита в эвтектоидной стали, перлита с избыточным ферритом или цементитом в доэвтектоидной и заэвтектоидной стали соответственно. После отжига стали характеризуются высокой пластичностью, но пониженной прочностью и твердостью.

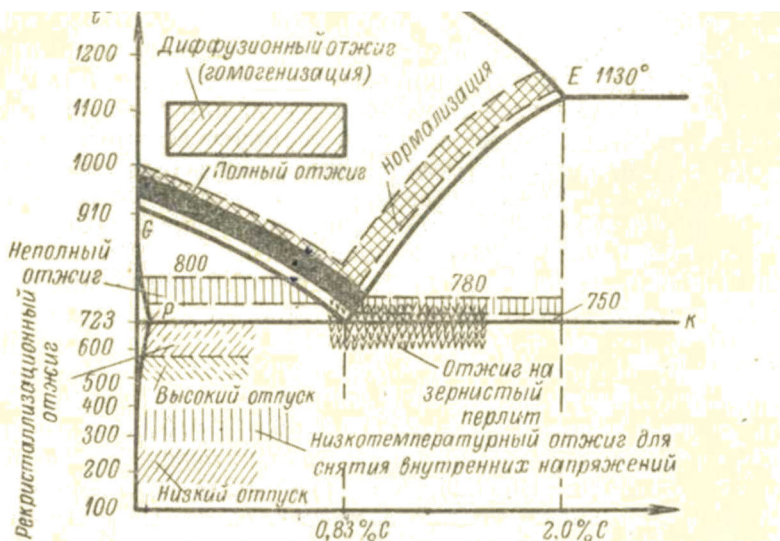


Рис. 33. Температура нагрева для различных видов отжига и нормализации углеродистой стали

Основные цели отжига – снятие внутренних напряжений в детали и снижение твёрдости для улучшения механической обрабатываемости заготовки детали. Деталь медленно нагревают до температуры примерно  $700^{\circ}\text{C}$ , непродолжительное время выдерживают при этой температуре ( $2\div 3$  мин) и медленно охлаждают на воздухе до температуры окружающей среды. Таким образом отжигают сварные детали сложной формы для того, чтобы их не «повело», (не покособило) под воздействием внутренних напряжений, возникших в результате сильного местного нагрева (сварки). Так же отжигают «сталистую» (упругую) стальную проволоку. Её бросают в костёр, нагревают и оставляют остывать вместе с костром до температуры окружающей среды.

**Нормализацией** называется вид термической обработки, заключающийся *в нагреве стали на  $30\text{--}500^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{\text{сз}}$ , выдержке* при этой температуре и последующем *охлаждении на воздухе*.

Фазовая перекристаллизация при нагреве и последующее охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита при более низких температурах, что повышает дисперсность феррито–цементитной смеси и приводит к образованию **сорбита**. В доэвтектоидной и

заэвтектоидной сталях наряду с сорбитом в структуре будут находиться соответственно избыточный феррит и цементит.

При образовании в стали сорбита возрастает прочность и твердость стали по сравнению с отожженной. Поэтому **нормализация широко применяется для улучшения свойств сталей после литья, проката иковки**.

Для низкоуглеродистых сталей нормализация, имеющая более высокие технико-экономические показатели, заменяет отжиг.

Для среднеуглеродистых сталей нормализация может заменять улучшение (совмещенную операцию закали с последующим высоким отпуском).

Для высокоуглеродистых сталей нормализация предотвращает выпадение сетки цементита по границам зерен перлита, наблюдаемые при отжиге в интервале температур  $A_{C3}$ – $A_{C1}$ .

**Закалкой** называется вид термической обработки, заключающийся в **нагреве стали на  $30$ – $500^\circ\text{C}$  выше температуры  $A_{C3}$  и  $A_{C1}$** , для доэвтектоидной и заэвтектоидной (эвтектоидной) сталей соответственно, выдержке при этих температурах и последующем **быстром охлаждении** со скоростью, равной или превышающей критическую скорость охлаждения (критическую скорость закали). В качестве среды, обеспечивающей подобные скорости охлаждения, используют воду, масло, растворы солей и щелочей.

В результате закали доэвтектоидная и эвтектоидная стали будут иметь структуру **мартенсита**, а заэвтектоидная сталь – **мартенсит и избыточный цементит**. Закаленные стали помимо указанных структур могут иметь определенное количество остаточного аустенита, что обусловлено относительной способностью большинства охлаждающих сред ограничивать окончание процесса аустенитно-мартенситного превращения комнатными температурами.

Сталь после закали с оптимальной температуры имеет максимально возможную твердость, высокую прочность и низкие показатели пластичности, вязкости.

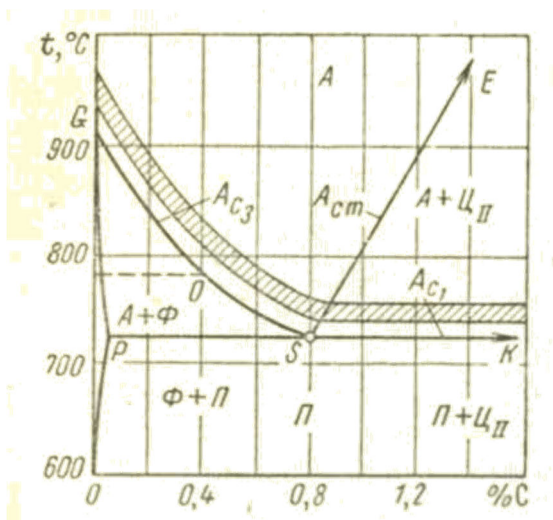


Рис. 34. Оптимальные температуры нагрева под закалку углеродистых сталей

Этот способ термообработки применяют для мелких деталей простой формы из углеродистых и легированных сталей. Детали из углеродистых сталей толщиной более 5 мм охлаждают в воде, а для деталей меньшего размера используют масло. Легированные стали закаляют так же в масле.

**Отпуском** называется вид термической обработки, заключающийся в *нагреве закаленной стали до температур, лежащих ниже критической точки  $A_{C1}$* , выдержке при заданной температуре и последующем *охлаждении на воздухе*. Характер и скорость распада мартенсита и остаточного аустенита, конечная структура и свойства стали обусловлены конкретными температурами, определяющими четыре основных превращения в стали при отпуске, на основании которых разработаны и применяются в практике машиностроения при термообработке закаленных сталей три вида отпуска: низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий).

**Низкий отпуск** производится при температурах *150–250°C*. В результате такой термообработки образуется структура, так называемый отпущенный мартенсит, являющийся гетерогенной смесью

пересыщенного  $\alpha$ -твердого раствора (неоднородной концентрации) и еще не обособившихся частиц метастабильного карбида, близкого по составу к  $\text{Fe}_2\text{C}$ , сохранивших с исходной кристаллической решеткой когерентную связь.

Низкий отпуск обеспечивает высокую, практически на уровне закаленных сталей твердость и высокую износостойкость поверхностных слоев стали; при этом имеет место частичное снижение внутренних остаточных напряжений, повышение ударной вязкости, что уменьшает склонность стали к хрупкому разрушению. Низкому отпуску подвергают режущий и измерительный инструмент; детали, прошедшие поверхностную обработку-закалку, цементацию; изделия, работающие в условиях трения сопряженных деталей.

При температуре 250–350°C происходит превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит, что приводит к снижению ударной вязкости – появлению нежелательной хрупкости материала. Поэтому в интервале этих температур отпуск сталей, как правило, не производят.

**Средний отпуск** проводится в интервале температур 400–480°C. С повышением температуры отпуска до 400°C в углеродистой закаленной стали полностью завершается процесс выделения углерода из мартенсита, Мелкодисперсные частицы карбида –  $\text{Fe}_2\text{C}$  преобразуется в  $\text{Fe}_3\text{C}$ ; их когерентная связь с решеткой мартенсита нарушается. Структура стали будет состоять из феррита и цементита.

Последующий нагрев до максимальных температур этого вида отпуска приводит к росту частиц цементита и изменению их формы (начало процесса коагуляции и сфероидизации). Одновременно, начиная с 400°C происходит укрупнение **пластинок феррита**.

В результате среднего отпуска структура закаленной стали будет представлять мелкодисперсную смесь феррита и цементита, которая называется троостит отпуска.

Полное выделение углерода из мартенсита обуславливает снятие внутренних напряжений, а начавшийся процесс укрупнения зерна, сопровождавшийся снижением твердости (40–50 HRC) и, следовательно, повышением пластичности, предопределяет высокие пределы упругости и выносливости. Средний отпуск применяют для деталей, работающих в режиме изменяющихся нагрузок: рессоры, пружины, торсионы, штампы.

**Высокий отпуск** выполняют при  $500\text{--}680^\circ\text{C}$ . Нагрев выше  $500^\circ\text{C}$  усиливает коагуляцию и сфероидизацию частиц цементита: зерна феррита еще больше укрупняются и приближаются к равноосным. В результате образуется структура, которая называется **сорбитом отпуска**.

Для полученной структуры характерно еще большее снижение твердости (30–45 HRC) и повышение относительного сужения и особенно ударной вязкости, почти полное (90–95%) устранение всех внутренних напряжений.

Высокому отпуску подвергается большое количество наиболее нагруженных деталей машин, испытывающих знакопеременные и ударные нагрузки – валы, оси, зубчатые колеса, шатуны и др.

Высокий отпуск обеспечивает одновременно значительную пластичность конструкционной стали при повышенной, по сравнению с нормализацией и отжигом, прочности. Поэтому термическую обработку, состоящую из закалки и последующего высокого отпуска, называют **улучшением**, которому подвергают среднеуглеродистые стали для уменьшения чувствительности к концентраторам напряжений, снижения температуры порога хладноломкости.

Для структур среднего и высокого отпуска (троостит и сорбит отпуска с округлой зернистой формой цементита), характерна повышенная вязкость при почти одинаковой прочности с подобными структурами, которые сформировались в результате распада переохлажденного аустенита и имеют пластинчатую форму цементита.

Следует отметить, что отпуск является единственным окончательным видом термообработки закаленной стали, температурные интервалы которого, обуславливая особенности превращения мартенсита и остаточного аустенита при нагреве, создают в материале наиболее эффективный комплекс свойств практической целенаправленности.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие линии на диаграмме железо-углерод обозначаются точками  $A_{C1}$ ,  $A_{C3}$ , и  $A_{Cm}$ ?
2. Какая скорость охлаждения называется критической скоростью закалки?
3. Какая температура называется мартенситной точкой?
4. Какая разница между мартенситной и перлитной точкой?
5. Какая разница между отжигом первого и второго рода?



6. Пользуясь диаграммой железо-цементит, укажите, до какой температуры нагревают сталь, содержащую 0,5% С при отжиге.
7. Чем отличается процесс нормализации от отжига?
8. Укажите структуру после нормализации у стали 20 и стали У10А.
9. Как влияет критическая скорость заковки на выбор охлаждающей среды при заковке?
10. Зачем после заковки производится отпуск стали?
11. Перечислите основные виды отпуска.

### **Химико-термическая обработка металлов и сплавов**

*Химико-термической обработкой называется процесс изменения химического состава, микроструктуры и свойств поверхностных слоев деталей, влияющих на износостойкость трущихся поверхностей, стойкость против коррозии или жаростойкость при сохранении достаточной вязкости сердцевины.* ХТО основана на высокотемпературной диффузии, т.е. проникновении с поверхности детали внутрь её атомов различных элементов при высокой температуре. ХТО протекает в виде трех элементарных процессов: диссоциации, адсорбции и диффузии. При диссоциации происходит распад молекул окружающего деталь вещества с образованием активных атомов диффундирующих в поверхностный слой.

При адсорбции происходит поглощение поверхностью детали свободных атомов на границе металлов. Диффузия заключается в проникновении насыщающего элемента в глубь детали с образованием диффузионного слоя.

В зависимости от того, каким элементом насыщают поверхностный слой, различают следующие, наиболее широко распространенные в автомобилестроении виды химико-термической обработки: цементация, азотирование, нитроцементация, цианирование и диффузионная металлизация.

*Цементация это процесс поверхностного насыщения стали углеродом* при нагревании в среде углеродосодержащих газов (газовая цементация) или в твердом карбюризаторе (твердая цементация). Цементации подвергаются стали с низким содержанием углерода. ( $C = 0,1-0,2\%$ ). Глубина слоя после цементации 0,2–2,5 мм.

Среднее содержание «С» в слое обычно = 1,2%, т.е. в поверхностном слое – заэвтектоидная сталь, температура цементации = 930–1050°. Соответственно после последующей термообработки

имеем свойства этого слоя как для высокоуглеродистой стали при мягкой сердцевине. Цементации подвергают шестерни коробок передач, КОМ и задних мостов.

**Азотирование стали – процесс диффузионного насыщения азотом в атмосфере аммиака поверхностного слоя** толщиной 0,2–0,6 мм среднеуглеродистых легированных сталей с содержанием легирующих элементов, способных образовывать нитриды  $AlN$ ,  $VN$ ,  $Gr_2N$ ,  $WN$ , и др. Создающих высокую поверхностную твердость, износостойкость, усталостную прочность и повышенную стойкость к коррозии. Производится при  $T = 500–700^\circ C$ . Впервые азотирование предложено в 1913 г. русским инженером Н.П. Чижевским. Азотирование – окончательная операция при изготовлении детали.

**Нитроцементация заключается в насыщении поверхностного слоя стальных деталей одновременно углеродом и азотом** в газовой среде при  $T = 850–870^\circ C$  в течение 5–10 час.

**Цианирование представляет собой тоже процесс одновременного насыщения поверхностного слоя детали углеродом и азотом**, но проводится в жидких расплавленных солях, содержащих цианистый натрий  $NaCN$ . Толщина слоя от 0,3 до 2 мм при времени от 0,5 до 6 час, при  $T = 820–960^\circ C$ . по сравнению с цементированием цианированный слой обладает большей сопротивляемостью износу, большей твердостью.

**Диффузионная металлизация – процесс насыщения поверхности стали различными металлами при высоких температурах в твердой, или газовой среде.** Наиболее известными способами являются: алитирование – насыщение алюминием, силицирование – насыщение кремнием, хромирование – насыщение хромом, борирование – насыщение бором.

Алитирование осуществляется для сталей, содержащих 0,1–0,2% С для повышения окалиностойкости. Детали могут работать при  $T = 1150^\circ C$ , за счет образования на их поверхности оксида  $Al_2O_3$ .

Силицирование повышает окалиностойкость до  $800–850^\circ C$ , слой хорошо сопротивляется истиранию, коррозионностоек даже в морской воде.

Борирование обеспечивает особенно высокую твердость поверхности, сопротивление износу, стойкость к коррозии и теплостойкость. Одной из разновидностей ХТО является воронение применяе-

мое, глазным образом, к легкому оружию и проводимое с целью придания коррозионностойкости и внешнего вида. Изобретено в России В.А. Кистяковским. Заключается в получении на поверхности тончайшей, пленки окислов железа, главным образом,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , поэтому иногда называют оксидированием. Проводится в щелочном растворе  $\text{NaOH}$  с натриевой селитрой и нитритом натрия  $\text{NaNO}_2$ . При нагревании цвет может быть черный синий, коричневый.

### **Термомеханическая обработка и поверхностное упрочнение детали**

Кроме рассмотренных способов упрочнения поверхностного слоя проведением закалки ТВЧ и ХТО, в технике широко используют методы механического и термомеханического упрочнения деталей машин. Из наиболее широко применяемых методов следует отметить обработку дробью и контактную обработку деталей роликами с током с одновременной подачей охлаждающего раствора. При дробеструйной обработке удары летящей дроби вызывают пластическую деформацию поверхностного слоя на глубину 0,15–0,30 мм, образуя наклепанный – более твердый слой с сжимающими напряжениями. За счет этого повышается усталостная прочность. Поэтому особенно благотворно действует дробеструйная обработка на детали, работающие при знакопеременных нагрузках, на концентраторы напряжений. Поэтому такой обработке обычно подвергаются рессоры, пружины, торсионные валы, коленчатые валы, пальцы гусениц и т.д.

ТМО относится к комбинированным способам обработки. Она заключается в том, что ток через трансформатор подводится к медным роликам, которые перекатываются по поверхности детали и нагревают место контакта при одновременном воздействии давления и душевого охлаждения.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Перечислите основные виды химико-термической обработки деталей.
2. В чем заключаются физические основы химико-термической обработки?
3. Химизм процесса азотирования.
4. Химизм процесса цементации.
5. Химизм и назначение процесса цианирования.
6. Назначение цементации и режим термической обработки после нее.

7. Чем отличаются режимы цементации легированной и углеродистой стали?
8. В чем преимущества газовой цементации?
9. При каких условиях работы деталей целесообразно производить азотирование?
10. Какая химико–термическая обработка называется нитроцементацией? В чем ее преимущества перед цементацией?
11. Каковы свойства цементированных и азотированных изделий?
12. В чем различие между диффузионным и гальваническим хромированием?
13. Для каких целей и как производится нитроцементация?
14. Сущность и назначение процесса борирования.

## 5. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ СПЛАВЫ

**Медь и её сплавы (Cu).** Плотность меди  $8,9 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1083^\circ\text{C}$ . По проводимости электричества и теплоты занимает второе место после серебра. По причине дефицитности серебра медь принято считать эталоном электропроводности и теплопроводности. Около половины производимой меди идёт на изготовление токопроводящих деталей приборов, машин и технологического оборудования. Из-за высокой вакуумной плотности медь широко применяется в электровакуумной промышленности. Высокую теплопроводность меди используют в конструкциях водоохлаждаемых деталей технических устройств. Конструкционное применение меди сдерживается её низкой механической прочностью.

Для повышения прочности медь легируют разными химическими элементами. Промышленные сплавы меди делят на латуни и бронзы.

**Латунь** – это сплав меди с цинком. Латунь пластичная, может прокатываться в фольгу, проволоку. Практическое применение имеют латуни с содержанием цинка до 45%. Простые латуни маркируются буквой Л (латунь) цифры, за которой указывают на содержание меди. Например: Л68 содержит 68% Cu и 32% Zn. Специальные латуни маркируют буквой Л, после которой следуют буквы, обозначающие легирующие элементы. Например: ЛО70-1 (70% меди Cu, 1% олова Sn и 29% цинка Zn).

**Бронзы** – сплавы меди с оловом, цинком и другими легирующими элементами. В маркировке этого сплава за буквами Бр (бронза) следуют буквы обозначений легирующих элементов, входящих в состав бронзы, далее цифрами, разделёнными дефисом, указываются их содержание. Бронзы делят на оловянные и безоловянные.

Оловянные бронзы характеризуются высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в пресной и морской воде. Бронзы с содержанием до 8% олова обладают упругими свойствами. Их используют для производства пружин и других упругих элементов машин. Примером может быть бронза БрОФ6,5–0,15 (6,5% олова Sn, 0,15% фосфора P, остальное медь Cu).

Из-за хороших литейных свойств оловянные бронзы применяют для изготовления фасонных отливок сложной формы, в художественном литье, пароводяной арматуры и деталей ответственных узлов трения.

Безоловянные бронзы. В качестве второго основного компонента медного сплава вместо олова содержатся другие металлы. Техническое применение получили сплавы меди с алюминием, меди с кремнием, меди с бериллием, меди со свинцом.

*Алюминиевые бронзы* – это сплав меди с алюминием. При содержании алюминия до 5%, например: БрА5 (5% алюминия Al, остальное медь Cu), бронза широко используется при изготовлении разменных монет и бронзовых медалей, а так же для изготовления мелких ответственных деталей в машиностроении. При содержании алюминия от 5 до 10 % алюминиевые бронзы дополнительно легируют железом для повышения механической прочности и антифрикционных свойств. Например: бронза БрАЖ9-4 (9% алюминия Al, 4% железа Fe, остальное медь Cu) применяется для изготовления бронзовых бандажей червячных колёс редукторов и т. п.

*Кремниевые бронзы* получают сплавлением меди с кремнием (до 3% кремния Si). Из таких бронз изготавливают упругие элементы в машиностроении и такие элементы приборов как мембраны, пружины и др.

*Свинцовые бронзы* из-за своей особой структуры находят применение преимущественно в качестве антифрикционных деталей узлов трения скольжения машин. Наиболее распространённой маркой свинцовых бронз является БрС30 (30% свинца Pb, 70% меди Cu).

***Алюминий и его сплавы (Al).*** По объёму производства и потребления алюминий и его сплавы занимают второе место после железа и сплавов на его основе. Плотность алюминия  $2,7 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $660^\circ\text{C}$ . Наиболее важным свойством алюминия, которое во многом определяет его широкое применение является низкая плотность. Алюминий более чем в три раза легче меди и почти в три раза легче железа.

Не менее важным свойством алюминия является его высокая коррозионная стойкость, хотя он весьма активный элемент. Это противоречие объясняется тем, что на воздухе алюминий очень быстро окисляется, образуя на поверхности тонкую непроницаемую плёнку оксида алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , которая обладает химической стойкостью.

Другим важным свойством алюминия является его высокая электропроводность, которая составляет 60% электропроводности меди. Алюминий практически полностью вытеснил более дефицитную медь по использованию в линиях электропередач.

Алюминий обладает так же высокой теплопроводностью, что находит применение в конструкциях теплообменников. Высокая пластичность алюминия позволяет использовать его в пищевой промышленности в виде пищевой фольги и различной тары.

Благодаря высокой светоотражательной способности алюминий находит применение в производстве зеркальных поверхностей рефлекторов и прожекторов.

Основным недостатком алюминия, препятствующим конструктивному использованию его в машиностроении, является низкая механическая прочность. Для решения этой проблемы используют легирование алюминия другими элементами, в машиностроении алюминий применяют в виде сплавов.

**Литейные сплавы алюминия** характеризуются невысокой прочностью, высокой пластичностью и высокой коррозионной стойкостью. К ним относятся сплавы алюминий – марганец (АМц) и алюминий – магний (АМг).

Из этих сплавов изготавливают ёмкости для хранения нефтепродуктов, применяют в строительстве для изготовления несилевых конструкций (окна, двери...).

**Дюралюминий** – это сплав  $Al - Cu - Mn - Mg$ . Маркируют его буквой Д, за которой следует условный номер. Дюралюминий широко применяется в промышленности. В авиации из него изготавливают лопасти воздушных винтов, шпангоуты, тяги управления, в автомобилестроении – кузова грузовых автомобилей.

**Силумины.** Наиболее распространены из них сплавы алюминия с кремнием  $Al - Si$ , легированные марганцем, магнием и медью. Их маркируют буквами АЛ, за которыми следуют условные цифры. Прочность силумина достигает  $\sigma_b = 250$  МПа, поэтому они нашли широкое применение в автомобилестроении. Из них изготавливают блоки цилиндров двигателей, корпусные детали.

**Баббиты, его свойства и применение.** Это антифрикционные сплавы на основе легкоплавких пластичных металлов олова или свинца, не оставляющие надиров на поверхностях сопрягаемых деталей. В качестве антифрикционного материала они широко применяются для заливки вкладышей подшипников скольжения.

Низкая температура плавления баббита обеспечивает его технологичность. Легкоплавкий сплав можно расплавить и подготовить к заливке практически в бытовых условиях.

Исторически первыми были получены сплавы на основе олова (температура плавления 230°C). Баббиты маркируют буквой Б, за которой следует число, указывающее на содержание олова в сплаве. Например, Б83, который содержит 83% олова, остальное сурьма и медь. Баббиты на основе олова применяют для изготовления высоконагруженных вкладышей турбин, мощных дизелей и других машин.

В массовом машиностроении используют более дешёвые баббиты, в которых содержание олова резко снижено за счёт добавления недефицитного свинца. Их применяют в автотракторных двигателях, станкостроении, прокатных станах. Б16 (16% олова, 16% сурьмы, 2% меди, остальное свинец).

**Победит** – это необычно высокий, по сравнению с многими металлами, по твёрдости и жаропрочности композит (понятие композитного материала подробно рассмотрено в разделе 7). Этот композит получен спеканием порошка карбида вольфрама WC – 90% с добавлением кобальта Co – 10% в качестве связки. Благодаря высокой твёрдости карбида вольфрама (уступающей только алмазу) он обладает уникальной твёрдостью (90 HRA) и износостойкостью. Это первый в мире твёрдый сплав был изобретён в 20-е годы XX века в СССР и предназначался для коронок горного инструмента. Позже широко стал применяться в машиностроении.

В подавляющем большинстве случаев из него делают специальные пластинки, которые затем напаивают (см. рис. 34–1) на режущую часть режущего и сверлильного инструмента с помощью меди. Таким образом повышают износоустойчивость инструмента в несколько раз. Применяют такой инструмент в горнодобывающей сфере во время бурения горных пород, а также металло- и деревообработке.

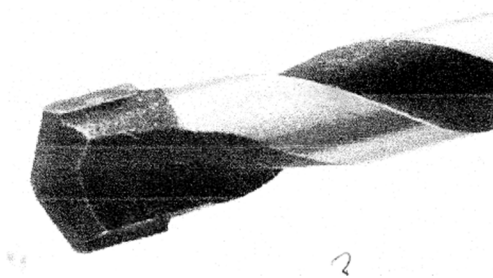


Рис. 34.1. Сверло с победитовой напайкой



## 6. ПОЛИМЕРЫ

Неметаллические материалы находят всё возрастающее применение в различных отраслях техники благодаря ряду свойств, которые делают такие материалы незаменимыми. В числе этих свойств химическая стойкость во многих агрессивных средах, достаточная прочность и жёсткость при меньшей стоимости по сравнению с металлическими материалами, эластичность при низкой плотности и др.

**Полимеры** – химические соединения, макромолекулы которых состоят из большого числа повторяющихся структурных единиц, представляющих собой одинаковую группу атомов и связанных между собой химическими связями.

Природные полимеры представлены достаточно широко органическими веществами растительного (хлопок, шёлк, натуральный каучук и др.) и животного происхождения (кожа, шерсть и др.), а также минеральными веществами (асбест, слюда, графит, алмаз и др.).

В современной технике широкое применение получили **синтетические полимеры**, которые получают из простых веществ путём химического синтеза. Основным преимуществом синтетических полимеров перед природными являются неограниченные запасы исходного сырья и широкие возможности синтеза полимеров с заранее заданными свойствами.

Исходным сырьём для получения синтетических полимеров являются продукты химической переработки нефти, природного газа и каменного угля. Получаемые при этом низкомолекулярные вещества называют мономерами.

Полимеризация – процесс химического соединения большого числа молекул мономера в одну большую молекулу полимера без изменения элементарного состава мономера.

Поликонденсация – процесс образования полимера из молекул разных мономеров в результате химических реакций с выделением побочных продуктов реакции. Элементарный состав полимера отличается от состава участвовавших в реакции поликонденсации мономеров.

Из большого ассортимента полимеризационных полимеров наиболее широкое применение получили полиэтилен, поливинилхлорид, полифторэтилен, полистирол и оргстекло.

**Полиэтилен** получают полимеризацией этилена, который является газообразным химическим соединением. Полиэтилен высокого давления ПЭВД имеет низкую плотность (легче воды), хороший диэлектрик, химически стойкий, обладает высокой морозостойкостью.

Полиэтилен широко применяется в автомобилестроении для изготовления литых и прессованных деталей несилового назначения (бачки, трубки, шланги, пробки, уплотнения и др.).

**Поливинилхлорид (ПХВ)** получают полимеризацией газообразного хлорсодержащего этилена. ПХВ в полтора раза плотнее полиэтилена. ПХВ, смешанный с пластификатом, весьма пластичен, поэтому из него формуют детали интерьера автомобиля, получают искусственную кожу, применяют в производстве линолеума.

**Полифторэтилен** является продуктом полимеризации фторсодержащего полиэтилена и его производных. Иногда его называют **фторопласт** или **тефлон**. Фторопласт представляет собой мягкий, скользкий на ощупь полупрозрачный полимер сероватого цвета, обладающий высокой теплостойкостью (выдерживает нагрев до 250°C), абсолютно не горюч, является одним из лучших диэлектриков.

Фторопласт широко используется в электротехнической и электронной промышленности, имея низкий коэффициент трения, применяется в машиностроении в конструкциях узлов трения скольжения.

**Полистирол** получают путём полимеризации стирола – органической жидкости, которая является продуктом химического взаимодействия этилена и бензола. Полистирол – это твёрдое прозрачное вещество с плотностью, близкой к плотности воды, физиологически безвреден. Поэтому он широко применяется в строительстве в качестве внутренней облицовки жилых помещений и внешней облицовки бытовых приборов.

**Органическое стекло** является продуктом полимеризации эфиров метакриловой кислоты. Оргстекло представляет собой прозрачный бесцветный полимер, устойчивый к воздействию света и атмосферной среды, пропускает свыше 70% ультрафиолетовых лучей, при температуре свыше 90°C полимер становится пластичным и легко штампуются, хорошо обрабатывается резанием, легко шлифуется.

Свойства оргстекла обусловили его широкое применение. Пластичность используется в авиационной промышленности для изготовления крупногабаритных прозрачных деталей. Хорошая шлифуемость используется в оптической отрасли для производства линз, окуляров, очков. В электротехнической промышленности в качестве дугогасящего материала.

Из ассортимента поликонденсационных полимеров наиболее широкое применение получили фенолформальдегидные полимеры, эпоксидные смолы, полиуретаны и полиамиды.

**Фенолформальдегидные полимеры** получили широкое промышленное применение с начала XX века и по настоящее время они остаются наиболее часто применяемыми. Это так называемые всем нам известные пластмассы. Фенолформальдегидные полимеры получают поликонденсацией фенола и формальдегида. В зависимости от технологических параметров процесса поликонденсации они могут быть как термопластичные, так и термореактивные разновидности полимеров (бакелиты).

Фенолформальдегидные полимеры широко применяют в качестве связующего при изготовлении древесностружечных и древесноволокнистых плит, фанеры, стеклопластиков, абразивного инструмента, фрикционных изделий, литейных форм и др.

Бакелит хорошо растворяется в органических растворителях. Это его свойство используется для производства электроизоляционных лаков.

**Эпоксидные смолы** получают путём поликонденсации фенола и продукта химического взаимодействия глицерина с пропиленом. Эти смолы обладают высокими адгезионными свойствами, а полимеризационная смесь эпоксидная смола плюс отвердитель может равномерно отвердевать в толстом слое.

Эпоксидные смолы применяются в основном для заливки микросхем и предотвращения их от механических повреждений в электронной промышленности.

**Полиуретаны** получают путём поликонденсации изоцианатов с многоатомными спиртами и с простыми или сложными полиэфирами. Полиуретаны могут быть изготовлены мягкими и твёрдыми.

Общими свойствами для всех разновидностей являются стойкость к вибрации, хорошая демпфирующая способность, бензо- и маслостойкость. Полиуретаны могут эксплуатироваться в широком диапазоне температур от минус 60°C до плюс 150°C.

Изделия и конструкции из полиуретанов используют практически во всех отраслях промышленности. Одним из крупных потребителей полиуретанов является автомобильная промышленность. По использованию в конструкции легкового автомобиля полиуретан занимает первое место среди других полимеров. Особенно широкое применение получили пенополиуретаны. Жидкий пенополиуретан может быть закачан в любые полости, где после затвердевания он обеспечивает хороший уровень тепло- и шумоизоляции. Его можно напылить на поверхности любой формы слоем практически любой толщины.

Другим крупным потребителем пенополиуретанов является строительная индустрия, где их используют для герметизации стыков строительных конструкций.

**Полиамиды** получают путём поликонденсации капролактама, который, в свою очередь, получают из фенола.

Наибольшую известность и широкое применение получили полиамиды капрон и нейлон. Из них производят высокопрочные синтетические волокна, которые широко применяются для изготовления тканых изделий промышленного и бытового назначения. Полиамидные волокна используют в производстве шинного корда, буксирных канатов, рыболовецкой снасти и др.

Полиамиды имеют высокую механическую и ударную прочность, виброустойчивость, антифрикционные и диэлектрические свойства, химическую стойкость. Отмеченные свойства полиамидов используются в изделиях из них, таких как шестерни, приводные ремни. Детали ткацких станков, детали узлов трения и др.

**Резины.** Резинами называются высокомолекулярные материалы, которые получают при вулканизации смеси натурального или синтетического каучука с различными наполнителями.

В состав резиновой смеси входят следующие ингредиенты: каучук, вулканизирующие агенты, наполнители или усилители, красители, мягчители и др.

В зависимости от назначения в резину может входить лишь часть перечисленных ингредиентов, но в её составе всегда содержится каучук и вулканизирующий агент.

Каучук является основой резиновой смеси и определяет качество резины.

В автомобильных шинах содержание каучука составляет 50–60% (по массе). Шинные заводы используют примерно 60% производимого в стране каучука. Имеется два вида каучуков: натуральный и синтетический.

Натуральный каучук добывается главным образом из млечного сока каучуконосного дерева гевеи, в котором он содержится до 40%. В нашей стране такими растениями являются кок-сагыз и тау-сагыз. Он более дорогой, поэтому из него чаще всего изготавливают только отдельные детали шин или резины для ответственных (противогазы) целей.

Доля синтетического каучука (СК) в шинном производстве составляет 85% и продолжает возрастать. Впервые СК был получен академиком С.В. Лебедевым в 1932 г.

Наполнители снижают расход каучука и улучшают физико-механические свойства резин. В качестве наполнителей применяют порошки (мел, сажу, тальк, окись цинка), ткани из хлопка, шелка, капрона или нити из натуральных и синтетических волокон, металлическую проволоку или сетку, стеклоткань.

Мягчители (парафин, стеариновая и олеиновые кислоты, канифоль) служат для облегчения процесса смешения резиновой смеси при ее приготовлении, придания резине мягкости и морозоустойчивости.

Противостарители замедляют окислительные процессы, протекающие при переработке и эксплуатации резин. Ускорение процесса вулканизации достигается введением в резиновую смесь окиси цинка, свинцового глета, окиси магния и др.

Процесс вулканизации сырых резин осуществляется при нагревании до  $T = 100\text{--}150^\circ\text{C}$ .

В зависимости от количества серы в резине, играющей активную роль при вулканизации, резины различают мягкие (2–4%), жесткие полуэбониты (12–13%) и эбониты (30–50%).

По назначению резины классифицируют на резины общего назначения (производство шин, рукавов, амортизаторов, пористой губчатой структуры) и специальные (химически стойкие, бензо-маслостойкие, морозостойкие, газонепроницаемые и т.д.).

Как конструкционный материал резины, благодаря таким своим свойствам как высокая эластичность, высокое сопротивление разрыву и износу, газонепроницаемость и водонепроницаемость, химическая стойкость, морозоустойчивость и т.д. нашли широкое использование в самых различных областях. Это, прежде всего шины, пожарные рукава, шланги и патрубки, транспортные ленты, приводные ремни, манжеты и сальники и т.д.

Широко используется резина для гуммирования, т.е. обкладки сырой резиной сталей, бетона, дерева, цветных металлов.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что представляет собой резина?
2. Какие компоненты относятся к совмещающимся и как они влияют на свойства резины?
3. Объясните роль порошковых наполнителей.
4. В каких случаях применяются волокнистые наполнители
5. Каковы правила эксплуатации и хранения резиновых изделий?

## 7. КОМПОЗИЦИОННЫЕ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

Традиционно применяемые технические материалы (металлические и неметаллические) в значительной мере достигли своего предела конструктивной прочности. К современным конструкционным материалам и машинам, изготовленным из этих материалов, предъявляются повышенные требования прочности, гибкости, надёжности и долговечности. В этой связи особую роль на современном этапе играют так называемые композитные материалы или компози́ты.

Композиционными материалами или композитами называют материалы, состоящие из сильно различающихся по свойствам друг от друга, взаимно нерастворимых компонентов.

Развитие современной техники требует создания материалов, надёжно работающих в сложной комбинации силовых и температурных полей, при воздействии агрессивных сред, излучений, глубокого вакуума и высоких давлений. Поэтому создание композиционных материалов является большой необходимостью. Композиционные материалы позволяют:

- создать элементы конструкций с заранее заданными свойствами, высокой технологичностью и малой массой;
- создать материалы с качественно новыми свойствами и не только повышать эксплуатационные характеристики существующих конструкций, но и создавать принципиально новые конструкции, недоступные при применении традиционных материалов.

К композитам относят как получившие широкое применение в быту и используемые в промышленности пластмассы и порошковые твёрдые сплавы, так и современные материалы для авиа- и ракетосроения.

Идея армировать менее прочное вещество каркасом зернистой или волокнистой формы из другого более прочного вещества для повышения несущей способности была заимствована ещё мастерами глубокой древности из окружающей природы. Прообразом и природным аналогом такого решения могли быть представители органического мира и неорганические вещества. В частности, все признаки композиционного материала имеет дерево: древесина (матрица) пронизана каркасом из волокнистой составляющей годовых колец (наполнитель); позвоночные животные, как и сам чело-

век, имеют прочный костный каркас, воспринимающий значительные силовые нагрузки, и окружающие скелет мягкие ткани, которые выполняют функцию матрицы.

Заложенные самой природой технологические принципы создания композиционных материалов человек постигал, используя природные композиты в своей трудовой деятельности. Это стимулировало его получать более совершенные материалы с требуемыми свойствами путём искусственного сочетания в едином материале разных свойств разнородных веществ.

Композитными называют однородные в макрообъёме материалы, получаемые путём искусственного объединения микроскопических объёмов разнородных веществ. Композиционные материалы состоят из непрерывной матрицы, в которой равномерно распределены дискретные или непрерывные микрообъёмы наполнителя зернистой или волокнистой формы. Матрица связывает отдельные элементы наполнителя в единый монолит. Механическая нагрузка, приложена к композиционному материалу воспринимается матрицей и передаётся на элементы наполнителя. В качестве наполнителя используют более прочное вещество, а матрицей бывает более пластичное вещество.

Наиболее известные нам композитами являются такие материалы как гетинакс, текстолит, ДСП, ДВП.

**Гетинакс** содержит наполнитель в виде бумаги. Матрицей служат различные модификации формальдегидных смол. Основное применение гетинаксы находят в качестве электроизоляционного материала.

**Текстолит** изготавливают на основе тканного наполнителя. Для изготовления текстолита используют хлопчатобумажные, стеклянные и асбестовые, реже синтетические ткани. В качестве матрицы используют полиэфир, фенолформальдегидные или эпоксидные смолы. Свойства текстолита зависят от свойств наполнителя и матрицы. Текстолиты имеют конструкционное, электроизоляционное, антифрикционное назначение.

**ДСП и ДВП (древесностружечные и древесноволокнистые плиты)** композитные материалы с древесным наполнителем. Они широко применяются в строительстве и мебельном производстве. В качестве матрицы используют фенолформальдегидные смолы.

Основным недостатком этих материалов является неизбежное выделение формальдегида в процессе их производства и эксплуатации. Проживание в помещениях с мебелью, изготовленной из

этих материалов, недопустимо, так как из материала мебели выделяется формальдегид, являющийся одной из причин возникновения ряда жизнеопасных болезней. В настоящее время разработаны неорганические полимеры, позволяющие заменить фенолформальдегидные смолы.

В настоящее время разработаны множество композитных материалов с требуемыми свойствами и с различного рода наполнителями.

Обычно композиционные материалы состоят из сравнительно пластичного матричного материала и более твердых и прочных веществ, являющихся упрочняющими наполнителями. Матрицы связывают композицию и придают ей нужную форму. В зависимости от материала матрицы различают композиционные материалы с металлической матрицей или металлические композиционные материалы (МКМ), с полимерной матрицей (ПКМ) и с керамической матрицей (ККМ).

По типу упрочняющих наполнителей КМ подразделяют на:

- дисперсно-упрочненные;
- армированные;
- слоистые.

Дисперсно-упрочненные материалы – это спеченные материалы, представляющие собой металлическую матрицу, упрочненную включениями тугоплавких соединений.

Дисперсионное упрочнение позволяет повысить жаропрочность материала в том случае, когда легирование и термическая обработка металла становится уже не эффективным.

Установлено, что наиболее эффективное упрочнение обеспечивается при содержании фазы – упрочнителя 3–15% по объему и размеру частиц до 1 мкм. Наиболее распространенными дисперсно-упрочненными материалами являются материалы типа САП (спеченная алюминиевая пудра, содержащая равномерно распределенные включения оксида алюминия). Алюминиевый порошок получают распылением расплавленного алюминия с последующим измельчением в шаровых мельницах в присутствии кислорода. В России изготавливают САП 4 марок: САП-1, содержащий оксидную фазу 7%, САП-2 10–11%; САП-3 13–14% и САП-4 20–23%. Включения оксида алюминия не растворяются в алюминиевой матрице и не коагулируют в ней до предплавленных температур, обеспечивая САП высокую жаропрочность. Испытания показали, что САП не теряет прочности при нагреве до 550°C. Частицы порошка САП



сохраняют свою форму даже при 1000°C, если не подвергаются механическому воздействию. Другой распространенный дисперсно-упрочненный материал – ТД – никель. Он состоит из никелевой матрицы с включениями диоксида тория ( $\approx 2\%$ ).

Выпускают также аналогичные материалы с нихромовой матрицей и др.

Армированные или волокнистые композиты имеют упрочнение матрицы не дисперсными частицами, а волокнами. Содержание волокон достигает 35–60%. В качестве армирующих волокон используют собственно волокна (природные и искусственные), тонкую проволоку и усы, изготовленные из вольфрама, стали, графита, бора, бериллия и т.д. Волокна, используемые в качестве арматуры, должны иметь следующие свойства: высокую температуру плавления, малую плотность, высокую прочность, химическую стойкость, отсутствие токсичности. Волокнистые композиты получают методами порошковой металлургии. Матрица в армированных композициях придает форму и делает материал монолитным. Наибольшее распространение получили композиции алюминий – металлическая проволока  $\sigma_b = 1500$  МПа.

Перспективным материалом является алюминий – бериллиевая проволока, алюминий – волокно бора ( $\sigma_b = 2800$ – $3500$  МПа).

Слоистые композиционные материалы набираются из чередующихся слоев волокон и листов матричного материала (тип «сэндвича»).

Слои волокон в таком материале могут иметь различную ориентацию. Возможно поочередное использование слоев матрицы из сплавов с различными механическими свойствами.

Керамико-металлические материалы – это материалы, содержащие более 50% (по объему) керамической фазы и металлическую фазу. Их обычно получают методом порошковой металлургии по схеме: подготовка смеси порошков, формование, спекание и в ряде случаев – пропитка. В качестве керамической фазы обычно используют тугоплавкие бориды, карбиды, оксиды и нитриды, а в качестве металлической фазы – кобальт, никель, тугоплавкие металлы, стали.

Керметы отличаются высокой жаростойкостью, износостойкостью, прочностью, твердостью. Керметы на основе боридов циркония и хрома, карбида хрома, оксида алюминия используют для из-

готовления деталей конструкций, работающих в агрессивных средах при высоких температурах (лопатки турбин). Наиболее распространены керметы типа оксида алюминия – металл. Они отличаются хорошим сочетанием тепловых, механических и электрических свойств.

Причем любая фаза в них, в зависимости от состава, может быть непрерывной или прерывающейся.

Прочность композиционных материалов обеспечивается (зависит) как матрицей, так и наполнителем.

Матрица является основным несущим элементом. Поскольку армирующим в таких материалах является волокна различной формы, а именно нити, ленты, сетки различного плетения, то прочность материала будет определяться прочностью армирующих волокон, воспринимающих основную нагрузку. Матрица дает большой прирост прочности. Матрица придает изделию форму и делает материал монолитным. Она обеспечивает прочность и жесткость композиции при действии растягивающей или сжимающей нагрузки. Однако основную роль в материале несут упрочняющие наполнители. Здесь чем меньше частицы наполнителя и меньше расстояние между ними, тем прочнее композиционный материал. Обычное холодное прессование обеспечивает максимальную плотность 84–85% и прочность после спекания на уровне 50% прочности кованного материала примерно того же сплава. Высокоскоростное холодное прессование позволяет достигать плотности 94–95% и относительной прочности 75%.

Прочность САП примерно в 5 раз выше, чем у алюминиевых сплавов. При 20°C  $\sigma_b = 380$  МПа  $\delta = 7\%$ . При 200 °C  $\sigma_b = 235$  МПа  $\delta = 5\%$ .

Сплавы типа САП применяются в авиатехнике для изготовления деталей с высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью работающих при температурах до 300–500°C. Из них изготавливают штоки поршней, лопатки компрессоров, оболочки тепловыделяющих элементов и трубы теплообменников. Прочность армированных композиционных материалов на основе алюминия, армированной стальной проволокой  $\sigma_b = 1500$  МПа при КСИ = 0,4–0,6 МДж/м<sup>2</sup>.

Для материалов на основе алюминия, упрочненного различными количествами борных волокон  $\sigma_b$  с 10% волокон =

300–380 МПа,  $\sigma_b$  с 30% = 700–900 МПа при  $\delta = 0,7\%$ ;  $\sigma_b$  с 50% по объему = 1100–1400 МПа при  $\delta = 0,6\%$ .

Композитные материалы сочетают в едином материале свойства различных материалов и превращают их в качественно иные (требуемые) свойства. Основным критерием композитов конструкционного назначения является их прочность. Максимальную прочность композиты приобретают при введении в матрицу наполнителя в виде структурных элементов минимального геометрического размера.

Наноразмерными ( $10^{-9}$  м) материалами, называют материалы частицы которых имеют хотя бы в одном измерении размеры менее 100 нм (нанометров). Сто нанометров является верхним пределом размера частиц наполнителя композита. Нижний предел соответствует размеру молекул.

Нанотехнология решает проблемы рационального использования широко применяемых в технике материалов и открывает новые, неизвестные ранее перспективы получения материалов с требуемыми свойствами.

Основные достижения современного этапа развития работ по нанотехнологии связаны с реализацией потенциальных конструкционных и функциональных свойств металлических и неметаллических материалов.

Практическое применение материалов конструкционного назначения часто ограничивается тем. Что увеличение прочности материала традиционными способами приводит к снижению его пластичности. Нанотехнология позволяет снять это ограничение. Для наноматериалов возможно сочетание высокой прочности и пластичности.

В области реализации потенциальных функциональных свойств веществ наиболее впечатляющих результатов достигло промышленное применение сорбентов с узкими пределами распределения пористости в наноразмерном интервале. Сорбенты находят широкое применение в технологических процессах катализа, фильтрации и разделения веществ.

В промышленных масштабах организовано производство наносорбента на основе силикатов. Они широко используются в нефтехимии. Экономический эффект при этом достигает сотни миллиардов рублей.

На основе наноматериалов создаются новые типы плёночных мембран, способных с высокой эффективностью разделять газовые смеси.

В ближайшие годы ожидается промышленное производство наноразмерных оксидов металлов для обезвреживания боевых отравляющих веществ, а также нанопористых композитов в виде гранул или таблеток для очистки и дезинфекции воздуха в салонах транспортных устройств и в общественных зданиях.

Уникальная избирательность наноматериалов к внешним воздействиям позволяет использовать их в качестве сенсоров разного назначения. Из них изготавливают датчики давления, ускорения, температуры, влажности и т.д.

Высокая чувствительность нанополимеров к физико-химическим параметрам внешней среды открывает перспективы их медицинского применения. В частности, установлено, что наночастицы некоторых веществ при введении в организм могут избирательно проникать в раковые клетки и поражать их.

Гибридные нанокомпозиты используют для получения пластичных материалов с полупроводниковыми и сверхпроводящими свойствами.

Большой областью технического приложения нанотехнологии является триботехника. Введение в зону трения наноразмерных частиц резко повышает износостойкость деталей машин. При этом износостойкость контактируемых деталей увеличивается в 5 раз и создаёт перспективы безразборного ремонта узлов трения машин в режиме их штатной эксплуатации.

Применение композитных материалов с использованием нанотехнологий сулит революционные перспективы в народном хозяйстве и в быту.

### Вопросы для самопроверки

1. Что такое композиты?
2. Как подразделяют композиты в зависимости от формы и размеров наполнителя?
3. Как подразделяют композиты по виду матрицы?
4. От чего зависят механические свойства композитов?
5. Какие композиционные материалы используют для работы при высоких температурах (жаропрочные)?
6. Что такое наноматериалы?
7. Какие возможности позволяет нанотехнология?

## 8. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

### 8.1 Сущность и виды коррозии

Коррозия – это разрушение металлических деталей вследствие химического взаимодействия с окружающей средой. При этом, участки металла, подвергшиеся коррозионному разрушению, полностью теряют свои механические свойства.

В результате коррозии ежегодно теряется от 1 до 1.5% всего используемого металла. Прямые потери, связанные с воспроизводством и заменой оборудования вследствие коррозии, составляют в масштабах только нашей страны 12–14 млрд рублей в год. Общие же потери от коррозии превышают 40 млрд в год. Принято считать, что в индустриально развитых странах убытки от коррозии составляют 2–4% национального дохода. Причём эти потери имеют тенденцию к росту. Он связан:

- 1) с ростом металлофонда;
- 2) с увеличением в технике и технологии таких параметров как температура, давление, скорость, агрессивность среды;
- 3) с повышением загрязнённости коррозионно-активными веществами окружающей среды (атмосферы, воды, почвы).

В связи с изложенным, можно сказать, что проблема коррозии металлов и сплавов и разработки методов и средств борьбы с ней носит глобальный характер.

Для пожарной техники она особенно актуальна, т.к. сроки эксплуатации техники весьма значительны и сохранение её в приведённых выше условиях, задача не только актуальна и достаточно сложна.

По этому данному вопросу в подразделениях ПО уделяется большое внимание.

Как отмечено ранее коррозия может протекать вследствие чисто химических реакций металла с окружающей средой, либо благодаря электрохимическим процессам, происходящих на границе раздела металла с внешней средой. Исходя из этого механизма воздействия на металл различают 2 вида коррозии: химическую и электрохимическую. Характер разрушения металла от коррозии может быть разным. Коррозия может быть: сплошной, когда повреждению подвергается весь поверхностный слой и местной, когда подвергаются отдельные участки поверхности; межкристаллическая, когда повреждается металл по границам зёрен-кристаллов.

Отличается коррозия и по условиям её протекания. Наиболее типичные виды коррозии следующие:

атмосферная, подземная, блуждающим током, контактная, биокоррозия, при полном нагружении, при неполном нагружении, щелевая, растрескивание, газовая, морская.

## **8.2. Способы защиты (предохранения) металлических поверхностей от коррозии**

Для борьбы с коррозией применяются различные способы, учитывающие особенности не только самого металла, но и условия его эксплуатации. Поэтому нет какой-либо единой системы выбора и применения мер защиты от коррозии. В практике борьбы с коррозией наиболее распространены следующие группы способов защиты поверхностей деталей машин и оборудования:

1. Покрытие неметаллическими веществами.
2. Металлические покрытия.
3. Диффузионное насыщение поверхностного слоя.
4. Покрытие плёнками окислов (химические покрытия).
5. Применение ингибиторов коррозии.
6. Использование органосиликатов.
7. Создание коррозионностойких сплавов.

**Покрытия неметаллическими веществами** среди других способов защиты нашли наибольшее распространение в практике защиты пожарной техники. Сюда относятся нанесение на поверхность деталей красок, лаков, противокоррозионных паст, защитных смазок, пластмасс.

Этот способ имеет ряд преимуществ перед другими видами защиты: простота нанесения, доступность, возможность подновления и ремонта в условиях эксплуатации, возможность сочетания с другими способами защиты и т.д.

Однако этот способ не может считаться универсальным т.к. покрытия неметаллическими веществами, особенно лакокрасочные, обладают ограниченной паро-, газо- и водонепроницаемостью, а также недостаточной термостойкостью, хотя последний недостаток устраняется применением кремнийорганических смол, выдерживающих нагрев до 250–300°C. Опыт эксплуатации пож. машин показывает, что лакокрасочные покрытия могут длительное время успешно выполнять свои функции, если за ним имеется определённый уход.

Уход за лакокрасочным покрытием предусматривает прежде всего предупреждение его механического повреждения. Если в результате механических повреждений покрытие даже не полностью разрушается, а образуется лишь трещины или царапины, то они не защищают поверхность металла, а наоборот способствуют проникновению влаги и дальнейшему разрушения покрытия и развитию коррозии. Поэтому при появлении царапин, трещин они должны затираться пастой (воском), лаком и другими антикоррозионными средствами.

Солнечные лучи оказывают заметное разрушающее действие на лакокрасочные покрытия. Под их влиянием происходит изменение цвета пигмента, выделение его на поверхность покрытия, а также разрушение плёнообразователя, его растрескивание. В связи с этим, длительное нахождение автомобиля на солнце недопустимо.

Нежелательно также, чтобы на окрашенной поверхности длительное время находилась влага. Во-первых, присутствующие в воде соли и другие вещества взаимодействуют с покрытием, изменяя его свойства, в том числе может происходить и прямое разъедание покрытия. Во-вторых, в осенне-зимний период влага, попавшая в микротрещины, замерзает и усиливает растрескивание покрытия. Поэтому после мойки окрашенной техники её необходимо протереть насухо.

Нежелательно попадание на окрашенные поверхности лёгких нефтепродуктов. Особенно чувствительны к нефтепродуктам покрытия с масляно-смоляными плёнообразователями (глифталевые, пентафталевые эмали и др.). Нитроэмали и краски более стойки к нефтепродуктам, но пользоваться этим без ограничения нельзя.

Любое длительное загрязнение покрытия грязью, пылью разрушающе действует на покрытие. Основными операциями ухода за лакокрасочными покрытиями являются удаления загрязнений с поверхности, нанесение жирной или восковой плёнки при хранении, восстановление блеска путём полировки. Причём полировку нельзя производить на нагретой поверхности, в туман, дождь, на солнце. При наличии на покрытии глубоких и сквозных трещин, которые полированием устранить невозможно, должно быть немедленно осуществлено их восстановление. Причём восстанавливаться оно должно с применением грунтовки. Простая, подкраска не предохраняет поверхность.

В последние 10–15 лет для защиты металлических деталей авто-тракторной техники широко используются различные антикоррозионные составы. Так для обработки нижних частей автомобилей

применяется: автоантикор-2 битумный, автоантикор эпоксидный, мастика сланцевая МСА-3, автоантикор эпоксидно-каучуковый, а также импортные: текстил-122А (США, Швейцария), Финикор-845 (Финляндия) и др.

Закрытые полости кузовов легковых автомобилей обрабатывают специальными антикоррозионными составами. Например: Мовиль, Резистин-МЛ, НГМ-МЛ и др., которые хорошо проникают в сварные швы, стыки, зазоры и обладают высокой пропитывающей и водоотталкивающей способностью.

**Всё более широкое применение для защиты поверхностей техники от коррозии находят пластмассы.** Металл с нанесённым пластмассовым слоем называется металлопластом. А процесс нанесения пластмассовой плёнки на металл называется плакированием. Плёнку с металлом соединяют при помощи клея. Для металлопластов обычно используют полиэтилен, поливинилбутироль, полиамиды, а также термоактивные смолы. В заводских условиях металл может защищаться нанесением пластмассовых порошков при  $t = 210\text{--}220^\circ\text{C}$  или полиамидных (капроновых) порошков ( $260\text{--}270^\circ\text{C}$ ).

В практике для защиты металлоповерхностей от коррозии следует отметить также применение органосиликатов, поскольку в исходном состоянии они находятся в виде суспензий (т.е. в текучем жидком состоянии) и могут наноситься на защищаемые поверхности кистью, валиком, пульверизатором. Их получают на основе кремнийорганических полимеров (лаки) с добавкой пигментов, окислов, слюды, талька, асбеста. Они быстро затвердевают при нормальных условиях, легко обрабатываются. При подвергании их нагреванию превращаются в керамику, становясь термо- и даже жаростойкими.

Все другие способы, отмеченные ранее, также находят широкое применение, но их реализация осуществляется лишь в заводских условиях, т.к. требует применения специального оборудования и осуществления определённых технологических процессов. В связи с этим ниже даются лишь краткие сведения о их сущности.

**Металлические покрытия** – нанесение на защищаемую поверхность другого металла горячим или гальваническим способом.

Горячий способ заключается в том, что изделие с обработанной и очищенной поверхностью погружают в ванну с расплавленным наносимым металлом (оцинкование, лужение оловом, свинцевание). На автомобилях оцинковывают кузовные и крепёжные детали, покрывают оловом ленту для трубок радиаторов, освинцовывают накопники зажимов проводов электрооборудования, топливные баки.



Гальванический способ заключается в осаждении на изделие тонкого слоя металла из его соли под действием электрического тока (хромирование, никелирование).

**Диффузионное насыщение** поверхностного слоя заключается в насыщении его различными элементами, вступающими в химическую реакцию с основным металлом и образованием окислов или стойких элементов (плакирование, алитирование, цементация).

Покрывание плёнками окислов. Их бывают 2 разновидности: оксидирование и фосфатирование.

Оксидирование (воронение) применяется для защиты чёрных металлов путём придания их поверхности оксидной плёнки погружением в кипящий водный раствор, содержащий едкий натрий, селитру и перекись марганца. Полученная плёнка весьма стойка на сухом воздухе и менее стойка в воде и на сыром воздухе.

Фосфатирование – способ защиты путём образования на поверхности стальных изделий защитной плёнки фосфорнокислых соединений железа и марганца. Ведётся аналогично воронению.

Создание коррозионностойких сплавов осуществляется введением в сталь легирующих добавок хрома, никеля, алюминия, кремния, вольфрама и др. В последние годы всё шире применяются ингибиторы коррозии, т.е. вещества, которые при добавке в агрессивную среду тормозят коррозию. Их добавляют в охлаждающие жидкости, топливо, масла и т.д.

### Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность электрохимической коррозии (основы теории)?
2. Что называется коррозией металлов?
3. Какая разница между химической и электрохимической коррозией?
4. При каких условиях возникает химическая коррозия?
5. Какая сталь лучше сопротивляется коррозии: сталь 20 или сталь 60 и почему?
6. Какая разница между электрохимической, химической и механической защитой от коррозии?
7. Какие металлы наиболее часто применяются для гальванических покрытий?
8. Какие требования предъявляются к металлическим покрытиям?
9. В чем сущность оксидирования стали?

## 9. СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

### 9.1. Литейное производство

Для литья в различной степени пригодны все металлы и их сплавы. Однако, чтобы качество отливок удовлетворяло техническим требованиям, сплавы, из которых изготавливаются отливки, должны (удовлетворять) обладать следующими свойствами:

- 1) жидкотекучестью,
- 2) небольшой усадкой,
- 3) незначительной газопоглощаемостью,
- 4) однородностью структуры,
- 5) не слишком высокой температурой плавления, отсутствием
- 6) неметаллических включений и т.д.

**1. Жидкотекучесть** – способность расплава свободно течь в литейной форме, заполняя её и точно воспроизводя все контуры. Она зависит от химического состава, температуры при заливке, а также наличия примесей и других факторов. Железоуглеродистые сплавы тем лучше заполняют форму, чем больше они содержат углерода, кремния, фосфора. Сера и хром понижают жидкотекучесть.

**2. Усадка** – свойство металлов и сплав уменьшать свой объем при затвердевании и охлаждении; при этом имеет место соответствующие изменения линейных размеров отливки. В результате усадки в теле отливки могут образовываться усадочные раковины и пористость. Величина усадки зависит от химического состава сплава, скорости его охлаждения, температуры заливки. Процент линейной усадки достигает в литейных чугунах 0,5–1%, в углеродистых сплавах 1,5–2%, алюминиевых сплавах 0,8–1,1%. Усадка чугунных отливок уменьшается с повышением графита в чугуне.

**3. Ликвация** – химическая неоднородность затвердевшего сплава. На неё оказывает такие факторы как химический состав сплава, конфигурация отливки, скорость охлаждения и т.д.

**4. Газопоглощаемость** – способность сплава в жидком состоянии растворять газы. При незначительной газопоглощаемости отливка будет плотной, без внутренних пустот, которые получаются вследствие выделения газов, растворенных в жидком сплаве и выделяемых при охлаждении. Для уменьшения газонасыщенности сплавов применяют плавку в вакууме или в среде инертных газов, а также дегазацию вакуумированием в специальных камерах и т.д.

Если металл или сплав обладает перечисленными свойствами, из него могут быть получены отливки высокого качества.

### **Технологические основы литейного производства**

Технологический процесс производства отливок включает ряд операций, являющихся необходимыми, независимо от способа.

К таким операциям относятся следующие:

- изготовление моделей;
- изготовление литейных форм по моделям;
- расплавление металла и заливки форм жидким металлом;
- охлаждение отливок, их извлечение из форм, очистка, обрубка

и т.д.

Модели изготавливаются с применением деревянных, пластмассовых или металлических материалов, размеры и очертания, которых соответствуют получаемым отливкам. Размеры модели выполняются по размерам несколько больше, по сравнению с деталью на величину линейной усадки сплава (для сталей 1,8–2%; чугуна 0,8–1,2%).

Отверстия и полости внутри отливок, а также иные сложные контуры образуют при помощи стержней, устанавливаемых в формы при их сборке. Если отливки подвергаются механической обработке, то предусматривается припуск на механическую обработку (0,5–0,7 мм на сторону).

Литейные формы бывают разовые, т.е. рассчитанные на изготовление одной отливки и разрушаемые при извлечении отливки из неё и постоянные, используемые для изготовления партии отливок.

Литейные формы с добавками при сушке увеличивают газопроницаемость за счет сгорания добавок. Постоянные формы (кокили) изготавливают из чугуна или стали. Их применяют в массовом и серийном производстве деталей не очень сложной формы и небольших размеров. Стержни изготавливают из кварцевого песка и глины с добавлением продуктов переработки нефти, неорганических соединений (жидкое стекло, цемент и др.).

Модели из древесины обладают дешевизной, простотой изготовления, малой массой. Основной их недостаток – малая долговечность.

Металлические модели, по сравнению с деревянными, имеют большую долговечность и чистоту поверхности. Такие модели чаще всего изготавливаются из алюминиевых сплавов, поскольку имеют малую плотность, хорошо обрабатываются резанием, не окисляются.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги, не подвергаются короблению, имеют хорошую чистоту поверхности.

Литейная форма изготавливается из песчано-глинистых смесей, разовые формы из металлов и из термореактивных смесей (обычно смесь чистого кварцевого песка и крепителя из термореактивной смолы).

Песчано-глинистые смеси состоят из зёрен кварца различной величины, глины и небольшого количества различных окислов.

Песок в формовочных смесях повышает газопроницаемость. Глина обеспечивает связь между частицами песка и увеличивает устойчивость при повышении температуры. Глины для формовки обычно представляют собой горные породы, состоящие в основном из мелкодисперсных частиц водных силикатов алюминия, обладающих связывающей способностью во влажном состоянии и достаточной термохимической устойчивостью.

Специальные добавки вводятся в смеси для повышения противопригарности и предотвращения прилипания смесей. В качестве противопригарных добавок применяют молотый каменный уголь, битум, мазут.

В состав смеси включается тонкая бывшая в употреблении формовочная смесь. Формы из песчано-глинистых смесей называются разовыми, т.к. используются только для одной отливки. Это как правило единичные крупногабаритные отливки.

Такие формы могут выполняться объёмными (большой толщины) или оболочковыми (малой толщины). Последние изготавливаются из песчано-керамических смесей.

Металлические формы имеют ряд преимуществ по сравнению с литьём в песчано-глинистых формах. В первую очередь следует отметить, такие как: более мелкозернистая структура металла в связи с быстрым остыванием в этой форме, большая точность размеров и чистота поверхности, и следовательно точность размеров, выше производительность труда, трудозатраты, себе стоимость литья и т.д. Наряду с этим литьё в металлические формы имеет свои трудности: значительные затраты времени на изготовление формы, высокая теплопроводность форм затрудняет получение тонкостенных деталей, невозможно получить отливки, имеющие сложный внутренний и наружные очертания и т.д. Особенно сдерживает литьё в металлические формы относительно малая стойкость форм (кокилей) и их неподатливость, приводящая к возникновению трещин в

отливках. Поэтому литьё в кокиль применяется в основном при изготовлении деталей из цветных сплавов. Для металлических форм применяются и металлические и реже песчаные стержни. Для предохранения рабочей поверхности кокиля от воздействия жидкого металла применяются облицовки, изготавливаемые из талька, огнеупорной глины, масла и различных связывающих материалов. Формы покрываются облицовочным слоем в 0,1–2,0 мм 1–2 раза в смену. Перед заливкой кокили покрываются краской, приготовленной на основе графита, угля и копоти ацетиленового пламени.

Формы из термореактивных смесей состоят из чистого кварцевого песка и крепителя. Крепителями служат различные термореактивные смолы. Наибольшее распространение получил pulverбакелит, представляющий собой размельченную смесь формальдегидной смолы, бакелита и уротранина. Термореактивная смола при нагревании претерпевает изменения. Так при её нагревании до  $t = 120\text{--}150$  град. смола затвердевает, а при 160–180 град. переходит в необратимую твердую фазу. В оболочковых формах отливают ответственные детали из чугуна, стали, цветных и специальных сплавов (блоки цилиндров двигателей, колончатые и распределенные валы, цистерны и т.д.).

Литьё в оболочковые формы имеет ряд преимуществ. Основные из них: высокая чистота поверхности отливок и точность размеров, меньший расход формовочных материалов. Недостатками метода можно назвать дефицитность и дорогую стоимость pulverбакелита, необходимость повышенной вентиляции цеха из-за выделения фенола при заливке форм.

### **Классификация основных способов литья**

Наиболее общая классификация литья металлов и сплавов осуществляется по виду применяемых литейных форм. По этому признаку различаются следующие способы литья:

1. Литьё в песчано-глинистые формы
2. Литьё в металлические формы (кокиль)
3. Литьё в оболочковые формы.

Кроме этого, литьё классифицируется по способу заполнения жидким металлом литейной формы. Здесь различаются такие способы, как:

1. Литьё под давлением
2. Центробежное литьё

3. Литье вакуумным всасыванием
4. Непрерывное и полунепрерывное
5. Электрошлаковое и т.д.

Последние перечисленные выше способы могут осуществляться главным образом литьем металлические формы и некоторые – в оболочковые формы. Все они относятся к специальным способам литья. К ним же относится также литье по выплавляемым моделям.

Готовые литейные формы заполняются подготовленным для заливки жидким металлом. Для плавления металла в литейном производстве используются вагранки, конверторы, электропечи дуговые и сопротивления и другие плавильные агрегаты.

Заполнение форм жидким металлом – это сложный процесс. Большое значение при заливке имеет температура металла, продолжительность заливки, размеры отливок, литейные свойства металла, очертания формы и литейная форма. Заливка форм осуществляется двумя способами:

- расплавленный металл подается в ковше к формам.
- формы, укладываются на конвейере и последовательно подводятся к неподвижному ковшу.

Остывшие отливки выбиваются из форм с помощью вибрационных машин. Образовавшиеся литники, через которые заливался металл, удаляются. Очищаются места пригара смеси. Если необходимо отливки подвергаются термической обработке. Если обнаруживаются небольшие дефекты литья, то их устраняют всеми доступными методами: заваркой, пайкой, металлизацией, пропиткой, специальными составами и т.д.

### **Сущность основных способов литья**

Литье в песчано-глинистые формы является наиболее общераспространенным. Для изготовления отливок данным способом применяют большое число различных приспособлений, которые называют литейной оснасткой. В комплект оснастки входят: модели, модельные плиты, стержневые ящики, и др. Технологический процесс литья в песчано-глинистые формы связан с большим грузооборотом вспомогательных материалов и очень трудоемок. Он включает подробные выполнения всех операций, перечисленных ранее, т.е. изготовление моделей, формовочных смесей и стержневых смесей, изготовление форм, заливку металла, удаление отливки из форм и их обработку.

Изготовление несложной формы в двух опоках, т.е. в жестких рамках для предотвращения разрушения формы, производится следующим образом: на под модельную плиту устанавливают модель, затем модель припудривают тальком или графитом и опоку доверху наполняют формовочной смесью, утрамбовывают её, а излишек смеси удаляют линейкой рис. 1. После этого опоку переворачивают вместе с плитой. Затем плиту снимают и на нижнюю опоку ставят верхнюю опоку, а за плоскость разъема формы посыпают сухим кварцевым песком. Нижнюю опоку также наполняют формовочной смесью, установив предварительно литниковый стояк и выпор. Первый из них при извлечении стояка и выпора образует канал для заливки металла, а второй для выхода воздуха и газов. Далее осторожно разъединяют опоки на линии их соединения и в верхней опоке прорезают канал шлакоуловителя, а в нижней канал питателя, затем удаляют модель и вновь соединяют опоки. В результате форма готова для отливки. Для уплотнения смеси, удаления модели применяются машины. В настоящее время применяются главным образом для отливки крупногабаритных, сложных и единичных изделий. Однако оно достаточно сложнее по технологии осуществления. Получаемые отливки не однородны по структуре металла, нуждаются в термообработке для выравнивания структуры, не отличаются чистотой поверхности, возможны значительные дефекты в виде пустот и др.

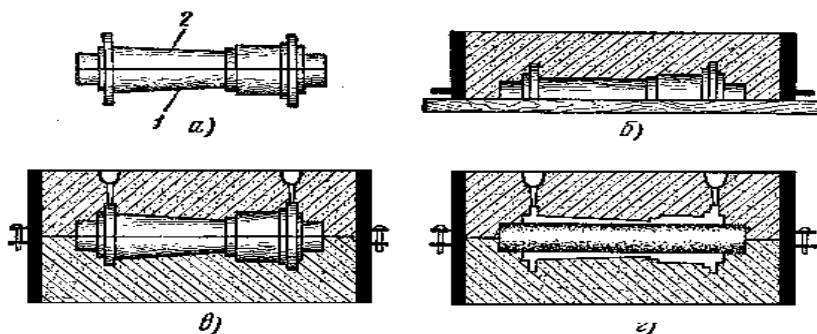


Рис. 35. Схема формовки пустотелой втулки: а – модель втулки: 1 – нижняя половина модели; 2 – верхняя половина модели; б – форма в нижней опоке, в – форма в верхней опоке, г – собственная форма со стержнем.

## 9.2. Обработка давлением

В основе всех процессов обработки и производства заготовок пластическим деформированием (давлением) лежит способность металлов и их сплавов пластически деформироваться под действием сил, т.е. необратимо изменять свою форму, не разрушаясь.

При пластической деформации изменяется не только форма, но и в зависимости от условий деформации (температуры, скорости и степени деформации) также структура, механические и физические свойства металла. Изменение форм тела при его упругой деформации обусловлено изменением межатомных расстояний ввиду принудительного (вызванного приложенными силами) отклонения атомов от положения устойчивого равновесия.

Механизм пластической деформации иной. При наличии напряженного состояния тела между кристаллами и внутри кристаллов по плоскостями скольжения действуют сдвигающие напряжения, которые при достижении определенной величины, зависящей от природы тела, преодолевают сопротивления границ кристаллов и плоскостей скольжения внутри зерен и вызывают необратимые перемещения (сдвиги), и следовательно необратимое изменение размеров и формы кристаллов и всего тела.

В большинстве случаев практики пластического деформирования используется нагрев металла перед обработкой. Его назначением является повышение пластичности и снижение сопротивления деформированию. Для этой цели используется как пламенные, так и электрические нагревательные устройства. Их конструкция отличается большим разнообразием и подробно не рассматривается. Упрочнение металлов под действием пластической деформации называется **наклепом**.

При сжатии куска металла в холодном состоянии вследствие деформации происходит удлинение зерен, которое увеличивается с увеличением деформации. В процессе деформации атомы зерна (кристалла) сдвигаются пачками по плоскостям сдвига (наиболее густо усеянными атомами). По мере увеличения степени деформации сопротивление сдвигу по плоскостям скольжения зерен увеличиваются, и наконец, сдвиг по этим плоскостям прекращается, а дальнейшая деформация начинает происходить за счет вторичных плоскостей скольжения, имеющих другое направление. При этом форма первичных пачек нарушается. В результате зерна измельча-



ются, т.е. происходит их дробление по плоскостям сдвига, и монокристалл превращается в поликристалл, т.е. в процессе пластической деформации металла происходит измельчение зерна.

**Наклеп объясняется увеличением числа дефектов кристаллического строения (дислокаций, вакансий, межузельных атомов).** Дефекты кристаллического строения затрудняют движение дислокаций, а следовательно, повышают сопротивление деформации и тем препятствуют дальнейшему развитию пластической деформации. В результате деформации уменьшается плотность металла, сопротивление коррозии и повышается электросопротивление.

Способом наклепа в машиностроении увеличивают срок службы деталей, например зубчатых колес. Пластическая деформация вследствие искажения кристаллической структуры приводит металл в структурно неустойчивое состояние. Самопроизвольно должны происходить явления, возвращающие металл в структурно более устойчивое состояние.

При нагревании металл постепенно переходит из неустойчивого состояния наклепа в устойчивое равновесное состояние, причем этот процесс сопровождается изменением в структуре и свойствах металла. В начале нагревания происходит постепенное снятие напряжений и выравнивание искаженной кристаллической решетки. При этом в наклепанном слое уменьшаются твердость и прочность, возрастает пластичность. Этот процесс называется **возвратом** металла или **отдыхом**.

В результате этого процесса твердость и прочность несколько (на 20–30% по сравнению с исходными) понижаются, а пластичность возрастает. Однако устранение искажений кристаллической решетки при возврате не сопровождается изменением микроструктуры. При более высоком нагреве атомы металла приобретают способность к большим перемещениям.

При дальнейшем нагреве из обломков деформированных зерен возникают новые зерна, имеющие правильную (неискаженную) кристаллическую решетку. Этот процесс образования новых зерен называется **рекристаллизацией**, а температура, при которой он происходит, – **температурой рекристаллизации**.

Рекристаллизация протекает при более высоких температурах, чем возврат, и может начаться с заметной скоростью после нагрева выше определенной температуры.

Температура рекристаллизации сплавов 0,4 ТПЛ Температура рекристаллизации имеет важное практическое значение. Для того чтобы восстановить структуру и свойства наклепанного металла, его надо подвергнуть рекристаллизационному отжигу.

Основными процессами обработки металлов пластическим деформированием являются: прокатка, волочение, ковка, штамповка.

**Прокатка** – процесс обжатия заготовки между вращающимися валками с целью придания ей требуемой формы и размеров рис. 36. Различают три способа прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (косую). Основным способом, при помощи которого производят до 90% всего проката, является продольная прокатка, в процессе которой металл подвергается обжатию между вращающимися на встречу друг другу параллельными валками. Валки могут быть цилиндрическими гладкими, либо с канавками различной формы (квадрат, круг, уголок). Поэтому сортамент стального проката делится на следующие группы: сортовой прокат, листовой прокат, трубы и профили специального назначения. Технологическая схема современного прокатного производства содержит следующие обязательные элементы: подготовка исходного материала, нагрев его, прокатка, отделка. Процесс прокатки осуществляется следующим образом рис. 37. Полоса высотой  $H$  силами трения, возникающими между ее поверхностью и поверхностью валков, втягивается в щель между валками, высота которой меньше начальной высоты полосы и обжимается до размера  $h$ . Разность между начальным  $H$  и конечным  $h$  размерами называется абсолютным обжатием.

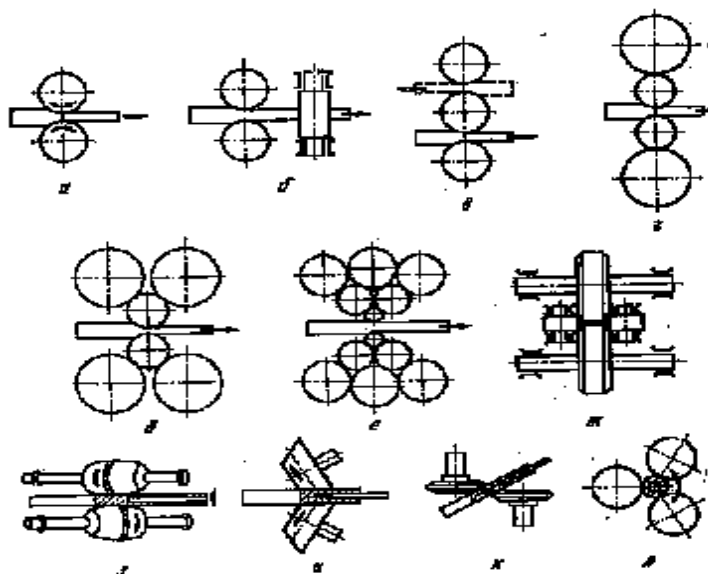


Рис. 36. Основные способы прокатки

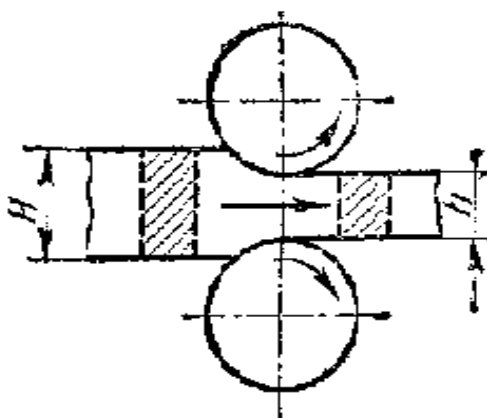


Рис. 37. Схема процесса прокатки

Процесс прокатки возможен только в том случае, если угол альфа, называемый углом захвата, не превышает некоторой вели-

чины, определяемый коэффициентом трения между металлом и валами. Одновременно с уменьшением сечения полосы и увеличением ее длины, наблюдаются некоторые увеличения ее поперечных размеров, называемое уширением. Величина уширения зависит от величины обжатия, диаметра валков, коэффициента трения и т.д. Уширение влияет на точность и качество прокатываемых профилей. При малой его величине калибр не будет заполняться и возможно получение не полностью оформленного профиля.

### 9.3. Волочение, прессование

**Волочение.** Сущность процесса волочения состоит в деформации металла путем протягивания через сужающийся по длине канал рис. 38. Каналы могут быть различного профиля. Матрица и ее отверстия (фильеры) изготавливаются из закаленной стали, твердых сплавов. Усилие волочения определяется, в значительной степени, силами трения на поверхности металла – фильер. Смазки бывают жидкими (касторовое масло, олифа, минеральные масла), жидкие с добавлением талька, порошка графита; сухие (порошки, мыла и др.). Процесс волочения многократен и чередуется с большим количеством промежуточных отжигов, травлений, смазок и др.

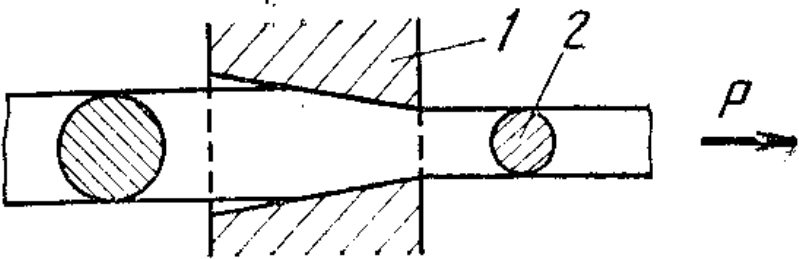


Рис. 38. Схема волочения: 1 – фильер, 2 – пруток

Данный способ применяется для изготовления проволоки, труб и для калибровки профильного проката. Длина протягиваемых прутков ограничивается размерами станины и не превышает обычно 15 м.

**Ковка заготовок.** Ковкой называют пластическую деформацию металла, при которой изменения его профиля происходит в том направлении, где металл встречает наименьшее сопротивление.

Ручную ковку применяют главным образом для штучного изготовления мелких поковок и при ремонтных работах. Машинная ковка применяется для изготовления поковок большой массы, в любом количестве и с более высокой точностью, чем при ручной ковке. Она обычно производится посредством молотов различного устройства и ковочных машин.

Основными операциямиковки можно назвать следующие: вытяжка, осадка, гибка, прошивка, рубка, закручивание, обжимка и др. Ковка в штампах или штамповка является более прогрессивным способом производства заготовок. При этом повышается производительность труда, меньше припуски на последующую обработку. Штампы изготавливают из твердых и прочных сталей. Это требует значительных затрат. Однако для большого количества деталей, расходы на изготовление штампов не вызывают удорожание изделий. Изделия штампуются как в нагретом, так и в холодном состоянии. Штамповка может быть как объемной, так и листовой.

**Прессование** – технологический процесс, применяемый для получения изделий сложного поперечного сечения из пластичных цветных металлов и их сплавов, а также из стали. Прессование изделий отличается высокой точностью, а изделия – качеством поверхности. Сущность процесса заключается в том, что металл, помещенный в замкнутый объем – контейнер, подвергается высокому давлению и выдавливается сквозь отверстие, принимая его форму. Существует два метода прессования – прямой и обратный. При прямом прессовании прутков заготовка, нагретая до определенной температуры, помещается в контейнер. С одной стороны контейнера закреплена матрица, с другой – на заготовку давит пресс – шайба, связанная со шплинтоном, получающим давление от плунжера пресса. Под действием этого давления металл выдавливается через отверстие матрицы. Пресс – остаток в контейнере идет в отход. При обратном прессовании прутков в контейнер входит не пресс – шайба, а полый пуансон с матрицей в виде кольца. Матрица давит на заготовку и металл течет в отверстие матрицы на встречу движению пуансона. Один из сравнительно новых и весьма перспективных способов прессования, при котором повышается пластичность металла и уменьшается влияние вредных сил трения, является прессование жидкостью высокого давления. Этот способ

называется гидроэкструзией рис. 39. Сущность способа заключается в том, что заготовка деформируется не жестким пуансоном, а жидкостью, подаваемой в полость контейнера.

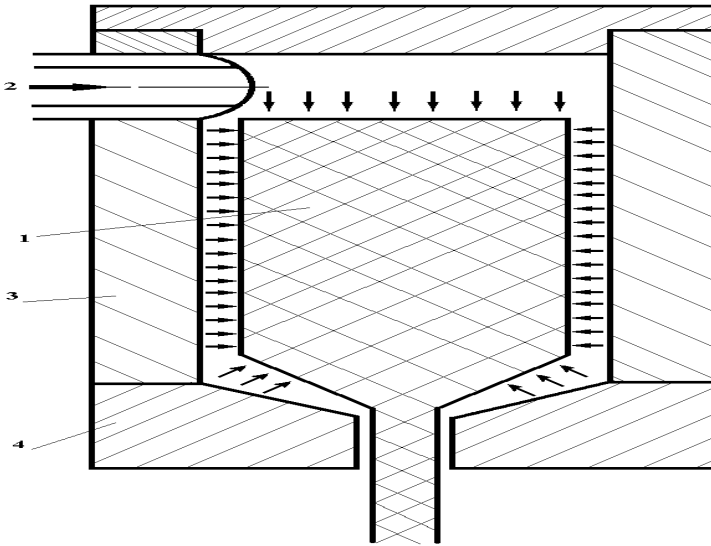


Рис. 39. Схема прессования жидкостью высокого давления:  
1 – заготовка; 2 – жидкость высокого давления; 3 – контейнер;  
4 – матрица

В зависимости от заданных давлений и температуры обрабатываемого металла (холодная обработка или тепловая деформация с подогревом до 200–700°C, горячее выдавливание при 700–1200°C) при гидроэкструзии применяют различные типы жидкостей: жидкое стекло, глицерин, вода, масло, силикон, керосин, расплавы солей и др. В качестве смазок применяются: дисульфид молибдена, графит, касторовое масло, оксид цинка и др.

#### 9.4. Сварка, резка, пайка

**Сваркой** называют процесс получения неразъемного соединения, в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями. Известно, что свойства твердых

тел, в том числе и механические (прочность, упругость, пластичность и др.), определяются их внутренними энергетическими связями, т.е. связями межмолекулярного, межатомного и ионного взаимодействия.

В металлах, которые относятся к кристаллическим твердым телам, внутренние связи определяются единым энергетическим полем ионизированных атомов, находящихся в узлах кристаллической решетки, и подвижных электронов. Для получения в сварном соединении таких же энергетических связей, как в самом свариваемом металле, необходимо пограничные слои одной составной детали приблизить к пограничным слоям другой на такое расстояние, при котором между ними возникает единое энергетическое поле. В ряде случаев такое состояние может быть получено с помощью промежуточного добавочного металла, который должен установить подобные связи с пограничными слоями соединяемых частей. Расстояние между узлами кристаллической решетки, при которых в металле образуется достаточно сильное энергетическое поле, составляет  $4 \cdot 10^{-8}$  см. Подобной точности подгонки поверхностей твердых материалов современные методы обработки обеспечить не могут. Так полировка обеспечивает точность обработки поверхности не выше  $10^{-5} - 10^{-6}$  см., т.е. примерно в 400 раз менее точную, чем та, которую необходимо иметь для установления общего энергетического поля. Облегчить возможность сближения поверхностей для установления энергетических связей между отдельными частями можно двумя путями:

1. Повышение температуры.
2. Применением внешней силы достаточно большой величины.

В связи с этим сварные соединения можно получить двумя принципиально различными путями: сваркой плавлением и сваркой давлением.

При сварке плавлением атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавляя их примыкающие кромки, так, чтобы получалось смачивающая их общая ванна жидкого металла. Эта ванна затвердевает при охлаждении и соединяет детали в единое целое. При этом в жидкую ванну может вводиться дополнительный присадочный металл для более полного заполнения зазора между деталями. Может быть сварка и без присадочного металла.

При сварке давлением обязательным является совместная пластическая деформация деталей сжатием зоны соединения. Пластической деформации обычно предшествует нагрев. Существуют и комбинированные процессы, когда металл доводят до расплавления и обжимают зону сварки (точная сварка).

### **Основные способы сварки и их краткая сущность**

В настоящее время известно более 70 способов сварки, отличающихся разнообразием технологических процессов. Это связано как с применением разных способов нагрева деталей (электрической дугой, газокислородным пламенем, прямым пропусканием тока, лазером и т.д.), так и защитой зоны сварки от воздействия воздуха и принудительной деформации. Одни распространены более широко, другие – ограниченно. Однако сварка в целом является одним из важнейших способов получения неразъемных соединений. Наибольшее применение находят такие способы, как: ручная дуговая, автоматическая дуговая под флюсом и в защитных газах, электрошлаковая, лазерная, а также термомеханические методы сварки, как: взрывом и ультразвуковая.

**Ручная дуговая сварка** имеет наибольший объем применения рис. 40. Схема процесса приведена ниже. Питание дуги осуществляется от сварочного генератора или выпрямителя постоянного тока от сварочного трансформатора – переменным током. При этом применяются только толстопокрытые электроды. Состав покрытия при расплавлении вместе со стержнем обеспечивает защиту от окисления и азотирования металла шва и некоторое легирование наплавляемого металла для придания ему необходимых механических свойств. При всех способах дуговой сварки используется дуга прямого действия, т.е., когда изделие нагревается в результате горения дуги между электродом и изделием. Величину тока при сварке варьируют в пределах 1-3000 А, а напряжение от 10–50 В. В качестве шлака и газообразующих компонентов в покрытии электродов используют мрамор, мел, целлюлозу, плавиковый шпат, а связующим – жидкое стекло. Добавками легирующих веществ являются ферросплавы и чистые металлы. Количество легирующих веществ, вводимых в расплавленный металл через покрытие, может быть достаточно большим. Разнообразная толщина основного и присадочного металла и их состав, а также толщина и состав обмазки электродов являются основной причиной наличия большого разнообразия марок сварочных электродов. Поэтому их



выбор имеет принципиальное значение, если необходим качественный шов.

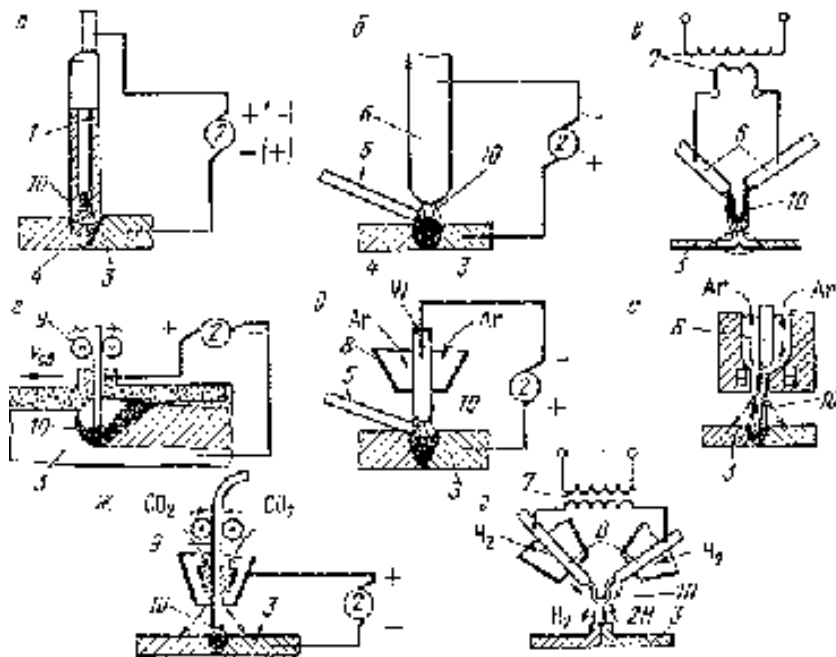


Рис. 40. Схема процесса при использовании различных разновидностей электрической дуговой сварки: а – ручная дуговая сварка; б – автоматическая и полуавтоматическая сварка; в – аргонодуговая сварка; г – плазменная сварка; д – сварка в углекислом газе; ж – сварка в углекислом газе; з – атомно-водородная сварка

**Пайкой** называют процесс соединения деталей посредством припоя – сплава, который смачивает поверхности деталей и, затвердевая, связывает их. Припой прочно соединяется с поверхностью изделия только тогда, когда хорошо смачивает их. Это будет, когда поверхности очищены от загрязнений. Для удаления пленок окислов и предотвращения их образования при припайке используют паяльные флюсы. Современная пайка – это группа технологических процессов, позволяющая соединить практические металлические сплавы и получать соединения, равнопрочные с основным металлом.

Современные процессы пайки подразделяют по температуре припоя на две группы: пайка низкотемпературными припоями ( $T_{\text{пл}}$  до  $450^{\circ}\text{C}$ ) и высокотемпературными припоями ( $T_{\text{пл}} > 450^{\circ}\text{C}$ ). Нагрев при пайке осуществляется разными способами – пайка в печах, индивидуальная, сопротивлением, погружением в расплавы солей, или припоев паяльниками рис. 41. В качестве припоев применяются : оловянно-свинцовые ( ПОС 61, ПОС 10, ПОС 90 (61, 10, 90 – содержание олова в процентах ), медь, латунь, медно-цинковые сплавы, никелевые и др. Из флюсов следует отметить : канифольевые, хлористый аммоний, хлористый цинк, смесь борной кислоты и буры в равных сочетаниях. Решающее влияние на прочность паяного соединения оказывает зазор между спаиваемыми деталями. Чем меньше зазор, тем выше прочность. Номинальным зазором при капиллярной пайке считается зазор 0,05–0,2 мм. Технология пайки заключается в следующем. Поверхности тщательно подготавливаются, нагретый паяльник ( $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ ) погружается в хлористый цинк для очистки от окислы, захватывают припой и рабочей частью натирают о кусок нашатыря (облуживание). Затем паяльник с прилипшими к нему каплями припоя подносят к месту соединения, предварительно покрытому флюсом. Припой при нагреве место пайки заполняет зазор скрепляемых деталей. Основными дефектами сварных и паяных соединений являются: непровары, пережог металла, наплывы металла, несимметричность швов, наличие пор, трещины, включение шлака и др.

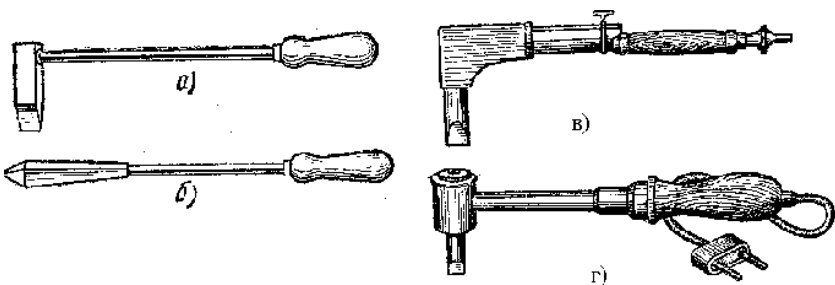


Рис. 41. а – паяльник с плоским лезвием; б – паяльник с острым лезвием; в – паяльник бензиновый; г – паяльник электрический

В практике ремонтного производства большое распространение получил способ склеивания деталей. Причем новые качества клеев

позволили склеивать металлы, пластмассы, силикатные материалы в различных сочетаниях. Прочность клеевых соединений в ряде случаев в 2 раза превышает прочность заклепочных соединений и в 2–5 раз сварочные соединения. К одним из универсальных клеев относятся карбинольный клей, исходным продуктом которого является димитилвинилэтилкарбинол. Этот клей приготавливается из карбинольного сиропа или карбинола с примесью катализатора (перекись бензола или крепкая азотная кислота) и наполнителя (гипс, мел, алебастр, чугунная, алюминиевая пыль, железный порошок). Данный клей обладает следующими механическими свойствами:  $\sigma_{в.сж} = 1000\text{--}1400 \text{ кг/см}^2$ ,  $\sigma_{в. разр} = 170 \text{ кг/см}^2$ ,  $HВ=18\text{--}20 \text{ кг/мм}^2$ . В настоящее время широко применяются новые марки клеев. В нашей автотехнике клеи применяются для приклеивания тормозных колодок, накладок сцепления и др. деталей.

### **Автоматическая и полуавтоматическая наплавка**

*Автоматическая и полуавтоматическая сварка* под флюсом применяется при сварке углеродистых низколегированных и некоторых марок высоколегированных сталей, а также в большом объеме при сварке некоторых цветных металлов и сплавов. При сварке дуга горит в пузыре расплавленного флюса, который толстым слоем (40–60 мм) насыпается на стык свариваемых металлов. Основное назначение флюса – изолировать сварочную ванну от воздействия атмосферного воздуха и металлургически взаимодействовать с ней. Флюсы могут быть плавленные, полученные путем сплавления разных составных элементов шихты в электропечах с последующим охлаждением и дроблением, и наплавленные, получаемые аналогично обмазкам электродов. Плавленные обычно включают кремнезем, закись марганца, окись алюминия и др. Установки для автоматической сварки под слоем флюса могут быть универсальными, предназначенными для выполнения широкого круга сварочных работ, и специальными – для сварки однотипных конструкций.

*Сварка в среде углекислого газа*, аргона и др. газов имеет ряд преимуществ перед вышеизложенными. Она обеспечивает надежную защиту расплавленного металла от кислорода и азота воздуха, постоянство состава наплавляемого металла, хорошее формирование шва за счет устойчивости процесса, возможность сварки металлов малой толщины и т.д.

**При электрошлаковой сварке** нагревательным электродом является расплавленный токопроводящий флюс, заключенный между свариваемыми пластинами, с боков закрытыми охладителями и сварочным швом снизу. Процесс ведется вертикально. Применяется при сварке станин прессов, прокатных станов, рельс и др. Ток к флюсу – шлаку подводится через один или несколько электродов. Второй полюс источника питания подводится к изделию. За счет тепла, выделяемого в шлаке, оплавляются кромки свариваемого изделия и электродной проволоки, жидкий металл осаждается и происходит формирование сварочного шва. Формирующее устройство охлаждает свободную поверхность ванн и одновременно удерживает шлак от протекания.

**Плазменная сварка** или сварка сжатой дугой – это особый вид сварки в среде защитного газа. При этом металл нагревается потоком плазмы – ионизированного газа с температурой до 20000–30000°C, истекающими со сверхзвуковой скоростью. Для получения плазмы служит плазматрон (плазматронная горелка). В камере плазматрона помещается вольфрамовый электрод. Между ним и деталью гори дуга. Через камеру под давлением подается плазмообразующий газ (аргон, гелий и др.). Ось потока газа совпадает с осью дуги. Газ проходит через сопло, на входе плазматрона, обжимается и приобретает высокую температуру, степень ионизации и скорость. По кольцевому каналу вокруг плазменного сопла дополнительно подается инертный газ для защиты зоны сварки. Защита необходима, потому что плазменная струя вытекает с большой скоростью и увлекает за собой в зону сварки окружающий воздух. В качестве защитного газа используется смесь аргона с водородом, гелем или азотом.

**Лазерная сварка** – это способ сварки плавлением, при котором металл нагревается излучением лазера. Интенсивность нагрева металла сфокусированным лазерным излучением может достигнуть  $5 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, что достаточно для мгновенного испарения металла. Сварку осуществляют при меньших интенсивностях. Основное достоинство лазерной сварки – быстрый точный нагрев металла до плавления, что позволяет свести к минимуму ширину околошовной зоны.

**Ультразвуковая сварка** основана на использовании механических звуковых колебаний, вводимых в металл. Имеются две разновидности: точечная и шовная. Этими способами свариваются металлы малых толщин. Ультразвуковые колебания, т.е. механические

колебания звуковых частот (около 20 кГц), создаются преобразователем, сердечник которого изменяет свои размеры при намагничивании и размагничивании (т.е. обладает магнитострикционным эффектом). Обмотка сердечника питается от высокочастотного генератора. Эти колебания через волновод передаются на электрод. Свариваемые детали зажаты между опорой и электродом. Поэтому все колебания передаются свариваемой детали. Профильные механические колебания очищают поверхность металла и вследствие трения разогревают поверхностные слои под электродами и в зоне соприкосновения металла. В результате происходит очистка поверхности металла, их сближение на расстояние, при котором начинает действовать единое энергетическое поле, и как следствие возникает сварка. Усилие сдавливания составляет 100–2000 Н. Амплитуда колебаний 10–20 мкм, время сварки 0,5–3 с, потребляемая мощность 4–6 кВт. Толщина свариваемых листов не более 2 мм. Хорошо сваривается медь, титан, пластмассы и др.

Из термомеханических методов сварки отметим холодную и взрывом.

**Холодная сварка** основана на локальном сближении металлов до расстояния возникновения единого энергетического поля. Лист металла с тщательно зачищенными поверхностями помещают между выступами пуансона пресса. Выступы сдавливаются до сдавливания металлов. Этим обеспечивается пластическая деформация и образуется точечная сварка.

**При сварке взрывом** на поверхность привариваемой детали равномерным слоем распределяется взрывчатое вещество (тол, гексаген и т.п.), масса его составляет 10–20% массы свариваемой детали. Неподъемная деталь укладывается на опорный фундамент. Ударяемая деталь располагается под углом 3–10 градусов к поверхности неподвижной детали. Сначала ударяется и приваривается к плите нижний край листа и при перемещении взрыва остальные его части. Процесс длится доли секунды.

Сварочная дуга позволяет не только сваривать изделия, но и осуществлять ряд специальных термических процессов, например: резку металла и их сплавов, на плавку, напыление и др.

### 9.5 Обработка металлов резанием

**Элементы резания и геометрия срезаемого слоя. Процесс образования стружки.** Основоположником науки о резании металлов является русский ученый проф. И.А. Тиме. В 1870 г. им была опубликована работа «Основные понятия и элементы резания. Сопротивление металлов и дерева резанию» и в 1877 г. «Мемуары о строгании металлов».

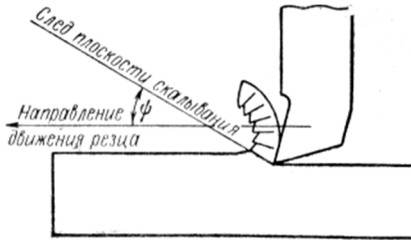


Рис. 42. Образование стружки

**Образование стружки.** И.А. Тиме показал, что процесс образования стружки происходит по элементам. Резец при своем движении деформирует в определенной зоне находящийся перед ним металл. При этом в срезаемом слое металла создается определенное напряженное состояние. Когда напряжение превышает силу внутреннего сцепления частиц металла, происходит сдвиг элемента стружки. При дальнейшем движении резца таким же образом отделяется второй и последующие элементы стружки.

Плоскость, по которой происходит скалывание отдельных элементов стружки, принято называть плоскостью скалывания, а угол между плоскостью скалывания и направлением скорости резания — углом скалывания  $\varphi$ . И.А. Тиме установил, что угол скалывания для вязких металлов почти не зависит от геометрии резца и обычно составляет 30–35°.

**Виды стружек.** В зависимости от силы сцепления отдельных элементов различают три вида стружки: **сливную, скалывания и надлома.**

Вязкие металлы (мягкая сталь, медь, алюминий и т. п.) образуют **сливные стружки**, которые сходят в виде непрерывной ленты, завивающейся и спираль. Отдельные элементы этой стружки довольно прочно связаны друг с другом.

Сливная стружка опасна для рабочего, она имеет форму ленты и получается при обработке пластических материалов с малой подачей, большой скоростью резания и остро заточенном резце.

При обработке менее вязких металлов (стали повышенной твердости, некоторые марки латуни и т. п.) образуется **стружка скалывания**. Элементы этой стружки имеют менее прочную связь, и поэтому стружка после образования нескольких завитков обычно отламывается под действием собственного веса или других внешних сил.

Стружка скалывания состоит из отдельных элементов, соединенных в одно полукольцо, легко ломающееся на составные части. Это самая безопасная стружка. Получается она при обработке вязких металлов с малой скоростью резания при большой глубине и подаче.

**Стружка надлома** получается при обработке хрупких металлов (чугун, бронза) и неметаллических материалов (мрамор, стекло, камень и т. п.). Связь между отдельными элементами стружки надлома настолько слаба, что последняя представляет собой совокупность отдельных частиц неправильной формы.

Эта стружка легко проникает во все зазоры между частями станка и затрудняет его уборку. Отдельные элементы стружки легко травмируют кожу рук рабочего, особенно опасно попадание этой стружки в глаза.

Вид образующейся стружки зависит не только от свойств обрабатываемого материала, но также и от скорости резания, геометрии резца и ряда других факторов.

Вследствие деформации срезаемого слоя наблюдается укорачивание длины стружки по сравнению с отрезком пути, пройденным за это время резцом. Это явление называется продольной усадкой стружки.

**Геометрия режущего инструмента.** Основные элементы резца.

Основные элементы резца. Резец состоит из головки, которая непосредственно принимает участие в отделении срезаемого слоя металла, подошвы, на которую опирается резец при установке его на станке, и тела, с помощью которого производится закрепление резца в резцедержателе.

Основными элементами головки резца являются (см. рис. 43): передняя поверхность 1, по которой сходит стружка, главная задняя поверхность 3, обращенная к поверхности резания, вспомогательная задняя поверхность 4, обращенная к обработанной поверхности, главное лезвие 2, являющееся пересечением передней и

главной задней поверхностью, вспомогательное лезвие 5, являющееся пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей, и вершина 6, образованная пересечением обоих лезвий.

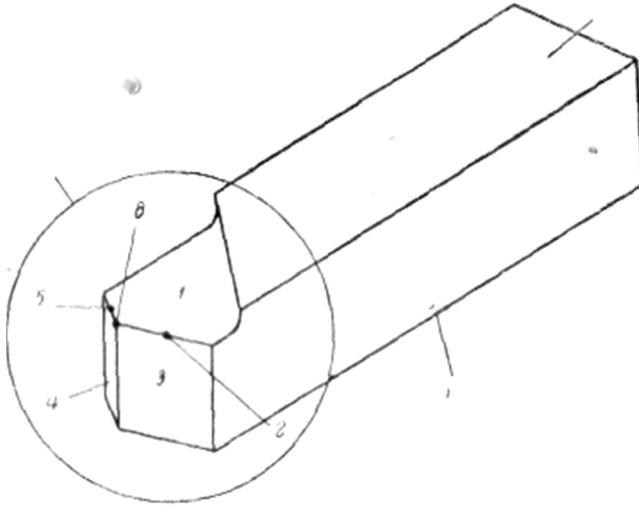


Рис. 43. Элементы головки резца

Элементарные частицы металла, находящиеся в непосредственной близости от передней поверхности инструмента, разогретые до высокой температуры, с большой силой прижимаются к инструменту, они могут привариться к нему, образуя на передней поверхности слой уплотненного металла – нарост. Нарост в процессе работы возникает периодически и, достигнув некоторой величины, срывается и уносится стружкой.

Нарост – явление нежелательное, так как изменяет геометрию передней поверхности резца, царапает ее и обработанную поверхность. Наростообразование наблюдается при обработке вязких материалов и зависит от скорости резания. При обработке сталей с низкими скоростями (до 5 м/мин) и при больших скоростях (80–100 м/мин) нарост не образуется. Наиболее интенсивно процесс наростообразования происходит при скорости резания в 20–25 м/мин.

Пластические деформации, сопровождающие резание, – очень сложное физическое явление, поэтому процесс резания во многом зависит от свойств обрабатываемого материала.



### *Виды резания и металлорежущие станки*

**СВЕРЛЕНИЕ** – способ получения в обрабатываемой заготовке сквозных или глухих отверстий, а также рассверливания уже имеющих отверстий. Режущим инструментом при сверлении являются сверла.

Спиральное сверло (см. рис. 44) состоит из рабочей части I, шейки III и хвостовика IV.

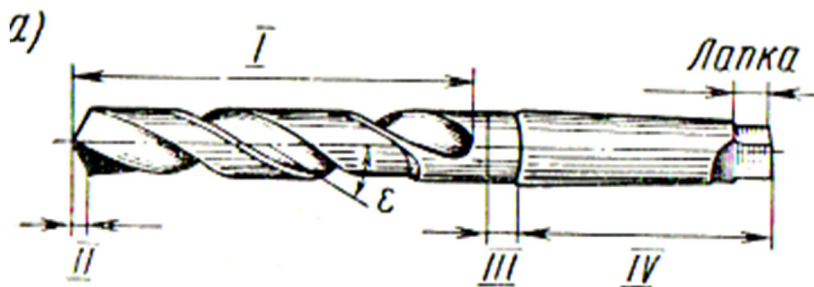


Рис. 44. Спиральное сверло

В рабочей части в свою очередь различают режущую II и направляющую или центрирующую части. Угол при вершине сверла  $2\phi$  (см. рис. 45), образуемый режущими кромками, выбирают в зависимости от твёрдости и хрупкости обрабатываемого материала. Для обработки стали и чугуна средней твёрдости угол при вершине составляет  $116\text{--}120^\circ$ , для красной меди –  $125^\circ$ , для алюминия, мягкой бронзы, латуни –  $130\text{--}140^\circ$ .

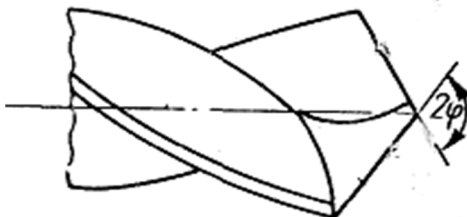


Рис. 45. Режущая часть сверла

Угол наклона винтовой канавки  $\epsilon$ , предназначенной для отвода стружки при сверлении, в зависимости от диаметра сверла принимают  $18\text{--}30^\circ$ .

Диаметр спиральных свёрл с цилиндрическими и коническими хвостовиками изменяются в пределах 0,25–80 мм. При сверлении можно получить 3–5-й классы чистоты поверхности и 4–6-й классы точности.

Для дальнейшей обработки отверстий, полученных сверлением, литьём или штамповкой применяют зенкерование и развёртывание.

Зенкерование обеспечивает получение отверстий 3–7-го классов точности и 5–6-го классов чистоты; при развёртывании получают отверстия 2–3-го классов точности и 5–9-го классов чистоты.

Режущим инструментом при зенкеровании и развёртывании служат зенкеры и развёртки. Конструктивно зенкеры и развёртки ничем не отличаются от свёрл. Отличие заключается в параметрах рабочей части зенкеров и развёрток, что определяет их функциональное предназначение.

Спиральные свёрла, зенкеры и развёртки при небольших скоростях обработки изготавливают из углеродистых и инструментальных сталей У 10А и У 12А, хромистых и вольфрамовых инструментальных сталей 9ХС и В1, а при больших скоростях обработки – из быстрорежущей стали различных марок.

Монолитные спиральные твёрдосплавные свёрла (из сплавов ВК15М, ВК10М) диаметром 1,5–5,5 мм предназначены для сверления труднообрабатываемых материалов. Стойкость таких свёрл почти в 20 раз больше стойкости свёрл из быстрорежущей стали.

Комбинированные режущие инструменты (сверло-зенкер, сверло-сверло, сверло-развёртка, зенкер-развёртка) применяют для повышения производительности при обработке отверстий в массовом производстве.

### **Устройство и принцип действия сверлильных станков**

К сверлильным станкам относят собственно сверлильные и расточные станки.

Сверлильные станки разделяют на вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, одно- и многошпиндельные полуавтоматы, координатно-расточные, алмазно-расточные, горизонтально-сверлильные для глубокого сверления, расточные и специальные.

На рис. 46 показан общий вид и кинематическая схема одношпиндельного вертикально-сверлильного станка модели 2А150.

На фундаментной плите 1 крепится станина 9. В верхней части станины расположен электродвигатель 6, который сообщает сверлу 3, укрепленному в нижней части шпинделя 4, главное (вращательное) движение. Это движение передаётся шпинделю через

коробку скоростей, которая расположена в консольной части станка, называемой шпиндельной головкой 5. Движение подачи (поступательное вдоль оси) сверла получает от коробки подач, укрепленной в подвижном кронштейне 7.

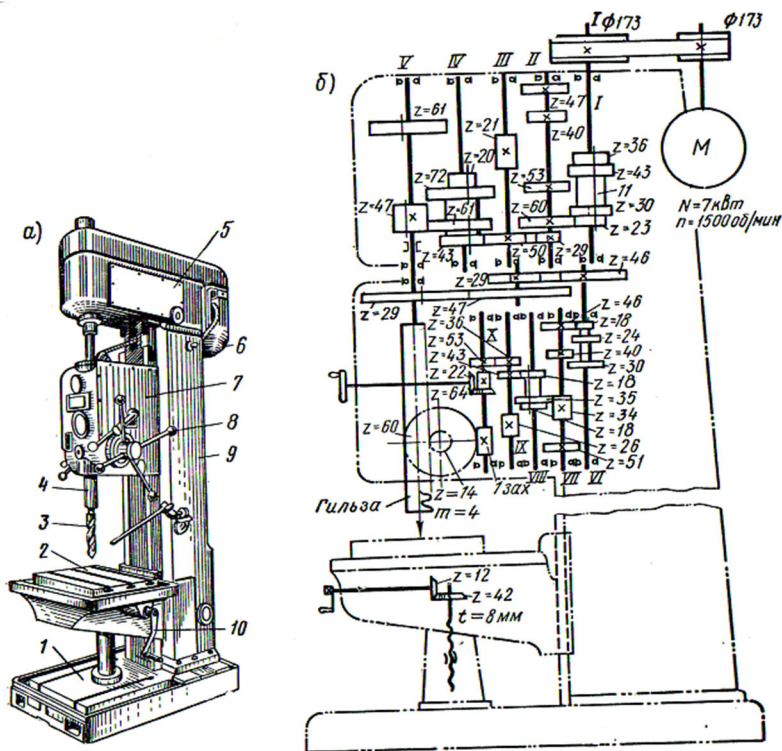


Рис. 46. Одношпиндельный вертикально-сверлильный станок модели 2A150: а – общий вид; б – кинематическая схема

Вертикальное перемещение шпинделя и сверла может осуществляться механически по заданному режиму от коробки подач или вручную при помощи штурвала 8. В зависимости от формы и размеров заготовки её укрепляют на столе 2 в машинных тисках, кондукторах или в других приспособлениях. При помощи рукоятки 10 стол можно перемещать по вертикали.

Станки имеют широкий диапазон чисел оборотов шпинделя и подач, поэтому их применяют не только для сверления, но также для зенкерования и нарезания внутренней резьбы.

Числа оборотов шпинделя на станке устанавливают изменением передаточного отношения коробки скоростей путём переключения блока зубчатых колёс 36–43–30–23, расположенного на валу *I* (рис. 46, б) или блока зубчатых колёс 20–72–61–43, расположенного на валу *IV*. В результате получают 12 чисел оборотов шпинделя (от 32 до 1400 об/мин).

Коробка подач получает вращательное движение от вала *V* через зубчатую передачу 29–47 и 29–46 и далее на вал *VI* коробки подач.

Установление необходимой подачи сверла производят переключением подвижных блоков 18–24–30 и 18–35–18, расположенных на валах *VI* и *VIII*. Полученное число оборотов вала *VIII* через систему зубчатых колёс на валах *IX* и *X*, муфту сцепления и червячную пару передаётся рейке, укрепленной на гильзе.

Станок имеет девять подач (от 0, 125 до 2,64 мм/об).

**ФРЕЗЕРОВАНИЕ** – процесс обработки плоскостей, фасонных и винтовых поверхностей, нарезание шлицов, резьбы и зубчатых колёс, получения винтовых канавок при помощи вращающегося режущего инструмента, называемого фрезой.

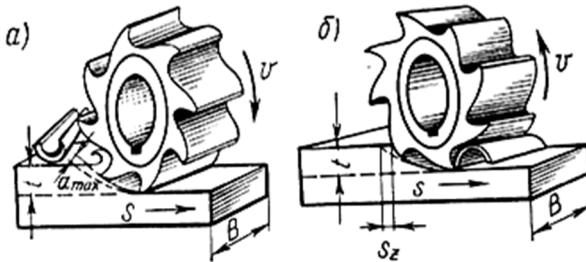


Рис. 47. Схемы процессов фрезерования

В зависимости от направления вращения фрезы и поступательного перемещения обрабатываемой детали различают встречное фрезерование (рис 47, а), когда заготовка подаётся навстречу вращения фрезы и попутное фрезерование (рис 47, б), когда направление подачи заготовки и вращения фрезы одинаковы.

*Скоростью резания  $v$*  представляет окружную скорость фрезы, измеренную по её наружному диаметру. Скорость резания зависит от свойств металла обрабатываемой заготовки и материала режущей части фрезы, диаметра и стойкости фрезы, подачи, глубины

резания и ширины фрезерования, а также от числа зубьев фрезы, охлаждения и т.д.

*Подачей  $s$*  называют величину относительного перемещения обрабатываемой детали и фрезы, выраженную в мм/зуб, мм/об, мм/мин.

*Глубиной фрезерования  $t$* , или *глубиной резания* называют толщину слоя металла, снимаемую с обрабатываемой заготовки за один проход фрезы.

Глубина фрезерования при черновой обработке равна 3–8 мм и более, при чистовой – чаще всего равна величине припуска на обработку (обычно 0,5–1,5 мм).

*Шириной фрезерования  $B$*  называют ширину обрабатываемой заготовки.

### Инструмент для фрезерования

Фреза – многолезвийный инструмент, у которого по окружности или на торце расположены режущие зубья, представляющие собой резцы.

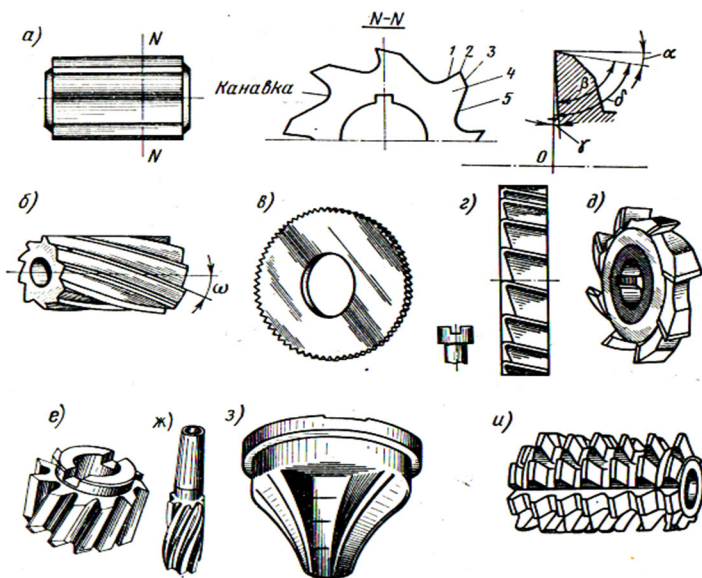


Рис. 48. Основные типы фрез: а – цилиндрическая прямозубая; б – цилиндрическая с винтовыми зубьями; в – дисковая пазовая; г – дисковая двусторонняя; д – дисковая трехсторонняя; е – торцовая; ж – концевая; з – пальцевая модульная; и – червячная

Фрезы (рис. 48) подразделяют на цилиндрические и торцевые для обработки плоских поверхностей; дисковые, концевые и угловые для обработки пазов, канавок и шлицев; фасонные для обработки фасонных поверхностей; модульные для нарезания зубьев; червячные для нарезания зубьев цилиндрических и червячных колёс.

Зуб 4 цилиндрической фрезы (рис. 48, а) имеет главную режущую кромку 2, переднюю 1, заднюю 3 и затылочную 5 поверхности. В сечении зуба плоскостью  $N-N$ , перпендикулярной главной режущей кромке, можно рассмотреть следующие углы: передний  $\gamma$ , задний  $\alpha$ , заострения  $\beta$  и резания  $\delta$

*Передний угол  $\gamma$*  служит для облегчения схода срезаемых элементов стружки и уменьшения их усадки. При обработке стали  $\gamma = 10 \div 20^\circ$ ; чугуна  $\gamma = 10 \div 15^\circ$ ; для твёрдых материалов угол принимают меньше, для мягких – больше.

*Задний угол  $\alpha$*  предназначен для уменьшения трения между затылочной поверхностью зуба и поверхностью резания. Для различных фрез угол  $\alpha = 12 \div 25^\circ$ .

Зубья цилиндрических фрез могут быть прямыми или винтовыми под углом  $\omega$  к оси фрезы. У цилиндрических фрез угол  $\omega = 30 \div 40^\circ$ , у дисковых и торцовых  $\omega = 10 \div 25^\circ$ .

Для обработки мягкой и средней твёрдости стали при малых оборотах резания фрезы изготавливают из углеродистой инструментальной стали У12А, а также из легированных сталей 9ХС, ХВ5 и ХВГ.

### Устройство и принцип действия фрезерных станков

В зависимости от выполняемых работ и конструктивных особенностей фрезерные станки можно разделить на станки общего назначения и специальные.

К фрезерным станкам **общего назначения** относят горизонтально- и вертикально-фрезерные. Обрабатываемая деталь на этих станках перемещается чаще всего в продольном направлении.

Среди этих станков могут быть *универсальные фрезерные станки*. Они отличаются от других станков тем, что при фрезеровании ряда винтовых канавок и при выполнении других видов работ стол можно повернуть на определённый угол ( $\pm 45 \div 50^\circ$ ) вокруг вертикальной оси.

К станкам общего назначения относят также продольно фрезерные: односторонние с одним горизонтальным шпинделем, двусторонний с двумя горизонтальными шпинделями и многошпиндельные с горизонтальными и вертикальными шпинделями.

К **специальным фрезерным станкам** относят торце-фрезерные, бесконсольно-фрезерные, карусельно-фрезерные с вращающимися столами, барабанно-фрезерные с вращающимися барабанами, копировально-фрезерные для обработки различных фасонных поверхностей, а также резьбо-фрезерные, шпоночно-фрезерные, агрегатно-фрезерные и другие.

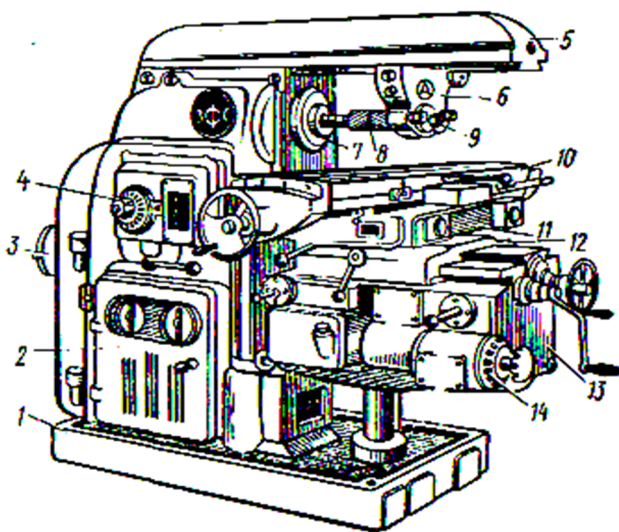


Рис. 49. Универсально-фрезерный станок модели 6Н82

На рис. 49 показан общий вид универсально-фрезерного станка. На фундаментной плите 1 крепится станина 2, в верхней части которой расположен хобот 5 для крепления подвески 6. С задней стороны станины смонтирован электродвигатель 3, который через коробку скоростей, расположенную в верхней части станины, передаёт вращение на шпиндель 7. Фреза 8, закреплённая на оправе 9, осуществляет главное вращательное движение (вокруг горизонтальной оси), получаемое от шпинделя. Коробка скоростей имеет лимб 4 переключения чисел оборотов шпинделя и кнопочную пусковую панель.

Станина станка имеет вертикальные направляющие для консоли 13. В верхней части консоли расположены стол 10, поворотная его часть 11 и салазки 12.

Обрабатываемая деталь, укрепляемая на верхней части стола, может иметь продольное, поперечное или вертикальное перемещение. Все три вида перемещений стола с деталью (подача) осуществляются механически от отдельного электродвигателя 14, через коробку передач, расположенную в консоли, или вручную посредством системы маховиков и рукояток.

С целью сокращения времени на подвод стола с закреплённой деталью к фрезе и отвод детали после окончания рабочего хода коробка передач обеспечивает быстрые (холостые) продольные, поперечные и вертикальные перемещения стола.

Стол можно настроить на полуавтоматический или ручной циклы работы.

### **Основные виды фрезерных работ**

**Фрезерование плоских поверхностей.** Различают фрезерование горизонтальных, вертикальных и наклонных плоских поверхностей и уступов.

*Горизонтальные поверхности* фрезеруют на горизонтально и вертикально-фрезерных станках цилиндрическими и торцовыми фрезами. Деталь в зависимости от её формы и размеров закрепляют на столе в машинных тисках или при помощи болтов, планок и прокладок.

*Вертикальные поверхности* фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках дисковыми трёхсторонними фрезами или на продольно-фрезерных станках торцовыми фрезами. Детали закрепляют на столе так же, как и при обработке горизонтальных поверхностей.

*Наклонные поверхности* фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках одноугловыми (рис. 50, а) или на вертикально-фрезерных станках со шпинделем, установленным под углом  $\alpha$  торцовыми фрезами.



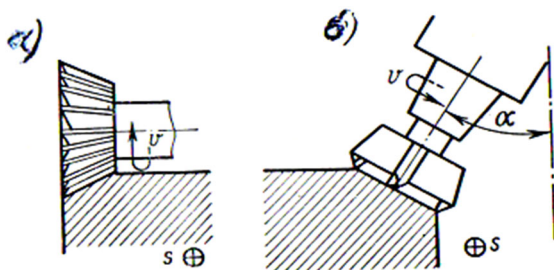


Рис. 50. Фрезерование наклонных поверхностей

*Уступы* обрабатывают на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами. В этом случае одновременно фрезеруют две взаимно перпендикулярные плоские поверхности.

**Фрезерование пазов, канавок и шлицев.** Прямоугольные, Т-образные и типа ласточкина хвоста пазы фрезеруют, как правило, на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами (см. рис. 51).

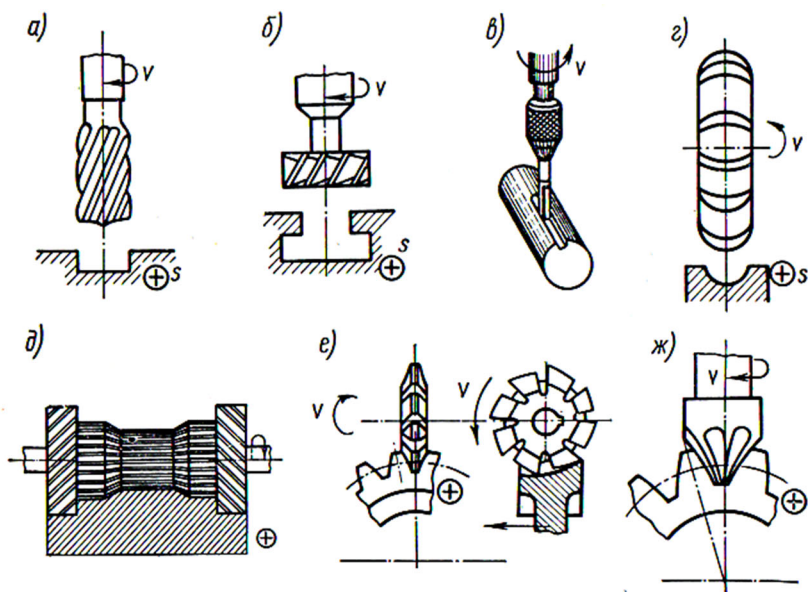


Рис. 51. Основные виды фрезерования пазов, канавок, фасонных поверхностей и зубчатых колёс

**Фрезерование фасонных заготовок.** Для фрезерования фасонных изделий небольших размеров на горизонтально-фрезерных станках применяют фасонные фрезы, профиль которых соответствует профилю изготавливаемой детали. Фасонные заготовки более сложной формы обрабатывают набором отдельных простых фрез либо при помощи специальных копиров.

Фрезерование объёмных фасонных поверхностей (штампы и т. д.) производят обычно на специальных копировально-фрезерных станках.

**Фрезерование зубчатых колёс и винтовых канавок.** Цилиндрические зубчатые колёса фрезеруют дисковыми модульными фрезами на горизонтально-фрезерных станках или модульными пальцевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках. При крупносерийном и массовом производстве зубчатые колёса нарезают на специальных зубофрезерных станках.

Для поворота заготовок зубчатых колёс на нужный угол служат специальные приспособления к фрезерным станкам – *делительные головки*.

Применяют универсальные (с простым и дифференциальным делением), оптические и другие делительные головки. Наиболее распространены первые; они позволяют не только делить окружность на части, но и вращать обрабатываемую деталь при фрезеровании винтовых канавок или зубьев.

Универсальная делительная головка 5 укреплена на столе 2 фрезерного станка. Обрабатываемая заготовка 3 на специальном стержне зажимается между центрами задней бабки 1 и делительной головки 5. При простом делении окружности поворот заготовки 3 на заданный угол осуществляют рукояткой 6 со штифтом относительно неподвижного делительного диска 7.

Рукоятка закреплена на валике 8, имеющим однозаходный червяк. Последний находится в зацеплении с червячным колесом, насаженным на шпинделе 4 делительной головки.

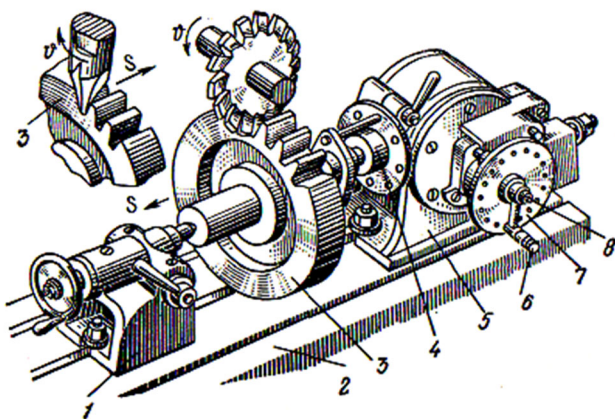


Рис. 52 Устройство универсальной делительной головки

**СТРОГАНИЕ** – процесс обработки горизонтальных, вертикальных и наклонных плоских и фасонных поверхностей, пазов, канавок и других выемок специальными резцами.

При строгании происходит прерывистое резание металла вследствие того, что резец совершает рабочий и холостой ходы.

Строгальный резец (см. рис 53) состоит из стержня А и режущей части Б или головки.

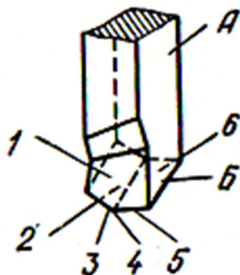


Рис. 53. Общий вид строгального резца

Головка резца имеет переднюю поверхность 1, главную 2 и вспомогательную 6 задние поверхности, главную 3 и вспомогательную 5 режущие кромки, вершину 4.

*По расположению режущей кромки* строгальные резцы делят на правые и левые;

*по расположению головки* относительно стержня – на прямые и изогнутые;

*по виду выполняемой работы* – на проходные, подрезные, отрезные, фасонные;

*по виду обработки* – на черновые и чистовые.

Строгальные резцы для обработки стали и чугуна изготавливают из быстрорежущей стали Р9 и Р18 или с пластинками из твёрдых сплавов марок ВК8, ВК15, Т15К6. Пластинки напаивают на стержень резца.

### **Устройство и принцип действия строгальных станков**

Строгальные станки в зависимости от конструктивных и технологических признаков разделяют на ряд подгрупп – поперечно-строгальные, продольно-строгальные, долбёжные (вертикально-строгальные) и специальные. В каждой подгруппе имеется несколько типов станков, отличающихся конструктивными особенностями.

*Поперечно-строгальные* бывают кулисные, шестерёнчатые (ре-  
ечные), гидравлические, кривошипные и пр.;

*продольно-строгальные* – одно- и двухстоечные;

*долбёжные* – кривошипные, с вращающейся кулисой и гидравлические;

*специальные* – кромкострогальные, ямострогальные, копи-  
ральные и пр.

На рисунке 54 показан общий вид поперечно-строгального станка, предназначенного для обработки плоских и фасонных поверхностей мелких деталей.

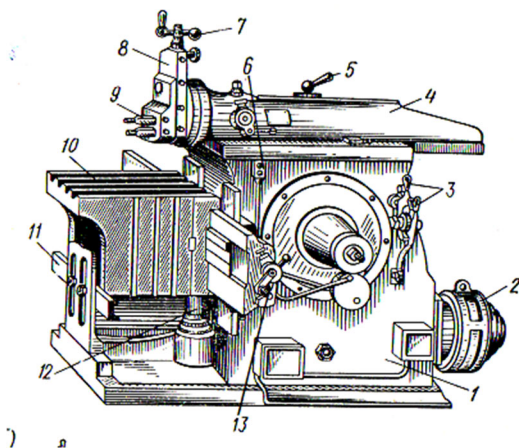


Рис. 54. Поперечно-строгальный станок

В станине *1* находятся коробка скоростей и кривошипно-кулисный механизм, которые передают движение от электродвигателя *2* ползуну *4* и столу *10*. Ползун получает главное (возвратно-поступательное) движение, а стол поперечное движение подачи. На конце ползуна смонтирован суппорт *8* с откидным резцедержателем *9*.

Установка необходимого числа двойных ходов ползуна достигается рукоятками *3*. Прорезь в ползуне *4* подвижным зажимом *5* служит для перестановки ползуна при настройке станка. Суппорт с резцом можно опустить или поднять вращением рукоятки *7*, регулируя глубину резания. При строгании наклонных поверхностей суппорт поворачивают на определённый угол.

Обрабатываемую деталь закрепляют на столе непосредственно или в машинных тисках. Стол через храповой механизм *13* получает поперечное движение через систему передач отвала кулисной шестерни. Вертикальное перемещение стола производят вращением винта *12* при помощи рукоятки, расположенной с противоположной стороны станка. Для более жёсткого крепления стола имеется поддерживающий кронштейн *11*.

### Основные виды строгальных работ

*Горизонтальные плоскости* обрабатывают на поперечно- и продольно-строгальных станках проходными резцами. При черновом

строгании принимают максимально возможную подачу и глубину резания. Кроме того, при черновой обработке крупных деталей для полного использования мощности и повышения производительности станков применяют специальные резцедержатели для закрепления двух, четырёх и более резцов.

Чистовое строгание производят чистовым резцом при малой глубине резания  $t = 0,5 \div 1,0$  мм.

Строгание *вертикальных плоскостей* осуществляют на продольно-строгальных станках проходными резцами, закреплёнными в горизонтально расположенных суппортах; на поперечно-строгальных станках – подрезными и проходными резцами, установленными под некоторым углом к обрабатываемой поверхности. Кроме того, вертикальные плоскости обрабатывают на долбежных станках.

*Наклонные плоскости* обрабатывают на продольно- и поперечно-строгальных станках проходными и подрезными резцами специальной формы или при наклонном положении суппорта. Резец подают вручную параллельно обрабатываемой плоскости. Наклонные плоскости можно также обрабатывать при помощи приспособлений; обрабатываемую деталь закрепляют так, что её наклонная плоскость получает горизонтальное или вертикальное положение.

*Строгание пазов и канавок* удобнее всего вести прорезными прямыми и отогнутыми назад резцами при вертикальной или поперечной подачах.

*Фасонные поверхности* обрабатывают фасонными резцами при поперечных и вертикальных подачах обычно с помощью копиров. Обрабатываемые заготовки закрепляют на столе станка в машинных тисках при помощи болтов, брусков, планок, накладок и т. п.

**ШЛИФОВАНИЕ** – процесс обработки деталей при помощи шлифовальных кругов. В большинстве случаев шлифование является отделочной операцией, обеспечивающей высокую точность размеров и хорошее качество обработанной поверхности.

Рассмотрим элементы режима резания.

*Скорость резания* представляет собой окружную скорость шлифовального круга. Практически она составляет 30–60 м/с. При шлифовании рабочая деталь вращается со скоростью 15–50 м/с. Вращение детали представляет собой круговую подачу.

*Подача* – перемещение обрабатываемой детали за один оборот вдоль своей оси.

*Глубина резания* – толщина слоя металла, снимаемого шлифовальным кругом за один проход.

*Машинное время* – время, затрачиваемое непосредственно на процесс резания металла шлифовальным кругом за один проход.

**Шлифовальный круг** состоит из абразивных зёрен (режущих элементов круга), связки и пор. Связка удерживает зёрна в теле круга. Шлифовальные круги характеризуются формой, размерами, видом абразивного материала, величиной зерна (зернистостью), видом связки, твёрдостью и внутренней структурой.

По форме шлифовальные круги разделяют на следующие типы (см. рис. 55):

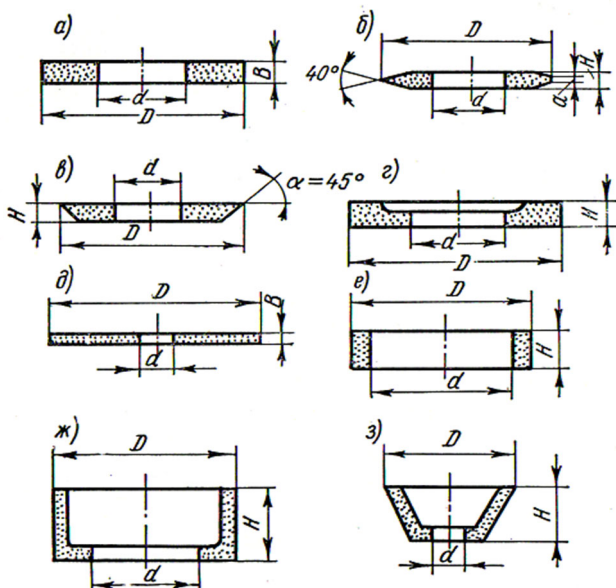


Рис. 55. Формы шлифовальных кругов

а) плоские прямого профиля ПП размерами  $D = 3 \div 1100$  мм,  $d = 1 \div 305$  мм,  $B = 6 \div 200$  мм – для наружного круглого, внутреннего, бесцентрового и плоского шлифования, а также для заточки резцов;

б) плоские с двусторонним коническим профилем 2П;

- в) плоские конические профили 4П для шлифования резьбы, зубчатых колёс и т.д.;
- г) плоские с выточкой ПВ для круглого шлифования с подрезкой торца;
- д) круги-диски толщиной 0,5–4 мм и наружным диаметром  $80 \div 500$  мм для отрезных и прорезных работ;
- е) круги-кольца К;
- ж) круги-чашки цилиндрические ЧЦ;
- з) круги-чашки конические ЧК для плоского шлифования торцом круга.

Шлифовальные круги изготавливают из *естественных* (алмаза, корунда, кварца, наждака) и *искусственных* абразивов (электрокорунда, карбокорунда, карбида бора).

Кроме абразивных, используют шлифовальные круги из синтетического (технического) алмаза разных марок. Алмазные круги применяют всех типов, за исключением чашек цилиндрических.

Алмазные инструменты в отличие от абразивных изготавливают не сплошными, они имеют алмазный слой со связкой толщиной до 3 мм. Закрепляют их на металлическом корпусе.

Зёрна абразивных материалов обладают очень высокой твёрдостью и термостойкостью, имеют острые режущие кромки, способные резать весьма твёрдые металлы и сплавы.

*Зернистость* шлифовального круга влияет на качество получаемой поверхности: чем мельче зерно круга, тем чище поверхность. Зернистость шлифовальных кругов характеризуется размером зёрен и обозначается соответствующим номером.

Абразивные материалы разделяют на три группы:

- 1) шлифовальное зерно от №200 (2500–2000 мкм) до №16 (200–160 мкм)
- 2) шлифовальные порошки от №12 (160–125 мкм) до №3 (28 мкм);
- 3) микропорошки от М40 до М5 (40–3,5 мкм).

Круги с зернистостью до 80 мкм применяют для чернового шлифования, до 25 мкм – для обычного чистового шлифования, до 3 мкм – для резьбошлифования и микропорошки – для отделочных работ (отделка).

*Связку* изготавливают на неорганической (керамической К, силикатной С или магнезиальной М) или органической основе (бакели-



товой Б и вулканитовой В). Большинство шлифовальных кругов готовят на керамической связке, имеющей повышенную прочность и допускающей охлаждение.

*Твёрдость* шлифовального круга характеризуется сопротивляемостью связки срыванию абразивных зёрен с поверхности круга под действием внешних сил. Правильный выбор твёрдости круга существенно влияет на процесс шлифования и прежде всего на самозатачиваемость круга. *Самозатачиваемость* – выкрашивание из круга затупленных зёрен и обнажение новых зёрен с острыми гранями.

### **Устройство и принцип действия шлифовальных станков**

Шлифовальные станки по конструктивным и технологическим признакам разделяют на кругло- и плоскошлифовальные, специальные, заточные и отделочные.

К *кругло-шлифовальным* относят станки для круглого шлифования в центрах, бесцентровые, полуавтоматы и автоматы. К *внутришлифовальным* – простые, планетарные, бесцентровые, полуавтоматы и автоматы.

К *плоскошлифовальным* – продольные и карусельные, работающие периферией и торцом круга, полуавтоматы и автоматы.

К *специальным* – зубо-, резьбо-, копировально-шлифовальные для шлифования шлицевых валиков, шаров и т.д.

К *заточным* – универсальные для заточки разных инструментов и специальные для заточки определённых инструментов.

Отделочные станки по применению абразивного инструмента разделяют на станки, работающие шлифовальным кругом, порошком и полировальными пастами (притирочные, доводочные, хонинговальные, полировальные и др.). Каждый тип шлифовальных станков выпускают нескольких моделей.

На рис. 56 изображён общий вид универсального плоскошлифовального станка, предназначенного для шлифования периферией круга различных плоских деталей.

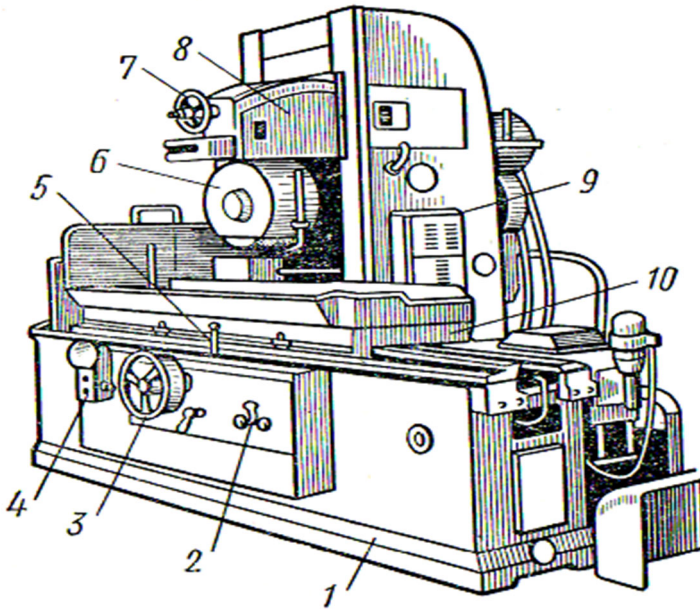


Рис. 56. Общий вид универсального плоскошлифовального станка

По направляющим станины 1 гидропривод осуществляет продольную подачу – возвратно-поступательное перемещение стола 10 со скоростью 2–40 м/мин. При работе от гидропривода реверс стола производится с помощью рычага 5, который переключается упорами, укрепленными на передней части стола. Обрабатываемую деталь укрепляют на электромагнитной плите или непосредственно на столе.

*Поперечную подачу* производит шлифовальная бабка 6 с кругом, которая при этом перемещается по горизонтальным направляющим кареткой 8. Ручная поперечная подача шлифовальной бабки осуществляется маховиком 7; для автоматической поперечной подачи служит гидро-коробка подач, панель управления 2, которая имеет рукоятки для установки поперечной подачи. Поперечная подача шлифовальной бабки за каждый ход стола с бесступенчатым регулированием осуществляется в пределах 0,5–30 мм.

*Вертикальное перемещение* каретки со шлифовальной бабкой для установления глубины резания происходит по вертикальным

направляющим колонки 9 (может быть ручное при помощи маховика 3 или автоматическое от гидропривода).

Приводом шпинделя шлифовальной бабки является электродвигатель, включение которого производится кнопкой 4.

Станок имеет главную насосную установку, обеспечивающую работу гидравлической системы, вспомогательную установку для смазки опор шлифовальной бабки, бак с охлаждающей жидкостью.

### **Основные виды шлифовальных работ**

*Наружное шлифование цилиндрических деталей* производят на кругло-шлифовальных станках способом продольной или поперечной подачи, либо глубинным способом. При наружном шлифовании деталей широко распространено шлифование способом продольной подачи при закреплении детали в центрах. При этом проводят пробные проходы и подналадку станка. После этого осуществляют шлифование обычно за два прохода (черновой и чистовой).

*Внутреннее шлифование цилиндрических деталей* выполняют на внутришлифовальных, планетарно-шлифовальных и бесцентровых станках.

Для обработки внутреннего цилиндрического отверстия деталь небольших размеров закрепляют в патроне внутришлифовального станка и сообщают ей вращательное движение. Шлифовальный круг прямого плоского профиля получает вращательное движение и две подачи – продольную вдоль оси и поперечную (радиальную) после каждого прохода.

Глубину резания в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия принимают равной 0,006–0,03 мм при черновом и 0,002–0,01 мм при чистовом шлифовании.

Внутреннее шлифование обычно ведут кругами небольших диаметров, сообщая им большие числа оборотов.

*Наружное шлифование конических деталей* ведут на кругло-шлифовальных станках тремя способами: поворотом верхней части стола на угол 6–7° (что позволяет получить конусность детали до 12–14°); поворотом шлифовальной бабки и поворотом передней бабки вместе с деталью.

При первом и третьем способах продольная подача осуществляется возвратно-поступательным движением стола, поперечная –

радиальным перемещением шлифовальной бабки; при втором способе продольная подача производится шлифовальной бабкой, а поперечная – продольным перемещением стола.

Наружное шлифование конических деталей ведут также путём заправки шлифовального круга на конус. Улучшение качества шлифования деталей достигается при этом продольным колебательным движением круга.

*Внутренне шлифование конических деталей* выполняют на универсальных внутришлифовальных станках поворотом на определённый угол передней бабки с деталью, а также на бесцентровых станках поворотом корпуса с рабочими роликами и детали.

*Фасонные детали* обрабатывают на кругло- и плоскошлифовальных станках с помощью копиров и профилированных или фасонных кругов способом врезания. К фасонному шлифованию относят также обработку направляющих станин сложной формы.

*Плоские детали* шлифуют на плоско-шлифовальных станках периферией или торцом круга; средняя скорость шлифовального круга в зависимости от обрабатываемого материала составляет 35–50 м/с. Крупные детали закрепляют на столе станка при помощи упоров, планок и других приспособлений, а мелкие – при помощи машинных тисков, электромагнитных и магнитных плит.

*Шлифование зубчатых колёс* осуществляют на зубошлифовальных станках методом обкатки или профильным копированием, применяя фасонные шлифовальные круги. При обкатке зубья шлифуют двумя тарельчатыми кругами. Боковые профили зубьев обрабатывают при сложных движениях зубчатого колеса и шлифовальных кругов.

При профильном копировании зубья шлифуют фасонным кругом, имеющим форму впадины между зубьями. Таким шлифовальным кругом одновременно обрабатывают оба боковых профиля зубьев колеса.

*Резьбу шлифуют* на резьбошлифовальных станках одно- или многоиточными профильными шлифовальными кругами. Шлифование резьбы бывает наружное и внутреннее.

## 10. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

**Тема:** «Определения твердости металлов и сплавов по Бринеллю и Роквеллу».

**Цель работы:** ознакомление с методами определения твердости металлов на твердомерах типа ТШ (прибор Бринелля) и ТК (прибор Роквелла).

#### Методические указания

**Твердость** – это свойство металла сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела определенной формы и размеров, не получающего остаточной деформации.

Наиболее широко применяются следующие способы измерения твердости:

- 1) вдавливанием стального шарика (метод Бринелля);
- 2) вдавливанием алмазного конуса (метод Роквелла).

#### 1. Измерение твердости вдавливанием стального шарика (метод Бринелля).

Твердость по методу Бринелля определяют путем вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10; 5 или 2,5 мм в испытываемую плоскую поверхность под действием заданной нагрузки в течение определенного времени (рис. 1). В результате вдавливания на поверхности образца получается отпечаток. Отношение силы к поверхности полученного отпечатка (шарового сегмента) дает число твердости. Чем тверже металл, тем меньше диаметр отпечатка и тем выше число твердости по Бринеллю.

Обозначается твердость, испытанная по методу Бринелля - **НВ**.  
Единица твердости – **МПа**.

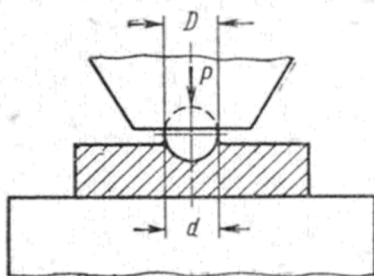


Рис. 1. Схема испытания по Бринеллю

Диаметр отпечатка измеряется при помощи специальной лупы, имеющей шкалу с ценой деления 0,1 мм (рисунок 2).

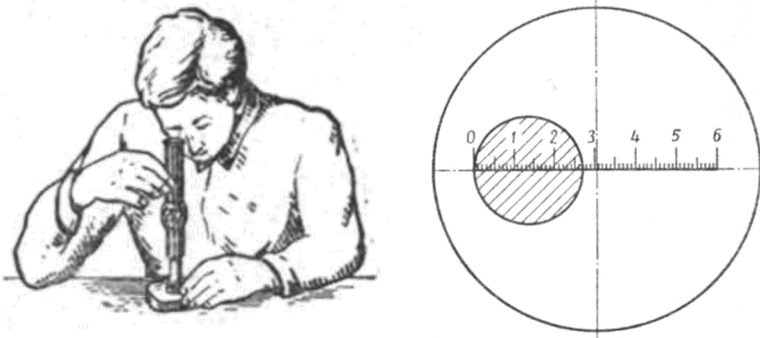


Рис. 2. Схема измерения диаметра отпечатка шарика лупой

Число твердости по Бринеллю рассчитываем по формуле:

$$HB = \frac{P}{S} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2},$$

где  $D$  — диаметр шарика в мм;

$d$  — диаметр отпечатка в мм;

$P$  — нагрузка на шарик в кг.

Нагрузку  $P$  и диаметр шарика  $D$  подбираем по таблице 1 в зависимости от материала и толщины испытуемого образца  $s$ .

Таблица 1

### Определение диаметра шарика, величины нагрузки и времени выдержки

Материал	Твердость по Бринеллю, HB	Толщина образца, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка $P$		Выдержка под нагрузкой, с
				кгс	Н	
Черные металлы	>140	6–3	10,0	3000	29420	10
		4–2	5,0	750	7354	10
		<2	2,5	187,5	1834	10
То же	>140	>6	10,0	1000	9810	10
		6–3	5,5	250	2451	10
		<3	2,5	62,5	614	10

Продолжение таблицы 1

Материал	Твердость по Бринеллю, $HВ$	Толщина образца, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка $P$		Выдержка под нагрузкой, с
				кгс	Н	
Цветные металлы	>130	6–3	10,5	3000	29420	30
		4–2	5,0	750	7354	30
		<3	2,5	187,5	1834	30
	35–130	9–3	10,0	1000	9810	30
		6–3	5,0	250	2451	30
		<3	2,5	62,5	614	30
	8–35	>6	10,0	250	2451	30
		6–3	5,0	62,5	614	30
		<3	2,5	15,6	153	30

### Работа с прибором при испытании

В держателе 3 (рисунок 3) винтам 2 закрепляют шариковый наконечник и устанавливают необходимую нагрузку  $P$  на опорный столик 6.

Нагрузка создается весом рычажной системы 13, и сменными грузами 12. Затем маховикам 10 подводят образец к шарiku до упора в ограничитель 4. При этом действие нагрузки  $P$  через систему рычагов 13 и шпиндель 21 сообщается шариковому наконечнику 22. Этот момент фиксируется загоранием лампочки 1. После соответствующей выдержки испытуемого образца под действием нагрузки  $P$  происходит автоматическое переключение электродвигателя на обратное: ролик 14 перемещается вверх, возвращает рычаги 13 в исходное положение, электродвигатель автоматически выключается, и лампочка гаснет.





Твердость по методу Роквелла определяют по глубине вдавливания в испытуемую поверхность стального шарика диаметром 1,588 мм или алмазного конуса с углом 120 градусов (рис. 5) при нагрузке 1000 Н или при нагрузке 600 Н и 1500 Н.

При испытании сначала прикладывают предварительную нагрузку  $P_0$  равную 100 Н, а затем нормальную  $P$ , равную 600 Н, 1000 Н или 1500 Н. Разность глубин проникновения шарика или алмаза под нагрузками  $P_0$  и  $P = h - h_0$  характеризует твердость (рис. 4).

Чем меньше эта разность, тем тверже испытуемый материал, и, наоборот, чем больше эта разность, тем мягче материал.

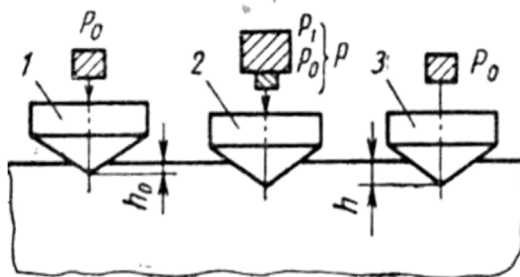


Рис. 5. Схема определения твердости по Роквеллу: 1 – углубление конуса под предварительной нагрузкой  $P_0$ ; 2 – углубление конуса под общей нагрузкой  $P$ , которая равна  $P_0 + P_1$ ; 3 – глубина внедрения конуса под действием нагрузки  $P$

Предварительная нагрузка во всех случаях равна 100Н, а основную нагрузку определяют по таблице 2.

Таблица 2

**Выбор нагрузки и наконечника  
для испытаний на твердомере ТК**

Вид наконечника	Основная нагрузка $F_1$ , Н	Допускаемые пределы шкалы	Обозначение шкалы	Обозначение твердости по Роквеллу
Стальной шарик	900	25...100	В	<b>HRB</b>
Алмазный конус	1400	20...67	С	<b>HRC</b>
Алмазный конус	500	70...85	А	<b>HRA</b>

### Твердость на приборе типа ТК можно измерить:

1) стальным шариком с общей нагрузкой в 1000 Н, этом случае значения твердости определяют по красной шкале *B* и обозначают **HRB**.

Шкала *B* служит для испытания металлов средней твердости.

2) алмазным конусом с общей нагрузкой 1500 Н, в этом случае значения твердости определяют по черной шкале *C* и обозначают **HRC**.

Эта шкала применяется для испытания закаленных сталей, обладающих твердостью до **HRC 67**;

3) алмазным конусом с общей нагрузкой 600 Н, в этом случае значения твердости также определяют по черной шкале *C*, но обозначают **HRA**.

Эта шкала применяется для испытания сверхтвердых сплавов (например, карбидов вольфрама, обладающих твердостью **HRC > 68**).

**Материально-техническое обеспечение:** твердомер ТК, набор наконечников, лупа для измерения отпечатков, образцы.

### Ход работы:

1. Выписать исходные данные в соответствии с заданным вариантом.

2. Зарисовать схему испытания твердости методом Бринелля (рис. 1).

3. Выбрать по таблице 1 величину силы *P* и диаметр шарика *D*, в зависимости от исходных данных, приведенных в таблице 3 и указать на рисунке 1 величину силы *P* (Н), диаметр вдавливаемого шарика *D* (мм), диаметр отпечатка *d* (мм), и толщину испытуемого материала *S* (мм).

4. Зарисовать схему измерения заданного диаметра отпечатка, полученного вдавливанием стального шарика (рис. 2).

5. Рассчитайте твердость **HB** по формуле, приведенной в методических указаниях.

6. Зарисовать схему измерения твердости по Роквеллу (рис. 5).

7. Составьте таблицу применения шкалы *A*, *B*, *C*.

### Контрольные вопросы:

1. Дайте определение твердости.

2. Назовите наиболее распространенные способы испытания материала на твердость

3. Назовите наименование наконечника, для определения твердости по методу Бринелля и запишите его размеры.

4. Перечислите порядок действий, при определении твердости по Бринеллю.

5. Назовите наименование наконечника, для определения твердости по методу Роквелла.

6. Перечислите порядок действий при определении твердости по Роквеллу.

7. Перечислите, для испытания, каких металлов служит шкала С.

8. Приведите обозначение твердости по Бринеллю, укажите единицы измерения.

Приведите обозначение твердости по Роквеллу, укажите единицы измерения

**Задание 1.** При испытании **по методу Бринелля** на твердость образца заданной толщины **s** получили размер отпечатка **d**

Таблица 3

Номер варианта	Материал образца	Толщина образца s, мм	Диаметр лунки (отпечатка) d, мм
1	Сталь 20	2,5	2,40
2	Сталь 45	6,4	1,90
3	Сталь 15	4	2,50
4	Сталь У8	3	2,20
5	Сталь У12	8	2,95
6	Чугун СЧ24-48	5	2,00
7	Чугун КЧ-42-3	7	1,90
8	Сталь50	8	1,95
9	Латунь Л96	5	3,95
10	Латунь Л80	9	4,85
11	Чугун СЧ-18-36	6	2,20
12	БронзаБрАЖ-9-4	2,5	3,75
13	БронзаБрОСЦ-5-3-3	4,5	4,00
14	Сталь 30	4,5	2,24
15	Чугун ВЧ 48-5	3	2,25

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

**Тема:** «Изучение термического анализа свинцово-сурьмянистого сплава, построение диаграммы и кривых охлаждения».

**Цель работы:** ознакомление с методиками проведения термического анализа сплавов и экспериментального построения диаграмм состояния.

**Методические указания**

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава в зависимости от температуры и концентрации компонентов. Диаграмма состояния может быть построена по данным кривых охлаждения сплавов различного состава.

Сплавы – это сложные вещества, полученные сплавлением двух и более компонентов.

Сплав системы Pb-Sb относится к сплавам типа «механические смеси». Механическая смесь образуется тогда, когда компоненты, образующие сплав, взаимно растворимы в жидком состоянии, не растворимы в твердом состоянии и не образуют химических соединений. Особенность кристаллизации сплавов типа механические смеси рассмотрим на примере сплавов Pb-Sb следующего состава:

1. Кривая охлаждения сплава состоит из 5% Sb и 95% Pb (рис. 1).

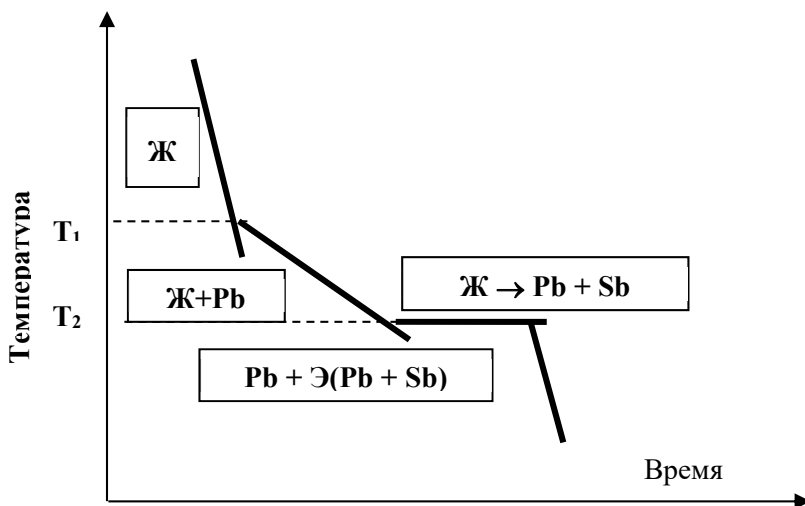


Рис. 1. Кривая охлаждения доэвтектического сплава

- 1) Кривая охлаждения сплава состоит из четырех участков:
- 2) охлаждение сплава в жидком состоянии;
- 3) кристаллизация избыточного компонента (Pb) в интервале температур  $T_1$ – $T_2$ ;
- 4) одновременная кристаллизация свинца и сурьмы при постоянной температуре  $T_2$ ;
- 5) охлаждение сплава в твердом состоянии.

Кристаллизация сплава начинается при температуре  $T_1$  (верхняя критическая температура) и протекает при переменной температуре до  $T_2$  (нижняя критическая температура). В интервале температур  $T_1$ – $T_2$  из жидкости выделяются кристаллы избыточного компонента (Pb). Если из жидкости выделяются кристаллы Pb, то концентрация Pb в жидкой фазе уменьшается, а концентрация Sb в жидкой фазе увеличивается.

2. Кривая охлаждения сплава состоит из 13% Sb и 87% Pb (рис. 2).

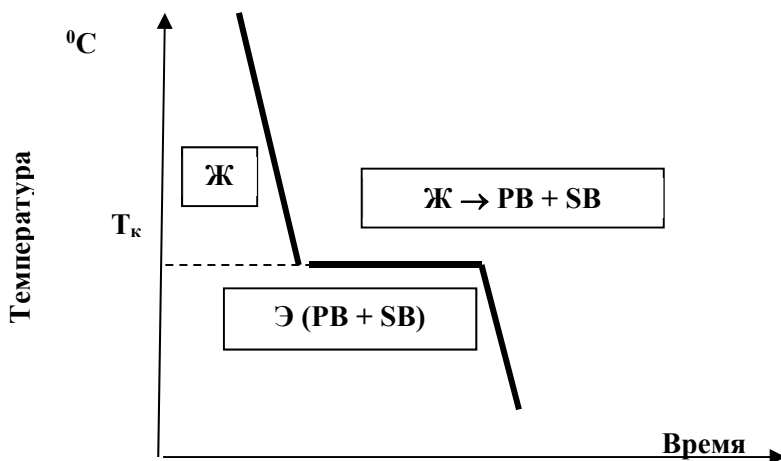


Рис. 2. Кривая охлаждения эвтектического сплава

В процессе кристаллизации концентрация компонентов в жидкой фазе изменяется и стремится к такой концентрации (13% Sb и 87% Pb), когда оба компонента Pb и Sb из жидкости кристаллизуются совместно. Одновременная кристаллизация сурьмы и свинца

протекает при постоянной температуре. Из жидкой фазы происходит одновременная кристаллизация обоих компонентов. В результате образуется однородная механическая смесь.

Структура, состоящая из двух или более твердых фаз, одновременно кристаллизовавшихся из жидкости, называется **эвтектикой**.

3. Кривая охлаждения сплава состоит из 30% Sb и 70% Pb (рис. 3).

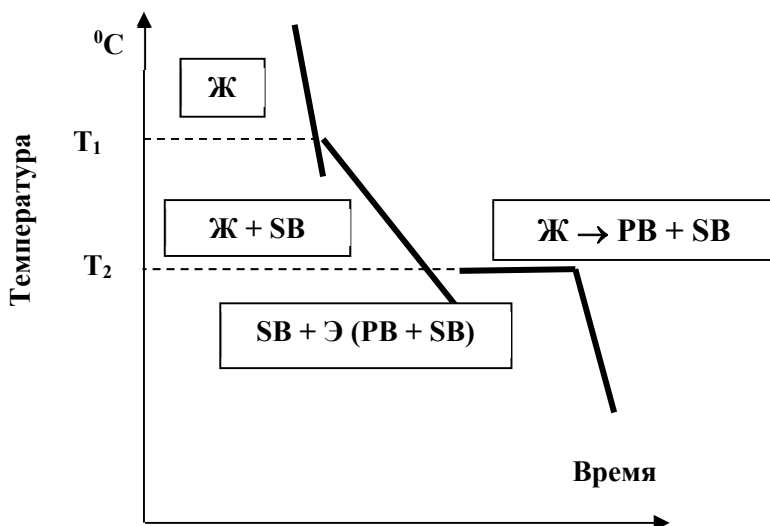


Рис. 3. Кривая охлаждения заэвтектического сплава

В сплаве процесс кристаллизации начинается при температуре  $T_1$ . Из жидкой фазы начинают кристаллизоваться кристаллы компонента, находящегося в избытке относительно эвтектической концентрации, т.е. Sb. Если из жидкости выделяются кристаллы сурьмы, то в процессе кристаллизации жидкая фаза обогащается свинцом.

Когда концентрация компонентов в жидкой фазе достигнет эвтектической концентрации (т.е. 13% Sb и 87% Pb), то начнется совместная кристаллизация обоих компонентов при постоянной температуре  $T_2$ .

Для сплавов типа механические смеси температура конца кристаллизации не зависит от концентрации сплава, она постоянна для всех сплавов. Температура начала кристаллизации изменяется в зависимости от концентрации компонентов в сплаве.

Кривые охлаждения показывают, что все сплавы системы Pb-Sb окончательно затвердевают при постоянной температуре –  $T_2$ . Это дает основание считать, что затвердевшая при постоянной температуре –  $T_2$  часть жидкого сплава имеет постоянный состав. Такому составу соответствует сплав, содержащий 13% Sb и 87% Pb.

Кривая, отвечающая началу равновесной кристаллизации сплавов, называется линией **ликвидус** (ABC). Кривая, проведенная через точки конца кристаллизации, называется линией **солидус** (DBE). Выше линии ликвидус сплав находится в жидком состоянии, ниже линии солидус – в твердом. Сплав, содержащий 13% Sb, является **эвтектическим**. Сплавы, в которых Sb меньше 13%, называются **доевтектическими**; если содержание Sb больше 13%, то такие сплавы являются **заэвтектическими**. В доэвтектических сплавах ниже линии AB начинается процесс кристаллизации, из жидкости выделяются кристаллы Pb, в заэвтектических сплавах ниже линии BC выделяются кристаллы Sb. Следовательно, в области ABD существуют две фазы: Ж + Pb, в области CBE: Ж + Sb.

В процессе кристаллизации доэвтектических и заэвтектических сплавов концентрация жидкой фазы изменяется и стремится к эвтектической. На линии DBE из жидкости эвтектической концентрации одновременно выделяются кристаллы Pb и Sb, т.е. кристаллизуется эвтектика  $Ж_{ж} \rightarrow Pb + Sb$ .

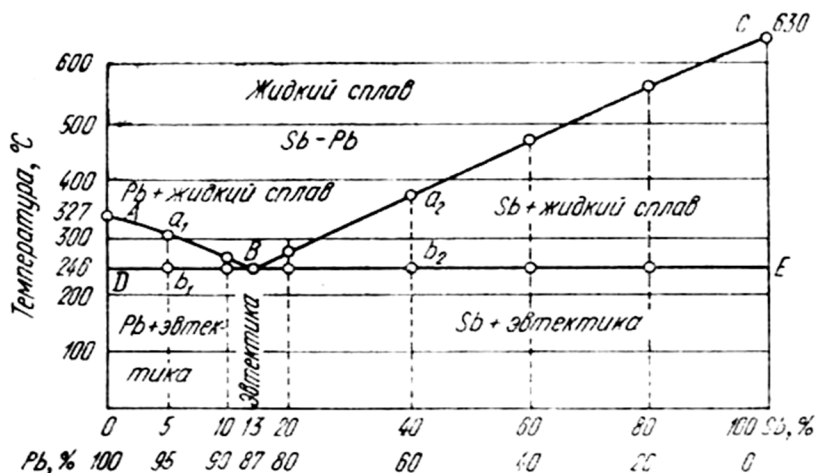


Рис. 4. Диаграмма состояния Pb-Sb

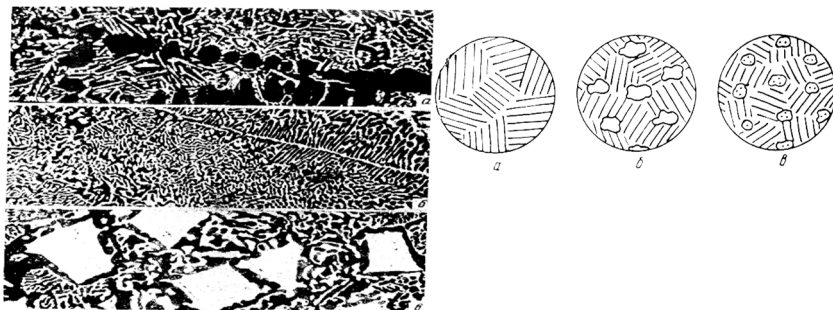


Рис. 5. Схема микроструктуры сплавов:

а – эвтектический; б – доэвтектический; в – заэвтектический

1. Построить в общем виде диаграмму состояния двух компонентного сплава Pb-Sb (свинца и сурьмы) в координатах «температура – концентрация» по критическим температурам кристаллизации, полученным на кривых охлаждения сплава различного состава с 0, 5, 10, 13, 40, 75% Sb таблица 1.

Таблица 1

**Температурные интервалы кристаллизации  
двухкомпонентных сплавов Pb-Sb**

Сплав	Состав	Температура кристаллизации, °C	
		начало	конец
I	100% Pb	327	327
II	95% Pb; 5% Sb;	300	246
III	90% Pb; 10% Sb	260	246
IV	60% Pb; 40% Sb	246	246
V	87% Pb; 13% Sb	395	246
VI	25% Pb; 75% Sb	565	246
VII	100% Sb	631	631

2. Начертить сетку в координатах температура – состав (рис. 6, а).

3. Отложить температуру – по оси ординат в масштабе: 1000C – 2 см; состав в процентах – по оси абсцисс в масштабе: 10% – 1,5 см (рис. 6, б).

4. На оси абсцисс отметить точки, соответствующие исследованным сплавам с 5, 10, 13, 40 и 75% Sb, и в каждой из этих точек восстановить перпендикуляр (рис. 6, в).



5. Нанести значения температур  $T_1$  и  $T_2$  для каждого сплава на соответствующую вертикаль, соответствующих концентрации данного сплава (рис. 6, г).

6. Соединить линией точки, характеризующие конец кристаллизации сплавов. Так как все эти точки расположены при одной температуре  $246^\circ\text{C}$ , то линия будет горизонтальная; продолжить эту линию до правой и левой ординат (рис. 6, д).

7. Изобразить в общем виде диаграмму состояния сплавов РЬ-Sb, обозначить буквами точки и линии. Указать структуры в различных областях диаграммы.

8. Построить три кривые охлаждения заданного сплава Pb-Sb, данные выбрать по своему варианту, данные взять из таблицы 2.

9. Зарисовать и указать полученные микроструктуры кривых охлаждения.

10. Охарактеризовать линии и точки диаграммы.

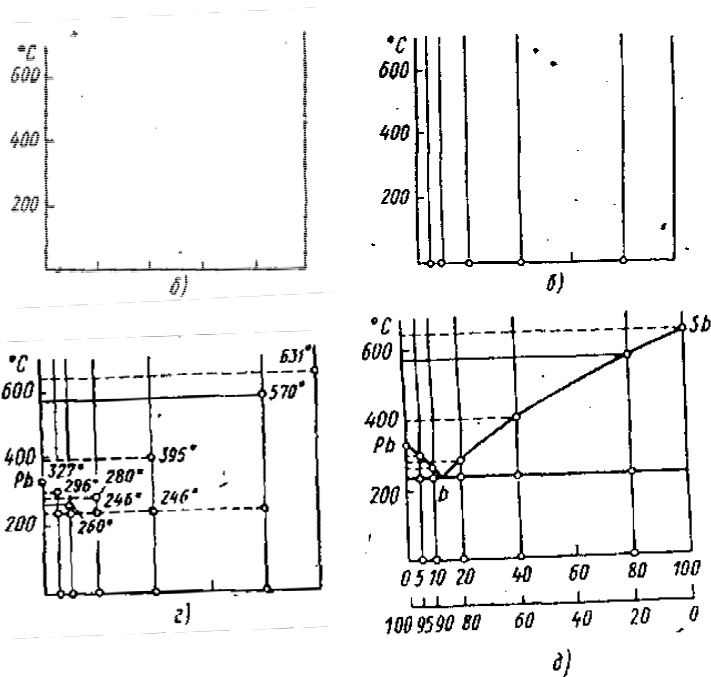


Рис. 6. Последовательность построения диаграммы

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется сплавом?
2. Что такое компонент, фаза?
3. Перечислите типы сплавов.
4. Объясните принцип построения кривых нагрева и охлаждения с помощью термического анализа?
5. Что представляет собой диаграмма состояния, какие зависимости она учитывает?
6. При каком условии образуется сплав «механическая смесь»?
7. Что называется эвтектикой?
8. Какой сплав называется доэвтектическим?
9. Какой сплав называется заэвтектическим?
10. Что называется ликвидусом, и что происходит на линии ликвидуса.
11. Что называется солидусом, и что происходит на линии солидуса?

**Задание:**

Таблица 2

Номер варианта	Кривые охлаждения, процентное содержание сурьмы, Sb		
1	7%	13%	20%
2	10%		25%
3	3%		30%
4	4%		35%
5	5%		40%
6	6%		50%
7	7%		60%
8	8%		70%
9	9%		80%
10	10%		85%
11	11%		15%
12	3%		20%
13	2%		75%
14	5%		45%
15	8%		90%

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

**Тема:** «Изучение и зарисовка микроструктуры чугунов, построение кривых охлаждения заданного сплава».

**Цель работы:** изучить природу превращений в белых чугунах при медленном непрерывном охлаждении с помощью кривых охлаждения.

## Методические указания

Диаграмма железо-цементит (Fe–Fe<sub>3</sub>C) характеризует сплавы – сталь и чугун (рис. 1)

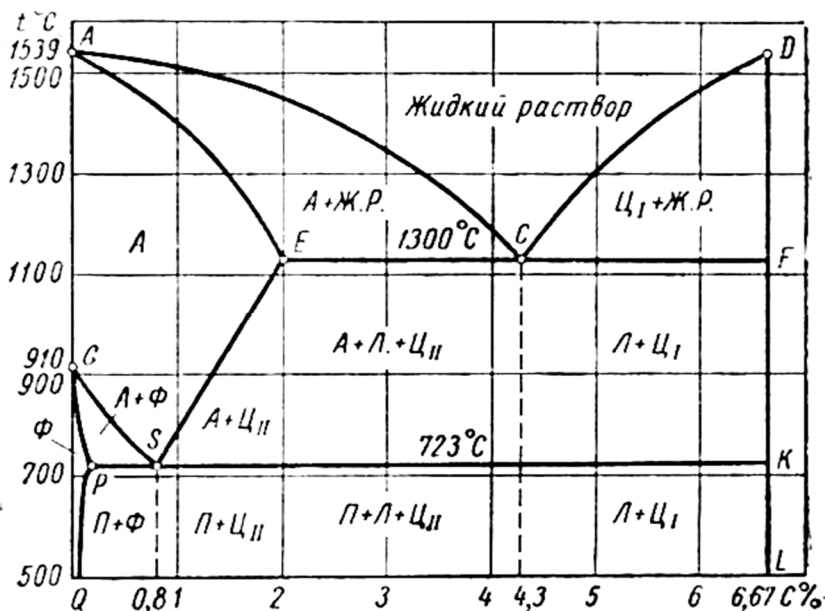
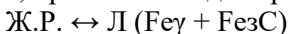


Рис. 1. Диаграмма железо-цементит (Fe–Fe<sub>3</sub>C)

Правая часть диаграммы состояния, включающая сплавы с содержанием углерода более 2,14%, характерна тем, что здесь происходит эвтектическая кристаллизация.

При 1147° С жидкий сплав (Жидкий раствор) состава, отвечающего точке **C** (4,3%углерода), кристаллизуется с образованием механической смеси: кристаллов аустенита (**A**) предельной концентрации и цементита (**Ц**), получившей название **ледебурит** – эвтектика чугуна.

Ведущей фазой при кристаллизации этой эвтектики является цементит. Следовательно, при  $1147^{\circ}\text{C}$  идет превращение



В рассматриваемой системе практически весь углерод находится в связанном состоянии в виде  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Излом таких чугунов светлый блестящий (белый излом), поэтому такие чугуны **называют белыми**.

Белые чугуны в зависимости от содержания углерода делят на:

- 1) **доэвтектический** белый чугун с содержанием углерода до 4,3%,
- 2) **эвтектический** белый чугун с содержанием углерода 4,3%
- 3) **заэвтектический** белый чугун с содержанием углерода более 4,3%.

Правая часть диаграммы состояния  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  (белые чугуны, рис. 2)

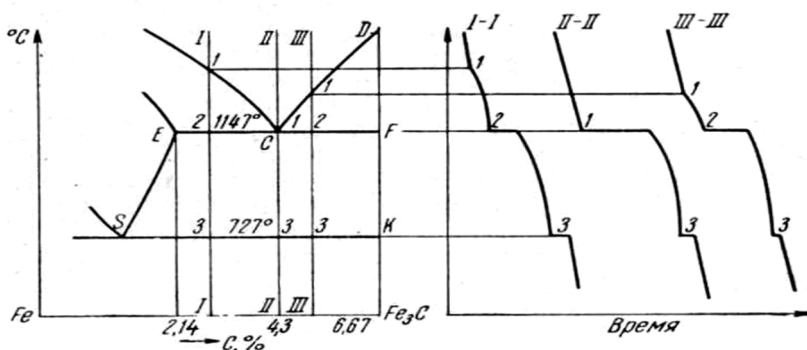


Рис. 2. Правая часть диаграммы  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$  и кривые охлаждения

**Сплав I-I. Доэвтектический белый чугун. Содержание углерода  $< 4,3\%$ .**

В белых чугунах с содержанием углерода около 2% вторичный цементит выявляется довольно отчетливо, так как в таких чугунах мало ледебурита. С увеличением содержания углерода увеличивается количество ледебурита, и тогда вторичный цементит трудно отличить от цементита, входящего в ледебурит (они сливаются) (рис. 3)



Рис. 3

Структура доэвтектического чугуна с 3,2% углерода – перлит (темные участки) и ледебурит, цементит трудно отличить от цементита, входящего в ледебурит (они сливаются).

**Сплав II-II. Эвтектический белый чугун. Содержание углерода = 4,3%.**

Структура эвтектического ( $C = 4,3\%$ ) чугуна состоит из одного ледебурита (рис. 4).

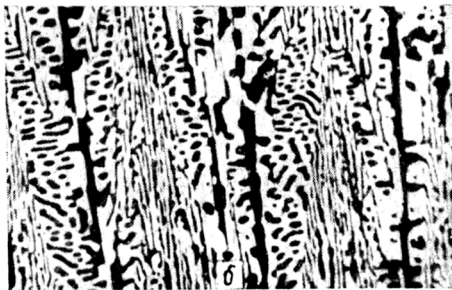


Рис. 4

Структура эвтектического чугуна с 4,3% углерода – ледебурит (темные участки перлит, светлые цементит);

**Сплав III-III. Заэвтектический белый чугун. Содержание углерода  $> 4,3\%$**

Структура заэвтектического чугуна ( $C > 4,3\%$ ) состоит из первичного цементита ( $\text{Ц}_1$ ), выделяющегося в виде крупных пластин и ледебурита (Л) (рис. 5).

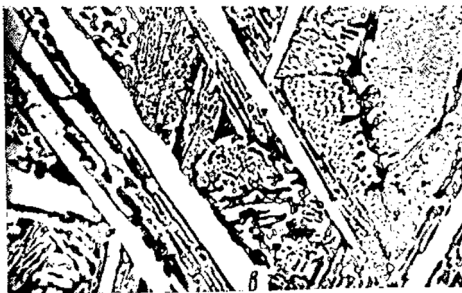


Рис. 5

Структура заэвтектического чугуна с 5% углерода – цементит (светлые пластины) ледобурит (темные участки перлит и светлые – цементит).

### Структурные составляющие белого чугуна

Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид, т.е. подобный эвтектике, но образующий из твёрдой фазы) феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода. Перлит может быть пластинчатым и зернистым (глобулярным), что зависит от формы цементита (пластинки или зёрна) и определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности  $\sigma_B=800\text{МПа}$ ; относительное удлинение  $\delta=15\%$ ; твёрдость  $\text{HB}=160$ .

Цементит (Ц или  $\text{Fe}_3\text{C}$ ) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). В цементите содержится 6,67% углерода. Температура плавления цементита около  $1600^\circ\text{C}$ . Он очень твёрд ( $\text{HB}\sim 800$ ), хрупок и практически не обладает пластичностью ( $\delta = 0\%$ ). Цементит неустойчив и в определённых условиях распадается, выделяя свободный углерод в виде графита по реакции  $\text{Fe}_3\text{C}\rightarrow 3\text{Fe}+\text{C}$ . Под микроскопом эта структурная составляющая имеет вид пластинок или зерен различной величины. Различают цементит, выделяющийся при первичной кристаллизации из жидкого сплава (первичный цементит или  $\text{Ц}_I$  – область  $\text{CDF}$ ), и цементит, выделяющийся из твердого раствора аустенита (вторичный цементит или  $\text{Ц}_{II}$  – область  $\text{FCESK}$ ). Все формы цементита имеют одинаковое кристаллическое строение и свойства, но различную величину частиц — пластинок или зерен. Наиболее крупными являются частицы  $\text{Ц}_I$ , а наиболее мелкими – частицы  $\text{Ц}_{II}$ .

**Ледебурит (Л)** – это механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, содержащая 4,3% углерода. Ледебурит возникает в процессе первичной кристаллизации при 1147°C (это наиболее низкая температура кристаллизации в системе сплавов Fe–C). Входящий в состав ледебурита аустенит при 727°C превращается в перлит, а в интервале от 727°C до обычных температур порядка 20°C ледебурит состоит из смеси перлита и цементита. Твердость его около 700 НВ, он обладает значительной хрупкостью, прочность ледебурита  $\sigma_B = 250$  МПа. Ледебурит характерен для структуры белых чугунов.

**Материально-техническое обеспечение:** альбом фотографий микроструктур чугунов, тетрадь для практических работ, инструкция для практической работы, карандаш, линейка.

### **Ход работы:**

1. На диаграмме железо-углерод указать структурные составляющие и буквенное обозначение критических точек и линий.

2. Для заданных сплавов (таблица 1) на диаграмме Fe–Fe<sub>3</sub>C найти процентное отношение углерода, восстановить вертикальную линию до пересечения со всеми линиями диаграммы.

3. Отметить точки пересечения вертикали с линиями диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C точками 1, 2, 3 и по температурам, соответствующим данным точкам построить три кривые охлаждения для белого чугуна (доэвтектического, эвтектического и заэвтектического).

4. На кривых охлаждения отметить структуры чугуна в каждой области.

5. Зарисовать структуры заданных сплавов в равновесном состоянии, руководствуясь методическими указаниями.

6. Охарактеризовать структурные составляющие исследуемых сплавов при температуре 20°C.

### **Контрольные вопросы:**

1. К какому типу сплава относиться ледебурит?

2. К какому типу сплава относиться цементит?

3. Назовите линию на диаграмме, которая соответствует началу кристаллизации чугунов, как она называется.

4. Назовите линию на диаграмме, которая соответствует концу кристаллизации чугунов, как она называется.

5. Назовите линию на диаграмме, по которой начинает кристаллизоваться сплав «механическая смесь» – ледебурит.

6. Назовите точку и соответствующую ей температуру, при которой чугун кристаллизуется как чистый металл, как называется образующийся при этом сплав?

7. Назовите линию, на которой происходят различные превращения с цементитом. Назовите процентное содержание углерода в цементите.

8. Назовите структурные составляющие, которые имеет доэвтектический белый чугун при комнатной температуре.

9. Назовите структурные составляющие, которые имеет эвтектический белый чугун при комнатной температуре.

10. Назовите структурные составляющие, которые имеет заэвтектический белый чугун при комнатной температуре.

11. Опишите, структуры из которых состоит ледебурит при температуре выше  $723^{\circ}\text{C}$ , и ниже  $723^{\circ}\text{C}$

**Задание:** построить кривые охлаждения чугуна.

Таблица 1

Номер варианта	Кривые охлаждения чугуна		
	доэвтектического, %C	эвтектического, %C	заэвтектического, %C
1	2,2	4,3	4,5
2	2,4		4,6
3	2,6		4,8
4	2,8		5,0
5	3,0		5,2
6	3,2		5,4
7	3,4		5,6
8	3,6		5,8
9	3,8		6,0
10	4,0		6,2
11	2,3		4,7
12	2,5		4,9
13	2,7		5,5
14	3,1		5,9
15	3,3		6,1



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

**Тема:** «Изучение и зарисовка микроструктуры углеродистых сталей, построение кривых охлаждения заданного сплава».

**Цель работы:** изучить природу превращений в углеродистой стали при медленном непрерывном охлаждении с помощью кривых охлаждения.

**Методические указания:**

Железо с углеродом образует твердые растворы внедрения и химические соединения.

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы делятся на два класса: стали и чугуны.

**Сталью** называется сплав железа с углеродом, углерода не более 2,14%.

Принципиально важным для железоуглеродистых сплавов является то, что основной компонент - железо существует в двух аллотропических модификациях: объемно-центрированного куба ( $Fe_\alpha$ ) и гранецентрированного куба ( $Fe_\gamma$ ). Из кривой охлаждения чистого железа (рисунок 1) видно, что  $Fe_\alpha$  существует в двух интервалах температур: ниже  $911^\circ\text{C}$  и от  $1392$  до  $1539^\circ\text{C}$ . Второе аллотропическое превращение в процессе охлаждения происходит при температуре  $911^\circ\text{C}$ , когда  $Fe_\gamma$  (решетка гранецентрированного куба) перестраивается в объемно-центрированную кубическую решетку  $Fe_\alpha$ .

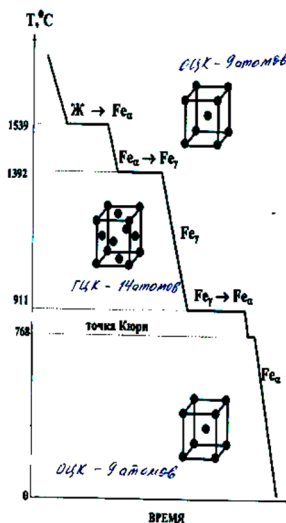


Рис. 1. Кривая охлаждения

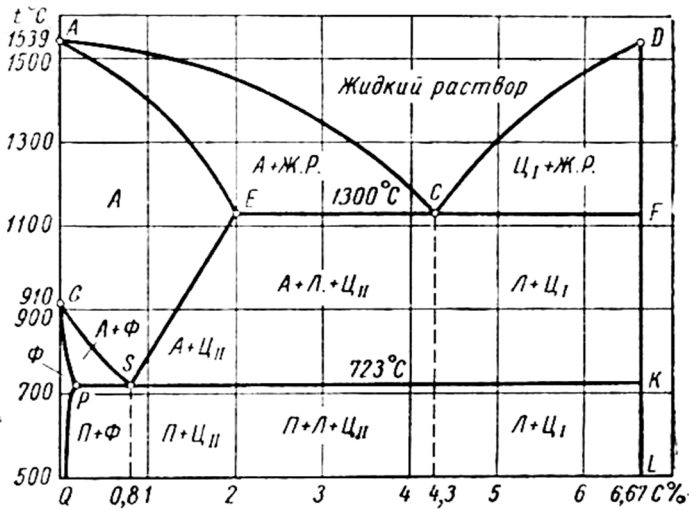


Рис. 2. Диаграмма железо-цементит ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ) чистого железа

### Стальной участок диаграммы

В зависимости от содержания углерода и структуры сталей различают:

- техническое железо – сплавы, содержащие до 0,02% углерода;
- доэвтектоидные стали – сплавы, содержащие от 0,02 до 0,8% углерода,
- эвтектоидные стали – сплав, содержащий 0,8% углерода,
- заэвтектоидные стали – сплавы, содержащие от 0,8 до 2,14% углерода.

### Первичная и вторичная кристаллизация стали

При изучении превращений в железоуглеродистых сплавах в процессе медленного охлаждения и их микроструктуры в равновесном состоянии пользуются диаграммой состояния «железо-цементит» (рис. 2).

Диаграмма состояния «железо-цементит», как и другие диаграммы состояния для двухкомпонентных систем, построена в координатах «температура-концентрация углерода в %». Максимальная концентрация углерода на диаграмме состояния составляет 6,67%, что соответствует 100% цементита.

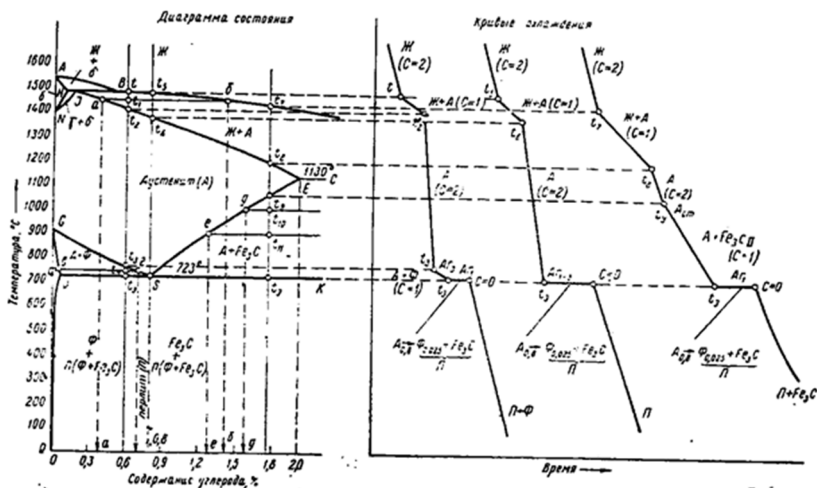


Рис. 3. Левая часть диаграммы состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C (стали)

**Первичная кристаллизация** – это переход металла из жидкого состояния в твердое, т.е. процесс образования твердых кристаллов непосредственно из жидкого расплава.

Для углеродистых сталей этот процесс начинается при охлаждении, когда температура достигает значений, соответствующих линии ABC, и заканчивается на линии HJE.

После окончания первичной кристаллизации и достижения температуры, соответствующей линии HJE, сталь, независимо от содержания в ней углерода, имеет полиэдрическую структуру аустенита.

В отличие от первичной кристаллизации **процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы** носит название **вторичной кристаллизации**.

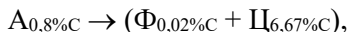
Сущность вторичной кристаллизации для углеродистых сталей состоит в распаде аустенита при охлаждении стали и образовании новых фаз: феррита и цемента.

Вторичная кристаллизация в доэвтектоидных сталях начинается выделением феррита при достижении уровня температур при охлаждении, соответствующих линии GS. Из диаграммы состояния видно, что температура начала вторичной кристаллизации не постоянна. В доэвтектоидных сталях она понижается с увеличением содержания углерода.

В области GSP структура состоит из двух фаз: аустенита и феррита. По мере охлаждения от линии GS к линии PS количество феррита постепенно увеличивается, а количество аустенита уменьшается; при этом в оставшемся аустените концентрация углерода увеличивается по линии GS в направлении к точке S и достигнет 0,8% при 727°C (линия PS).

При охлаждении заэвтектоидных сталей из аустенита по линии ES начинает выделяться вторичный цементит. При дальнейшем охлаждении между линиями ES и SK структура стали состоит из аустенита и вторичного цементита, количество которого непрерывно возрастает. Охлаждаясь, аустенит обедняется углеродом и достигает эвтектоидного состава (0,8%C) при температуре 727°C (линия SK).

Таким образом в доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталях при температуре 727°C аустенит содержит 0,8%C и распадается при постоянной температуре на две фазы: феррит и цементит:



а структура образующейся механической смеси называется *перлитом*.

Согласно диаграмме состояния сплавы, содержащие до 0,01% углерода, являются однофазными сплавами и имеют структуру чистого феррита. При содержании углерода от 0,01% до 0,02% структура сплавов состоит из феррита и третичного цементита, выделяющегося из феррита по линии PQ. Ввиду очень малого количества третичного цементита в структуре он обычно не наблюдаются.

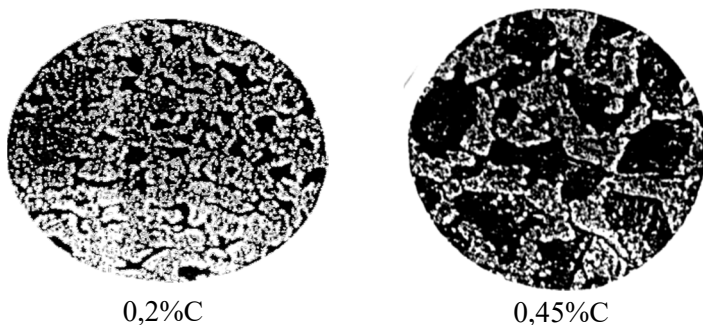


Рис. 3. Структура доэвтектоидной стали феррит + перлит  
(светлые участки феррит, темные перлит)



0,8 %C

Рис. 4. Структура эвтектоидной



1,3 %C

Рисунок 5 Структура заэвтектоидной перлит (смесь феррита и цементита) перлит + цементит вторичный (цементитная сетка имеет светлую окраску)

### ***Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов***

**1. Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо.** Атомы углерода внедрены в кристаллическую решетку железа. Растворимость углерода в  $\alpha$ -железе 0,005%, наибольшая растворимость – **0,02% при 727°C**. Поэтому феррит – это почти чистое железо. Оно имеет малую твердость и прочность, но высокую пластичность. Хорошо деформируется в холодном состоянии. При нагревании феррит устойчив до  $t = 911^\circ$ . Он мягкий (HB 60–100), пластичный  $\delta = 40\%$ , сильно магнитен, хорошо проводит тепло и электричество, прочность  $\sigma_B = 250$  МПа.

**2. Аустенит (А) – тоже твердый раствор внедрения углерода, но в  $\gamma$ -железе.** Здесь атомы углерода внедрены в кристаллическую решетку, но  $\gamma$ -железа. Растворимость углерода в  $\gamma$ -железе, намного

больше, чем в  $\alpha$ -железе. Она достигает максимально **2,14% при температуре 1147°C**. В железоуглеродистых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Учитывая, что  $\gamma$ -железо образуется при  $t = 727^\circ\text{C}$  и выше, то и аустенит может существовать при высоких температурах (727–1539°C). Аустенит имеет твёрдость HB 160–200 и весьма пластичен ( $\delta = 40\text{--}50\%$ ),  $\sigma_B = 450$  МПа

**3. Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). В цементите содержится 6,67% углерода.** Температура плавления цементита около 1600°C. Он очень твёрд (HB~800), хрупок и практически не обладает пластичностью ( $\delta = 0\%$ ).

**4. Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоид, т.е. подобный эвтектике, но образующий из твёрдой фазы) феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода.** Перлит может быть пластинчатым и зернистым (глобулярным), что зависит от формы цементита (пластинки или зёрна) и определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности  $\sigma_B = 800$  МПа; относительное удлинение  $\delta = 15\%$ ; твёрдость HB = 160.

#### **Ход работы:**

1. На диаграмме железо- углерод указать структурные составляющие и буквенное обозначение критических точек и линий.

2. Для заданных сплавов на диаграмме Fe–Fe<sub>3</sub>C найти процентное отношение углерода, восстановить вертикальную линию до пересечения со всеми линиями диаграммы.

3. Отметить точки пересечения вертикали с линиями диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C точками 1, 2, 3 и по температурам, соответствующим данным точкам построить три кривые охлаждения для углеродистой стали (доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной).

4. На кривых охлаждения отметить структуры чугуна в каждой области.

5. Зарисовать структуры заданных сплавов в равновесном состоянии, руководствуясь методическими указаниями.

6. Охарактеризовать структурные составляющие исследуемых сплавов при температуре 20°C.

#### **Контрольные вопросы:**

1. К какому типу сплава относиться феррит, какую кристаллическую решетку имеет железо в феррите?

2. К какому типу сплава относиться аустенит, какую кристаллическую решетку имеет железо в аустените?

3. К какому типу сплава относиться перлит, назовите его структурные составляющие.

4. Назовите линию на диаграмме, которая соответствует началу кристаллизации сталей, как она называется.

5. Назовите линию на диаграмме, которая соответствует концу кристаллизации сталей, как она называется.

6. Назовите линию на диаграмме, по которой начинает кристаллизоваться сплав «механическая смесь» – перлит.

7. Назовите точку и соответствующую ей температуру, при которой сталь кристаллизуется как чистый металл, как называется образующийся при этом сплав?

8. Назовите линию, на которой происходят различные превращения с аустенитом для доэвтектоидных и заэвтектоидных сплавов.

9. Назовите процентное содержание углерода в феррите, аустените, перлите.

10. Как влияет содержание углерода на количественное содержание перлита в структуре доэвтектоидных сталей и количественное содержание цементита вторичного в структуре заэвтектоидных сталей.

11. Приведите цифры механических свойств для заданных сплавов, пользуясь рисунком 6 в методических указаниях.

**Задание:** построить кривые охлаждения стали.

Таблица 1

Номер варианта	Кривые охлаждения стали		
	доэвтектоидная, %C	эвтектоидная, %C	заэвтектоидная, %C
1	0,20	0,8	0,90
2	0,25		1,00
3	0,30		1,10
4	0,35		1,20
5	0,40		1,30
6	0,45		1,40
7	0,50		1,50
8	0,55		1,60
9	0,60		1,70
10	0,65		1,80
11	0,70		1,90
12	0,30		1,00
13	0,40		1,50
14	0,50		1,70
15	0,60		1,40

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

**Тема:** «Изучение зависимости между структурой, механическими свойствами и применением чугунов».

**Цель работы:** приобрести навыки расшифровки марок чугуна. Установить зависимость между структурой, механическими свойствами и применением чугунов.

**Методические указания**

Чугуном называется сплав железа с углеродом, углерода более 2,14%.

Углерод в чугуне может быть в связанном соединении в виде цементита и в свободном состоянии, в виде графита. Графит является неметаллической фазой (рис. 1).

Структура графита слоистая, прочность и пластичность его низки. Графит более устойчивая структура, чем цементит. Графит в чугуне является вторичным продуктом, он может образовываться вследствие распада цементита.

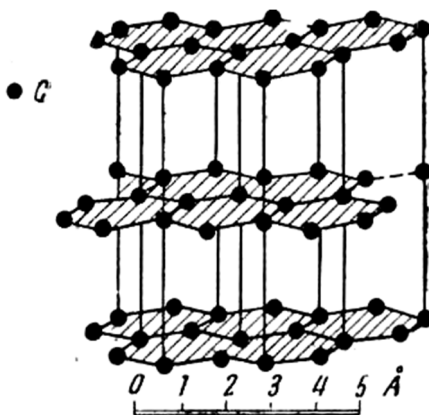


Рис. 1. Кристаллическая решетка свободного углерода



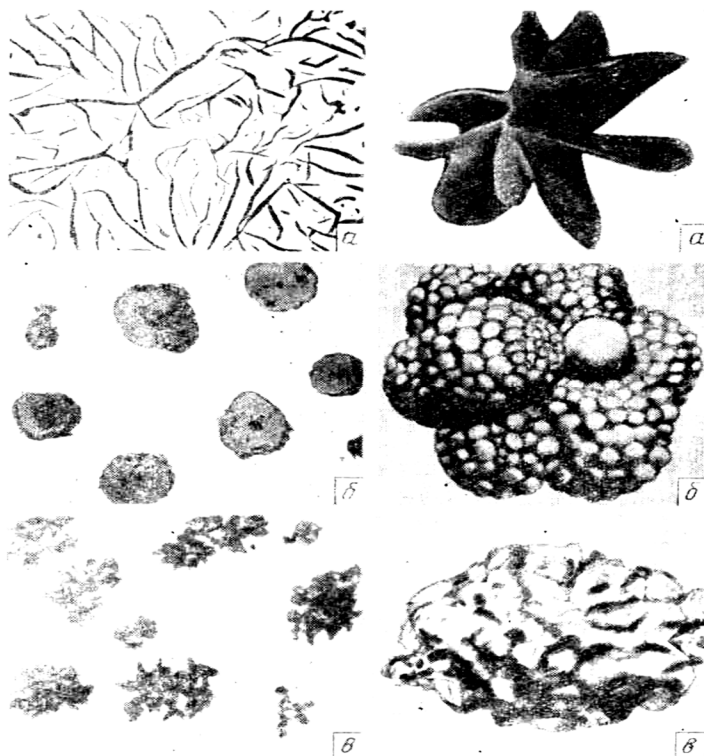


Рис. 2. Микроструктура чугуна с различной формой графита:

- а – пластинчатая форма графита (в сером чугуне);
- б – шаровидная форма графита (в высокопрочном чугуне);
- в – хлопьевидная форма графита ( в ковком чугуне)

В зависимости от количества и формы выделившегося углерода (зависящей от скорости охлаждения, содержания примесей и последующей обработки) чугуны подразделяются на белые, серые, ковкие и высокопрочные

### Серый чугун

**Серый чугун** – это сплав, в котором углерод содержится в виде свободного графита, имеющего форму пластинок различных размеров, имеет в изломе себрый цвет.

Структура серого чугуна состоит из металлической основы (со структурой феррита, доэвтектоидной и перлита эвтектоидной стали) и включений графита, вкрапленных в эту основу.

По структуре металлической основы серые чугуны подразделяют в основном на следующие группы:

**1. Перлитные.** Структура перлитная с включениями графита. Металлическая основа ее состоит из перлита (серая основа), а количество связанного углерода, равно 0,8% (рис. 3). Такой чугун в отливке обладает наивысшей прочностью и достаточно хорошо обрабатывается резанием.

**2. Феррито-перлитные.** Структура феррито-перлитная с включениями графита. Металлическая основа ее состоит из феррита (светлая основа), и перлита (серая основа), а количество связанного углерода до 0,8% (рис. 4). Этот чугун обладает меньшей механической прочностью, но лучше обрабатывается резанием.

**3. Ферритные.** Структура ферритная с включением графита. Основа ее состоит из феррита (светлая основа), а содержание связанного углерода практически равно нулю (рис. 5). Такой чугун обладает пониженными механическими свойствами, но легко обрабатывается резанием.

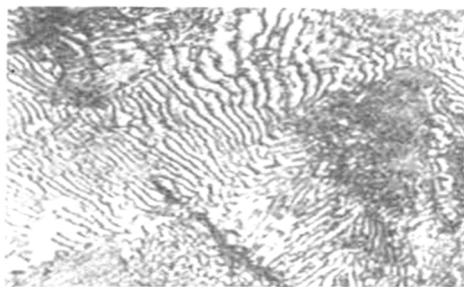


Рис. 3. Перлитный серый чугун

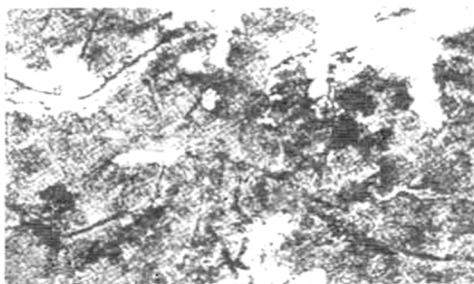


Рис. 4. Феррито-перлитный серый чугун

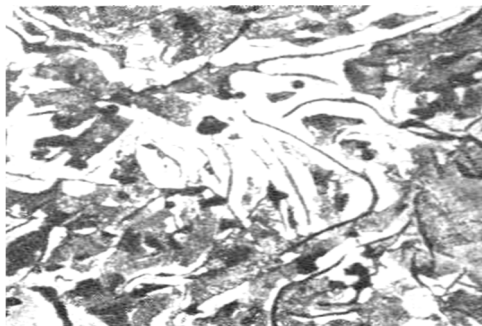


Рис. 5. Ферритный серый чугун

Серый чугун – дешевый и недефицитный, типичный литейный сплав находит широкое применение в машиностроении для изготовления литых деталей. Он обладает очень хорошими литейными свойствами (малая усадка, хорошая жидкотекучесть, относительно невысокая температура плавления), легко обрабатывается режущим инструментом.

Примерный состав серого чугуна: 3,5–3,6% С; 1,5–3,0% Si; 0,4–0,6% Mn; 0,3–0,8% P; 0,1–0,12% S.

Механические свойства серого чугуна зависят от структуры его металлической основы и, в значительной мере, определяются количеством, формой и размерами графитовых включений. В связи с низкой механической прочностью графита пластинчатая форма его включений в сером чугуне невыгодна.

Поэтому относительное удлинение и ударная вязкость серых чугунов близки к нулю.

По ГОСТ 1412–85 серый чугун маркируется буквами: С – серый и Ч – чугун. После букв следуют цифры. Первые цифры указывают среднюю величину предела прочности при растяжении в МПа.

### **Высокопрочный (модифицированный) чугун**

**Высокопрочный чугун** – это сплав, в котором углерод содержится в виде шаровидного графита. Операция модифицирования заключается в том, что перед разливкой в литейные формы в ковш вводят небольшие добавки, называемые модификаторами, которые оказывают сильное влияние на процесс кристаллизации. Для модифицирования чугуна применяется ферросилиций, алюминий, но лучшим модификатором считается магний, при введении которого

(около 0,5%) в жидкий чугун выделяющийся графит приобретает шаровидную форму.

Включения шарообразной формы не вызывают значительной неравномерности в распределении напряжений, и следовательно, такого сильного снижения пластичности, как пластинчатые включения с острыми краями.

Структура металлической основы модифицированного высокопрочного чугуна может быть: ферритной; феррито-перлитной; перлитной.

Химический состав высокопрочного чугуна: 2,6–3,2% С; 1,1–1,6% Si; 0,3–1,0% Мп.

По ГОСТ 7293-85 высокопрочный чугун маркируется буквами:

В – высокопрочный и Ч – чугун. После букв следуют цифры. Первые цифры указывают среднюю величину предела прочности при растяжении в МПа, вторые числа – относительное удлинение в процентах.

### Ковкий чугун

**Ковкий чугун** – это сплав, в котором углерод содержится в виде хлопьевидного графита.

Название «ковкий чугун» является условным, поскольку заготовки изделий из него, как и из любого другого чугуна, изготавливают не ковкой, а отливкой. Вместе с тем этот чугун обладает более высокими по сравнению с серым чугуном пластическими свойствами.

Принципиальная схема технологии получения деталей из ковкого чугуна состоит из двух операций. Сначала путем отливки получают детали из белого доэвтектического чугуна (2,5...3,3% С), структура которого состоит из перлита и ледебурита. Затем полученные отливки подвергают отжигу, в процессе которого цементит, входящий в состав ледебурита и перлита, распадается на феррит и графит (углерод отжига).

В зависимости от степени распада цементита, определяемого условиями проведения отжига, структура металлической основы ковкого чугуна может быть:

– феррит – при полном распаде цементита, входящего в перлит и ледебулит;

– феррит + перлит или перлит – при частичном распаде цементита, входящего только в ледебулит.

Хлопьевидная форма графита является основной причиной более высокой прочности и пластичности ковкого чугуна по сравнению с серым чугуном. Несмотря на высокие механические свойства ковкого чугуна, применение его ограничено из-за толщины отливки, которая бывает не более 50 мм.

Химический состав белого чугуна, отжигаемого на ковкий чугун, выбирается в пределах: 2,5–3,0% С; 0,5–1,5% Si; 0,3–1,0% Мп.

По ГОСТ 1215–79 ковкий чугун маркируется буквами: К – ковкий и Ч – чугун. После букв следуют цифры. Первые цифры указывают среднюю величину предела прочности при растяжении, а МПа, вторые числа – относительное удлинение в процентах.

Таблица 1

**Марки и свойства серого чугуна ГОСТ 1412-85**

Марка	Предел прочности при растяжении, МПа	Твердость, НВ
<i>Ферритный</i>		
СЧ12	120	143-229
<i>Феррито- перлитный</i>		
СЧ15	150	163-229
СЧ18	180	170-229
<i>Перлитный</i>		
СЧ24	240	170-241
СЧ28	280	170-241
СЧ32	320	187-225

Таблица 2

**Марки и свойства высокопрочного чугуна ГОСТ 7293-85**

Марка	Предел прочности при растяжении – $\sigma_R$ , МПа	Твердость, НВ, МПа	Линейное удлинение, $\delta$ , %
<i>Ферритный</i>			
ВЧ40-10	400	156-197	10
<i>Феррито-перлитный</i>			
ВЧ45-5	450	170-207	5
<i>Перлитный</i>			
ВЧ50-1,5	500	187-255	1,5
ВЧ60-2	600	197-269	2


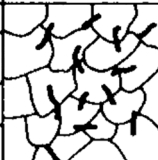
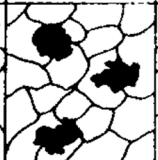


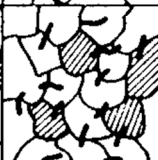





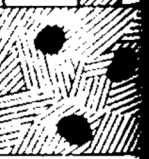
Таблица 3

Марки и свойства ковкого чугуна ГОСТ 1215-79

Марка	Предел прочности при растяжении - $\sigma_R$ , МПа	Твердость, НВ, МПа	Линейное удлинение, $\delta$ , %
<i>Ферритный</i>			
КЧ35-10	350	163	10
КЧ37-12	370	163	12
<i>Перлитный</i>			
КЧ45-6	500	241	6
КЧ50-4	600	241	4

Таблица 4

Классификация чугунов по структуре металлической основы и формы графитных включений

<i>Металлическая основа</i>	<i>Форма графитных включений</i>			
	<i>Пластинчатая</i>	<i>Вермикулярная</i>	<i>Хлопьевидная</i>	<i>Шаровидная</i>
<i>Феррит</i>				
<i>Феррит + перлит</i>				
<i>Перлит</i>				

**Материально-техническое обеспечение:** альбом фотографий микроструктур чугунов, тетрадь для практических работ, инструкция по выполнению практической работы, карандаш, линейка.

**Ход работы:**

1. Изучить методические указания.
2. Записать заданные марки сплава, расшифровать их в соответствии с ГОСТом, указать их механические свойства, пользуясь таблицами №1, №2, №3 методических указаний записать область применения заданных марок сплава.
3. Зарисовать формы графита для заданных марок.
4. Зарисовать микроструктуру металлической основы и форму графитных включений только для заданных марок чугуна, пользуясь таблицей 4 методических указаний.
5. Изобразить графики прочности, твердости и пластичности для ковкого чугуна, пользуясь таблицей 3 методических указаний.
6. Перечислить основные химические элементы, которые входят в состав чугуна, и указать их процентное содержание

**Контрольные вопросы:**

1. В каком состоянии находиться углерод в чугунах.
2. Назовите формы включений графита в порядке их влияния на увеличение прочности.
3. Назовите формы включений графита в порядке их влияния на увеличение пластичности.
4. Какое влияние оказывает фосфор на технологические свойства чугуна?
5. Назовите химический элемент, который увеличивает красноломкость и хрупкость чугунов.
6. Назовите химический элемент, который уменьшает прочность, повышает износостойкость чугуна.
7. Какое влияние оказывает марганец на механические и химические свойства чугуна
8. Как расшифровать марки чугунов: серый чугун предел прочности 15, высокопрочный чугун предел прочности 50, линейное удлинение 2, ковкий чугун предел прочности 37, линейное удлинение – 12.

**Задание:**

Таблица 5

Номер варианта	Марка чугуна		
	СЧ-12	ВЧ 50-1,5	КЧ 35-10
1	СЧ-12	ВЧ 50-1,5	КЧ 35-10
2	СЧ-15	ВЧ 60-2	КЧ 37-12
3	СЧ-18	ВЧ 45-5	КЧ 45-6
4	СЧ-24	ВЧ 40-10	КЧ 50-4
5	СЧ-28	ВЧ 50-1,5	КЧ 35-10
6	СЧ-32	ВЧ 60-2	КЧ 37-12
7	СЧ-12	ВЧ 45-5	КЧ 45-6
8	СЧ-15	ВЧ 40-10	КЧ 50-4
9	СЧ-18	ВЧ 50-1,5	КЧ 35-10
10	СЧ-24	ВЧ 60-2	КЧ 37-12
11	СЧ-12	ВЧ 60-2	КЧ 45-6
12	СЧ-15	ВЧ 45-5	КЧ 50-4
13	СЧ-18	ВЧ 40-10	КЧ 35-10
14	СЧ-24	ВЧ 50-1,5	КЧ 37-12
15	СЧ-32	ВЧ 60-2	КЧ 45-6



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

**Тема:** «Выбор вида и режима термической обработки конкретных деталей из углеродистых сталей».

**Цель работы:** приобрести умения в выборе вида и режима термической обработки металлов, для конкретных деталей.

**Методические указания**

**Термическая обработка стали** представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, проводимых с целью изменения структуры стали для улучшения технологических свойств заготовок (прокат, поковки, отливки) и обеспечения необходимых эксплуатационных свойств материала в готовых изделиях.

На диаграмме «железо-цементит» для сталей нижним критическим точкам  $A_{C1}$  – при нагреве соответствует линия PSK – превращение перлита в аустенит, а верхним критическим точкам  $A_{C3}$  – при нагреве соответствует линия GS – конец растворения феррита в аустените в доэвтектоидных сталях и  $A_m$  линия SE – конец растворения цементита в аустените – в заэвтектоидных сталях (рис. 1).

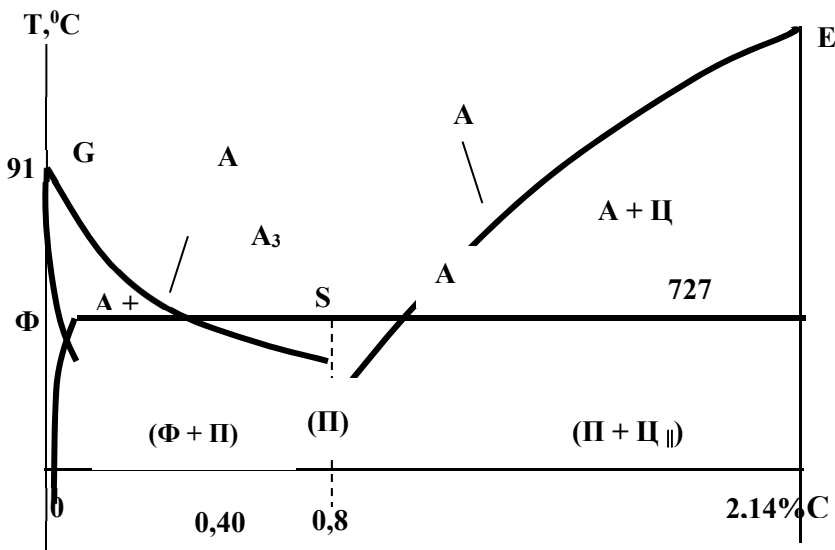


Рис. 1. Фрагмент диаграммы состояния железо-углерод

Формирование структуры стали в основном связано с распадом аустенита при его охлаждении с различными скоростями.

В интервале температур  $A_3$ – $A_1$  (линии GSE – PSK) при охлаждении выделяются избыточные фазы: феррит - в доэвтектоидных сталях и вторичный цементит – в заэвтектоидных сталях. В равновесном состоянии при температуре  $727^{\circ}\text{C}$  аустенит, содержащий 0,8% углерода, распадается с образованием **перлита** – эвтектоидной механической смеси феррита и цементита.

В результате образуются структуры **перлита, сорбита и троостита**, отличающиеся размерами ферритных и цементитных образований (степенью дисперсности) и, следовательно, разными механическими свойствами. Превращение аустенита в пересыщенный твердый раствор углерода в  $\text{Fe}_\alpha$ , называется **мартенситом**.

Для получения в стали различных структур и комплекса механических свойств применяют следующие виды термообработки: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

**Отжигом** называется вид термообработки, заключающийся в нагреве стали выше температуры  $A_{C3}$  или  $A_{C1}$ , в выдержке при этих температурах и последующем медленном охлаждении с печью. Медленное охлаждение стали при отжиге способствует протеканию равновесных фазовых превращений и образованию перлита в эвтектоидной стали, перлита с избыточным ферритом или цементитом в доэвтектоидной и заэвтектоидной стали соответственно. После отжига стали характеризуются высокой пластичностью, но пониженной прочностью и твердостью.

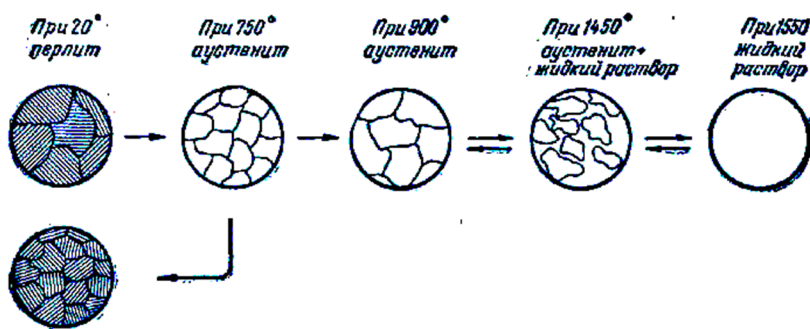


Рис. 2. Схема структурных превращений стали У8, полученные при отжиге

**Нормализацией** называется вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали на 30–50°C выше  $A_{C3}$ , выдержке при этой температуре и последующем охлаждении на воздухе.

Фазовая перекристаллизация при нагреве и последующее охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита при более низких температурах, что повышает дисперсность феррито-цементитной смеси и приводит к образованию **сорбита**.

Нормализация широко применяется для улучшения свойств сталей после литья, проката иковки. Для низкоуглеродистых сталей нормализация, имеющая более высокие технико-экономические показатели, заменяет отжиг. Для среднеуглеродистых сталей нормализация может заменять улучшение (совмещенную операцию заковки с последующим высоким отпуском). Для высокоуглеродистых сталей нормализация предотвращает выпадение сетки цементита по границам зерен перлита, наблюдаемые при отжиге в интервале температур  $A_{C3}$ – $A_{C1}$ .

**Закалкой** называется вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали на 30–50°C выше температуры  $A_{C3}$  и  $A_{C1}$ , для доэвтектоидной и заэвтектоидной (эвтектоидной) сталей соответственно, выдержке при этих температурах и последующем охлаждении со скоростью, равной или превышающей критическую скорость охлаждения. В качестве среды, обеспечивающей подобные скорости охлаждения, используют воду, масло, растворы солей и щелочей. В результате заковки доэвтектоидная и эвтектоидная стали будут иметь структуру мартенсита, а заэвтектоидная сталь – мартенсит и избыточный цементит. Сталь после заковки с оптимальной температуры имеет максимально возможную твердость, высокую прочность и низкие показатели пластичности, вязкости.

**Отпуском** называется вид термической обработки, заключающийся в нагреве закаленной стали до температур, лежащих ниже критической точки  $A_{C1}$ , выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении. В практике машиностроения применяется три вида отпуска: низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий).

**Низкий отпуск** производится при температурах 150–250°C. В результате такой термообработки образуется структура, так называемый отпущенный мартенсит, являющийся смесью пересыщенного  $\alpha$ -твердого раствора (неоднородной концентрации) и еще не

обособившихся частиц метастабильного карбида, близкого по составу к  $\text{Fe}_2\text{C}$ .

Низкий отпуск обеспечивает высокую практически на уровне закаленных сталей твердость и высокую износостойкость поверхностных слоев стали; при этом имеет место частичное снижение внутренних остаточных напряжений, повышение ударной вязкости, что уменьшает склонность стали к хрупкому разрушению. Низкому отпуску подвергают режущий и измерительный инструмент; детали, прошедшие поверхностную обработку – закалку, цементацию; изделия, работающие в условиях трения сопряженных деталей.

**Средний отпуск** проводится в интервале температур 400–480°C. С повышением температуры отпуска до 400°C в углеродистой закаленной стали полностью завершается процесс выделения углерода из мартенсита. Структура стали будет состоять из феррита и цементита.

В результате среднего отпуска структура закаленной стали будет представлять мелкодисперсную смесь феррита и цементита, которая называется **троостит отпуска**. Полное выделение углерода из мартенсита обуславливает снятие внутренних напряжений, а начавшийся процесс укрупнения зерна, сопровождавшийся снижением твердости (40–50 HRC) и, следовательно, повышением пластичности, предопределяет высокие пределы упругости и выносливости. Средний отпуск применяют для деталей, работающих в режиме изменяющихся нагрузок: рессоры, пружины, торсионы, штампы.

**Высокий отпуск** выполняют при 500–680°C. В результате образуется структура, которая называется **сорбитом отпуска**. Для полученной структуры характерно еще большее снижение твердости (30–45 HRC) и повышение относительного сужения и особенной ударной вязкости, почти полное (90–95%) устранение всех внутренних напряжений.

Высокому отпуску подвергается большое количество наиболее нагруженных деталей машин, испытывающих знакопеременные и ударные нагрузки – валы, оси, зубчатые колеса, шатуны и др. Высокий отпуск обеспечивает одновременно значительную пластичность конструкционной стали при повышенной, по сравнению с нормализацией и отжигом, прочности. Поэтому термическую обработку, состоящую из закалки и последующего высокого отпуска,

называют **улучшением**, которому подвергают среднеуглеродистые стали для уменьшения чувствительности к концентраторам напряжений, снижения температуры порога хладноломкости.

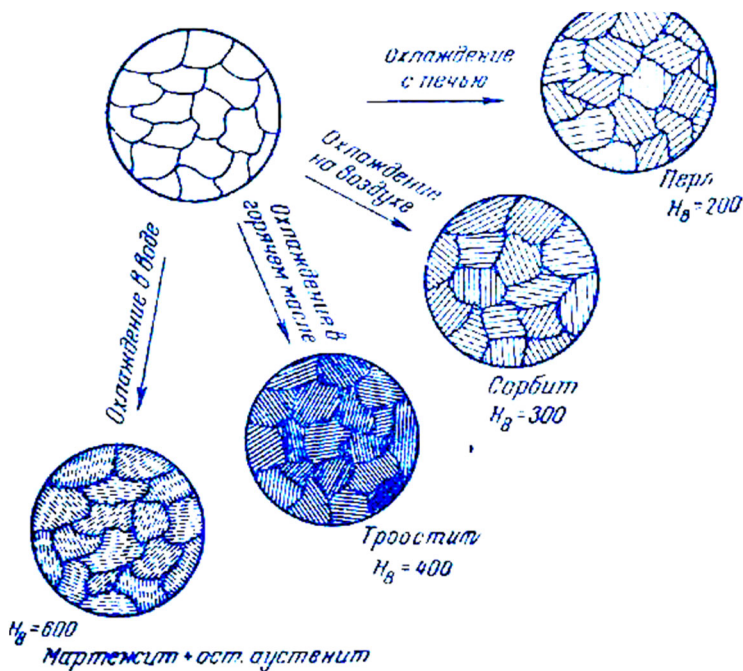


Рис. 2. Превращения аустенита эвтектоидной стали при охлаждении

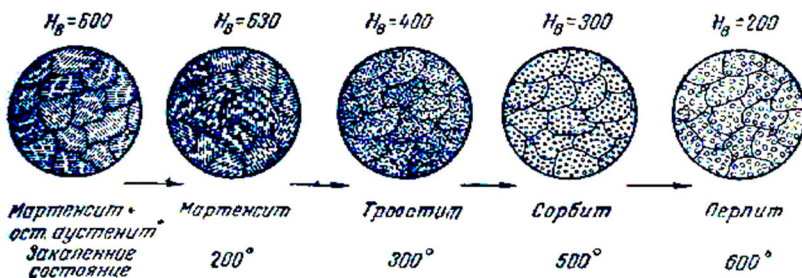


Рис. 3 Превращение мартенсита при нагревании (структуры стали при отпуске)

**Материально-техническое обеспечение:** альбом фотографий микроструктур углеродистой стали, тетрадь для практических работ, инструкция по практическим работам, карандаш, линейка.

**Ход работы:**

1. В соответствии с заданным вариантом выбрать тему лабораторной работы.

2. Изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней.

3. Назначить последовательность выполнения видов термической обработки, обосновать результаты предлагаемых видов термической обработки, исходя из цели и назначения каждого вида термообработки. Результаты занести в таблицу тетради для практических работ.

4. Пользуясь диаграммой состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C (стальной участок), назначить температуру нагрева для выбранных видов термообработки и показать область нагрева на стальном участке.

5. Выбрать охлаждающие среды для каждого вида термообработки и результаты занести в таблицу тетради для практических работ.

6. Описать получаемые структуры после каждого вида термообработки.

7. Зарисовать микроструктуры заданной стали после каждого вида термической обработки.

**Контрольные вопросы:**

1. Назовите на стальном участке диаграммы линию на которой лежат критические точки A<sub>C1</sub>.

2. Назовите на стальном участке диаграммы линию на которой лежат критические точки A<sub>C3</sub>.

3. Назовите на стальном участке диаграммы линию на которой лежат критические точки A<sub>m</sub>.

4. Опишите, какие превращения происходят в аустените при медленном охлаждении стали.

5. Перечислите виды отжига.

6. Поясните, в чем заключается назначение нормализации, чем отличается этот процесс от отжига.

7. Объясните, почему доэвтектоидную сталь для закалки нагревают выше точки A<sub>C3</sub>, а заэвтектоидную несколько выше A<sub>C1</sub>.

8. Назовите охлаждающие среды, которые применяются при закалке.

9. Дайте определение, что называется критической скоростью закалки.

10. Перечислите способы закалки, в зависимости от приемов и скорости охлаждения. Назовите виды отпуска.

11. Объясните, с чем отличие по структуре и свойствам между перлитом, сорбитом, трооститом и мартенситом.

### **Темы практической работы**

1. Вал изготовлен из стали с содержанием углерода 0,5%. Работает с большой нагрузкой. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие наилучшие эксплуатационные показатели: прочность, пластичность, вязкость по всему поперечному сечению.

2. Автомобильная рессора средней прочности изготовлена из стали с содержанием углерода 0,65%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие эксплуатационные свойства рессоры.

3. Сверло изготовлено из стали с содержанием углерода 1,2%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие высокие режущие свойства инструмента: прочность, твердость, износостойкость.

4. Средненагруженный шатун изготовлен из стали с содержанием углерода 0,4%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие необходимый комплекс прочности и пластичности по всему поперечному сечению детали.

5. Для изготовления шестерни выбрана сталь с содержанием углерода 0,45%. Шестерня работает в условиях износа при повышенных ударных нагрузках. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие высокую твердость поверхности зубьев и вязкую сердцевину.

6. Плашки для нарезания резьбы (слесарная операция) изготовлены из стали с содержанием углерода 1,2%. Назначьте режимы термообработки обеспечивающие режущие свойства инструмента.

7. Для изготовления крупногабаритного зубчатого колеса автомобиля выбрана сталь с содержанием углерода 0,5%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие поверхностного слоя) и вязкость сердцевины.

8. Нагруженный коленчатый вал изготовлен из стали с содержанием углерода 0,45%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие комплекс прочности и пластичности по всему сечению вала.

9. Для изготовления цилиндрической винтовой пружины сжатия выбрана сталь с содержанием углерода 0,75%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие комплекс прочности и высоких упругих свойств.

10. Для изготовления напильника выбрана сталь с содержанием углерода 1,2%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие режущие свойства инструмента для обработки.

11. Для изготовления рулевой сошки автомобиля ГАЗ-53 выбрана сталь с содержанием углерода 0,45%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие твердость детали HB220...260.

12. Для изготовления шестерни выбрана сталь с содержанием углерода 0,3% (заготовка-отливка). Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие химическую однородность и мелкозернистое строение.

13. Для коленчатого вала автомобиля выбрана сталь с содержанием углерода 0,45%. Назначьте режимы термообработки, чтобы коренные и шатунные шейки обладали высокой твердостью поверхности и вязкой сердцевиной.

14. Для пальца рессоры автомобиля Москвич выбрана сталь с содержанием углерода 0,4%. Назначьте режимы термообработки, обеспечивающие твердость НКС52...59 на глубину 1,5 мм.

15. Для пальца поршневой группы автомобиля ГАЗ-53 выбрана сталь, с содержанием углерода 0,45%. Назначьте режимы термообработки при условии получения твердости HB220...260.



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

**Тема:** «Изучение влияния термической обработки на механические свойства легированной стали».

**Цель работы:** изучить влияние термической обработки на механические свойства легированных сталей. Приобрести умения расшифровки марок легированной стали.

### **Методические указания:**

По распространенной классификации стали разделяются на следующие классы: перлитный, мартенситный, аустенитный, карбидный и ферритный.

*К перлитному классу* относятся стали, содержащие небольшое количество легирующих элементов и обладающие структурой эвтектоидного типа: перлит, сорбит или троостит, наряду с которыми могут присутствовать и феррит или вторичные карбиды.

К этой группе относятся **стали 40Х, 40ХН, 40Х7Т, 30ХГСА, Х, 9ХС** и др.

*К мартенситному классу* относят стали с более высоким содержанием легирующих элементов, обладающие мартенситной структурой. Из сталей этого класса в машиностроении применяют хромоникелевые и хромоникелевольфрамовые конструкционные стали с содержанием до 0,3–0,4% углерода, например **сталь 18Х2Н4ВА и 25ХН4ВА**. Стали других составов отличаются высокой хрупкостью и поэтому не применяются.

*К аустенитному классу* относятся стали с высоким содержанием таких легирующих элементов, как Ni, Мп, Сг, Ti. В структуре стали находится аустенит, и небольшое количество карбидов. Стали этого класса жаропрочные и коррозионностойкие. После заковки при температуре 1000–1100°С карбиды, находящиеся в стали, переходят в твердый раствор, в результате чего улучшается коррозионная стойкость и повышается пластичность.

К этой группе, например, относятся стали **Х18Н9Т, Х18Н9**.

*К карбидному классу* относятся **стали Х12М, Р9, Р18** и др., содержащие большое количество углерода и карбидообразующих элементов (Сг, W, V и др.). Для этого класса характерно именно наличие карбидов, структура же основного фона может быть в зависимости от состава и температуры нагрева перлитной, мартенситной и аустенитной сталей. Эти стали обладают высокой твердостью и износостойкостью, применяются для изготовления режущего инструмента и штампов, работающих в тяжелых условиях.

*К ферритному классу* относятся стали, содержащие значительное количество легирующих элементов (Сг, Si и др.) и малое количество углерода. Эти стали обладают высокой коррозионной стойкостью, например стали **X17**.

Подразделение на указанные классы характерно только для сталей, охлажденных на воздухе. Изменение скорости охлаждения изменяет структуру, следовательно, и класс стали. Так, если сталь перлитного класса охладить с большей скоростью, то можно получить мартенсит, при охлаждении стали мартенситного класса с меньшей скоростью можно получить перлит, а обработав аустенитную сталь холодом, можно получить мартенсит.

### **Свойства и структура некоторых легированных сталей**

Рассмотрим наиболее распространенные легированные стали, их термическую обработку, структуру и некоторые свойства.

Легированные конструкционные цементованные **стали 15X, 20X, 18XГТА, 12ХНЗА** и др. подвергают отжигу и заалке с последующим низким отпуском при температуре 150° С.

**Сталь 12ХНЗА** цементованная, закаленная с температуры 860°С и отпущенная при 150°С, будет иметь структуру поверхностного слоя, состоящую из мартенсита грубого строения (рис. 1, *а*). Легированные стали в отличие от углеродистых прокаливаются насквозь, поэтому сердцевина цементованной стали после обработки будет иметь структуру малоуглеродистого мартенсита (рис. 1, *б*).

**Сталь 18Х2Н4ВА** применяется в цементованном виде и без цементации (для деталей, к которым предъявляются высокие требования в отношении прочности, но не износостойкости).

Структура стали 18Х2Н4ВА в состоянии поставки будет состоять из сорбита с неравномерным распределением углерода (рис. 2, *а*). Структура стали 18Х2Н4ВА после закалки и отпуска при низкой температуре состоит из малоуглеродистого мартенсита (рис. 2, *б*). После термической обработки эта сталь обладает высокой прочностью и вязкостью. Такое сочетание свойств обеспечивает надежность изделий в эксплуатации.

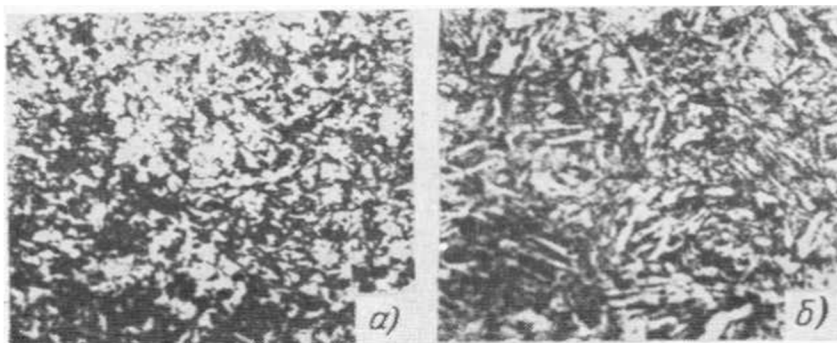


Рис. 1. Структура стали 12ХН3А: а – в закаленном и отпущенном при температуре 150°С состоянии (край – мартенсит); б – в закаленном и отпущенном при температуре 150°С состоянии (сердцевина – малоуглеродистый мартенсит)

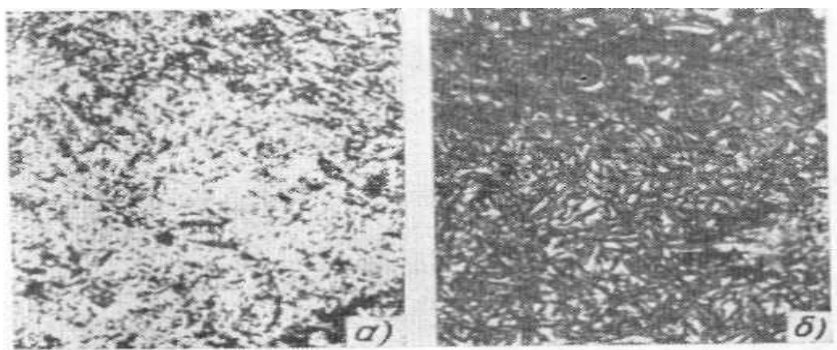


Рис. 2. Структура стали 18Х2Н4ВА: а – в состоянии поставки (сорбит); б – после закалки и низкого отпуска (мартенсит)

Легированные конструкционные улучшенные **стали марок 40Х, 40ХН, 30ХН3А, 30ХГСА и 40ХГТ** подвергают термическому улучшению – закалке и высокому отпуску. В некоторых случаях их используют в состоянии поставки (в отожженном или нормализованном состоянии).

Конструкционная **сталь 30ХГСА** (хромансиль) обладает высокими механическими и технологическими свойствами и используется для изготовления тонкостенных сварных конструкций. Сталь 30ХГСА подвергают отжигу и улучшению. В отожженном состоянии структура состоит из феррита и перлита высокой дисперсности

(рис. 3, *а*), в улучшенном состоянии – из сорбита, ориентированного по мартенситу (рис. 3, *б*). Такая же структура характерна и для других среднеуглеродистых конструкционных сталей.

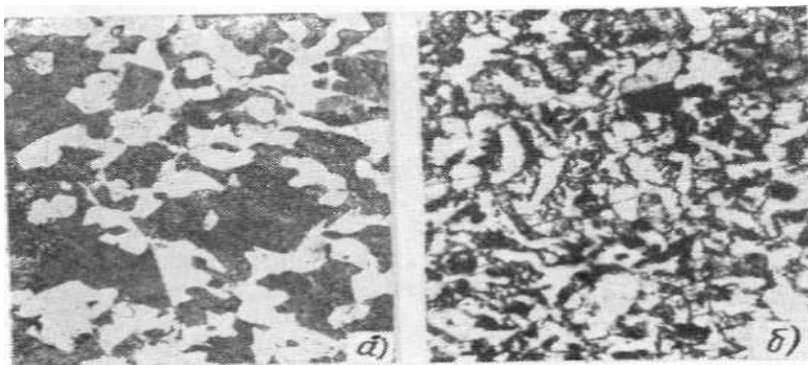


Рис. 3. Структура стали 30ХГСА: *а* – в отожженном состоянии (феррит и перлит); *б* – в улучшенном состоянии (сорбит, ориентированный по мартенситу)

**Сталь 40Х** для улучшения обрабатываемости подвергают нормализации при температуре 900°C. В результате такой обработки структура стали будет состоять из крупнопластинчатого перлита и сетки феррита (рис. 4, *а*). Сталь 40Х после закалки при температуре 860°C и высокого отпуска будет иметь структуру мелкоиглового отпущенного мартенсита (рис. 4, *б*).

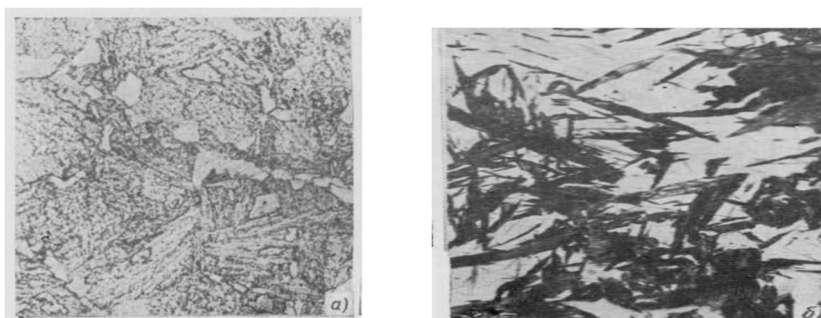


Рис. 4. Структура стали 40Х:  
*а* – в нормализованном состоянии (перлит и феррит);  
*б* – в термообработанном состоянии (мартенсит)

Легированные инструментальные **стали марок Х, ХГ, ХВГ, 9ХС, ХВ5, 3Х2В8Ф** и др. подвергают закалке и низкому отпуску с получением мартенсита отпуска.

В результате термической обработки эти стали приобретают высокую твердость, прочность и износостойкость. Для режущего и измерительного инструментов используют **сталь марки Х**. Структура отожженной стали Х состоит из зернистого перлита, после закалки при температуре 800°C и отпуска при температуре 150°C структура будет – мартенсит и легированный цементит (рис. 5). Для изготовления режущего инструмента (разверток, фрез и др.) используют сталь 9ХС, являющуюся заменителем дорогой вольфрамовой стали.

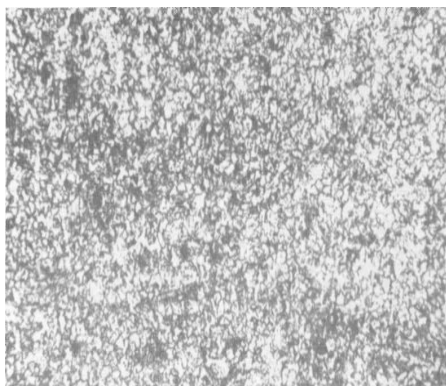


Рис. 5. Структура стали **Х** после закалки и отпуска  
(мартенсит и карбиды)

**Стали марок ХГ, ХВГ и 9ХВГ** незначительно изменяют свои размеры при термической обработке, поэтому их применяют для изготовления точных измерительных и режущих инструментов. Инструментальные стали в большинстве случаев относятся к карбидному классу.

Быстрорежущие стали марок Р9 и Р18 обладают высокой твердостью, износостойкостью и красностойкостью при температурах до 600°C. Эти стали используют для изготовления режущего инструмента, работающего в тяжелых условиях, при больших скоростях резания.

Структура кованной и отожженной быстрорежущей стали **P18** состоит из крупных первичных карбидов, более мелких вторичных карбидов и сорбита (рис. 6, *а*).

Высокие режущие свойства быстрорежущая сталь приобретает после заковки при температуре 1260–1300°C и многократного отпуска при 560°C. После заковки структура быстрорежущей стали будет состоять из мартенсита, карбидов и остаточного аустенита (мартенсит обнаруживается очень плохо, поэтому структура кажется состоящей только из аустенита и карбидов). Структура стали после заковки и трехкратного отпуска будет состоять из мартенсита, карбидов и незначительного количества аустенита, невидимого в структуре (рис. 6, *б*).

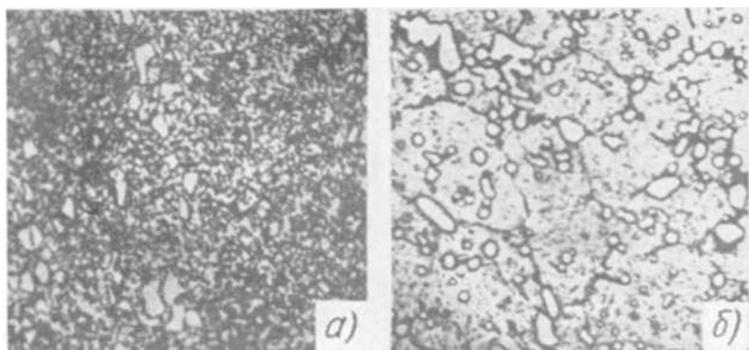


Рис. 6. Структура быстрорежущей стали P18: а – кованная в отожженном состоянии (первичные и вторичные карбиды и сорбит); б – после заковки и многократного отпуска (мартенсит и карбиды)

Нержавеющие стали обладают высоким сопротивлением коррозии, хорошими механическими и технологическими свойствами. Нержавеющие стали разделяются на хромоникелевые – аустенитные и хромистые – феррито-мартенситные.

Структура хромоникелевой стали **X18H9** после заковки при температуре 1150°C в воде будет состоять из аустенита (рис. 7). Такая структура обеспечивает высокую вязкость, поэтому сталь X18H9 хорошо штампуется и прокатывается в холодном состоянии.

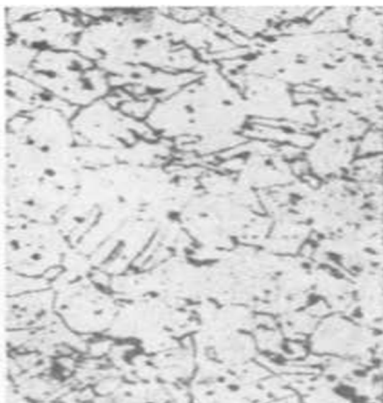


Рис. 7. Структура нержавеющей стали X18N9  
в закаленном состоянии (аустенит)

Структура хромистой стали **3X13** после закалки при температуре 1050°C в масле и отпуска состоит из мартенсита и небольшого количества карбидов (рис. 8).

Эта сталь обладает высокой прочностью и используется для изготовления деталей, работающих при повышенных нагрузках.



Рис. 8. Структура нержавеющей стали 3X13 в термически  
обработанном состоянии (мартенсит и карбиды)

**Материально-техническое обеспечение:** альбом металлографических структур; справочные материалы, тетрадь для практических работ, инструкция по практической работе, карандаш, линейка.

**Ход работы:**

1. Ознакомиться с целью и заданием лабораторной работы.
2. Записать марки стали, соответственно своему варианту.
3. Расшифровать марки по ГОСТ и указать классификацию стали по химическому составу (в зависимости от содержания углерода и содержания легирующих элементов), назначению и качеству.
4. Пользуясь методическими указаниями, изучить структуры образцов легированной конструкционной, инструментальной стали и стали с особыми свойствами в нормализованном состоянии, а также после закалки и отпуска.
5. Зарисовать микроструктуру заданных сталей, указать стрелками различные структурные составляющие и их наименование.
6. Указать, к какому классу по структуре относится исследуемые стали, пользуясь справочными таблицами приложения 1.
7. По таблицам, приложения 1 определить ориентировочный режим для заданных марок стали.
8. Заполнить стальной участок диаграммы: указать процентный состав углерода и структурные составляющие.
9. Указать на стальном участке области термообработки для каждой стали.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение легированной стали
2. Назовите, классы классификации легированной стали
3. Как классифицируются легированные стали по химическому составу, приведите процентное содержание.
4. В чем заключается цель легирования?
5. Запишите легирующие элементы, которые обеспечивают твердость легированных сталей?
6. Запишите легирующие элементы, которые придают коррозионную стойкость стали. Что обозначает две первые цифры в маркировке легированных сталей, к каким сталям по назначению относятся эти стали?
7. Что укажите процентное отношение углерода в легированных конструкционных сталях.
8. Что обозначает буква А в конце марки легированных сталей?



**Задания:**

Таблица 6

Вариант	Легированные стали		
	Конструкционные	Инструментальные	С особыми свойствами
1	30X	3X2B8Ф	P9
2	45X	5XHT	P9M
3	40XФА	5XHM	P18
4	40XГТ	XГ	P18M
5	30XГТ	9XC	18X2H4BA
6	35XГC	9XBГ	X18H9
7	30XM	XB5	12X18H10T
8	40XH	7X3	3X13
9	30XH3A	5XHT	X12M
10	40XHMA	9XC	P9M
11	40X	X	18X2H4BA
12	40XГ	X12M	12X18H10T
13	37XH3A	5XHT	P9
14	30X	7X3	P18
15	40XФА	XB5	X18H9

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

**Тема: «Изучение влияния термической обработки на механические свойства медных сплавов».**

**Цель работы:** изучить влияние температуры нагрева на структуру и механические свойства медных сплавов. Приобрести умения расшифровки марок медных сплавов.

### **Методические указания:**

Все металлы и их сплавы, за исключением железа и его сплавов, относятся к цветным. К медным сплавам относятся латунь и бронза.

### *Латуни*

Сплавы меди с цинком и небольшим количеством других элементов называются латунью. Сплавы, состоящие только из меди и цинка, называются простыми латунями.

Сплавы меди с цинком образуют ряд фаз, представляющих собой твердые растворы или электронные соединения (рис. 1). На диаграмме заштрихованные области относятся к латуням, которые редко или совсем не применяются как технические сплавы. Незаштрихованная область, охватывает сплавы с содержанием цинка до 45%, и относится к практически применяемым латуням.

Диаграмма состояния показывает, что при концентрациях до 39% образуется  $\alpha$ -фаза-твердый раствор замещения цинка в меди, имеющий решетку гранецентрированного куба.

С повышением температуры растворимость цинка в меди уменьшается. Так, например, при температуре 905°C  $\alpha$ -фаза может растворить 32% Zn. При комнатной температуре растворимость повышается до 39%.

В сплавах системы Си–Zn образуются соединения электронного типа – CuZn, в которых отношение числа валентных электронов к числу атомов равно 3:2.

Электронные соединения этого типа имеют решетку гранецентрированного куба.

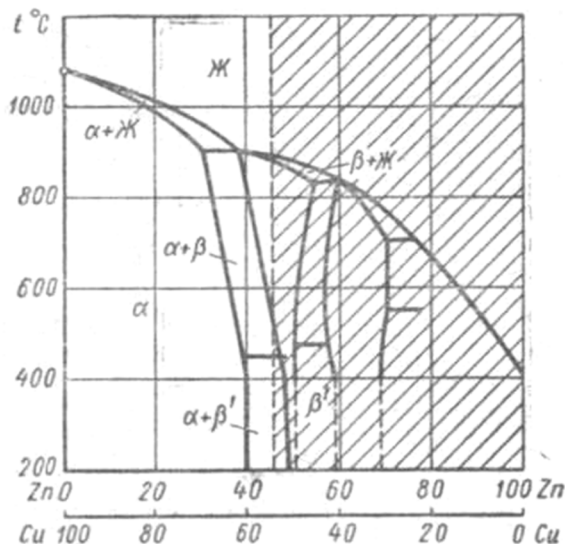


Рис. 1. Диаграмма состояния системы Cu–Zn

$\beta$ -фаза представляет собой твердый раствор на базе электронного соединения CuZn и имеет решетку гранецентрированного куба. При температурах выше  $470^\circ\text{C}$   $\beta$ -фаза является неупорядоченным твердым раствором, в интервале температур  $470\text{--}450^\circ\text{C}$  происходит упорядочение расположения атомов меди и цинка в кристаллической решетке центрированного куба (на каждый атом Cu приходится один атом Zn).  $\beta \rightarrow \beta'$ -фаза распространяется на область сплавов, содержащих от 46 до 50% Zn. CuZn может в себе растворять Cu и Zn. Это и означает, что  $\beta$ -раствор получается на базе соединения CuZn.

По структурному признаку практически применяемые латуни могут быть разделены на два типа.

### **1. Однофазные $\alpha$ -латуни, содержащие до 39% Zn.**

Эти латуни обладают наибольшей пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состояниях, коррозионно-стойки. К  $\alpha$ -латуням относятся медно-цинковые латуни марок: Л96, Л90, Л80, Л68. Структура их состоит из зерен  $\alpha$ -раствора (рис. 2).

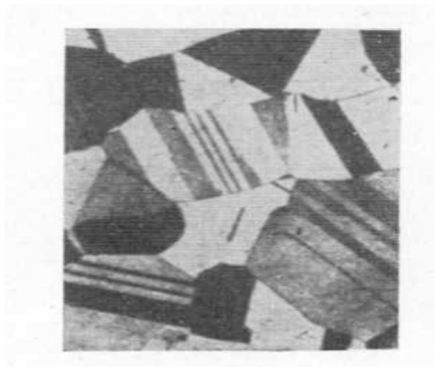


Рис. 2. Микроструктура однофазной латуни (30% Zn)

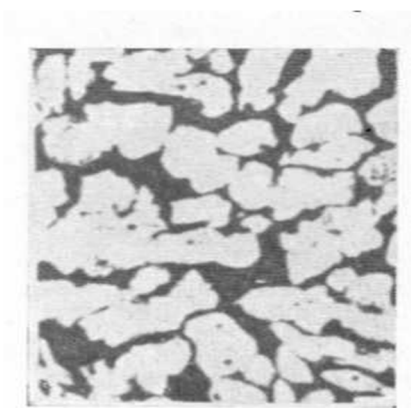


Рис. 3. Микроструктура двухфазной латуни (40% Zn)

## **2. Двухфазные $\alpha + \beta'$ -латуни, содержащие от 39 до 45% Zn.**

Двухфазные латуни обладают пониженной пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, если они переведены в однофазное  $\beta$ -состояние.

К двухфазным относятся латуни Л62 и Л59. Структура их при комнатной температуре состоит из светлых зерен  $\alpha$ -раствора и темных включений  $\beta'$ -фазы (рис. 3).

Для повышения механических, коррозионных и других свойств в латуни вводят легирующие элементы: кремний, марганец и алюминий, которые не образуют новых фаз, так как они находятся в

растворе в  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазах. Для улучшения обрабатываемости резанием в двухфазные латуни вводят свинец. Однофазные  $\alpha$ -латуни, содержащие до 39% Zn, не имеют фазовых превращений, поэтому они не подвергаются термической обработке. Их подвергают рекристаллизационному отжигу при температуре 600–700°C для снятия наклепа, полученного в процессе холодной деформации, и низкотемпературному отжигу при 250°C для предупреждения «сезонного растрескивания».

### **Бронзы**

Сплавы меди с оловом, алюминием, марганцем, кремнием, бериллием и другими элементами называются *бронзами*.

#### **1. Оловянистые бронзы.**

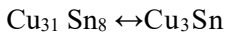
Медь с оловом образуют ряд фаз, представляющих собой твердый раствор. Часть диаграммы состояния Cu–Sn, представляющая наибольший интерес при изучении оловянистых бронз, приводится на рисунке 4.

На диаграмме состояния (рис. 4) в области сплавов, содержащих до 20% Sn, сплошные линии характеризуют состояние, полученное при очень медленном охлаждении или отжиге отливки; пунктирные линии – состояние, полученное при более быстром охлаждении в условиях обычной отливки.

Получение различных структур в зависимости от скорости охлаждения объясняется большим расстоянием между линиями ликвидус и солидус, достигающим до 150°C, и малой скоростью прохождения диффузионных процессов в твердых растворах меди и олова.

В результате этого наблюдается значительная ликвация и в сплавах, которые должны были бы состоять только из  $\alpha$ -фазы, образуется и  $\beta$ -фаза, распадающаяся затем с образованием механической смеси (эвтектоида)  $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ .

В условиях очень длительного отжига при температуре 350°C происходит распад:



и после полного охлаждения бронза будет иметь структуру, состоящую из  $\alpha + \text{Cu}_3\text{Sn}$ .

Следовательно, при медленном охлаждении структура оловянистых бронз, содержащих 4–6% Sn, будет состоять из зерен раствора и участков механической смеси  $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  или  $\alpha + \text{Cu}_3\text{Sn}$  (рис. 5).

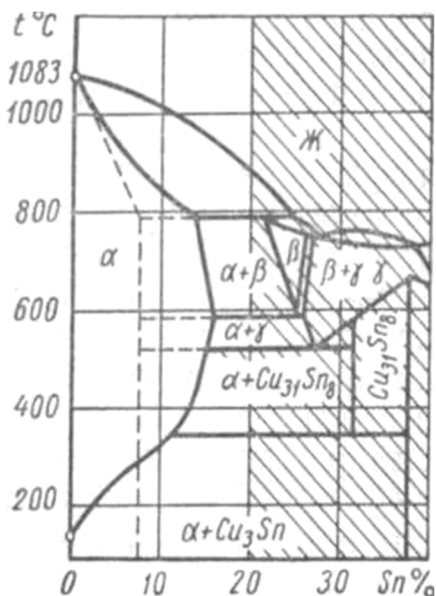


Рис. 4. Диаграмма состояния системы CuSn  
(пунктирная линия соответствует состоянию сплавов после литья в металлическую форму):  $\alpha$ -фаза – это твердый раствор замещения олова в меди, имеющий кубическую гранецентрированную решетку;  $\beta$ -фаза – твердый раствор на базе электронного соединения  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ , имеющий кубическую гранецентрированную решетку;  $\gamma$ -фаза – твердый раствор на базе химического соединения  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ .



Рис. 5. Микроструктура литой оловянистой бронзы

Для того чтобы получить зерна однородного раствора в виде полиэдров, необходимо литейную бронзу подвергнуть обработке давлением и отжигу. В этом случае структура сплавов даже с содержанием 6–7% Sn будет практически однофазной. Бронзы, содержащие 7–10% Sn, используются обычно для отливок.

Цинк, фосфор и никель, вводимые в оловянистую бронзу, улучшают ее свойства и увеличивают количество эвтектоида, но не образуют новых фаз, так как эти элементы находятся в твердом растворе.

Свинец, вводимый в оловянистую бронзу и нерастворимый в меди, улучшает обрабатываемость бронзы резанием. Свинец присутствует в структуре в виде отдельных включений округлой формы. Оловянистые бронзы применяются для изготовления зубчатых колес, подшипников и арматуры, работающей в воде или паре.

**2. Алюминиевые бронзы.** Часть диаграммы состояния практически используемых сплавов Cu–Al приводится на рисунке 6.

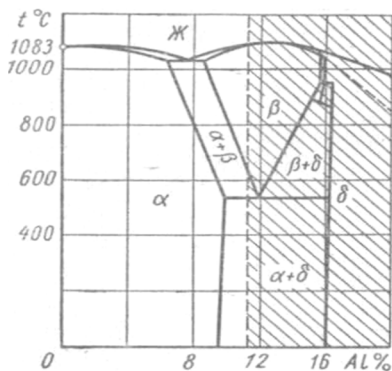


Рис. 6. Диаграмма состояния системы Cu–Al

Сплавы, содержащие до 9,8% Al, при медленном охлаждении образуют  $\alpha$ -фазу – однородный твердый раствор алюминия в меди, и, следовательно, являются однофазными (рис. 7).

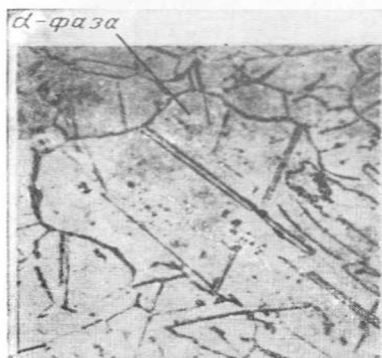


Рис. 7. Микроструктура однофазной

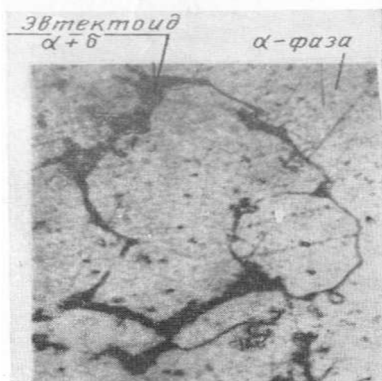


Рис. 8. Микроструктура двухфазной алюминиевой бронзы (10% Al) алюминиевой бронзы (5% Al)

При увеличенных скоростях охлаждения в сплавах, содержащих до 7–10% Al, не успевают произойти превращения  $\beta \rightarrow \alpha$ , и остающийся  $\beta$ -раствор при 537° С распадается с образованием механической смеси (эвтектоида)  $\alpha + \delta$ . Эти сплавы хорошо деформируются в холодном и горячем состояниях.

Сплавы, содержащие 9,8–15,2% Al, состоят из зерен  $\alpha$ -раствора и участков эвтектоида  $\alpha + \delta$  и являются двухфазными сплавами. После травления кристаллы  $\alpha$ -раствора будут светлыми, а эвтектоид – темным (рис. 8).

Двухфазные алюминиевые бронзы подвергаются термической обработке, закалке и отпуску. После закалки сплав приобретает



структуру типа мартенсита, состоящую из игольчатых кристаллов  $\beta'$ -фазы (рис. 9). После отпуска структура сплава будет состоять из тонкой механической смеси фаз. Двухфазные алюминиевые бронзы обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью по сравнению с однофазными и применяются для тяжело нагруженных изделий.

Никель и марганец, вводимые в алюминиевую бронзу, не создают новых фаз, введение железа приводит к созданию богатой железом фазы.

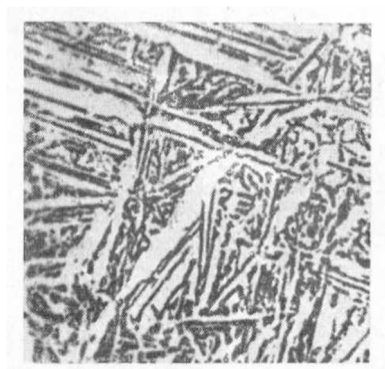


Рис. 9. Микроструктура закаленной алюминиевой бронзы (10,5% Al)

**Материально-техническое обеспечение:** альбом металлографических структур; справочные материалы, тетрадь для практических работ, инструкция по практической работе, карандаш, линейка.

**Ход работы:**

1. Ознакомиться с целью и заданием лабораторной работы.
2. Записать марки медных сплавов, соответственно своему варианту.
3. Расшифровать марки по ГОСТ и указать классификацию латуни и бронзы по химическому составу.
4. Пользуясь методическими указаниями, исследовать структуры образцов латуни и бронзы в нормализованном состоянии, а также после термической обработки.
5. Зарисовать микроструктуру заданных марок латуней и бронз, указать стрелками различные структурные составляющие (фазы).
6. Перечислить структурные составляющие (или фазы), присутствующие в сплаве, и описать форму их выделения (зернистая,

игольчатая форма, по границам зерен).

7. Указать, к какой группе относится сплав – к однофазным или двухфазным.

8. По таблицам, приложения 1 определить ориентировочный режим для заданных марок медных сплавов.

9. Заполнить участок диаграммы: указать положение изучаемого сплава на диаграмме состояния.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение латуни.
2. Приведите классификацию латуни по химическому составу.
3. Приведите классификацию латуни по технологии изготовления.
4. Назовите химический элемент, который улучшает обрабатываемость латуни резанием
5. Дайте определение бронзы.
6. Приведите классификацию бронзы по химическому составу.
7. Приведите классификацию бронзы по технологии изготовления.
8. Назовите химический элемент, который улучшает обрабатываемость бронзы резанием.

Таблица 6

Вариант	Медные сплавы		
	Латуни	Оловянистые бронзы	Алюминиевые бронзы
1	Л96	Бр.ОЦСНЗ-7-5-1	Бр.А5
2	Л68	Бр.ОЦС 3-11-5	Бр.АЖС7-1,5-1,5
3	Л62	Бр.ОЦС 6-6-3	Бр.АМц 9-2
4	ЛА 77-2	Бр.ОФ 10-1	Бр.АЖМц 10-3-1,5
5	ЛАН 59-3-2	Бр.ОФ 6,5-0,25	Бр.АЖН 10-4-4
6	ЛЖМц 59-1-1	Бр.ОЦ 4-3	Бр.А5
7	ЛО 70-1	Бр.ОЦС 4-4-2,5	Бр.АЖС7-1,5-1,5
8	ЛС 59-1	Бр.ОЦС 6-6-3	Бр.АМц 9-2
9	Л62	Бр.ОЦСНЗ-7-5-1	Бр.АЖМц 10-3-1,5
10	ЛА 77-2	Бр.ОЦС 3-11-5	Бр.АЖН 10-4-4
11	Л96	Бр.ОЦ 4-3	Бр.АЖМц 10-3-1,5
12	Л68	Бр.ОЦС 4-4-2,5	Бр.АЖН 10-4-4
13	Л62	Бр.ОЦС 6-6-3	Бр.А5
14	ЛА 77-2	Бр.ОЦСНЗ-7-5-1	Бр.АЖС7-1,5-1,5
15	ЛАН 59-3-2	Бр.ОЦС 3-11-5	Бр.АМц 9-2

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9

**Тема: «Изучение влияния термической обработки на механические свойства алюминиевых сплавов».**

**Цель работы:** изучить влияние температуры нагрева на структуру и механические свойства алюминиевых сплавов. Приобрести умения расшифровки марок алюминиевых сплавов.

**Методические указания:**

Алюминиевые сплавы целесообразно подразделить на деформируемые и литейные. Среди деформируемых алюминиевых сплавов различают две группы:

1) сплавы, не упрочняемые термической обработкой. Они представляют твердый раствор и характеризуются невысокой прочностью, но высокой пластичностью. Упрочнение достигается холодной деформацией;

2) сплавы, упрочняемые термической обработкой. В этих сплавах растворимость второго компонента в алюминии уменьшается с понижением температуры.

Многие литейные сплавы алюминия так же упрочняются в результате термической обработки. К деформируемым алюминиевым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы алюминия марганцем или с магнием. Химический состав и свойства этих сплавов приведены в таблице 1 (приложение 1).

Сплавы, содержащие до 8% Mg, как видно из диаграммы состояния Al–Mg (рис. 1), являются однофазными и представляют твердый раствор магния в алюминии.

Сплавы этой группы обладают сравнительно небольшой прочностью (таблица 1 приложение 1).

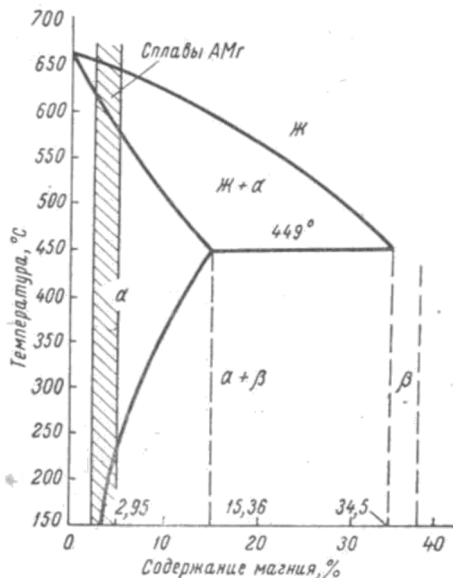


Рис. 1. Диаграмма состояния Al-Mg

Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой являются двухфазными (твердый раствор на основе алюминия и избыточная твердая фаза).

Из приведенной на рисунке 2 части диаграммы состояния системы алюминий – медь видно, что алюминий образует с медью твердый раствор. Предельная растворимость меди в алюминии обеспечивается при эвтектической температуре (548°C) и достигает 5,7% Си. С понижением температуры растворимость меди в алюминии резко уменьшается и достигает 0,5% при 20°C. При 0,54% Си образуется химическое соединение  $\text{CuAl}_2$ .

**Дуралюмины.** Эти сплавы являются сплавами на основе Al–Si–Mg, в которые дополнительно вводится марганец. В таблице 2 (приложение 1) приведены состав и механические свойства дуралюминов. Сплавы Д6 и Д16 обладают более высокими прочностными свойствами, чем сплав Д1, но технологическая пластичность ниже, что затрудняет холодную и горячую деформацию.

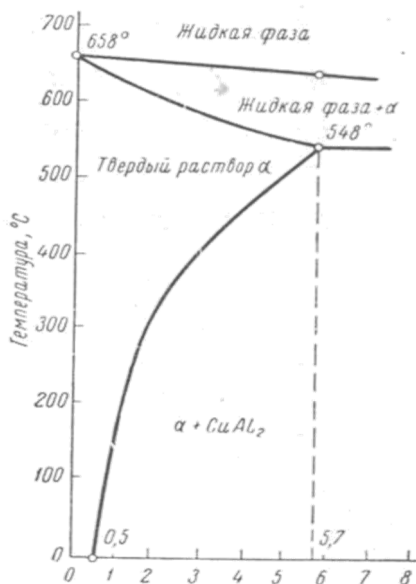


Рис. 2. Диаграмма состояния Al–Cu

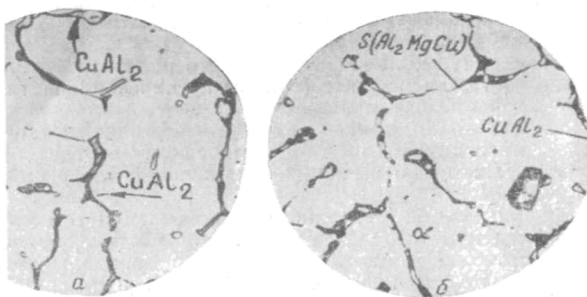


Рис. 3 Микроструктура дуралюмина марок Д1 (а) и Д16 (б)

Дуралюмины подвергаются отжигу, закалке и старению (рис. 4).

Для закалки сплав Д1 нагревают до 495–510° С, а сплавы Д16 – до 495–505°С. Дуралюмины подвергают естественному старению, так как оно обеспечивает получение более высокой прочности и коррозионной стойкости.

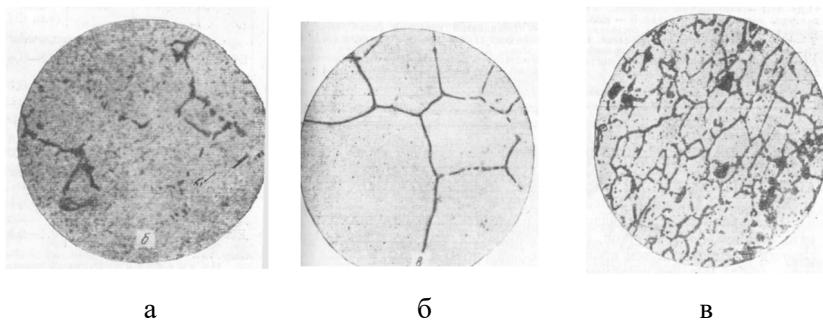


Рис. 4. Микроструктура дуралюмина Д16:

а – после отжига (гомогенизации); б – после закалки –  $\alpha$ -раствор;  
в – после закалки и естественного старения

3) **Алюминиевые сплавы** дляковки и штамповки. Сплавы этого назначения близки по составу к дуралюминам, но содержат больше кремния. Упрочняющими фазами при старении являются: соединение  $Mg_2Si$  и фаза  $W(Al_2CuMgSi)$ . Химический состав и свойства некоторых сплавов этого типа приведены в таблице 3 (приложение 1)

4) Эти сплавы применяют для штамповок и поковок сложной формы.

**Жаропрочные сплавы.** Эти сплавы используются для деталей, работающих при температурах до  $300^\circ C$  (поршни, головки цилиндров и т. д.).

Сплавы этой группы имеют сложный химический состав (таблица 4 (приложение 1)), они дополнительно легируются никелем и титаном

#### **Литейные алюминиевые сплавы**

Изучая литейные сплавы, выясните сущность модифицирования. Принципиальное отличие модифицирования от легирования заключается в том, что при легировании изменяется химический состав сплава, а при модифицировании меняется только кристаллографическое строение, химический состав практически не меняется.

Литейных алюминиевых сплавов очень много; их принято маркировать двумя буквами АЛ (алюминиевый литейный). В соответствии с ГОСТ 2685-75 их принято делить на пять групп.

**Группа I – сплавы на основе системы алюминий – кремний,** к которой относятся сплавы АЛ-2, АЛ-4, АЛ-9. Эти сплавы часто называют **силуминами**, и они представляют собой интерес с точки зрения металловедения.

При отсутствии модифицирования эвтектика имеет грубо-игольчатое строение (рис. 6, а).

После модифицирования эвтектика становится мелкозернистой (рис. 6, б), а заэвтектические сплавы с 12–14% Si – по структуре доэвтектическими с первичными дендритами а-раствора (алюминия). Модифицирование улучшает пластичность.

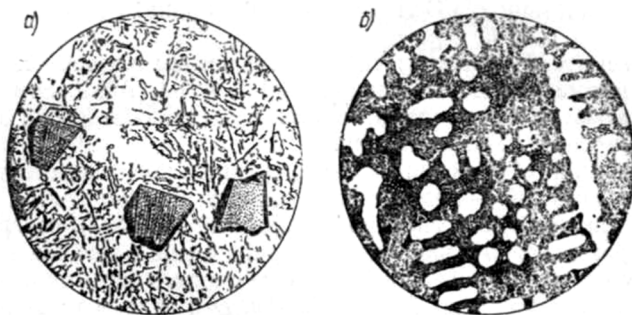


Рис. 6. Микроструктура силумина:

а – до модифицирования; б – после модифицирования.

**Группа II** объединяет много сплавов, имеющих основу **алюминий – кремний – медь**. Сюда входят сплавы **АЛ-3, АЛ-5, АЛ-6**, а также **АЛ-32** (многими называемый **МВТУ-1**), содержащий кроме трех основных компонентов группы еще марганец и титан.

**Группа III** – сплавы на основе системы **алюминий – медь**; к ним относятся сплавы **АЛ-7 и АЛ-19**. Эти сплавы из-за наличия значительного количества меди более дефицитны и дороги.

**Группа IV** – сплавы на основе системы **алюминий – магний**, к которой относятся сплавы **АЛ-8, АЛ-13, АЛ-22** и др. Эти сплавы, упрочняемые термической обработкой. Они превосходят силумины по механическим свойствам таблица 5 (приложение 1).

Эти сплавы обладают низкой плотностью (почти в три раза легче стали), высокими механическими свойствами и коррозионной стойкостью. Поэтому их используют для отливок несложной формы, испытывающих в работе динамические нагрузки и подверженных коррозионному воздействию. Эти сплавы применяют после термической обработки – закалки с 435°C с охлаждением в воде.

**К группе V** относят сплавы на основе **алюминия и других компонентов**. Эта группа особенно велика, наиболее популярны из

этой группы сплав АЛ-1, содержащий медь, никель и магний, сплав АЛ-11, включающий, кроме алюминия и кремния, большое количество цинка (7–12%) и немного магния. В эту группу входит также сплав АЛ-24, содержащий магний, марганец, цинк, титан и др.

**Ход работы:**

1. Ознакомиться с целью и заданием лабораторной работы.
2. Записать марки алюминиевых сплавов, соответственно своему варианту.
3. Расшифровать марки по ГОСТ и указать классификацию по технологии обработки, и по способу упрочнения.
4. Пользуясь методическими указаниями, исследовать структуры образцов алюминиевых сплавов после отжига, закалки и старения.
5. Зарисовать микроструктуру заданных марок алюминиевых сплавов, указать стрелками различные структурные составляющие (фазы).
6. Заполнить участок диаграммы: указать положение изучаемого сплава на диаграмме состояния
7. Изобразить кривые охлаждения алюминиевых сплавов, и перечислить структурные составляющие (или фазы), присутствующие в сплаве.
8. Заполнить таблицу в тетради, пользуясь справочным материалом приложения 1.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение дуралюминам.
2. Приведите классификацию алюминиевых сплавов по технологии изготовления.
3. Приведите классификацию деформируемых сплавов.
4. Объясните, как меняются механические свойства дуралюминов после упрочнения
5. Назовите марки не упрочняемых деформируемых сплавов, какой химический элемент входит в состав.
6. Какие алюминиевые сплавы называются силуминами.
7. Каким методом производится упрочнение силуминов.
8. Какие элементы вводят для модифицирования.



**Задание:**

Таблица

Вариант	Алюминиевые сплавы	
	Деформируемые	Литейные
1	Д1	АЛ2
2	Д6	АЛ4
3	Д16	АЛ5
4	АК6	АЛ7
5	АК8	АЛ8
6	АК4	АЛ11
7	Д1	АЛ2
8	Д6	АЛ4
9	Д16	АЛ7
10	АК6	АЛ11
11	Д16	АЛ4
12	АК6	АЛ7
13	АК8	АЛ11
14	Д1	АЛ4
15	АК4	АЛ5

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10

**Тема: «Выбор материала на основе анализа свойств конкретных деталей в зависимости от условий их работы».**

**Цель работы:** приобрести навыки работы со справочной литературой по выбору марок сплавов заданных деталей в зависимости от условий эксплуатации

### **Методические указания**

Для решения задачи необходимо, прежде всего определить материал, обладающий свойствами, близкими к требуемым. Для этой цели рекомендуется ознакомиться с классификацией, составом и назначением основных материалов, используемых в технике.

При назначении материала нужно принимать наиболее экономически выгодные и наиболее распространенные материалы. Например, для деталей, работающих при небольших нагрузках назначать низкоуглеродистую сталь обыкновенного качества или качественную сталь, для деталей, работающих в условиях переменных нагрузок, например для валов, зубчатых колес многих типов, необходимо рекомендовать, среднеуглеродистую легированную сталь, или цветные сплавы с повышенным предел выносливости. Легированные стали после термической обработки (закалки и отпуска) обладают лучшими механическими свойствами, а в изделиях крупных сечений (диаметром свыше 15–20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем углеродистых.

Сплавы на основе цветных металлов (медь, алюминий, магний, титан, никель и др.) обладают лучшими механическими и технологическими свойствами, чем чистые металлы, поэтому они нашли широкое применение в промышленности.

При решении задач рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники.

**Оборудование:** справочные материалы.

**Ход работы:**

1. В соответствии с заданным вариантом выбрать тему лабораторной работы, записать в тетради для лабораторно - практических работ в «Дано».

2. Изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней.

3. Пользуясь методическими указаниями выбрать предполагаемые марки сплавов для изготовления каждой из заданных деталей, пользуясь справочными таблицами.

4. Записать одну из выбранных марок сплавов в таблицу отчета в тетради для лабораторно- практических работ.

5. Расшифровать примерный состав назначаемого сплава по принятой ГОСТом маркировке. Расшифровку сплава занести в таблицу отчета в тетради для лабораторно-практических работ

**Контрольные вопросы:**

1. Как классифицируются стали по химическому составу, по применению, по качеству.

2. Назовите постоянные примеси, которые присутствуют в сталях.

3. Укажите пределы содержания углерода в конструкционных сталях и в инструментальных сталях.

4. Укажите пределы содержания легирующих элементов в низколегированных, среднелегированных и высоколегированных сталях.

5. Как классифицируются чугуны по форме графитных включений.

6. Назовите медные сплавы.

7. Как классифицируются латуни по химическому составу и по способу производства.

8. Как классифицируются бронзы по химическому составу и по способу производства.

9. Как классифицируются алюминиевые сплавы по способу производства.

10. Как классифицируются магниевые сплавы по способу производства.

**Задание**

**Вариант 1**

1. Крестовины кардана тяжело нагруженный.

2. Головки цилиндров двигателей.

3. Ступицы колес.

**Вариант 2**

1. Картер главной передачи, изготовленный литьем.

2. Выпускной клапан для легкового автомобиля.

3. Трубки водяного и масляного радиатора.

**Вариант 3**

1. Чашка дифференциала заднего моста, изготовлена литьем.

2. Рулевая сошка.

3. Втулки тормозных колодок.

**Вариант 4**

1. Ведущий вал коробки передач.
2. Головка цилиндра двигателя.
3. Корпус пробок радиатора.

**Вариант 5**

1. Впускной клапан легкового автомобиля.
2. Детали автомобиля, работающие в среде масла, топливо, вода.
3. Картер коробок передач.

**Вариант 6**

1. Продольная балка для рам отечественных грузовых автомобилей семейства МАЗ, БелАЗ.
2. Втулки, подшипники скольжения.
3. Картер рулевого механизма.

**Вариант 7**

1. Шестерни полуоси заднего моста для большегрузных автомобилей.
2. Проволока для пружин топливного насоса.
3. Нажимной диск сцепления.

**Вариант 8**

1. Конические шестерни главной передачи заднего моста легковых автомобилей.
2. Пружины крышки топливного бака.
3. Гильза цилиндров.

**Вариант 9**

1. Вал промежуточный для коробки передач легковых автомобилей.
2. Пробки топливных фильтров.
3. Выходной трубопровод.

**Вариант 10**

1. Поршень для отечественного двигателя.
2. Коленчатый вал.
3. Поперечины рам грузовых автомобилей семейства БелАЗ.

**Вариант 11**

1. Крестовины кардана тяжело нагруженный
2. Коленчатый вал.
3. Корпус пробок радиатора.

**Вариант 12**

1. Втулки, подшипники скольжения.
2. Картер главной передачи, изготовленный литьем.
3. Нажимной диск сцепления.

**Вариант 13**

1. Детали автомобиля, работающие в среде масла, топливо, вода.
2. Впускной клапан легкового автомобиля.
3. Картер рулевого механизма

**Вариант 14**

1. Продольная балка для рам отечественных грузовых автомобилей семейства МАЗ, БелАЗ.
2. Нажимной диск сцепления.
3. Проволока для пружин топливного насоса

**Вариант 15**

1. Шестерни полуоси заднего моста для большегрузных автомобилей.
2. Ступицы колес.
3. Пробки топливных фильтров.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 Материал основных деталей						
Наименование деталей	МЗМЗ-900, МЗМЗ-900, МЗМЗ-900А	МЗМЗ-412	ВАЗ-2101*, ВАЗ-2102, ВАЗ-2103	МЗМЗ-412, и модификация	МЗМЗ-412, и модификация	МЗМЗ-412, и модификация
Блок цилиндров	Матиневый сплав МЛЗ, цинк — СЧ 21-40	АЛ9, гильзы — специальный чугун	Серый перлитный чугун СЧ 26	АЛ4, гильзы цилиндров — СЧ 24-44	АЛ4, гильзы цилиндров — СЧ 24-44	СЧ 18-30, гильзы — чугун легированный
Головка цилиндров	АЛ5	АЛ9	Алюминиевый сплав АК9С2 (поршень 3222)	АЛ4	АЛ4	АЛ4
Впускной трубопровод	АЛ10В	АЛ4	Алюминиевый сплав АК9	АЛ4	АЛ4	АЛ4
Выпускной трубопровод	Сталь 10	СЧ 18-36	Чугун серый (поршень 52205)	СЧ 18-36	СЧ 18-30	СЧ 16-32
Коленчатый вал**	ВЧ 50-2	Сталь 45, Сталь 40	СЧ 75-50-03, СЧ 63-48-01	ВЧ 50-1,5	ВЧ 50-1,5	Сталь 45
Маховик***	СЧ 21-40, не-нон сталь 45	СЧ 18-36, не-нон сталь 40, сталь 40Г	СЧ 26	СЧ 18-36, не-нон сталь 45	СЧ 18-36, не-нон сталь 45	СЧ 21-40, не-нон сталь 45
Шатуны***	Сталь 40Р	Сталь 40	С-40, С-30 (с отпуском) сталь 40 (или 30)	Сталь 45Г2	Сталь 45Г2	Сталь 40Р
Поршневой палец	Сталь 15Х	Сталь 45	Сталь 12ХН	Сталь 45	Сталь 45	Сталь 12ХН1А
Поршень	КС 245****	Высококре-нистый алюми-ний сплав ЖЛС-1, ЖЛС-2, ЖЛС-3	Алюминиевый сплав АК10М21****	АЛ30	АЛ30	АК21, ВКЖЛС2
Впускной клапан	40Х9С2 (4Х9С2)	40Х9С2 (4Х9С2)	40Х9С2 (4Х9С2)	40Х9С2 (4Х9С2)	40Х9С2 (4Х9С2)	40Х10С2М (ЭП107)
Выпускной клапан	45Х14Н14В2М, 55Х20Г9АН4 (ЭП1303)	45Х14Н14В2М, 40Х9С2 (ЭП1303)	55Х20Г9АН4 (ЭП1303)	55Х20Г9АН4 (ЭП1303)	55Х20Г9АН4 (ЭП1303)	45Х14Н14В2М (4Х14Н14В2М)
Распределительный вал	Сталь 15Х	Чугун легиро-ванный специаль-ный	СЧ 65 (нор-мальная 52215)	Сталь 45	Сталь 45, сталь 40	Сталь 45
Коромысло	Сталь 20Х	Специальный чугун	СЧ 26	Сталь 45	Сталь 45	Сталь 45
Картер сцеп-ления	Матиневый сплав АЛ15	АЛ9В	Алюминиевый сплав АК9С2 (поршень 32228)	АЛ4	АЛ4	СЧ 21-40
Нажимной диск сцепления	СЧ 21-40	СЧ 24-44	СЧ 26	СЧ 24-44	СЧ 18-36, СЧ 24-44	СЧ 21-40

\*\*\* Для изготовления деталей автомобилей ВАЗ 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 2680, 2681, 2682, 2683, 2684, 2685, 2686, 2687, 2688, 2689, 2690, 2691, 2692, 2693, 2694, 2695, 2696, 2697, 2698, 2699, 2700, 2701, 2702, 2703, 2704, 2705, 2706, 2707, 2708, 2709, 2710, 2711, 2712, 2713, 2714, 2715, 2716, 2717, 2718, 2719, 2720, 2721, 2722, 2723, 2724, 2725, 2726, 2727, 2728, 2729, 2730, 2731, 2732, 2733, 2734, 2735, 2736, 2737, 2738, 2739, 2740, 2741, 2742, 2743, 2744, 2745, 2746, 2747, 2748, 2749, 2750, 2751, 2752, 2753, 2754, 2755, 2756, 2757, 2758, 2759, 2760, 2761, 2762, 2763, 2764, 2765, 2766, 2767, 2768, 2769, 2770, 2771, 2772, 2773, 2774, 2775, 2776, 2777, 2778, 2779, 2780, 2781, 2782, 2783, 2784, 2785, 2786, 2787, 2788, 2789, 2790, 2791, 2792, 2793, 2794, 2795, 2796, 2797, 2798, 2799, 2800, 2801, 2802, 2803, 2804, 2805, 2806, 2807, 2808, 2809, 2810, 2811, 2812, 2813, 2814, 2815, 2816, 2817, 2818, 2819, 2820, 2821, 2822, 2823, 2824, 2825, 2826, 2827, 2828, 2829, 2830, 2831, 2832, 2833, 2834, 2835, 2836, 2837, 2838, 2839, 2840, 2841, 2842, 2843, 2844, 2845, 2846, 2847, 2848, 2849, 2850, 2851, 2852, 2853, 2854, 2855, 2856, 2857, 2858, 2859, 2860, 2861, 2862, 2863, 2864, 2865, 2866, 2867, 2868, 2869, 2870, 2871, 2872, 2873, 2874, 2875, 2876, 2877, 2878, 2879, 2880, 2881, 2882, 2883, 2884, 2885, 2886, 2887, 2888, 2889, 2890, 2891, 2892, 2893, 2894, 2895, 2896, 2897, 2898, 2899, 2900, 2901, 2902, 2903, 2904, 2905, 2906, 2907, 2908, 2909, 2910, 2911, 2912, 2913, 2914, 2915, 2916, 2917, 2918, 2919, 2920, 2921, 2922, 2923, 2924, 2925, 2926, 2927, 2928, 2929, 2930, 2931, 2932, 2933, 2934, 2935, 2936, 2937, 2938, 2939, 2940, 2941, 2942, 2943, 2944, 2945, 2946, 2947, 2948, 2949, 2950, 2951, 2952, 2953, 2954, 2955, 2956, 2957, 2958, 2959, 2960, 2961, 2962, 2963, 2964, 2965, 2966, 2967, 2968, 2969, 2970, 2971, 2972, 2973, 2974, 2975, 2976, 2977, 2978, 2979, 2980, 2981, 2982, 2983, 2984, 2985, 2986, 2987, 2988, 2989, 2990, 2991, 2992, 2993, 2994, 2995, 2996, 2997, 2998, 2999, 3000, 3001, 3002, 3003, 3004, 3005, 3006, 3007, 3008, 3009, 3010, 3011, 3012, 3013, 3014, 3015, 3016, 3017, 3018, 3019, 3020, 3021, 3022, 3023, 3024, 3025, 3026, 3027, 3028, 3029, 3030, 3031, 3032, 3033, 3034, 3035, 3036, 3037, 3038, 3039, 3040, 3041, 3042, 3043, 3044, 3045, 3046, 3047, 3048, 3049, 3050, 3051, 3052, 3053, 3054, 3055, 3056, 3057, 3058, 3059, 3060, 3061, 3062, 3063, 3064, 3065, 3066, 3067, 3068, 3069, 3070, 3071, 3072, 3073, 3074, 3075, 3076, 3077, 3078, 3079, 3080, 3081, 3082, 3083, 3084, 3085, 3086, 3087, 3088, 3089, 3090, 3091, 3092, 3093, 3094, 3095, 3096, 3097, 3098, 3099, 3100, 3101, 3102, 3103, 3104, 3105, 3106, 3107, 3108, 3109, 3110, 3111, 3112, 3113, 3114, 3115, 3116, 3117, 3118, 3119, 3120, 3121, 3122, 3123, 3124, 3125, 3126, 3127, 3128, 3129, 3130, 3131, 3132, 3133, 3134, 3135, 3136, 3137, 3138, 3139, 3140, 3141, 3142, 3143, 3144, 3145, 3146, 3147, 3148, 3149, 3150, 3151, 3152, 3153, 3154, 3155, 3156, 3157, 3158, 3159, 3160, 3161, 3162, 3163, 3164, 3165, 3166, 3167, 3168, 3169, 3170, 3171, 3172, 3173, 3174, 3175, 3176, 3177, 3178, 3179, 3180, 3181, 3182, 3183, 3184, 3185, 3186, 3187, 3188, 3189, 3190, 3191, 3192, 3193, 3194, 3195, 3196, 3197, 3198, 3199, 3200, 3201, 3202, 3203, 3204, 3205, 3206, 3207, 3208, 3209, 3210, 3211, 3212, 3213, 3214, 3215, 3216, 3217, 3218, 3219, 3220, 3221, 3222, 3223, 3224, 3225, 3226, 3227, 3228, 3229, 3230, 3231, 3232, 3233, 3234, 3235, 3236, 3237, 3238, 3239, 3240, 3241, 3242, 3243, 3244, 3245, 3246, 3247, 3248, 3249, 3250, 3251, 3252, 3253, 3254, 3255, 3256, 3257, 3258, 3259, 3260, 3261, 3262, 3263, 3264, 3265, 3266, 3267, 3268, 3269, 3270, 3271, 3272, 3273, 3274, 3275, 3276, 3277, 3278, 3279, 3280, 3281, 3282, 3283, 3284, 3285, 3286, 3287, 3288, 3289, 3290, 3291, 3292, 3293, 3294, 3295, 3296, 3297, 3298, 3299, 3300, 3301, 3302, 3303, 3304, 3305, 3306, 3307, 3308, 3309, 3310, 3311, 3312, 3313, 3314, 3315, 3316, 3317, 3318, 3319, 3320, 3321, 3322, 3323, 3324, 3325, 3326, 3327, 3328, 3329, 3330, 3331, 3332, 3333, 3334, 3335, 3336, 3337, 3338, 3339, 3340, 3341, 3342, 3343, 3344, 3345, 3346, 3347, 3348, 3349, 3350, 3351, 3352, 3353, 3354, 3355, 3356, 3357, 3358, 3359, 3360, 3361, 3362, 3363, 3364, 3365, 3366, 3367, 3368, 3369, 3370, 3371, 3372, 3373, 3374, 3375, 3376, 3377, 3378, 3379, 3380, 3381, 3382, 3383, 3384, 3385, 3386, 3387, 3388, 3389, 3390, 3391, 3392, 3393, 3394, 3395, 3396, 3397, 3398, 3399, 3400, 3401, 3402, 3403, 3404, 3405, 3406, 3407, 3408, 3409, 3410, 3411, 3412, 3413, 3414, 3415, 3416, 3417, 3418, 3419, 3420, 3421, 3422, 3423, 3424, 3425, 3426, 3427, 3428, 3429, 3430, 3431, 3432, 3433, 3434, 3435, 3436, 3437, 3438, 3439, 3440, 3441, 3442, 3443, 3444, 3445, 3446, 3447, 3448, 3449, 3450, 3451, 3452, 3453, 3454, 3455, 3456, 3457, 3458, 3459, 3460, 3461, 3462, 3463, 3464, 3465, 3466, 3467, 3468, 3469, 3470, 3471, 3472, 3473, 3474, 3475, 3476, 3477, 3478, 3479, 3480, 3481, 3482, 3483, 3484, 3485, 3486, 3487, 3488, 3489, 3490, 3491, 3492, 3493, 3494, 3495, 3496, 3497, 3498, 3499, 3500, 3501, 3502, 3503, 3504, 3505, 3506, 3507, 3508, 3509, 3510, 3511, 3512, 3513, 3514, 3515, 3516, 3517, 3518, 3519, 3520, 3521, 3522, 3523, 3524, 3525, 3526, 3527, 3528, 3529, 3530, 3531, 3532, 3533, 3534, 3535, 3536, 3537, 3538, 3539, 3540, 3541, 3542, 3543, 3544, 3545, 3546, 3547, 3548, 3549, 3550, 3551, 3552, 3553, 3554, 3555, 3556, 3557, 3558, 3559, 3560, 3561, 3562, 3563, 3564, 3565, 3566, 3567, 3568, 3569, 3570, 3571, 3572, 3573, 3574, 3575, 3576, 3577, 3578, 3579, 3580, 3581, 3582, 3583, 3584, 3585, 3586, 3587, 3588, 3589, 3590, 3591, 3592, 3593, 3594, 3595, 3596, 3597, 3598, 3599, 3600, 3601, 3602, 3603, 3604, 3605, 3606, 3607, 3608, 3609, 3610, 3611, 3612, 3613, 3614, 3615, 3616, 3617, 3618, 3619, 3620, 3621, 3622, 3623, 3624, 3625, 3626, 3627, 3628, 3629, 3630, 3631, 3632, 3633, 3634, 3635, 3636, 3637, 3638, 3639, 3640, 3641, 3642, 3643, 3644, 3645, 3646, 3647, 3648, 3649, 3650, 3651, 3652, 3653, 3654, 3655, 3656, 3657, 3658, 3659, 3660, 3661, 3662, 3663, 3664, 3665, 3666, 3667, 3668, 3669, 3670, 3671, 3672, 3673, 3674, 3675, 3676, 3677, 3678, 3679, 3680, 3681, 3682, 3683, 3684, 3685, 3686, 3687, 3688, 3689, 3690, 3691, 3692, 3693, 3694, 3695, 3696, 3697, 3698, 3699, 3700, 3701, 3702, 3703, 3704, 3705, 3706, 3707, 3708, 3709, 3710, 3711, 3712, 3713, 3714, 3715, 3716, 3717, 3718, 3719, 3720, 3721, 3722, 3723, 3724, 3725, 3726, 3727, 3728, 3729, 3730, 3731, 3732, 3733, 3734, 3735, 3736, 3737, 3738, 3739, 3740, 3741, 3742, 3743, 3744, 3745, 3746, 3747, 3748, 3749, 3750, 3751, 3752, 3753, 3754, 3755, 3756, 3757, 3758, 3759, 3760, 3761, 3762, 3763, 3764, 3765, 3766, 3767, 3768, 3769, 3770, 3771, 3772, 3773, 3774, 3775, 3776, 3777, 3778, 3779, 3780, 3781, 3782, 3783, 3784, 3785, 3786, 3787, 3788, 3789, 3790, 3791, 3792, 3793, 3794, 3795, 3796, 3797, 3798, 3799, 3800, 3801, 3802, 3803, 3804, 3805, 3806, 3807, 3808, 3809, 3810, 3811, 3812, 3813, 3814, 3815, 3816, 3817, 3818, 3819, 3820, 3821, 3822, 3823, 3824, 3825, 3826,

Материал основных деталей задних мостов отечественных автомобилей [1; 6; 7]

Наименования деталей	ГАЗ 24 «Волга» и модификации, автобус «Латвия»	«Москвич-412» и модификации	ГАЗ 50А, ГАЗ 50Б, ГАЗ 50В, ГАЗ 50С, ГАЗ 50Д, ГАЗ 50Е и модификации	ГАЗ 50А, ГАЗ 50Б, ГАЗ 50В и модификации	ЗИЛ-130	БелАЗ-540, БелАЗ-548
Картер главной передачи	КЧ 35-10	КЧ 35-10	Магнисий сплав МЛ5 (совместно с картером КП)	Специальный ковалевый чугун (нормаль 52220)	КЧ 35-10	Сталь 40Л-II
Картер заднего моста	Кошки — сталь 45, крышки — сталь 30	Балка — сталь 10	—	Специальный ковалевый чугун (нормаль 52220)	Сталь 17ГС (сталь 40), труба и подфланец — сталь 30Х (сталь 40Х)	Сталь 40Л-II
Конические шестерни главной передачи	Сталь 20ХН2М	Сталь 20ХН2М	Сталь 20ХГНР (нормаль ведомая)	Сталь 19ХГН	Сталь 20ХН4А	Сталь 20ХН3А
Шестерни полуоси	Сталь 35	Сталь 40	Сталь 35Х2ГСА	Сталь 30, сталь 40	Ведущая — сталь 30ХГТ, ведомая — сталь 35НП	—
Сателлиты	—	—	—	—	Сталь 46НП	Сталь 38ХГСА
Крестовина или ось сателлитов	Сталь 20ХН2М	Сталь 18ХГТ	Сталь 20ХГНР	Сталь 14ХГН	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ, сталь 25ХГТ
Цилиндр дифференциала	Сталь 30Х	Сталь 18ХГТ	Сталь 20ХГНР	Сталь 14ХГН	Сталь 25ХГТ или 25ХГМ	Сталь 18ХГТ, сталь 25ХГТ, сталь 12ХН3А
	КЧ 35-10	КЧ 40Х	Сталь 40Х	Сталь 14ХГН	Сталь 18ХГТ	—
	—	—	—	Специальный ковалевый чугун (нормаль 52220)	Сталь Мст-1 или КЧ 35-10	Сталь 40Л-I

Примечание. Шестерни главной передачи и бортовые шестерни обычно подвергают термообработке (для тех же последующих операций). Для крестовины и оси сателлитов, сателлитов, как и для шестерен дифференциала, при изготовлении указанных деталей не применяют термообработку. В большинстве случаев подвергается закалке ТВЧ.

См. газовой концентрации (у автомобилей ГАЗ импортного производства), также и импортные материалы. Для изготовления деталей задних мостов, применяемых на автомобилях ГАЗ, используют сталь, полученную путем переплавки в вакуумной печи.

Таблица 3

[illegible]

Они, шестерки и блокы шестерки могут индуцировать цитоплазматический цитохром P-450, который катализирует гидроксилирование многих лекарственных веществ. Пикоскопическое исследование [10] (табл. 4) свидетельствует, что гидроксилирование выше створчатых ацидов, кроме ароматических, происходит в основном в печени, индуцируется

<sup>1</sup> Шестерин, каретки  
жесточного вала, подвешен  
и низкотемпературному  
делам 56-64 НРС (точн  
мической обработки).



Таблица 4

Материалы основных деталей автомобилей [1, 7]									
Наименование деталей	ЗИЛ-130	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г
Трубы	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 15	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 15	Сталь 20
Крестовины кардана	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 20Х	Сталь 20Х	Сталь 20Х	Сталь 20Х	Сталь 20Х	Сталь 20Х	Сталь 20Х
Вилы, шаровые пальцы	Сталь 35	Сталь 35	Сталь 35	Сталь 35	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40
Вилы, шаровые пальцы	Сталь 45	Сталь 45	Сталь 45	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40
Шаровые пальцы	Сталь 40Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х	Вал по-дшипниковый — сталь 30Х
Ось	Сталь 35	Сталь 35	Сталь 35	Сталь 45	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40
Ось	Сталь 35	Сталь 35	Сталь 35	Сталь 45	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40	Сталь 40

Указанные материалы являются основными. В скобках указаны материалы, применяемые в модификациях. В скобках указаны материалы, применяемые в модификациях. В скобках указаны материалы, применяемые в модификациях.

Таблица 5

Материалы основных деталей грузовых автомобилей [1, 7]									
Наименование деталей	ЗИЛ-130	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г	ЗИЛ-130Г
Корпус рулевого механизма	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ
Крышка корпуса	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20	Сталь 20
Вал рулевой колонки	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ	Сталь 18ХГТ
Рулевая колонка	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х

Указанные материалы являются основными. В скобках указаны материалы, применяемые в модификациях. В скобках указаны материалы, применяемые в модификациях. В скобках указаны материалы, применяемые в модификациях.

Материал основных деталей передних несущих мостов отечественных грузовых автомобилей [1: 7]

Таблица 6

Наименования деталей	ГАЗ-53А	ЗИЛ-130	Семейство МАЗ-500 и МАЗ-500А	Наименования деталей	ГАЗ-53	ЗИЛ-130	Семейство МАЗ-500 и МАЗ-500А
Балка переднего моста	Сталь 30Х	Сталь 45	Сталь 40Х	Рычаги рулевого управления	Сталь 30Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х
Поворотная цапфа	Сталь 35Х	Сталь 40Х	Сталь 40Х	Продольная рулевая тяга	Сталь 35	Сталь 20	Сталь 35
Шкворни поворотных цапф	Сталь 50	Сталь 18ХГТ	Сталь 45	Поперечная рулевая тяга	Сталь 35	Сталь 20	Сталь 40

Примечание. Балки переднего моста, поворотные цапфы, рычаги рулевого управления подвергаются улучшению с обеспечением повышенной твердости (в зависимости от марки стали) до НВ 269—321. Шкворни подвергаются поверхностной закалке ТВЧ для стали 18ХГТ цементации, закалке и низкотемпературному отпуску.

Материал основных деталей колесных тормозов и ступиц колес [1]

Таблица 7

Наименования деталей	ГАЗ-53А	ЗИЛ-130	Семейство МАЗ-500, МАЗ-500А	БелАЗ-540, БелАЗ-545	Урал-375 и модификации	УАЗ-469, УАЗ-451, УАЗ-452 и др.	ГАЗ-24 «Волга»	«Москвич-412» и «408» все модификации	ЗАЗ-968, ЗАЗ-968	ВАЗ-2101, ВАЗ-2102, ВАЗ-2103
Ступицы колес	КЧ 35-10	КЧ 35-10	Сталь 40ЛК	Сталь 40Л	КЧ 35-10	КЧ 35-10	КЧ 35-10	КЧ 35-10	КЧ 50-4, КЧ 35-10, КЧ 50-4, КЧ 35-10	СЧ 65-48-05 (нормаль-2220) Алюминиевый сплав АК12М2 с литежным чугуном
Тормозные барабаны	СЧ 18-36	СЧ 15-32	СЧ 24-44	СЧ 24-44	СЧ 21-40	СЧ 18-36	СЧ 18-36	СЧ 18-36	СЧ 18-36	СЧ 65-48-05 (нормаль-2220) Алюминиевый сплав АК12М2 с литежным чугуном
Колодки тормозные	Сталь 08Ап	КЧ 35-10, ВД 74-3	Сталь 25	Сталь 40Л	КЧ 35-10	Сталь 08КП	Сталь 08 КП	Сталь 10	Сталь 20	Сталь 30
Накладки тормозных колодок	АК	АК	АК	АК	АК, 6КХ-1Б	АК, 6КФ-59	АК, 6КФ-58 (клей ВС-10-Т)	АК, 6КФ-58 (клей ВС-10-Т)	АК	АК

Примечание. Главные и колесные тормозные цилиндры гидравлических тормозов изготавливаются из серого чугуна, обычно марок СЧ 18-36 или СЧ 21-40 (для ВАЗ из чугуна С20). Поршни гидравлических тормозов изготавливаются из алюминиевых или динковых сплавов, в частности марок АЛ10Б, ДП, ЦАМ-1 и др. (для ВАЗ из стали 12ХН), АК — дюралевая композиция. Показатели качества основных накладок регламентирует ГОСТ 18500-72.

Материал основных деталей подвески отечественных автомобилей [1]

Таблица 8

Наименования деталей	ГАЗ-24 «Волга»	«Москвич-412» «Москвич-408»	Запорожец ЗАЗ-968	ВАЗ-2101, ВАЗ-2102, ВАЗ-2103	ПАЗ-652, ПАЗ-672	ГАЗ-66, ГАЗ-53А	ЗИЛ-130, ЗИЛ-ММЗ-553	МАЗ-500, МАЗ-500А и модификации	УАЗ-469, УАЗ-451М, УАЗ-452 и модификации	КрАЗ-265Б, 265В, 265С и модификации
Рессорные листы	Сталь 50ХГА	Сталь 50ХГА	—	—	Сталь 50ХГА	Сталь 50ХГ	Сталь 60С2	Сталь 60С2	Сталь 50ХГА	Сталь 50ХГ
Пружины подвески	Сталь 60С2А	Сталь 60С2А	Сталь 60С2А	Сталь 60С2ГФ	—	—	—	—	—	—

Примечание. Пластин тorsiона передней подвески автомобилей ЗАЗ-968 изготавливаются из стали 50ХФА. Рессорные листы в качестве термической обработки подвергаются закалке и высокотемпературному отпуску по режиму: для стали 50ХГА и 50ХГ закалке в масле с температурой нагрева 850—890°С и отпуску при нагреве 450—500°С с обеспечением твердости НВ 363—444. Для стали 60С2А закалке в масле с температурой нагрева 900—920°С, отпуску при нагреве до 540—590°С с обеспечением твердости НВ 363—444. Пружины подвески из стали 60С2А подвергаются термической и дробеструйной обработке с обеспечением твердости НВ 45—48. Рессорные пальцы изготавливаются из стали 45 и подвергаются закалке ТВЧ, после которой поверхностная твердость находится в пределах НВ 32—60; стержни рессор обычно изготавливаются из стали 45 или стали 40Х и в качестве термической обработки подвергаются нормализации или улучшению.

Материал основных деталей рам отечественных грузовых автомобилей [1: 7]

Таблица 9

Наименования деталей	ЗИЛ-130	ГАЗ-53А	ЗИЛ-164	ГАЗ-51	Семейство МАЗ-500, МАЗ-500А	БелАЗ-531	УАЗ-469
Продольные балки	Сталь 30Т, 14Г2АФ	Сталь 25	Сталь 30	Сталь 25	Сталь 19ХГС	Сталь 10ХСНД	Сталь 25
Поперечины	Сталь 20, сталь 08, сталь 14Г2	Сталь 25, сталь 08КП, сталь 12ГС	Сталь 20, сталь 08, сталь 14Г2	Сталь 25, сталь 08	Сталь 19ХГС, сталь 14ХГС	Сталь 10ХСНД	Сталь 20КП, сталь 08
Буфер	Сталь 20	Сталь 25	Сталь 20	Сталь 25	—	Сталь 09Г2С	Сталь 08, сталь 20КП
Буксирный крюк	Сталь 35	Сталь 40	Сталь 35	—	Сталь 45	—	Сталь 35

Марки и химический состав некоторых литейных медно-цинковых сплавов (латуней) (ГОСТ 17711—72)

Таблица 40

Наименование латуни	Марка сплава	Химический состав по основным компонентам, %						Цинк	Основное назначение
		Медь	Алюминий	Железо	Марганец	Свинец	Другие компоненты		
Кремнистая	ЛК80-3Л	78—81	—	—	—	—	Кремний 3,0—4,5	Ос-таль-ное	Арматура, детали прибо-
Кремнисто-свинцовая	ЛКС80-3-3	77—81	—	—	—	2,0—4,0	Кремний 2,5—4,5	ров	Подшипники, втулки, акла-
Алюминиево-железо-марганцевая	ЛАЖМц66-6-3-2	64—68	4—7	2,0—4,0	1,5—3,0	—	—	То же	дши
Алюминиевая	ЛА67-2,5	66—68	2—3	—	—	—	—	»	Гайки нажимных винтов
Алюминиево-железная	ЛАЖ60-1-1Л	58—61	0,8—1,5	0,8—1,5	0,1—0,6	—	Олово 0,2—0,7	»	Для коррозионно-стойких деталей
Марганцево-никележелезо-алюминиевая	ЛМцНЖА60-2-1-1-1	58—62	0,5—1,0	0,5—1,1	1,5—2,5	—	Никель 0,5—1,5	»	Арматура, втулки, подшипники
Свинцовая	ЛС59-1ЛД	58—61	—	—	—	0,8—2,0	—	»	Для деталей, работающих в среде масла, топлива, воды
Марганцовая	ЛМц58-2Л	57—60	—	—	1,0—2,0	—	—	»	Для изготовления деталей литьем под давлением
Марганцево-железная	ЛМцЖ55-3-1	53—58	—	0,5—1,5	3,0—4,0	—	—	»	Для подшипников, деталей, заливаемых баббитом
Оловянно-свинцовая	ЛВОС	60—75	—	—	—	1,0—3,0	Олово 0,5—2,0	»	Корпусы пробок радиатора, гребные винты, лопасти
								»	Для различных штуцеров, применяемых в автомобилестроении

Классификация и основная область применения деформируемых медно-цинковых сплавов (латуней) (ГОСТ 15327—70)

Таблица 41

Виды латуней						
Многокомпонентные						
Простые	Алюминиевые, алюминево-железные, алюминево-никелевые, никелевые	Марганцевые, марганцево-алюминиевые	Железистые, марганцево-железистые, железнисто-свинцовые	Оловянистые	Свинцовистые	Кремнистые, мышьяковистые, алюминиево-мышьяковистые, оловянисто-мышьяковистые, алюминево-никеле-кремнисто-марганцовистые
Марки латуней						
Л96 Л90, Л63 Л85, Л60 Л80 Л70 Л68	ЛА77-2 ЛАЖ60-1-1 ЛАН59-3-2 АН65-1	ЛМц58-2 ЛМцА37-3-1	ЛЖМц59-1-1 ЛЖС58-1-1	ЛО90-1 ЛО70-1 ЛО62-1 ЛО60-1	ЛС74-3 ЛС64-2 ЛС63-3 ЛС60-1 ЛС59-1 ЛС59-1В	ЛК80-3 ЛМц68-0,05 ЛАНц77-2-0,05 ЛОМц70-1-0,05 ЛАНКМц72-2-2,5-0,5-0,5
Основное назначение						
Втулки генераторов, заклепки крепления фрикционных шкивов, бачки радиаторов, клапаны опливающего бака (Л63), трубки водяного и масляного радиатора (Л63, Л90), зубки пневматических тормозных систем, топливопровода, детали радиаторов (Л96), листы, зубки, прутки	Трубки конденсаторных радиаторов, прутки, листы, лента, проволока	Прутки для газовой пайки, чулуны, полосу, проволока, листы	Полосы, прутки, проволока, трубы	Втулка вала рулевой сошки (ЛО90-1), сворачивочная проволока (ЛО60-1), листы, трубки, прутки	Угольники, тройники, крестовины пневматических и топливных систем, толкатели экономизаторов карбюраторов, пробки топливных фильтров и т. д. (ЛС59-1); жиклеры и пробки карбюраторов (ЛС59-1В); втулки тормозных колодок, кронштейнов педалей и др. (ЛС74-3)	Для различных деталей при повышенных требованиях к коррозионной стойкости

Марки, химический состав и примерное назначение оловянистых бронз, обрабатываемых давлением (ГОСТ 5017—74)

Таблица 12

Марка	Химический состав по основным компонентам, %					Примерное назначение
	Олово	Фосфор	Цинк	Прочие легирующие элементы	Медь	
Бр.ОФ6,0-0,3	7,5—8,5	0,25—0,35	—	Никель 0,10—0,20	Остальное	Проволока для сетчатых фильтров
Бр.ОФ7-0,2	7,0—8,0	0,10—0,25	—	—	»	Прутки, применяемые для различных целей
Бр.ОФ6,5-0,4	6,0—7,0	0,26—0,40	—	Никель 0,10—0,20	»	Проволока для пружин, антифрикционные втулки, изготовление различных деталей
Бр.ОФ6,5-0,15	6,0—7,0	0,10—0,25	—	—	»	Ленты, полосы, втулки, подшипниковые детали, заготовки для сталелитейных заводов
Бр.ОФ4-0,25	3,5—4,5	0,20—0,30	—	—	»	Трубки для контрольно-измерительных приборов и других целей
Бр.ОЦ4-3	3,5—4,5	—	2,7—3,3	—	»	Проволока для пружин топливного насоса, пружины, применяемые для изготовления штуцеров и различных других деталей
Бр.ОЦС4-4-2,5	3,0—5,0	—	3,0—5,0	Свинец 1,5—3,5	»	Ленты, полосы, прокладки, подшипниковые детали, втулки
Бр.ОЦС4-4-4	3,0—5,0	—	3,0—5,0	Свинец 3,5—4,5	»	То же

Марки и химический состав некоторых безоловянистых бронз, обрабатываемых давлением (ГОСТ 18175—72)

Таблица 13

Марка	Химический состав по основным компонентам, %						Применение
	Алюминий	Бериллий	Марганец	Никель	Другие компоненты	Медь	
Бр.А5	4—6	—	—	—	—	Остальные	Плиты, листы, полосы, прутки, втулки, подшипники, пружины ответственных мелких деталей
Бр.А7	6—8	—	—	—	—	»	Полосы, ленты, прутки, проволока, поковок
Бр.АМц9-2	8—10	—	1,5—2,5	—	—	»	Ленты, полосы, проволока, пружины и ленты для приборов
Бр.Б2	—	1,8—2,1	—	0,2—0,5	—	»	То же
Бр.БНТ1,7	—	1,60—1,85	—	0,2—0,4	Титан 0,10—0,25	»	Пружина крышки топливного бака, проволока, прутки, полосы
Бр.БНТ1,9	—	1,85—2,10	—	0,2—0,4	Титан 0,10—0,25	»	
Бр.КМц3-1	—	—	1—1,5	—	Кремний 2,75—3,5	»	

Классификация, марки и область применения при изготовлении автомобильных деталей алюминиевых сплавов (ГОСТ 2685—75)

Таблица 14

Группы сплавов				
I	II	III	IV	V
Сплавы на основе системы алюминий — кремний	Сплавы на основе системы алюминий — кремний — медь	Сплавы на основе системы алюминий — медь	Сплавы на основе системы алюминий — магний	Сплавы на основе системы алюминий — магний — цинк (когда требуется высокая прочность)
Марки сплавов				
АЛ2 АЛ4 АЛ4-1 АЛ9 АЛ9-1 АЛ34 (ВАЛ5) АК9 (АЛ14В) АК7 (АЛ9В)	АЛ3 АЛ5 АЛ5-1 АЛ6 АЛ132 АК5М2 (АЛ13В) АК5М7 (АЛ10В) АК7М2 (АЛ14В) АК4М4 (АЛ15В)	АЛ7 АЛ19 АЛ35 (ВАЛ11)	АЛ8 АЛ13 АЛ122 АЛ123 АЛ123-1 АЛ127 АЛ127-1 АЛ128	АЛ1 АЛ1-1 АЛ1-2 АЛ1-3 АЛ1-4 АЛ1-5 АЛ1-6 АЛ1-7 АЛ1-8 АЛ1-9 АЛ1-10 АЛ1-11 АЛ1-12 АЛ1-13 АЛ1-14 АЛ1-15 АЛ1-16 АЛ1-17 АЛ1-18 АЛ1-19 АЛ1-20 АЛ1-21 АЛ1-22 АЛ1-23 АЛ1-24 АЛ1-25 АЛ1-26 АЛ1-27 АЛ1-28 АЛ1-29 АЛ1-30 АЛ1-31 АЛ1-32 АЛ1-33 АЛ1-34 АЛ1-35 АЛ1-36 АЛ1-37 АЛ1-38 АЛ1-39 АЛ1-40 АЛ1-41 АЛ1-42 АЛ1-43 АЛ1-44 АЛ1-45 АЛ1-46 АЛ1-47 АЛ1-48 АЛ1-49 АЛ1-50 АЛ1-51 АЛ1-52 АЛ1-53 АЛ1-54 АЛ1-55 АЛ1-56 АЛ1-57 АЛ1-58 АЛ1-59 АЛ1-60 АЛ1-61 АЛ1-62 АЛ1-63 АЛ1-64 АЛ1-65 АЛ1-66 АЛ1-67 АЛ1-68 АЛ1-69 АЛ1-70 АЛ1-71 АЛ1-72 АЛ1-73 АЛ1-74 АЛ1-75 АЛ1-76 АЛ1-77 АЛ1-78 АЛ1-79 АЛ1-80 АЛ1-81 АЛ1-82 АЛ1-83 АЛ1-84 АЛ1-85 АЛ1-86 АЛ1-87 АЛ1-88 АЛ1-89 АЛ1-90 АЛ1-91 АЛ1-92 АЛ1-93 АЛ1-94 АЛ1-95 АЛ1-96 АЛ1-97 АЛ1-98 АЛ1-99 АЛ1-100
Основная область применения				
Головки цилиндров, двигателей, поршневые механизмы, улитки, картеры, коробки передач, крышки сцепления, поршни компрессоров, масляных центрифуг, корпусов насосов, поршни тормозных цилиндров, воздушные трубопроводы и другие детали	Корпусы карбюраторов, топливных насосов, арматура (чаще цинковый сплав), крышки различные; патрубков мелкие; ненагруженные детали	Арматура, кронштейны и другие детали	Декоративные детали	Поршни двигателей

## Справочные материалы

Таблица 1

Ориентировочные режимы термической обработки  
и механические свойства легированных конструкционных сталей  
(охлаждающая среда – масло)

Марка стали	Температура нагрева под закалку, °C	Температура отпуска, °C	Механические свойства		
			твердость	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma$ , %
30X	840—870	540—580	HB207—229	730—780	14—18
40X	825—860	300—400	HRC 52—45	—	—
		400—500	HRC 45—36	—	—
		500—600	HRC 36—30	—	—
		500—580	HB280—300	980	9
45X	820—850	600—650	HB230—280	830	10
40XФА	840—880	450—400	HRC 35—40	1070	8
		620—680	HB 255	880	10

Марка стали	Температура нагрева под закалку, °C	Температура отпуска, °C	Механические свойства		
			твердость	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma$ , %
40XГ	840—880	550—600	HB272—300	980	10
40XГТ	850—880	500—520	—	1070	12
30XГТ	860—890	460—520	HRC 34—41	1080—1420	—
		560—600	—	980—1070	—
35XГC	860—880	640—660	HB 235	740	16
30XM	860—890	640—660	—	1170—1270	—
		540—560	—	880—1070	—
40HX	800—840	550—600	HB225—285	830—930	14—16
30XH3A	810—840	530	HB 292	1070	9
37XH3A	810—840	200—220	HRC 45—52	1560	—
40XНМА	840—850	525—575	HB321—387	1070	10
		200—330	HRC 48—53	1610	9
		610	HB 302	1070	12

Таблица 2

Ориентировочные режимы термической обработки  
и твердость легированных инструментальных сталей

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура нагрева, °С	Твердость НВ	Температура нагрева, °С	Ох- лаж- даю- щая среда	Температура нагрева, °С	Твердость HRC
7ХЗ	800—820	230—190	850—880	Масло	150—200 200—300 300—400	62—60 60—58 58—55
Х	780—800	230—190	830—860	»	150—200 200—300 300—400	64—61 61—55 55—49
ХГ	780—800	240—200	800—830	»	150—200 200—300	65—62 62—58
9ХС	820—840	240—200	820—860	»	150—200 200—300	64—63 63—59
9ХВГ	780—800	240—200	800—830	»	170—200 230—275 300—400 200—250	62—60 60—56 58—52 64—60
ХВ5	830—860	285—230	800—820 820—860	Вода Масло	250—300 150—200	60—52 60—58
5ХНМ	830—860	240—200	830—860	»	200—300 300—400 400—500 475—485	58—53 53—48 48—43 46—41
5ХНТ	830—860	240	830—860	»	485—510	41—38
Х12М	850—870	255—210	950—1000	Масло или воздух	150—200 200—300 300—400	63—62 62—59 59—57

Таблица 3

Ориентировочные режимы термической обработки  
быстрорежущей стали

Марка стали	Отжиг		Закалка	Отпуск			
	Температура нагрева, °C	Твердость, HВ	Темпера- тура на- грева, °C	Охлаж- дающая среда	Твер- дость, HRC	Темпе- ра на грева, °C	Твер- дость, HRC
P9	850—870	210—255	1225—	Масло и воздух То же »	60—61	560	Не
P9M	850—870	210—255	1240		60—61	560	менее 62
P18	850—870	210—255	1270—		60—62	560	То же
P18M	850—870	210—255	1285		60—62	560	»

Закалка при температуре, °C	Отпуск при температуре, °C	Механические свойства		
		предел прочности $\delta_b$ , МПа	относитель- ное удлине- ние, $\delta$ , %	ударная вязкость $a_K$ , МПа
950, на воздухе	180	1170	12	108
850, на масле	550	1070	12	118

Таблица 4

Механические свойства некоторых легированных сталей  
аустенитного класса

Марка стали	Закалка при температуре, °C	Механические свойства	
		предел прочности $\delta_b$ , МПа	относитель- ное удлине- ние $\delta$ , %
X18H9	1050—110	568	45
12X18H10T	1050—1100	549	45

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

### **Основная**

1. Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990.
2. Лахтин Ю.М. Материаловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1994.

### **Дополнительная**

3. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1986.
4. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Гареев. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985.
5. Кузьмин Б.А. Технология металлов и конструкционные материалы. – М.: Высшая школа, 1989.
6. Лахтин Ю.М. Основы металловедения. – М.: Металлургия, 1988.
7. Самохоцкий А.И. Лабораторные работы по металловедению и термообработке / А.И. Самохоцкий, М.Н. Куняевский. – М.: Машиностроение.
8. Полунин П.И. Технология металлов и сварка: учебник для вузов / П.И. Полунин, Б.Г. Гринберг, В.Т. Жадан [и др.]. – М.: Высшая школа, 1977.



*Учебное издание*

Бутырин Владимир Николаевич

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Учебное пособие

Чебоксары, 2020 г.

Редактор *В. Н. Бутырин*

Компьютерная верстка и правка *Т. Ю. Кулагина*

Подписано в печать 08.06.2020 г.

Дата выхода издания в свет 17.06.2020 г.

Формат 70×100/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 11,8575. Заказ 946. Тираж 500 экз.

Издательский дом «Среда»

428005, Чебоксары, Гражданская, 75, офис 12

+7 (8352) 655–731

[info@phsreda.com](mailto:info@phsreda.com)

[www.phsreda.com](http://www.phsreda.com)

Отпечатано в ООО «Типография «Перфектум»

428000, Чебоксары, ул. К. Маркса, 52