



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

Рубцовский индустриальный институт  
Алтайского государственного технического университета  
им. И.И. Ползунова

**Н.Ф. Калашникова  
Т.Б. Брылова**

# **МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ**

**Сборник задач, упражнений и тестов**

Пособие для самостоятельной работы студентов дневной  
и заочной форм обучения технических специальностей вузов

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию  
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве  
учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по направлениям подготовки: бакалавров и магистров «Технология,  
оборудование и автоматизация машиностроительных производств»  
и дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»; «Автоматизированные  
технологии и производства»

Рубцовск 2005

Калашникова Н.Ф., Брылова Т.Б. *Металловедение и термическая обработка металлов. Сборник задач, упражнений и тестов: Пособие для самостоятельной работы студентов дневной и заочной форм обучения технических специальностей вузов / Рубцовский индустриальный институт.* - Рубцовск: РИО, 2005 - 282 с.

Настоящее издание является учебным пособием для студентов технических специальностей вузов.

В издании использованы задачи и упражнения, приведенные в известных учебниках по металловедению и термообработке, а также отражен многолетний опыт работы авторов по изучению студентами дисциплины «Металловедение и термическая обработка металлов» в Рубцовском индустриальном институте.

Рассмотрено и одобрено на заседании научно-методического совета Рубцовского индустриального института.

Протокол № 6 от 29.06.05 г.

Рецензенты: к.т.н., старший научный сотрудник  
НТО «АНИТИМ»  
профессор каф. МиТОМ АлтГТУ

А.И. Осколков  
В.Б. Бутыгин

## Содержание

Предисловие.....	6
Раздел 1 Диаграммы состояния бинарных сплавов .....	7
1.1 Строение и свойства сплавов.....	7
1.2 Диаграммы состояния бинарных сплавов.....	9
1.3 Построение кривых охлаждения (нагрева) сплавов.....	16
1.4 Законы Курнакова.....	16
Индивидуальные задания.....	19
Тесты.....	22
Раздел 2 Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.....	30
2.1 Диаграмма Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	30
2.2 Определение состава и количества фаз в сплаве с помощью правила отрезков.....	36
2.3 Формирование структуры железоуглеродистых сплавов при охлаждении.....	36
Индивидуальные задания.....	39
Тесты.....	45
Раздел 3 Классификация, маркировка и применение углеродистых сталей .....	53
3.1 Классификация по химическому составу.....	53
3.2 Классификация по способу раскисления.....	53
3.3 Классификация по качеству.....	54
3.4 Классификация по структуре.....	57
3.5 Классификация по назначению.....	57
Индивидуальные задания.....	60
Тесты.....	66
Раздел 4 Влияние углерода на структуру и свойства стали в равновесном состоянии.....	72
4.1 Влияние углерода на структуру и свойства стали.....	73
4.2 Микроструктура железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии.....	75
Индивидуальные задания.....	77
Тесты.....	82
Раздел 5 Чугуны.....	89
5.1 Классификация, структура и свойства чугунов.....	89
5.1.1 Классификация чугунов.....	89
5.1.2 Классификация серых чугунов по форме графита и строению металлической основы.....	91
5.1.3 Получение, маркировка и применение серых чугунов	93
5.1.4 Взаимосвязь структуры и механических свойств серого чугуна с пластинчатым графитом.....	94
Тесты.....	96
Задачи.....	102

5.2 Изучение зависимости между химическим составом, структурой и свойствами чугунов.....	103
Задачи.....	109
Раздел 6 Пластическая деформация и рекристаллизация.....	110
6.1 Понятие о холодной и горячей пластической деформации.....	110
6.2 Холодная пластическая деформация.....	110
6.3 Горячая пластическая деформация.....	115
Индивидуальные задания.....	116
Тесты.....	122
Раздел 7 Термическая обработка стали.....	130
7.1 Общие положения термической обработки.....	130
7.2 Основы теории термической обработки стали.....	132
7.2.1 Превращения $P \rightarrow A$ при нагреве стали.....	132
7.2.2 Распад аустенита на феррито-цементитную смесь: $A \rightarrow (F+Ц)$ .....	133
7.2.3 Мартенситное превращение ( $A \rightarrow M$ ).....	137
7.2.4 Превращения при нагреве стали (IV основное превращение).....	139
Индивидуальные задания.....	140
Тесты.....	146
Раздел 8 Основные виды термической обработки стали.....	153
8.1 Основные сведения.....	153
Задачи.....	158
Тесты.....	163
Раздел 9 Выбор режима полной термической обработки углеродистой стали.....	176
Индивидуальные задания.....	178
Раздел 10 Термическая обработка стали (индивидуальные задания).....	180
Раздел 11 Поверхностное упрочнение деталей машин с использованием индукционного нагрева.....	189
11.1 Особенности термообработки стали при быстром нагреве токами высокой частоты.....	189
11.2 Индукционный нагрев стали при термической обработке и оборудование для его осуществления.....	191
11.3 Технология закалки с нагревом ТВЧ.....	194
Контрольные вопросы.....	198
Индивидуальные задания.....	199
Раздел 12 Химико-термическая обработка стали.....	202
12.1 Сущность химико-термической обработки.....	202
12.1.1 Цементация.....	202
12.1.2 Азотирование.....	204
12.1.3 Нитроцементация и цианирование стали.....	205

12.2 Требования, предъявляемые к изделиям, подвергнутым ХТО.....	206
12.3 Термическая обработка наиболее распространенных деталей машин после цементации и нитроцементации.....	206
Индивидуальные задания.....	210
Тесты.....	212
Раздел 13 Классификация, маркировка и структурные классы легированных сталей (СРС).....	220
13.1 Маркировка легированных сталей.....	220
13.2 Структурные классы легированных сталей.....	222
Тесты.....	224
Индивидуальные задания.....	230
Раздел 14 Классификация легированных сталей по назначению и их применение в промышленности.....	233
14.1 Конструкционные стали.....	233
14.2 Инструментальные стали.....	234
14.3 Стали и сплавы с особыми свойствами.....	237
Тесты.....	239
Индивидуальные задания на тему «Применение легированных сталей».....	246
Индивидуальные задания на тему «Инструментальные материалы» .....	253
Тесты.....	259
Раздел 15 Цветные металлы и сплавы.....	265
15.1 Медные сплавы.....	265
15.2 Алюминиевые сплавы.....	267
15.3 Магниеые сплавы.....	269
15.4 Титан и его сплавы.....	270
Индивидуальные задания.....	271
Тесты.....	276
Список литературы.....	282

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее издание предназначено для студентов не только дневной, но и заочной форм обучения. Необходимость издания обусловлена тем, что в последние годы в учебной программе много часов отводится на самостоятельную работу студентов.

В пособие включены основные разделы курса «Материаловедение». Работы и варианты заданий выбираются в зависимости от специальности. Теоретические сведения изложены в краткой форме, их достаточно для выполнения заданий в соответствии с требованиями программы.

Каждая работа состоит из частей: цель работы; краткие сведения из теории; тесты для контроля знаний и задания.

Пособие включает разделы программы: диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов; углеродистые стали; чугуны; пластическая деформация и рекристаллизация; термическая обработка; легированные стали; цветные металлы и сплавы.

Настоящее руководство является учебным пособием для машиностроительных специальностей. Особенно полезно оно для студентов-заочников. Пользуясь им, студенты-заочники могут самостоятельно выполнить все необходимые работы и дать теоретическое объяснение протекающим процессам.

# РАЗДЕЛ 1

## ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ БИНАРНЫХ СПЛАВОВ

### Цель работы:

1. Усвоить термины, относящиеся к структуре сплавов;
2. Познакомиться с основными типами диаграмм состояния бинарных сплавов и уяснить зависимость между типом диаграммы, структурой и свойствами сплавов.

### Основные сведения

#### 1.1 Строение и свойства сплавов

Сплавами называются сложные вещества, полученные сплавлением двух или нескольких элементов и обладающие металлическими свойствами. Составляющие сплава называются его компонентами. Например, сталь 40ХН содержит 4 компонента – железо, углерод, хром и никель.

Сплавы, содержащие одинаковые компоненты, образуют систему. Например, углеродистые стали различных марок и чугуны образуют систему железоуглеродистых сплавов. Латунии разных марок: Л96, Л80, Л59 и др. - образуют систему медно-цинковых сплавов.

Строение сплавов после их затвердевания более сложно, чем чистых металлов. Чистые металлы после затвердевания имеют структуру, состоящую из зерен одного вида (рисунок 1.1, а), т.е. однофазную. Структура сплавов может быть и двухфазной, и трехфазной, в общем случае – многофазной (рисунок 1.1, б).

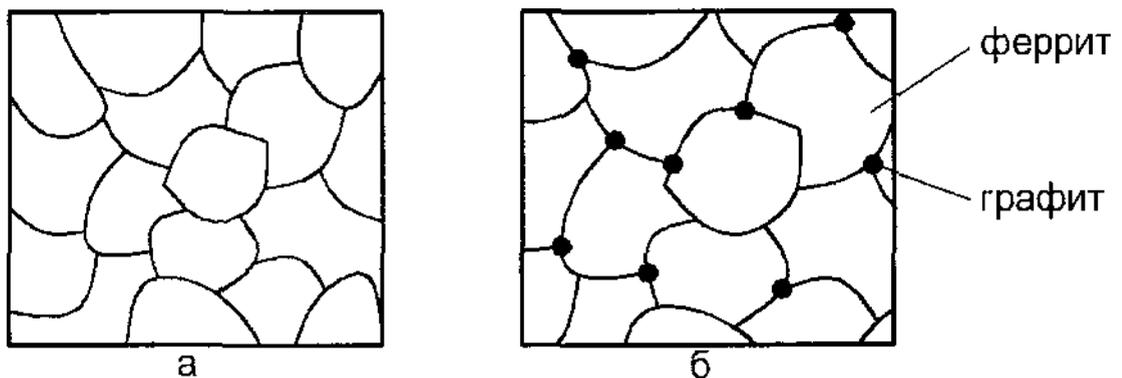


Рисунок 1.1 - Структура железа (а) и чугуна (б):  
а – зерна одного вида – однофазная структура (феррит); б – зерна двух видов – двухфазная структура (феррит и графит)

Таким образом, под фазой понимается совокупность зерен одинакового вида, имеющих один и тот же химический состав, кристаллическую решетку, цвет, форму, свойства.

При затвердевании компоненты сплава могут не взаимодействовать друг с другом, но могут и вступать во взаимодействие – растворяться друг в друге, образовывать химические соединения.

**Механическая смесь** – это такая структура сплава, в которой зерна одного металла (одной фазы) располагаются среди зерен другого металла (другой фазы) и могут быть различимыми под микроскопом (рис. 1.2, а). Каждая составляющая механической смеси сохраняет свою кристаллическую решетку и индивидуальные свойства.

Механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизовавшихся из жидкости, называется эвтектикой, а механическая смесь, образовавшаяся из твердой фазы, – эвтектоидом.

**Твердый раствор** – это такая структура сплава, которая образуется, если компоненты сплава способны к взаимному растворению. У таких сплавов атомы растворимого элемента располагаются в кристаллической решетке растворителя. Под микроскопом наблюдаются зерна только одного вида (рисунок 1.2, б).

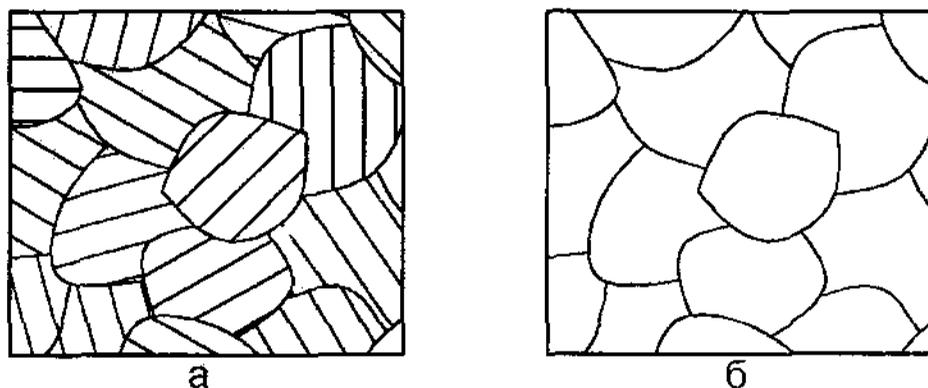


Рисунок 1.2 - Структура:

а – механической смеси; б – твердого раствора

Если компоненты сплава могут растворяться друг в друге в любых пропорциях, как, например, золото и серебро, медь и никель и т.д., то образующиеся твердые растворы называются **неограниченными**. Если же растворимость компонентов существует только до определенного предела – **ограниченными**.

Компоненты – неметаллы (углерод, бор и др.) имеют малый атомный радиус по сравнению с металлами. Поэтому при образовании твердого раствора металл – неметалл, атомы неметалла располагаются в кристаллической решетке между атомами основного металла. Такой твердый раствор называется раствором **внедрения**.

При растворении друг в друге компонентов–металлов образуются твердые растворы **замещения** (рисунок 1.3, а, б).

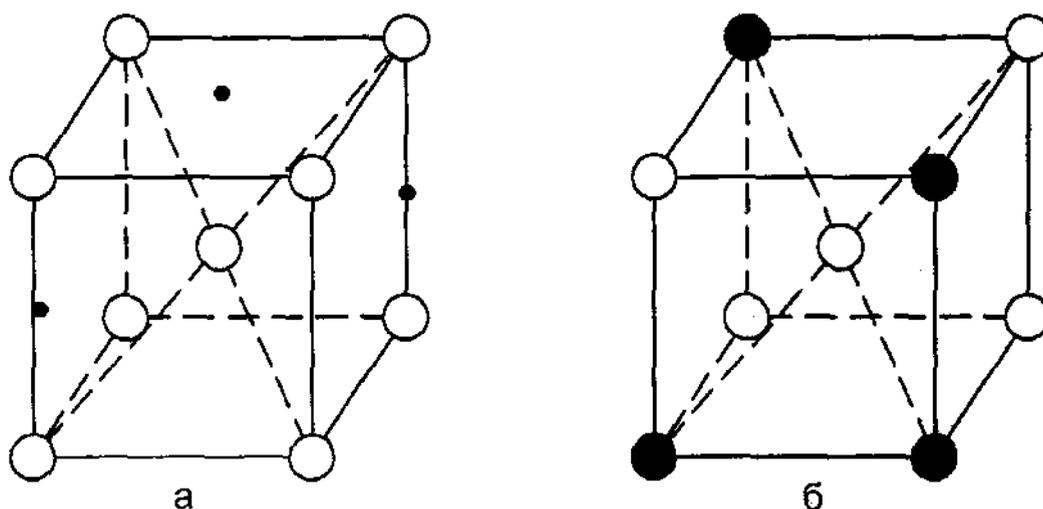


Рисунок 1.3 - Образование твердых растворов внедрения (а) и замещения (б)

Химические соединения представляют собой самостоятельную фазу, которая может существовать наряду с механической смесью и твердым раствором и образуется при химическом взаимодействии компонентов сплава. При этом возникает новая кристаллическая решетка, отличающаяся от кристаллических решеток компонентов, поэтому свойства химического соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов. Под микроскопом химическое соединение имеет однородную структуру, состоящую из зерен одного вида.

Фазы – химические соединения – характеризуются:

- 1) постоянством химического состава, которое выражается химической формулой. Например, химическое соединение железа с углеродом  $Fe_3C$  содержит 6,67 % углерода и 93,33 % железа;
- 2) постоянством температуры плавления.

В сплавах может одновременно наблюдаться структура твердого раствора и механической смеси или твердого раствора и химического соединения. В некоторых случаях присутствуют все три разновидности структуры.

Как правило, твердые растворы имеют пониженную твердость и высокую пластичность, в отличие от механических смесей, которые имеют более высокую твердость и меньшую пластичность.

Химические соединения тверды и хрупки. Химические соединения металлов с углеродом называются **карбидами**. Карбиды характеризуются высокой твердостью и износостойкостью и эти свойства сообщают материалам, в которых они находятся.

## 1.2 Диаграммы состояния бинарных сплавов

При исследовании строения сплавов, при выборе режимов термической обработки, горячей обработки давлением, температуры разлива жидких сплавов в литейные формы и т.д. используют диаграммы состояния сплавов.

Диаграммы строят для сплавов одной системы на основании ряда кривых охлаждения сплавов с различным содержанием компонентов. При построении

таких диаграмм на горизонтальной оси (оси абсцисс) откладывают долю компонентов сплава в процентах, а по вертикальной оси (оси ординат) – значения температуры в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Критические точки с кривых охлаждения переносятся на диаграмму и соединяются плавными линиями.

Так, на рисунке 1.4 ось ординат I соответствует чистому компоненту А, ось ординат II – чистому компоненту В. Между А и В располагаются сплавы.

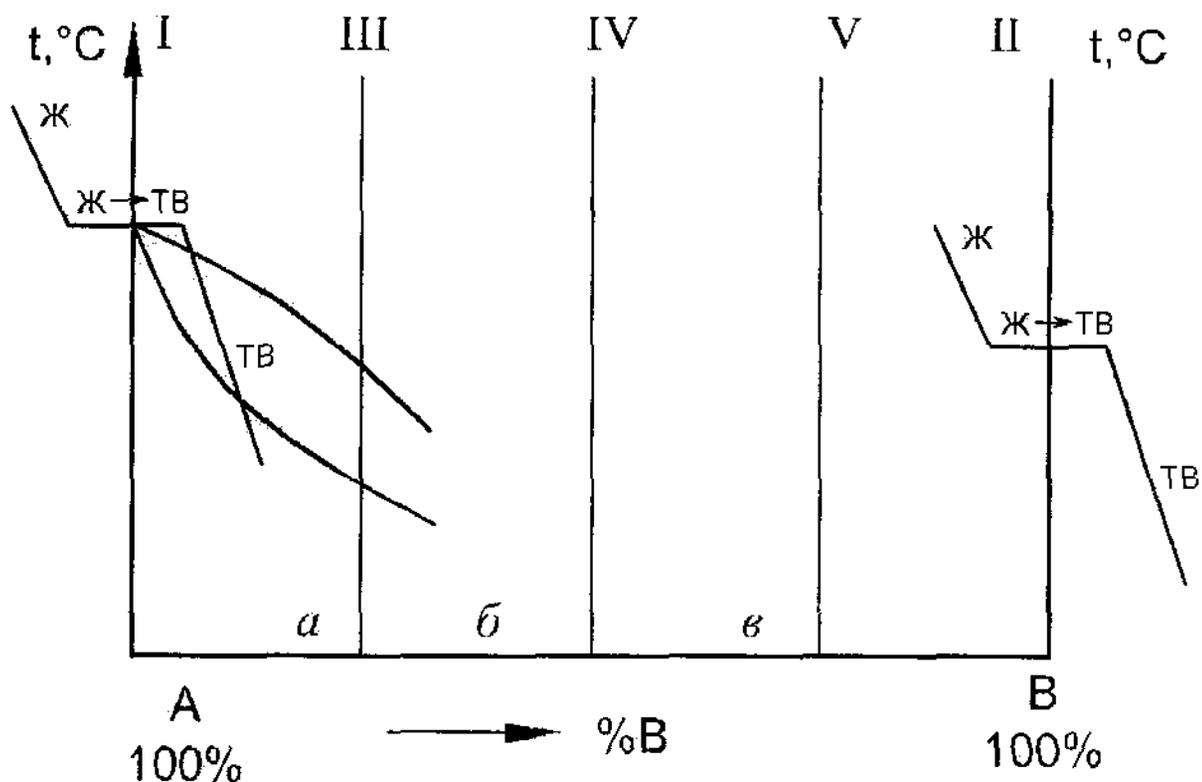


Рисунок 1.4 - Принцип построения диаграммы состояния бинарных сплавов

Общее содержание компонентов в сплаве 100%, и каждая точка на оси абсцисс соответствует концентрации (составу) сплава. Так, сплав III (точка а) содержит 25% компонента В и 75% компонента А; сплав IV (точка б) – 50% В и 50% А; точка V (точка в) – 75% В и 25% А.

Площадки на кривых охлаждения чистых компонентов А и В соответствуют температурам плавления этих компонентов. Сплавы, в отличие от чистых металлов, кристаллизуются в интервале температур, т.е. имеют температурные точки начала  $T_n$  и конца  $T_k$  кристаллизации.

Если точки одинакового смысла соединить плавными линиями, как показано на рисунке 1.4, получим линии диаграммы, относящиеся к области сплавов.

Таким образом, диаграмма состояния – это графическое изображение структуры сплавов в зависимости от температуры и концентрации.

## Основные типы диаграмм состояния бинарных сплавов

**Бинарными** называются сплавы, состоящие из двух компонентов.

Тип диаграммы зависит от того, в какое взаимодействие вступают между собой компоненты сплава.

**I** Если компоненты сплава **не способны растворяться друг в друге**, диаграмма имеет вид, приведенный на рисунке 1.5.

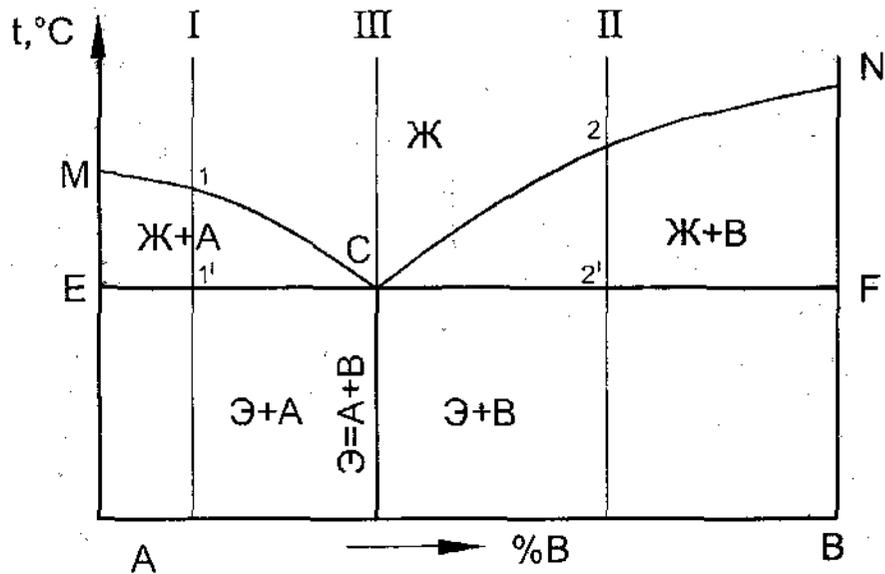


Рисунок 1.5 - Диаграмма состояния для случая, когда компоненты А и В не растворяются друг в друге и при затвердевании образуют механическую смесь – эвтектику

На этой диаграмме М и N – температуры кристаллизации (плавления) чистых компонентов А и В. Точки 1 и 2 – температуры начала кристаллизации (конца плавления) сплавов I и II системы. Линия МСN, соединяющая температуры начала кристаллизации (конца плавления) всех сплавов системы, называется линией **ликвидус** (от английского слова «liquid», что означает «жидкий»). Выше этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии. Заканчивается кристаллизация сплавов I и II в точках 1' и 2'.

Линия EF, соединяющая температуры конца кристаллизации (начала плавления) всех сплавов системы, называется линией **солидус** (от английского слова «solid», что означает «твердый»).

Расстояние между линиями ликвидус и солидус – 1- 1' и 2 - 2' называется **интервалом кристаллизации**. В интервале 1- 1' из жидкости кристаллизуется компонент А, в интервале 2 - 2' - компонент В.

Сплав III системы кристаллизуется в точке С – постоянной и самой низкой температуре кристаллизации. Этот единственный сплав диаграммы состава точки О называется **эвтектическим**, а структура его – **эвтектикой**. Эвтектика представляет собой механическую смесь компонентов А и В (об этом говорит проекция точек Е и F на ось концентраций АВ). Линия EF называется **линией эвтектики**. В данном случае она совпадает с линией солидус. При температуре,

соответствующей линии EF, жидкая фаза во всех сплавах системы переходит в эвтектику, но лишь в одном эвтектическом сплаве III 100% жидкой фазы → 100% эвтектики.

Сплавы, расположенные слева от линии CO, называются **доэвтектическими**. Их структура состоит из зерен компонента А и зерен эвтектики (А+В). Сплавы, расположенные справа от линии CO, называются **заэвтектическими**. Их структура состоит из зерен компонента В и эвтектики.

Образование эвтектики происходит при постоянной температуре (соответствующей линии EF) и постоянной концентрации (соответствующей точке O) по реакции:  $Ж_C \leftrightarrow Эвтектику_C(A_E + B_F)$ .

Таким образом, отличительный признак диаграммы с нерастворяющимися компонентами - это:

- 1) наличие характерной точки «С» - точки эвтектики;
- 2) линия эвтектики EF пересекается с температурными осями компонентов А и В.

II Если компоненты сплава в твердом состоянии способны **ограниченно растворяться друг в друге**, линия эвтектики на диаграммах не пересекается с температурными осями компонентов или пересекается с одной из осей (рисунок 1.6). Точка «обрыва» линии будет соответствовать максимальной растворимости одного компонента в другом.

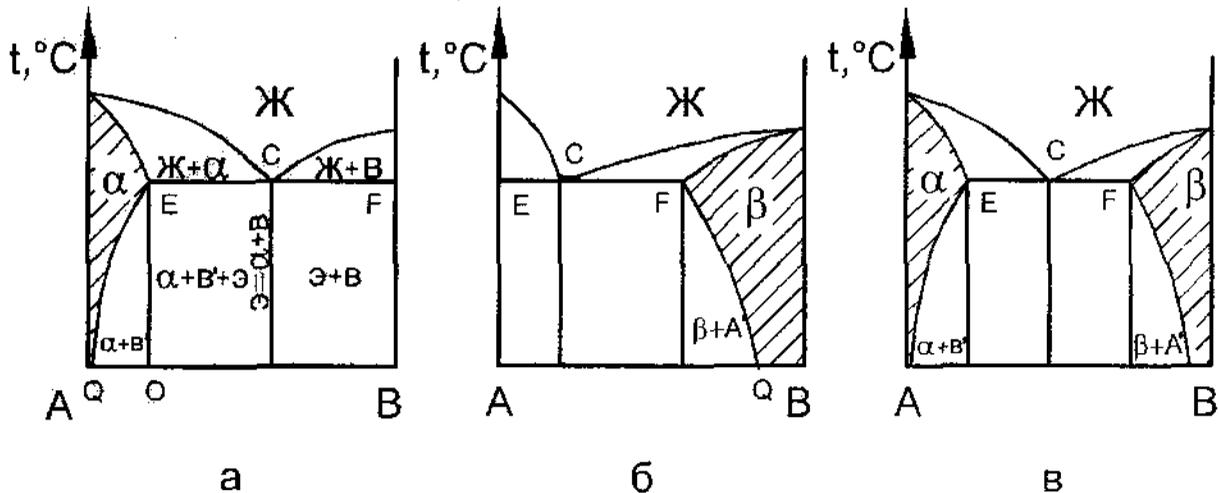


Рисунок 1.6 - Диаграммы с ограниченной растворимостью компонентов:

- а) компонент В растворяется в А, и образуется ограниченный твердый раствор  $\alpha$  на базе компонента А;
- б) компонент А растворяется в В, и образуется ограниченный твердый раствор  $\beta$  на базе компонента В;
- в) имеет место ограниченная растворимость со стороны обоих компонентов, т.е. образуются  $\alpha$  и  $\beta$  - растворы

Линия EQ (случай «а») называется **линией предельной растворимости** компонента В в А. С уменьшением температуры от точки Е до точки Q раство-

римость В в А уменьшается по линии EQ, и избыточный компонент В выделяется в виде В' в области диаграммы QEO.

Аналогично в случае «б» компонент А выделяется из В в виде А'.

Образование эвтектики происходит по реакции:

а:  $Ж_C \leftrightarrow \text{эвтектику}_C(\alpha_E + \beta_F)$ ;

б:  $Ж_C \leftrightarrow \text{эвтектику}_C(A + \beta_F)$ ;

в:  $Ж_C \leftrightarrow \text{эвтектику}_C(\alpha_E + \beta_F)$ .

III Если компоненты сплава в твердом состоянии **неограниченно** растворяются друг в друге, то диаграмма имеет вид, приведенный на рисунке 1.7, а.

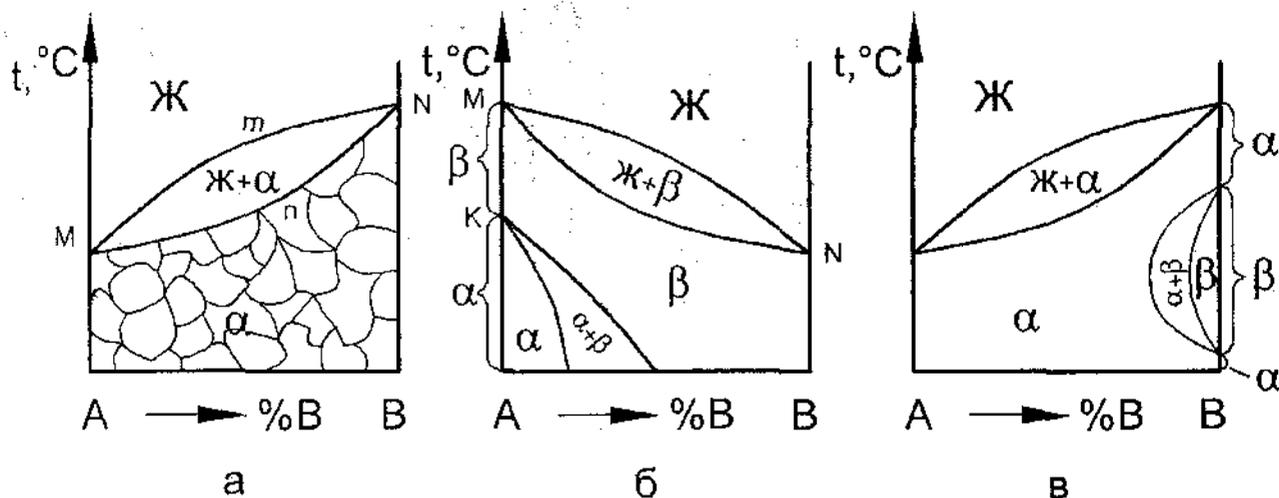


Рисунок 1.7 - Диаграммы с неограниченной растворимостью компонентов А и В друг в друге

На диаграмме «а» линия MmN – ликвидус, MnN – солидус. Между ними кристаллизуются из жидкой фазы зерна неограниченного твердого раствора  $\alpha$  с разной концентрацией компонентов А и В в  $\alpha$ -твердом растворе.

Многие вещества, в том числе и металлы, в твердом состоянии могут иметь модификации, отличающиеся друг от друга кристаллической решеткой и комплексом свойств. Обычно эти модификации обозначаются греческими буквами  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ .

Переход одной модификации в другую называется **полиморфным превращением**.

Так, в случае «б» компонент А испытывает превращение  $\alpha \leftrightarrow \beta$  в точке К, т.е. существует в двух модификациях -  $\alpha$  и  $\beta$ . Линии KF и KE характеризуют начало и конец полиморфного превращения в сплавах системы.

В случае «в» полиморфизм имеет место со стороны компонента В. Он дважды испытывает полиморфные превращения:  $\alpha \leftrightarrow \beta$  в точке К и  $\beta \leftrightarrow \alpha$  в точке R при нагреве.

IV Кроме эвтектического, компоненты сплава могут испытывать также перитектическое и эвтектоидное превращения.

Диаграмма состояния с перитектическим превращением приведена на рисунке 1.8.

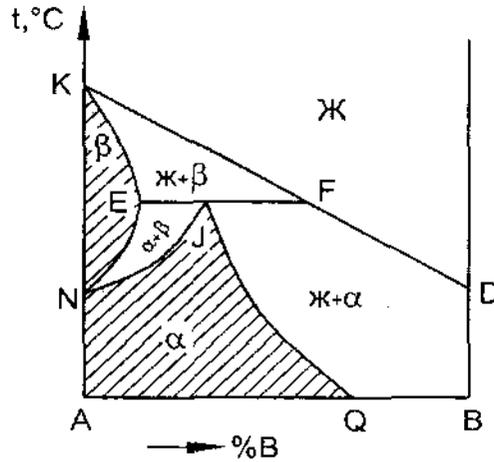


Рисунок 1.8 - Диаграмма состояния с перитектическим превращением

На диаграмме KFD - линия ликвидус, KEJQ - солидус. N - точка полиморфного превращения у компонента А.  $\alpha$  и  $\beta$  - ограниченные твердые растворы на базе компонента А. EF - линия перитектики. При температуре, соответствующей этой линии, ранее выделившиеся фазы Ж и  $\beta$ , расположенные выше линии EF, взаимодействуют между собой с образованием в точке J перитектики новой фазы  $\alpha$ . Взаимодействие происходит по реакции:  $Ж_E + \beta_F \leftrightarrow \alpha_J$ .

Эвтектоидное превращение отличается от эвтектического тем, что осуществляется распад не жидкой, а твердой фазы (рисунок 1.9).

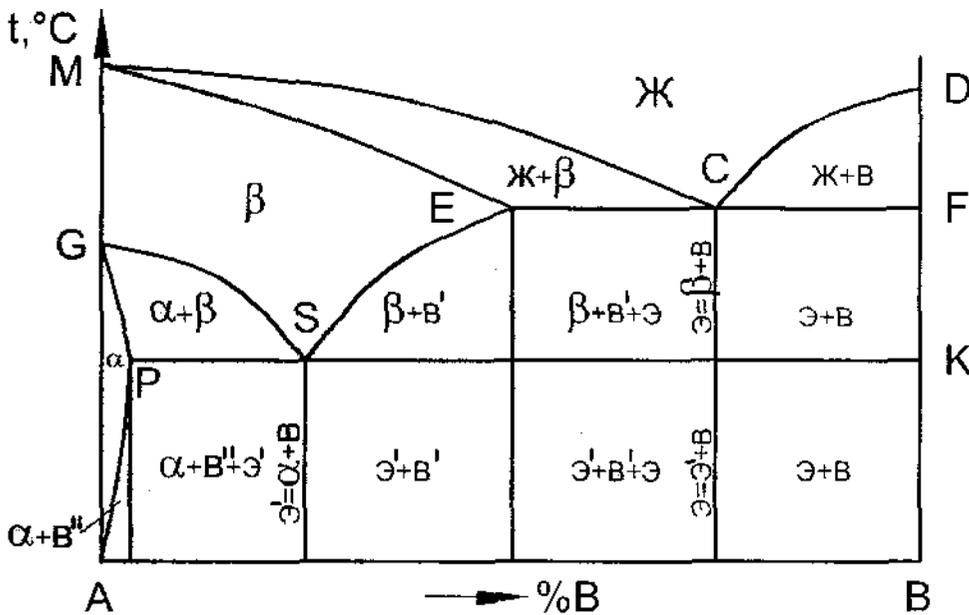


Рисунок 1.9 - Диаграмма с эвтектическим и эвтектоидным превращениями

На диаграмме, приведенной на рисунке 1.9, компонент А существует в двух модификациях  $\alpha$  и  $\beta$  и в точке G испытывает полиморфное превращение  $\alpha \leftrightarrow \beta$ . EF – линия эвтектики. По этой линии протекает эвтектическое превращение по реакции:  $Ж_C \leftrightarrow Э_C(\beta_E + B_F)$ .

PK – эвтектоидная линия, S – эвтектоидная точка. Во всех сплавах системы по линии PK происходит эвтектоидное превращение  $\beta$ -фазы в эвтектоидную механическую смесь  $Э'$ , состоящую из зерен компонентов А и В (см. концы линии PK) по реакции:  $\beta_S \leftrightarrow Э'_S(A+B)$ .

Эвтектоидная механическая смесь отличается от эвтектической большей дисперсностью строения.

V На рисунке 1.10 приведена диаграмма для случая, когда компоненты сплава А и В вступают в химическую реакцию и образуют химическое соединение постоянного состава  $A_nB_m$ .

Наличие химического соединения  $A_nB_m$  изображается на диаграмме вертикальной линией, заканчивающейся температурой плавления этого соединения. Линия ОК делит диаграмму А-В на две самостоятельные части: I – с компонентами А и  $A_nB_m$ , II – с компонентами  $A_nB_m$  и В. Каждая часть может быть представлена любыми диаграммами состояния.

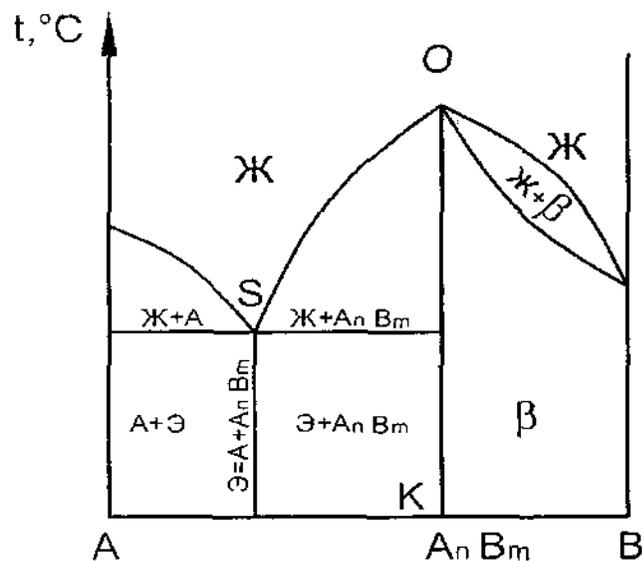


Рисунок 1.10 - Компоненты сплава А и В вступают в химическую реакцию и образуют химическое соединение постоянного состава  $A_nB_m$

### 1.3 Построение кривых охлаждения (нагрева) сплавов

Кривые охлаждения (нагрева) строятся в координатах температура – время (см. раздел 1.2). Существует общее правило построения кривых охлаждения (нагрева), сущность которого заключается в следующем:

1. Проводится вертикальная линия (линия сплава), отвечающая составу заданного сплава до пересечения со всеми линиями диаграммы. Отмечаются цифрами точки пересечения этой линии с линиями диаграммы.

2. Если линия сплава пересекает температурные области диаграммы, в которых находятся в равновесии одна или две фазы, то этим температурным областям соответствуют наклонные участки кривой охлаждения (нагрева). Градус наклона определяется произвольно.

3. Если линия сплава пересекает горизонтальную линию диаграммы, то на кривой охлаждения вычерчивается площадка, соответствующая температуре горизонтальной линии. При этой температуре происходит то или иное превращение (эвтектическое, эвтектоидное, перитектическое), в котором принимают участие три фазы.

Например, сплавам 1, 2, 3 диаграммы, приведенной на рисунке 1.11, соответствуют кривые охлаждения:

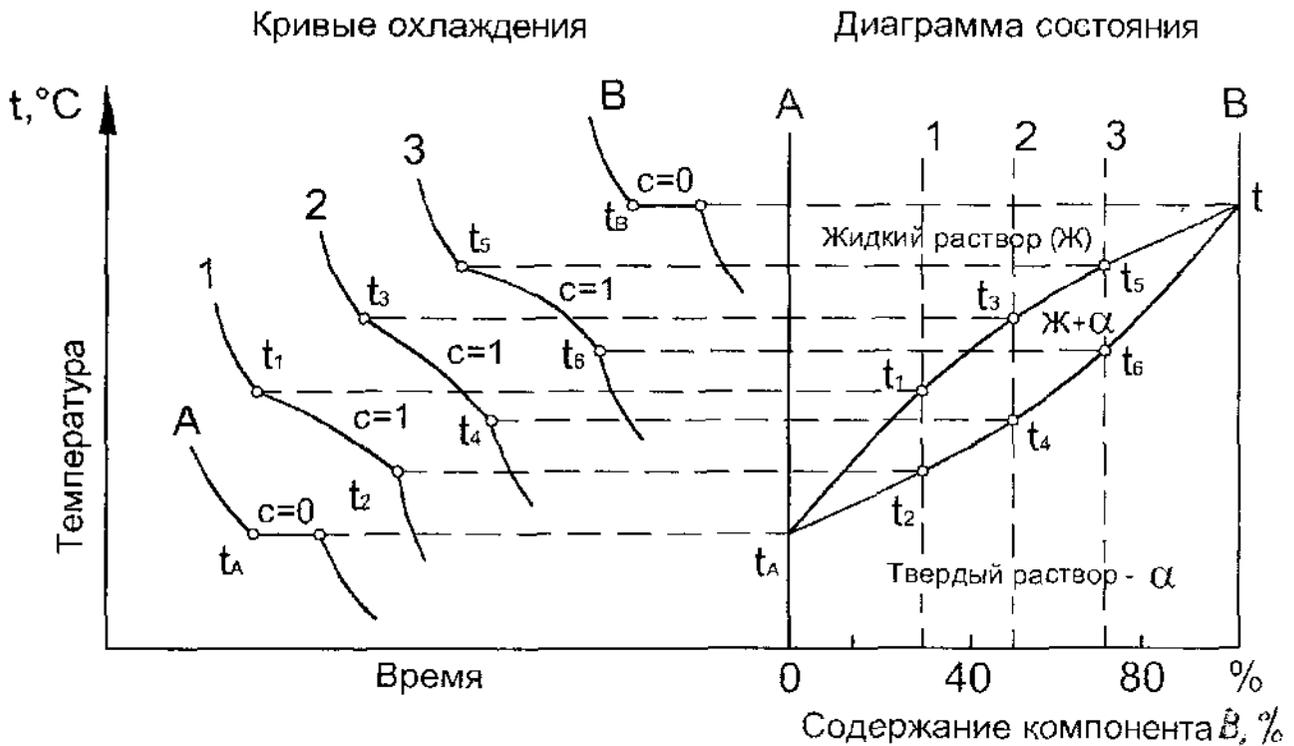


Рисунок 1.11 – Пример построения кривых охлаждения сплавов 1, 2, 3

## 1.4 Законы Курнакова

Еще в начале нашего столетия советский металлофизик Н.С. Курнаков установил закономерность изменения многих физико-механических свойств двойных сплавов в зависимости от их состава и структуры.

В сплавах, образующих механические смеси, свойства (электросопротивление, коэрцитивная сила, температурный коэффициент электросопротивления, твердость, прочность и др.) в функции состава изменяются линейно. Свойства сплава имеют промежуточное значение между свойствами его компонентов (рисунок 1.12, а).

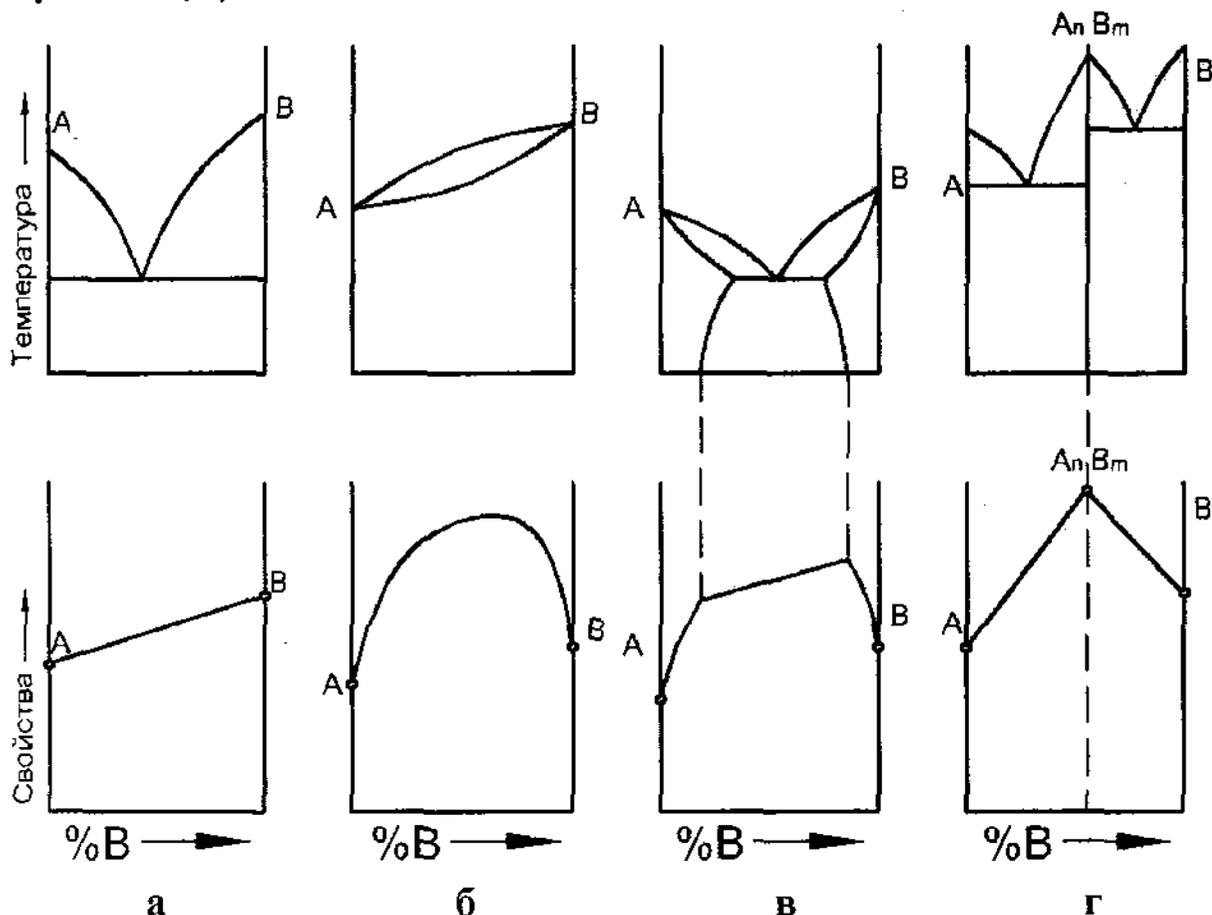


Рисунок 1.12 - Зависимость свойств сплавов от вида диаграмм состояния (по Н.С. Курнакову)

В сплавах, образующих твердые растворы, эти свойства изменяются по криволинейной зависимости (рисунок 1.12, б). Например, электросопротивление сплавов выше электросопротивления его компонентов.

Если на диаграмме состояния есть однофазные и двухфазные области, то свойства сплавов при изменении состава в однофазной области будут меняться по криволинейной зависимости, а в двухфазной – по линейной (рисунок 1.12, в).

В случае образования химического соединения на диаграмме концентрация – свойства концентрация химического соединения отвечает максимуму

(или минимуму) перелома на кривой (в данном случае прямой). Эта точка называется сингулярной точкой (рисунок 1.12, г).

Закономерность, отмеченная Н.С. Курнаковым, является научной основой при разработке составов сплавов с заданными свойствами. Это следует из того, что при образовании механических смесей (рисунок 1.12, а) свойства сплавов находятся в интервале между свойствами чистых компонентов и не могут превосходить их.

Неограниченные твердые растворы (рисунок 1.12, б) имеют свойства, отличающиеся от свойств компонентов А и В, причем всегда найдется сплав, свойства которого **максимально** отличаются от свойств А и В. Так, можно получить сплавы с максимальным электросопротивлением и другими физическими свойствами.

Вообще твердым растворам присуща высокая пластичность и сплавы со структурой твердых растворов хорошо обрабатываются давлением в холодном состоянии, хорошо свариваются.

На рисунке 1.12, в области механической смеси, где свойства сплавов меняются по прямой линии, можно ожидать более высоких значений временного сопротивления разрыву, т.к. свойства смеси будут представлять среднее из свойств фаз, образующих смесь. В этом случае возможно сочетание фаз с высокой пластичностью и высокой твердостью, что и дает повышение прочности.

Химические соединения (рисунок 1.12, г), как уже указывалось ранее, особенно карбиды, очень твердые, но хрупки.

**Задание:** Дать анализ диаграмме состояния и ответить на вопросы теста.

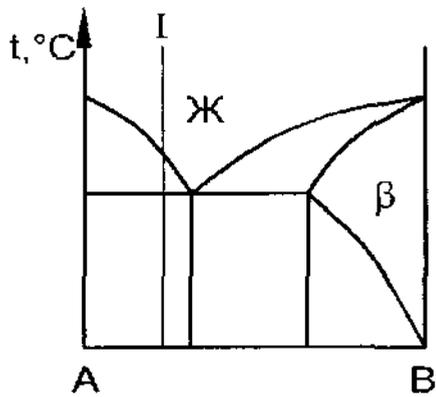
#### **Методические указания:**

Дать анализ диаграмме состояния - это значит:

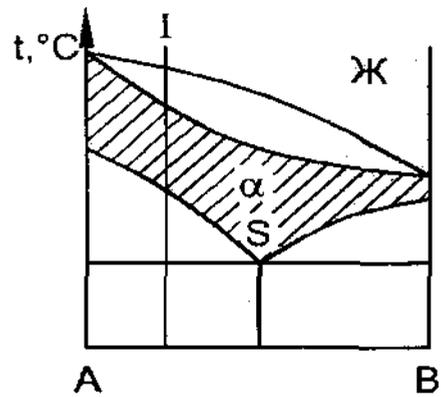
- 1) указать тип диаграммы;
- 2) указать смысловое значение всех точек и линий диаграммы;
- 3) дать определение фазам и структурным составляющим;
- 4) указать названия превращений, протекающих при постоянной температуре, и написать их реакции;
- 5) построить кривую охлаждения (нагрева) заданного сплава и дать описание процессов, происходящих при охлаждении (или нагреве);
- 6) ответить на вопросы теста.

# Индивидуальные задания

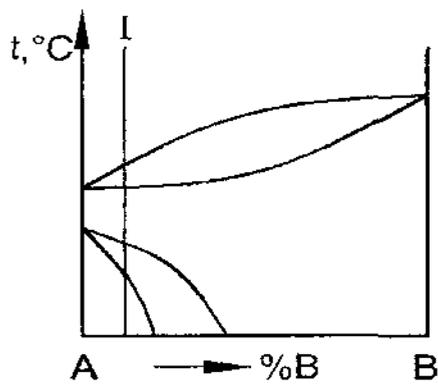
## Вариант №1



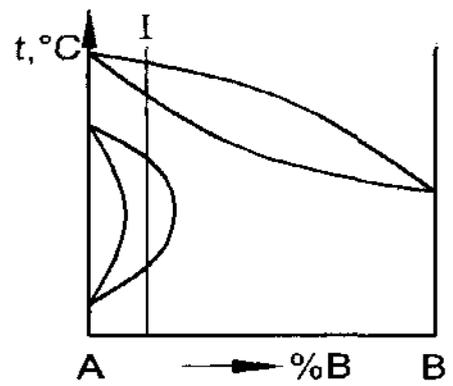
## Вариант №2



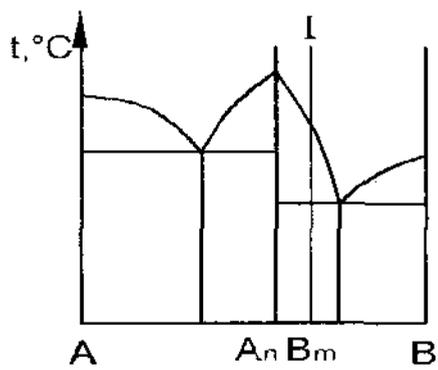
## Вариант №3



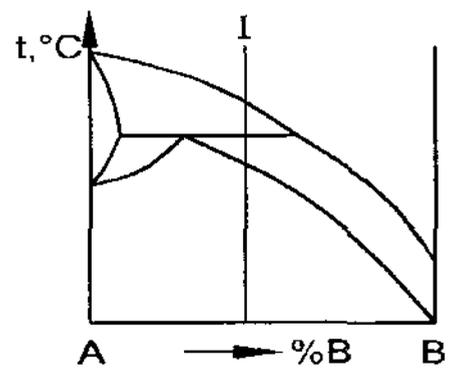
## Вариант №4



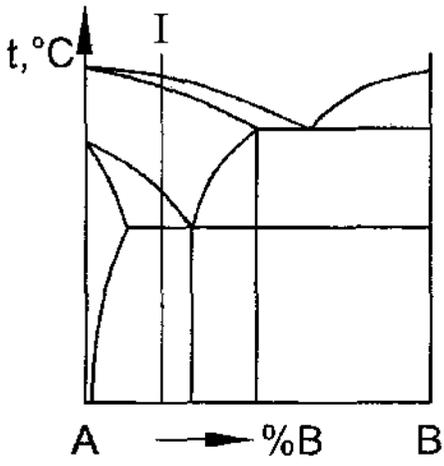
## Вариант №5



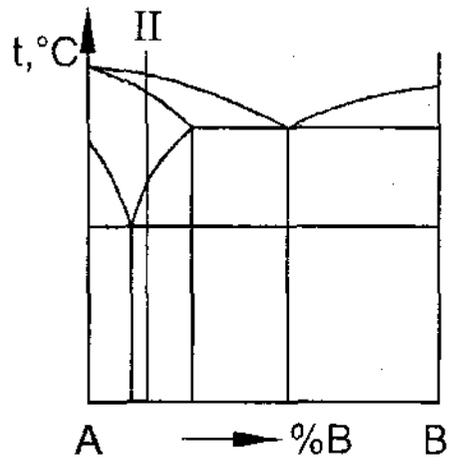
## Вариант №6



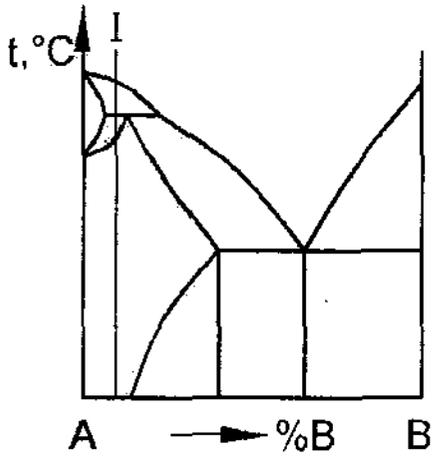
Вариант №7



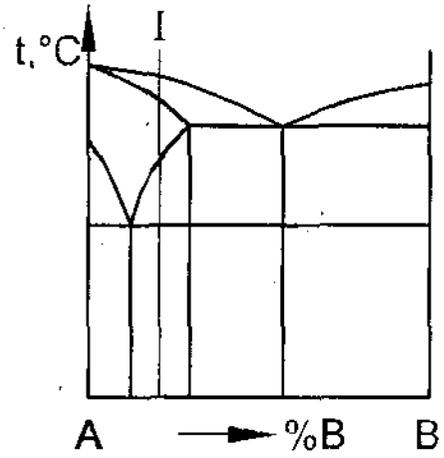
Вариант №8



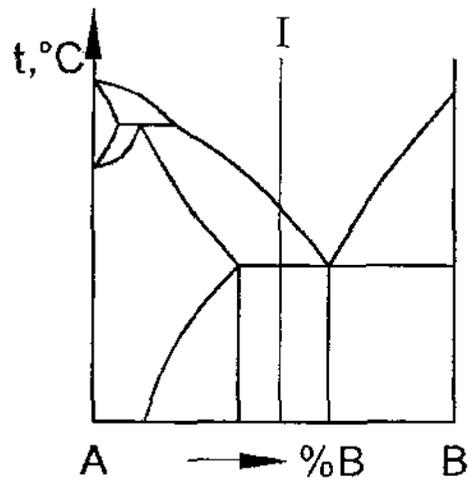
Вариант №9



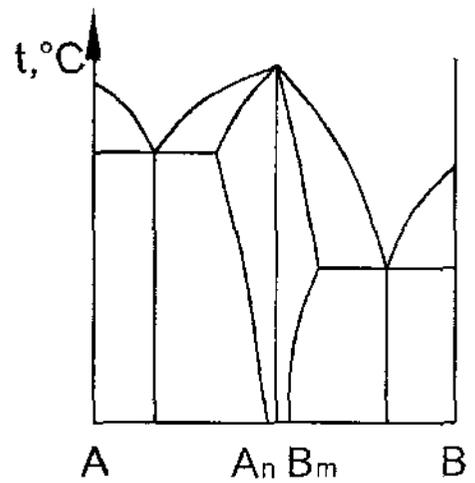
Вариант №10



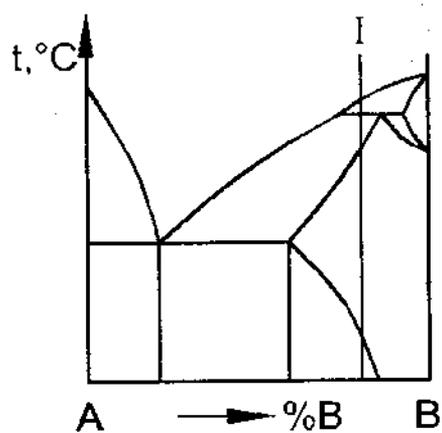
Вариант №11



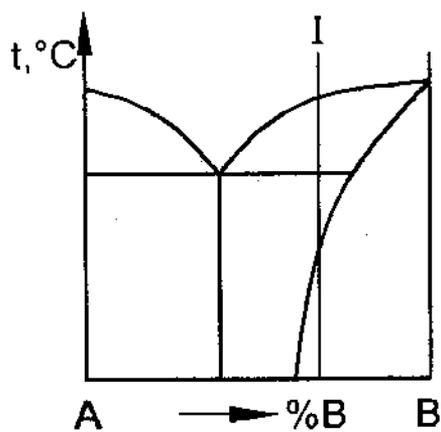
Вариант №12



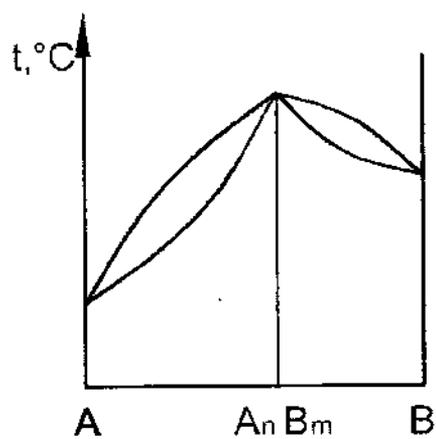
Вариант №13



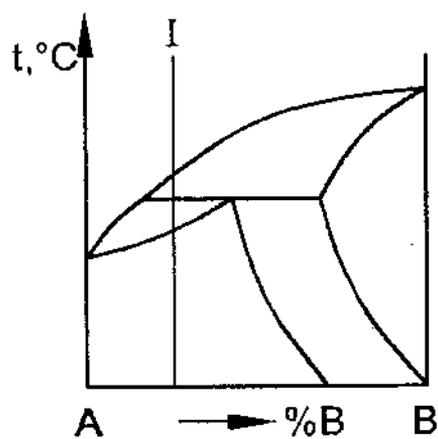
Вариант №14



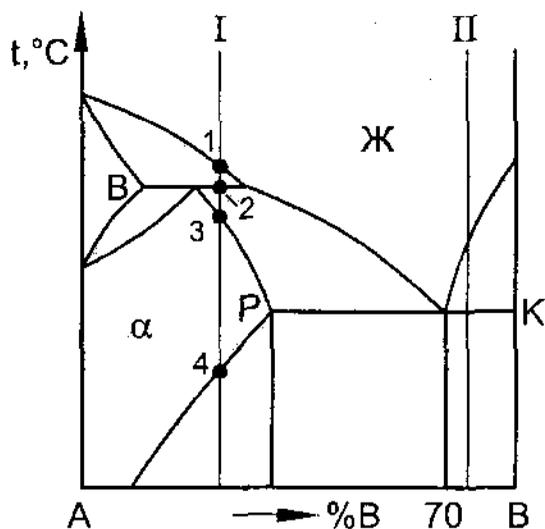
Вариант №15



Вариант №16



Тест 1



1. В какой точке начинается процесс плавления в сплаве I системы?

**Ответы:** 1) в точке 1; 2) в точке 2; 3) в точке 3; 4) в точке 4.

2. Из каких кристаллов состоит эвтектика сплава II?

**Ответы:** 1) A+B; 2)  $\alpha$ +B; 3) A+ $\alpha$ .

3. Что собой представляют кристаллы  $\alpha$  на диаграмме?

**Ответы:** 1) ограниченный твердый раствор B в A; 2) ограниченный твердый раствор A в B; 3) неограниченный твердый раствор компонентов A и B; 4) механическую смесь компонентов A и B.

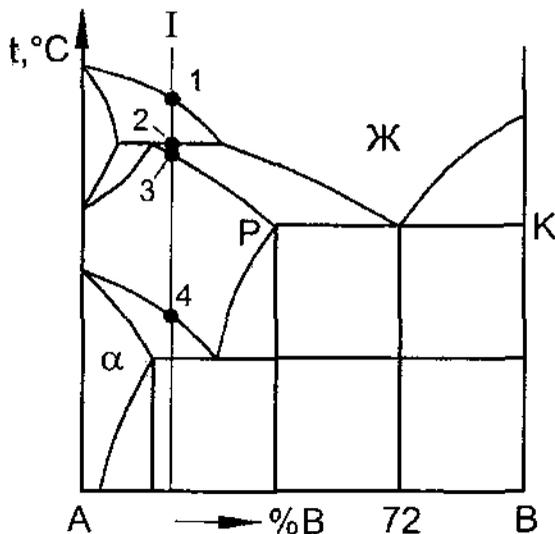
4. Какая реакция описывает превращение, протекающее по линии PK?

**Ответы:** 1)  $\text{Ж} \leftrightarrow \alpha + \text{B}$ ; 2)  $\alpha \leftrightarrow \text{A} + \text{B}$ ; 3)  $\alpha + \text{A} \rightarrow \beta$ ; 4)  $\alpha + \text{B} \rightarrow \text{A}$ .

5. Какую концентрацию имеет эвтектический сплав?

**Ответы:** 1) 70%A+30%B; 2) 70%B+30%A.

Тест 2



1. Какую концентрацию имеет эвтектический сплав?

**Ответы:** 1) 72%A+28%B; 2) 72%B+28%A.

2. Сколько полиморфных превращений имеет компонент A?

**Ответы:** 1) одно; 2) два; 3) три.

3. Что представляет собой  $\alpha$ -фаза?

**Ответы:** 1) ограниченный твердый раствор A в B; 2) ограниченный твердый раствор B в A; 3) механическую смесь; 4) химическое соединение.

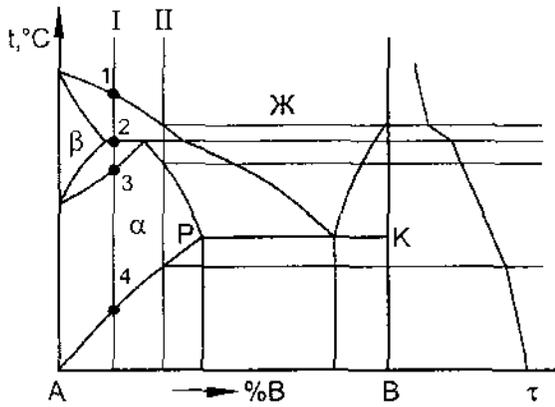
4. Какая реакция описывает превращение, протекающее по линии PK?

**Ответы:** 1)  $\text{Ж} \leftrightarrow \text{A} + \text{B}$ ; 2)  $\text{Ж} \leftrightarrow \alpha + \text{B}$ ; 3)  $\text{Ж} \leftrightarrow \alpha + \beta$ ; 4)  $\alpha + \beta \leftrightarrow \text{Ж}$ .

5. В какой точке диаграммы сплав I начнет плавиться?

**Ответы:** 1) в точке 1; 2) в точке 2; 3) в точке 3; 4) в точке 4.

### Тест 3



1. Относится ли сталь 40X к бинарным сплавам?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. В какой точке диаграммы заканчивается кристаллизация сплава I?

**Ответы:** 1) в точке 1; 2) в точке 2; 3) в точке 3; 4) в точке 4.

3. В каком твердом растворе:  $\alpha$  или  $\beta$  растворится большее количество компонента В?

**Ответы:** 1) в  $\alpha$ ; 2) в  $\beta$ .

4. Какие фазы участвуют в эвтектическом превращении?

**Ответы:** 1) Ж, А, В; 2) Ж,  $\alpha$ , В; 3) Ж,  $\alpha$ ,  $\beta$ ; 4) Ж, А,  $\beta$ .

5. Правильно ли построена кривая охлаждения для сплава II?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест 4

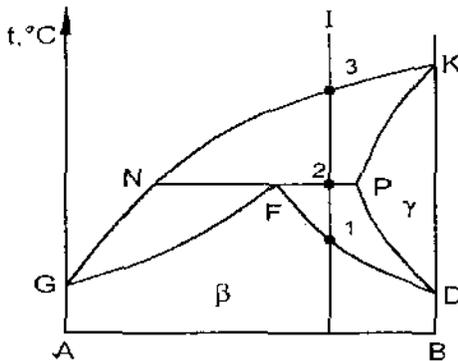


Рисунок 1

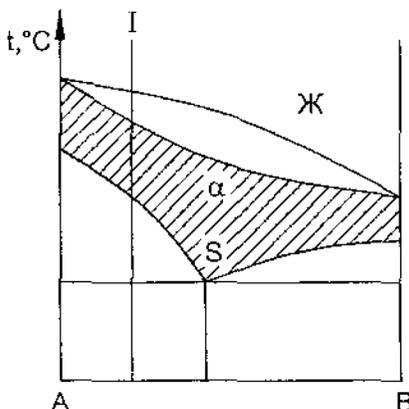


Рисунок 2

1. Для какого типа диаграммы свойства сплавов всей системы меняются по закону прямой линии?

**Ответы:** 1) диаграммы, когда компоненты неограниченно растворяются друг в друге; 2) диаграммы, когда компоненты нерастворимы друг в друге и образуют механическую смесь - эвтектику; 3) диаграммы, когда компоненты имеют ограниченную растворимость друг в друге.

2. В какой точке начинается плавление сплава I (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) I; 2) 2; 3) 3.

3. Как называется механическая смесь, образующаяся в точке S диаграммы (рисунок 2)?

**Ответы:** 1) эвтектика; 2) эвтектоид; 3) перитектика.

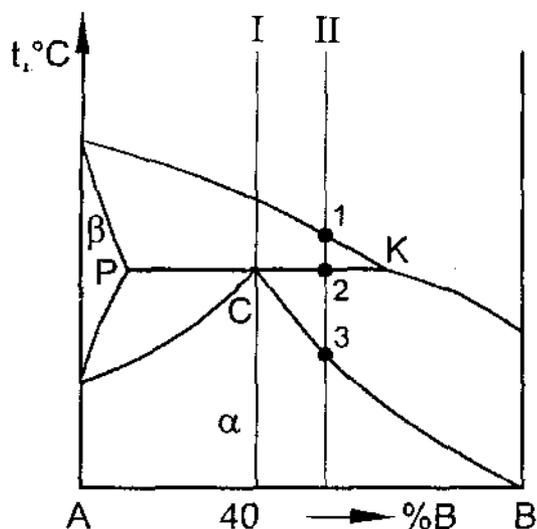
4. Могут ли в сплавах протекать полиморфные превращения?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Как называется химическое соединение, описываемое формулой  $Me_3C$ , где Me - металл?

**Ответы:** 1) цементит; 2) карбид; 3) интерметаллид.

### Тест 5



1. Какую концентрацию имеет сплав I?

**Ответы:** 1) 40% А и 60% В; 2) 40% В и 60% А.

2. В скольких модификациях может существовать компонент А на диаграмме?

**Ответы:** 1) одной; 2) двух; 3) трех.

3. Что представляет собой фаза, образующаяся в результате превращения, протекающего по линии РК?

**Ответы:** 1) ограниченный твердый раствор; 2) неограниченный твердый раствор; 3) механическую смесь; 4) химическое соединение.

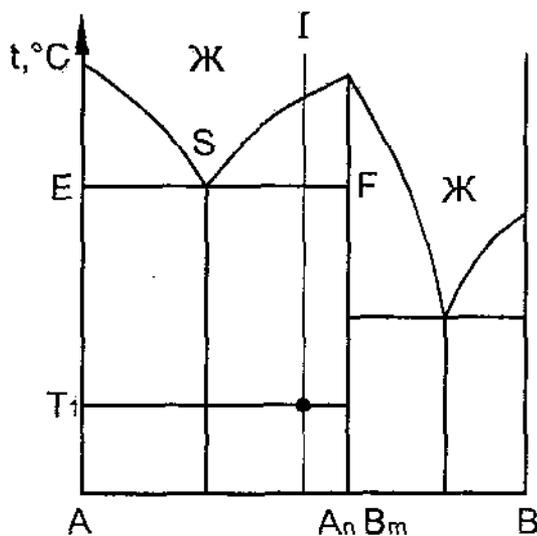
4. В какой точке заканчивается кристаллизация сплава II?

**Ответы:** 1) в точке 1; 2) в точке 2; 3) в точке 3.

5. Сколько твердых фаз участвуют в перитектической реакции, протекающей по линии РК?

**Ответы:** 1) одна; 2) две; 3) три.

### Тест 6



1. Какие признаки свойственны химическому соединению?

**Ответы:** 1) постоянство состава; 2) постоянство температуры плавления; 3) наличие формулы; 4) образование кристаллической решетки, отличной от решетки компонентов; 5) скачкообразное изменение свойств.

2. Могут ли растворяться в химическом соединении  $A_n B_m$  компоненты А и В?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какую структуру будет иметь сплав I при температуре  $T_1$ ?

**Ответы:** 1)  $A + A_n B_m$ ; 2)  $A_n B_m + \text{эвт.}$ ; 3)  $A + B$ ; 4)  $B + A_n B_m$ .

4. Какие фазы участвуют в превращении, протекающем по линии EF диаграммы?

**Ответы:** 1) Ж, А, В; 2) Ж, А,  $A_n B_m$ ; 3)  $A_n B_m$ , А, В.

5. Сколько видов механических смесей образуется на диаграмме?

**Ответы:** 1) одна; 2) две; 3) три.

### Тест 7

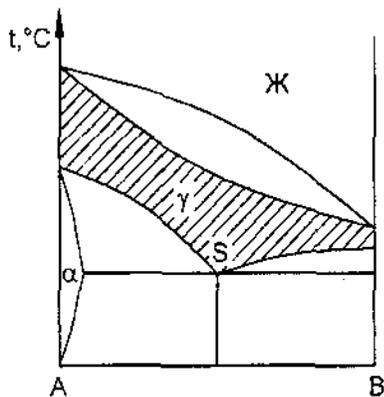


Рисунок 1

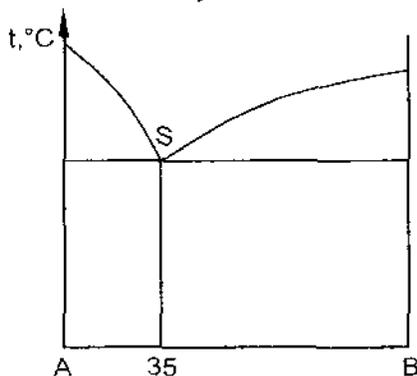


Рисунок 2

1. Что представляет собой фаза  $\alpha$ ?

**Ответы:** 1) ограниченный твердый раствор; 2) неограниченный твердый раствор.

2. Сколько полиморфных превращений у компонента А?

**Ответы:** 1) одно; 2) два; 3) три.

3. Способны ли растворяться друг в друге компоненты А и В на диаграмме (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какого типа структура образуется при охлаждении в сплаве состава точки S (рисунок 2)?

**Ответы:** 1) твердый раствор; 2) механическая смесь; 3) химическое соединение.

5. Какую концентрацию имеет сплав состава точки S?

**Ответы:** 1) 35%A+65%B; 2) 65%A+35%B.

### Тест 8

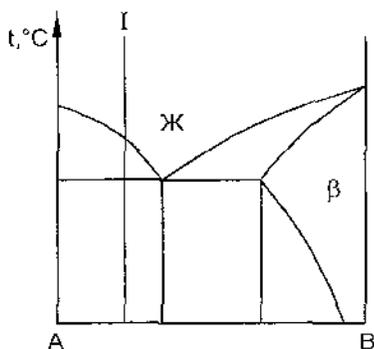


Рисунок 1

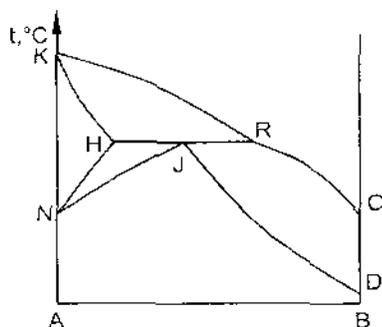


Рисунок 2

1. Из каких кристаллов состоит эвтектика сплава I (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) A+ $\beta$ ; 2)  $\alpha$ +B; 3)  $\alpha$ + $\beta$ .

2. Что представляют собой кристаллы  $\beta$  (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) неограниченный твердый раствор A в B; 2) ограниченный твердый раствор B в A.

3. Какая линия на диаграмме (рисунок 2) характеризует конец кристаллизации всех сплавов системы?

**Ответы:** 1) KRC; 2) KHRC; 3) KHJD; 4) KHNJD.

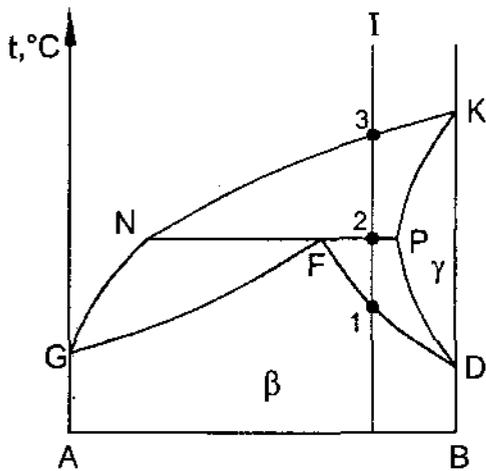
4. Какие точки и линии на диаграмме (рисунок 2) имеют отношение к полиморфизму?

**Ответы:** 1) K, KH, KR; 2) N, NH, NJ; 3) J, NJ, JD.

5. Сколько фаз принимают участие в превращении, протекающем по линии HR?

**Ответы:** 1) одна; 2) две; 3) три.

### Тест 9



1. Какая линия на диаграмме состояния является солидусом?

**Ответы:** 1) GFP; 2) GFD; 3) GFPK.

2. Какой смысл на диаграмме имеет точка Д?

**Ответы:** 1) температура кристаллизации компонента В; 2) точка полиморфного превращения компонента В; 3) точка минимальной растворимости А в В.

3. Какая реакция правильно описывает превращение, протекающее по линии NP?

**Ответы:** 1)  $A+B \leftrightarrow \beta$ ; 2)  $Ж+V \leftrightarrow \beta$ ; 3)  $Ж+\gamma \leftrightarrow \beta$ ; 4)  $Ж+\beta \leftrightarrow \gamma$ .

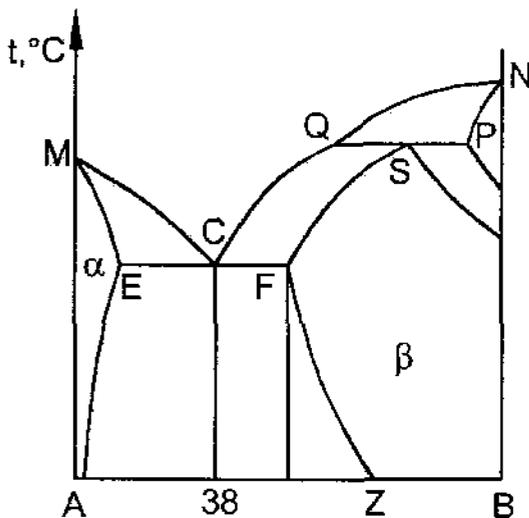
4. Что представляют на диаграмме кристаллы  $\beta$ ?

**Ответы:** 1) неограниченный твердый раствор А в В; 2) ограниченный твердый раствор А в В; 3) ограниченный раствор В в А.

5. В какой точке диаграммы сплав I начнет плавиться?

**Ответы:** 1) 1; 2) 2; 3) 3.

### Тест 10



1. Какой химический состав имеет сплав, соответствующий точке «С»?

**Ответы:** 1) 38%A+62%B; 2) 38%B+62%A.

2. Какая линия на диаграмме состояния является солидусом?

**Ответы:** 1) MEFSPK; 2) MECFSPN; 3) MEFSL.

3. Можно ли отличить по микроструктуре металл А от твердого раствора  $\alpha$ ?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какая точка характеризует максимальную растворимость В в А?

**Ответы:** 1) E; 2) 3; 3) F; 4) Z.

5. Какая из формул описывает эвтектическое превращение?

**Ответы:** 1)  $Ж+\gamma \leftrightarrow \beta$ ; 2)  $\beta+\gamma \leftrightarrow Ж$ ; 3)  $\alpha+\beta \leftrightarrow Ж$ ; 4)  $Ж+\beta \leftrightarrow \gamma$ .

### Тест 11

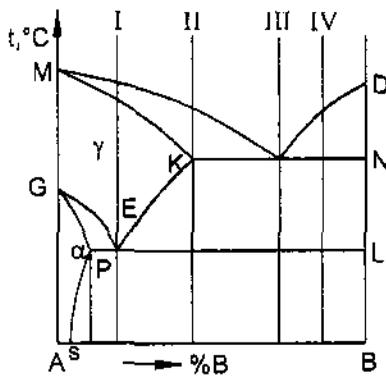


Рисунок 1

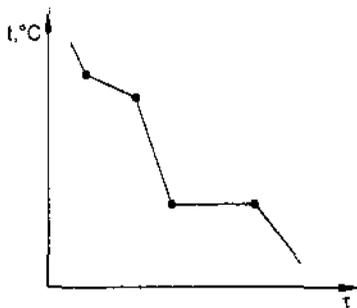


Рисунок 2

1. Какой сплав диаграммы затвердевает при постоянной температуре (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) I; 2) II; 3) III.

2. Для какого сплава построена кривая охлаждения (рисунок 2)?

**Ответы:** 1) I; 2) II; 3) III; 4) IV.

3. Имеет ли компонент А полиморфное превращение?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

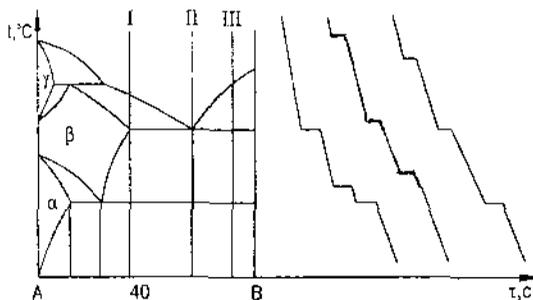
4. В каком твердом растворе:  $\alpha$  или  $\gamma$ -растворимость компонента В наибольшая?

**Ответы:** 1) в  $\alpha$ ; 2) в  $\gamma$ .

5. Какая из реакций описывает эвтектоидное превращение?

**Ответы:** 1)  $\text{Ж} \leftrightarrow \gamma + \text{В}$ ; 2)  $\alpha + \gamma \leftrightarrow \text{В}$ ; 3)  $\alpha + \text{В} \leftrightarrow \gamma$ ; 4)  $\text{Ж} + \gamma \leftrightarrow \text{В}$ .

### Тест 12



1. Какая кривая охлаждения характерна для компонента А?

**Ответы:** 1) 1; 2) 2; 3) 3.

2. Каков химический состав сплава I?

**Ответы:** 1) 60%A+40%B; 2) 40%A+60%B.

3. Как называется сплав, имеющий постоянную и самую низкую температуру плавления?

**Ответы:** 1) перитектический; 2) эвтектический; 3) эвтектоидный.

4. Какие фазы участвуют в эвтектоидном превращении?

**Ответы:** 1) Ж,  $\beta$ , В; 2)  $\alpha$ , В,  $\beta$ ; 3) Ж,  $\gamma$ ,  $\beta$ .

5. Какова структура сплава III при комнатной температуре?

**Ответы:** 1)  $(\beta + \text{В}) + \text{В}$ ; 2)  $(\alpha + \text{В}) + \text{В}$ ; 3)  $\text{В} + (\text{А} + \text{В})$ .

### Тест 13

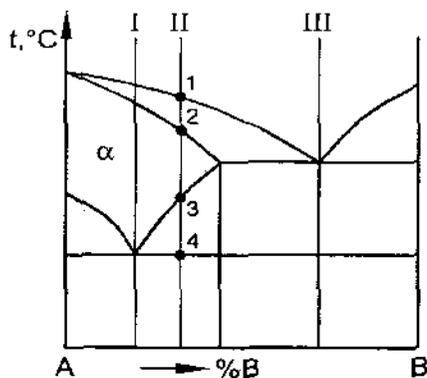


Рисунок 1

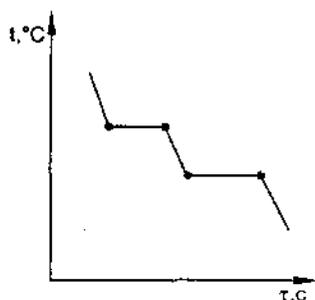


Рисунок 2

1. Какую кристаллическую решетку имеет  $\alpha$ -твердый раствор?

**Ответы:** 1) решетку компонента А; 2) решетку компонента В; 3) образует собственную кристаллическую решетку.

2. В какой точке сплав II полностью закристаллизуется (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) в точке 1; 2) в точке 2; 3) в точке 3; 4) в точке 4.

3. Сколько видов механических смесей образуется на диаграмме (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) одна; 2) две; 3) не образуется.

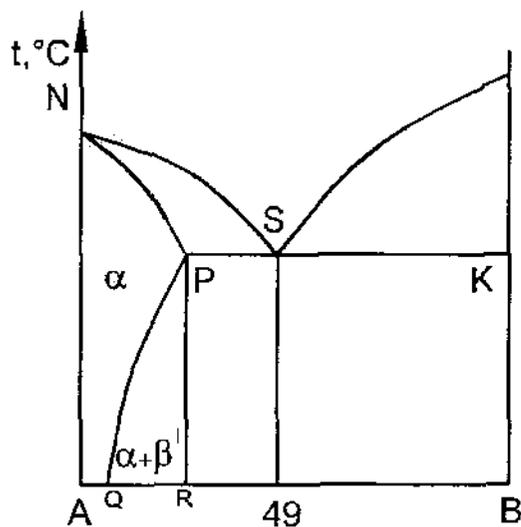
4. Какие фазы участвуют в эвтектоидном превращении?

**Ответы:** 1) Ж,  $\alpha$ , В; 2)  $\alpha$ , А; В; 3) Ж, А, В.

5. Какому сплаву соответствует кривая охлаждения (рисунок 2):

**Ответы:** 1) сплаву I; 2) сплаву II; 3) сплаву III.

### Тест 14



1. От чего зависит тип диаграммы состояния?

**Ответы:** 1) от характера компонентов; 2) от того, в какое взаимодействие вступают компоненты; 3) от температуры и концентрации.

2. С чем связано появление фазы В' в области QPR?

**Ответы:** 1) с уменьшением растворимости В в А с понижением температуры; 2) с наличием полиморфного превращения в точке N; 3) с наличием эвтектоидного превращения.

3. Какие фазы участвуют в эвтектическом превращении (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) А, В, Ж; 2)  $\alpha$ , В, Ж; 3) А,  $\alpha$ , Ж.

4. Какой состав имеет эвтектика (рисунок 1)?

**Ответы:** 1) 49%А+51%В; 2) 49%В+51%А.

5. Присутствует ли в сплавах этой диаграммы полиморфное превращение?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест 15

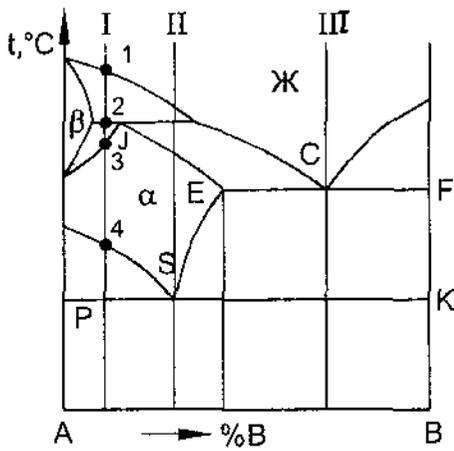


Рисунок 1

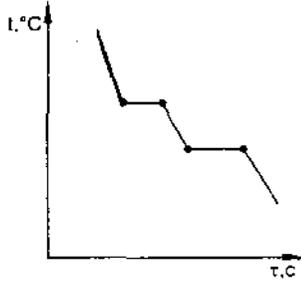


Рисунок 2

1. Сколько ограниченных твердых растворов присутствует на диаграмме (рисунок 1)?

Ответы: 1) один; 2) два; 3) три.

2. В какой точке завершится кристаллизация в сплаве I?

Ответы: 1) в точке 1; 2) в точке 2; 3) в точке 3; 4) в точке 4.

3. В каких точках диаграммы при охлаждении образуются механические смеси?

Ответы: 1) в точке J; 2) в точке C; 3) в точке S.

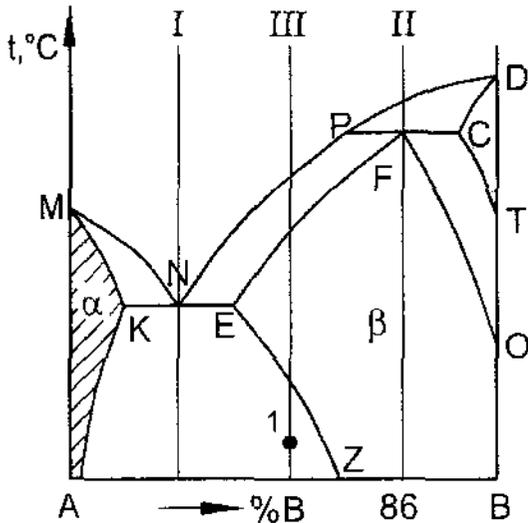
4. Какому сплаву соответствует кривая охлаждения (рисунок 2)?

Ответы: 1) сплаву I; 2) сплаву II; 3) сплаву III.

5. Как называется линия SE диаграммы?

Ответы: 1) линия начала полиморфного превращения; 2) линия предельной растворимости B в A; 3) линия конца кристаллизации.

### Тест 16



1. Укажите линию солидус диаграммы.

Ответы: 1) МКНЕFO; 2) МКНЕFCD; 3) МКЕFCР.

2. Какая точка характеризует максимальную растворимость A в B?

Ответы: 1) Z; 2) E; 3) F.

3. Какие фазы участвуют в эвтектическом превращении?

Ответы: 1) Ж, A, B; 2) Ж, α, β; 3) Ж, A, β; 4) Ж, B, α.

4. Какую концентрацию имеет сплав II?

Ответы: 1) 86% A+14% B; 2) 86% B+14% A.

5. Какую структуру будет иметь сплав III в области I?

Ответы: 1) α+эвт.; 2) α+β; 3) β+A; 4) β+B.

## РАЗДЕЛ 2

# ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

**Цель работы:** научиться определять по диаграмме структуру железоуглеродистых сплавов и иметь представление о процессах формирования структуры при нагреве и охлаждении.

### Задание:

1. Выполнить индивидуальную работу по теории диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C.
2. Закрепить знания, ответив на вопросы теста.

### Общие сведения

#### 2.1 Диаграмма Fe-Fe<sub>3</sub>C

Диаграмма состояния железо-углерод (рисунок 2.1) дает возможность изучить, какие изменения при нагревании и охлаждении происходят в железоуглеродистых сплавах. Она называется равновесной, т.к. описывает все структурные превращения, имеющие место только при медленном охлаждении.

Железоуглеродистые сплавы промышленного значения - это стали и чугуны.

Основными компонентами в сталях и чугунах являются железо и углерод. Остальные элементы (примеси) не оказывают существенного влияния на положение критических точек и линий диаграммы. Поэтому железоуглеродистые сплавы рассматриваются обычно как двойные сплавы и для них строят диаграмму из двух компонентов.

На горизонтальной оси диаграммы откладывается процентное содержание составляющих компонентов: в начальной точке - 100% железа и 0% углерода, затем концентрация углерода увеличивается. Диаграмма заканчивается при содержании углерода 6,67%, что соответствует составу химического соединения железа с углеродом - цементита (Fe<sub>3</sub>C). По этой причине вторым компонентом диаграммы следует считать не углерод, а цементит, количество которого, при изменении углерода от 0 до 6,67%, увеличивается от 0 до 100%.

На вертикальных осях откладываются температуры: на начальной вертикали - критические точки чистого железа, на конечной вертикали - цементита. Между этими вертикалями расположены сплавы. Стали занимают область диаграммы, простирающуюся до концентрации углерода 2,14%, чугуны - от 2,14% до 6,67%.

Критические точки, соответствующие превращениям в сталях и чугунах, соединены плавными линиями.

Ниже приведен анализ диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C.

## Компоненты диаграммы

Основными компонентами диаграммы являются железо и цементит.

**Железо** – мягкий металл светло-серого цвета с плотностью  $\gamma=7,85 \text{ г/см}^3$ .

Важной особенностью железа является ферромагнетизм, т.е. способность сохранять остаточную намагниченность при выключенном магнитном поле. При нагреве до температуры  $768 \text{ }^\circ\text{C}$  (точка Кюри) происходит утрата ферромагнитных свойств ( $\beta$ -превращение) и железо переходит в парамагнитное состояние.

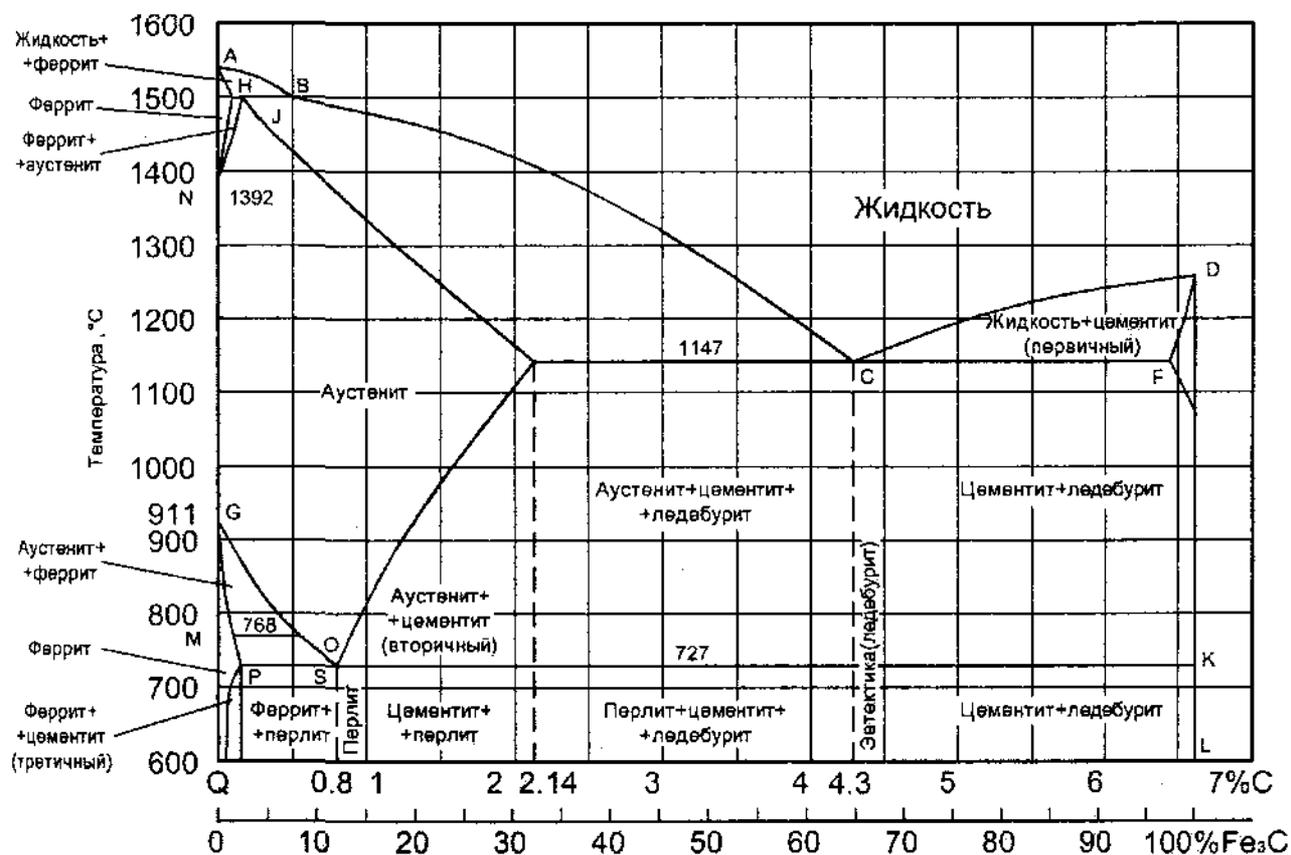


Рисунок 2.1 – Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

Железо дважды испытывает полиморфные превращения. До температуры  $911 \text{ }^\circ\text{C}$  железо существует в виде  $\alpha$ -модификации и имеет ОЦК решетку.

При  $911 \text{ }^\circ\text{C}$  имеет место первое полиморфное превращение:  $\text{Fe}_\alpha \rightarrow \text{Fe}_\gamma$ . Модификация  $\text{Fe}_\gamma$  имеет ГЦК решетку и существует до температуры  $1392 \text{ }^\circ\text{C}$ . При температуре  $1392 \text{ }^\circ\text{C}$  происходит второе полиморфное превращение:  $\text{Fe}_\gamma \rightarrow \text{Fe}_\delta$ .  $\text{Fe}_\delta$  имеет ОЦК решетку и существует вплоть до температуры плавления, которая составляет  $1539 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Железо, содержащее  $0,1 - 0,2\%$  примесей, характеризуется следующими механическими свойствами:

Предел прочности, $\sigma_b$ , МПа	250 – 350
Предел текучести, $\sigma_t$ , МПа	120 – 150
Относительное удлинение, $\delta$ , %	40 – 50
Твердость, НВ	75 – 85

**Цементит (Ц)** – химическое соединение железа с углеродом. Формула цементита (карбида железа)  $Fe_3C$ . Температура плавления – 1237 °С. Кристаллическая решетка сложная, ромбическая. Полиморфизмом  $Fe_3C$  не обладает. Тверд (НВ 800), хрупок ( $\delta \rightarrow 0$ ).

### Фазовый состав системы Fe-Fe<sub>3</sub>C

В системе Fe-Fe<sub>3</sub>C встречаются однофазные и двухфазные структуры. К однофазным структурам относятся твердые растворы **феррит** и **аустенит** и химическое соединение – **цементит**.

К двухфазным структурам относятся эвтектическая (**ледебурит**) и эвтектоидная (**перлит**) механические смеси.

### Однофазные структуры

**Феррит (Ф)** занимает на диаграмме область GPQ и представляет собой ограниченный твердый раствор внедрения углерода в  $Fe_\alpha$ . Как и  $Fe_\alpha$ , имеет ОЦК решетку. Растворимость углерода в феррите невелика: 0,025% при температуре 727 °С и 0,006 – при комнатной температуре. Механические свойства феррита практически не отличаются от свойств технического железа, т.е. он пластичен и имеет низкую твердость (НВ 80).

**Аустенит (А)** занимает на диаграмме область NJESG. Это ограниченный твердый раствор углерода в  $Fe_\gamma$ , имеет ГЦК решетку, в которой углерода растворяется значительно больше, чем в ОЦК решетке. Максимальная растворимость углерода в аустените – 2,14% при температуре 1147 °С и 0,8% при температуре 727 °С. Твердость аустенита НВ 160 – 200, т.е. аустенит более прочен, чем феррит, и как твердый раствор – пластичен.

**Цементит (Ц)** – присутствует на диаграмме в виде цементита первичного, вторичного и третичного, которые отличаются только условиями образования и формой выделения.

**Первичный цементит (Ц<sub>1</sub>)** кристаллизуется из жидкого расплава в области CDF в виде крупных светлых пластин и игл.

**Вторичный цементит (Ц<sub>2</sub>)** выделяется из аустенита в области линии SE вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените от 2,14% до 0,8% в виде сетки (оболочки) вокруг зерен аустенита.

**Третичный цементит (Ц<sub>3</sub>)** выделяется из феррита в области линии QR вследствие уменьшения растворимости углерода в феррите от 0,025% до 0,006% в виде мелких точечных включений по границам и телу ферритного зерна.

Все разновидности цементита –  $\text{Ц}_1$ ,  $\text{Ц}_2$ ,  $\text{Ц}_3$  - имеют одинаковую формулу- $\text{Fe}_3\text{C}$ , одинаковый состав – 6,67% С и не отличаются по свойствам – высокая твердость (НВ 800) и хрупкость ( $\delta \rightarrow 0$ ).

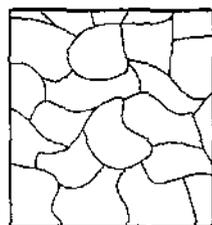
## Двухфазные структуры

**Ледебурит (Л)** - эвтектическая смесь, состоящая из аустенита и цементита при температуре выше  $727^\circ\text{C}$  и перлита и цементита при температуре ниже  $727^\circ\text{C}$ . Образуется из жидкого расплава при температуре  $1147^\circ\text{C}$  и концентрации углерода 4,3%. По твердости уступает цементиту (НВ 600).

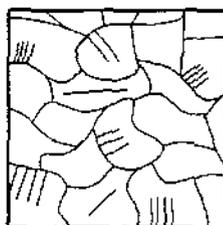
**Перлит (П)** – эвтектоидная механическая смесь, состоящая из Ф и Ц. Образуется при температуре  $727^\circ\text{C}$  и концентрации углерода 0,8%. Твердость перлита НВ 260 – 280.

Микроструктура фаз и структурных составляющих диаграммы приведена на рисунке 2.2.

### 1 Твердые растворы

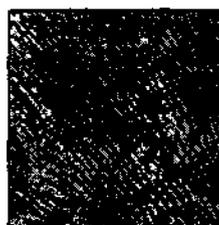


феррит



аустенит

### 2 Механические смеси



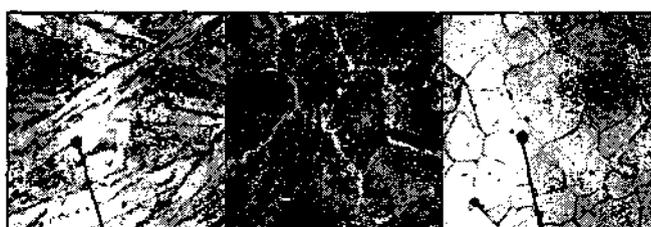
перлит



ледебурит

### 3 Цементит

#### Формы выделения цементита



$\text{Ц}_1$

$\text{Ц}_2$

$\text{Ц}_3$

Рисунок 2.2 - Микроструктура железоуглеродистых сплавов

## Значение точек и линий диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C

- т. А (0% С) – температура плавления – кристаллизации железа;
- т. G ( $911^\circ\text{C}$ , 0% С) – первое полиморфное превращение  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  в железе;
- т. N ( $1392^\circ\text{C}$ , 0% С) – второе полиморфное превращение  $\gamma \leftrightarrow \delta$  в железе.
- т. D ( $1237^\circ\text{C}$ , 6,67% С) – температура плавления – кристаллизации аустенита;
- т. С ( $1147^\circ\text{C}$ , 4,3% С) – эвтектическая точка;
- т. S ( $727^\circ\text{C}$ , 0,8% С) – эвтектоидная точка;

т. **Е** (1147 °С, 2,14% С) – максимальная растворимость углерода в аустените;

т. **Р** (727 °С, 0,025% С) – максимальная растворимость углерода в феррите;

т. **Q** (20 °С, 0,006% С) – минимальная растворимость углерода в феррите;

т. **Н** (1499 °С, 0,1% С) – содержание углерода в  $Fe_{\delta}$  в момент перитектического превращения;

т. **В** (1499 °С, 0,5% С) – содержание углерода в жидком расплаве в момент перитектического превращения;

т. **J** (1499 °С, 0,16% С) – перитектическая точка;

**ABCD**- линия ликвидус;

**АНJEF**- линия солидус;

**EF**- линия эвтектики;

**PK**- эвтектоидная линия;

**HB**- линия перитектики;

**ES**- линия предельной растворимости углерода в аустените;

**PQ**- линия предельной растворимости углерода в феррите;

**GS** и **GP** – линии начала и конца первого полиморфного превращения в стали;

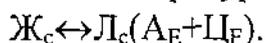
**NH** и **NJ**- линии начала и конца второго полиморфного превращения в стали.

### Превращения в системе Fe-Fe<sub>3</sub>C

На диаграмме выделяются три горизонтальные линии – EF, PK и HB. При температурах, соответствующих этим линиям, происходят превращения, в которых принимают участие три фазы. Составы этих фаз обозначены на линиях соответствующими точками.

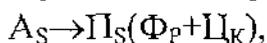
Линия EF характеризует эвтектическое превращение, в котором участвуют три фазы: жидкая (точка C), аустенит (точка E), цементит (точка F).

Оно происходит при постоянной температуре 1147 °С по реакции:



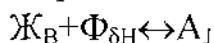
Это превращение происходит во всех сплавах, содержащих от 2,14% С до 6,67% С, где имеется жидкая фаза, но лишь в одном сплаве, содержащем 4,3% С, образуется 100% эвтектики – ледебурита.

Линия PK характеризует эвтектоидное превращение, в котором участвуют фазы А, Ф, Ц. Оно протекает при 727 °С по реакции:



в результате которой из аустенита образуется механическая смесь – перлит. Превращение происходит во всех сплавах системы, но лишь в одном сплаве, содержащем 0,8% С, образуется 100% П.

Перитектическое превращение характеризует линия HB. В этом превращении участвуют фазы Ж,  $\Phi_{\delta}$ , А. Оно протекает по реакции:



при температуре 1499 °С.

## Железоуглеродистые сплавы

Диаграмма описывает следующие материалы на основе железа:

- **техническое железо**. Оно занимает область с концентрацией углерода от 0% до 0,025% С.

- **углеродистая сталь** – занимает область с концентрацией углерода от 0,025% до 2,14% С. Сталь, содержащая 0,8% С, называется эвтектоидной, менее 0,8% С – доэвтектоидной, более 0,8% С – заэвтектоидной.

- **белый чугун** – занимает область с концентрацией углерода от 2,14 до 6,67% С. В белом чугуне углерод находится в связанном состоянии – в виде цементита. Цементит входит также в состав перлита и ледебурита (в отличие от серых чугунов, в которых углерод находится в свободном состоянии – в виде графита). Чугун, содержащий 4,3% С, называется эвтектическим; менее 4,3% С – доэвтектическим; более 4,3% С – заэвтектическим.

### 2.2 Определение состава и количества фаз в сплаве с помощью правила отрезков

Для определения количества и состава фаз (структурных составляющих) при данной температуре используют правило противлежащих отрезков.

В качестве примера определим для стали 30:

а) состав и количество фаз при температуре 650 °С;

б) состав и количество структурных составляющих при температуре 20 °С.

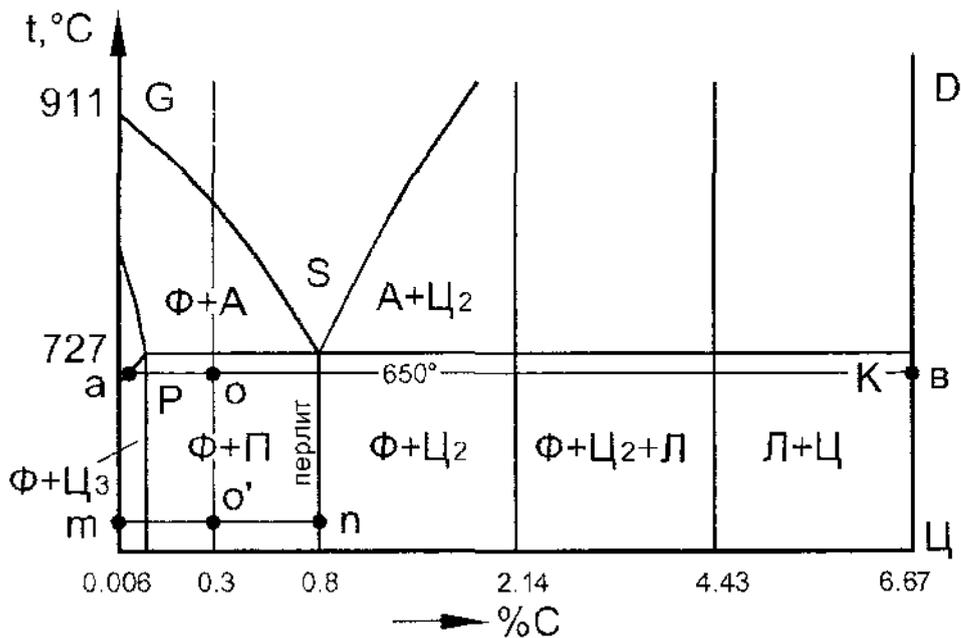


Рисунок 2.3 – Определение состава и количества фаз для стали 30 с помощью правила отрезков

а) Фазы при  $T=650\text{ }^{\circ}\text{C}$  – феррит и цементит. Проводим горизонтальную линию (коноду) «а в» от области феррита к цементиту (рисунок 2.3). Состав фаз (содержание углерода в фазах) определится проекцией точек «а» и «в» на ось концентрации.

Состав феррита – 0,01 % С; состав цементита – 6,67 % С.

$$\text{Количество } \Phi = \frac{ov}{av} \cdot 100 = \frac{6,67 - 0,3}{6,67 - 0,01} \cdot 100 = 96\%,$$

где *ov*- длина отрезка, противоположащего ферриту, *av*- длина коноды.

$$\text{Количество } \Psi = \frac{ao}{av} \cdot 100 = \frac{0,3 - 0,01}{6,67 - 0,01} \cdot 100 = 4\%,$$

где *ao*- длина отрезка, противоположащего цементиту, *av*- длина коноды.

б) Структурные составляющие стали 30 при комнатной температуре – феррит и перлит.

Проводим коноду *mn* от области феррита к перлиту (рисунок 2.3). Состав структурных составляющих определится проекцией точек *a* и *v* на ось концентраций.

Состав феррита 0,01% С; состав перлита – 0,8 % С.

$$\text{Количество } \Phi = \frac{on}{mn} \cdot 100 = \frac{0,8 - 0,3}{0,8 - 0,01} \cdot 100 = 62\%,$$

где *on*- длина отрезка, противоположащего ферриту, *mn*- длина коноды.

$$\text{Количество } \Pi = \frac{mo}{mn} \cdot 100 = \frac{0,8 - 0,01}{0,8 - 0,01} \cdot 100 = 38\%,$$

где *mo*- длина отрезка, противоположащего перлиту.

### 2.3 Формирование структуры железоуглеродистых сплавов при охлаждении

Проследим, как формируется структура доэвтектоидной стали (сплав I), заэвтектоидной стали (сплав II) и эвтектического чугуна (сплав III). Кривые охлаждения и структура этих сплавов приведены на рисунке 2.4.

Вид кривой охлаждения зависит от того, сколько фаз находится в рассматриваемой области диаграммы при заданной температуре. Если количество фаз соответствует числу 1 или 2, на кривой охлаждения изображается наклонная линия, если в равновесии находятся 3 фазы – на кривой охлаждения вычерчивается площадка. Начало и конец превращений характеризуется на кривой охлаждения (нагрева) перегибами.

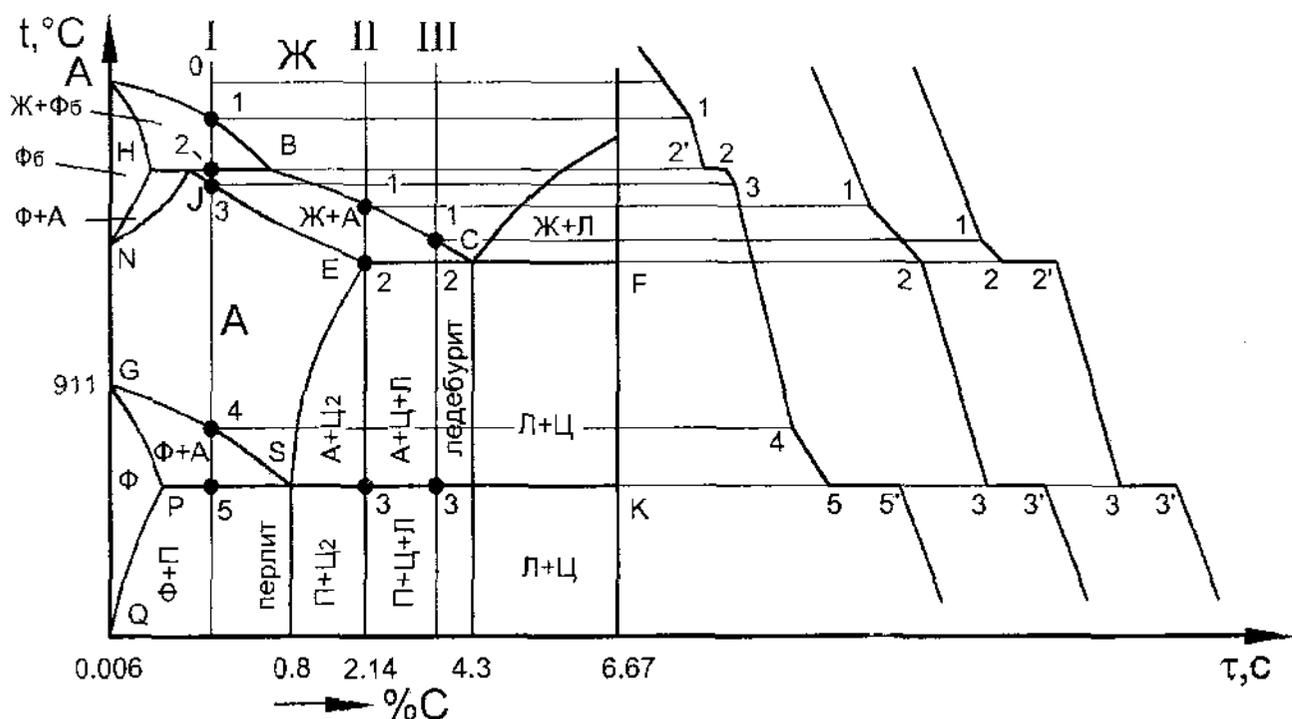


Рисунок 2.4 - Формирование структуры и кривые охлаждения сплавов I, II, III

**Сплав I.** В интервале 1-2 из жидкого сплава (Ж) выделяются кристаллы феррита. Точка 2 лежит на линии перитектического превращения. Следовательно, за время 2-2' будет идти это превращение. К моменту охлаждения до точки 2 в сплаве имеются две фазы – Ж+Ф.

Две имеющиеся фазы должны превратиться в одну третью. Этой третьей фазой будет аустенит. В сплаве 1 при температуре точки 2 больше жидкой фазы, чем в сплаве, проходящем через точку J (по правилу отрезков). Следовательно, после перитектического превращения в остатке останется часть жидкого сплава: Ж+Ф→А+Ж (остаток).

Ниже точки 2 находится область JECB, в которой из жидкого расплава кристаллизуется аустенит.

В интервале 3-4, проходящем через однофазную область аустенита, никаких превращений нет.

Интервал 4-5 находится в двухфазной области GSP. В этой области, кроме аустенита, присутствует феррит (полиморфное превращение А→Ф). Следовательно, от 4 до 5 из аустенита выделяются кристаллы феррита.

По мере их выделения оставшаяся часть аустенита обогащается углеродом (содержание углерода в аустените изменяется по линии 4-5). При температуре точки 5 оставшийся аустенит будет содержать 0,8% углерода.

Точка 5 лежит на линии эвтектоидного превращения (PSK). Следовательно, за время 5-5' должно происходить эвтектоидное превращение – одна фаза должна превратиться в эвтектоидную смесь двух других: А→П(Ф+Ц).

При охлаждении от точки 5 до нормальной температуры растворимость углерода в феррите понижается по линии **PQ**. Поэтому из феррита выделяется третичный цементит ( $\text{Ц}_3$ ) в виде очень мелких кристаллов, располагающихся часто по границам зерен феррита. Кристаллы  $\text{Ц}_3$  можно обнаружить в микроструктуре только при очень большом увеличении, поэтому они не показаны на рисунке 2.2. Итак, структура доэвтектоидной стали состоит из зерен феррита, выделившихся из аустенита в интервале 4-5, и зерен перлита, образовавшихся при эвтектоидном превращении.

**Сплав II.** В интервале 1-2 жидкий сплав превращается в аустенит (в одну фазу). В области **ESKF** должны быть две фазы – аустенит и цементит. Следовательно, в интервале 2-3 из аустенита по границам его зерен выделяется вторичный цементит ( $\text{Ц}_2$ ). Происходит это вследствие понижения растворимости углерода в аустените (по линии **ES**). За время 3-3' аустенит превращается в перлит ( $\text{Ц}_2$  остается без изменений).

При нормальной температуре структура заэвтектоидной стали (после медленного охлаждения) будет состоять из зерен перлита, образовавшихся при эвтектоидном превращении, и вторичного цементита, выделившегося из аустенита в интервале 2-3 и расположенного в виде сетки по границам перлита.

**Сплав III.** В интервале температур 1-2 из жидкого сплава выделяются кристаллы аустенита, а состав жидкой части изменяется по линии 1-С. За время 2-2' происходит эвтектическое превращение – жидкая часть сплава превращается в эвтектическую смесь кристаллов аустенита и цементита, называемую ледебуритом (Л).

После эвтектического превращения сплав будет состоять из зерен аустенита, выделившихся из жидкого сплава в интервале 1-2, и ледебурита – смеси цементита и более мелких зерен аустенита. С цементитом при дальнейшем охлаждении никаких превращений происходить не будет. Аустенит сплава III при температуре линии **ESF** содержит 2,14% углерода. Поэтому в сплаве III при дальнейшем охлаждении из аустенита выделяется  $\text{Ц}_2$ . Частицы его присоединяются к зернам имеющегося уже цементита и в структуре не обнаруживаются. За время 3-3' аустенит (в том числе и входящий в ледебурит) превратится в перлит.

При нормальной температуре ледебурит состоит из смеси цементита и мелких зерен перлита (зерна аустенита за время 3-3' превратились в перлит). Кроме ледебурита в структуре сплава III будут обособленные от ледебурита зерна перлита, более крупные, чем в ледебурите. Эти зерна образовались из аустенита, выделившегося в интервале 1-2.

## Индивидуальные задания

### Вариант 1

1. С использованием диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C постройте кривую охлаждения стали 20 и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. Какие фазы образуются в системе Fe-C ?
3. В чем заключается эвтектическое превращение?
4. Какую кристаллическую решетку имеют аустенит и феррит?
5. Дайте определение техническому железу, стали, чугуну в соответствии с диаграммой Fe-Fe<sub>3</sub>C.
6. Напишите реакцию перитектического превращения и укажите составы фаз (по углероду), участвующих в реакции.
7. Чем отличается перлит от ледебурита?

### Вариант 2

1. Постройте кривую охлаждения стали, содержащей 0,7 % C, и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. Какие механические смеси образуются в системе Fe-C?
3. В чем сущность полиморфного превращения? Какие точки и линии на диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C характеризуют полиморфизм железа и стали?
4. Сколько углерода в перлите, ледебурите, цементите?
5. Дайте определение твердым растворам, присутствующим на диаграмме.
6. Какую структуру при комнатной температуре имеет сталь, содержащая 0,8% C?
7. Как называется сплав, кристаллизирующийся при постоянной и самой низкой температуре?

### Вариант 3

1. Постройте кривую охлаждения чугуна, содержащего 3% C, и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. В чем различие между первичным, вторичным и третичным цементитом?
3. Напишите реакцию эвтектоидного превращения и дайте определение фазам, участвующим в нем.
4. При какой температуре (приблизительно) начнет плавиться сталь, содержащая 1% C?
5. Укажите причину появления вторичного цементита при охлаждении заэвтектоидных сталей.
6. Чем отличается феррит от аустенита?
7. Какие чугуны описывает диаграмма Fe-Fe<sub>3</sub>C? В каком плавленном агрегате их получают и используют?

### Вариант 4

1. Постройте кривую охлаждения стали 45 и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. Зависит ли содержание углерода в перлите от температуры? Ответ обоснуйте, используя диаграмму.
3. Какая механическая смесь образуется при охлаждении чугуна? Название, состав, температура образования.
4. Укажите, при какой температуре затвердеет сталь У8.
5. Нарисуйте кристаллические решетки феррита и аустенита.
6. Какое химическое соединение присутствует на диаграмме? Формула, состав, название, температура плавления.
7. Какой чугун (белый или серый) описывает диаграмма? Докажите.

### Вариант 5

1. Постройте кривую нагрева эвтектического чугуна и опишите процессы, происходящие при нагреве.
2. Укажите максимальную растворимость углерода в феррите и аустените. Объясните, почему сталями называются сплавы, содержащие до 2,14 % С.
3. Какой смысл имеют на диаграмме линии GS и GP? Напишите формулу превращения, соответствующую этим линиям.
4. В чем различие между ледебуритом выше температуры 727 °С и ледебуритом ниже температуры 727 °С? Чем объясняется это различие?
5. Укажите температуру конца кристаллизации стали, содержащей 0,15% С.
6. Укажите температуру плавления и кристаллизации железа.
7. Как перевести слово «эвтектоид»?

### Вариант 6

1. Постройте кривую нагрева технического железа и опишите процессы, происходящие при нагреве.
2. Укажите температуры эвтектического, эвтектоидного и перитектического превращений и напишите их реакции.
3. Что общего у цементита первичного, вторичного, третичного и в чем их различие?
4. Какой сплав – сталь или чугун - имеет более низкую температуру плавления и, вследствие этого, лучшие литейные свойства?
5. Что понимается под структурой сплава?
6. Как называется сплав, содержащий 0,8% С, и какую он имеет структуру?
7. При какой температуре закончится плавление в стали, содержащей 1% С?

## Вариант 7

1. Постройте кривую нагрева стали У8 и объясните все процессы, происходящие при нагреве.
2. Сколько углерода содержится в перлите и ледебурите?
3. Какие фазы называются карбидами и какими свойствами они обладают? Есть ли на диаграмме Fe-C карбид?
4. Какие твердые растворы встречаются в стали? Нарисуйте кристаллическую решетку каждого из них.
5. Почему сталь содержит не более 2,14% C?
6. Какую структуру при комнатной температуре имеет железо?
7. Как называется чугун, содержащий 4,3% C? Какова его температура плавления и структура?

## Вариант 8

1. Постройте кривую охлаждения стали 15 и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. Что представляет собой второй компонент диаграммы (первый - железо)?
3. При какой температуре жидкая фаза полностью превращается в ледебурит? Как это превращение называется? Каковы его основные черты?
4. В чем смысл линий «ликвидус», «солидус»?
5. Сколько модификаций и полиморфных превращений у железа? В чем их отличие? При каких температурах происходят полиморфные превращения?
6. Почему чугуны обладают лучшей жидкотекучестью? Объясните это на основании диаграммы.
7. Какая фаза на диаграмме самая твердая, а какая – самая мягкая?

## Вариант 9

1. Постройте кривую охлаждения стали 05 и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. При какой температуре происходит превращение A→П? Чем отличается аустенит от перлита?
3. Как зависит растворимость углерода в аустените с повышением температуры? К каким изменениям это приводит?
4. При какой температуре начнет плавиться сталь 20?
5. Как называется самая твердая фаза на диаграмме? Каковы основные признаки этой фазы?
6. Что характеризует формула  $Fe\alpha \Leftrightarrow Fe\gamma$ ?
7. Каков интервал кристаллизации: а) стали У8; б) эвтектического чугуна?

### Вариант 10

1. Постройте кривую охлаждения эвтектоидной стали и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. В чем заключается перитектическое превращение?
3. Укажите структуру доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей при комнатной температуре.
4. Укажите структуру и фазовый состав белого доэвтектического чугуна.
5. Что характеризует формула:  $Fe_8 \leftarrow Fe_7$ ? Что меняется при этом превращении?
6. Укажите интервал кристаллизации эвтектоидной стали и эвтектического чугуна.
7. Опишите все, что Вы знаете об аустените.

### Вариант 11

1. Постройте кривую охлаждения стали 30 и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. Что такое «эвтектоид»? Какой эвтектоид образуется в железоуглеродистых сталях?
3. Опишите все, что Вы знаете о феррите.
4. Какой смысл на диаграмме имеют точки G, N и линии, исходящие из этих точек?
5. Укажите концентрацию фаз, участвующих в перитектической реакции.
6. Почему стали 05 и 50 имеют одинаковую структуру (Ф+П), но обладают разными свойствами?
7. С точки зрения диаграммы объясните, почему жидкотекучесть чугуна выше, чем у стали.

### Вариант 12

1. Постройте кривую охлаждения чугуна, содержащего 2,5 % С, и опишите все процессы, происходящие при охлаждении.
2. Дайте определение понятию «твердый раствор». Какого рода твердые растворы образуются на диаграмме, и какова растворимость углерода в них?
3. Почему диаграмма описывает белые чугуны, а не серые?
4. Напишите реакцию первого полиморфного превращения в стали.
5. Укажите концентрацию фаз, участвующих в перитектической реакции.
6. Отличаются ли по составу и свойствам  $\zeta_1$ ,  $\zeta_2$ ,  $\zeta_3$  ?
7. Какова структура чистого железа?

### Вариант 13

1. Постройте кривую охлаждения стали 40 и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. Что такое «фаза»? Укажите концентрацию сплавов, имеющих двухфазную структуру постоянного сплава.
3. Магнитен ли аустенит?
4. Какую концентрацию углерода будет иметь аустенит при температуре 1147 °С ?
5. Какой из чугунов будет обладать большей жидкотекучестью:  
а) содержащий 5% С; б) содержащий 4,3% С?
6. Какие материалы в соответствии с диаграммой кристаллизуются при постоянной температуре?
7. Как назвать сталь, содержащую 0,8 % С? Какую структуру она имеет при комнатной температуре?

### Вариант 14

1. Постройте кривую нагрева стали, содержащей 0,9% С, и опишите все процессы, происходящие при нагреве.
2. Укажите фазы и структурные составляющие диаграммы, имеющие постоянный состав.
3. Укажите материалы, имеющие постоянную температуру плавления (в соответствии с диаграммой).
4. Укажите концентрацию (по углероду) фаз, участвующих в эвтектическом и эвтектоидном превращениях.
5. Какая фаза утрачивает при нагреве свои магнитные свойства?
8. Какой смысл имеют на диаграмме точки G и N?
9. Как увеличить растворимость углерода в аустените?

### Вариант 15

1. Постройте кривую нагрева стали У7 и объясните все процессы, происходящие при нагреве.
2. Может ли структура стали при комнатной температуре состоять из одного твердого раствора?
3. Структуру каких материалов описывает диаграмма?
4. Какой материал характеризуется самой высокой, а какой – самой низкой температурой плавления?
5. Почему в структуре железоуглеродистых сплавов аустенит при комнатной температуре не присутствует?
6. Чем отличается  $\text{Ц}_3$  от  $\text{Ц}_2$ ?
7. Присутствуют ли на диаграмме твердые растворы замещения? Если да, то как называются?

## Вариант 16

1. Постройте кривую охлаждения стали 10 и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. Дайте определение материалам, структуру которых описывает диаграмма.
3. Укажите все различия между ферритом и аустенитом.
4. Чем отличается эвтектика от эвтектоида? Присутствуют ли такие структурные составляющие на диаграмме? Если да, то как называются и какой имеют состав?
5. Зависят ли свойства от структуры сплава? Приведите пример.
6. Чем отличается чистое железо от технического (по диаграмме)?
7. Какое превращение происходит в чугунах при температуре 1147 °С? Напишите его реакцию и укажите концентрацию фаз, участвующих в превращении, по углероду.

## Вариант 17

1. Постройте кривую охлаждения стали, содержащей 0,7% С, и опишите процессы, происходящие при охлаждении.
2. В чем заключается полиморфное превращение? Напишите реакции превращений для стали 40.
3. Какую структуру имеет белый чугун, содержащий 5% С при температуре 800 °С, а какую – при 700 °С? В чем состоит разница и чем она обусловлена?
4. При какой температуре заканчивается растворение  $\text{C}_2$  в аустените стали У10?
5. Укажите, сколько градусов составляет интервал кристаллизации в: 1) стали 10; 2) чугуне, содержащем 3% С; 3) чугуне, содержащем 4,3 % С.
6. Укажите концентрацию (по углероду) фаз, участвующих в эвтектоидном превращении.
7. Классифицируйте железоуглеродистые сплавы в соответствии с диаграммой.

## Вариант 18

1. Постройте кривую нагрева стали У13 и объясните все процессы, происходящие при нагреве.
2. Укажите линию солидус.
3. Какой смысл на диаграмме имеют точки J, S, C? Как они называются?
4. Почему углеродистая сталь не может содержать углерод свыше 2,14%?
5. Какова максимальная растворимость углерода в  $\text{F}_\alpha$ , А?
6. Сплавы какой максимальной концентрации содержат в структуре: а) эвтектику; б) эвтектоид; в) перитектику?
7. Какое химическое соединение присутствует на диаграмме? Назовите признаки химического соединения. Как они изображаются на диаграмме?

## Вариант 19

1. Постройте кривую нагрева чистого железа и объясните все процессы, происходящие при нагреве.
2. При какой температуре происходит превращение  $P \leftrightarrow A$ ? Как оно называется?
3. Сколько ледебурита содержится в эвтектическом чугуне?
4. В каких сплавах отсутствует эвтектическое превращение и какие сплавы (по концентрации углерода) испытывают перитектическое превращение?
5. Что происходит в железе в точках A, N, G?
6. Как называется второй компонент диаграммы и что он собой представляет?
7. Какова минимальная растворимость углерода в железе? Какая точка диаграммы свидетельствует об этом?

## Вариант 20

1. Постройте кривую нагрева белого чугуна, содержащего 5% C, и опишите процессы, происходящие при нагреве.
2. Дайте определение двухфазным структурам, присутствующим на диаграмме. Укажите условия их образования.
3. В чем смысл превращения  $F_8 \rightarrow A$ ? Протекает ли такое превращение в сталях марок 10, 50, У12?
4. Укажите структуру технического железа при комнатной температуре. Обладает ли техническое железо полиморфизмом?
5. Почему при охлаждении из аустенита выделяется вторичный цементит?
6. Почему диаграмма заканчивается концентрацией углерода 6,67% C?
7. Укажите, при какой температуре заканчивается кристаллизация в стали 30.

## ТЕСТЫ

### Тест №1

1. Какую кристаллическую решетку имеет  $\gamma$ -Fe?

**Ответы:** 1) ОЦК; 2) ГЦК; 3) ГПУ.

2. Какая реакция протекает на линии РК диаграммы при нагреве?

**Ответы:** 1)  $F \rightarrow A$ ; 2)  $P \rightarrow A$ ; 3)  $P \rightarrow F$ .

3. Постоянна ли концентрация углерода в аустените?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. В какой точке диаграммы происходит эвтектическое превращение?

**Ответы:** 1) S; 2) C; 3) E.

5. Что представляет собой цементит?

**Ответы:** 1) твердый раствор; 2) механическую смесь; 3) химическое соединение; 4) твердый сплав.

### Тест №2

1. Сколько полиморфных превращений испытывает железо?

**Ответы:** 1) одно; 2) два; 3) три.

2. Какая реакция протекает по линии EF диаграммы при нагреве?

**Ответы:** 1)  $A+Ц \rightarrow Л$ , 2)  $A \rightarrow Ж$ , 3)  $A+Ц \rightarrow Ж$ .

3. Постоянна ли концентрация углерода в перлите?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какая точка характеризует предельную растворимость углерода в феррите- $\alpha$ ?

**Ответы:** 1) P; 2) S; 3) E.

5. Какое максимальное количество углерода может раствориться в железе- $\gamma$ ?

**Ответы:** 1) 6,67%; 2) 2,15%; 3) 4,3%.

### Тест №3

1. Присутствуют ли на диаграмме неограниченные твердые растворы?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Какая из структурных составляющих является двухфазной?

**Ответы:** 1) феррит, 2) аустенит, 3) перлит.

3. Какая реакция протекает по линии HV при нагреве?

**Ответы:** 1)  $A \rightarrow Ж+Ф$ ; 2)  $A+Ф \rightarrow Ж$ ; 3)  $Ф \rightarrow A+Ж$ .

4. Постоянная ли концентрация углерода в ледебурите?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Какой из сплавов кристаллизуется при постоянной температуре?

**Ответы:** 1) сталь; 2) эвтектический чугун; 3) сплав, содержащий 2,15% C.

### Тест №4

1. Какая реакция протекает по линии PK диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C при охлаждении?

**Ответы:** 1)  $A \rightarrow Ф+П$ ; 2)  $A \rightarrow П+Ц$ ; 3)  $A \rightarrow Ф+Ц$ .

2. В какой точке диаграммы железо кристаллизуется?

**Ответы:** 1) A; 2) N; 3) C.

3. Отличаются ли Ц<sub>1</sub>, Ц<sub>2</sub>, Ц<sub>3</sub> по концентрации?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Встречается ли аустенит в чугунах при температурах ниже 727 °C?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Какую структуру будет иметь сталь марки 08 после окончания процесса кристаллизации?

**Ответы:** 1) феррит, 2) аустенит, 3) феррит и перлит.

## Тест №5

1. Какой кристаллической решеткой обладает  $\alpha$  - железо?

**Ответы:** 1) объемно-центрированной кубической; 2) гранецентрированной кубической.

2. Сколько фаз участвует в эвтектическом превращении?

**Ответы:** 1) одна; 2) две; 3) три.

3. Какая из реакций характеризует эвтектоидное превращение?

**Ответы:** 1)  $Ж \leftrightarrow A + Ц$ ; 2)  $Ж + Ф \leftrightarrow A$ ; 3)  $A \leftrightarrow Ф + Ц$ .

4. Какая из линий диаграммы соответствует окончанию процесса первичной кристаллизации?

**Ответы:** 1) ликвидус; 2) солидус.

5. Сколько углерода содержится в цементите?

**Ответы:** 1) 100%; 2) 6,67%; 3) содержание углерода зависит от того, какой это цементит:  $Ц_1$ ,  $Ц_2$  или  $Ц_3$ .

## Тест №6

1. При какой температуре произойдет в железе превращение  $\alpha \rightarrow \gamma$ ?

**Ответы:** 1) 727 °С; 2) 911 °С; 3) 1392 °С.

2. Какая из структурных составляющих обладает наиболее высокой твердостью?

**Ответы:** 1) перлит; 2) ледебурит; 3) цементит.

3. В какой точке заканчивается первичная кристаллизация железа?

**Ответы:** 1) А; 2) N; 3) С; 4) D.

4. Какая реакция протекает по линии РК диаграммы при охлаждении?

**Ответы:** 1) эвтектическая; 2) эвтектоидная; 3) перитектическая.

5. Какая из структурных составляющих является двухфазной?

**Ответы:** 1) аустенит; 2) цементит; 3) ледебурит.

## Тест №7

1. Какая из реакций характеризует эвтектическое превращение?

**Ответы:** 1)  $М \leftrightarrow A + Ц$ ; 2)  $Ж + Ф \leftrightarrow A$ ; 3)  $A \leftrightarrow Ф + Ц$ .

2. Как называется твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железо?

**Ответы:** 1) феррит; 2) аустенит; 3) цементит.

3. Какова растворимость (максимальная) углерода в  $\alpha$ -феррите?

**Ответы:** 1) 0,1%; 2) 0,02%; 3) 0,8%.

4. Какие фазы участвуют в перитектическом превращении?

**Ответы:** 1) Ж, Ф, А; 2) Ж, А, Ц; 3) Ж, Ф, Ц.

5. Какой кристаллической решеткой обладает  $\gamma$ -железо?

**Ответы:** 1) ОЦК; 2) ГЦК.

### Тест №8

1. Какая точка диаграммы указывает температуру плавления эвтектического чугуна?

**Ответы:** 1) D; 2) S; 3) C.

2. Какая структура получается в результате первичной кристаллизации стали У10?

**Ответы:** 1) А; 2) А+Ц<sub>2</sub>; 3) П+Ц<sub>2</sub>.

3. По какой линии диаграммы происходит эвтектоидное превращение?

**Ответы:** 1) РК; 2) EF; 3) НВ.

4. Структуры каких чугунов приведены на диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C?

**Ответы:** 1) белых; 2) серых.

5. С чем связано появление в структуре заэвтектоидной стали вторичного цементита?

**Ответы:** 1) с явлением полиморфизма в стали; 2) с изменением растворимости углерода в аустените; 3) с наличием эвтектоидного превращения.

### Тест №9

1. Какая структура получается в результате первичной кристаллизации заэвтектического чугуна?

**Ответы:** 1) А+Ц; 2) Ц+Л; 3) А+Л.

2. При какой температуре в железоуглеродистых сплавах происходит эвтектоидное превращение?

**Ответы:** 1) 727 °С; 2) 1147 °С; 3) 1499 °С.

3. Какая линия диаграммы характеризует начало полиморфного превращения Ф→А?

**Ответы:** 1) GP; 2) GS; 3) SE.

4. Какие фазы принимают участие в эвтектоидном превращении?

**Ответы:** 1) А, Ж, Ц; 2) А, Ф, Ц; 3) А, П, Ц.

5. Сколько углерода содержится во вторичном цементите?

**Ответы:** 1) 6,67%; 2) 2,15%; 3) 0,8%.

### Тест №10

1. При какой температуре α-Fe изменяет свою кристаллическую решетку?

**Ответы:** 1) 727 °С; 2) 911 °С; 3) 1392 °С.

2. Какая структура образуется в стали марки 20 после окончания первичной кристаллизации?

**Ответы:** 1) А; 2) А+Ф; 3) Ф+П.

3. Какой сплав имеет структуру, состоящую из одного ледебурита?

**Ответы:** 1) эвтектоидная сталь; 2) эвтектический чугун; 3) заэвтектоидный чугун.

4. Какая линия диаграммы характеризует предельную растворимость углерода в аустените?

**Ответы:** 1) GS; 2) ES; 3) JE.

5. Какие фазы принимают участие в эвтектоидном превращении?

**Ответы:** 1) А,Ц,Ф; 2) А,Ц,Ж; 3) Ф, Ц,Ж.

### Тест №11

1. Структуру каких чугунов описывает диаграмма?

**Ответы:** 1) белых; 2) серых; 3) половинчатых.

2. При какой температуре начнет плавиться сталь, содержащая 1 % С?

**Ответы:** 1) 1480 °С; 2) 1330 °С; 3) 800 °С.

3. Можно перлит назвать фазой?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какие фазы участвуют в эвтектоидном превращении?

**Ответы:** 1) А, Ф, П; 2) Ж, А, Ц; 3) А, П, Ц.

5. Какое максимальное количество углерода в соответствии с диаграммой может содержаться в стали?

**Ответы:** 1) 0,8%; 2) 2,14%; 3) 4,3%.

### Тест №12

1. Какие структуры являются однофазными?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) А; 4) Л; 5) Ц.

2. Какова концентрация углерода в жидкой фазе в момент перитектической реакции?

**Ответы:** 1) 0,1% С; 2) 0,16 % С; 3) 0,5 % С.

3. Какой материал имеет постоянную и самую низкую температуру плавления?

**Ответы:** 1) железо; 2) углеродистая сталь, содержащая 0,8 % С; 3) эвтектический чугун.

4. Из каких фаз состоит эвтектоид перлит?

**Ответы:** 1) Ф+Ц; 2) Ф+А; 3) А+Ц.

5. Какое максимальное количество углерода может раствориться в феррите  $\alpha$ ?

**Ответы:** 1) 0,025%; 2) 0,1%; 3) 0,8%.

### Тест №13

1. В какой кристаллической решетке железа растворяется больше углерода?

**Ответы:** 1) ОЦК; 2) ГЦК.

2. Какая из структур обладает наивысшей твердостью?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) Ц; 4) Л.

3. Сколько модификаций у железа?

**Ответы:** 1) одна; 2) две; 3) три.

4. Какие фазы участвуют в эвтектическом превращении?

**Ответы:** 1) Ж, А, Ц; 2) Ф, Ж, А; 3) А, Ф, Ц.

5. Сколько углерода содержится в Ц<sub>3</sub>?

**Ответы:** 1) 0,025%; 2) 2,14%; 3) 6,67%.

#### Тест №14

1. Какая из структур представляет собой эвтектику?

**Ответы:** 1) П; 2) А; 3) Л; 4) Ц.

2. В результате какого превращения образуется аустенит?

**Ответы:** 1) эвтектического; 2) перитектического; 3) эвтектоидного.

3. Чем отличаются между собой Ц<sub>1</sub>, Ц<sub>2</sub>, Ц<sub>3</sub>?

**Ответы:** 1) содержанием углерода; 2) формулой; 3) формой выделения кристаллов; 4) свойствами.

4. Какова максимальная растворимость углерода в аустените?

**Ответы:** 1) 0,8%; 2) 2,14%; 3) 4,3%.

5. В каком плавильном агрегате получают белый чугун?

**Ответы:** 1) доменной печи; 2) вагранке; 3) мартеновской печи; 4) конвертере.

#### Тест №15

1. Каково главное назначение белого чугуна?

**Ответы:** 1) получение фасонных отливок; 2) передел на сталь; 3) обработка давлением с целью получения проката.

2. Какая фаза выделяется из аустенита в процессе охлаждения от 1147 °С до 727 °С?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) Ц.

3. Какова формула первого полиморфного превращения при нагреве?

**Ответы:** 1) Ф→П; 2) Ф→А; 3) П→А.

4. Сколько углерода содержится в ледебурите?

**Ответы:** 1) 2,14%; 2) 4,3%; 3) 6,67%.

5. Какая из реакций характеризует эвтектоидное превращение?

**Ответы:** 1) Ж+Ф→А; 2) А+Ц→Ж; 3) Ф+Ц→А.

#### Тест №16

1. Что такое «перитектика»?

**Ответы:** 1) твердый раствор; 2) механическая смесь; 3) химическое соединение.

2. В какой модификации железа растворяется наибольшее количество углерода?

**Ответы:** 1) в α; 2) в γ; 3) в δ.

3. Правильно ли записана формула эвтектоидного превращения П↔А?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какая из фаз является карбидом железа?

**Ответы:** 1) Л; 2) Ц; 3) П.

5. У какого сплава интервал кристаллизации равен нулю?

**Ответы:** 1) технического железа; 2) эвтектоидной стали; 3) эвтектического чугуна.

### Тест №17

1. Какие фазы представлены на диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C?

**Ответы:** 1) Ф; 2) Ц; 3) П; 4) Л; 5) А.

2. Какие твердые растворы образуются при взаимодействии железа с углеродом?

**Ответы:** 1) П; 2) Ф; 3) Ц; 4) А; 5) Л.

3. Сколько Ф содержится в эвтектоидной стали при температуре 727 °С?

**Ответы:** 1) 88 %; 2) 12 %.

4. Какому содержанию углерода соответствует перитектическая точка?

**Ответы:** 1) 0,1 %; 2) 0,16 %; 3) 0,5 %.

5. Каково содержание углерода в аустените при температуре 900 °С?

**Ответы:** 1) 2,14 %; 2) 1,25 %; 3) 0,8 %.

### Тест №18

1. Какие из структур диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C нельзя назвать фазами?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) Ц; 4) А; 5) Л.

2. При какой температуре аустенит насыщен углеродом?

**Ответы:** 1) 727 °С; 2) 1147 °С; 3) 1499 °С.

3. Имеется ли полиморфное превращение в стали марки 40?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Как называется превращение П→А?

**Ответы:** 1) полиморфным; 2) эвтектоидным; 3) эвтектическим.

5. Имеется ли феррит в стали, содержащей 1,2 % С?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №19

1. Какие превращения имеют место в чистом железе?

**Ответы:** 1) полиморфные; 2) эвтектоидное; 3) магнитное; 4) перитектическое.

2. Материал с какой структурой относится к техническому железу?

**Ответы:** 1) Ф; 2) Ф+П; 3) Ф+Ц<sub>3</sub>.

3. Существует ли в железе кристаллическая решетка при нагреве его выше 1540 °С?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Как называется механическая смесь перлита с цементитом при температуре ниже 727 °С?

**Ответы:** 1) перитектикой; 2) эвтектоидом; 3) ледебуритом.

5. По какой линии меняется состав стали, содержащей 0,4 % С при понижении температуры до 1499 °С?

**Ответы:** 1) по линии АН; 2) по линии АВ.

### Тест №20

1. При какой температуре в чистом железе кристаллическая решетка в процессе охлаждения не изменяется?

**Ответы:** 1) 1392 °С; 2) 911 °С; 3) 768 °С.

2. Сколько цементита содержится в эвтектическом чугуна при температуре 1147 °С?

**Ответы:** 1) 35 %; 2) 65 %.

3. По какой линии диаграммы меняется содержание углерода в аустените?

**Ответы:** 1) JE; 2) ES; 3) GS.

4. Присутствуют ли в заэвтектоидных сталях полиморфные превращения?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Сколько фаз участвует в превращении П→А?

**Ответы:** 1) одна; 2) две; 3) три.

## РАЗДЕЛ 3 КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

**Цель работы:** 1) изучить классификацию углеродистых сталей по химическому составу, способу производства (качеству), назначению; 2) приобрести навыки в вопросе применения сталей различного назначения в промышленности.

**Задание:** 1. Выполнить индивидуальный вариант задания;  
2. Ответить на вопросы теста.

### Основные сведения

Сталь – железоуглеродистый сплав. Если помимо углерода (до 2%) и постоянных примесей (S, P, Si, Mn) в стали никаких специальных элементов не содержится, она называется углеродистой.

На долю углеродистой стали приходится 80% от общего объема выплавляемой стали. Это объясняется тем, что такая сталь дешева и сочетает удовлетворительные механические свойства с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением.

### Классификация углеродистых сталей

Углеродистые стали классифицируются по химическому составу, способу производства (качеству), степени раскисления, структуре и назначению.

#### 3.1 Классификация по химическому составу

По химическому составу (содержание углерода) стали подразделяются на низкоуглеродистые (менее 0,3% C), среднеуглеродистые (0,3 – 0,7% C) и высокоуглеродистые (более 0,7% C).

#### 3.2 Классификация по способу раскисления

По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируются на спокойные, полуспокойные и кипящие.

Раскисление – процесс удаления из жидкого металла кислорода, проводимый для предотвращения хрупкого разрушения стали при горячей деформации.

1. **Кипящей** называют сталь, не полностью раскисленной в печи. Ее раскисление продолжается в изложнице за счет взаимодействия оксида железа FeO с углеродом. Образующийся при этом оксид углерода CO выделяется из стали, способствуя удалению и других газов (азота, водорода), что создает впечатление «кипения» жидкого металла. Выделение газов происходит и при затверде-

вании слитка, поэтому в нем образуется не концентрированная усадочная раковина, а большое количество рассредоточенных газовых пузырей (рисунок 3.1, а). Они устраняются при последующей горячей прокатке. Кипящая сталь наиболее дешевая, она практически не содержит неметаллических примесей, обладает высокой пластичностью.

2. **Спокойную сталь** получают при полном раскислении металла в печи и ковше (рисунок 3.1, б). Такая сталь затвердевает без выделения газов, поэтому в слитке образуется плотная структура, а усадочная раковина концентрируется в верхней части, что значительно уменьшает выход годного металла.

3. **Полуспокойная сталь** получается при раскислении ферромарганцем и недостаточным количеством ферросилиция или алюминия. В этом случае слиток не имеет концентрированной усадочной раковины, в нижней части он обычно имеет строение спокойной, а в верхней – кипящей стали (рисунок 3.1, в). Такая сталь по качеству и стоимости является промежуточной между кипящей и спокойной.

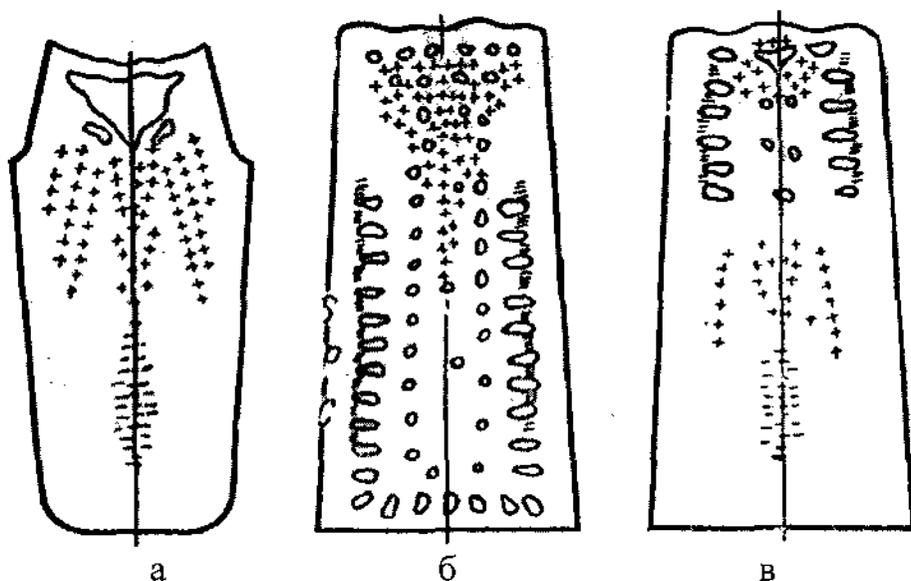


Рисунок 3.1 – Схемы строения стальных слитков

### 3.3 Классификация по качеству

Качество стали определяется нормой вредных примесей - серы и фосфора. Сера вызывает красноломкость стали - хрупкость при горячей обработке давлением. Фосфор вызывает хладноломкость - снижение вязкости по мере понижения температуры.

Современные методы выплавки стали не обеспечивают полного удаления серы и фосфора. Количество этих элементов зависит от того, в каком плавильном агрегате сталь получена (конвертере, мартеновской печи, электропечи). Поэтому качество стали определяется способом производства. Наивысшее качество имеет сталь, выплавленная в электропечах, т.е. она содержит небольшое количество серы и фосфора.

Углеродистые стали выпускаются обыкновенного качества, качественные и высококачественные.

### **Стали обыкновенного качества**

Выплавляются в конвертерах емкостью 300-400 т и большегрузных мартеновских печах емкостью свыше 500 т. Это наиболее дешевые и широко применяемые стали. В них допускается повышенное содержание вредных примесей (до 0,055% S и до 0,045% P), а также газонасыщенность и загрязненность неметаллическими включениями, так как они выплавляются по нормам массовой технологии.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94) поставляют в виде проката (балки, прутки, листы, уголки, трубы, швеллеры и т.д.) и применяют в машиностроении и других отраслях.

Углеродистые стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 6. Цифры – это условный номер марки, то есть на содержание углерода в стали цифры не указывают. Чем больше число, тем больше содержание углерода, тем выше прочность и ниже пластичность. Стали могут поставляться с учетом степени раскисления, например: Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп.

В зависимости от назначения и гарантируемых свойств углеродистые стали обыкновенного качества поставляют трех групп: А, Б, В.

Стали ст0 - ст6 группы А используют в горячекатаном состоянии для изделий, изготовление которых не сопровождается горячей обработкой. В этом случае они сохраняют исходную структуру и механические свойства, гарантированные стандартом.

Стали группы Б поставляют с гарантированным химическим составом (по C, Si, Mn, P). Механические свойства не гарантируются. Принадлежность стали к группе Б указывается буквой Б, стоящей в начале марки (Бст0 - Бст6).

Стали этой группы предназначены для изделий, изготавливаемых с применением горячей обработки (ковки, сварки и термической обработки). В этом случае сведения о химическом составе нужны для определения режимов горячей обработки.

Стали группы В поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Их широко применяют для производства сварных конструкций. В этом случае важно знать исходные механические свойства стали, так как они сохраняются неизменными в участках, не подвергаемых нагреву при сварке. Для оценки свариваемости нужны сведения о химическом составе.

Стали этой группы выпускают марок Вст1 - Вст5. В таблице 3.1 приведен химический состав сталей обыкновенного качества.

Таблица 3.1 - Химический состав углеродистой стали обыкновенного качества по ГОСТ 380-94

Марка стали	Массовая доля элементов, %		
	C	Mn	Si
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Ст1кп	0,06 – 0,12	0,25 – 0,50	Не более 0,05
Ст1пс			0,05 – 0,15
Ст1сп			0,15 – 0,30
Ст2кп	0,09 – 0,15	0,25-0,50	Не более 0,05
Ст2пс			0,05 – 0,15
Ст2сп			0,15 – 0,30
Ст3кп	0,14 – 0,22	0,30 – 0,60	Не более 0,05
Ст3пс		0,40 – 0,65	0,05 – 0,15
Ст3сп		0,80 – 1,10	0,15 – 0,30
Ст3Гпс	Не более 0,15		
Ст3Гпс	0,14 – 0,20		0,15 – 0,30
Ст4кп	0,18 – 0,27	0,40 – 0,70	Не более 0,05
Ст4пс			0,05 – 0,15
Ст4сп			0,15 – 0,30
Ст5пс	0,28 – 0,30	0,50 – 0,80	0,05 – 0,15
Ст5сп			0,15 – 0,30
Ст5Гпс			0,22 – 0,30
Ст6пс	0,38 – 0,49	0,50 – 0,80	0,05 – 0,15
Ст6сп			0,15 – 0,30

Углеродистые стали обыкновенного качества (всех трех групп) применяют для изготовления слабонагруженных деталей машин, когда на выбор стали большое влияние оказывают не столько механические, сколько технологические свойства, прежде всего свариваемость и способность к холодной обработке давлением. Этим технологическим требованиям в наибольшей степени отвечают стали групп Б и В, номеров 1 - 4 и особенно Ст3 (всех трех групп), их широко применяют в сельскохозяйственном машиностроении (валики, оси, рычаги, детали, изготавливаемые холодной штамповкой, а также цементируемые детали: шестерни, червяки, поршневые пальцы и т.д.).

Среднеуглеродистые стали номеров 5 и 6, обладающие большей прочностью, предназначены для рельсов, железнодорожных колес, валов, шкивов, шестерен и других деталей грузоподъемных и сельскохозяйственных машин).

### Качественные стали

Выплавляются в конвертерах емкостью 100-200 т и мартеновских печах емкостью 100-500 т. Поэтому норма вредных примесей снижена: S - не более 0,04%, P - не более 0,035%. Они поставляются в виде проката, поковок и других

полуфабрикатов с гарантированным химическим составом и механическими свойствами.

Качественные стали маркируются двузначными цифрами 08, 10, 15, 20...80, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (ГОСТ 1050-74). Например, сталь 10 содержит 0,10 % С, сталь 45 - 0,45% и т.п.

Спокойные стали маркируются без индекса, полуспокойные и кипящие - с индексами "пс" и "кп" соответственно. Кипящими производят стали 05кп - 20кп, полуспокойными - 08пс, 10пс, 15пс, 20пс.

Качественные стали находят широкое применение в технике, так как в зависимости от содержания углерода и термической обработки обладают разнообразными механическими и технологическими свойствами.

### **Высококачественные стали**

Выплавляются в электропечах. Содержание вредных примесей не превышает: S - не более 0,025 %, P - не более 0,025 %, механические свойства более стабильны.

Маркируются высококачественные стали так же, как и качественные, однако в конце марки ставится буква "А". Например: 45А – сталь высококачественная, с наименьшим количеством серы и фосфора. Применяется для изделий ответственного назначения.

## **3.4 Классификация по структуре**

Производится в равновесном состоянии, т.е. в условиях медленного охлаждения, что на практике соответствует отжигу стали.

Стали, содержащие до 0,8 % С и имеющие структуру, состоящую из феррита и перлита, называются доэвтектоидными.

Стали, содержащие 0,8 % С со структурой перлита (100% перлита), называются эвтектоидными.

Стали, содержащие свыше 0,8 % С и имеющие структуру, состоящую из перлита и цементита, называются заэвтектоидными.

## **3.5 Классификация по назначению**

По назначению (применению в промышленности) углеродистая сталь классифицируется на конструкционную, инструментальную, автоматную, строительную.

### **а) Конструкционная сталь**

Это сталь обыкновенного качества, качественная и высококачественная. По назначению конструкционную сталь подразделяют на подгруппы:

1. Стали 08, 10, ст1 - ст4, спокойные, полуспокойные и особенно кипящие - малопрочные, высокопластичные. Из-за способности к глубокой вытяжке их применяют для холодной штамповки различных изделий. Без термической обработки в горячекатаном состоянии их используют для шайб, прокладок, кожухов и других деталей, изготавливаемых путем холодной деформации и сварки.

2. Стали, содержащие до 0,3 % С, называются цементуемыми. Например, стали 15, 20, 25, Бст1 -Бст4. Они предназначены для деталей небольшого размера (кулачки, толкатели, малонагруженные шестерни и т.д.), от которых требуется твердая износостойкая поверхность и вязкая сердцевина.

3. Стали, содержащие 0,3-0,5 % С, называются улучшаемыми. Например, среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55 (а также высококачественные 30А - 55А). Эти стали подвергаются улучшению - закалке с последующим высоким отпуском (сталь 30 применяется в нормализованном состоянии). После улучшения достигается высокая вязкость, пластичность и, как следствие, малая чувствительность к концентраторам напряжения. Область применения - оси, шатуны, зубчатые колеса, маховики, валы малооборотных двигателей.

Стали, содержащие более 0,5 % С, называются рессорно-пружинными. Например, стали 60, 65, 70, 75, 80, 85, а также с повышенным содержанием марганца (60Г, 65Г, 70Г). Их используют для силовых упругих элементов - плоских и круглых пружин, рессор, упругих колец и других деталей пружинного типа.

В нормализованном состоянии стали применяют для прокатных валков, шпинделей станков и других крупных деталей.

#### **б) Инструментальные стали**

Углеродистые стали, предназначенные для изготовления инструмента (ГОСТ 1425-74), производят качественными (У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13) и высококачественными (У7А - У13А). Буква У в марке показывает, что сталь углеродистая, а цифра - содержание углерода в десятых долях процента. Так, сталь У9 содержит 0,9 % С, сталь У10 - 1,0 % С, сталь У11 - 1,1 % С и т.д.

Стали У7, У8, обеспечивающие более высокую вязкость, применяют для инструментов, подвергающихся ударам: деревообрабатывающих, слесарных, кузнечных, а также пуансонов, матриц и других инструментов, деформирующих металл.

Стали У9, У10 применяют для режущих инструментов, не подвергающихся сильным толчкам и ударам (мелкие метчики, сверла).

Стали У11, У12, У13 - для инструментов с высокой твердостью на рабочих гранях, работающих при спокойной нагрузке (напильники, пилы).

#### **в) Автоматные стали**

Обработка резанием - основной способ изготовления деталей машин и приборов. С улучшением обрабатываемости стали растет производительность их обработки и уменьшается интенсивность изнашивания режущего инструмента. Особое значение это имеет для массового производства, где широко применяют автоматические линии.

Повышение обрабатываемости резанием достигается преимущественно металлургическими приемами, когда в состав стали вводятся элементы, способствующие получению сыпучей, легкоотделяющейся стружки (сера, селен, свинец, кальций) и повышающие чистоту обрабатываемой поверхности (фосфор). Подобные стали относятся к так называемым автоматным сталям. В соответствии с ГОСТ 1414-75 их маркируют буквой А (автоматная), присутствие свинца

обозначают буквой С, кальция - Ц, селена - Е, двузначная цифра после букв А или АС - среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Автоматные сернистые стали А11, А12, А20, А30, А35, А40Г являются углеродистыми, содержат 0,08 - 0,30% S и 0,05 - 0,15% P. Они предназначены для крепежных деталей, а также для малонагруженных деталей сложной формы.

Автоматным сернистым сталям присуща анизотропия механических свойств (различие механических свойств во взаимно перпендикулярных направлениях), пониженная вязкость, пластичность и, особенно, сопротивление усталости в направлении, перпендикулярном прокатке. Поэтому их не применяют для изготовления ответственных деталей машин.

Автоматные свинецсодержащие стали (0,15 - 0,30 % Pb) АС14, АС40, АС35Г2, АС45Г2 по обрабатываемости значительно превосходят сернистые. Их широко применяют на автозаводах для изготовления многих деталей двигателей. Введение свинца повышает скорость резания на 30 - 40% и в 7 раз увеличивает стойкость инструмента.

Автоматные селеносодержащие стали А35Е, А45Е содержат 0,04 - 0,1 % Se и 0,06 - 0,12 % S. Они практически изотропны, и их применение позволяет в 2 раза снизить расход инструмента и на 30 % повысить производительность обработки.

Автоматные кальцийсодержащие стали (0,002 - 0,008 % Ca) АЦ20, АЦ30 предназначены для изготовления термически упрочненных деталей, обрабатываемых твердосплавным инструментом при высоких скоростях резания.

#### г) Строительная сталь

При незначительных напряжениях в конструкциях в качестве конструкционной строительной стали применяют сталь, содержащую до 0,25% С и обладающую высокой свариваемостью (главным образом, сталь обыкновенного качества, групп Б, В).

Для армирования железобетонных конструкций применяется сталь с самым различным содержанием углерода с большим диапазоном по прочности. Арматура может быть изготовлена из проволоки, стержней, канатов и пр.

### Порядок выполнения работы

1. Познакомиться с пояснительной частью работы.
2. Выполнить работу по индивидуальному заданию. Работу оформить в виде таблицы:

Вариант №...

Из сталей .....выбрать пригодные для изготовления изделий:

№ п/п	Название изделия	Марка стали	С, %	Классификация по качеству	Классификация по назначению

## Индивидуальные задания

### Вариант 1

I. Из сталей: 65Г, У8, А25, 45, У12, ст1кп, 20, Вст3сп - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Болтов, требующихся в большом количестве.
2. Заклепок.
3. Пилы по металлу.
4. Подъемного крана, не упрочняемого термообработкой.
5. Сварного бака для хранения сыпучих материалов.
6. Пружинящего кольца.
7. Зубила.
8. Шестерни.

II. Расположите стали: 40, ст4сп, 40А - в порядке повышения их качества.

III. Указать, какие из сталей: ст6, 45, А40, 40А, 65Г, У8 – улучшаемые.

### Вариант 2

I. Из сталей: Вст3сп, 45, У12, 70, У8, А40Г, 60, ст6 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Шатуна.
2. Звеньев металлических цепей.
3. Прокатного вала.
4. Строительной конструкции с большим объемом сварки.
5. Рессоры.
6. Клейма по металлу.
7. Напильника.
8. Неответственных деталей пишущих машинок, изготавливаемых на быстросходных станках-автоматах.

II. Из приведенных сталей: 10, У10, А12, 50, 08, ст4сп - выпишите низкоуглеродистые.

III. Из приведенных сталей: У12, А15, 15, ст3, Вст4сп - выпишите цементируемые.

### Вариант 3

I. Из сталей: А20, У7, 30, 45А, У13, Вст6сп, 08кп, 60Г - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Кузова трактора.
2. Винтов, требующихся в большом количестве.
3. Рессоры.
4. Неответственной поковки, предназначенной для изготовления детали трактора.
5. Гвоздя.

6. Коленвала.
7. Граверного инструмента.
8. Молотка.

II. Объясните, в чем принципиальное отличие сталей: ст4, 40, А40, 40А.

III. Можно ли рекомендовать сталь марки СтЗсп для изделий с большим объемом сварки? Почему?

#### Вариант 4

I. Из сталей: 70, А12, 35, У11, 15кп, 20, ст6, БстЗ - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Мерительного инструмента.
2. Цементуемого валика.
3. Каната для армирования железобетонных конструкций.
4. Гаек, шайб.
5. Пружинящего кольца.
6. Сварного бака для питьевой воды.
7. Детали, изготавливаемой штамповкой в холодном состоянии.
8. Распределительного вала.

II. Объясните, в чем принципиальное различие сталей: 30, стЗ, 30А.

III. Чем отличаются стали: ст4сп, ст4пс, ст4кп?

#### Вариант 5

I. Из сталей: 20, 10кп, У10А, БстЗсп, 45, У9, Вст2, АС40 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Швейной иглы.
2. Ответственных крепежных деталей, изготавливаемых на быстроходных станках-автоматах.
3. Шестерни, упрочняемой термообработкой.
4. Втулки, упрочняемой цементацией.
5. Детали, изготавливаемой сложной гибкой в холодном состоянии.
6. Листового проката, применяемого в строительстве.
7. Слесарного инструмента.
8. Сварных труб.

II. Расположите стали: БстЗсп, 30А, 30 - в порядке повышения их качества.

III. Классифицируйте стали: 08, У11, А30, 80, Вст6 по структуре в равновесном состоянии.

#### Вариант 6

I. Из сталей: 55Г, Бст2пс, А30, У10, У7А, 40, ВстЗсп, 15 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Валика водяного насоса (цементуемого).
2. Пружины клапана.

3. Шестерни масляного насоса.
  4. Водяных труб.
  5. Неответственных деталей счетных машинок, изготавливаемых на станках-автоматах.
  6. Мелкого кузнечного штампа.
  7. Косы для скашивания травы.
  8. Строительной арматуры с большим объемом сварки.
- II. Расположите стали: стбкп, 60А, стбсп - в порядке повышения их качества.
- III. Из сталей: 80, У10, А15, У8, Встб - выпишите доэвтектоидные.

### Вариант 7

- I. Из сталей: 65Г, Бст5, У9А, Бст3сп, 20, 08кп, 45, А40Г - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:
1. Дыропробивного пуансона.
  2. Шестерни коробки передач (цементуемой).
  3. Рычага переключения.
  4. Пружины сцепления.
  5. Крепежных гаек.
  6. Сварного резервуара неответственного назначения.
  7. Неответственной поковки.
  8. Корпусной детали, изготавливаемой сложной гибкой в холодном состоянии.
- II. Чем отличаются стали: Встбсп, 60, 60А?
- III. Какая из сталей: А40, 40А, 15, 65Г, У10 - упрочняется закалкой с высоким отпуском?

### Вариант 8

- I. Из сталей: 15, 08кп, 40, 80, Бст5сп, У10А, Бст3, У8 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:
1. Шестерни масляного насоса.
  2. Неответственной поковки.
  3. Оси крановой тележки.
  4. Водяного бака.
  5. Ленточной пружины.
  6. Крышки, изготавливаемой штамповкой в холодном состоянии.
  7. Сверла.
  8. Матрицы простой формы.
- II. Из следующих сталей: 40, 05, А30, У10, 10А, 70, 55 - выписать доэвтектоидные.
- III. Классифицировать по назначению следующие стали: У13, 15Г, А30, 80А, 45.

## Вариант 9

I. Из сталей: 60Г, 20, А30, У7А, 35, У10А, ВстЗсп, 10кп - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Ножниц для резки жести.
2. Карданного вала.
3. Рессоры.
4. Рычага переключения (цементуемого).
5. Кузова автомобиля.
6. Неответственных крепежных деталей.
7. Сварного резервуара для хранения песка.
8. Штампа для холодной высадки.

II. Классифицировать стали: АС40, 60А, У12, Бст2, 15, 35 - по назначению.

III. Классифицировать следующие стали: стЗсп, 40А, 13, ст6, 15, У8А - по структуре в равновесном состоянии.

## Вариант 10

I. Из сталей: У10, ВстЗкп, АЦ20, ст6, ВстЗсп, 20А, У7, 40А - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Цементуемого эксцентрика.
2. Штангенциркуля.
3. Кувалды.
4. Крепежных деталей.
5. Упрочняющей арматуры.
6. Сварной емкости.
7. Детали, изготавливаемой глубокой вытяжкой из листового металла.
8. Шестерни.

II. Из следующих сталей: А12, У11, 08кп, 80, 35, ст6 - выписать эвтектоидные.

III. Расположить стали: У8А, 40, стЗкп, ВстЗсп - в порядке улучшения их качества.

## Вариант 11

I. Из сталей: 15кп, У10, БстЗсп, У7, 65СГ, 20А, ст6, АЦ30 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Поршневого пальца (цементуемого).
2. Плоскогубцев;
3. Кувалды.
4. Проволоки для металлического каната.
5. Оградки, полученной сваркой.
6. Деталей двигателя автомобиля, обрабатываемых при высоких скоростях резания на быстроходных станках-автоматах.

7. Кольца, изготовленного штамповкой в холодном состоянии.

8. Пружины.

II. Какие стали: У8, 08, 80, - эвтектоидные?

III. В чем принципиальное отличие сталей: 60, ст6, 60А?

### Вариант 12

I. Из сталей: 40Л, 40А, У8, АС40, 10кп, 25А, 65Г, У13 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Шатуна.

2. Кузнечного штампа простой формы.

3. Прутка для протягивания на волочильном стане.

4. Втулки цементуемой.

5. Мелких деталей швейной машинки, изготавливаемых на быстроходных станках-автоматах.

6. Диск спортивный, полученный литьем.

7. Кольца с высокими упругими свойствами.

8. Эталонной мерительной плитки с высокой твердостью.

II. Чем обусловлена хорошая обрабатываемость резанием автоматных сталей?

III. Классифицируйте стали: У8, 50А, ст6 по качеству.

### Вариант 13

I. Из сталей: У10, 45А, ст3кп, А35Е, 20А, ст6, 60, Бст3сп - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Заклепки.

2. Столового ножа.

3. Втулок, изготавливаемых на быстроходных станках-автоматах.

4. Труб, изготавливаемых сваркой.

5. Стержней для получения железобетонных конструкций.

6. Вала двигателя.

7. Цементуемой шестеренки.

8. Рессоры.

II. Классифицируйте стали: 10, А12, У10, 08, У8 по структуре в равновесном состоянии

III. Расшифруйте марки сталей: АС45Г, АЦ30, А15, А35Е.

### Вариант 14

I. Из сталей: У11, 20А, 40А, У7, 15кп, Бст5сп, Вст2, 65Г - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Детали прибора, подвергаемой улучшению.

2. Корпусной детали, полученной сложной гибкой в холодном состоянии.

3. Неответственной поковки.

4. Сварно-литой конструкции.
5. Упругой спирали.
6. Отвертки.
7. Ножниц.
8. Цементуемой втулки.

II. Для чего сталь раскисляется? Назовите элементы-раскислители.

III. Имеют ли стали 08, 80, У8 одинаковую структуру? Почему?

### Вариант 15

I. Из сталей: 55, 10кп, 25А, У10, 45А, Вст4сп, У8, ст6 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Коленчатого вала.
2. Листов, подлежащих сварке.
3. Стакана, изготавливаемого холодной штамповкой.
4. Крюка подъемного крана, не упрочняемого термообработкой.
5. Металлической линейки.
6. Бритвенного лезвия.
7. Упругой ленты.
8. Мерительного шаблона с цементуемой рабочей частью.

II. Чем отличаются слитки спокойной и кипящей сталей?

III. В чем отличие сталей 40А и А40?

### Вариант 16

I. Из сталей: 20кп, У9, 25А, 40А, Бст3сп, 55, А25, ст6 - выберите пригодные для изготовления следующих изделий:

1. Иглы швейной.
2. Листов металла толщиной 2 мм для сварки встык.
3. Распределительного вала.
4. Крепежных болтов.
5. Гнутых профилей, полученных из листа гибкой в холодном состоянии.
6. Звеньев металлических цепей, не упрочняемых термообработкой.
7. Пружины часового механизма.
8. Цементуемой шестерни.

II. Как можно улучшить обрабатываемость резанием сталей массового производства?

III. Классифицируйте стали: У10, 10, А12, У8 по структуре в равновесном состоянии.

## ТЕСТЫ

### Тест №1

1. Какая из сталей содержит наибольшее количество углерода?

**Ответы:** 1) 08; 2) А15Г; 3) У10.

2. Что показывает цифра в марке стали ст5Гпс?

**Ответы:** 1) содержание углерода в десятых долях процента; 2) содержание углерода в сотых долях процента; 3) условная (не связанная с химическим составом) цифра.

3. Можно ли изготовить инструмент из стали марки 08?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Чем отличаются высококачественные стали от качественных сталей?

**Ответы:** 1) содержанием углерода; 2) нормой вредных примесей; 3) раскислением.

5. Какой элемент ослабляет краснеломкость стали?

**Ответы:** 1) кремний; 2) марганец; 3) сера; 4) фосфор.

### Тест №2

1. Имеются ли среди сталей: 10, У10, ст1 стали с равноценным содержанием углерода?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Правильно ли записана марка конструкционной высококачественной стали - ст4А?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какие из сталей упрочняются цементацией?

**Ответы:** 1) 65, 2) 15; 3) У10; 4) Вст3.

4. Что обозначает цифра в стали марки ст4?

**Ответы:** 1) процент углерода в десятых долях; 2) процент углерода в сотых долях; 3) не связана с химическим составом.

5. Какое преимущество имеет сталь ст3кп перед ст3сп?

**Ответы:** 1) лучше обрабатывается резанием; 2) лучше сваривается; 3) лучше штампуется в холодном состоянии.

### Тест №3

1. Чем отличаются стали А15, 15А?

**Ответы:** 1) содержанием углерода; 2) содержанием марганца; 3) содержанием серы и фосфора; 3) содержанием азота.

2. Сколько углерода содержит сталь марки 08?

**Ответы:** 1) 0,8%; 2) 0,08%; 3) 0,008%.

3. Какая из сталей: 35, 15, А12, У10, ст3 - цементируемая?

**Ответы:** 1) 35; 2) 15; 3) А12; 4) У10; 5) ст3.

4. Чем отличаются стали: ст1кп, ст1сп?

**Ответы:** 1) раскислением; 2) содержанием углерода; 3) нормой вредных примесей.

5. Что гарантируется ГОСТом в стали марки БстЗ?

**Ответы:** 1) химический состав; 2) механические свойства; 3) химический состав и механические свойства.

#### Тест №4

1. По какому признаку производится классификация углеродистых сталей по качеству?

**Ответы:** 1) раскислению; 2) содержанию углерода; 3) содержанию вредных примесей; 4) механическим свойствам.

2. Какая из нижеприведенных сталей – цементируемая?

**Ответы:** 1) 45А; 2) А15; 3) 20; 4) У10; 5) 50.

3. Какая сталь выплавляется с минимальным содержанием кремния?

**Ответы:** 1) спокойная; 2) полуспокойная; 3) кипящая.

4. Какая из сталей – качественная?

**Ответы:** 1) ст4сп, 2) У8А; 3) 40; 4) А40; 5) 40А.

5. Какая из сталей лучше обрабатывается резанием?

**Ответы:** 1) 85; 2) 10; 3) 35; 4) А40Г.

#### Тест №5

1. Каково основное требование, предъявляемое к стали марки А40?

**Ответы:** 1) механические свойства; 2) обрабатываемость резанием; 3) штампуемость в холодном состоянии.

2. Из какой стали лучше изготовить деталь прибора методом глубокой вытяжки?

**Ответы:** 1) У10; 2) 08кп; 3) А12; 4) 25А.

3. Какие углеродистые стали с гарантированным химическим составом поставляются металлургическими заводами?

**Ответы:** 1) стали группы А; 2) стали группы Б; 3) стали группы В.

4. Сколько углерода содержится в марке стали У12?

**Ответы:** 1) 0,12%; 2) 1,2%; 3) 12%.

5. Можно ли изготовить рессору из стали марки 08?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

#### Тест №6

1. Правильно ли записана марка углеродистой стали обыкновенного качества «ст5А»?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Какая из сталей обладает наиболее высоким качеством?

**Ответы:** 1) ст5сп; 2) А40; 3) 15А.

3. Какие из сталей – улучшаемые?

**Ответы:** 1) У10; 2) 35; 3) А40; 4) 40А.

4. Имеются ли среди сталей: ст1, 10, У10 – стали с равноценным содержанием углерода?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Чем отличаются стали А40 и 40А?

**Ответы:** 1) содержанием углерода; 2) содержанием серы и фосфора; 3) способом упрочнения.

### Тест №7

1. Какая из сталей: У12, 08, ст6 - содержит большее количество углерода?

**Ответы:** 1) У12; 2) 08; 3) ст6.

2. Правильно ли записана марка высококачественной углеродистой стали: А40?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какая из сталей упрочняется закалкой с последующим высоким отпускком?

**Ответы:** 1) 25А; 2) 55; 3) 40А; 4) А40.

4. В чем различие между сталями: ст4сп, ст4кп и ст4псп?

**Ответы:** 1) в содержании углерода; 2) в механических свойствах; 3) в раскислении; 4) в гарантируемых ГОСТом характеристиках.

5. Какие элементы вводятся в состав автоматных сталей для улучшения обрабатываемости резанием?

**Ответы:** 1) Мп, Si; 2) S, P; 3) Мп, S; 4) Si, P.

### Тест №8

1. Можно ли сказать, что сталь марки 10А – сталь обыкновенного качества?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Содержат ли стали А40, 40А, ст4 равноценное количество углерода?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какие из сталей рессорно-пружинные?

**Ответы:** 1) У7; 2) ст6; 3) 55; 4) 65Г.

4. В каких сталях ГОСТ гарантирует химический состав и механические свойства?

**Ответы:** 1) ст3; 2) 30; 3) У8; 4) Вст5.

5. Какая из сталей выплавляется в электропечах?

**Ответы:** 1) А15; 2) ст4сп; 3) 15А.

### Тест №9

1. Какую сталь следует выбрать для изготовления рессор?

**Ответы:** 1) А40; 2) У9; 3) 55; 4) 40А; 5) 15Г.

2. Что является основанием для классификации углеродистой стали по качеству?

**Ответы:** 1) содержание углерода; 2) норма вредных примесей; 3) термическая обработка – улучшение; 4) способ раскисления.

3. Какие из сталей улучшаемые?

**Ответы:** 1) А40; 2) 45; 3) 55Г; 4) ст5; 5) 35.

4. Что гарантирует ГОСТ в стали Бст4сп?

**Ответы:** 1) механические свойства; 2) химический состав; 3) химический состав и механические свойства.

5. Какая пара сталей содержит равноценное количество углерода?

**Ответы:** 1) А12 и У12; 2) ст1 и У10; 3) А40 и 40А; 4) ст4 и 40.

### Тест №10

1. Какая из сталей: ст4сп, Бст4сп, Вст4сп - поставляется по механическим свойствам?

**Ответы:** 1) ст4сп; 2) Бст4сп; 3) Вст4сп.

2. В каких плавильных агрегатах получают стали обыкновенного качества?

**Ответы:** 1) конвертерах; 2) мартеновских печах; 3) электропечах.

3. Какие элементы применяются в качестве раскислителей при общепринятом способе раскисления?

**Ответы:** 1) Mn, S, P; 2) Mn, Si, Al; 3) Mn, S, Al; 4) Mn, Si, P.

4. Какие из сталей содержат равноценное количество углерода?

**Ответы:** 1) А12 и У12; 2) ст3 и 30; 3) стУ8 и 80; 4) 10 и У10.

5. Какую сталь рекомендуется использовать для сварочных работ?

**Ответы:** 1) ст3сп; 2) Вст4; 3) 30.

### Тест №11

1. Какая из сталей выплавлена в электропечи?

**Ответы:** 1) 20; 2) ст2; 3) А20; 4) 20А.

2. Какая разница между сталями 80 и У8?

**Ответы:** 1) в норме вредных примесей; 2) в содержании углерода; 3) в свойствах; 4) разницы нет.

3. Какая из сталей цементируемая?

**Ответы:** 1) А15; 2) 15А; 3) У10; 4) ст2.

4. Какая из сталей обладает наилучшей обрабатываемостью резанием?

**Ответы:** 1) 10; 2) У10; 3) 40А; 4) А40.

5. Можно ли из стали 08 изготовить штамповый инструмент?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №12

1. Как называется операция введения в жидкий расплав элементов Mn, Si, Al?

**Ответы:** 1) модифицирование; 2) раскисление; 3) обезуглероживание; 4) окисление.

2. Какая из сталей цементируемая?

**Ответы:** 1) ст2сп; 2) А20; 3) 20А.

3. Какой элемент вызывает образование трещин при минусовых температурах?

**Ответы:** 1) S; 2) P; 3) Mn; 4) Al.

4. Какая сталь содержит наименьшее количество вредных примесей?

**Ответы:** 1) А40; 2) У8А; 3) Вст4сп; 4) 40.

5. Обладает ли сталь У10 пластичностью в холодном состоянии?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №13

1. В чем принципиальное отличие между сталями: 60, 60А, ст6?

**Ответы:** 1) в химическом составе; 2) в гарантируемых ГОСТом характеристиках; 3) в норме вредных примесей; 4) в раскислении.

2. Какая из сталей улучшаемая?

**Ответы:** 1) У13; 2) 15Г; 3) А30; 4) 45; 5) 80А.

3. Какая из сталей является качественной?

**Ответы:** 1) ст3сп; 2) 40А; 3) 15; 4) А25; 5) У11А.

4. Какая из сталей содержит наибольшее количество углерода?

**Ответы:** 1) А12; 2) У11; 3) 85.

5. Какой элемент вызывает образование трещин при температуре красного каления стали?

**Ответы:** 1) P; 2) S; 3) Si; 4) Mn.

### Тест №14

1. На какую характеристику стали более всего влияет способ ее производства?

**Ответы:** 1) структуру; 2) норму вредных примесей; 3) содержание кислорода; 4) содержание углерода.

2. Можно ли упрочнить закалкой сталь 15?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Из какой стали нельзя изготовить пружину?

**Ответы:** 1) 65; 2) У13; 3) 08.

4. Какая из сталей лучше обрабатывается резанием?

**Ответы:** 1) А40Г; 2) 40ГА.

5. Какую сталь не рекомендуется использовать для сварки?

**Ответы:** 1) 15; 2) 08; 3) ст3сп.

## Тест №15

1. Какая из сталей высокоуглеродистая?

**Ответы:** 1) 80; 2) У11; 3) А12.

2. Можно ли рекомендовать ст2сп для изделий с большим объемом сварки?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какую сталь лучше применить для малонагруженных мелких деталей, изготавливаемых большими партиями?

**Ответы:** 1) У10; 2) 40А; А12; 4) 80.

4. Какое содержание углерода является предельным при изготовлении изделий холодной обработкой давлением?

**Ответы:** 1) 0,2%; 2) 0,4%; 3) 0,6%; 4) 0,8%.

5. У какой стали выше упругость?

**Ответы:** 1) 08; 2) 60.

## Тест №16

1. Является ли сталь 35 цементируемой?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Сколько углерода содержится в стали А12?

**Ответы:** 1) 0,12%; 2) 1,2%.

3. Какая сталь содержит наибольшую норму вредных примесей?

**Ответы:** 1) 08кп; 2) Вст4сп; 3) 15; 4) 20А.

4. Какие стали лучше штампуются в холодном состоянии?

**Ответы:** 1) спокойные; 2) кипящие.

5. Обладает ли сталь 55 упругостью?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

## РАЗДЕЛ 4

# ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛИ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

### Цель работы:

1. Научиться определять по микроструктуре тип сплава (техническое железо, сталь доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная).
2. Приобрести навыки в установлении зависимости между структурой, механическими и технологическими свойствами стали.

### Задание:

1. Изучить под микроскопом структуру технического железа и углеродистых сталей с разным содержанием углерода из лабораторной коллекции;
2. Выполнить индивидуальный вариант задания;
3. Ответить на вопросы теста.

### Методические указания

1. Изучение микроструктуры под микроскопом производить в порядке увеличения содержания углерода в образцах, т.е. начиная с №1 и далее.
2. Дать название изучаемому материалу (техническое железо, сталь доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная) и оценить в целых процентах количество структурных составляющих в каждом образце.
3. Определить содержание углерода в образцах доэвтектоидной стали с разным содержанием углерода и заэвтектоидной сталей по формулам:

$$\%C_{\text{доэвт.}} = \frac{0,8 \cdot \%P}{100};$$
$$\%C_{\text{заэвт.}} = \frac{0,8 \cdot \%P}{100} + \frac{6,67 \cdot \%Ц}{100}.$$

4. По содержанию углерода записать марку стали (все изучаемые стали - качественные).
5. Результаты исследования оформить в виде таблицы 4.1:

Таблица 4.1 - Результаты изучения микроструктуры углеродистой стали в равновесном состоянии

№ обр.	Название материала	Количество структурных составляющих			% С	Марка стали	Схематическое изображение микроструктуры
		% Ф	% П	% Ц			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Техническое железо						
2	Доэвтектоидная сталь						

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Доэвтектоидная сталь						
4	Эвтектоидная сталь						
5	Заэвтектоидная сталь						

**Основные сведения**

**4.1 Влияние углерода на структуру и свойства стали**

Стали - сплавы железа с углеродом. Во все стали углерод входит как необходимая составная часть, так как от содержания углерода зависят очень многие свойства стали.

Влияние углерода на свойства стали связано с его влиянием на структуру. На рисунке 4.1 приведен стальной участок диаграммы Fe - Fe<sub>3</sub>C, из которого следует, что в структуру углеродистой стали могут входить феррит, перлит и цементит.

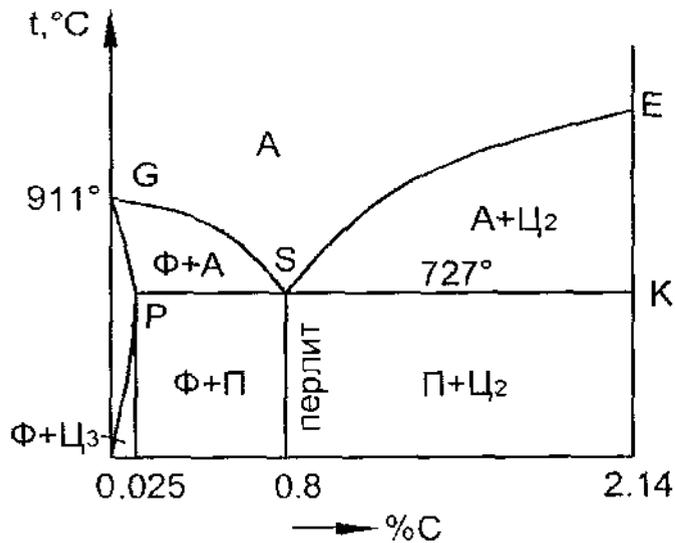


Рисунок 4.1 - Стальной участок диаграммы Fe - Fe<sub>3</sub>C

**Феррит (Ф)** - твердый раствор углерода в α-железе, содержащий при комнатной температуре до 0,006 % C, т.е. практически феррит обладает свойствами железа. По сравнению с другими структурными составляющими феррит наиболее пластичен (относительное удлинение составляет 40 – 50 %) и это свойство сообщает стали. Твердость и прочность феррита невысоки (твердость составляет 80 - 90 НВ, сопротивление разрыву  $\sigma_b=218 - 240$  МПа). С увеличе-

нием содержания углерода в стали количество феррита уменьшается (рисунок 4.2, а), следовательно, уменьшается и пластичность стали (рисунок 4.2, б).

**Цементит (Ц)** - химическое соединение железа с углеродом, иначе карбид железа  $Fe_3C$ . Имеет постоянную концентрацию углерода - 6,67 %. Очень тверд (до 800 НВ), хрупок ( $\delta \rightarrow 0$ ), имеет низкую прочность ( $\delta_b \approx 30$  МПа). С повышением содержания углерода количество цементита увеличивается, следовательно, увеличивается и твердость стали (рисунок 4.2, а, б).

**Перлит (П)** - эвтектоидная механическая смесь, состоящая из феррита и цементита. Вследствие дисперсного строения этой смеси, она характеризуется наиболее высокой по сравнению с другими структурными составляющими прочностью ( $\delta_b \approx 860 - 900$  МПа). Поскольку количество перлита с повышением содержания углерода от 0 до 0,8 % увеличивается от 0 до 100 %, а затем снижается (за счет появления в структуре стали вторичного цементита), то прочность меняется по кривой с максимумом, причем максимум соответствует концентрации углерода 0,8 - 0,9 %.

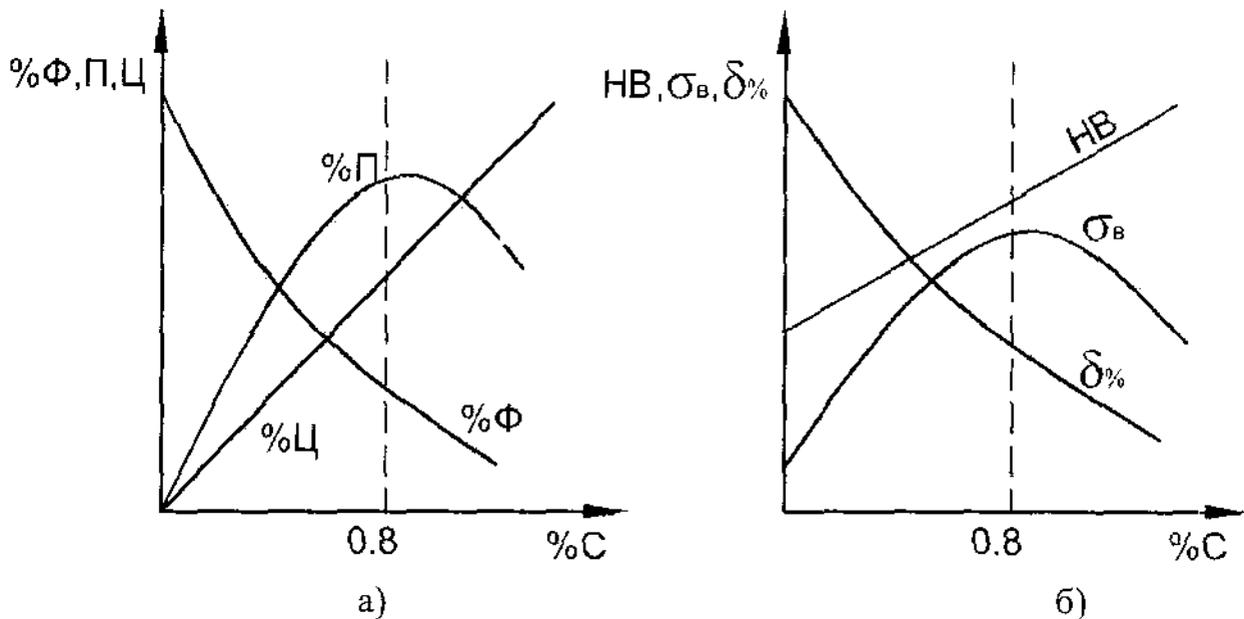


Рисунок 4.2 – Влияние углерода на структуру (а) и свойства (б) углеродистой стали

Углерод также оказывает влияние и на технологические свойства стали - свариваемость, обрабатываемость давлением, резанием, жидкотекучесть. Так, стали, содержащие до 0,3 % С, свариваются отлично; 0,3 - 0,37 % - хорошо, 0,37 - 0,45 - удовлетворительно. С дальнейшим повышением содержания углерода свариваемость ухудшается.

Поскольку с повышением содержания углерода пластичность стали уменьшается, то обрабатываемость давлением тоже ухудшается. В холодном состоянии обработке давлением (штамповке, прессованию, волочению, гибке, вытяжке и пр.) подвергаются стали, содержащие не выше 0,2% С. Особенно высокой пластичностью обладают при этом кипящие стали.

Оптимальная обрабатываемость резанием соответствует концентрации углерода 0,3 - 0,5%, т.е. феррито-перлитной структуре. Стали с меньшим содержанием углерода, содержащие в структуре большое количество феррита, характеризуются высокой вязкостью, вследствие чего обрабатываемость резанием этих сталей затруднена.

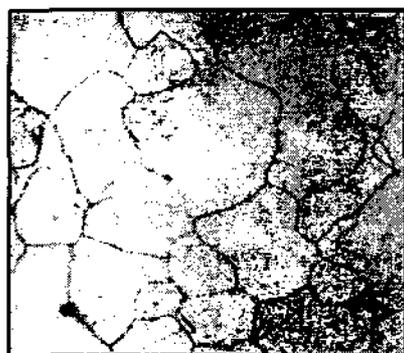
С повышением содержания углерода твердость стали возрастает, и это также отрицательно сказывается на обрабатываемости резанием. Особенно трудно обрабатываются резанием стали, содержащие в структуре вторичный цементит.

Практическая жидкотекучесть с повышением содержания углерода улучшается.

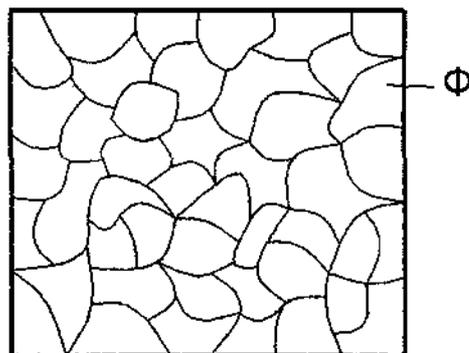
## 4.2 Микроструктура железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии

### Техническое железо

Техническое железо занимает на диаграмме  $Fe_3C$  область, простирающуюся до концентрации углерода 0,025 %. Сплавы, содержащие менее 0,006 % С, являются однофазными и имеют структуру одного феррита (рисунок 4.3). К ним относится электролитическое железо. Сплавы, содержащие более 0,006 % С, но менее 0,025 % С, являются двухфазными - они содержат, кроме феррита, третичный цементит, выделяющийся в виде отдельных точечных включений по границам и внутри зерен феррита.



а



б

Рисунок 4.3 - Феррит,  $\times 250$ :

а – микроструктура; б – схема зарисовки

### Дозвтектоидная сталь

Дозвтектоидные стали содержат более 0,025 %, но менее 0,8 % углерода. Их структура состоит из феррита и перлита (рисунок 4.4). Феррит в виде светлой составляющей, а перлит - в виде темной. С увеличением содержания углерода количество перлита в стали увеличивается.

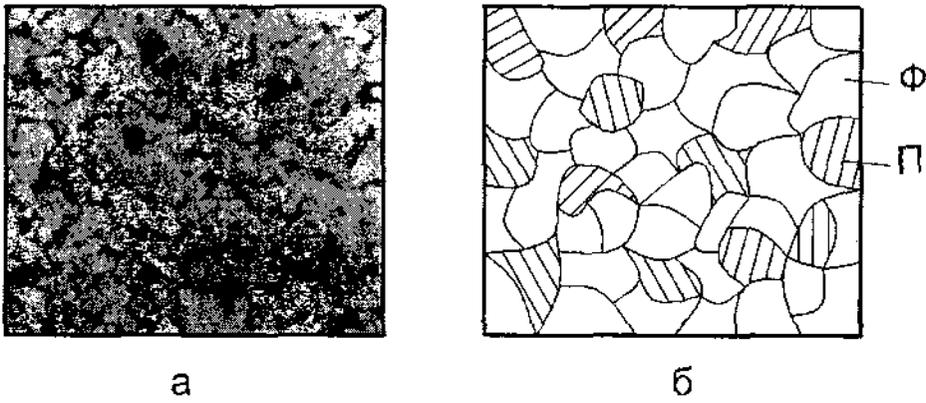


Рисунок 4.4 - Структура доэвтектоидной стали, феррит и перлит,  $\times 250$ :  
а – микроструктура; б – схема зарисовки

По микроструктуре, с достаточной для практических целей точностью, можно определить содержание углерода в отожженных доэвтектоидных углеродистых сталях.

Пренебрегая содержанием углерода в феррите, можно считать, что весь углерод в доэвтектоидных сталях находится в перлите.

Например, пусть 60% всей площади рассматриваемого под микроскопом шлифа занято перлитом, а 40% - ферритом. Так как весь углерод находится в перлите, то содержание углерода в стали будет следующим:

$$C = \frac{60 \cdot 0,8}{100} = 0,48\%.$$

Такое содержание углерода соответствует стали марки 50.

### Эвтектоидная сталь

Сталь с 0,8 % C, содержащая в структуре только один перлит (эвтектоид), называется эвтектоидной сталью. Структура эвтектоидной стали показана на рисунке 4.5.

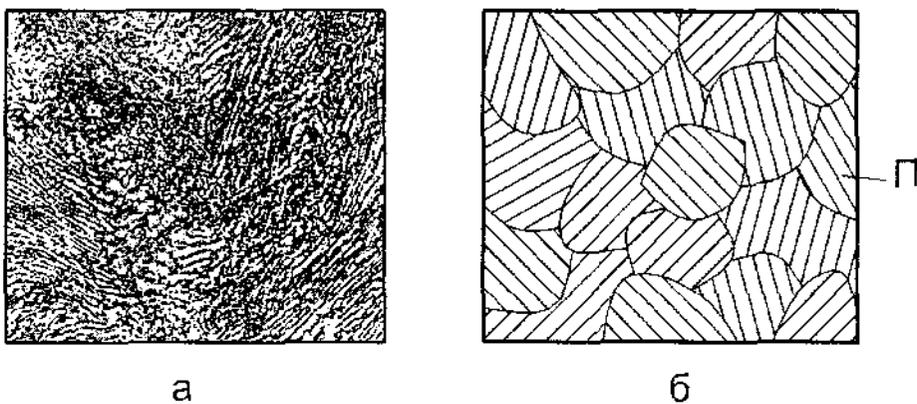


Рисунок 4.5 – Структура эвтектоидной стали,  $\times 500$ :  
а - микроструктура; б – схема микроструктуры

### Заэвтектоидная сталь

Стали, содержащие более 0,8 % С, называются заэвтектоидными. Их структура при комнатной температуре состоит из перлита и вторичного цементита, выделяющегося в виде сетки по границам перлитных зерен (рисунок 4.6).

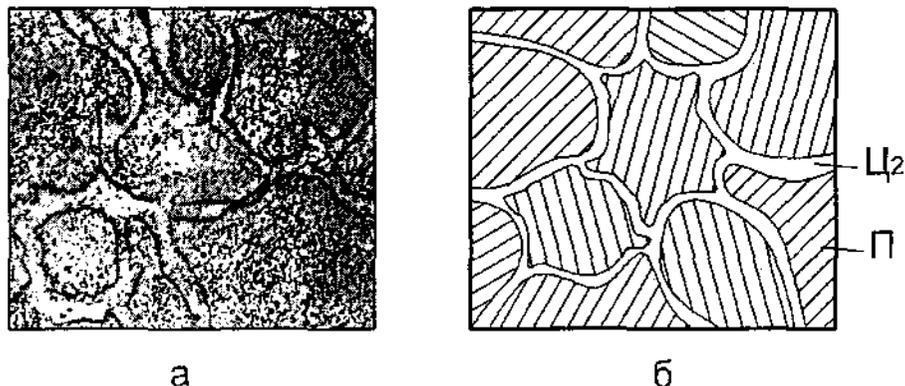


Рисунок 4.6 – Структура заэвтектоидной стали,  $\times 500$ :  
а - микроструктура; б – схема микроструктуры

### Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Расположите стали: 25А, У11, АЦ20, 08, 85, ст5 - в порядке увеличения в них количества феррита. Схематически изобразите график зависимости « $\delta$  - % С».
2. Из сталей 08кп, У8, 85, А12, У12А выпишите заэвтектоидные.
3. Какие из структурных составляющих стали характеризуются постоянством в содержании углерода?
4. Какая из сталей хорошо штампуются в холодном состоянии: 15кп, 50А, У10А, 45, 60Г?

#### Вариант 2

1. Как по структуре доэвтектоидной стали можно определить, какая из них наиболее пластична?
2. Расположите структуры: 1) 90% Ф + 10% П; 2) 90% П + 10% Ф; 3) 95% Ф + 5% Ц<sub>3</sub>; 4) 100% П; 5) 97% П + 3% Ц<sub>2</sub> в порядке увеличения твердости. Укажите возможные марки сплавов с такой структурой.
3. Можно ли отличить по структуре сталь А12 от стали У12?
4. Какая из сталей: 40А, ст4сп, У11, А40 - лучше других обрабатывается резанием?

### Вариант 3

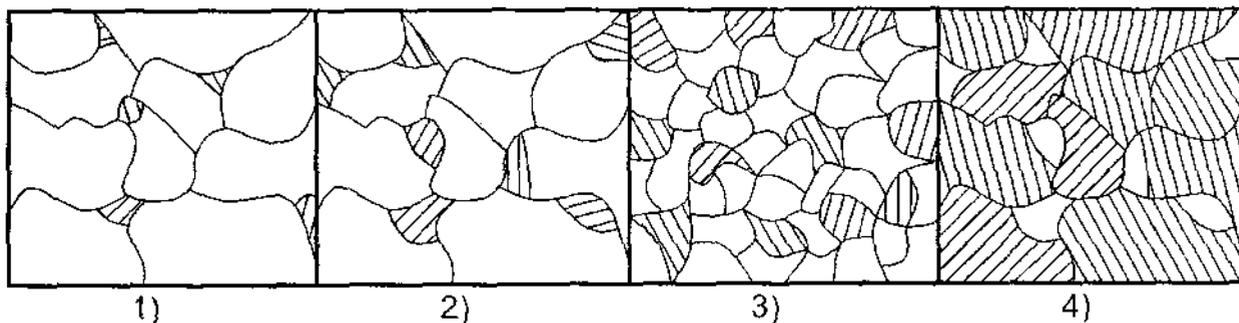
1. Расположите стали: стбсп, 80, 45, 60, У12А, 08 - в порядке уменьшения прочности. Укажите структуру этих сталей.
2. Выпишите стали, обладающие наилучшей сваримостью: У10, 10, ст6, 08кп, А12, ст4, 45А, 85.
3. В структуре доэвтектоидной стали содержится 30% Ф. Укажите марку, определите назначение.
4. Отличаются ли стали 45 и 45А по структуре в равновесном состоянии?

### Вариант 4

1. Какие из сталей – заэвтектоидные: У11А, 05, 55, 85, ст5, У10, У8, 10, 80?
2. В структуре заэвтектоидной стали содержится 3% Ц. Укажите марку и определите назначение стали.
3. Какая из сталей: У13, 08, БстЗсп, У8, АС40 - лучше всего:
  - сваривается;
  - штампуется в холодном состоянии;
  - самая прочная;
  - самая твердая;
  - хорошо обрабатывается резанием?
4. Можно ли по структуре отличить сталь марки 08 от стали У8?

### Вариант 5

1. Расположите стали: 20А, У8А, ст5, 85, У8, 08, 55 - в порядке возрастания в них количества перлита. Укажите структуру этих сталей.
2. Объясните, почему одна из сталей: 10, У10, 45 - лучше других обрабатывается резанием.
3. Доэвтектоидная сталь содержит 30% Ф. Какая из представленных схем отражает марку этой стали? Укажите структурные составляющие.



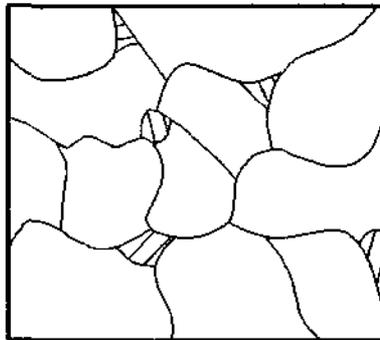
4. В чем преимущества стали ст3кп перед сталью ст3сп?

### Вариант 6

1. Сплав с какой структурой: 1)  $\Phi$ +П; 2)  $\Phi$ +Ц<sub>3</sub>; 3) П+Ц<sub>2</sub>; 4) П – является:
  - самым пластичным;
  - самым прочным;
  - самым твердым;
  - лучше других обрабатывается резанием?
2. Стали каких марок содержат одинаковое количество углерода: 10, 08, ст1сп, У10А, 80, У8?
3. Объясните, почему стали марок 40А и Бст4 имеют одинаковую структуру, но разные свойства.
4. Расположите стали: 40, Бст5, У11, А12, 80, 08, 70Г - в порядке возрастания твердости.

### Вариант 7

1. Какие из сплавов: техническое железо, 10, У13А, ст5, 85, 08, У8А - содержат в структуре цементит в свободном состоянии?
2. Расположите стали со структурой: 1) 95%  $\Phi$ +5%Ц<sub>3</sub>; 2) 92% П+8%Ц<sub>2</sub>; 3) 10% П+90%  $\Phi$ ; 4) 55% П+45%  $\Phi$ ; 5) 98% П+ 2%Ц<sub>2</sub> - в порядке уменьшения пластичности. Укажите марки сталей и их назначение.
3. Какие из сталей: 10, А12, У13, ст6, 08, У9 - хорошо штампуются в холодном состоянии?
4. Какая из сталей: 08кп, 45, У9А, 85, У8, У11 - имеет структуру, указанную на схеме? Укажите фазовый состав этой стали.



### Вариант 8

1. В структуре стали содержится 95% П. Укажите возможные марки и определите их назначение.
2. Какая из сталей: У9, 05, Бст3сп, 45А, У12 - лучше всего:
  - сваривается;
  - штампуются в холодном состоянии;
  - самая прочная;
  - самая твердая;

- хорошо обрабатывается резанием?

3. Можно ли по структуре отличить сталь марки 10 от стали У10?

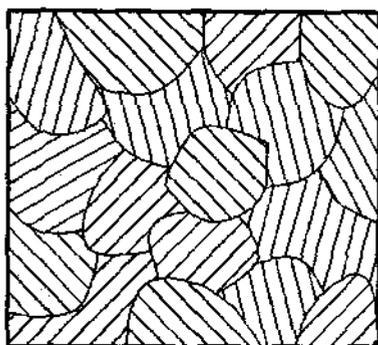
4. Какие из сталей доэвтектоидные: 35, 05, 55, 85, Бст5, У10, У8, 10, 80?

### Вариант 9

1. Укажите, в каких материалах: техническое железо, 08кп, 25А, У13А, АЦ20, 85, У10, Бст6 - содержится цементит в свободном состоянии.

2. Какая из сталей: 35, 15, Бст6, У11А - лучше других обрабатывается резанием? Обоснуйте ответ.

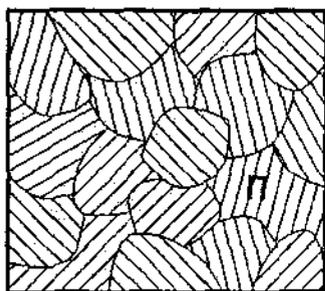
3. Определите марку стали, схема структуры которой приведена. Какие фазы входят в состав этого сплава?



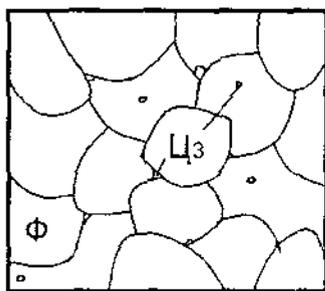
Расположите стали: Бст2, У12, А35Е, 35А, 08, 80, У9, 65Г - по мере возрастания их прочности.

### Вариант 10

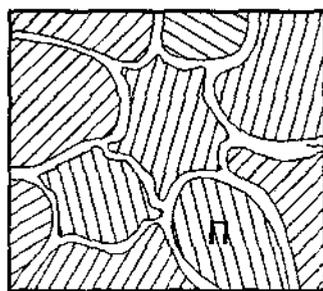
1. На схеме представлены микроструктуры сталей.



1



2



3

Сталь с какой микроструктурой:

- самая твердая;
- самая прочная;
- самая пластичная?

Укажите марки выбранных сталей.

2. Какие из сталей – заэвтектоидные: ст3, У11, А12, 70Г, 85, 40А, 80, 08кп?

3. В какой из структурных составляющих стали содержится наибольшее количество углерода?

4. В структуре стали содержится 85% Ф. Укажите марку и назначение этой стали.

### Вариант 11

1. Как по структуре двух доэвтектоидных сталей определить, какие из них более пластичные?

2. Расположите структуры: 1) 90% Ф+10% П; 2) 90% П+10% Ф; 3) 95% Ф+5% Ц<sub>3</sub>; 4) 100% П; 5) 97% П+3% Ц<sub>2</sub> - в порядке увеличения твердости. Укажите возможные марки сплавов с такой структурой.

3. Можно ли отличить по структуре сталь А12 от стали У12?

4. В чем разница в структуре сталей А40 и 40А?

### Вариант 12

1. В чем отличие в микроструктуре сталей 50 и 65?

2. Содержится ли в структуре стали 80 цементит? Если содержится, то сколько?

3. Расположите стали со структурой: 1) 95% Ф+5% Ц<sub>3</sub>; 2) 92% П+8% Ц<sub>2</sub>; 3) 10% П+90% Ф; 4) 55% П+45% Ф; 5) 98% П+2% Ц<sub>2</sub> - в порядке уменьшения пластичности. Укажите примерные марки сталей и их назначение.

4. Какие из сталей: 10, У9А, А12, ст6, 08, У13 хорошо штампуются в холодном состоянии?

### Вариант 13

1. Укажите все различия между ферритом и аустенитом. Может ли структура стали состоять из феррита или аустенита?

2. Выпишите марки всех углеродистых сталей, в структуре которых присутствует вторичный цементит. Определите их назначение.

3. Как по количеству перлита определить приблизительно содержание углерода в стали?

4. Объясните с точки зрения структуры, почему сталь марки 08 хорошо штампуются в холодном состоянии.

### Вариант 14

1. Сколько феррита и перлита содержится в стали 60?

2. В структуре стали содержится 5% Ц<sub>2</sub>. Определить содержание углерода и зарисовать микроструктуру стали.

3. Какие свойства относятся к технологическим? Как влияет углерод на технологические свойства?

4. В чем преимущество стали ст3кп перед сталью ст3сп?



## Тест №2

1. Что собой представляет феррит?

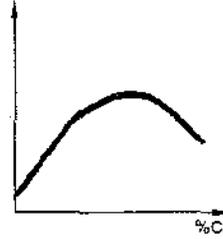
**Ответы:** 1) твердый раствор замещения; 2) твердый раствор внедрения.

2. В структуре доэвтектоидной стали содержится 20% феррита. Какую марку имеет эта сталь?

**Ответы:** 1) 45; 2) 65; 3) У8; 4) 20.

3. Какое механическое свойство углеродистой стали меняется в соответствии с графиком?

**Ответы:** 1) твердость; 2) прочность; 3) пластичность.



4. Отличаются ли по структуре стали марок 10 и У10?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Какая из нижеприведенных сталей имеет наивысшую прочность?

**Ответы:** 1) 08; 2) А12; 3) У12; 4) У9; 5) 45.

## Тест №3

1. В структуре доэвтектоидной стали содержится 10% перлита. Какую марку имеет эта сталь?

**Ответы:** 1) 08; 2) 10; 3) У9; 4) 80.

2. К какому типу структур относится цементит?

**Ответы:** 1) твердый раствор; 2) механическая смесь; 3) химическое соединение.

3. Какое положение на диаграмме состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C занимает сталь 08?

**Ответы:** 1) доэвтектоидная; 2) эвтектоидная; 3) заэвтектоидная.

4. Какую структуру имеет при комнатной температуре сталь У10?

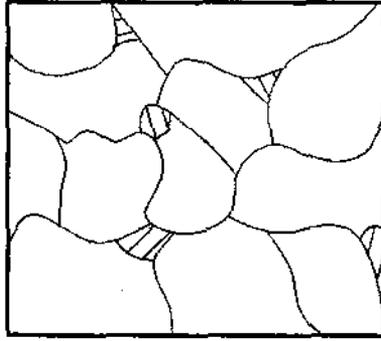
**Ответы:** 1) Ф+Ц<sub>3</sub>; 2) П+Ц<sub>2</sub>; 3) Ф+П; 4) П.

5. Какое влияние на свойства стали оказывает перлит?

**Ответы:** 1) увеличивает прочность; 2) увеличивает пластичность; 3) увеличивает твердость.

### Тест №4

1. Какой марке соответствует приведенная микроструктура?



**Ответы:** 1) 08; 2) 40; 3) У8; 4) У10.

2. Какая сталь обладает наивысшей прочностью?

**Ответы:** 1) У12; 2) 08; 3) 20; 4) 65Г; 5) У8.

3. Какая структурная составляющая придает стали твердость?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) цементит.

4. При какой структуре пластичность железоуглеродистого сплава наивысшая?

**Ответы:** 1) Ф+Ц<sub>3</sub>; 2) Ф+П; 3) П; 4) П+Ц<sub>2</sub>.

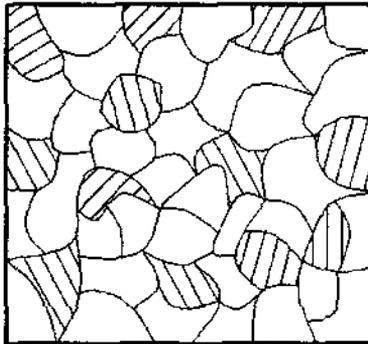
5. Может ли сталь кристаллизоваться при постоянной температуре?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №5

1. Какая сталь имеет микроструктуру, приведенную на рисунке?

**Ответы:** 1) 08; 2) У10; 3) 40; 4) У8.



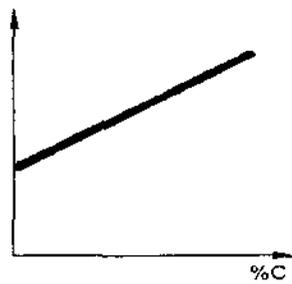
2. Какая структурная составляющая стали обеспечивает прочность?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) цементит.

3. Какая сталь лучше обрабатывается резанием?

**Ответы:** 1) 15; 2) 40; 3) У10.

4. Какое механическое свойство углеродистой стали меняется в соответствии с приведенным графиком?



**Ответы:** 1) твердость; 2) прочность; 3) пластичность.

5. В структуре доэвтектоидной углеродистой стали присутствует 50% феррита. Какую марку имеет эта сталь?

**Ответы:** 1) 20; 2) 40; 3) 50; 4) 60.

### Тест №6

1. При какой структуре сталь будет обладать наивысшей прочностью?

**Ответы:** 1) Ф+Ц<sub>3</sub>; 2) Ф+П; 3) П; 4) П+Ц<sub>2</sub>.

2. В какой из структурных составляющих стали содержится наибольшее количество углерода?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) цементит.

3. Какую структуру имеет техническое железо?

**Ответы:** 1) Ф; 2) Ф+Ц<sub>2</sub>; 3) Ф+Ц<sub>3</sub>; 4) Ф+П; 3) П; 5) П+Ц<sub>2</sub>.

4. В структуре доэвтектоидной углеродистой стали содержится 90% перлита. Какую марку имеет эта сталь?

**Ответы:** 1) 10; 2) У9; 3) 70.

5. Какая из сталей хуже всего обрабатывается резанием?

**Ответы:** 1) 10; 2) 35; 3) У13.

### Тест №7

1. Какая из сталей имеет структуру Ф+П?

**Ответы:** 1) А12; 2) У12; 3) У8.

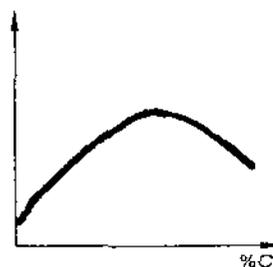
2. Какая из сталей наиболее прочная?

**Ответы:** 1) ст6; 2) 80; 3) У11; 4) А12.

3. Какая из структурных составляющих стали обладает наиболее низкой твердостью?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) цементит.

4. Какая из характеристик:  $\delta\%$ ,  $\sigma_B$ , НВ - меняется по закону, указанному на графике?



**Ответы:** 1)  $\delta\%$ ; 2)  $\sigma_B$ ; 3) НВ.

5. Какая структурная составляющая имеет гранцентрированную кубическую решетку?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) аустенит; 4) цементит.

### Тест №8

1. Какие из структурных составляющих стали характеризуются постоянством в содержании углерода?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) аустенит; 4) цементит.

2. При каком способе охлаждения в стали образуется наиболее равновесная структура?

**Ответы:** 1) на воздухе; 2) в воде; 3) вместе с печью.

3. Какая из сталей лучше штампуется в холодном состоянии?

**Ответы:** 1) 85; 2) 08кп; 3) 45; 4) У12.

4. При какой структуре сталь будет обладать наивысшей пластичностью?

**Ответы:** 1) 80% Ф+20% П; 2) 80% П+20% Ф; 3) 50% П+50% Ф; 4) 95% П+5% Ц<sub>2</sub>.

5. Может ли структура стали состоять из одного феррита?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №9

1. Какая структура обеспечивает стали наиболее высокую твердость?

**Ответы:** 1) 90% Ф+10% П; 2) 95% П+5% Ц<sub>2</sub>; 3) 95% Ф+5% Ц<sub>3</sub>.

2. В структуре доэвтектоидной углеродистой стали присутствует 80% перлита. Какова марка этой стали?

**Ответы:** 1) 20; 2) 45; 3) 55; 4) 65; 5) 80.

3. Какую структуру имеет сталь 10?

**Ответы:** 1) Ф+Ц<sub>3</sub>; 2) Ф+П; 3) П; 4) П+Ц<sub>2</sub>.

4. Сталь с какой структурой обладает наилучшей обрабатываемостью резанием?

**Ответы:** 1) Ф+Ц<sub>3</sub>; 2) Ф+П; 3) П; 4) П+Ц<sub>2</sub>.

5. В структуре какой стали содержится больше цементита?

**Ответы:** 1) ст6; 2) А15; 3) У10; 4) 85.

### Тест №10

1. Какая из сталей обладает наибольшей прочностью?

**Ответы:** 1) У10; 2) А12; 3) 85; 4) 45; 5) ст6.

2. Какая из структурных составляющих обеспечивает пластические свойства стали?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) цементит.

3. В какой из структурных составляющих стали содержание углерода может меняться?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) цементит.

4. В структуре какой стали содержится наименьшее количество цементита?

**Ответы:** 1) ст6; 2) У10; 3) 85; 4) А15.

5. Какие из структур являются равновесными?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) мартенсит; 4) сорбит.

### Тест №11

1. Какая из сталей имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита?

**Ответы:** 1) 05; 2) У11; 3) 65Г; 4) А12.

2. Сталь содержит 20% Ф. Какой марки эта сталь?

**Ответы:** 1) 15; 2) 40; 3) 70.

3. Как меняется КСЧ с повышением содержания углерода?

**Ответы:** 1) увеличивается; 2) уменьшается.

4. Можно ли из стали 08 изготовить инструмент?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Какие структурные составляющие стали являются равновесными?

**Ответы:** 1) Ф; 2) А; 3) П; 4) Ц.

### Тест №12

1. При каком содержании углерода в структуре стали появляется перлит?

**Ответы:** 1) 0,8%С; 2) 0,02%С; 3) 0,08%С.

2. Какое механическое свойство присуще твердым растворам – ферриту и аустениту?

**Ответы:** 1) твердость; 2) прочность; 3) пластичность.

3. В стали содержится 1% свободного цементита. Какой марки эта сталь?

**Ответы:** 1) 65; 2) У9; 3) 0,08.

4. Какая структура стали наиболее предпочтительна при изготовлении изделий листовой штамповкой?

**Ответы:** 1) 10%Ф+90%П; 2) 10%П+90%Ф; 3) 10%Ц+90%П.

5. Какое механическое свойство у стали 65 является преобладающим?

**Ответы:** 1) твердость; 2) прочность; 3) пластичность; 4) упругость.

### Тест №13

1. Какая структура наиболее вероятна на поверхности стали 15 после цементации?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) П; 3) П+Ц<sub>2</sub>.

2. В стали содержится 15% П и 85% Ф. Какой марки эта сталь?

**Ответы:** 1) 45; 2) А12; 3) 65; 4) 08.

3. Отличаются ли стали 40 и Вст4 по количеству феррита и перлита?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какая из сталей характеризуется наиболее высокой износостойкостью?

**Ответы:** 1) 35; 2) 65; 3) У12; 4) 80.

5. Как меняется свариваемость с повышением содержания углерода?

**Ответы:** 1) улучшается; 2) ухудшается.

### Тест №14

1. В конструкционной стали содержится 65% феррита. Какого назначения эта сталь?

**Ответы:** 1) цементируемая; 2) улучшаемая; 3) рессорно-пружинная.

2. Отличаются ли стали У8 и 80 по структуре и механическим свойствам?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Почему сталь 10 плохо обрабатывается резанием?

**Ответы:** 1) твердая; 2) упругая; 3) вязкая.

4. Какова структура сердцевины деталей, изготовленных из цементируемых сталей?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) П; 3) П+Ц<sub>2</sub>.

5. Какая из сталей прочнее?

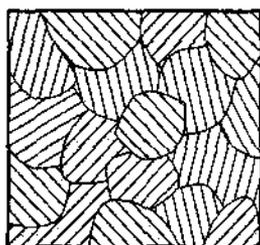
**Ответы:** 1) У9; 2) У12.

### Тест №15

1. Какая из сталей более пластична?

**Ответы:** 1) А12; 2) 15кп, 3) У10.

2. Какой фазовый состав имеет сталь, структура которой приведена на схеме?



**Ответы:** 1) Ф+Ц<sub>3</sub>; 2) (Ф+Ц)+Ф; 3) Ф+Ц.

3. Какие из сталей имеют одинаковую структуру?

**Ответы:** 1) А12 и 70; 2) У8 и 70; 3) У10 и 10.

4. Какая из сталей лучше других обрабатывается резанием?

**Ответы:** 1) 15; 2) 35; 3) 55; 4) 85.

5. Какова марка доэвтектоидной стали, содержащей 20% перлита?

**Ответы:** 1) 15; 2) 20; 3) 65; 4) 85.

### Тест №16

1. Какие из сталей имеют одинаковую структуру?

**Ответы:** 1) 08 и У8; 2) 10 и У10; 3) А10 и У10А; 4) ст6 и 60.

2. Какую сталь Вы предпочли бы для холодной штамповки?

**Ответы:** 1) А10; 2) 15; 3) Вст2кп.

3. Из каких фаз состоит структура стали У8?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) Ф+Ц<sub>3</sub>; 3) П; 4) П+Ц<sub>2</sub>.

4. Какая из сталей является наиболее прочной?

**Ответы:** 1) У12А; 2) 85; 3) 08; 4) 45А.

5. Какие из сталей доэвтектоидные?

**Ответы:** 1) А12; 2) У12; 3) Бст6; 4) 08.

## **РАЗДЕЛ 5**

### **ЧУГУНЫ**

#### **5.1 Классификация, структура и свойства чугунов**

**Цель работы:** научиться определять:

1. Структуру чугунов в зависимости от состояния углерода, формы графита и строения металлической основы.
2. Механические свойства заданных образцов чугуна по их структуре.

**Методические пособия и оборудование:**

1. Образцы чугунов из лабораторной коллекции, различающиеся формой графита и строением металлической основы.
2. ГОСТ 3443-87 для определения количества структурных составляющих чугуна путем сопоставления с эталонами.
3. Микроскоп с увеличением  $\times 100$  для определения структуры чугуна.

**Задание**

1. Классифицировать заданные образцы чугуна по форме графита. Схематически зарисовать микроструктуру трех образцов с разной формой графита, дать название чугуна и указать способ его получения.
2. Определить структуру и механические свойства заданного образца чугуна. Для этого:
  - 2.1. Потравить  $\frac{1}{2}$  часть шлифа.
  - 2.2. Изучить под микроскопом  $\frac{1}{2}$  часть шлифа после травления; определить и схематически зарисовать структурные составляющие.
  - 2.3. Определить в этом образце количество свободного, связанного и общее количество углерода.
  - 2.4. По найденным значениям углерода оценить механические свойства – прочность и твердость чугуна.
3. Ответить на вопросы теста.

**Общие сведения**

##### **5.1.1 Классификация чугунов**

Чугун отличается от стали по составу – более высоким содержанием углерода, кремния, марганца, серы и фосфора; по технологическим свойствам – лучшими литейными качествами: повышенной жидкотекучестью, малой усадкой, малой способностью к пластической деформации (в обычных условиях не поддается ковке).

В зависимости от того, в каком состоянии находится углерод, чугуны подразделяются на группы:

1. Неграфитизированные;
2. Слабо графитизированные;

### 3. Графитизированные.

К первой группе относятся так называемые белые чугуны, в которых углерод находится в связанном состоянии – в виде цементита и ледебурита. Твердость цементита составляет НВ 800, ледебурита – НВ 600, т.е. высока, а пластичность цементита  $\delta \rightarrow 0$ , поэтому белые чугуны очень тверды, хрупки, плохо поддаются обработке режущим инструментом. В машиностроении белые чугуны практически не применяются, они обычно идут на передел в сталь или используются для получения ковкого чугуна.

Структура белых чугунов соответствует диаграмме состояния «железо-цементит» (рисунок 5.1). Образуется она в результате ускоренного охлаждения железоуглеродистых сплавов, содержащих более 2,14% углерода при литье.

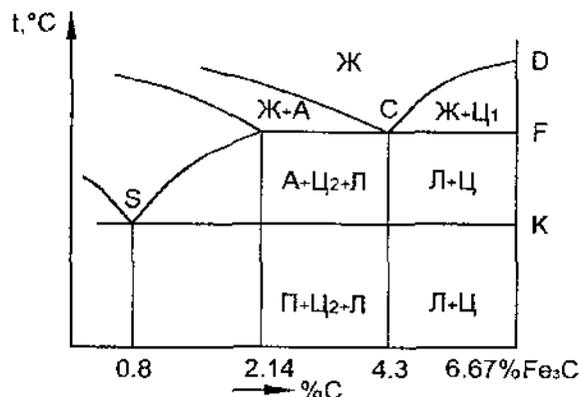


Рисунок 5.1 - Участок диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C, соответствующий области чугунов

По структуре белые чугуны делятся на:

- доэвтектические, содержащие от 2,14 до 4,3% углерода. Структура их состоит из перлита, вторичного цементита и ледебурита (рисунок 5.2, а);
- эвтектические, содержащие 4,3% углерода. Структура их состоит из ледебурита (рисунок 5.2, б);
- заэвтектические, содержащие от 4,3 до 6,6% углерода. Структура их состоит из первичного цементита и ледебурита (рисунок 5.2, в).

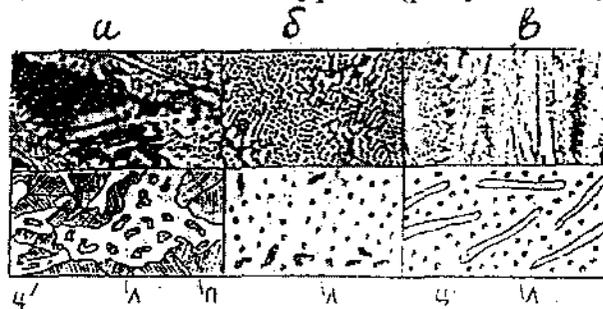


Рисунок 5.2 - Микроструктура белых чугунов и схема их зарисовки: а) доэвтектического; б) эвтектического; в) заэвтектического

Ко второй группе слабо графитизированных чугунов относятся половинчатые чугуны, содержащие углерод как в свободном (в виде графита), так и в

связанном состоянии (в виде цементита и ледебурита). Структура этих чугунов отличается от структуры заэвтектоидной стали наличием графита (рисунок 5.3) и формируется в отливках серого чугуна при ускоренном охлаждении (отбел серого чугуна).

Такие отливки либо бракуются, либо подвергаются отжигу для разложения цементита.

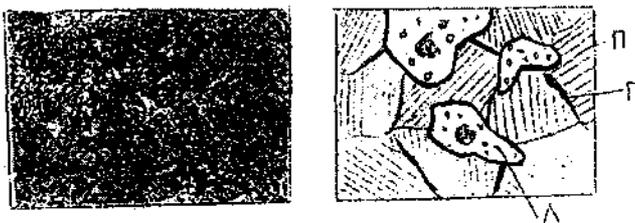


Рисунок 5.3 - Микроструктура половинчатого чугуна и схема его зарисовки

К третьей группе графитизированных чугунов относятся серые чугуны. В них углерод находится в виде графита, т.е. в свободном состоянии. Связанный углерод присутствует только в металлической основе (в перлите). Серый чугун можно рассматривать как сталь, пронизанную графитом, т.к. строение металлической основы у стали и чугуна одинаково. Чем больше в структуре графита и чем крупнее его выделения, тем ниже механические свойства. Пластинки графита в большой степени снижают предел прочности  $\sigma_b$  и, особенно, пластичность.

Однако графит в сером чугуне играет и положительную роль, сообщая ему ряд важнейших преимуществ перед сталью. Так, например, у чугуна выше литейные свойства, он лучше обрабатывается резанием, т.к. имеет более низкую твердость. Кроме этого, графит делает стружку сыпучей, ломкой, хорошо отделяющейся, действует как смазка при сухом и полусухом трении. Чугун обладает низкой чувствительностью к надрезам и, как следствие, высокой конструктивной прочностью. Это объясняется тем, что включения графита можно рассматривать ввиду низкой плотности графита как своего рода трещины. Поэтому не столь важно, если трещин (надрезов) будет несколько больше. А конструктивная прочность характеризуется чувствительностью к трещинообразованию в отличие от технической, которая характеризует прочность не конструкции, а материала.

Благодаря графиту чугун способен гасить вибрации, рассасывать пики напряжений, имеет более высокую, чем у стали, износостойкость. Эти достоинства делают чугун незаменимым конструкционным материалом.

### 5.1.2. Классификация серых чугунов по форме графита и строению металлической основы

Серые чугуны классифицируются по форме графита и строению металлической основы. В зависимости от формы графита серые чугуны подразделяются на:

- серый литейный чугун, в котором графит выделяется в пластинчатой форме (рисунок 5.4, а);
- высокопрочный чугун, в котором графит находится в шаровидной форме (рисунок 5.4, б);
- ковкий чугун, в котором графит находится в хлопьевидной форме (рисунок 5.4, в);
- чугун с вермикулярным графитом, в котором графит находится в виде мелких включений продолговатой и компактной формы (рисунок 5.4, г).

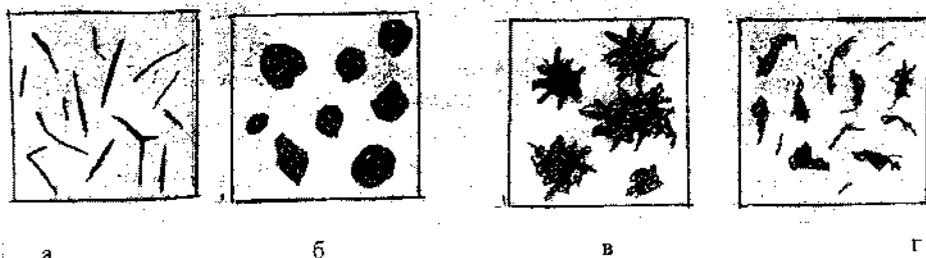


Рисунок 5.4 - Формы графита в чугуне:

- а) пластинчатая (обычный серый чугун); б) шаровидная (высокопрочный чугун); в) хлопьевидная (ковкий чугун); г) вермикулярная (чугун с вермикулярным графитом)

По строению металлической основы чугуны классифицируются (рисунок 5.5) на:

- а) ферритные, со структурой феррита и графита. Количество связанного углерода  $C_{\text{связ.}} \leq 0,025\%$ ;
- б) феррито-перлитные, со структурой феррита, перлита и графита. Количество связанного углерода  $C_{\text{связ.}} = 0,025 \dots 0,8\%$ ;
- в) перлитные, со структурой перлита и графита. Количество связанного углерода  $C_{\text{связ.}} = 0,8\%$ .

Следовательно, структура этих чугунов отличается от структуры стали только наличием свободного графита.

Металлическая основа	Форма графитных включений		
	Пластинчатая	хлопьевидная	Шаровидная
Феррит			
Феррит + Перлит			
Перлит			

Рисунок 5.5 - Классификация серых чугунов по строению металлической основы

### 5.1.3 Получение, маркировка и применение серых чугунов

Отливки из серого чугуна получают при заливке в формы расплавленного в вагранках чушкового доменного чугуна, стального и чугунного лома и ферросплавов.

Для серого чугуна ГОСТ 1412-85 устанавливает следующие марки СЧПГ (серый чугун с пластинчатым графитом) в отливках: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45. Число по маркировке является основным показателем механических свойств – предела прочности при растяжении  $\sigma_b$  в МПа  $\cdot 10^{-1}$ . Например, предел прочности чугуна марки СЧ30 равен  $300 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$ .

Механические свойства чугуна обусловлены строением его основы, а также числом, формой и характером расположения включений графита. Наиболее высокой прочностью обладает перлитный чугун, содержащий графит в виде мелких, равномерно рассеянных чешуек. Чугуны марок СЧ10 и СЧ15 относятся к феррито-перлитным, чугуны остальных марок – к перлитным.

Высшие марки СЧПГ (СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45) получают за счет модифицирования жидкого чугуна перед разливкой кальцием и кремнием.

Чугуны марок СЧ10, СЧ15 применяют для малоответственных деталей, испытывающих небольшие нагрузки для деталей сельскохозяйственных машин, станков, тракторов, автомобилей.

Перлитные чугуны (СЧ20 – СЧ45) применяют для ответственных отливок – поршней цилиндров, компрессоров, блоков двигателей, деталей, работающих на износ при небольших давлениях, станин мощных станков и т. д.

При получении высокопрочного чугуна дальнейшее повышение прочности и достижение значительной пластичности чугуна обеспечивается модифицированием магнием обычного серого чугуна, позволяющем получить глобулярный (шаровидный) графит вместо пластинчатого. Такая форма графита более благоприятна, является меньшим концентратором напряжений, чем пластинчатая, поэтому прочность высокопрочного чугуна выше. Кроме этого, высокопрочный чугун имеет повышенную пластичность:  $\delta=2...17\%$  (у СЧПГ –  $0,2...0,5\%$ ), а также ударную вязкость  $KC=200...600 \text{ кДж/м}^2$  (у СЧПГ  $20...50 \text{ кДж/м}^2$ ).

ГОСТ 7293-85 устанавливает следующие марки ВЧШГ в отливках: ВЧ30, ВЧ40, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ100. Здесь цифра показывает минимальный предел прочности при растяжении в МПа  $\cdot 10^{-1}$ .

Чугун марки ВЧ30 имеет ферритную основу, ВЧ40 – ферритно-перлитную, остальные – перлитную.

Отливки из высокопрочного чугуна широко используют в различных отраслях народного хозяйства; в автостроении для коленчатых валов, труб, крышек цилиндров и т. д. В тяжелом машиностроении – для прокатного и кузнечно-прессового оборудования. Применяется он также взамен отливок из серого чугуна, стальных отливок, поковок, штамповок.

Прочность чугуна увеличивается с увеличением массового содержания перлита в металлической основе и дисперсности глобулей графита, пластичность – с увеличением массового содержания феррита.

Ковкий чугун – условное название мягкого и вязкого чугуна, полученного из отливок белого чугуна путем длительного отжига.

Механические свойства чугуна марки КЧ50—5 соответствуют: предел прочности при испытаниях на растяжение –  $500 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$ , относительное удлинение – 5%.

Из отливок ферритного ковкого чугуна изготавливают детали, работающие при высоких нагрузках (ступицы, крюки, картеры редукторов). Перлитные ковкие чугуны обладают высокой прочностью, умеренной пластичностью и хорошими антифрикционными свойствами. Из них изготавливают валки карданных валов, втулки, муфты, тормозные колодки и т. д.

В последние годы развивается производство отливок из чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ), который по свойствам занимает промежуточное положение между чугунами с шаровидным и пластинчатым графитом. Вермикулярный графит имеет форму отдельных продолговатых включений, получается путем уменьшения количества магния при модифицировании. Поэтому в структуре ЧВГ наряду с продолговатыми включениями наблюдаются также включения компактной формы.

Для изготовления отливок применяются чугуны марок ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40, ЧВГ45 (ГОСТ28394). Условное обозначение марки включает: Ч – чугун; ВГ – форма графита и цифровое обозначение – предел прочности при растяжении в  $\text{МПа} \cdot 10^{-1}$ .

Чугуны ЧВГ30, ЧВГ35, ЧВГ40 используются для изготовления деталей общего машиностроения (взамен серого чугуна), работающих при повышенных циклических механических нагрузках (опорные детали, маслоприводы для тракторов, тормозные рычаги, бандажные кольца шестерен автомобилей повышенной грузоподъемности, крышки и головки цилиндров мощных двигателей и т. д.); для деталей двигателей внутреннего сгорания, работающих при переменных повышенных температурах и механических нагрузках (корпуса газовых турбин, изложницы, поддоны - в металлургии).

Чугун марки ЧВГ45 используется для деталей, работающих при значительных механических нагрузках в условиях трения, износа (корпуса винтовых передач, поршни и гильзы ДВС и т. д.).

#### **5.1.4 Взаимосвязь структуры и механических свойств серого чугуна с пластинчатым графитом**

Практика показывает, что при всей гамме различных форм графита, встречающихся в сером чугуне, решающим фактором, влияющим на изменение механических свойств металлической основы, является количество графита, от содержания которого зависит также количество феррита и перлита. При данном содержании углерода в чугуне ( $C_{\text{общ.}}$ ) количество графита автоматически меня-

ется с изменением количественного соотношения между перлитом и ферритом. Отсюда можно определить количество свободного и связанного углерода.

Действительно:

$$C_{\text{общ.}} = C_{\text{связ.}} + C_{\text{гр.}}, \quad (5.1)$$

где  $C_{\text{связ.}}$  – количество углерода, находящегося в перлите в связанном состоянии (в виде  $\text{Fe}_3\text{C}$ );

$C_{\text{гр.}}$  – количество свободного углерода, находящегося в виде графита.

$$C_{\text{общ.}} = \frac{\Gamma \cdot \gamma_1}{\gamma_2} + \frac{\Pi \cdot 0,8}{100} + \frac{\Phi \cdot 0,02}{100}, \quad \%, \quad (5.2)$$

где  $\Gamma$  – площадь шлифа, занимаемая графитом (определяется по эталонной шкале №1 ГОСТ3443-57);

$\Pi$  – площадь шлифа, занимаемая перлитом, определяется по шкале №6;

$\Phi$  – площадь шлифа, занимаемого ферритом (определяется как разность  $100\% - \% \Gamma - \% \Pi$ );

$\gamma_1$  – плотность графита, равная  $2,3 \text{ г/см}^2$ ;

$\gamma_2$  – плотность чугуна, равная  $7,2 \text{ г/см}^2$ .

Количество  $C_{\text{связ.}}$  является функцией перлита:

$$\Pi = \frac{C_{\text{связ.}}}{0,8} \cdot 100 \quad \%. \quad (5.3)$$

Зная  $C_{\text{связ.}}$ ,  $C_{\text{гр.}}$  можно определить прочность серого чугуна по формуле:

$$\sigma_s = \frac{75 \cdot C_{\text{связ.}} + 40}{C_{\text{гр.}} + 1,0} \text{ кг/мм}^2. \quad (5.4)$$

Зависимость между  $\sigma_s$  и НВ для серого чугуна выражается формулой:

$$\sigma_s = \frac{0,4 \cdot \text{НВ}}{C_{\text{гр.}} + 1,0}, \text{ кг/мм}^2. \quad (5.5)$$

Формулы (5.4) и (5.5) удобны для пользования и облегчают решение ряда практических задач. Они позволяют судить не только о том, какой должна получаться прочность чугуна, но и позволяют ориентировочно определить прочность чугуна для разных толщин, даже в одной и той же отливке. Для этого достаточно знать процент  $C_{\text{связ.}}$  в каждой толщине и  $C_{\text{общ.}}$ , которое неизменно для всей отливки.

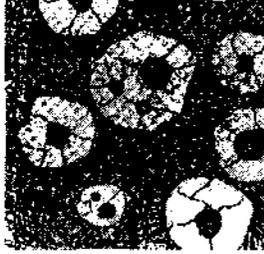
## ТЕСТЫ

### Тест №1

1. Сколько связанного углерода в перлитном сером чугунае?

**Ответы:** 1) 0%; 2) 2,14%; 3) 0,8%; 4) 4,3%.

2. Какова возможная марка чугуна, приведенного на рисунке?



**Ответы:** 1) КЧ38-12; 2) СЧ15; 3) ВЧ45-6.

Какова форма графитовых включений в белом чугунае?

**Ответы:** 1) пластинчатая; 2) шаровидная; 3) хлопьевидная; 4) графита нет.

3. Каким путем получают ковкий чугун?

**Ответы:** 1) модифицированием; 2) отжигом серого чугуна; 3) отжигом белого чугуна; 4) вторичным переплавом.

4. В каком плавильном агрегате получают белый чугун?

**Ответы:** 1) вагранке; 2) электропечи; 3) домне.

### Тест №2

1. Относятся ли ковкий и высокопрочный чугун к серым?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. В каком плавильном агрегате получают серый чугун с пластинчатым графитом?

**Ответы:** 1) домне; 2) вагранке; 3) электропечи.

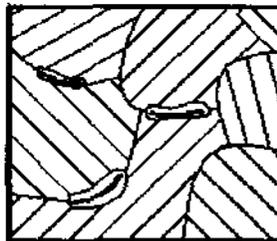
3. Чугуны с какой структурой называют половинчатыми?

**Ответы:** 1) Ф+П+Г; 2) П+Ц+Г; 3) П+Г; 4) Л+Ц.

4. Какие характеристики зашифрованы в марке чугуна КЧ37-12?

**Ответы:** 1)  $KЧ\sigma_{изг.} - \sigma_B$ ; 2)  $KЧ\sigma_B - \delta\%$ ; 3)  $KЧ\sigma_B - \sigma_{изг.}$ ; 4)  $KЧ\sigma_{изг.} - \delta\%$ .

5. Какой марке чугуна может соответствовать структура?



**Ответы:** 1) КЧ37-12; 2) СЧ15; 3) ВЧ40.

### Тест №3

1. Какую основу имеет серый чугун, если количество связанного углерода в ней – 0,6%?

**Ответы:** 1) ферритную; 2) ферритно-перлитную; 3) перлитную.

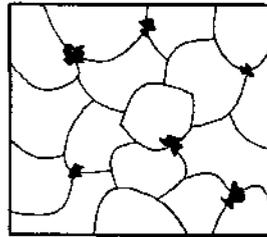
2. Какая форма графита менее всего ослабляет металлическую основу?

**Ответы:** 1) пластинчатая; 2) шаровидная; 3) хлопьевидная.

3. Почему белый чугун не применяют для получения отливок?

**Ответы:** 1) плохие литейные свойства; 2) не поддается обработке резанием; 3) быстро изнашивается.

4. Какой марке чугуна может соответствовать структура?



**Ответы:** 1) СЧ10; 2) КЧ35-10; 3) ВЧ35; 4) ЧВГ30.

5. Куется ли ковкий чугун?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №4

1. По каким показателям серый чугун превосходит сталь?

**Ответы:** 1) прочности; 2) пластичности; 3) обрабатываемости давлением; 4) обрабатываемости резанием; 5) свариваемости.

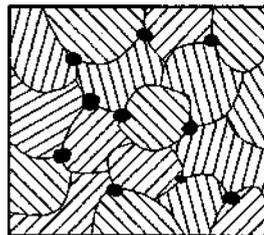
2. Благодаря какому элементу пластинчатая форма графита преобразуется в шаровидную?

**Ответы:** 1) Si; 2) Mn; 3) Mg; 4) Al.

3. Для чего применяют белый чугун?

**Ответы:** 1) для получения серого чугуна; 2) для передела на сталь; 3) для получения высокопрочного чугуна; 4) для получения ковкого чугуна.

4. Какой марке чугуна может соответствовать структура?



**Ответы:** 1) СЧ18; 2) ВЧ60; 3) КЧ60-3; 4) ЧВГ45.

5. Какая структура металлической основы серого чугуна обеспечивает оптимальную обрабатываемость резанием?

**Ответы:** 1) Ф; 2) Ф+П; 3) П.

### Тест №5

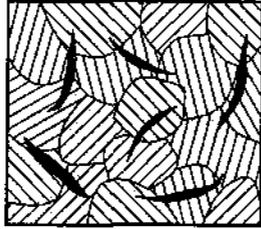
1. По каким свойствам серый чугун превосходит сталь?

**Ответы:** 1) износостойкости; 2) конструктивной прочности; 3) технической прочности; 4) жидкотекучести; 5) коррозионной стойкости.

2. Какой из чугунов получают в доменной печи?

**Ответы:** 1) серый; 2) белый; 3) высокопрочный; 4) ковкий.

3. Какой марке чугуна может соответствовать структура?



**Ответы:** 1) ВЧ60; 2) КЧ60-3; 3) СЧ20; 4) ЧВГ45.

4. Какие механические свойства чугуна наиболее сильно ослабляются графитом?

**Ответы:** 1)  $\sigma_v$ ; 2)  $\sigma_{изг.}$ ; 3)  $\delta$ ; 4) КСЧ.

5. Какой материал имеет меньший удельный вес?

**Ответы:** 1) сталь; 2) чугун.

### Тест №6

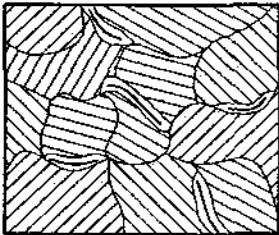
1. Общее содержание углерода в сером чугуне составляет 3%. Какова металлическая основа этого чугуна, если количество связанного углерода в нем 0,45%?

**Ответы:** 1) Ф; 2) Ф+П; 3) П.

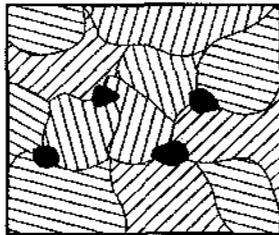
2. Почему серый чугун обладает низкой чувствительностью к надрезам?

**Ответы:** 1) т.к. хорошо гасит вибрации; 2) т.к. графит выполняет роль надрезов; 3) т.к. чугун обладает большей пластичностью, чем сталь.

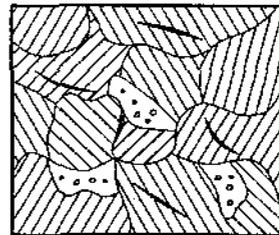
3. Какой из чугунов, приведенных на рисунке, содержит в структуре свободный цементит?



1



2



3

**Ответы:** 1) 1; 2) 2; 3) 3.

4. Какие фазы обуславливают хрупкость чугуна?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) Л; 4) Ц.

5. Как называется механическая смесь, получаемая в результате реакции:  $Ж_{С''} \rightarrow (А+Г)$ ?

**Ответы:** 1) графитная эвтектика; 2) цементитная эвтектика; 3) перлит; 4) ледебурит.

### Тест №7

1. В доэвтектическом чугунае содержится 3,2% С. Сколько углерода свободного присутствует в этом чугунае, если его структура состоит из феррита и графита?

**Ответы:** 1) 3,2%; 2) 0,8%; 3) 0,02%; 4) 0%; 5) 2,4%.

2. Какой из перечисленных чугунов, при одинаковом содержании углерода общего, содержит большее количество углерода свободного?

**Ответы:** 1) серый чугун; 2) белый чугун; 3) половинчатый чугун.

3. Какая структура серого чугуна наиболее желательна для неотвеченных отливок, подвергающихся механической обработке?

**Ответы:** 1) Ф+Г; 2) Ф+П+Г; 3) П+Г; 4) П+Г+Ц.

4. Как маркируется высокопрочный чугун?

**Ответы:** 1) ВЧ $\sigma_{в-}$   $\sigma_{изг.}$ ; 2) ВЧ $\sigma_{в-}$   $\delta$ %; 3) ВЧ $\sigma_{в}$ ; 4) ВЧ $\sigma_{изг.}$ .

5. Может ли быть в половинчатом чугунае графит шаровидной формы?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №8

1. Какая металлическая основа обеспечивает наиболее высокую прочность чугуна?

**Ответы:** 1) Ф; 2) Ф+П; 3) П.

2. Можно ли получить изделия из ковкого чугуна горячей объемной штамповкой или ковкой?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какой чугун имеет больший удельный вес?

**Ответы:** 1) белый; 2) серый.

4. В доэвтектическом чугунае содержится 3,8% С (по массе). Сколько углерода свободного присутствует в этом чугунае, если его структура – Ф+П+Г?

**Ответы:** 1) 0%; 2) 3,8%; 3) 3%; 4) 3,2%.

5. Каким способом получают высокопрочный чугун?

**Ответы:** 1) путем отжига белого чугуна; 2) путем отжига серого чугуна; 3) модифицированием; 4) графитизацией.

### Тест №9

1. Каким чугуном можно заменить стальные отливки, штамповки?

**Ответы:** 1) серым; 2) белым; 3) высокопрочным.

2. Можно ли получить высокопрочный чугун в вагранке?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Структура чугуна Ф+П+Г. Какой это чугун?

**Ответы:** 1) серый; 2) высокопрочный; 3) ковкий; 4) невозможно определить.

4. Какой из чугунов содержит большее количество связанного углерода при одинаковом содержании углерода общего?

**Ответы:** 1) белый; 2) серый; 3) половинчатый.

5. Почему отливки серого чугуна бракуют, если в поверхностном слое образовался цементит?

**Ответы:** 1) ухудшаются механические свойства; 2) затрудняется обрабатываемость резанием; 3) образуются литейные дефекты.

### Тест №10

1. Какие элементы входят в состав чугуна?

**Ответы:** 1) C, Si, Mn, S, P; 2) C, Si, Cr, Al, P; 3) C, S, P.

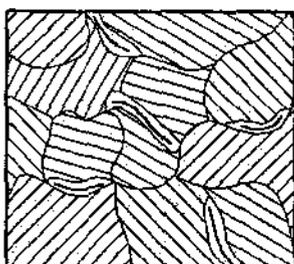
2. По каким технологическим свойствам серый чугун уступает стали?

**Ответы:** 1) литейным; 2) обрабатываемости резанием; 3) обрабатываемости давлением; 4) свариваемости.

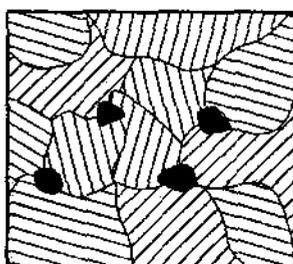
3. Почему серый чугун обладает низкой коррозионной стойкостью?

**Ответы:** 1) содержит большое количество углерода; 2) содержит графит; 3) металлическая основа чугуна быстрее разрушается.

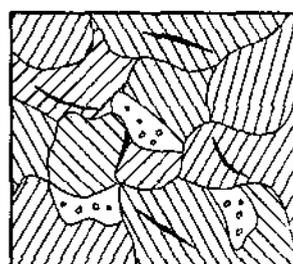
4. Какой структуре соответствует чугун, содержащий 3% углерода общего и 0,60% углерода связанного?



1



2



3

**Ответы:** 1) 1; 2) 2; 3) 3.

5. Можно ли получить выигрыш в весе, если заменить стальной коленвал чугуном из высокопрочного чугуна?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №11

1. К какой группе относятся белые чугуны?

**Ответы:** 1) неграфитизированные; 2) слабо графитизированные; 3) графитизированные.

2. Каково количество связанного углерода в серых перлитных чугунах?

**Ответы:** 1) 0,8%; 2) 2,14%; 3) 4,3%; 4) 6,67%.

3. Какой элемент преобразует пластинчатый графит в шаровидный?

**Ответы:** 1) Si; 2) Mn; 3) Mg; 4) Al.

4. Можно ли получить серый чугун в доменной печи?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Что показывает цифра в чугуне марки ЧВГ45?

**Ответы:** 1)  $\sigma_T$ ; 2)  $\sigma_B$ ; 3)  $\delta$ ; 4) % C.

## Тест №12

1. Какая форма графита в серых чугунах является наиболее благоприятной?

**Ответы:** 1) пластинчатая; 2) шаровидная; 3) хлопьевидная.

2. Относится ли чугун с вермикулярным графитом к серым чугунам?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. В каких структурных составляющих может находиться связанный углерод в чугуне?

**Ответы:** 1) в феррите; 2) в перлите; 3) в ледебурите; 4) в цементите.

4. Чему равна плотность графита?

**Ответы:** 1) 1,78 г/см<sup>3</sup>; 2) 2,3 г/см<sup>3</sup>; 3) 4,5 г/см<sup>3</sup>; 4) 7,85 г/см<sup>3</sup>.

5. В каком плавильном агрегате получают серый чугун с пластинчатым графитом?

**Ответы:** 1) в домне; 2) в электропечи; 3) в вагранке.

## Тест №13

1. Можно ли получить ковкий чугун в процессе литья?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Какова форма графитовых включений в белом чугуне?

**Ответы:** 1) пластинчатая; 2) шаровидная; 3) хлопьевидная; 4) графита нет.

3. Какие элементы в чугуне способствуют образованию графита?

**Ответы:** 1) С; 2) Mn; 3) Si; 4) S; 5) P.

4. Какой из чугунов будет обладать большей пластичностью?

**Ответы:** 1) КЧ30-6; 2) КЧ37-12; 3) КЧ50-5.

5. Можно ли получить выигрыш в весе, если заменить стальной коленвал чугунным с шаровидным графитом?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

## Тест №14

1. В чугуне 0,8 % С находится в связанном состоянии. Какой это чугун?

**Ответы:** 1) белый; 2) серый.

2. Способствует ли увеличение толщины стенки отливки увеличению количества графита?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какой элемент вызывает отбеливание чугуна?

**Ответы:** 1) С; 2) Si; 3) Mn; 4) Mg.

4. С увеличением количества графита твердость чугуна

**Ответы:** 1) возрастает; 2) уменьшается.

5. Какая металлическая основа чугуна обеспечивает наиболее высокую прочность?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) Ф+П.

### Тест №15

1. Может ли весь углерод в чугунае находиться в свободном состоянии?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Какой из чугунов наиболее пластичен?

**Ответы:** 1) ВЧ30-10; 2) ВЧ50-5; 3) ВЧ60-2; 4) ВЧ100.

3. Рациональна ли замена чугуна марки СЧ30 на чугун марки ЧВГ30?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. В какой структурной составляющей находится в чугунае связанный углерод?

**Ответы:** 1) графите; 2) феррите; 3) перлите.

5. Какая технологическая операция применяется при получении высокопрочного чугуна?

**Ответы:** 1) раскисление; 2) легирование; 3) модифицирование; 4) рафинирование.

### Тест №16

1. Может ли в чугунае весь углерод находиться в связанном состоянии?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Какой чугун легче?

**Ответы:** 1) серый; 2) белый.

3. Какая структура серого чугуна обеспечивает лучшую обрабатываемость резанием?

**Ответы:** 1) ферритная; 2) феррито-перлитная; 3) перлитная.

4. Чем отличается чугун марки СЧ35 от чугуна марки ЧВГ35?

**Ответы:** 1) формой графита; 2) дисперсностью графитных включений; 3) металлической основой.

5. Из какого чугуна лучше изготовить коленвал автомобиля?

**Ответы:** 1) СЧПГ; 2) ВЧШГ; 3) КЧХГ; 4) ЧВГ.

### Задачи

1. В одной отливке получен ферритный, в другой – перлитный ковкий чугун. Описать структуры и свойства чугунов, указать их марки. Как получить чугуны с указанной структурой?

2. В одной отливке получен высокопрочный ферритный чугун, а в другой – ковкий перлитный чугун. Каковы структура и свойства чугунов? Как получить отливки из таких чугунов, как они маркируются?

3. Зарисовать и описать микроструктуру двух образцов доэвтектического чугуна. В первом образце весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита, во втором - в свободном состоянии в виде пластинчатого графита. Описать, какие факторы способствуют процессу графитизации.

4. Отливка из чугуна с содержанием углерода 3,2%, полученная заливкой жидкого металла в металлическую форму (кокиль), приобрела высокую твердость в поверхностном слое (около 500 НВ). Твердость в сердцевине от-

ливки при этом не превышала 250 НВ. Указать и зарисовать возможные структуры чугуна в поверхностном слое и в сердцевине отливки.

5. Зарисовать и описать микроструктуру двух образцов чугунов с содержанием углерода 3,5%. Причем в первом образце весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита, во втором – 0,8% углерода в связанном состоянии, а остальной углерод находится в виде пластинчатого графита. Описать способы получения указанных чугунов и их маркировку.

6. Два образца изготовлены из чугуна, один образец – из чугуна марки СЧ40 с перлитной основой, второй – из чугуна марки КЧ30-6 с ферритной основой. Зарисовать и описать структуру указанных чугунов, указать способ их получения и принцип маркировки.

7. Произвести микроанализ двух образцов чугуна: оба чугуна имеют ферритную основу, но отличаются по форме графита. В одном образце графит имеет хлопьевидную форму, а в другом – шаровидную. Указать способы получения чугуна обоих типов и их маркировку.

8. Произвести микроанализ двух образцов чугуна: оба чугуна имеют ферритно-перлитную основу, но отличаются по форме выделений графита. В одном образце графит имеет хлопьевидную форму, а в другом – шаровидную. Указать способы получения обоих типов чугунов и их маркировку.

9. Произвести микроанализ двух образцов чугуна: оба чугуна имеют перлитную основу, но отличаются по форме выделения графита. В одном образце выделения графита имеют хлопьевидную форму, а в другом – шаровидную. Указать способы получения обоих типов чугуна и их маркировку.

10. В отливке из чугуна с содержанием углерода 3% после охлаждения структура состоит из перлита, ледебурита и вторичного цементита. Указать режим термической обработки отливки для получения ковкого перлитного, ферритно-перлитного и ферритного с хлопьевидным графитом. Зарисовать структуру указанных чугунов.

## **5.2 Изучение зависимости между химическим составом, структурой и свойствами чугунов**

**Цель работы:** научиться определять химический состав и механические свойства чугуна по структурным диаграммам и универсальной номограмме.

### **Методические пособия:**

1. Индивидуальное задание для работы с диаграммами и номограммой.
2. Плакаты и раздаточный материал – структурные диаграммы и номограмма.
3. Бегунки для работы с номограммой.

### **Задание:**

1. Пользуясь структурными диаграммами и условием индивидуального задания, определить:

а) какую структуру будет иметь чугун при заданном содержании углерода и кремния;

б) содержание углерода и кремния для получения требуемой структуры в отливке с заданной толщиной стенок;

в) состав чугуновой отливки с заданной толщиной стенки, обеспечивающей получение требуемых механических свойств.

2. Ознакомиться с правилами пользования универсальной номограммой на основании приведенных в методическом указании задач. Проверить правильность данных по номограмме значений прочности  $\sigma_b$  путем сравнения с расчетными значениями  $\sigma_b$ , определенными по формуле Вайса и Ортса:

$$\sigma_b = 26,34 + 0,13 \cdot \text{HB} - 6,50\% \text{ C} - 2,55 \cdot \% \text{ Si} - 3,2\% \text{ P};$$

для оценки твердости использовать формулу:

$$\text{HB} = 444 - 71,2 \cdot \% \text{ C} - 13,9 \cdot \% \text{ Si} + 21,0 \cdot \% \text{ Mn} + 170 \cdot \% \text{ Si}.$$

### Общие сведения

При выборе состава чугуна для отливки, в соответствии с техническими условиями, определяющим фактором является структура. На структурообразование основное влияние оказывает скорость охлаждения и химический состав, поэтому наиболее реальным фактором регулирования структурообразования является установление правильного химического состава с учетом в каждом отдельном случае толщины стенок отливки. Углерод и кремний являются главнейшими элементами, с помощью которых регулируется структурообразование чугуна. Количество этих элементов определяет как характер металлической основы, так и количество графита, ослабляющего прочность металлической основы. Обычно в чугунах с низкими прочностными свойствами количество углерода достигает 3,8%, а в чугунах с лучшими прочностными свойствами не бывает ниже 2,4%. Количество кремния зависит от толщины и требуемой стенки графитизации чугуна.

Выбор химсостава чугуна производится по структурным диаграммам, которые связывают химический состав со структурой, механическими свойствами или толщиной стенок отливки. В настоящее время разработаны различные диаграммы структурообразования чугуна при литье в песчаные и металлические формы.

Зависимость между структурой и химическим составом дает известная диаграмма Маурера (рисунок 5.8), на которой обозначение структурных областей дано в соответствии с рисунком 5.7.

Если взять, например, ваграночный чугун с 3% С, то для перлитного чугуна надо иметь кремния от 1 до 2,2%. Так как такое содержание кремния является предельным, для большей надежности останавливаются на содержании 1,5-1,8%.

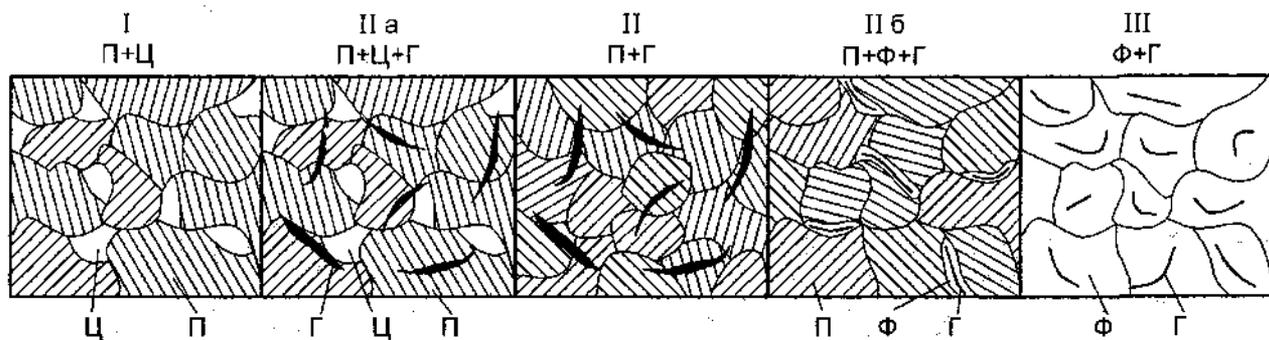


Рисунок 5.7 - Схемы различных структур чугуна с пластинчатым графитом: П-перлит; Ц-цементит; Ф-феррит; Г-графит

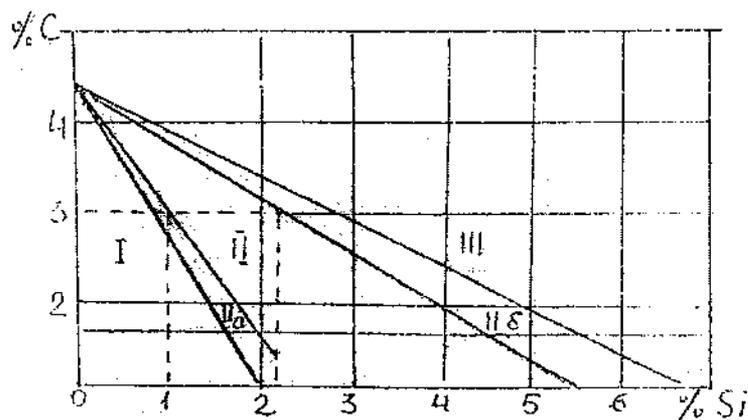


Рисунок 5.8 - Диаграмма Маурера

Недостаток такой структурной диаграммы состоит в том, что она не учитывает скорости охлаждения чугуна. Диаграмма, увязывающая толщину стенки отливки с ее химическим составом, показана на рисунке 5.9. На этой диаграмме по оси ординат дается сумма C+Si, а по оси абсцисс – толщина стенок отливки; находят пределы суммы C+Si.

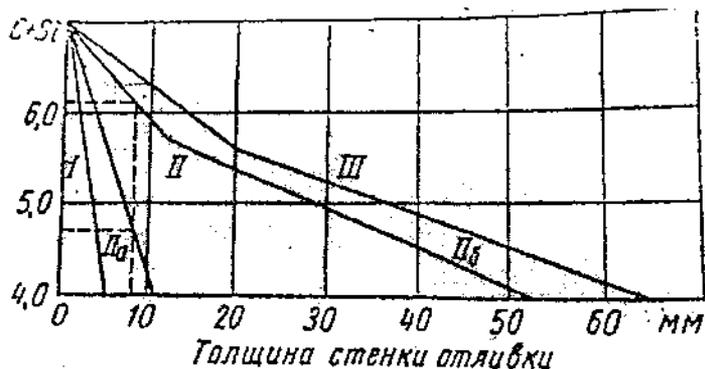


Рисунок 5.9 - Структурная диаграмма для чугуна, отражающая зависимость между толщиной стенки отливки и химсоставом

Предположим, что необходимо получить отливку со стенкой толщиной 8 мм. Для определения химического состава чугуна проводим пунктиром вертикальную линию, затем от пересечения с ней линий, ограничивающих область перлитных структур (область II), проводим две горизонтальные линии, которые показывают предельное содержание суммы C+Si, равное (4,7+6,2). В этом случае берут среднее содержание C+Si=5,5%.

Более уточненные структурные диаграммы ограничивают структурные области не прямыми линиями, а так, как показано на рисунке 5.10.

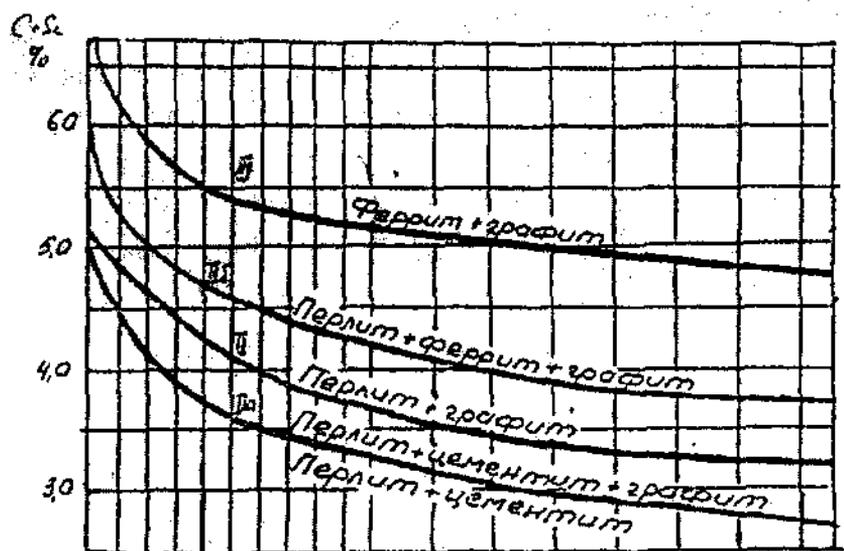


Рисунок 5.10 - Структурная диаграмма для чугуна с учетом толщины стенок до 120 мм

Изучение диаграмм показывает, что отливки с большой разницей в толщинах стенок попадают в разные структурные области диаграмм. Например, если отливка имеет стенки толщиной 10 и 70 мм, то тонкая стенка будет по структуре в области II – перлитной, а толстая будет находиться в области III – ферритной. Это свидетельствует о том, что в отливках из обычного серого чугуна со стенками разной толщины трудно получить одинаковую структуру. Для выравнивания структуры отливки по различным сечениям чугун приходится модифицировать или легировать.

В определенных случаях в практике ставится задача подобрать химический состав чугуна не только с определенной структурой, но и с определенными механическими свойствами.

Сама номограмма (рисунок 5.11) состоит из четырех частей:

1. Верхней левой части, которая определяет коэффициент графитизации «К» в зависимости от содержания в чугуне Mn и Si.
2. Верхняя правая часть определяет значение степени графитизации в зависимости от значения «К», толщины отливки «Т» и содержания углерода.
3. Нижняя левая часть номограммы показывает зависимость между  $\sigma_b$ , HB и Sk (Sk- степень графитизации).

4. Нижняя правая часть отражает связь между толщиной стенки, пределом прочности и содержанием углерода.

На базе номограммы разработана конструкция вычислительной линейки из планшета и двух бегунков: горизонтального и вертикального. Модули шкал обеспечивают точность отсчетов по химическому составу до 0,05%, по твердости – до 5 кгс/мм<sup>2</sup> и по  $\sigma_b$  - до 0,5 кгс/мм<sup>2</sup>.

Рассмотрим на примерах правила пользования номограммой.

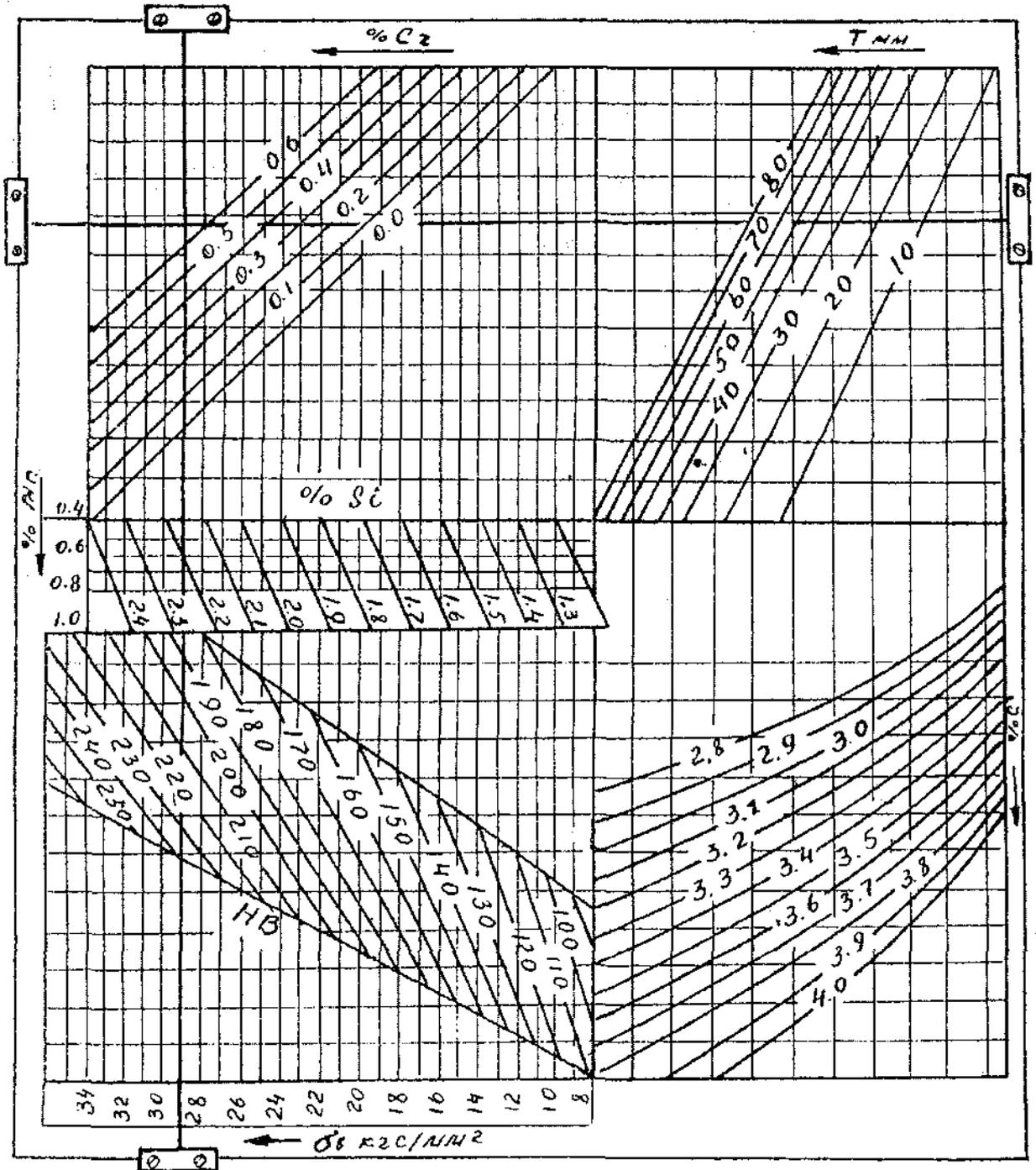


Рисунок 5.11 - Номограмма

## Пример 1

Пусть необходимо определить предел прочности отливки с толщиной стенки 30 мм при твердости НВ 200 кгс/мм<sup>2</sup> и химическом составе: 3,2% С, 1,6% Si, 0,2% Cr.

Для этого горизонтальный бегунок устанавливаем так, чтобы его визирная линия проходила через ось ординат в точке, соответствующей 0,5% Mn. Вертикальный бегунок устанавливаем совмещением пересечений визирных линий бегунков с наклонной прямой, соответствующей 1,6% Si; затем перемещаем вертикальный бегунок до пересечения с прямой, соответствующей 0,2% Cr, и визирной линией вертикального бегунка. После этого перемещаем вертикальный бегунок до пересечения с линией горизонтального бегунка. Опускаем горизонтальный бегунок до пересечения с линией 3,2% С и визирной линией вертикального бегунка и, наконец, передвигаем вертикальный бегунок до совмещения с линией НВ 200 кгс/мм<sup>2</sup> и визирной линией горизонтального бегунка.

Пересечение визирной линии вертикального бегунка с осью абсцисс дает при этом искомое  $\sigma_b = 270 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$ .

## Пример 2

При определении состава чугуна для получения отливок с заданной прочностью отсчет по линейке ведется в обратном направлении. При этом рассчитывают содержание одного из элементов, обычно Si, и выбирают остальные по их влиянию на физико-механические свойства чугуна. Например, для определения состава чугуна отливок с  $\sigma_b = 200 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$ , твердостью 180 НВ в сечении 10 мм и количеством углерода, равным 3,6%, бегунки устанавливают так, чтобы визирная линия вертикального бегунка проходила через ось абсцисс в точке, соответствующей  $\sigma_b = 200 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$ , чтобы пересечение визирных линий обоих бегунков находилось на линии, соответствующей НВ 180 кгс/мм<sup>2</sup>. Затем вертикальный бегунок перемещают вправо до совмещения его визирной линии с прямой, определяющей толщину стенки – 10 мм, а пересечение обеих визирных линий находилось на кривой 3,6% С.

Принимая 0,0% Cr и 0,6% Mn, бегунки последовательно перемещают так, чтобы визирные линии обоих бегунков соответствовали 10 мм и 0,0% Cr. Переместим горизонтальный бегунок так, чтобы его визирная линия прошла через точку ординаты, соответствующую 0,6% Mn. На пересечении визирных линий обоих бегунков получают искомое значение кремния, равное 2,23%.

Сопоставление расчетных и фактических данных показывает, что отклонение между ними вполне укладывается в допустимую погрешность измерений.

## Задачи

1. Заводу необходимо получить три чугунные отливки из разных чугунов: ферритного – марки СЧ10, феррито-перлитного – марки СЧ15 и перлитного марки СЧ35. Подобрать необходимое содержание углерода и кремния в чугуне, обеспечивающее получение указанных отливок.

Зарисовать микроструктуру. Описать способ маркировки чугунов.

2. В одной отливке нужно получить серый ферритный чугун, в другой – серый ферритно-перлитный и в третьей – серый перлитный чугун. Все отливки имеют одинаковую толщину стенки (50 мм) и одинаковое содержание углерода (2,8%).

Описать структуры и свойства чугунов, указать их марки. Определить содержание кремния для каждой отливки.

3. Рассчитать, как будут меняться механические свойства в разностенной отливке ( $T_1=10\text{мм}$ ,  $T_2=30\text{мм}$ ,  $T_3=60\text{мм}$ ) из серого чугуна состава: 3,4% С; 2,1% Si; 0,6% Mn.

4. Завод изготавливает массовые партии отливок из серого чугуна с толщиной стенки 10 мм, согласно ТУ, предел прочности при растяжении должен быть не ниже  $280 - 300 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$ , а твердость 210 – 230 НВ. Определить химический состав чугуна, обеспечивающий заданные свойства (% С~3,4%).

5. Блоки цилиндров двигателей трактора изготавливают из чугуна с твердостью НВ 170÷241 и повышенной прочностью и износостойкостью. Выбрать марку чугуна, привести его структуру и механические свойства и указать, каким должен быть его состав для того, чтобы обеспечить получение заданных свойств чугуна.

6. Две чугунные отливки с одинаковой толщиной стенки (60 мм) и одинаковым содержанием углерода (3,5%) имеют разную структуру. Структура одной отливки состоит из феррита и пластинчатого графита, структура второй отливки – из перлита и пластинчатого графита. Как они будут отличаться по составу и свойствам? Укажите марки чугунов, имеющих указанную структуру.

7. Коленчатый вал двигателя легкового автомобиля экономично изготавливать из чугуна. Для этой цели можно использовать серый модифицированный чугун с мелко раздробленным графитом. Выбрать марку чугуна с пределом прочности не ниже  $400 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$  и твердостью НВ 170-241, привести химсостав чугуна и указать его структуру.

8. Указать химический состав, марку серого чугуна с перлитной структурой для тормозных колодок, если предел прочности должен быть не ниже  $350 - 400 \text{ МПа} \cdot 10^{-1}$ .

9. В практике литья тонкостенных изделий из серого чугуна иногда получают отливки с поверхностным слоем повышенной твердости, что затрудняет механическую обработку.

Указать причины получения повышенной твердости в поверхностном слое, его структуру. При каком химическом составе чугуна возможно получение этого слоя?

## РАЗДЕЛ 6

# ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

**Цель работы:** Изучить влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов.

### Основные сведения из теории

#### 6.1 Понятие о холодной и горячей пластической деформации

Пластической называется деформация, которая развивается в металле при напряжениях, превышающих предел упругости. В этом случае деформированный металл не способен вернуться к первоначальному состоянию после прекращения действия внешней силы, поэтому пластическая деформация связана, главным образом, с обработкой металлов давлением.

Пластическая деформация существенно изменяет структуру металла и, таким образом, влияет на его физические, химические и технологические свойства. Характер изменения структуры и свойств зависит от того, какой является деформация - холодной или горячей.

Существует так называемая температура рекристаллизации, определяемая формулой Бочвара [1]:

$$T_p = \alpha \cdot T_{пл} (^{\circ}K),$$

где  $\alpha$  - коэффициент, зависящий от степени чистоты металла. Для технических металлов и сплавов значение  $\alpha$  составляет 0,4;

$T_{пл}$  - температура плавления металла или сплава, взятая в градусах по Кельвину. ( $T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273^{\circ}$ ).

Если деформирование металла осуществляется при температурах ниже  $T_p$  ( $T_{ДЕФ} < T_p$ ), деформация называется холодной. К холодной пластической деформации относятся такие виды обработки металлов давлением, как волочение, прессование, листовая штамповка, чеканка, обработка поверхности изделий шариками, роликами и т.п.

Если же деформирование металла производится выше температуры рекристаллизации ( $T_{ДЕФ} > T_p$ ), деформация называется горячей. Ковка, горячая объемная штамповка, прокатка - разновидности горячей пластической деформации.

#### 6.2 Холодная пластическая деформация

##### Влияние холодной пластической деформации на структуру металлов

Холодной пластической деформации подвергаются высокопластичные материалы - алюминий и его сплавы с марганцем (АМц) и магнием (АМг); медь и сплавы на её основе - латуни, содержащие до 39 % Zn, бронзы; низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,2 % C, особенно кипящие (05кп, 08кп, 10кп,

15кп, 20кп) и другие металлы и сплавы. Этот вид деформации широко применяется в производстве - таким образом получают, например, листовой прокат, из которого производят изделия гибкой, глубокой вытяжкой; прутки холодно-тянутые, трубы и многие другие изделия.

Изменение внешней формы деформируемого металла отражается на изменении его структуры и комплекса свойств.

Изменения в структуре начинаются с появлением в отдельных зернах линий скольжения (рисунок 6.1, а) - это следы смещения одной части зерна относительно другой вдоль плоскости скольжения под действием внешней силы (рисунок 6.1, б)

Вследствие различной ориентации плоскостей скольжения, вначале деформируются те зерна (1, 2, 3), плоскости скольжения в которых расположены под углом  $45^\circ$  к направлению действия внешней силы  $P$ , затем деформацией охватываются и другие зерна. Результатом скольжения является измельчение зерен, дробление их на отдельные фрагменты (рисунок 6.1, б).

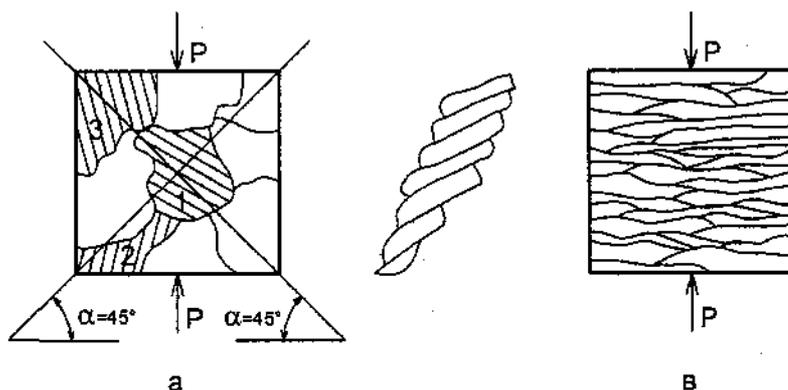


Рисунок 6.1 - Схема последовательного изменения структуры при холодной пластической деформации

Следующая стадия деформации - поворот зерен в направлении течения металла и принятие ими вытянутой формы (рисунок 6.1, в).

При большой степени деформации наблюдается практически 100 %-я ориентация зерен в направлении действующей силы. Такая ориентировка зерен называется текстурой и вызывает в поликристалле анизотропию свойств, т.е. неодинаковое значение свойств вдоль и поперек течения металла.

### **Влияние холодной пластической деформации на свойства металлов**

Под влиянием холодной пластической деформации меняются физико-химические свойства металлов. Так, с увеличением степени деформации удельное электросопротивление возрастает, а магнитная проницаемость, остаточная магнитная индукция и плотность металла понижаются. Металлы более активно вступают в химическую реакцию, легче корродируют.

Однако наиболее важным следствием изменения структуры под действием деформации является упрочнение металла - наклеп.

На рисунке 6.2 показано влияние степени холодной пластической деформации на механические свойства: предел прочности  $\sigma_B$ , предел текучести  $\sigma_T$ , твердость ( $HV$ ), пластичность ( $\delta\%$ ).

Как видно из рисунка, с повышением степени деформации  $\varepsilon$ , прочностные характеристики металла -  $HV$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$  возрастают, а пластичность  $\delta$  уменьшается.

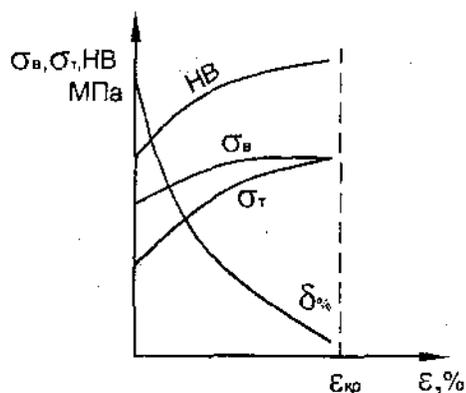


Рисунок 6.2 - Влияние холодной пластической деформации на механические свойства

Наиболее интенсивный наклеп наблюдается в начальной стадии деформирования, а затем свойства меняются незначительно. У сильно наклепанных металлов пределы прочности и текучести сравниваются, а относительное удлинение  $\delta \rightarrow 0$ .

Такое состояние наклепанного металла является предельным, и при попытке продолжить деформирование металл разрушается. Если, например, изготовление детали проводится путем нескольких технологических переходов, то после каждого перехода требуется возвращать металлу пластичность и лишь потом продолжать деформацию.

### Изменение структуры и свойств холоднодеформированного металла под влиянием нагрева

Холоднодеформированный металл находится в неравновесном состоянии, и при нагреве в нем протекают процессы, приводящие к более равновесному состоянию. Нагрев производят с целью получения требуемых физико-химических и механических свойств.

Различают следующие стадии нагрева: 1) отдых; 2) первичная рекристаллизация; 3) собирательная рекристаллизация.

**Отдых** - это нагрев холоднодеформированного металла до любой температуры ниже  $T_p$ , определяемой формулой Бочвара. При отдыхе микроструктура по сравнению с холоднодеформированным состоянием не изменяется (рисунок 6.3), поэтому наклеп не устраняется и, следовательно, заметного изменения механических свойств не наблюдается. Нагрев металла ниже температуры рекри-

сталлизации  $T_p$  вызывает устранение искажений кристаллической решетки и восстановление физико-химических свойств.

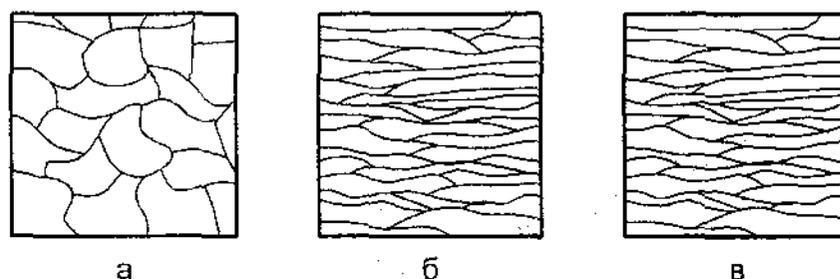


Рисунок 6.3 - Структура металла в исходном состоянии (а), после холодной пластической деформации (б), нагрева до температуры ниже температуры рекристаллизации (в- отдых)

**Первичная рекристаллизация.** Если холоднодеформированный металл нагреть до  $T=T_p$ , в нем начинается процесс, называемый началом первичной рекристаллизации. При этой температуре по границам деформированных зерен идет интенсивное зарождение новых, мелких, недеформированных зерен. При нагреве до температуры выше  $T_p$  на 200-250 °С новые зерна вырастают до соприкосновения друг с другом, а старые, вытянутые, деформированные зерна исчезают (рисунок 6.4).

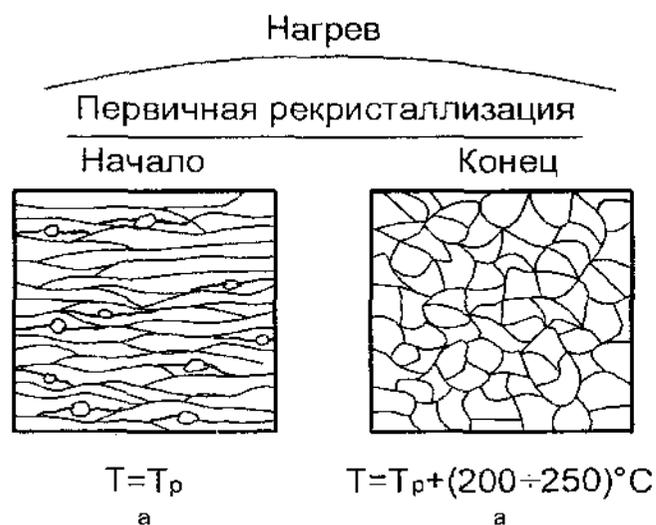


Рисунок 6.4 - Структура холоднодеформированного металла после начала (а) и конца первичной рекристаллизации (б) (рекристаллизационного отжига)

Термическая операция, при которой металл нагревается до температуры, превышающей температуру рекристаллизации на 200-250 °С, и медленно охлаждается (вместе с печью), называется **рекристаллизационным отжигом**.

После отжига структура получается более мелкозернистой, чем в исходном состоянии.

Восстановление структуры сопровождается восстановлением механических свойств. Наклеп устраняется, металлу возвращается пластичность, утраченная при деформировании.

Рекристаллизационный отжиг - промежуточная операция, которая применяется при изготовлении деталей машин холодной штамповкой, гибкой, волочением и т.п. Когда запас пластичности при деформировании исчерпан и дальнейшее деформирование связано с риском трещинообразования, металл отжигают, пластичность восстанавливается и можно производить следующий этап деформирования.

**Собирательная рекристаллизация** - это нагрев холоднодеформированного металла до температур, значительно превышающих температуру рекристаллизационного отжига. Чем выше температура нагрева, тем больше размер зерна (рисунок 6.5), что вызывает ухудшение как прочностных, так и пластических свойств металла.

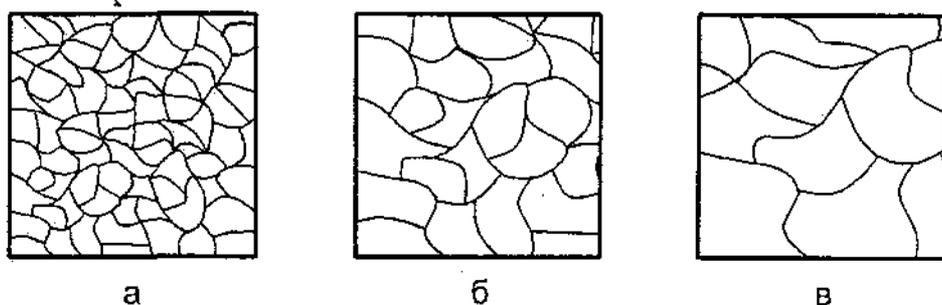


Рисунок 6.5 - Изменение структуры металла в процессе собирательной рекристаллизации: а) рекристаллизационный отжиг  $T=T_{p.0}+200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б) собирательная рекристаллизация  $T=T_{p.0}+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; в) собирательная рекристаллизация  $T=T_{p.0}+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Факторы, влияющие на размер зерна после рекристаллизации

Размер рекристаллизационного зерна оказывает большое влияние на свойства металла. Наилучшее сочетание прочности и вязкости наблюдается в мелкозернистых сталях.

На величину рекристаллизованного зерна оказывают влияние два фактора:

- 1) температура нагрева после холодной пластической деформации (рисунок 6.6, а);
- 2) степень предварительной деформации (рисунок 6.6, б).

При критической степени деформации  $\epsilon_{кр}$  (рисунок 6.6, б) величина зерна после рекристаллизационного отжига резко возрастает и может в несколько раз превышать размер исходного зерна. Поэтому в реальных условиях производства следует избегать малых степеней деформации (2-15 % для разных металлов).

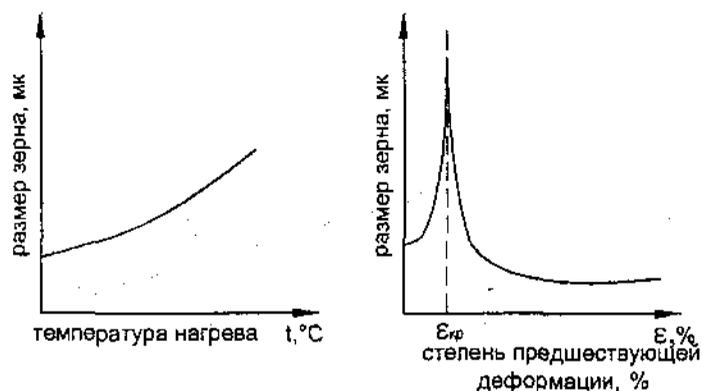


Рисунок 6.6 - Схема влияния температуры (а) и степени предварительной деформации (б) на величину рекристаллизационного зерна

### 6.3 Горячая пластическая деформация

Горячая пластическая деформация осуществляется значительно выше  $T_p$ , т.к. при применяемых в настоящее время скоростях деформации процесс рекристаллизации при сравнительно низких температурах не успевает закончиться. Так, например, для железа  $T_p=450\text{ }^\circ\text{C}$ , а горячую обработку давлением производят при  $T=800-1300\text{ }^\circ\text{C}$ .

Горячая обработка давлением литых слитков улучшает структуру металла и повышает его механические свойства. Металл уплотняется за счет заварки микротрещин, пустот и газовых раковин, выравнивается по химическому составу за счет диффузии и приобретает волокнистое строение.

Волокнистость является результатом вытягивания дендритов и неметаллических включений (сульфидов, силикатов) в направлении течения металла. Так, оси дендритов ориентируются действующей силой в направлении деформации, приближаются к взаимно параллельному расположению (рисунок 6.7).

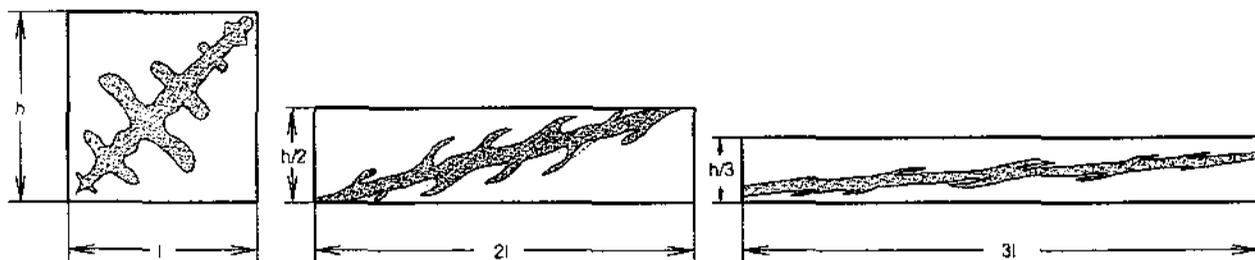


Рисунок 6.7 - Схема образования волокнистой структуры при горячей обработке давлением ( $h$  и  $l$  - высота и длина дендрита соответственно)

Оси дендритов становятся волокнами, а между ними располагаются межосные пространства, обогащенные примесями, главным образом, сульфидами. Они также вытягиваются в направлении деформации и разобщают волокна. Макроструктура такого металла представляет систему темных и светлых линий,

видимых невооруженным глазом. Чем больше содержание серы в металле, тем грубее волокно. При сильно выраженной химической неоднородности наблюдается шиферный излом и низкие механические свойства.

Волокнистость совершенно естественна, т.к. ни один технический металл никогда не бывает совершенно однородным.

Волокнистость всегда указывает на анизотропию свойств. Если она выражена весьма резко, то это может свидетельствовать о серьезном уменьшении прочности металла и его хрупкости в направлениях, перпендикулярных волокнам.

Это особенно заметно при ударном нагружении или изгибе. Поэтому течение металла при технологических операциях горячей пластической деформации надо направлять таким образом, чтобы расположение волокон соответствовало конфигурации детали и чтобы волокна не перерезались её стенками (рисунок 6.8).

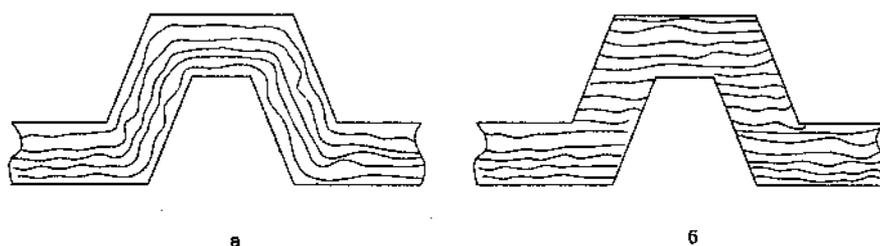


Рисунок 6.8 - Правильное (а) и неправильное (б) расположение волокон в заготовке колечатого вала

## ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

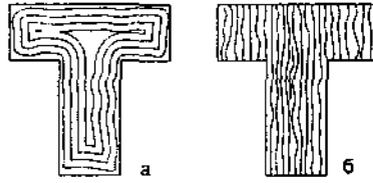
### Вариант 1

1. Образцы меди деформировали осадкой на 30 % оси первоначальной высоты в холодном состоянии, а затем нагревали на 200 °С, 270 °С, 520 °С. Схематически зарисовать, какую микроструктуру будет иметь медь при этих температурах нагрева. Показать, по какому графику будут меняться  $\sigma_B$  и  $\delta\%$  в соответствии с изменением микроструктуры.

2. Как узнать, каким способом изготовлена деталь машины - литьем, горячей штамповкой или резанием?

### Вариант 2

1. При сборке машины часть крепежных болтов сломалась. На рисунке приведено макростроение годного (а) и сломавшегося (б) болтов. Указать причину поломки болтов.



2. Определить, холодной или горячей будет деформация латуни марки Л80 ( $T_{пл}=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при  $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какую микроструктуру будет иметь латунь после нагрева до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Поясните, как будут меняться  $\sigma_B$  и  $\delta\%$  при этих температурах нагрева по сравнению с холоднодеформированным состоянием.

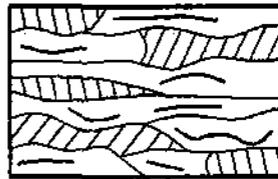
### Вариант 3

1. Рекомендовать режим термообработки холоднодеформированного алюминия, если необходимо:

- а) сохранить без значительного снижения твердость, созданную холодной деформацией, но снять упругие искажения кристаллической решетки;
- б) полностью устранить наклеп и вернуть металлу пластичность.

Показать схематически, какую микроструктуру будет иметь алюминий ( $T_{пл}=658\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) после каждого режима термообработки.

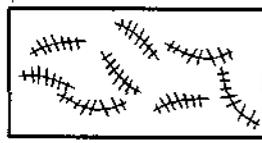
2. При исследовании под микроскопом микроструктуры образца, вырезанного из проката стали А12, имела вид, изображенный на рисунке. Чем можно объяснить указанную микроструктуру?



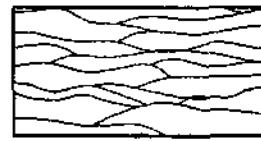
### Вариант 4

1. Детали, штампованные из меди ( $T_{пл}=1083\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), в холодном состоянии имели пониженную пластичность. Указать, как можно повысить относительное удлинение меди? Рекомендовать режим термообработки и объяснить, как изменятся твердость, прочность и пластичность меди по сравнению с холоднодеформированным состоянием.

2. На рисунке изображена схематически микроструктура стали в литом (а) состоянии и после горячей пластической деформации (б). Объясните, что изображено на рисунках и как произошло преобразование микроструктуры от а к б.



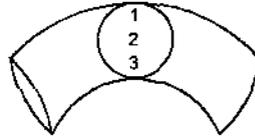
а



б

### Вариант 5

1. Изогнутый в холодном состоянии пруток латуни подвергли рекристаллизации для снятия наклепа. Указать, будет ли пруток после рекристаллизации иметь одинаковые по размеру зерна в месте изгиба. Схематически зарисовать, как будет меняться размер и форма зерен в зонах 1, 2, 3 после а) деформации; б) рекристаллизационного отжига.



2. Определить, холодной или горячей будет деформация тантала ( $T_{пл}=3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при температуре  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Схематически зарисовать микроструктуру тантала после последующего нагрева до  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Сравнить механические свойства после деформации и нагрева.

### Вариант 6

1. В детали, изготовленной из латуни марки Л70 ( $T_{пл}=950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) глубокой вытяжкой, были обнаружены трещины. Указать причину трещинообразования. Привести температурный режим термообработки, позволяющий избежать трещинообразования. Когда нужно применить эту термообработку? Как она называется?

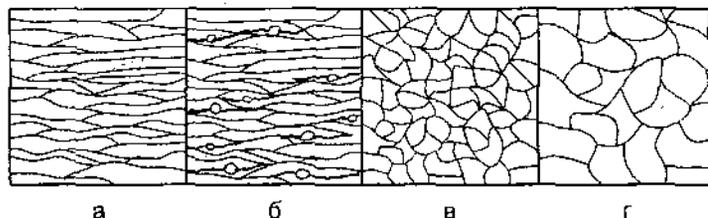
2. Автоматная сталь типа А12, А15, А20, в которой повышенная обрабатываемость резанием достигается металлургическим путем - введением до 0,15% серы, применяется для неотчетственных деталей машин и не упрочняется термообработкой. Почему?

### Вариант 7

1. Крановый крюк (см. рисунок) был разрушен во время эксплуатации. Было установлено, что он изготовлен резанием из прокатанной плиты. Объяснить причину поломки. Как надо изготовить крюк, чтобы повысить его эксплуатационную стойкость?



2. Объяснить, к какому виду деформации, холодной или горячей, следует отнести прокатку цинка ( $T_{пл}=420\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при комнатной температуре. Указать, каким температурам нагрева холоднодеформированного цинка могут соответствовать микроструктуры:



Как будут меняться свойства в соответствии с изменением микроструктуры?

### Вариант 8

1. Звенья цепей, предназначенных для поддержки небольших висячих мостов, изготавливались из отожженной малоуглеродистой стали холодной деформацией, а затем подвергались рекристаллизации. В местах, соответствующих точке "а" звена цепи, наблюдалось мелкое зерно, а в местах, обозначенных буквой "с", - аномально крупное зерно. Объяснить причину этого явления. Указать, почему при эксплуатации цепей разрушение их происходило в области "с".

2. Холодной или горячей будет деформация стали марки Бст2 ( $T_{пл}=1520\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при температуре  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Какую макроструктуру может иметь слиток этой стали после деформации? Чем будет отличаться макроструктура слитка стали 20А после деформации при такой же температуре?

### Вариант 9

1. Кузов автомобиля изготавливают холодной вытяжкой стального листа. Будут ли механические свойства и коррозионная стойкость в готовом изделии одинаковы во всех участках? Объяснить, почему. Выбрать марку стали для листа и привести температуру рекристаллизационного отжига для выбранной стали.

2. Чем будет отличаться макростроение стальных слитков из сталей А20 и 20А, подвергнутых прокатке нагреву при  $T > T_p$ ?

### Вариант 10

1. При изготовлении украшений из золота ( $T_{пл}=960\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) мастеру вначале нужна была высокая пластичность металла, а после получения готового изделия сохранить без значительного снижения твердость и прочность, но снять напряжения. К каким термическим операциям пришлось прибегнуть мастеру в начале и конце работы над изделием? Зарисуйте микроструктуру и укажите температурный режим стадий нагрева.

2. При входном контроле металла, поступившего на машиностроительный завод в виде проката, была обнаружена сильная анизотропия свойств. Что было обнаружено при контроле химсостава? С чем связана анизотропия свойств?

### Вариант 11

1. Рекомендовать режим термообработки холоднодеформированного никеля ( $T_{пл}=1455\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), если необходимо: а) сохранить без значительного снижения твердость, созданную холодной деформацией, но снять упругие искажения кристаллической решетки; б) полностью устранить наклеп и вернуть металлу пластичность.

Показать схематически, какую микроструктуру будет иметь никель после каждого режима термообработки, и указать свойства по сравнению с холоднодеформированным состоянием.

2. На завод поступила горячекатаная сталь, от которой пришлось отказаться и отправить обратно изготовителю, т.к. при входном контроле макроструктуры была обнаружена резко выраженная волокнистость. К каким последствиям могло бы привести использование этой стали на заводе-потребителе?

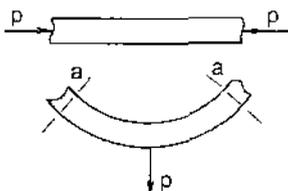
### Вариант 12

1. Определить, холодной или горячей будет деформация алюминия ( $T_{пл}=658\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при температуре ниже  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Указать температурные режимы отжига, начала и конца первичной рекристаллизации, собирательной рекристаллизации холоднодеформированного алюминия. Изобразите схематически микроструктуру и постройте график изменения механических свойств при температурах нагрева по сравнению с холоднодеформированным состоянием.

2. Объясните, что представляет собой анизотропия свойств горячедеформированного металла и с чем она связана. Какая из сталей А40 или 40А будет иметь большую анизотропию? Почему?

### Вариант 13

1. Пруток алюминия был подвергнут растяжению по схеме, показанной на рисунке, а затем подвергнут рекристаллизационному отжигу. При эксплуатации под действием постоянной нагрузки (см. рисунок) в зоне, соответствующей участкам "а", произошло разрушение. Почему разрушение произошло именно в этих участках?



2. Определить, холодной или горячей будет деформация олова ( $T_{пл}=232$  °С) при комнатной температуре? Указать температуры отдыха, рекристаллизационного отжига олова и нарисовать график изменения свойств при этих температурах по сравнению с холоднодеформированным состоянием.

### Вариант 14

1. На завод поступил холоднодеформированный листовой металл, из которого изготовили сварную конструкцию. При эксплуатации произошло разрушение не в зоне сварки, а на некотором расстоянии от места сварки. Указать наиболее вероятную причину разрушения.

2. Укажите необходимое условие для того, чтобы сталь 20кп ( $T_{пл}=1520$  °С) подвергнуть рекристаллизационному отжигу. Какова температура этого отжига? Объясните также, почему горячую обработку этой стали проводят при температуре значительно выше температуры рекристаллизации.

### Вариант 15

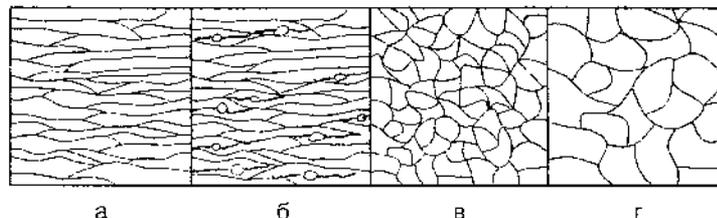
1. Прокатку большинства пластичных металлов после достижения относительно небольших обжатий прерывают и подвергают термической обработке. Для чего это делают? Приведите режим такой термообработки при листовой прокатке стали марки 10кп ( $T_{пл}=1530$  °С). Укажите структуру и свойства по сравнению с холоднодеформированным состоянием ( $T_{по}=960$  °С).

2. При исследовании микроструктуры углеродистой стали в ней было обнаружено большое количество сульфидов, вытянутых в направлении прокатки. Каких свойств следует ожидать от этой стали, почему? Изобразите схематически макроструктуру стали.

### Вариант 16

1. Дешевое изделие "под золото" сложной формы изготовили из высокомедистой латуни Л96 ( $T_{пл}=1050$  °С) поэтапно холодной пластической деформацией. Как обеспечили пластичность материала при изготовлении изделия? Как можно повысить коррозионную стойкость изделия после его полного изготовления?

2. Объяснить, к какому виду деформации, холодной или горячей, следует отнести прокатку титана ( $T_{пл}=1667$  °С) при температуре 450 °С. Указать, каким температурам нагрева деформированного титана будут соответствовать микроструктуры:



## ТЕСТЫ

### Тест № 1

1. Как называется явление упрочнения, проходящее при холодном деформировании металла?

**Ответы:** 1) текстурирование; 2) наклеп; 3) рекристаллизация.

2. До какой температуры нагрева деформация железа ( $T_{пл}=1540\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) остается холодной?

**Ответы:** 1)  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2)  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 3)  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 4)  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

3. Какие стали можно подвергнуть холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) А15; 2) У12; 3) БстЗкп; 4) 08кп.

4. Как называется термическая операция, позволяющая восстановить структуру и свойства холоднодеформированного металла?

**Ответы:** 1) отдых; 2) рекристаллизационный отжиг; 3) собирательная рекристаллизация.

5. Что является причиной волокнистости горячедеформированного металла?

**Ответы:** 1) повышение содержания углерода; 2) повышение содержания серы; 3) дендритное строение слитка.

### Тест № 2

1. Какие способы холодной пластической деформации применяются на производстве?

**Ответы:** 1) прокатка; 2) волочение; 3) листовая штамповка; 4) чеканка.

2. Какой смысл имеет формула Бочвара?

**Ответы:** 1) граница между холодной и горячей деформацией; 2) температура, относительно которой определяются стадии нагрева холоднодеформированного металла.

3. Почему в качестве жаропрочных выбирают материалы, имеющие высокую температуру рекристаллизации?

**Ответы:** 1) металл разупрочняется при более высоких температурах; 2) для проведения деформации при более высокой температуре; 3) для лучшей заварки пустот, трещин при деформировании.

4. Какие факторы влияют на размер рекристаллизованного зерна?

**Ответы:** 1) температура; 2) скорость деформирования; 3) степень предшествующей деформации.

5. Какими способами можно упрочнить металл?

**Ответы:** 1) обработкой потоком дроби; 2) чеканкой; 3) рекристаллизацией; 4) обкаткой шариками, роликами.

### Тест № 3

1. Какие стали не могут быть подвергнуты холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) 10кп; 2) У10; 3) 20А; 4) А20.

2. Как называется преимущественная ориентация зерен в холоднодеформированном металле?

**Ответы:** 1) наклеп; 2) текстура.

3. В каком случае при нагреве холоднодеформированного металла зерно будет аномально крупным?

**Ответы:** 1) при нагреве выше температуры собирательной рекристаллизации; 2) при деформировании металла на последней стадии с малой степенью деформации.

4. Какая стадия нагрева холоднодеформированного металла позволяет повысить его коррозионную стойкость?

**Ответы:** 1) отдых; 2) рекристаллизационный отжиг.

5. На какие характеристики металла больше всего влияет волокнистость?

**Ответы:** 1)  $\sigma_B$ ;  $HB$ ; 2)  $\delta$ ;  $KCU$ ; 3) физико-механические свойства.

### Тест № 4

1. Как можно повысить обрабатываемость резанием пластичных металлов?

**Ответы:** 1) отжигом; 2) наклепом; 3) рекристаллизацией.

2. Что является следствием критической степени деформации?

**Ответы:** 1) образование текстуры; 2) анизотропия свойств; 3) укрупнение зерна при отжиге.

3. Каким путем можно восстановить структуру и свойства наклепанного металла?

**Ответы:** 1) отдыхом; 2) полигонизацией; 3) рекристаллизацией.

4. Может ли холоднодеформированный металл обладать анизотропией свойств?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Какой металл будет обладать большей коррозионной стойкостью?

**Ответы:** 1) деформированный; 2) недеформированный.

### Тест № 5

1. Какие явления в металле сопутствуют наклепу?

**Ответы:** 1) измельчение зерен; 2) возникновение напряжений; 3) понижение пластичности; 4) образование текстуры.

2. Какой обработкой является деформирование железа при  $500^\circ\text{C}$ ?

**Ответы:** 1) холодной; 2) горячей.

3. От чего зависит размер зерна рекристаллизованного металла?

**Ответы:** 1) от температуры рекристаллизации; 2) от степени предварительной деформации; 3) от типа кристаллической решетки.

4. Что определяет формула Бочвара:  $T = 0,4 T_{пл}$  (°K)?

**Ответы:** 1) температуру начала первичной рекристаллизации; 2) предельную температуру холодной обработки давлением.

5. Можно ли посредством отдыха повысить устойчивость наклепанного металла против коррозии?

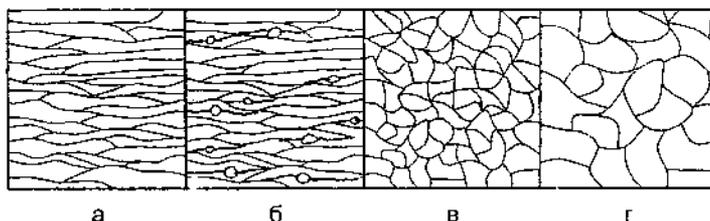
**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест № 6

1. Что является причиной волокнистости при горячей пластической деформации?

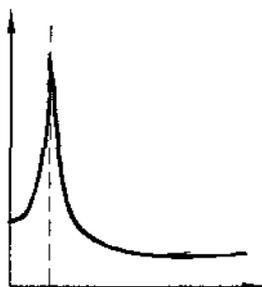
**Ответы:** 1) наличие в металле примесей; 2) высокая степень деформации; 3) рекристаллизационные процессы.

2. Какая структура получится при нагреве холоднодеформированного железа до 450 °C?



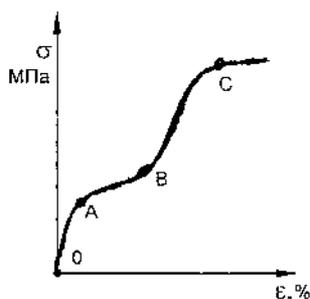
**Ответы:** 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

3. Какую зависимость отражает график:



**Ответы:** 1) величины зерна от температуры нагрева; 2) температуру рекристаллизации от степени деформации; 3) величины рекристаллизационного зерна от степени деформации.

4. Какой участок кривой растяжения характеризует начало пластической деформации?



**Ответы:** 1) АВ; 2) ВС; 3) СД; 4) ДЕ.

5. Какие характеристики металла относятся к прочностным?

- Ответы:** 1) предел упругости;  
2) предел текучести;  
3) относительное удлинение;  
4) предел прочности;  
5) твердость.

### Тест № 7

1. Какое явление имеет место при отдыхе деформированного металла?

**Ответы:** 1) снятие упругих искажений кристаллической решетки; 2) наклеп.

2. Можно ли по структуре определить, подвергалась ли сталь холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

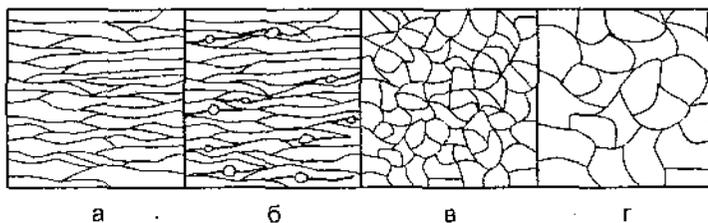
3. Какую зависимость отражает график:



**Ответы:**

- 1) величины зерна от температуры нагрева;
- 2) величины зерна от степени предшествующей деформации;
- 3) температуры рекристаллизации от степени деформации.

4. Какая структура получится при нагреве холоднодеформированного железа до  $700^{\circ}\text{C}$ ?



**Ответы:** 1) а; 2) б; 3) в; 4) г.

5. Что понимается под термином "анизотропия"?

**Ответы:** 1) преимущественная ориентация зерен под действием внешней силы; 2) зависимость свойств от направления их измерения; 3) замена деформированных зерен новыми равноосными.

## Тест № 8

1. Возможен ли наклеп металла, если деформация осуществляется при температурах выше температуры рекристаллизации?

**Ответы:** 1) возможен; 2) невозможен; 3) возможен, если скорость деформации выше скорости рекристаллизации.

2. Какую сталь лучше использовать для изделий, изготовляемых листовой штамповкой?

**Ответы:** 1) ст4сп; 2) 15кп; 3) А12; 4) У10.

3. Какая из сталей обладает наибольшей склонностью к образованию волокнистости при горячей обработке давлением?

**Ответы:** 1) 40А; 2) ст6; 3) А40Г.

4. Для каких металлов деформация при комнатной температуре является горячей?

**Ответы:** 1) Zn; 2) Cu; 3) Pb; 4) Fe.

5. При какой обработке деформированного металла в нем наблюдается восстановление физико-химических и механических свойств?

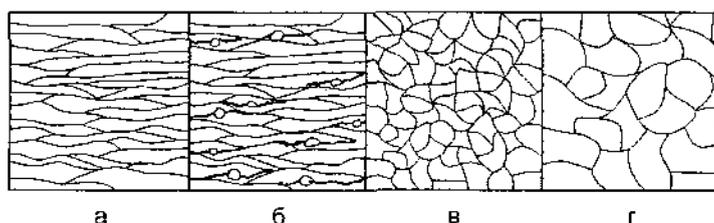
**Ответы:** 1) отжиге; 2) рекристаллизации.

## Тест № 9

1. Может ли пластическая деформация при комнатной температуре быть горячей?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Какая структура получается при нагреве холоднодеформированного железа до  $400^{\circ}\text{C}$ ?



**Ответы:** 1) а; 2) б; 3) в; 4) г.

3. Какая из сталей обладает наибольшей склонностью к образованию волокнистости при горячей обработке давлением?

**Ответы:** 1) 10А; 2) А12; 3) ст4сп.

4. Листы железа после 5-8% деформации были подвергнуты рекристаллизационному отжигу. Однако пластичность их оказалась пониженной. Почему?

**Ответы:** 1) температура отжига была завышена; 2) степень деформации была близка к критической; 3) вследствие наклепа.

5. Для каких металлов деформация при  $1000^{\circ}\text{C}$  будет холодной?

**Ответы:** 1) Pb; 2) Fe; 3) W; 4) Re; 5) Al.

## Тест № 10

1. Как меняются характеристики металла  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $KCU$  при холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) увеличиваются; 2) уменьшаются.

2. Почему при горячей обработке давлением не рекомендуется проводить последнюю операцию с малой степенью обжатия?

**Ответы:** 1) понижается твердость; 2) появляется текстура; 3) при последующем нагреве зерно будет крупным.

3. В каких участках металлической конструкции будет наблюдаться более значительная коррозия?

**Ответы:** 1) в участках, прилегающих к заклепкам; 2) в участках, удаленных от заклепок.

4. Какие стали можно подвергнуть холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) У10; 2) А12; 3) 08; 4) ст2.

5. Какая максимальная температура деформации железа будет соответствовать холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) 250 °С; 2) 300 °С; 3) 400 °С; 4) 500 °С; 5) 600 °С; 6) 700 °С.

## Тест № 11

1. Для чего применяется рекристаллизационный отжиг?

**Ответы:** 1) для устранения внутренних напряжений; 2) для восстановления исходной структуры и свойств металла; 3) для повышения физико-механических характеристик.

2. Как называется стадия нагрева холоднодеформированного металла, при которой зерно значительно укрупняется по сравнению с исходным состоянием?

**Ответы:** 1) отдых; 2) первичная рекристаллизация; 3) собирательная рекристаллизация.

3. Можно ли повысить обрабатываемость резанием высокопластичного сплава наклепом?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какие характеристики механических свойств увеличиваются при холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1)  $\sigma_T$ ; 2)  $KCU$ ; 3)  $\sigma_B$ ; 4)  $\delta\%$ ; 5)  $HB$ .

5. Какая минимальная температура деформации железа будет соответствовать горячей пластической деформации?

**Ответы:** 1) 300 °С; 2) 400 °С; 3) 500 °С; 4) 600 °С.

## Тест № 12

1. Для каких металлов деформация при комнатной температуре будет горячей?

**Ответы:** 1) Al; 2) Pb; 3) Sn; 4) Au.

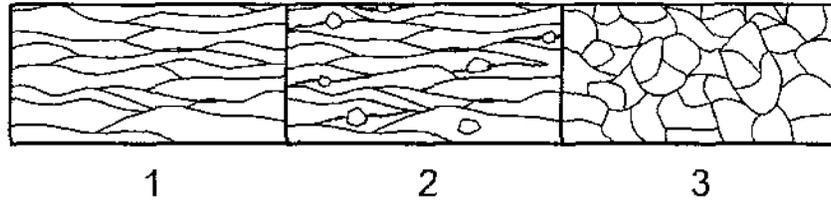
2. Связана ли анизотропия с текстурой?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Как называется процесс образования новых зерен при нагреве холоднодеформированного металла?

**Ответы:** 1) рекристаллизацией; 2) регенерацией; 3) отдыхом.

4. Какая структура получается при нагреве холоднодеформированного железа до  $450^{\circ}\text{C}$ ?



**Ответы:** 1) первая; 2) вторая; 3) третья.

5. Прочность каких прутков будет выше?

**Ответы:** 1) холоднодеформированных; 2) горячедеформированных.

### Тест № 13

1. Как меняется размер зерна отожженной при  $650^{\circ}\text{C}$  стали с увеличением степени предварительной деформации?

**Ответы:** 1) уменьшается; 2) увеличивается.

2. Что является причиной волокнистости горячедеформированной стали?

**Ответы:** 1) дендритное строение стали; 2) наличие примесей.

3. При какой температуре следует деформировать свинец, чтобы его упрочнить?

**Ответы:** 1) при минусовых температурах; 2) при  $0^{\circ}\text{C}$ ; 3) при комнатной температуре; 4) при температурах, выше комнатной.

4. Какие факторы влияют на размер зерна после рекристаллизационного отжига?

**Ответы:** 1) степень деформации; 2) температура рекристаллизационного отжига; 3) температура деформирования металла; 4) структура металла.

5. Какое свойство металла утрачивается при наклепе?

**Ответы:** 1) твердость; 2) прочность; 3) пластичность; 4) упругость.

### Тест № 14

1. Что легче сделать: согнуть стальную проволоку или разогнуть?

**Ответы:** 1) согнуть; 2) разогнуть.

2. Равнозначны ли термины "текстура" и "волокнистость"?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Как называется стадия нагрева холоднодеформированного металла, при которой восстанавливаются физико-химические свойства?

**Ответы:** 1) отдых; 2) рекристаллизация.

4. Можно ли получить одинаковые значения твердости по Бринелю в одном и том же образце стали, если оба отпечатка от вдавливания шарика расположены на очень близком расстоянии друг от друга?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Какой из металлов имеет самую высокую температуру рекристаллизации?

**Ответы:** 1) Cu; 2) Al; 3) Zn; 4) Fe.

### Тест № 15

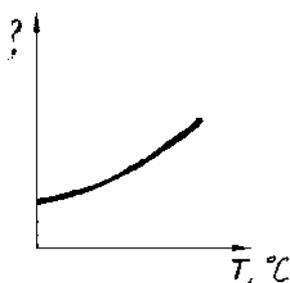
1. Какой металл будет сильнее разрушаться от коррозии?

**Ответы:** 1) холоднодеформированный; 2) отожженный.

2. Как называется промежуточная термическая операция при многоэтажном изготовлении изделия сложной формы из пластичного материала?

**Ответы:** 1) диффузионный отжиг; 2) рекристаллизационный отжиг; 3) отдых; 4) нормализация.

3. Какая величина отложена по оси ординат на графике?



**Ответы:** 1) степень деформации; 2) размер зерна; 3) твердость.

4. Какие стали можно подвергнуть холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) А15; 2) 20кп; 3) У10; 4) Бст2; 5) 08.

5. Как можно повысить прочность высоколегированных нержавеющей сталей, не упрочняемых термообработкой?

**Ответы:** 1) обработкой холодом; 2) наклепом; 3) повышением степени легирования.

### Тест № 16

1. Какой элемент более всего отвечает за образование волокнистости?

**Ответы:** 1) Mn; 2) S; 3) Ca; 4) P.

2. После какой термической операции сталь имеет наиболее высокую твердость?

**Ответы:** 1) отжига; 2) первичной рекристаллизации; 3) собирательной рекристаллизации.

3. Какова оптимальная температура рекристаллизационного отжига стали 05?

**Ответы:** 1) 450 °C; 2) 650 °C; 3) 750 °C; 4) 850 °C.

4. Какие стали наиболее пригодны для холодной пластической деформации?

**Ответы:** 1) спокойные; 2) кипящие.

5. Можно ли устранить волокнистость стали термообработкой?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

## РАЗДЕЛ 7 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

**Цель работы:** закрепить знания по основам теории термической обработки стали.

### 7.1 Общие положения термической обработки

Термическая обработка – один из самых эффективных и широко применяемых способов изменения свойств сплавов за счет необратимого изменения структуры.

Собственно термическая обработка не предусматривает какого-либо воздействия на металл, кроме температурного. Она состоит в том, чтобы нагревом до определенной температуры и последующим охлаждением вызвать желаемое изменение строения металла. Если при нагреве изменяется состав металла (сплава), то такая термическая обработка называется **химико-термической (ХТО)**.

Любой вид термической обработки обычно изображается в координатах: температура  $t$ , время  $\tau$  (рисунок 7.1).

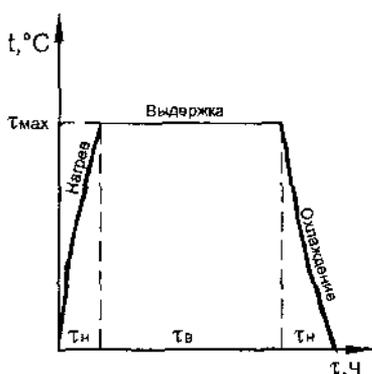


Рисунок 7.1 - График термической обработки:  $\tau_n$  – время нагрева;  $\tau_b$  – время выдержки;  $\tau_0$  – время охлаждения;  $t_{max}$  -максимальная температура, до которой был нагрет сплав при термической обработке;  $V_{ист.}$  – истинная скорость охлаждения при данной температуре, являющаяся первой производной от температуры по времени

Графически истинная скорость определяется тангенсом угла наклона касательной к кривой охлаждения при заданной температуре. На практике чаще оперируют значением средней скорости  $V_{ср.}$  нагрева (охлаждения), распространяя ее на весь температурный интервал или его часть, т.е.

$$V_{нагр. ср.} = \frac{t_{max}}{\tau_n}; \quad (7.1)$$

$$V_{охл. ср.} = \frac{t_{max}}{\tau_0} \cdot \frac{^{\circ}C}{с}. \quad (7.2)$$

Графиком «температура-время» может быть охарактеризован любой процесс термической обработки.

### Критические точки стали

Термическая обработка имеет главное значение именно для стали. Это обусловлено, с одной стороны, широким распространением стали как конструкционного и инструментального материала, а с другой стороны, ни для одного сплава термическая обработка не дает такого эффекта, как для стали.

Для практических целей термической обработки стали достаточно рассматривать стальной участок диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C (рисунок 7.2).

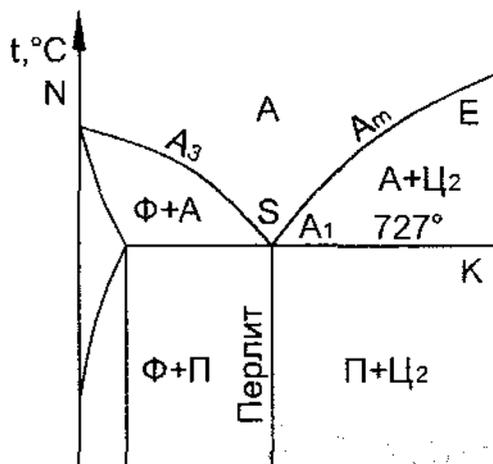


Рисунок 7.2 – Стальной участок диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C и критические точки стали

Принято обозначать температуры фазовых превращений в стали как критические точки «А»: Нижняя критическая точка, обозначаемая «А<sub>1</sub>», лежит на линии 727°C и соответствует эвтектоидному превращению А↔П, то есть аустенит в точке А<sub>1</sub> превращается в перлит при весьма медленном охлаждении, или перлит превращается в аустенит при медленном нагреве.

Для доэвтектоидных сталей вводится критическая точка А<sub>3</sub>, лежащая на линии GS. А<sub>3</sub> – это температура, отвечающая началу выделения феррита из аустенита при медленном охлаждении или окончанию превращения феррита в аустенит при медленном нагреве. Другими словами, в точке А<sub>3</sub> происходит полиморфное α↔γ превращение в стали.

Для заэвтектоидных сталей вводится критическая точка А<sub>m</sub>, лежащая на линии SE и отвечающая началу выделения вторичного цементита из аустенита при медленном охлаждении или окончанию растворения цементита в аустените при медленном нагреве.

Чтобы отличить критическую точку при нагреве от критической точки при охлаждении, рядом с буквой «А» ставят букву «с» в первом случае и букву «г» - во втором случае. Следовательно, критическая точка фазового превращения аустенита в перлит обозначается А<sub>г1</sub>, а перлита в аустенит – А<sub>с1</sub>, начало выделения феррита из аустенита обозначается А<sub>г3</sub>, а конец растворения феррита в аустените – А<sub>с3</sub>. Начало выделения вторичного цементита из аустенита обозначается А<sub>гm</sub>, а конец растворения цементита в аустените – А<sub>см</sub>.

## 7.2 Основы теории термической обработки стали

В основе теории термической обработки стали лежат следующие основные превращения:

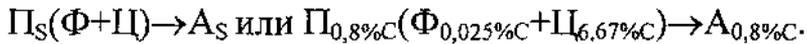
- I. Превращение  $P \rightarrow A$ , имеющее место при нагреве выше точки  $A_{C1}$ .
- II. Превращение  $A \rightarrow (F + C)$ , происходящее при охлаждении стали из  $\gamma$ -области.
- III. Превращение  $A \rightarrow M$ , происходящее при охлаждении из  $\gamma$ -области со скоростью выше критической.
- IV. Распад мартенсита  $M \rightarrow (F + C)$  при нагреве закаленной стали.

Рассмотрим сущность этих превращений.

### 7.2.1 Превращение $P \rightarrow A$ при нагреве стали

При нагреве стали ее структура изменится только тогда, когда сталь будет нагрета до точки  $A_{C1}(727^\circ C)$ . В соответствии с диаграммой Fe-Fe<sub>3</sub>C во всех сталях в точке  $A_{C1}$  происходит эвтектоидное превращение  $P \rightarrow A$ , сопровождающееся измельчением зерна. Эта очень важная особенность превращения в практике термической обработки – отжига, нормализации, закалке, связанных с нагревом стали до аустенитного состояния.

Превращение  $P \rightarrow A$  носит диффузионный характер, т.к. сопровождается перераспределением углерода между фазами:



Образовавшийся в точке  $A_{C1}$  аустенит неоднороден даже в объеме одного зерна. В местах, где ранее были пластинки цементита, содержание углерода больше, чем в тех местах, где залегали пластинки феррита. Для получения однородного по составу (гомогенного) аустенита требуется или нагреть сталь выше точки  $A_{C1}$ , или дать выдержку для завершения диффузионных процессов внутри аустенитного зерна. Практически это превращение реализуется при нагреве выше точки  $A_{C3}$ , причем с повышением температуры оно непрерывно ускоряется. Чем быстрее осуществляется нагрев, тем при более высокой температуре протекает превращение. По окончании превращения  $P \rightarrow A$  образуется большое количество мелких зерен аустенита. Это зерно аустенита называется **начальным**. В до- и заэвтектоидных сталях после перехода перлита в аустенит в структуре сохраняются избыточные структурные составляющие, феррит и цементит соответственно. В доэвтектоидных сталях при нагреве от  $A_{C1}$  до  $A_{C3}$  происходит растворение избыточного феррита в аустените, а в заэвтектоидных сталях при нагреве от  $A_{C1}$  до  $A_{Cm}$  - растворение избыточного цементита в аустените. Оба процесса сопровождаются диффузией углерода, приводящей к выравниванию концентрации, и небольшим укрупнением кристаллов аустенита.

Дальнейший нагрев стали в однофазной аустенитной области приводит к дальнейшему росту зерен аустенита. Чем выше температура нагрева и чем длительнее выдержка, тем крупнее будут зерна аустенита. Скорость роста аустенитных зерен при перегреве сверх температур  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$  неодинакова у разных

сталей: она в большей мере зависит от способа раскисления стали и от наличия некоторых легирующих элементов.

В зависимости от скорости роста аустенитных зерен различают стали наследственно-крупнозернистые и наследственно-мелкозернистые.

**Наследственно-крупнозернистыми** называют стали, в которых по мере превышения температуры над  $A_{C3}$  или  $A_{Cm}$  зерна аустенита быстро укрупняются: таковыми являются стали, раскисленные в процессе выплавки ферросилицием и ферромарганцем. **Наследственно-мелкозернистыми** называются стали, в которых при нагревах до  $1000-1100^{\circ}\text{C}$  зерна аустенита растут с малой скоростью. К ним относятся спокойные стали, раскислявшиеся в процессе выплавки еще и алюминием, а также содержащие такие элементы, как титан, ванадий, цирконий и др.

Наследственная зернистость стали хотя и не влияет на ее свойства, но определяет технологический процесс горячей обработки. Наследственно-мелкозернистые стали можно ковать, прокатывать при более высокой температуре, не опасаясь перегрева. У них шире интервал закалочных температур и т.д.

Наряду с наследственным, существует еще так называемое действительное аустенитное зерно, полученное в результате той или иной термической операции. Укрупнение действительного зерна аустенита почти не отражается на статических характеристиках механических свойств (твердость, сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение), но сильно снижает ударную вязкость, особенно при высокой твердости.

### 7.2.2 Распад аустенита на феррито-цементитную смесь: $A \rightarrow (\Phi + \text{Ц})$

Распад аустенита при охлаждении стали из области аустенитного состояния может идти двумя путями:

- а) в процессе изотермической выдержки при температурах ниже критической точки  $A_{T1}$ ;
- б) в процессе непрерывного охлаждения до комнатной температуры.

#### Изотермический распад аустенита

Схематически процесс изотермического распада аустенита можно охарактеризовать следующим образом (рисунок 7.3):

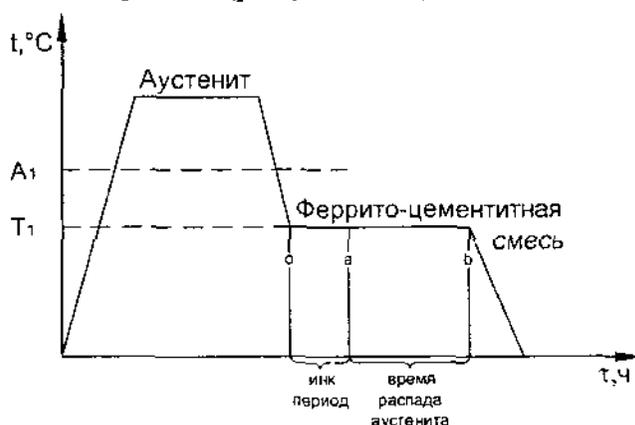
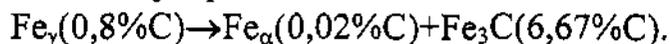


Рисунок 7.3 - Схема изотермического распада аустенита при температуре  $T_1$

Представим, что сталь с исходной перлитной структурой (например, сталь У8) нагрели до аустенитного состояния, выдержали при температуре нагрева для завершения фазового превращения  $\text{П} \rightarrow \text{А}$ , а затем перенесли в соляную ванну с температурой  $T_1 < A_{c1}$ , которая поддерживается постоянной. Выдержка при температуре  $T_1$  называется **изотермической**. В процессе этой выдержки должно произойти превращение:



Превращение, как следует из формулы, состоит в перестройке решетки  $\gamma \rightarrow \alpha$  и диффузионном перераспределении углерода между фазами аустенит, феррит, цементит.

Особенностью изотермического превращения является то, что распад аустенита на ферритно-цементитную смесь начнется не сразу – аустенит некоторое время сохраняется нераспавшимся. Этот отрезок времени «*oa*» (рисунок 7.3) называется инкубационным периодом. По истечении инкубационного периода начинается распад  $\text{А} \rightarrow (\text{Ф} + \text{Ц})$ , который заканчивается в точке «*b*». Таким образом, точка «*a*» характеризует начало, точка «*b*» – конец, а отрезок «*oa*» – время распада аустенита на ферритно-цементитную смесь.

Величина инкубационного периода и времени распада аустенита зависит от температуры изотермической выдержки. Если для различных температур определить эти величины, а затем нанести их на одну общую диаграмму, мы получим так называемую диаграмму изотермического распада аустенита (рисунок 7.4).



Рисунок 7.4 – Диаграмма изотермического распада аустенита для стали У8

На диаграмме нанесены две линии, имеющие вид буквы С – «С»-образные кривые. На кривой 1 находятся температуры начала, на кривой 2 – температуры конца распада аустенита на феррито-цементитную смесь. Расстояние между кривыми при любой заданной температуре характеризует время распада, а длина отрезка от оси ординат до кривой 1 – время инкубационного периода.

В зависимости от степени переохлаждения аустенита на диаграмме различают три температурные области:

от  $A_{г1}$  до  $550^{\circ}\text{C}$  – область перлитного превращения;

от  $550^{\circ}\text{C}$  до  $M_{н}(250^{\circ}\text{C})$  – область промежуточного превращения;

ниже  $M_{н}$  – область мартенситного превращения.

Эти области отличаются различной степенью переохлаждения аустенита относительно точки  $A_{г1}$ , которая определяет образование структур, обладающих различными механическими свойствами – твердостью, прочностью, пластичностью.

Эти области отличаются различной степенью переохлаждения аустенита относительно точки  $A_{г1}$ , которая определяет образование разных структур, обладающих различными механическими свойствами – твердостью, прочностью, пластичностью.

Так, при распаде аустенита в районе температур перлитного превращения образуются структуры пластинчатого типа, представляющие собой феррито-цементитную смесь и отличающиеся лишь дисперсностью строения. Дисперсность оценивается расстоянием между пластинками феррита и цементита в смеси. Чем ниже степень переохлаждения аустенита относительно точки  $A_{г1}$ , тем выше дисперсность и тем тверже продукт распада аустенита.

При малых степенях переохлаждения от  $A_{г1}$  до  $650^{\circ}\text{C}$ , из аустенита образуется **перлит**. Расстояние между пластинками феррита и цементита в перлите составляет  $0,5 - 0,7$  мкм. Под микроскопом пластинки различимы отчетливо при увеличении в 500 раз. Твердость перлита HRC 15.

При переохлаждении аустенита от  $650^{\circ}\text{C}$  до  $600^{\circ}\text{C}$  получается структура, называемая **сорбитом**. Межпластинчатое расстояние в сорбите –  $0,25$  мкм. Смесь различима под микроскопом при увеличении в 1000 раз. Твердость сорбита – HRC  $20 \div 30$ .

При переохлаждении аустенита от  $600^{\circ}\text{C}$  до  $550^{\circ}\text{C}$  получается феррито-цементитная смесь очень большой степени дисперсности, называемая **трооститом**. Межпластинчатое расстояние в этом случае уменьшается до  $0,1$  мкм. Смесь различима только в электронном микроскопе при увеличении в 10000 раз. Твердость троостита - HRC  $30 \div 40$ .

Таким образом, при распаде аустенита в области перлитного превращения  $A_{г1} - 550^{\circ}\text{C}$  образуются структуры перлит, сорбит, троостит, представляющие феррито-цементитную механическую смесь и отличающиеся лишь дисперсностью строения этой смеси.

Область промежуточного превращения распространяется от изгиба «С» кривой ( $550^{\circ}\text{C}$ ) до точки начала мартенситного превращения  $M_{н}$  (рисунок 7.4). При изотермической выдержке в этой температурной области образуется игольчатая структура, называемая игольчатым трооститом или бейнитом. Она занимает промежуточное положение между перлитными структурами и мартенситом. Твердость бейнита HRC  $40 \div 55$ .

Аустенит, переохлажденный ниже точки  $M_{н}$ , теряет термодинамическую устойчивость, однако отсутствие диффузионной подвижности атомов углерода

не позволяет осуществить превращение по перлитному или бейнитному механизму. Остается единственная возможность – мартенситное превращение, происходящее путем  $\gamma \rightarrow \alpha$  перестройки без выделения углерода; последний остается в решетке  $\alpha$ -железа.

Таким образом, мартенсит – это пересыщенный углеродом твердый раствор на основе  $\alpha$ -железа. **Мартенсит** – структура игольчатого строения, обладающая наивысшей твердостью HRC 40 ÷ 55 по сравнению с другими продуктами распада аустенита.

### Распад аустенита при непрерывном охлаждении

Термическая обработка стали гораздо чаще производится не изотермическим процессом, а непрерывным охлаждением. Для качественного рассмотрения превращений при непрерывном охлаждении на диаграмму изотермического распада аустенита наносят кривые охлаждения. При небольшой скорости охлаждения (кривая  $V_1$ , рисунок 7.5) аустенит превращается в перлит. При увеличении скорости охлаждения до  $V_2$  ( $V \sim 1$  %/с) перлит заменяется сорбитом. На практике охлаждение со скоростью  $V$  соответствует отжигу, со скоростью  $V_2$  – нормализации.

При охлаждении стали со скоростью  $V_3 \sim 50$  %/с образуется структура троостита.

При охлаждении со скоростью  $V_4 \sim 80$  %/с не произойдет полного распада аустенита. Часть его переохладится до точки  $M_n$ , вследствие чего структура будет состоять из троостита и мартенсита.

Кривая охлаждения  $V_5$ , касательная к выступу изотермической кривой, является минимальной скоростью охлаждения, при которой аустенит не распадается на феррито-цементитную смесь, а превращается в мартенсит. Эта скорость охлаждения называется критической скоростью заковки и обозначается  $V_{кр}$ .

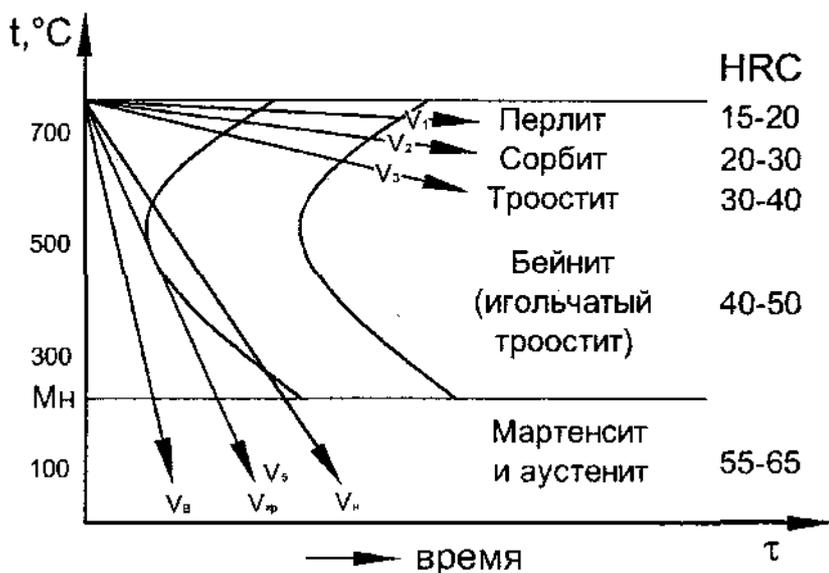


Рисунок 7.5 – Распада аустенита при непрерывном охлаждении

Мартенсит – основная структура закаленной стали, получаемая при охлаждении со скоростью  $V > V_{кр}$ . Если охлаждение при закалке вести со скоростью меньше  $V_{кр}$  (например,  $V_5$ ), наряду с мартенситом в структуре будет присутствовать троостит, и тогда цель закалки – получение наивысшей твердости стали, достигнута не будет.

$V_{кр}$  – важнейшая технологическая характеристика стали. Она определяет выбор охлаждающих сред при термической обработке стали. Оценить  $V_{кр}$  можно по диаграмме изотермического распада аустенита, которая строится для каждой стали.

В соответствии с диаграммой:

$$V_{кр} = \frac{A_1 - t_m}{1,5\tau_m}, \text{ } ^\circ\text{C/сек}, \quad (7.3)$$

где  $t_m$  – температура у изгиба кривой изотермического распада аустенита;

$\tau_m$  – время минимальной устойчивости аустенита.

Таким образом,  $V_{кр}$  – свойство стали, определяющееся ее химсоставом. В углеродистых сталях с повышением содержания углерода до 0,8 %  $V_{кр}$  уменьшается. Так, для стали марки 40  $V_{кр} = 450$  °C/сек, стали 60 - 250 °C/сек, стали 80 - 150 °C/сек.

При дальнейшем повышении содержания углерода  $V_{кр}$  вновь возрастает. Легирование стали уменьшает  $V_{кр}$ . Это углубляет закалку и позволяет использовать более мягкие закалочные среды (вместо воды – масло, воздух).

### 7.2.3 Мартенситное превращение (A→M)

Мартенситное превращение наблюдается во многих сплавах. Но наибольшее практическое значение оно приобрело для сталей, так как благодаря мартенситному превращению достигается значительное упрочнение стали.

Мартенситное превращение носит бездиффузионный характер, так как при  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращении, протекающем с огромной скоростью – скоростью распространения звука в металле – атомы углерода не успевают выделиться из кристаллической решетки аустенита и при  $\gamma \rightarrow \alpha$  перестройке решетки остаются в ней. Наличие избыточных атомов углерода (растворимость углерода в  $\alpha$ -железе в соответствии с диаграммой Fe-FeC составляет 0,02%) приводит к тому, что кристаллическая решетка искажается и из кубической превращается в тетрагональную (рисунок 7.6).

Отношение параметров  $c/a$  называется степенью тетрагональности мартенсита. Чем выше  $c/a$ , тем больше атомов углерода в решетке мартенсита, тем сильнее деформирована решетка и тем выше твердость мартенсита.

Мартенситное превращение протекает в интервале температур  $M_H - M_K$ :  $M_H$  – температура начала,  $M_K$  – конца превращения.

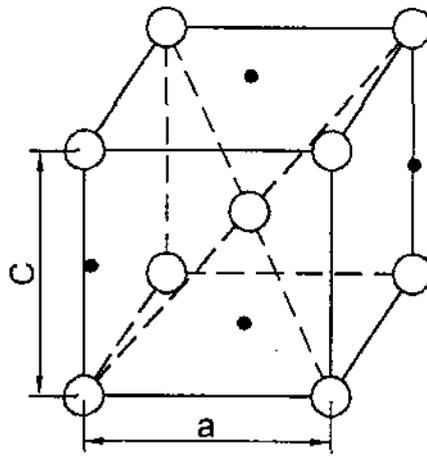


Рисунок 7.6 – Кристаллическая ячейка мартенсита (○ - атомы железа; • - атомы углерода)

Положение мартенситных точек  $M_H$  и  $M_K$  зависит от содержания углерода (рисунок 7.7). Углерод снижает температуру  $M_H$  и  $M_K$ . При содержании углерода более 0,6 % температура  $M_K$  снижается ниже 0 °С, поэтому охлаждение ниже комнатной температуры (обработка холодом) приводит в этих сталях к дальнейшему течению мартенситной реакции и к уменьшению количества остаточного аустенита, которого при закалке с охлаждением до комнатной температуры сохраняется тем больше, чем выше содержание углерода.

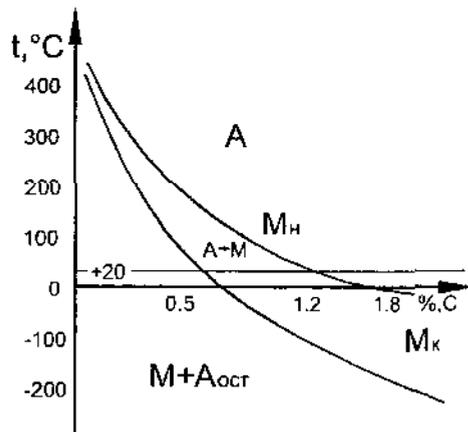


Рисунок 7.7 – Зависимость температур начала и конца мартенситного превращения от содержания углерода

Наличие остаточного аустенита наряду с мартенситом понижает твердость стали, ухудшает ее шлифуемость. Кроме того, превращение аустенита в мартенсит сопровождается увеличением объема, что приводит к появлению внутренних напряжений, вызывающих коробление стальных изделий и даже трещинопоражаемость (если внутренние напряжения превышают предел прочности стали).

Мартенсит имеет игольчатое строение. Размер игл определяется размерами бывшего аустенитного зерна. Так, при перегреве стали зерно аустенита ук-

рупняется, что при охлаждении вызывает образование крупноигльчатого мартенсита. Для получения более высокого комплекса свойств на практике стремятся получать после закалки мелкоигльчатый мартенсит.

Поскольку превращение  $A \rightarrow M$  протекает бездиффузионным путем и углерод из аустенита не выделяется, содержание углерода в мартенсите будет соответствовать содержанию его в аустените, из которого он образовался.

#### **7.2.4 Превращения при нагреве закаленной стали (IV основное превращение)**

Нагрев (отпуск) закаленной стали со структурой, состоящей из мартенсита и остаточного аустенита, приводит к превращениям, которые при некотором упрощении можно разделить на четыре типа. Каждый из типов превращений протекает с наибольшей интенсивностью в определенном температурном интервале.

Первое превращение в углеродистой стали происходит при нагреве до  $150^\circ\text{C}$ . Оно заключается в выделении углерода из  $\alpha$ -твердого раствора (мартенсита) и уменьшении, вследствие этого его тетрагональности. Углерод выделяется в виде тонких пластинок карбида  $\text{Fe}_3\text{C}$ , когерентно связанных с кристаллической решеткой мартенсита (т.е. не обособленных от мартенсита). При температуре  $150^\circ\text{C}$  в  $\alpha$ -твердом растворе сохраняется 0,2-0,3%. Структура стали при таком нагреве остается мартенситной, остаточный аустенит в структуре сохраняется.

Второе превращение охватывает температуры  $220\text{-}250^\circ\text{C}$ . При нагреве в этом температурном интервале продолжается распад аустенита до 0,2%С. Карбидные пластинки, когерентно связанные с решеткой мартенсита, обособляются, и начинается их превращение в карбид  $\text{Fe}_3\text{C}$  -цементит.

Одновременно в этом интервале происходит распад остаточного аустенита на смесь, состоящую из малоуглеродистого мартенсита и мелкодисперсных карбидов  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Структура стали, подвергнутая после закалки нагреву (отпуску) на  $200\text{-}250^\circ\text{C}$ , называется мартенситом отпуска. Мартенсит отпуска отличается от мартенсита закалки содержанием растворенного углерода и имеет повышенную травимость.

Третье превращение происходит при нагреве в интервале  $300\text{-}450^\circ\text{C}$ . На этом этапе завершается распад мартенсита – из него выделяется весь углерод, тетрагональный мартенсит переходит в кубический и становится ферритом. Полученная ферритно-цементитная смесь имеет пластинчатое строение большой степени дисперсности и по свойствам соответствует трооститу. Поэтому структура закаленной стали, подвергнутой отпуску при температуре  $300\text{-}450^\circ\text{C}$ , называется трооститом отпуска.

Четвертое превращение при отпуске происходит при дальнейшем нагреве. В интервале  $450\text{-}650^\circ\text{C}$  происходит сфероидизация (коагуляция) карбидных частиц  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Если ранее цементит имел пластинчатую форму, то начиная с  $500^\circ\text{C}$  он начинает приобретать зернистое строение. Скорость этого процесса с по-

вышением температуры нагрева увеличивается. Форма ферритных зерен также становится равноосной, феррито-цементитная смесь зернистого строения, образующаяся после закалки и отпуска при температурах 500-600 °С, называется сорбитом отпуска.

Таким образом, в зависимости от температуры отпуска закаленной стали, в ней можно получить структуры: мартенсит, троостит и сорбит. Мартенсит обладает наибольшей твердостью и прочностью. Наибольшей упругостью обладает троостит, наибольшей ударной вязкостью – сорбит. У сорбита наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств. Подбирая температуру отпуска, можно получить соответствующую структуру стали и требуемые свойства.

## Индивидуальные задания

### Вариант 1

1. Найти критические точки:  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$  сталей 30 и У9.
2. Почему превращение П→А носит диффузионный характер?
3. Напишите реакцию мартенситного превращения. Вследствие чего в стали получается остаточный мартенсит?
4. Чем отличается мартенсит от аустенита?
  - а) по типу фазы;
  - б) кристаллической решеткой;
  - в) микроструктуре;
  - г) механическим свойствам.
5. Какие из структур: Ф, А, М, Т, С, Б, Ц имеют:
  - а) зернистое строение;
  - б) игольчатое строение;
  - в) пластинчатое строение.
6. В процессе изготовления длиной плоской протяжки из стали, содержащей 1 % С, были обнаружены шлифовочные трещины. Как можно объяснить их появление?

### Вариант 2

1. Найти критические точки:  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$  сталей 50 и У11.
2. Какое превращение происходит в точке  $A_3$ ?
3. Какая скорость охлаждения называется критической? Что произойдет, если
  - а)  $V_{охл} > V_{кр}$ ;
  - б)  $V_{охл} < V_{кр}$ ?
4. Почему в сталях, содержащих более 0,6%С, наряду с мартенситом присутствует остаточный аустенит?
5. Укажите, какие структуры образуются на диаграмме изотермического распада в областях:

- а)  $A_1 - 550^\circ\text{C}$ ;                      б)  $550^\circ\text{C} - M_H$ ;                      в)  $M_H$  и ниже.

6. Содержание углерода в стали 40 при нагреве для закалки соответственно 0,4%. Сколько углерода будет содержаться в мартенсите этой стали после охлаждения её со скоростью выше критической?

### Вариант 3

1. Найти критические точки  $A_{C1}$  и  $A_{C3}$  стали 65.
2. Какое превращение происходит в точке  $A_{T3}$ ?
3. При каком условии получается мартенсит, если процесс охлаждения вести непрерывным способом?
4. Чем отличаются друг от друга структуры перлита, сорбита, троостита и бейнита:
  - а) по строению;
  - б) по типу;
  - в) по механическим свойствам.
5. В чем сущность мартенситного превращения? Почему оно бездиффузионное?
6. Сталь марки 40 нагрели для закалки до температуры  $840^\circ\text{C}$  и  $880^\circ\text{C}$  и охладили со скоростью выше критической. Какое различие в строении мартенсита будет при этом наблюдаться?

### Вариант 4

1. Найти критические точки  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$  сталей 50 и У12.
2. Что происходит в точке  $A_{Cm}$  стали У12?
3. Чем отличается мартенсит от:
  - а) структур перлитного типа;
  - б) аустенита;
  - б) феррита?
4. Расположите структуры: Ф, А, М, Ц, С, Б, П, Т в порядке уменьшения их твердости.
5. Нанесите на диаграмму изотермического превращения аустенита скорость охлаждения, обеспечивающую получение структуры:
  - а) перлита;
  - б) бейнита;
  - в) мартенсита.
6. Как связан размер игл мартенсита с размером аустенитного зерна?

### Вариант 5

1. Найдите точки  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$  сталей 60 и У 13.
2. Что понимается под наследственной зернистостью стали?

3. Нарисуйте область  $550^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$  диаграммы изотермического распада аустенита. Какие структуры получаются в этой области и чем они отличаются друг от друга?

4. Какие из структур: А, С, П, Ф, М, Ц, Т - представляют:

- а) твердые растворы;
- б) механические смеси;
- в) химические соединения?

5. Перечислите кратко основные черты мартенситного превращения.

6. Предложите способ повышения твердости стали, содержащей после закалики большое количество остаточного аустенита.

### Вариант 6

1. Найдите точки  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$  сталей 30 и У 9.

2. Почему превращение П→А носит диффузионный характер?

3. Напишите реакцию мартенситного превращения. Вследствие чего в стали получается остаточный аустенит?

4. Чем отличается мартенсит от аустенита:

- а) по типу фазы;
- б) кристаллической решеткой;
- в) микроструктурой;
- г) по механическим свойствам?

5. Какие из структур: Ф, А, М, Т, С, Б, Ц - имеют:

- а) зернистое строение;
- б) игольчатое строение;
- в) пластинчатое строение?

6. В процессе изготовления длиной плоской протяжки из стали, содержащей 1%С, были обнаружены шлифовочные трещины. Как можно объяснить их появление?

### Вариант 7

1. Какие из структур: бейнит, перлит, феррит, цементит, троостит, мартенсит, сорбит – представляют:

- а) твердые растворы;
- б) механические смеси;
- в) химические соединения?

2. Почему мартенсит, являясь твердым раствором углерода в  $\alpha$ -железе, имеет тетрагональную кристаллическую решетку?

3. Какие термические операции относятся к равновесной, какая – к неравновесной?

4. Почему для закалки углеродистых сталей используют воду, а легированных – масло?

5. Что понимается под наследственной зернистостью?

6. Содержание углерода в стали марки 40 при нагреве для закалки соответствовало 0,4%. Сколько углерода будет содержаться в мартенсите этой стали после охлаждения её со скоростью выше критической?

### Вариант 8

1. Найдите точки  $A_{C3}$  стали 70 и  $A_{Cin}$  стали У10. Что происходит в этих точках?

2. Какое значение имеет наследственная природа стали?

3. Нарисуйте область перлитного превращения диаграммы изотермического распада аустенита. Какие структуры получаются в этой области и чем они отличаются друг от друга?

4. Как изменится структура стали 40, нагретой до аустенитного состояния, если процесс охлаждения вести:

- а) вместе с печью;
- б) на спокойном воздухе;
- в) в масле;
- г) в воде?

5. Изобразите кристаллическую решетку мартенсита. Объясните, что такое степень тетрагональности и как она влияет на свойства мартенсита.

6. Происходит ли выделение углерода из аустенита в процессе мартенситного превращения  $A \rightarrow M$ ?

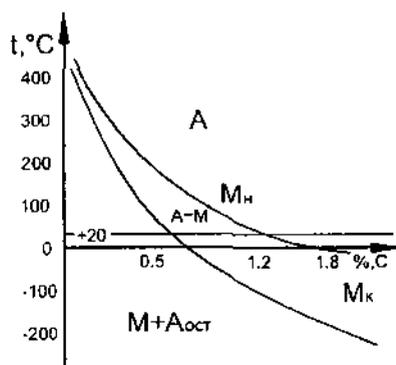
### Вариант 9

1. Найдите точки  $A_{C1}$  и  $A_{C3}$  стали 55. Какое изменение структуры происходит в этих точках?

2. Какое зерно называется действительным? Как оно влияет на свойства сталей?

3. Какое превращение называется изотермическим? Нарисуйте диаграмму изотермического распада аустенита и объясните смысл точек и отрезков пересечения изотермы при  $T = 400^\circ C$  с линиями диаграммы.

4. Проанализируйте зависимость точек  $M_H$  и  $M_K$  от содержания углерода и сделайте три вывода (см. рисунок).



5. Какие фазы участвуют в мартенситном превращении? Нарисуйте кристаллические решетки этих фаз.

6. Какую структуру будут иметь стали марок 40, 70, У8 после нагрева до аустенитного состояния и охлаждения со скоростью выше критической?

### Вариант 10

1. Какой смысл имеют критические точки  $A_{C1}$ ,  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$ ?

2. Найти критические точки  $A_3$  и  $A_m$  для сталей 30 и У9.

3. Дайте определение начального, действительного и наследственного аустенитного зерна. На какие свойства стали влияют наследственное и действительное зерно?

4. Почему на диаграмме  $Fe-Fe_3C$  не встречаются структуры сорбит, троостит, бейнит, мартенсит?

5. Чем отличается мартенсит от феррита?

6. Почему в сталях после закалки получается остаточный аустенит? От чего зависит его количество?

### Вариант 11

1. Какой смысл имеют критические точки  $A_{C1}$ ,  $A_{C3}$  и  $A_{Cm}$ ?

2. Найти критические точки сталей 20 и У11.

3. Нарисуйте график изотермического распада аустенита для получения структуры бейнита. Объясните, что представляет собой бейнит и какова его твердость.

4. Чем отличается мартенсит от аустенита?

5. Что называется критической скоростью закалки и как её определить?

6. Чем отличается мартенсит закалки от мартенсита отпуска?

### Вариант 12

1. Какое превращение происходит в интервале  $M_n-M_k$ ? Написать его формулу и указать, чем оно отличается от превращения  $A \rightarrow P$  по характеру.

2. Найти критические точки сталей 25 и У10.

3. Какое превращение происходит при отпуске закаленной стали в интервале  $350-450^\circ C$ ?

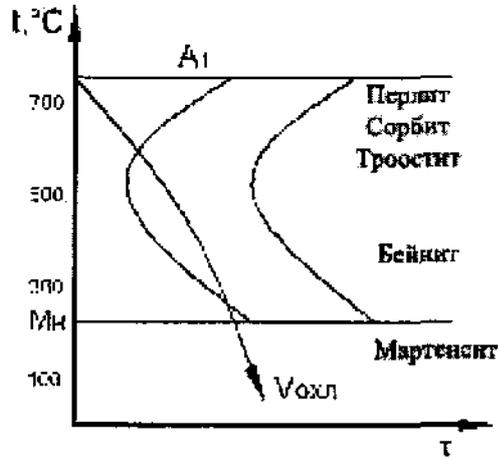
4. Что общего между  $\Phi$ ,  $A$ ,  $M$ ?

5. Какие из известных Вам структур имеют игольчатое строение?

6. Расположить  $A$ ,  $\Phi$ ,  $M$ ,  $\Pi$ ,  $T$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $P$  в порядке увеличения их прочности.

## Вариант 13

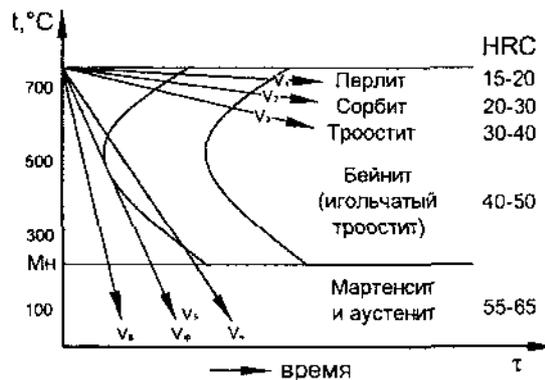
1. Почему превращение  $A \rightarrow M$  называется бездиффузионным и за счет чего оно осуществляется?
2. Из структур Ф, М, Б, Т, А, П выпишите имеющие зернистое строение.
3. Найдите критические точки сталей У12 и 20.
4. На какую структуру распадается аустенит при охлаждении со скоростью, указанной на рисунке?



5. Что общего между структурными составляющими П, С, Б, Т?
6. Как называется вид термообработки, при которой происходит превращение  $M \rightarrow \Phi + \Psi$ ?

## Вариант 14

1. Как называется вид термообработки, при которой происходит превращение  $A \rightarrow M$ ?
2. На какую структуру будет распадаться аустенит при охлаждении со скоростью  $V_5$  (см. рисунок)? Как эта скорость называется?



3. Что происходит с мартенситом при нагреве его до  $150 - 200^\circ C$ ? Как эта операция нагрева называется?
4. Расположите структуры Ф, М, Ц, Б, С, Т, А в порядке повышения их износостойкости.
5. Что общего между Ф, А и М?

6. Что Вы понимаете под степенью тетрагональности мартенсита?

### Вариант 15

1. Какое превращение протекает в стали У9 при температуре  $A_1$ ?

2. Какое влияние на свойства стали оказывает размер действительного аустенитного зерна? Что это за зерно?

3. Чем отличается мартенсит от:

- а) перлита;
- б) аустенита;
- в) феррита.

4. От чего зависит количество остаточного аустенита?

5. Почему мартенсит превращается в феррит при нагреве закаленной стали? При какой температуре заканчивается это превращение?

6. Чем отличается сорбит отпуска от троостита отпуска?

### Вариант 16

1. Какая скорость охлаждения нагретой до аустенитного состояния стали называется критической?

2. Какое основное превращение происходит при отпуске закаленной стали?

3. Расположите структуры: А, Ф, М, Ц, Т, Б, С, П - в порядке повышения их твердости.

4. Чем вызвано появление в закаленной стали остаточного аустенита?

5. Как в практических условиях определяется балл действительного аустенитного зерна?

6. Чем отличается мартенсит закалки от мартенсита отпуска?

## ТЕСТЫ

### Тест №1

1. Какова основная структура закаленной стали?

**Ответы:** 1) мартенсит; 2) аустенит; 3) троостит; 4) перлит и феррит.

2. Какая структура получится, если закаленную сталь нагреть до  $500 - 650^\circ \text{C}$ ?

**Ответы:** 1) мартенсит отпуска; 2) сорбит отпуска; 3) троостит отпуска; 4) бейнит.

3. Какая структура отпущенной стали обеспечивает наилучшее сочетание прочности и вязкости?

**Ответы:** 1) мартенсит; 2) сорбит; 3) троостит.

4. Какая формула соответствует IV превращению - нагреву закаленной стали?

**Ответы:** 1)  $A \rightarrow M$ ; 2)  $A \rightarrow П$ ; 3)  $M \rightarrow \Phi + Ц$ ; 4)  $A \rightarrow \Phi + Ц$ .

5. Какая сталь будет содержать после закалки наибольшее количество остаточного аустенита?

**Ответы:** 1) 45; 2) 60; 3) У8; 4) У12.

### Тест №2

1. Какая критическая точка вводится для заэвтектоидных сталей?

**Ответы:** 1)  $A_{C1}$ ; 2)  $A_{Cm}$ ; 3)  $A_{C3}$ .

2. Какие из структур относятся к твердым растворам?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) М; 4) Ц; 5) А; 6) С; 7) Т.

3. Как называется аустенитное зерно, влияющее на технологические свойства стали?

**Ответы:** 1) начальное; 2) наследственное; 3) действительное.

4. Какую кристаллическую решетку имеет мартенсит?

**Ответы:** 1) ОЦК; 2) ГЦК; 3) гексагональную; 4) тетрагональную; 5) ромбическую.

5. Сколько углерода будет содержаться в мартенсите при охлаждении стали 40 со скоростью выше критической?

**Ответы:** 1) 0,4 %; 2) <0,4 %; 3) >0,4 %.

### Тест №3

1. В чем состоит различие в фазовом составе перлита, сорбита, троостита?

**Ответы:** 1) состоят из разных фаз; 2) имеют различное количество феррита и цементита; 3) различия нет.

2. Что называется мартенситом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в железе; 2) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 3) пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе.

3. Содержится ли в структуре закаленной стали с 0,5 % С остаточный аустенит?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. На какие фазы разлагается мартенсит при отпуске?

**Ответы:** 1) на феррит; 2) на феррит и цементит; 3) цементит; 4) феррит и перлит.

5. Как можно устранить остаточный аустенит в структуре высокоуглеродистой стали?

**Ответы:** 1) увеличением скорости охлаждения; 2) обработкой холодом; 3) устранить невозможно.

### Тест №4

1. Какова основная структура закаленной стали?

**Ответы:** 1) М; 2) А; 3) Т; 4) П+Ф.

2. Какая структура получится, если закаленную сталь нагреть до 500 – 650 °С?

**Ответы:** 1) М отпуска; 2) С отпуска; 3) Т отпуска; 4) бейнит.

3. Какая структура отпущенной стали обеспечивает наилучшее сочетание прочности и вязкости?

**Ответы:** 1) М; 2) С; 3) Т.

4. Какая формула соответствует IV превращению – нагреву закаленной стали?

**Ответы:** 1)  $A \rightarrow M$ ; 2)  $A \rightarrow П$ ; 3)  $M \rightarrow Ф$ ; 4)  $A \rightarrow Ф + Ц$ ; 5)  $M \rightarrow Ф + Ц$ .

5. Какая сталь будет содержать после закалки наибольшее количество остаточного аустенита?

**Ответы:** 1) 45; 2) 60; 3) У8; 4) У12.

### Тест №5

1. От чего зависит количество остаточного аустенита в стали?

**Ответы:** 1) от температуры нагрева; 2) скорости охлаждения; 3) содержания углерода.

2. Что происходит в стали при нагреве до точки  $A_{C1}$ ?

**Ответы:** 1)  $A \rightarrow Ф$ ; 2)  $П \rightarrow A$ ; 3)  $A \rightarrow Ц$ ; 4)  $Ф \rightarrow A$ .

3. Какие из структур относятся к твердым растворам?

**Ответы:** 1) М; 2) Ц; 3) П; 4) Б; 5) А; 6) Ф; 7) С.

4. В какую фазу превращается мартенсит при отпуске закаленной стали?

**Ответы:** 1) А; 2) Ф; 3) Ц; 4) П.

5. Что представляют собой структуры, образующиеся в области перлитного превращения при изотермическом распаде аустенита?

**Ответы:** 1) химическое соединение; 2) механические смеси; 3) твердые растворы.

### Тест №6

1. Какое превращение происходит в точке  $A_{C3}$ ?

**Ответы:** 1)  $П \rightarrow A$ ; 2)  $A \rightarrow П$ ; 3)  $Ф \rightarrow A$ ; 4)  $A \rightarrow Ф$ ; 5)  $A \rightarrow М$ .

2. Какая из структур не является твердым раствором?

**Ответы:** 1) Ф; 2) М; 3) С; 4) А.

3. Какая из структур имеет наиболее высокую твердость?

**Ответы:** 1) С; 2) П; 3) Б; 4) Т.

4. Какую структуру будет иметь сталь У8 после нагрева до аустенитного состояния и охлаждения со скоростью выше критической?

**Ответы:** 1) П; 2) Т; 3) А; 4) М; 5)  $Ф + А$ ; 6)  $М + А$ .

5. Что собой представляет троостит?

**Ответы:** 1) твердый раствор; 2) механическую смесь; 3) химическое соединение.

### Тест №7

1. Какая структура получится в стаали 40, нагретой выше  $A_{C3}$ , при охлаждении со скоростью выше критической?

**Ответы:** 1)  $Ф + П$ ; 2)  $Ф + А$ ; 3) М; 4)  $М + А$ .

2. Какая структура получится в стали марки 35 после неполной закалки (из температурной области между  $A_{C1}$  и  $A_{C3}$ )?

**Ответы:** 1) Ф+М; 2) А+М; 3) М+Т; 4) Ф+П.

3. Какой кристаллической решеткой обладает мартенсит?

**Ответы:** 1) ОЦК; 2) ГЦК; 3) гексагональная; 4) ромбическая.

4. При какой скорости охлаждения в структуре стали У8 получится мартенсит и троостит?

**Ответы:** 1)  $V_{\text{охл}} < V_{\text{кр}}$ ; 2)  $V_{\text{охл}} = V_{\text{кр}}$ ; 3)  $V_{\text{охл}} > V_{\text{кр}}$ .

5. Какая структура получится в стали марки 40 после закалки и отпуска?

**Ответы:** 1) М отпуска; 2) Т отпуска; 3) С отпуска.

### Тест №8

1. Чем отличаются П, С, Т друг от друга?

**Ответы:** 1) типом структуры; 2) дисперсностью структуры; 3) кристаллической решеткой.

2. Какая разновидность аустенитного зерна оказывает влияние на механические свойства стали?

**Ответы:** 1) начального; 2) действительного; 3) наследственного.

3. От чего зависит твердость мартенсита?

**Ответы:** 1) от скорости охлаждения; 2) от содержания в нем углерода; 3) от температуры нагрева стали.

4. В какой стали содержание  $A_{\text{ост}}$  будет наименьшим?

**Ответы:** 1) У8; 2) У12; 3) 65; 4) 40.

5. Какое строение имеет мартенсит?

**Ответы:** 1) пластинчатое; 2) игольчатое; 3) зернистое.

### Тест №9

1. Чем будет отличаться структура сталей У7, У8, У9, У10 после охлаждения со скоростью  $V_{\text{охл}} > V_{\text{кр}}$ ?

**Ответы:** 1) твердостью мартенсита; 2) количеством остаточного аустенита; 3) размером зерна.

2. От чего зависит температура точек  $M_H$  и  $M_K$ ?

**Ответы:** 1) содержания углерода; 2) температуры нагрева; 3) скорости охлаждения.

3. Какие из структур имеют пластинчатое строение?

**Ответы:** 1) М; 2) Ф; 3) П; 4) Б; 5) С; 6) Т.

4. К какому типу структур относится мартенсит?

**Ответы:** 1) твердым растворам; 2) механическим смесям; 3) химическим соединениям.

5. Какая структура образуется в области промежуточного превращения на диаграмме изотермического распада аустенита?

**Ответы:** 1) П; 2) С; 3) Т; 4) Б; 5) М.

### Тест №10

1. Какое превращение протекает при нагреве стали до температуры, соответствующей  $A_{C1}$ ?

**Ответы:** 1)  $P \rightarrow A$ ; 2)  $A \rightarrow P$ ; 3)  $P \rightarrow (\Phi + Ц)$ ; 4)  $A \rightarrow (\Phi + Ц)$ .

2. Какие структуры стали относятся к равновесным?

**Ответы:** 1)  $\Phi$ ; 2)  $A$ ; 3)  $M$ ; 4)  $P$ ; 5)  $Ц$ .

3. Какие фазы участвуют в мартенситном превращении?

**Ответы:** 1) перлит; 2) феррит; 3) аустенит; 4) мартенсит; 5) цементит.

4. Какая структура образуется при изотермическом распаде аустенита в области промежуточного превращения?

**Ответы:** 1)  $C$ ; 2)  $M$ ; 3)  $B$ ; 4)  $P$ .

5. При нагреве выше какой критической точки доэвтектоидная сталь будет иметь структуру одного аустенита?

**Ответы:** 1)  $A_{C1}$ ; 2)  $A_{C2}$ ; 3)  $A_{C3}$ ; 4)  $A_{Cm}$ .

### Тест №11

1. При каком способе охлаждения нагретой до аустенитного состояния стали в ней образуется наиболее равновесная структура?

**Ответы:** 1) вместе с печью; 2) на воздухе; 3) в воде; 4) в масле.

2. Какое превращение протекает в интервале  $A_{C1} - A_{C3}$  при нагреве?

**Ответы:** 1)  $P \rightarrow A$ ; 2)  $A \rightarrow P$ ; 3)  $\Phi \rightarrow A$ ; 4)  $A \rightarrow \Phi$ ; 5)  $M \rightarrow A$ .

3. На какие структуры будет распадаться аустенит при изотермической выдержке в районе температур  $A_1 - 550$  °C?

**Ответы:** 1)  $P$ ; 2)  $B$ ; 3)  $C$ ; 4)  $T$ ; 5)  $M$ .

4. Чем отличается мартенсит от феррита?

**Ответы:** 1) кристаллической решеткой; 2) содержанием углерода; 3) механическими свойствами.

5. Какая сталь будет содержать наибольшее количество остаточного аустенита после закалки?

**Ответы:** 1) У7; 2) У13; 3) 85; 4) 65Г.

### Тест №12

1. Какая структура образуется при охлаждении стали 50 со скоростью выше критической?

**Ответы:** 1)  $M$ ; 2)  $M + T$ ; 3)  $M + A_{ост}$ ; 4)  $M + \Phi$ .

2. Чем отличается мартенсит от аустенита?

**Ответы:** 1) кристаллической решеткой; 2) содержанием углерода; 3) типом фазы.

3. Какие из структур имеют игольчатое строение?

**Ответы:** 1)  $A$ ; 2)  $M$ ; 3)  $P$ ; 4)  $B$ ; 5)  $C$ .

4. Начиная с какого содержания углерода в закаленной стали появляется остаточный аустенит?

**Ответы:** 1) 0,6 %; 2) 0,8 %; 3) 1,0 %.

5. Что происходит в стали при нагреве ее в интервале  $A_1 - A_m$ ?

**Ответы:** 1) полиморфное превращение; 2) эвтектоидное превращение; 3) растворение цементита в аустените.

### Тест №13

1. Какие стали относятся к наследственно-крупнозернистым?

**Ответы:** 1) раскисленные Mn, Si, Al; 2) раскисленные только Mn; 3) содержащие V, Ti, Zr.

2. Носит ли превращение  $A \rightarrow (\Phi + \text{Ц})$  диффузионный характер?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Какие структуры имеют зернистое строение?

**Ответы:** 1)  $\Phi$ ; 2) A; 3) M; 4) Ц; 5) Б.

4. К какому типу структур относятся перлит, сорбит, троостит, бейнит?

**Ответы:** 1) твердые растворы; 2) механические смеси.

5. Что происходит при нагреве закаленной стали 40 до 550 °С?

**Ответы:** 1) выделение углерода из мартенсита; 2) распад мартенсита на феррито-цементитную смесь пластинчатого строения; 3) распад мартенсита на феррито-цементитную смесь зернистого строения.

### Тест №14

1. Какой показатель определяет выбор охлаждающих сред при термической обработке стали?

**Ответы:** 1) температура нагрева; 2) критическая скорость закалки; 3) химический состав.

2. Как изменяется степень тетрагональности мартенсита при отпуске закаленной стали?

**Ответы:** 1) увеличивается; 2) уменьшается.

3. Что происходит в стали при охлаждении ее в интервале  $A_{m1} - A_{r1}$ ?

**Ответы:** 1) полиморфное превращение; 2) выделение цементита из аустенита; 3) эвтектоидное превращение.

4. Что называется трооститом отпуска?

**Ответы:** 1) феррито-цементитная смесь пластинчатого строения; 2) феррито-цементитная смесь зернистого строения; 3) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе.

5. В какой стали мартенситное превращение протекает до конца?

**Ответы:** 1) У12; 2) У8; 3) 65Г; 4) 45.

### Тест №15

1. Чем отличается перлит от сорбита и троостита?

**Ответы:** 1) перлит – механическая смесь, а сорбит и троостит – твердые растворы; 2) дисперсностью строения; 3) содержанием углерода.

2. В какую фазу переходит остаточный аустенит при отпуске?

**Ответы:** 1) М отпуса; 2) Ф; 3) Т отпуса; 4) остается без изменения.

3. В какой среде нужно охлаждать нагретую до аустенитного состояния углеродистую сталь, чтобы получить структуру мартенсита?

**Ответы:** 1) воздухе; 2) воде; 3) вместе с печью.

4. Какая структура получится при распаде аустенита в процессе изотермической выдержки при 400 °С?

**Ответы:** 1) С; 2) Т; 3) Б; 4) М.

5. Какая из структур имеет наиболее высокую твердость?

**Ответы:** 1) М; 2) А; 3) П; 4) Ц; 5) Б.

### Тест №16

1. Какие структуры получаются в результате изотермического распада аустенита?

**Ответы:** 1) Ф; 2) П; 3) Ц; 4) С; 5) Б.

2. В какой критической точке заканчивается растворение цементита в аустените при нагреве?

**Ответы:** 1)  $A_1$ ; 2)  $A_3$ ; 3)  $A_m$ .

3. Чем определяется содержание углерода в мартенсите?

**Ответы:** 1) содержанием углерода в перлите; 2) содержанием углерода в аустените; 3) содержанием углерода в стали.

4. Какое превращение носит бездиффузионный характер?

**Ответы:** 1) эвтектоидное; 2) мартенситное.

5. Какова температура мартенситного превращения стали У8?

**Ответы:** 1) 250 °С; 2) 727 °С; 3) 911 °С.

## РАЗДЕЛ 8

# ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

### Цель работы:

1. Исследовать влияние основных видов термической обработки на структуру углеродистой стали.
2. Установить взаимосвязь между структурой и свойствами термически обработанной стали.
3. Решить задачу.

### 8.1 Основные сведения

#### Виды термической обработки стали (ТО)

На практике используют следующие виды термической обработки стали: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск. Отжиг и нормализация относятся к предварительной термической обработке (ПТО), а закалка и отпуск – к окончательной.

#### Отжиг стали

Отжиг предназначен для улучшения обрабатываемости резанием при получении из заготовки требуемой детали; измельчения зерна после литья,ковки, штамповки, сварки, пластической деформации; снижения уровня остаточных напряжений; подготовки структуры для последующей закалки. При отжиге сталь нагревают до температуры выше критической, выдерживают при этой температуре и медленно охлаждают вместе с печью. В результате образуется равновесная структура, соответствующая диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C.

Отжиг обеспечивает наиболее низкие твердость и прочность и наиболее высокую пластичность по сравнению с другими термическими операциями.

Применяют следующие виды отжига (рисунок 8.1):

**Полный отжиг** применяется для доэвтектоидных сталей после литья,ковки, штамповки и пр. Цель отжига – измельчение зерна и подготовка структуры для последующей закалки; улучшение обрабатываемости резанием; устранение обрабатываемости резанием; устранение внутренних напряжений. Температура нагрева стали при полном отжиге  $T_{н.о} = A_{C3} + (30 \div 50) \text{ } ^\circ\text{C}$ ; структура стали – Ф+П.

**Неполный отжиг** рекомендуется для заэвтектоидных сталей, которые в исходном состоянии имеют структуру пластинчатого перлита и цементита, расположенного в виде сетки по границам перлитного зерна. Сталь с такой структурой плохо обрабатывается резанием. С целью улучшения обрабатываемости резанием сталь:

1) нагревают выше критической точки  $A_{Cm}$  на 30 – 50 °С и охлаждают на воздухе (нормализуют). После такой операции цементитная сетка растворяется и сталь имеет структуру пластинчатого перлита;

2) производят неполный отжиг при температуре нагрева  $T_{н.о} = A_{C1} + 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Отжиг обеспечивает формирование структуры зернистого перлита (Ф+Ц) с округлыми зёрнами цементита, что улучшает обрабатываемость резанием.

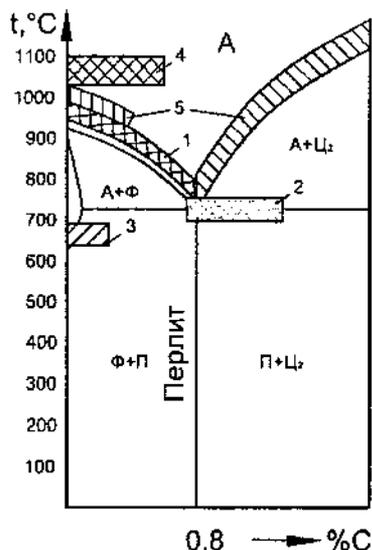


Рисунок 8.1 – Виды отжига

**Диффузионный отжиг (гомогенизация)** – применяется для стальных отливок, имеющих дефект в виде химической неоднородности (ликвации) в пределах зерен. Сталь нагревают до температуры  $\sim 1100$  °С и выдерживают длительное время. За счет протекания диффузионных процессов внутризеренная ликвация ослабляется или устраняется.

**Рекристаллизационному отжигу** подвергается холоднодеформированный металл. Цель отжига – снять наклеп и вернуть металлу пластические свойства. В процессе отжига деформированные зерна заменяются новыми, мелкими, равноосными. Для сталей температура рекристаллизационного отжига составляет  $650 - 700$  °С.

## Нормализация

Нормализация состоит из нагрева до  $T_H = A_{C3} + (50 \div 70)$  °С, выдержки и последующего охлаждения на воздухе. Цель нормализации такая же, как и при полном отжиге, но здесь главным требованием является измельчение зерна. Нормализованная сталь имеет более мелкое феррито-перлитное зерно, чем отожженная, поэтому пластичность нормализованной стали несколько меньше, чем отожженной, а твердость и прочность – более высокие.

Обычно для улучшения обрабатываемости резанием пластичные низкоуглеродистые стали нормализуют; стали, содержащие более 0,5 % С, – отжигают. Среднеуглеродистые стали (0,3-0,5 % С) можно и отжигать, и нормализовывать; высокоуглеродистые заэвтектоидные стали нормализуют только с целью растворения цементитной сетки.

Отжиг и нормализация относятся к предварительной термообработке (ПТО), т. к. они применяются до изготовления детали на металлорежущем станке.

## Закалка

Закалка стали преследует цель – получение наивысших значений твердости, прочности, износостойкости. Для достижения этой цели сталь после нагрева и выдержки необходимо охлаждать со скоростью выше критической, чтобы образовалась неравновесная, твердая (НВ 600-700) и прочная структура мартенсита.

Доэвтектоидные стали подвергают полной закалке (рисунок 8.2) с температуры:  $T_H = A_{C3} + (30 \div 50) \text{ } ^\circ\text{C}$ . При охлаждении протекает мартенситное превращение:  $A \rightarrow M$ . При этом стали, содержащие до 0,6 % С, имеют структуру одного мартенсита; в сталях, содержащих 0,6-0,8 % С, наряду с мартенситом присутствует остаточный аустенит.

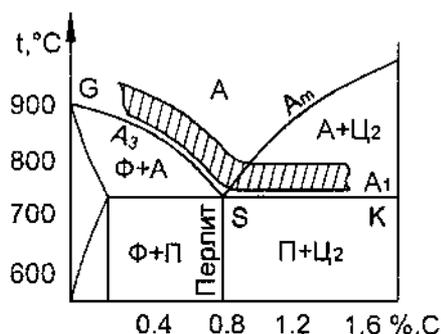


Рисунок 8.2 – Диаграмма для выбора температуры нагрева при закалке углеродистой стали

Если температура нагрева для закалки находится между критическими точками  $A_{C1}$ - $A_{C3}$ , что соответствует области диаграммы со структурой  $A+\Phi$ , то при охлаждении аустенит превращается в мартенсит, а феррит будет присутствовать в закаленной стали, снижая ее твердость. Такая закалка называется **неполной** и является браком по недогреву.

Если сталь нагрета для закалки значительно выше  $A_{C3}$ , то зерно аустенита при этом укрупняется и при охлаждении из крупнозернистого аустенита образуется крупноигльчатый мартенсит.

Такая сталь будет иметь пониженные механические свойства, особенно низкой будет ударная вязкость.

Заэвтектоидные стали подвергаются только неполной закалке (рисунок 8.2) с температуры  $T_H = A_{C1} + (30 \div 70) \text{ } ^\circ\text{C}$ , обеспечивающей получение структуры мартенсита, цементита и остаточного аустенита. При этом доля остаточного аустенита будет ниже по сравнению с полной закалкой, а цементит обеспечит стали более высокую твердость.

На результаты закалки большое влияние оказывает охлаждающая среда. Обычно углеродистые стали закалывают в воде, а легированные – в масле, так как у легированных сталей критическая скорость закалки меньше. Однако, если охлаждающая среда не обеспечивает скорости охлаждения, превышающей критическую, в структуре стали наряду с мартенситом образуется троостит, имеющий более низкую твердость, чем мартенсит. В этом случае имеет место брак по недостаточной скорости охлаждения.

## Отпуск

После закалки сталь подвергается нагреву ниже  $A_{C1}$ , то есть отпуску. Структура закаленной стали, состоящая из мартенсита и остаточного аустенита, – неравновесна, так как мартенсит – это твердый раствор, пересыщенный углеродом, а аустенит устойчив выше  $A_{C1}$ . Поэтому обе структуры при отпуске испытывают распад.

При нагреве до 150-250 °С из мартенсита выделяется углерод и он превращается в мартенсит отпуска. При температурах отпуска выше 250 °С мартенсит переходит в феррит, так как углерод из него полностью выделяется и обособливается в виде цементита, т. е. образуется феррито-цементитная смесь. При 350-450 °С эта смесь имеет пластинчатое строение, при 500-650 °С – зернистое. Остаточный аустенит при отпуске превращается в мартенсит отпуска. Параллельно с изменением структуры меняются и свойства стали (рисунок 8.3).

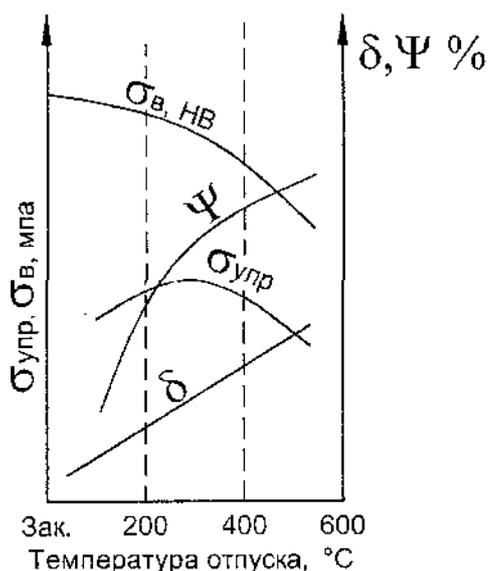


Рисунок 8.3 – Изменение механических свойств закаленной стали в зависимости от температуры отпуска

В связи с этим различают три вида отпуска:

1. Низкий отпуск. Его проводят при  $T_{\text{H}}=150-200$  °С, образуется структура мартенсита отпуска. При этом твердость заметно не снижается, прочность снижается незначительно, пластичность возрастает, но также незначительно.

Низкий отпуск предназначен для инструментов, применяется также после закалки стали токами высокой частоты и закалки цементованных изделий.

2. Средний отпуск проводят при  $T_{\text{H}}=350-450$  °С. Формируется структура пластинчатого троостита отпуска, обладающего упругими свойствами. Поэтому средний отпуск предназначен для пружин, рессор и штампового инструмента, работающего в условиях динамического нагружения.

3. Высокий отпуск проводят при  $T_{\text{H}}=500-650$  °С. Он формирует структуру зернистого сорбита и позволяет получить оптимальное сочетание прочностных характеристик конструкционных сталей и пластических свойств. Приме-

няют высокий отпуск для деталей машин типа шестерен, осей, валов, шатунов и т.д.

Закалка стали с последующим высоким отпуском называется термическим улучшением, а стали, содержащие  $0,3 \div 0,5 \% C$ , подвергаемые улучшению, улучшаемыми.

Схема зарисовки микроструктуры углеродистой стали после термообработки приведена на рисунке 8.4.

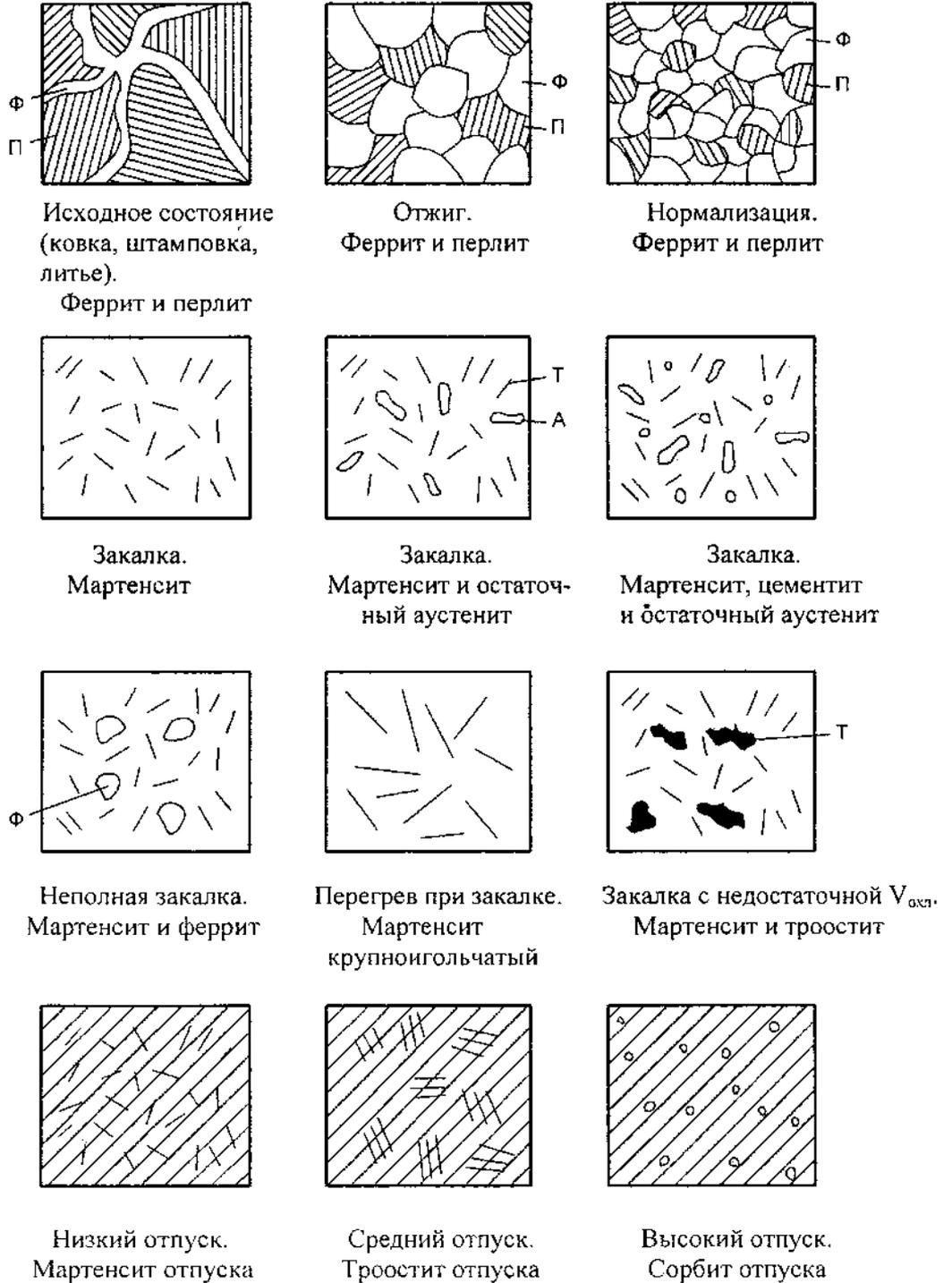


Рисунок 8.4 – Схематическое изображение микроструктуры термически обработанной углеродистой стали

## Задачи

### Вариант №1

1. Какому виду предварительной термической обработки следует подвергнуть изделия:
  - а) пружину из стали 65;
  - б) деталь из стали 10кп, полученную глубокой вытяжкой;
  - в) заготовку сверла из стали У9?
2. Какую структуру будут иметь стали: 45; 65; У8; У10 после закалки?
3. Какому отпуску следует подвергнуть после закалки сталь 70? Какая структура и свойства будут при этом получены?

### Вариант №2

1. Необходимо улучшить обрабатываемость резанием сталей 10кп, 40, 60, У12. Какому виду предварительной термообработки их нужно подвергнуть и почему?
2. Какая закалка называется неполной? Почему ее считают браком?
3. Классифицировать стали 25, 35, 55, У10 по назначению и рекомендовать для них режим отпуска. Какая структура и свойства будут получены?

### Вариант №3

1. Рессору из стали 55Г нагрели для закалки: а) на 740 °С; б) на 810 °С. В каком случае рессора имеет более высокие эксплуатационные свойства и почему?
2. Почему для получения одинаковой структуры зернистого перлита кованую сталь У8 подвергают только отжигу, а сталь У11 – нормализации с последующим отжигом?
3. Изобразите графически, как будут меняться механические свойства закаленной стали с повышением температуры отпуска.

### Вариант №4

1. Какую структуру после отжига будут иметь стали: 35, 80, У12?
2. Шестерню из стали 40 нагрели для закалки: а) на 850 °С; б) на 750 °С. В каком случае шестерня будет иметь более высокие эксплуатационные свойства и почему?
3. Чем отличается мартенсит отпуска от мартенсита закалки?

### Вариант №5

1. Какую структуру после отжига будут иметь стали: 20, 45, У8, У11?

2. Детали из стали 45 после закалки имели пониженную твердость. Укажите возможные причины этого явления и способ устранения брака.

3. Укажите температуру отпуска, структуру и свойства стали У11 после закалки.

### Вариант № 6

1. Объясните, какое различие в структуре и свойствах будет наблюдаться в стали 65 после нагрева до 800 °С и охлаждения: а) вместе с печью; б) на воздухе; в) в воде; г) в масле.

2. Сталь марки У12 в состоянии поставки имела плохую обрабатываемость резанием. Указать причину этого явления и способ улучшения обрабатываемости. Схематически зарисовать структуру этой стали в состоянии поставки и после рекомендуемой Вами термообработки.

3. Укажите причину появления остаточного аустенита после закалки стали и его влияние на свойства.

### Вариант №7

1. Какому виду предварительной термической обработки следует подвергнуть изделия: а) поковку из стали 45; б) заготовку из стали У8?

2. Шестерню из стали 40, в структуре которой наряду с мартенситом после закалки был обнаружен и троостит, забраковали. Укажите причину брака и способ его устранения.

3. Какие стали называются улучшаемыми? Какому виду предварительной термообработки их следует подвергнуть для улучшения обрабатываемости резанием? Почему?

### Вариант № 8

1. Сверла, изготовленные из стали У11, нагрели для закалки: а) на 780 °С – первое сверло; б) на 850 °С – второе сверло. Какое сверло покажет более высокие эксплуатационные свойства и почему? Какую структуру будет иметь каждое сверло после закалки? Какой нужно применить отпуск?

2. Какие из структур: перлит, цементит, сорбит, троостит, феррит, мартенсит, аустенит - могут встретиться в закаленной стали? Пояснить, при каких условиях.

3. Почему мартенсит не является равновесной структурой?

### Вариант №9

1. Назначить режим отпуска сталей 25, У11. Какую структуру и свойства будут иметь эти стали?

2. При каких условиях в структуре закаленной стали образуется крупноигольчатый мартенсит? Какое влияние он оказывает на свойства стали?

3. Какова микроструктура стали У9 после закалки? Как будут влиять структурные составляющие на свойства стали?

### Вариант №10

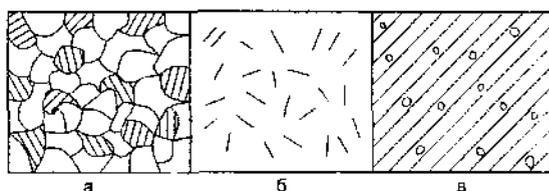
1. Объясните, какое различие в структуре и свойствах будет наблюдаться в стали 45 после нагрева до температуры 860 °С и охлаждения: а) вместе с печью; б) на воздухе; в) в воде; г) в масле.

2. Какие недостатки имеет инструмент, изготовленный из стали с содержанием углерода 1,2 % после закалки от температуры 900 °С?

3. От чего зависит размер мартенситных игл?

### Вариант №11

1. На рисунке приведена микроструктура стали 40 после различной термообработки. Указать название структуры, при каких условиях она была получена и какими свойствами будет обладать сталь в соответствии с рисунком.



2. Объяснить, почему в структуре закаленной стали содержится остаточный аустенит. Расположите стали У10,65, У8 в порядке увеличения в них количества остаточного аустенита.

3. В чем заключается сущность термообработки, именуемой улучшением? Приведите марки сталей, подвергаемых такой обработке.

### Вариант №12

1. Какие стали: У8, 08кп, Вст3, 65Г, 40 - для улучшения обрабатываемости резанием следует подвергнуть отжигу, а какие – нормализации?

2. Схематически изобразите изменение микроструктуры стали 40Х от поверхности к сердцевине после закалки этой стали с нагревом ТВЧ.

3. Классифицируйте по назначению стали: 35, 70, У10. Укажите температуры закалки, отпуска, структуру и свойства после каждой операции.

### Вариант №13

1. Инструмент из высокоуглеродистой стали нагрели для закалки в обычной электропечи при температуре 760 °С и охладили в воде. После закалки оказалось, что твердость инструмента ниже допустимой нормы. Чем это можно объяснить?

2. Почему зерно при нормализации получается более мелким, чем при отжиге? Как это отражается на свойствах стали?

3. Как улучшить обрабатываемость резанием стали У11?

### Вариант №14

1. Структура стали с 0,45 % С после закалки состояла из мартенсита, феррита и троостита. При какой температуре была нагрета сталь и в какой среде проведено охлаждение?
2. Чем отличается структура сорбита, полученного при изотермическом распаде аустенита, от сорбита отпуска?
3. В каком случае заэвтектоидные стали подвергают нормализации?

### Вариант №15

1. Чем отличается структура стали У8 от структуры стали У10 после закалки? С чем это связано?
2. Как изменяются твердость, прочность, упругость и пластичность стали с повышением температуры отпуска? Изобразить графически.
3. Какому отжигу подвергаются стали 08кп – 20кп после холодной пластической деформации? Каково назначение этого отпуска?

### Вариант №16

1. Сколько углерода содержится в мартенсите стали 35 после закалки? Поясните.
2. Приведите график изменения свойств закаленной стали с повышением температуры отпуска. Объясните, чем обусловлено разделение отпуска на низкий, средний, высокий.
3. Почему отпуск и нормализация стали относятся к предварительной термообработке?

### Вариант №17

1. Почему изделия, полученные ковкой или штамповкой, нельзя сразу подвергать закалке?
2. О чем говорит присутствие троостита в закаленной стали?
3. Почему стали, содержащие 0,3-0,5 % С, называют улучшаемыми?

### Вариант №18

1. Можно ли инструменты из сталей У9-У13 использовать в закаленном состоянии, не подвергая их отпуска? Почему?
2. Для чего применяются диффузионный и рекристаллизационный отжиг?
3. Какова причина появления в структуре закаленной стали остаточного аустенита? Какое влияние он оказывает на свойства стали?

### Вариант №19

1. Почему рессорно-пружинные стали подвергают среднему отпуску?
2. Что происходит с мартенситом закаленной стали при нагреве ее до 550-600 °С?
3. Почему стали обязательно нужно подвергать отжигу или нормализации?

### Вариант №20

1. Начиная с какой температуры отпуска происходит распад мартенсита на феррито-цементитную смесь? Как называются стали, подвергаемые такому отпуску?
2. Почему нормализованная сталь имеет более мелкое зерно, чем отожженная? Как это отражается на свойствах стали? Какие из сталей 10, 30, 65, У10 следует отжечь, а какие нормализовать?
3. Что произойдет, если сталь У12 закалить не с температуры 780 °С, а с температуры 920 °С?

### Вариант №21

1. Почему заэвтектоидные стали нагревают для закалки выше точки  $A_{c1}$ , а не  $A_{cm}$ ?
2. Почему стали, содержащие 0,3-0,5 % С, подвергают высокому отпуску?
3. Чем объясняется присутствие в некоторых случаях феррита в структуре доэвтектоидной закаленной стали?

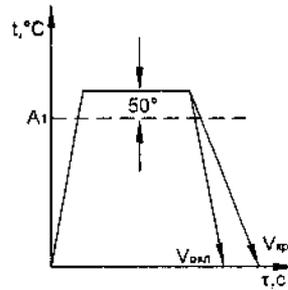
## ТЕСТЫ

### Тест №1

1. Какой операции нужно подвергнуть сталь 45 для получения высшей твердости?

**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) объемной закалке; 4) поверхностной закалке ТВЧ; 5) цементации; 6) улучшению.

2. Какой термической обработке стали У8 может соответствовать график?



**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке.

3. Каким способом можно улучшить обрабатываемость стали 15Г?

**Ответы:** 1) отжигом; 2) нормализацией; 3) Закалкой; 4) отпуском.

4. Какую структуру будет иметь сталь У7 после нормальной закалки?

**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) мартенсит; 3) мартенсит и феррит; 4) мартенсит и аустенит; 5) мартенсит и цементит.

5. Какому отпуску нужно подвергнуть рессору из стали 70СГ?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

### Тест № 2

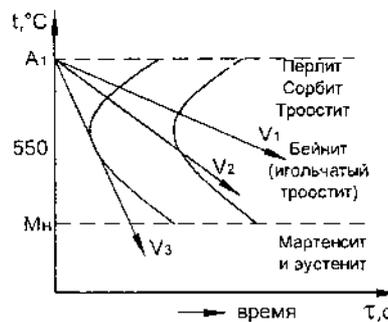
1. Какую структуру будет иметь сталь 20 после нагрева до 920 °С и охлаждения с печью?

**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) мартенсит; 3) сорбит; 4) феррит и цементит.

2. После какого отпуска сталь приобретает максимальную упругость?

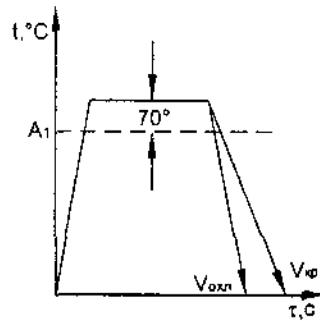
**Ответы:** 1) низкого; 2) среднего; 3) высокого.

3. Какой из режимов охлаждения обеспечивает максимальную твердость?



**Ответы:** 1) V<sub>1</sub>; 2) V<sub>2</sub>; 3) V<sub>3</sub>.

4. Какую микроструктуру имеет сталь У10, закаленная по режиму:



**Ответы:** 1) мартенсит и остаточный аустенит; 2) мартенсит, цементит и остаточный аустенит; 3) мартенсит и троостит; 4) мартенсит, троостит и остаточный аустенит.

5. Для какой стали отжиг можно заменить более дешевой обработкой – нормализацией?

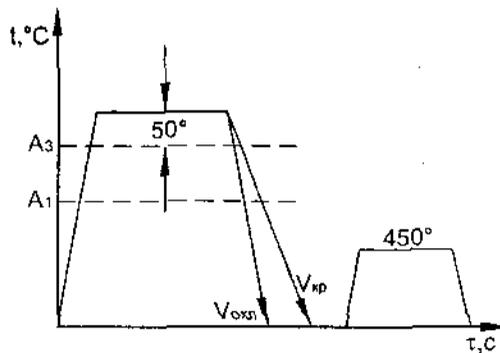
**Ответы:** 1) 45; 2) 65; 3) 85; 4) У12А.

### Тест №3

1. Какой вид ПТО применяется для снятия наклепа?

**Ответы:** 1) нормализация; 2) диффузионный отжиг; 3) неполный отжиг; 4) рекристаллизационный отжиг.

2. Какую структуру имеет сталь 60 после обработки по режиму?



**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) феррит и сорбит; 3) мартенсит) 4) мартенсит и остаточный аустенит; 5) троостит.

3. Можно ли значительно повысить твердость стали, закалив ее от температуры  $650^\circ\text{C}$ ?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какую из сталей нельзя упрочнить закалкой?

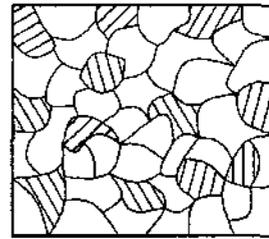
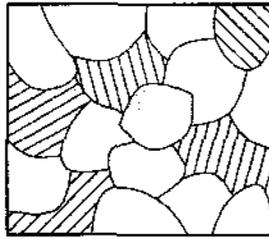
**Ответы:** 1) 10; 2) 30; 3) 60; 4) У10.

5. Какому отпуску нужно подвергнуть сталь с 1 % С для получения наилучших эксплуатационных свойств?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

## Тест № 4

1. Какой термической операции была подвергнута поковка из стали 20 для исправления крупнозернистости?



а)

б)

а) – до термообработки; б) – после термообработки.

**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке; 4) отпуску.

2. Какая термическая операция применяется для разложения остаточного аустенита в стали?

**Ответы:** 1) отжиг; 2) нормализация; 3) закалка; 4) отпуск.

3. После какой термообработки конструкционная сталь 40X имеет структуру М+Ф?

**Ответы:** 1) рекристаллизационного отжига; 2) полной закалки; 3) неполной закалки; 4) улучшения; 5) нормализации.

4. Какому отпуску нужно подвергнуть шатун из стали 45 для обеспечения лучших эксплуатационных свойств?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

5. Какую структуру будет иметь сталь У11 после нормальной закалки?

**Ответы:** 1) М; 2) М+Ц<sub>2</sub>; 3) М+А<sub>ост</sub>; 4) М+Ц+А<sub>ост</sub>; 5) П+Ц<sub>2</sub>.

## Тест №5

1. Какой термической обработке нужно подвергнуть заготовку из стали У9 для улучшения обрабатываемости?

**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке; 4) отпуску.

2. Какое нарушение режима было допущено в процессе закалки стали 50Г, если в ее структуре были обнаружены мартенсит и троостит?

**Ответы:** 1) недогрев; 2) перегрев; 3) недостаточно высокая скорость охлаждения; 4) обезуглероживание.

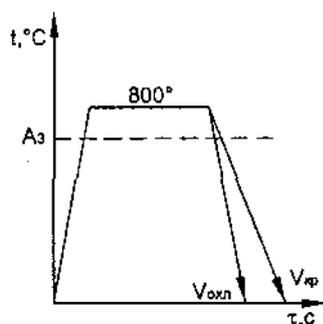
3. Какая из перечисленных структур: М, А, Ф, П, С, Т - представляет пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит; 5) мартенсит; 6) аустенит.

4. Какую структуру имеет сталь 45 после высокого отпуска?

**Ответы:** 1) мартенсит отпуска; 2) сорбит отпуска; 3) троостит отпуска.

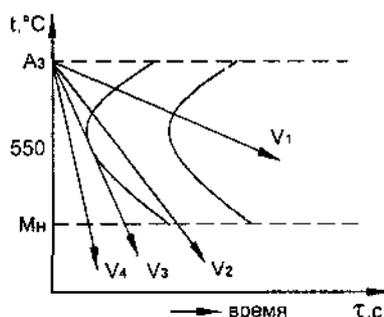
5. Какой термической операции для стали 45 может соответствовать график?



Ответы: 1) закалке; 2) отжигу; 3) нормализации; 4) отпуску.

### Тест №6

1. Какая скорость охлаждения является критической?

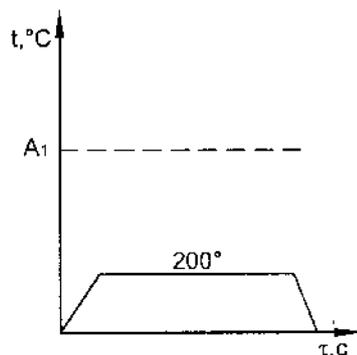


Ответы: 1)  $V_1$ ; 2)  $V_2$ ; 3)  $V_3$ ; 4)  $V_4$ .

2. Какому отпуску нужно подвергнуть шестерню из стали 40X?

Ответы: 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

3. Какой термической обработке стали У7 может соответствовать график?

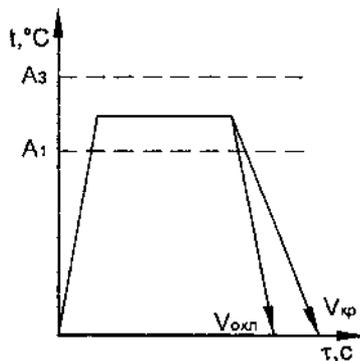


Ответы: 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке; 4) отпуску.

4. После закалки от какой температуры сталь 60 будет иметь лучшие эксплуатационные свойства?

Ответы: 1) 750 °C; 2) 800 °C; 3) 850 °C.

5. Какая структура получится в стали 40X после закалки по режиму?

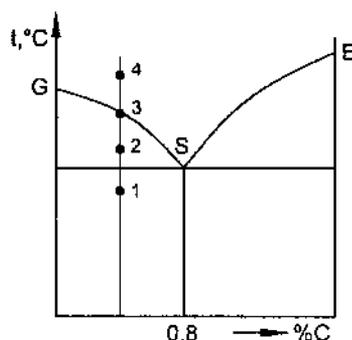


**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) сорбит; 3) мартенсит и остаточный аустенит; 4) мартенсит; 5) мартенсит и феррит.

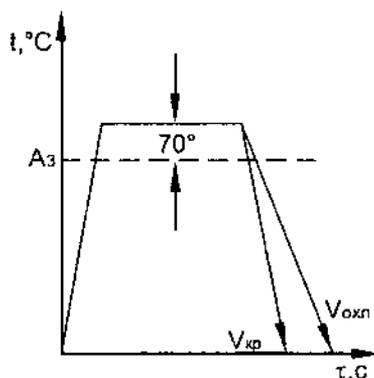
### Тест №7

1. Нагрев до какой точки соответствует нормальной температуре закалки стали 40?

**Ответы:** 1) точка 1; 2) точка 2; 3) точка 3; 4) точка 4.

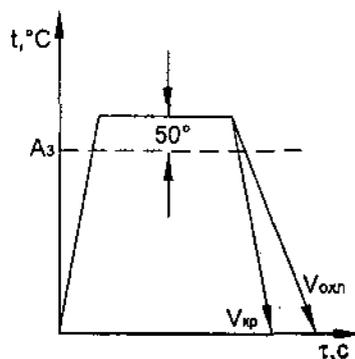


2. График какого вида термической обработки изображен на рисунке?



**Ответы:** 1) закалка; 2) отжиг; 3) нормализация; 4) отпуск.

3. Какую структуру будет иметь сталь 40 после закалки по указанному режиму?



**Ответы:** 1) мартенсит; 2) мартенсит и феррит; 3) мартенсит и троостит.

4. Какую структуру будет иметь сталь 65 после среднего отпуска?

**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) мартенсит отпуска; 3) троостит отпуска;

4) сорбит отпуска.

5. Какую структуру будет иметь сталь У10 при нагреве до оптимальной температуры закалки?

**Ответы:** 1) аустенит; 2) аустенит и цементит; 3) аустенит и феррит; 4) перлит и цементит; 5) феррит и перлит.

### Тест №8

1. Какая из ферритоцементитных смесей: перлит, сорбит или троостит - будет иметь более высокую твердость?

**Ответы:** 1) перлит; 2) сорбит; 3) троостит.

2. Какую структуру будет иметь сталь 45, закаленная в масле с температуры 840°C?

**Ответы:** 1) мартенсит; 2) мартенсит и феррит; 3) аустенит; 4) феррит и перлит; 5) мартенсит и троостит; 6) крупноигльчатый мартенсит.

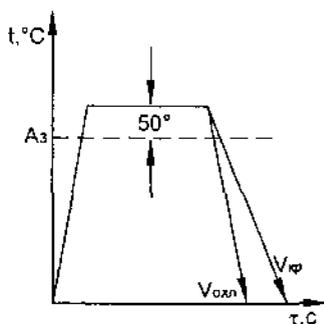
3. Какой термической операции нужно подвергнуть сталь 25 для улучшения ее обрабатываемости резанием?

**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке; 4) улучшению.

4. Какому отпуску нужно подвергнуть валок из стали 20Х после цементации с последующей закалкой?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

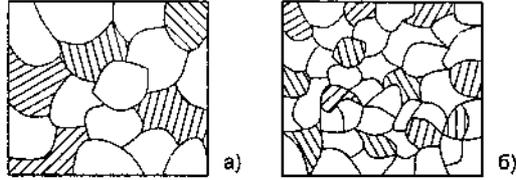
5. Какой термической обработке стали У7 может соответствовать график:



**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке; 4) отпуску.

## Тест №9

1. Какой термической операции была подвергнута поковка из стали 20 для исправления крупнозернистости:



а) до термообработки; б) после термообработки.

**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке; 4) отпуску.

2. Какая термическая операция применяется для разложения остаточного аустенита в стали?

**Ответы:** 1) отжиг; 2) нормализация; 3) закалка; 4) отпуск.

3. Какую структуру будет иметь сталь У11 после нормальной закалки?

**Ответы:** 1) мартенсит; 2) мартенсит и цементит вторичный; 3) мартенсит и остаточный аустенит; 4) мартенсит, цементит вторичный и остаточный аустенит; 5) перлит и цементит вторичный.

4. После какой термообработки конструкционная сталь 40X имеет структуру мартенсита и феррита (М+Ф)?

**Ответы:** 1) рекристаллизационного отжига; 2) полной закалки; 3) неполной закалки; 4) улучшения; 5) нормализации.

5. Какому отпуску нужно подвергнуть шатун из стали 45 для обеспечения лучших эксплуатационных свойств?

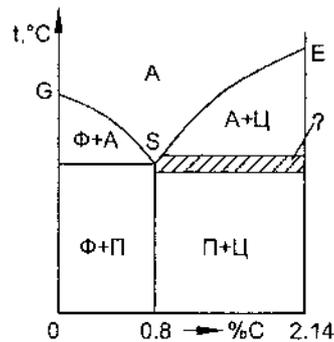
**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

## Тест №10

1. Какую структуру имеет сталь 45 после закалки?

**Ответы:** 1) аустенит; 2) феррит и перлит; 3) мартенсит.

2. Какой вид отжига изображен на диаграмме?



**Ответы:** 1) диффузионный; 2) полный; 3) неполный.

3. Какую структуру имеет сталь 40 после полного отжига?

**Ответы:** 1) перлит зернистый; 2) феррит и перлит; 3) перлит; 4) мартенсит.

4. Какая термообработка применяется для обрабатываемости резанием стали марки 20?

**Ответы:** 1) отжиг; 2) нормализация; 3) закалка; 4) отпуск.

5. Какую структуру имеет сталь 45 после высокого отпуска?

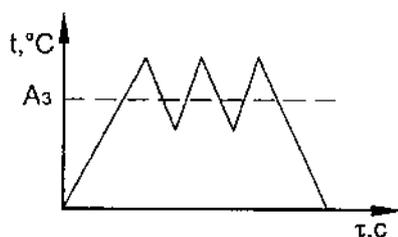
**Ответы:** 1) мартенсит; 2) сорбит; 3) троостит.

### Тест №11

1. Какой операции нужно подвергнуть сталь 45 для получения наивысшей твердости?

**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) объемной закалке) 4) поверхностной закалке; 5) цементации; 6) улучшению.

2. Какой термической обработке стали У8 может соответствовать график:



**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) объемной закалке) 4) поверхностной закалке; 5) цементации; 6) улучшению.

3. Каким способом можно улучшить обрабатываемость стали 15Г?

**Ответы:** 1) отжигом; 2) нормализацией; 3) закалкой; 4) отпуском.

4. Какую структуру будет иметь сталь У7 после нормальной закалки?

**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) мартенсит; 3) мартенсит и феррит; 4) мартенсит и аустенит; 5) мартенсит и цементит.

5. Какому отпуску нужно подвергнуть рессору из стали 70СТ?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

### Тест №12

1. Отливки из малоуглеродистой стали характеризуются наличием внутренней ликвации. Каким способом можно существенно снизить неоднородность (ликвацию)?

**Ответы:** 1) полным отжигом; 2) рекристаллизационным отжигом; 3) диффузионным отжигом; 4) устранить невозможно.

2. Структура стали 50Х после закалки имела пониженную твердость. По какому режиму обработана эта сталь?

**Ответы:** 1)  $850^\circ\text{C}$ , вода; 2)  $950^\circ\text{C}$ , вода; 3)  $750^\circ\text{C}$ , вода; 4)  $850^\circ\text{C}$ , масло.

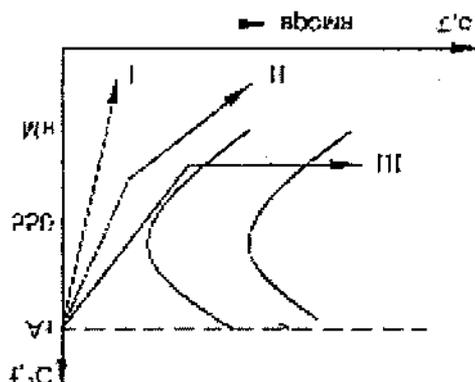
3. Какая структура обеспечит стали 40 максимальную ударную вязкость после отпуска?

**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) мартенсит; 3) троостит отпуска; 4) сорбит отпуска.

4. Какова оптимальная температура закалки стали У10?

**Ответы:** 1) 727° С; 2) 770° С; 3) 850° С; 4) 950° С.

5. Какой из режимов охлаждения соответствует закалке в двух средах?



**Ответы:** 1) I; 2) II; 3) III.

### Тест №13

1. До какой температуры необходимо нагреть сталь 45 при нормализации?

**Ответы:** 1) ниже линии  $A_1$ ; 2) выше линии  $A_m$ ; 3) выше линии  $A_3$ .

2. До какой температуры необходимо нагреть сталь У12 при закалке?

**Ответы:** 1) ниже линии  $A_1$ ; 2) выше линии  $A_1$ ; 3) выше линии  $A_m$ ; 4) выше линии  $A_3$ .

3. Какие из сталей не принимают закалки (слабо закаливающиеся)?

**Ответы:** 1) ст.4; 2) 40; 3) 25; 4) У 10.

4. Какую структуру имеет сталь У12 после закалки?

**Ответы:** 1)  $A+Ц_2$ ; 2)  $M+Ц_2$ ; 3)  $M+Ц_2+A$ ; 4)  $П+Ц_2$ .

5. Какую структуру имеет сталь У9 после низкого отпуска?

**Ответы:** 1) сорбит отпуска; 2) троостит отпуска; 3) мартенсит отпуска.

### Тест №14

1. Структура стали 45 после закалки состояла из  $M+Ф$ . Каков режим обработки такой стали?

**Ответы:** 1) 850°С, масло; 2) 750°С, вода; 3) 750°С, масло.

2. Что называется мартенситом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe; 2) структура закаленной стали; 3) пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe; 4) ограниченный твердый раствор углерода в железе.

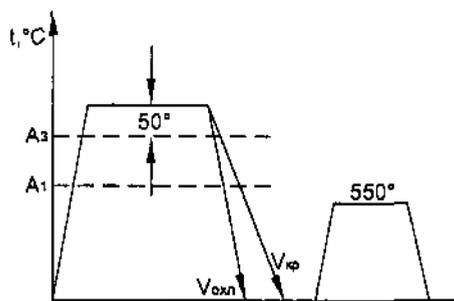
3. Для каких сталей применяется сфероидизирующий отжиг?

**Ответы:** 1) 40; 2) У12; 3) 20; 4) 65Г; 5) У8; 6) А12.

4. Какому виду отпуска подвергают сталь после закалки с нагревом ТВ4?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому; 4) не подвергают.

5. Какой термообработке соответствует график, представленный на схеме?



**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) закалке; 4) отпуску; 5) улучшению.

### Тест №15

1. Какая из структур обеспечивает максимальную твердость стали?

**Ответы:** 1) П+Ц; 2) Т; 3) М.

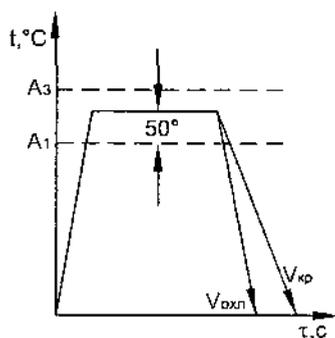
2. Какая структура образуется в стали 50, если охлаждение производить в масле?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) М+А ост.; 3) М; 4) М+Ф; 5) М+Т.

3. Нагруженные детали изготовлены из среднуглеродистой стали. Какой режим термообработки можно применить и какая получится при этом структура?

**Ответы:** 1) закалку М; 2) закалку и низкий отпуск, М отп; 3) нормализацию, С+Ф; 4) закалку и высокий отпуск, С; 5) закалку и средний отпуск, Т.

4. График какого вида термообработки изображен?



**Ответы:** 1) отжиг; 2) закалка; 3) отпуск.

5. Будет ли наблюдаться значительное повышение твердости в стали марки 40, если ее нагреть до 700° и охладить в воде?

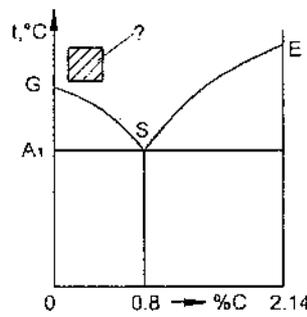
**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест №16

1. Какую структуру имеет сталь У8 после закалки?

**Ответы:** 1) перлит; 2) сорбит; 3) мартенсит; 4) троостит; 5) мартенсит и аустенит.

2. Какой вид отжига изображен на диаграмме?



**Ответы:** 1) диффузионный; 2) рекристаллизационный; 3) полный.

3. В какой среде охлаждается стальное изделие при нормализации?

**Ответы:** 1) вместе с печью; 2) на воздухе; 3) в масле; 4) в воде.

4. На какой линии диаграммы расположены критические точки  $A_3$ ?

**Ответы:** 1) PK; 2) GS; 3) ES; 4) NJ.

5. Какую структуру имеет сталь У13 после среднего отпуска?

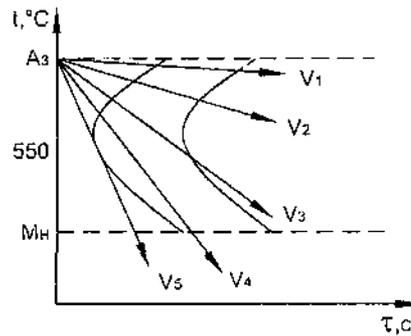
**Ответы:** 1)  $M_{от.} + C_2$ ; 2)  $T_{от.} + C_2$ ; 3)  $C_{от.} + C_2$ .

### Тест №17

1. Для каких сталей отжиг можно заменить нормализацией?

**Ответы:** 1) низкоуглеродистых (до 0,3%С); 2) среднеуглеродистых (0,3-0,6%С); 3) высокоуглеродистых (> 0,7%С ).

2. Какой должна быть скорость охлаждения стали, чтобы образовалась структура тростита?



**Ответы:** 1) V2; 2) V1; 3) V3; 4) V4; 5) V5.

3. В чем различие в фазовом составе П, С, Т?

**Ответы:** 1) состоят из разных фаз; 2) имеют различное количество Ф и Ц; 3) различаются по составу Ф и Ц; 4) различия в фазовом составе нет.

4. Что влияет главным образом на толщину закаленного слоя при нагреве ТВ4?

**Ответы:** 1) состав стали; 2) частота тока; 3) структура стали; 4) электро-сопротивление стали.

5. Какому виду отпуска нужно подвергнуть напильник?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

### Тест №18

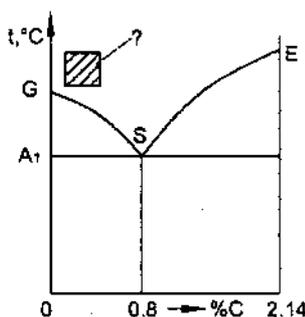
1. Какая из структур обеспечивает максимальную твердость стали?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) П+Ц<sub>2</sub>; 3) М; 4) Т; 5) Б.

2. Какая структура образуется в стали 35X при нагреве до 840° и охлаждении в масле?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) М; 3) М+Ф; 4) М+А<sub>ост</sub>; 5) М+Т.

3. График какого вида термообработки изображен на схеме?



**Ответы:** 1) отжиг; 2) нормализация; 3) закалка; 4) отпуск.

4. Нагруженные детали изготовлены из среднеуглеродистой стали. Какой режим термообработки надо применить и какая при этом получится структура?

**Ответы:** 1) закалку, М; 2) закалку+низкий отпуск, М; 3) нормализацию, Ф+С; 4) закалку+высокий отпуск, С отп.; 5) закалку+средний отпуск, Т отп.

5. Какую структуру будет иметь сталь марки У12 при нагреве до 700° и охлаждении в воде?

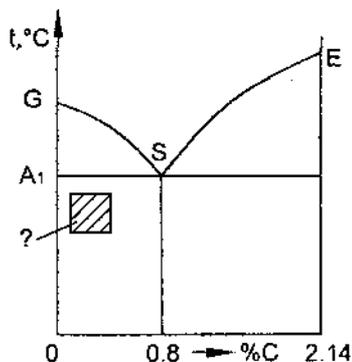
**Ответы:** 1) П+Ц<sub>2</sub>; 2) М+А<sub>ост</sub>; 3) М+А<sub>ост</sub>+Ц<sub>2</sub>; 4) М.

### Тест №19

1. Какую структуру имеет сталь 50 после закалки?

**Ответы:** 1) перлит; 2) сорбит; 3) мартенсит; 4) тростит.

2. Какой вид отжига изображен на диаграмме?



**Ответы:** 1) диффузионный; 2) рекристаллизационный; 3) полный.

3. Выше какой критической точки нагревается сталь У12 для закалки?

**Ответы:** 1) А1; 2) А2; 3) А3; 4) А<sub>т</sub>.

4. Какую термическую операцию надо провести для улучшения обрабатываемости стали У9?

**Ответы:** 1) отжиг; 2) нормализацию; 3) закалку; 4) отпуск.

5. Какую структуру имеет сталь У13 после среднего отпуска?

**Ответы:** 1) М<sub>от.</sub>+Ц<sub>11</sub>; 2) Т<sub>отп.</sub>+Ц<sub>11</sub>; 3) С<sub>от.</sub>+Ц<sub>11</sub>.

## Тест №20

1. Сталь 40 после закалки имела повышенную хрупкость. С чем связан этот дефект?

**Ответы:** 1) недогрев; 2) перегрев; 3)  $V_{охл.} < V_{кр.}$ ; 4)  $V_{охл.} > V_{кр.}$ .

2. Для какой стали можно применить отжиг на зернистый перлит?

**Ответы:** 1) 10; 2) 45; 3) 60Г; 4) У7.

3. Какая из структур: П, С, Т, Б, Ф, А - имеет игольчатое строение?

**Ответы:** 1) П; 2) С; 3) Т; 4) Б; 5) Ф; 6) А.

4. Какую структуру имеет сталь после улучшения?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) Ф+С; 3) М; 4) С; 5) М+Аост.

5. Какой термической операции надо подвергнуть сталь 30 для измельчения зерна после горячей обработки давлением?

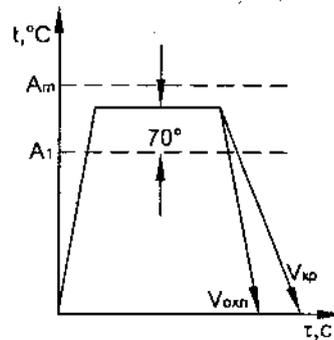
**Ответы:** 1) нормализации; 2) закалке в воду.

## Тест №21

1. Какую структуру будут иметь доэвтектоидные стали после отжига?

**Ответы:** 1) сорбит; 2) троостит; 3) мартенсит; 4) феррит и перлит.

2. Какой термической обработке соответствует следующий график?



**Ответы:** 1) неполному отжигу; 2) неполной закалке; 3) нормальной закалке; 4) отпуску.

3. Какую цель преследует закалка стали?

**Ответы:** 1) повышение твердости; 2) улучшение обрабатываемости; 3) повышение вязкости; 4) повышение прочности.

4. Какая структура получится при закалке стали марки 40 в масле?

**Ответы:** 1) мартенсит; 2) мартенсит и феррит; 3) мартенсит и троостит; 4) мартенсит и остаточный аустенит.

5. Какому отпуску нужно подвергнуть зубчатое колесо из стали 45?

**Ответы:** 1) низкому; 2) среднему; 3) высокому.

## РАЗДЕЛ 9

### ВЫБОР РЕЖИМА ПОЛНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

**Цель работы** - приобрести навыки по выбору основных операций термической обработки для сталей с различным содержанием углерода.

**Задание:** Построить график полной термической обработки заданной стали в соответствии с вариантом задания.

#### Основные сведения

Термическая обработка (ТО) стали включает одну или несколько технологических операций. Отжиг, нормализация, закалка, отпуск - основные технологические операции ТО. Каждая их технологических операций состоит из трех этапов:

1. Нагрев стали до заданной температуры с заданной скоростью.
2. Выдержка при заданной температуре нагрева.
3. Охлаждение с заданной скоростью.

График технологической операции ТО приведен на рисунке 9.1.

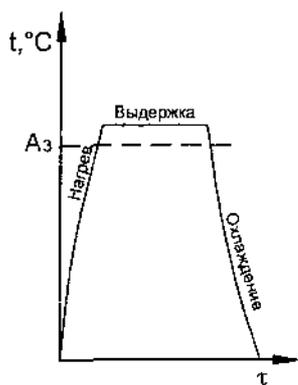


Рисунок 9.1 – График термической операции

Обычно на графике указываются критические точки стали, относительно которых выбираются температуры нагрева и скорость охлаждения относительно критической скорости закалки (т.е. больше или меньше скорость охлаждения, чем критическая скорость закалки).

Так, для доэвтектоидной стали технологическая операция закалки может быть изображена так, как показано на рисунке 9.2.

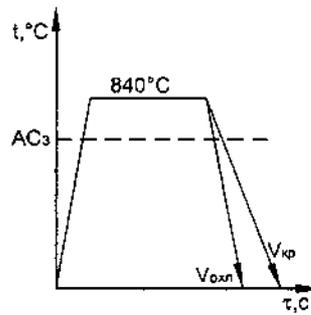


Рисунок 9.2 – График закаливания стали 40

График полной термической обработки стали включает три технологические операции - предварительную термическую обработку (отжиг или нормализацию), закалку и отпуск и выглядит, например, так (рисунок 9.3):

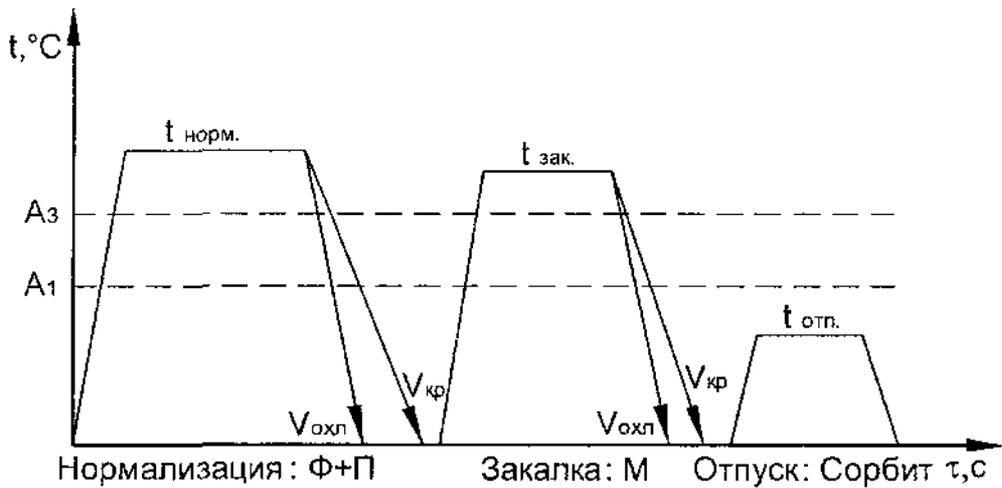


Рисунок 9.3 – График полной термической обработки улучшаемой конструкционной стали

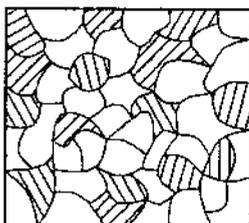
Чтобы построить график полной термической обработки, необходимо:

1. Классифицировать заданную сталь по назначению.
2. Определить в стали содержание углерода.
3. Выбрать и указать критические точки, относительно которых будет выбираться температурный режим ТО.
4. Выбрать основные технологические операции ТО, найти их температурный режим.
5. Построить график полной термической обработки. На графике указать название технологической операции, температуры критических точек, температуры нагрева, обозначить скорость охлаждения относительно критической, указать и схематически зарисовать структуру стали после каждой операции ТО.
6. Указать, какие свойства приобретет сталь после полной термической обработки.

## Индивидуальные задания

### Вариант 1

Определить по структуре содержание углерода в стали и построить график полной термообработки в соответствии с назначением этой стали.



### Вариант 2

Назначьте марку стали для штангенциркуля и приведите график полной термообработки этой стали.

### Вариант 3

Назначьте марку стали для кузнечного штампа и предложите режим полной термообработки штампа.

### Вариант 4

В структуре стали содержится 20%Ф и 80%П. Определите содержание углерода в этой стали и постройте график полной термообработки.

### Вариант 5

Сталь содержит ~0,9 % С, ~1 % Cr, ~1 % Si. Запишите марку этой стали и постройте для неё график полной термообработки.

### Вариант 6

Выбрать сталь для коленвала и построить график полной термообработки этой стали.

### Вариант 7

Сталь содержит 0,65 % С, 1 % Si и ~1 % Mn. Записать марку этой стали и построить для неё график полной термообработки.

### Вариант 8

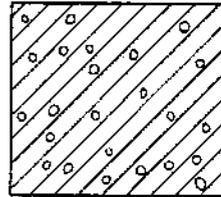
В структуре стали содержится 95 % П и 5 % Ц<sub>2</sub>. Определить содержание углерода, марку стали и построить для неё график полной термообработки.

### Вариант 9

Высококачественная инструментальная сталь содержит 0,9 % С. Записать марку стали и построить для неё график полной термообработки.

### Вариант 10

Микроструктура углеродистой стали после полной термообработки соответствует схеме. Определить примерное содержание углерода в стали и построить для неё график полной термообработки, обеспечивающий получение указанной структуры.



### Вариант 11

Резец изготовлен из углеродистой стали, содержащей 1,1 % С. Записать марку этой стали и построить для неё график полной термообработки.

### Вариант 12

Из сталей А12, У13, 85, 45А выберите самую прочную и постройте для неё график полной термообработки.

### Вариант 13

Из сталей 45, 60, 48, У12 выберите наиболее упругую и постройте для неё график полной термообработки.

### Вариант 14

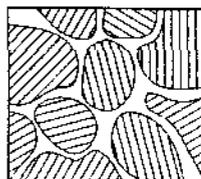
Длинная протяжка изготовлена из стали марки ХВГ, содержащей ~1 % С. Привести график полной термообработки этой стали.

### Вариант 15

Привести график полной термообработки рычага поворотного кулака, изготовленного из стали 40Х.

### Вариант 16

Определите по структуре примерное содержание углерода в стали и постройте для неё график полной термообработки.



## РАЗДЕЛ 10

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Цель работы - закрепить и углубить знания по основам теории и практики термической обработки стали.

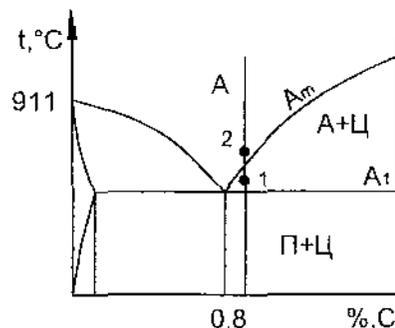
#### Индивидуальные задания

##### Вариант №1

1. До какой температуры необходимо нагреть сталь 45 при закалке? Какую охлаждающую среду использовать для получения максимальных твердости и прочности? Ответ обосновать, используя диаграмму состояния, С-диаграмму.
2. Свойства отожженной или нормализованной стали будут выше? Почему?
3. Сколько углерода будет в мартенсите закаленной стали 50?
4. Какую структуру должна иметь сталь У10 при нагреве её под закалку? (высокотемпературное состояние)
5. Что такое улучшение?
6. В чем сходство и различие феррита и мартенсита?
7. Какую структуру будет иметь сталь У12 после закалки от точек 1, 2, 3? Какая из них оптимальна?

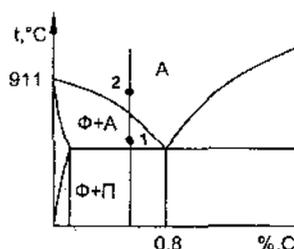
##### Вариант №2

1. Какая структура получится, если сталь 45 закалить от температуры  $750^{\circ}\text{C}$ ?
2. Почему углеродистые стали закалывают в воде, а легированные в масле?
3. Какая структура получится после полного отжига доэвтектоидной стали?
4. Какому виду отпуска после закалки необходимо подвергнуть напильник из стали У8?
5. Что такое нормализация?
6. В чем сходство и различие перлита, троостита, сорбита?
7. Чем будет отличаться структура стали У10, если её закалить от точек 1, 2? В каком случае свойства будут выше (ответ обосновать)?



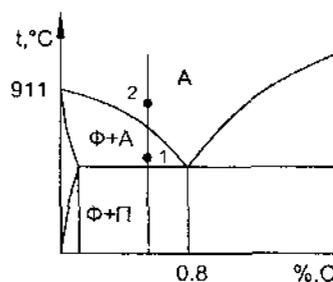
### Вариант №3

1. Какая структура получится, если сталь У9 закалить от  $800^{\circ}\text{C}$ ? Какую температуру закалки Вы можете рекомендовать и почему?
2. У какой из сталей, 40 или 40Х, выше прокаливаемость и почему?
3. Какую термическую обработку для стали У10 Вы можете предложить для того, чтобы уничтожить цементитную сетку? Укажите график термообработки.
4. Для чего проводят диффузионный отжиг?
5. В структуре закаленной стали 45 оказалось значительное количество феррита. От какой температуры она была закалена? Как исправить этот недостаток?
6. Какому отпуску Вы подвергнете рессоры из стали 65Г после закалки?
7. Чем будет отличаться структура стали 60, если её закалить от точек 1, 2? В каком случае свойства будут выше и почему?



### Вариант №4

1. Укажите режим нормализации для эвтектоидной стали.
2. Какие структуры из перечисленных Вы отнесете к твердым растворам: цементит, феррит, ледебурит, аустенит, сорбит, мартенсит, перлит, троостит?
3. Повысится ли твердость и прочность стали 10, если нагреть её до  $930^{\circ}\text{C}$  и закалить в воде? Какой метод упрочнения Вы можете предложить?
4. Сколько углерода растворится в феррите при  $727^{\circ}\text{C}$  и сколько при  $20^{\circ}\text{C}$ ?
5. В каком случае проводят рекристаллизационный отжиг?
6. Какие нарушения режима термообработки были допущены при закалке стали 50, если в её структуре были обнаружены: феррит, мартенсит, троостит? (Обоснуйте ответ, используя диаграмму состояния Fe-C и C-диаграмму.)
7. Есть ли различия в структуре стали 45, закаленной от точек 1, 2? Какой режим предпочтительнее и почему?

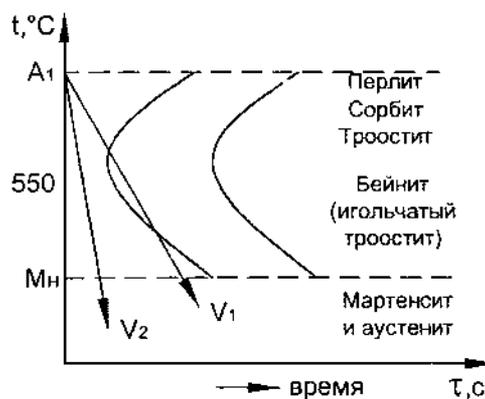


## Вариант №5

1. До какой температуры необходимо нагреть сталь 55 при нормализации? Какая структура получится в результате обработки?
2. Какая термообработка делает сталь 40 наиболее пластичной? (название, режим, структура)
3. Можно ли повысить твердость и прочность эвтектоидной стали с перлитной структурой, если нагреть её до  $700^{\circ}\text{C}$  и охладить в воде?
4. Сколько углерода растворится в аустените стали У11 при  $1000^{\circ}\text{C}$  и при  $727^{\circ}\text{C}$ ?
5. Может ли отпуск быть самостоятельной термической обработкой?
6. Из каких фаз состоят сорбит, троостит?
7. Есть ли различия в структуре отожженной и нормализованной стали 40? Какое?

## Вариант №6

1. Инструментальную сталь У12 необходимо было обработать для получения максимальной твердости. После термообработки в её структуре были обнаружены мартенсит, троостит и значительная доля остаточного аустенита. Какие нарушения технологии были допущены?
2. В чем отличие отжига 1 рода от отжига 2 рода?
3. Какая из сталей: 08, 45, У8 - имеет лучшую закаливаемость и почему?
4. Что такое улучшение?
5. В чем отличие ступенчатой закалки от прерывистой?
6. Назначьте температуру отжига для стали У11, чтобы получить структуру зернистого перлита.
7. Какая структура будет образовываться, если сталь 40Х охладить со скоростью  $V_1$  и  $V_2$ ?



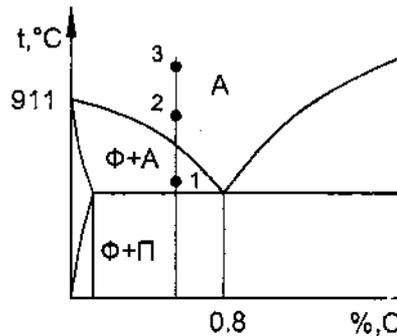
## Вариант №7

1. Может ли образоваться остаточный аустенит в результате закалки стали 80? Ответ обосновать.

2. Какая сталь, 40 или 60, будет иметь большую прочность после полного отжига?

3. После закалки стали У12 в структуре были обнаружены мартенсит, цементит и остаточный аустенит. До какой температуры была нагрета эта сталь и как повысить ее твердость?

4. Какие структуры образуются после закалки стали 45 от точек 1, 2, 3? Какая структура является оптимальной и почему?



5. Какая термическая обработка - отжиг или нормализация - делают сталь 40 наиболее пластичной? Ответ обосновать.

6. У какой из сталей, 40 или 40Х, критическая скорость закалки будет больше, почему?

7. Какая сталь, У8 или У13, имеет выше предел прочности после закалки? Почему?

## Вариант №8

1. Какая структура образуется после полного отжига в стали 50 и в стали У9? Какие температуры нагрева для отжига этих сталей Вы можете рекомендовать?

2. Какую температуру для нормализации стали У12 Вы можете рекомендовать?

3. После закалки стали У12 в структуре оказались мартенсит и остаточный аустенит. До какой температуры была нагрета эта сталь и как повысить её твердость?

4. Какая температура нагрева оптимальна для отжига, нормализации и закалки эвтектоидной стали?

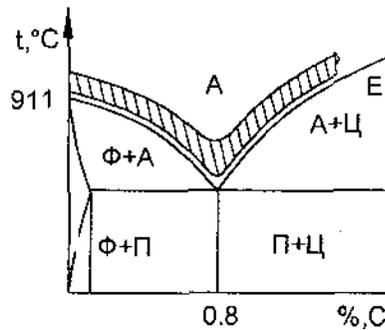
5. Какому отпуску следует подвергнуть конструкционную сталь, чтобы получить наиболее высокие значения  $\delta$ ,  $\psi$ ?

6. Мартенсит какой стали, 45 или 70, обладает более высокой твердостью? Ответ обосновать.

7. Какая термообработка применяется для улучшения обрабатываемости резанием стали 15?

## Вариант №9

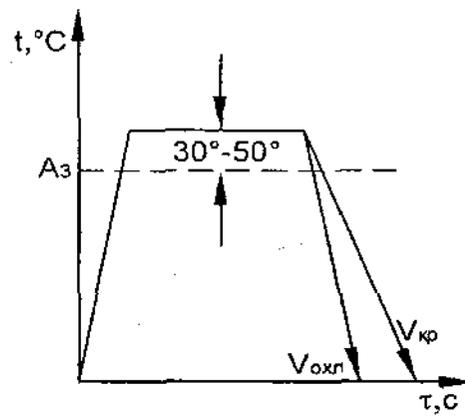
1. Почему на диаграмме состояния не присутствуют такие структуры, как сорбит, троостит, мартенсит, бейнит?
2. Какую структуру будет иметь сталь У9 после закаливания?
3. Что такое прокаливаемость? Какая из сталей обладает максимальной прокаливаемостью: 20, 40Х, 65Г, 38ХМЮА?
4. Какая структура получится, если сталь 40 закалить от температуры  $750^{\circ}\text{C}$ ?
5. Какая структура получится после неполного отжига заэвтектоидной стали?
6. Известно, что рессоры должны обладать высокой релаксационной стойкостью, то есть хорошо пружинить. Рессоры изготавливают из стали 65Г. Какой отпуск надо провести после закалки?
7. Для какой термической операции изображен на диаграмме интервал температур?



## Вариант №10

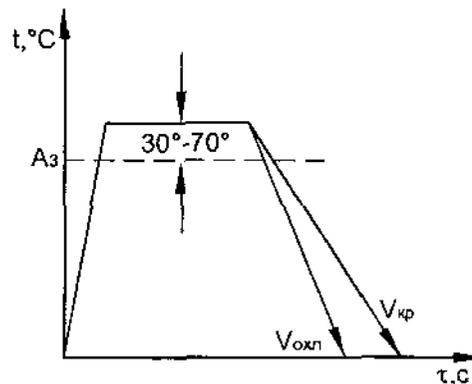
1. Какая термическая операция: отжиг, нормализация или закалка с последующим отпуском - позволяет получить максимальные значения твердости и прочности?
2. Что общего и чем различаются перлит, сорбит, троостит?
3. Условия работы шестерни из стали 20ХН3А таковы, что её поверхность подвергается интенсивному изнашиванию. Какой термообработке необходимо её подвергнуть?
4. Какие факторы влияют на критическую скорость закалки?
5. После какой термической обработки в заэвтектоидной стали формируется структура пластинчатого перлита, а после какой - зернистого?
6. Какой вид отжига позволяет повысить пластичность холоднодеформированной стали?

7. График какого вида термической обработки изображен на рисунке?



### Вариант №11

1. Какая структура получится, если сталь 50 закалить от температуры  $740^\circ\text{C}$ ? Не является ли этот температурный режим нарушением технологии?
2. Поясните суть понятий "закаливаемость" и "прокаливаемость". Закаливаемость какой стали выше - 08 или 80? Ответ обосновать.
3. Какой вид термообработки изображен на графике?

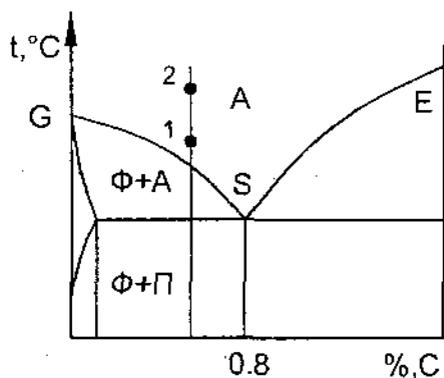


4. После какой термической операции — отжига или нормализации — стали 40 будет иметь меньшую пластичность?
5. В каком случае проводят гомогенизационный отжиг?
6. Какая термическая операция будет предшествовать закалке стали 65Г?
7. В чем различие троостита и сорбита отпуска?

### Вариант №12

1. Укажите режим нормализации для заэвтектоидных сталей?
2. Какие структуры из перечисленных Вы отнесете к механическим смесям цементит, перлит, феррит, аустенит, сорбит, троостит, ледебурит, мартенсит?
3. Сколько углерода содержится в мартенсите закаленной стали 35?
4. Что такое "улучшение"?
5. Почему стали, содержащие до  $0,3\% \text{C}$ , не закаливаются?
6. В чем сходство и различие феррита и мартенсита?

7. Чем будет отличаться структура стали 45, если ее закалить от точек 1, 2? В каком случае свойства будут выше и почему?



### Вариант №13

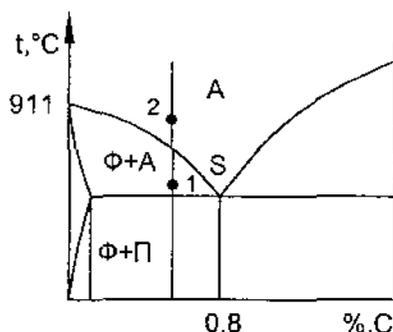
1. Какую структуру будет иметь сталь 50 после закалки в масле от 740 °С? В чем состоят нарушения технологии? Ответ обосновать.
2. Какие Вы знаете способы закалки? Нарисуйте схемы.
3. Из каких фаз состоит сорбит?
4. Какая температура отжига рекомендуется для заэвтектоидных сталей и почему?
5. Сколько углерода растворяется в феррите при температуре 727 °С и при 20 °С?
6. Почему для инструментальных сталей У10, У12 и др. после закалки применяют низкий отпуск?
7. Что общего и чем отличаются процессы цементации и закалки токами высокой частоты?

### Вариант №14

1. Может ли образоваться остаточный аустенит в результате закалки стали У10? Ответ обосновать.
2. Как влияет легирование стали на критическую скорость закалки?
3. Что такое нормализация?
4. Мартенсит какой стали, 30 или 40, обладает большей твердостью, если обе стали закаливали в воде?
5. В структуре закаленной стали 50 оказалось значительное количество феррита. От какой температуры она была закалена? Как исправить этот недостаток?
6. Назначьте температуру нормализации для стали У10.
7. После закалки в структуре стали 45 обнаружили мартенсит и троостит. Будет ли иметь сталь максимальную твердость после этой обработки? Ответ обосновать.

### Вариант №15

1. Почему для закалки углеродистых сталей в качестве охлаждающей среды используют воду, а легированных - масло?
2. Сталь 50 подвергли отжигу, нормализации. В каком случае свойства её будут выше и почему?
3. Какой термической обработкой ликвидируется цементитная сетка в стали У12?
4. Что такое "улучшение"?
5. В чем сущность прерывистой закалки?
6. Сталь У7 закалили в воде от точек 1, 2. Какая структура является оптимальной и почему?



7. В чем сущность процесса закалки с самоотпуском?

### Вариант №16

1. Какая термообработка называется отпуском? Для чего он проводится?
2. Какая из сталей, 20 или 80, имеет большую пластичность? Что Вы можете сказать об их закаливании и прокаливаемости?
3. Повысится ли твердость и прочность стали 15, если её закалить от  $930^\circ\text{C}$  в воде? Какой метод упрочнения Вы можете рекомендовать?
4. Какой режим отжига Вы можете предложить для стали У13? Какая структура при этом образуется?
5. Расшифруйте химический состав сталей: 20ХН, 38ХГС. Каким способом упрочняется каждая из этих сталей?
6. Каковы достоинства и недостатки масла и воды как охлаждающих сред? В каких средах закаливают углеродистые и легированные стали?
7. В чем состоит сущность цементации и ее цель?

### Вариант №17

1. Какая термообработка называется улучшением?
2. Почему в стали 65 степень тетрагональности решетки мартенсита больше, чем в стали 40?
3. После какой термообработки сталь У9 приобретает максимальную прочность и твердость? (название, режим, структура)

4. Получится ли мартенситная структура в стали 65, если её закалили от 680 °С в воде? Для чего в некоторых случаях проводят обработку холодом? Ответ обосновать.

5. В чем заключается изотермическая закалка?

6. Назначьте температуру отжига стали У8 для получения структуры зернистого перлита.

7. Почему критическую скорость закалки считают важнейшей технологической характеристикой стали?

### Вариант №18

1. Какую структуру будет иметь сталь 70 после закалки в воде от 700, 735, 780 °С? Какая из них будет обладать максимальными прочностью и твердостью?

2. Что означает в марках приведенных сталей буква А: А30, Х17АГ18, 45А? Упрочняется ли термообработкой сталь А30?

3. От чего зависит размер мартенситных игл?

4. Какая из перечисленных сталей: 55, 10, 80, 30 - после закалки в воде содержит остаточный аустенит?

5. Почему для заэвтектоидных сталей рекомендуется проводить неполный отжиг?

6. Что общего и в чем различие сорбита и бейнита?

7. Назначьте температуру закалки для стали У13А. Какую структуру она будет иметь? Какому отпуску ее нужно подвергнуть?

## **РАЗДЕЛ 11**

### **ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА**

**Цель работы:** ознакомиться с особенностями упрочнения деталей машин с использованием индукционного нагрева.

#### **Основные сведения**

Поверхностное упрочнение стальных изделий является важным по следующим причинам:

1. С ним связано повышение сопротивления истиранию, что имеет определяющее значение для работы инструмента и стойкости трущихся поверхностей деталей машин.

2. Действие изгибающих и крутящих моментов вызывает наибольшее напряжение в поверхностных слоях деталей. Поэтому упрочнение поверхностных слоев повышает прочность деталей, работающих в таких условиях (а их большинство).

3. При приложении многократно повторяющихся знакопеременных нагрузок вблизи поверхности возникают так называемые трещины усталости. Напряжения, вызывающие усталостные трещины, прямо пропорциональны сопротивлению разрушения, поэтому поверхностное упрочнение повышает предел выносливости стали.

4. Конструктивные факторы (наличие переходов от толстого сечения к тонкому, подрезы и т.д.) вызывают концентрацию напряжений в этих зонах поверхности деталей. Поверхностное упрочнение повышает сопротивление местным концентрациям напряжений и предохраняет деталь от преждевременного разрушения.

#### **11.1 Особенности термообработки стали при быстром нагреве токами высокой частоты**

В основе поверхностной закалки лежит нагрев поверхностного слоя изделия выше критических температур для получения аустенитного состояния с последующим быстрым охлаждением.

При нагреве детали за счет прохождения в ней электрического тока интенсивность нагрева очень высока; время нагрева в большинстве случаев соответствует секундам или десяткам секунд.

Это создает ряд важнейших технологических преимуществ, таких как высокая производительность, практическое отсутствие окисления и обезуглероживания поверхности нагреваемых изделий.

Вместе с тем быстрый нагрев вызывает ряд особенностей, которые следует учитывать:

1. Чем выше скорость нагрева, тем при более высоких температурах завершается процесс образования аустенита.

2. При быстром нагреве зерно аустенита не успевает вырасти до значений, характерных для термообработки с нагревом в печи, его размер соответствует 11-12 баллам стандартной шкалы (ГОСТ 5639-82), в то время как при печном нагреве – 7-8 баллам.

3. Исходная структура стали должна быть дисперсной. Наличие крупных зерен феррита вынуждает сильно (на 100-150 °) повышать температуру нагрева, что приводит к интенсивному росту зерна и ухудшает свойства (особенно вязкость) стали в закаленном состоянии.

Для измельчения ферритного зерна целесообразно перед электронагревом под закалку подвергать доэвтектоидные стали нормализации, которая позволяет получить мелкое зерно аустенита (11-12 баллов) в широком диапазоне скоростей нагрева (от 2 °С/сек и выше).

4. Ввиду неоднородности и мелкозернистости переохлажденный аустенит обладает пониженной устойчивостью к распаду, поэтому при закалке необходимо применять интенсивное охлаждение – водяной душ или быстро движущийся поток воды.

5. Скоростной нагрев приводит к получению более высокой твердости после закалки, по сравнению с обычным нагревом.

Зависимость твердости от скорости нагрева в стали 40 приведена в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Влияние скорости нагрева на повышение твердости стали 40

Скорость нагрева, °С/сек	50	100	200	300	700
Твердость, HRC	53	54,5	56	57	59

С целью выбора режима термообработки для каждой стали экспериментально строится диаграмма в координатах температура-скорость нагрева. На рисунке 11.1 приведена диаграмма для стали 35.

Нижняя и верхняя линии этой диаграммы показывают температурный интервал допустимых режимов нагрева, в котором структура и твердость не уступают полученным после закалки (обычного нагрева)  $\geq 48$  HRC.

Ниже зоны допустимых режимов нагрева получают структуры недогрева и неполной закалки, выше – структуры перегрева. В зоне преимущественных режимов твердость превышает 50 HRC.

6. Применение электронагрева позволяет коренным образом повысить культуру производства, механизировать и автоматизировать процесс термообработки, встраивать термические установки непосредственно в линии механической обработки деталей.



Рисунок 11.1 – Диаграмма допустимых и преимущественных режимов нагрева под закалку ТВЧ стали 35

## 11.2 Индукционный нагрев стали при термической обработке и оборудование для его осуществления

### Принцип и кинетика индукционного нагрева

Нагреваемую деталь помещают в индуктор, представляющий собой один или несколько витков водоохлаждаемой медной трубки (рисунок 11.2):

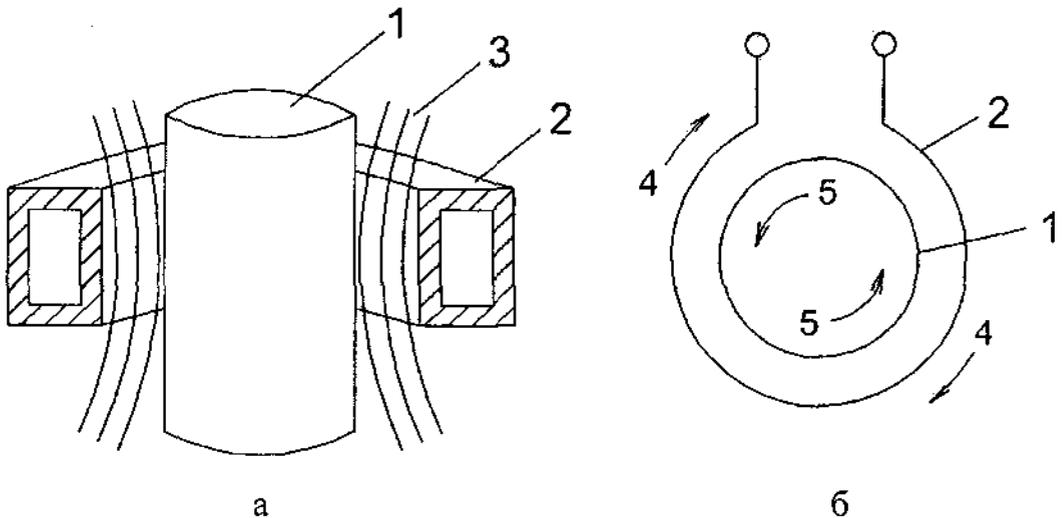


Рисунок 11.2 – Схемы индукционного нагрева:

а – распределение магнитного поля в индукторе; б- направление токов в индукторе и детали; 1 – нагреваемая деталь; 2 – виток индуктора; 3 – магнитные силовые линии; 4 – направление тока в индукторе; 5 – направление тока в детали

Переменный ток, протекая через индуктор, создает переменное магнитное поле. В результате электромагнитной индукции в поверхностном слое возникают вихревые токи и в слое обрабатываемого изделия происходит выделение джоулевой теплоты.

Переменный ток распределяется неравномерно по сечению детали и протекает преимущественно в поверхностных слоях (поверхностный эффект). При этом 87 % всей тепловой энергии выделяется в слое, характеризуемом глубиной проникновения тока и определяемом по формуле:

$$\delta \approx 5030 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}}, \text{ см,} \quad (11.1)$$

где  $\delta$  - глубина проникновения тока, см;

$\rho$  - электросопротивление материала детали, Ом·см;

$\mu$  - относительная магнитная проницаемость;

$f$  - частота тока, Гц.

Глубина проникновения тока увеличивается с повышением температуры и наиболее резко возрастает при температуре, лежащей выше точки Кюри (780 °С), вследствие резкого уменьшения магнитной проницаемости в парамагнитное состояние.

Выбор оптимальной толщины упрочняемого слоя определяется условиями работы детали. Когда изделие работает только на износ или в условиях усталости, толщину закаленного слоя чаще принимают 1,5 – 3 мм, в условиях высоких контактных нагрузок и возможной перешлифовки – 4 – 5 мм.

В случае особо больших контактных нагрузок, например для валков холодной прокатки, толщина закаленного слоя достигает 10 – 15 мм и выше. Обычно считают, что площадь сечения закаленного слоя должна быть не более 20 % всего сечения. Для зубчатых колес толщина слоя составляет 0,2 – 0,28 от их модуля.

### Выбор частоты

Частота переменного тока определяет толщину закаленного слоя (рисунок 11.3). Частоту тока выбирают по следующим соотношениям:

$$f \geq 20000/d^2; \quad (11.2)$$

$$\delta_H = (15 \div 55) \cdot (1/\sqrt{f}). \quad (11.3)$$

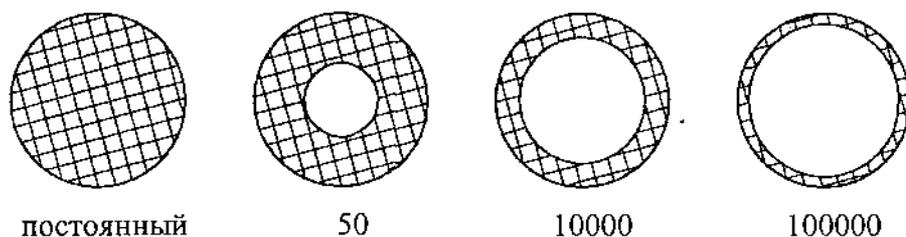


Рисунок 11.3 – Распределение тока по сечению детали в зависимости от его частоты (цифры указывают частоту тока в Гц)

Формула (11.2) определяет наименьшую желательную частоту тока  $f$ , Гц в зависимости от диаметра нагреваемого изделия  $d$ , см.

Формула (11.3) позволяет определить оптимальную глубину слоя  $\delta_n$ , см в деталях из низколегированных сталей.

Таблица 11.2 – Зависимость толщины закаленного слоя от частоты переменного тока

Толщина закаленного слоя, мм	1	1,5	2	3	4	6	10
Частота $f$ , Гц	60000	25000	15000	7000	4000	1500	500

### Преобразователи частоты

Преобразователи частоты выпускают различных типов.

**Машинные преобразователи** средней частоты бывают:

а) типа ВПЧ на частоты 2,4 кГц (мощностью 50 и 100 кВт) и 8 кГц (мощностью 30, 50, 100 кВт);

б) типа ОПЧ на частоты 1 кГц (мощностью 250, 320, 500, 2500 кВт), 2,4 кГц (мощностью 250 и 500 кВт) и 10 кГц (мощностью 250 кВт).

Разработаны и используются в промышленности устройства программного регулирования режимов нагрева с питанием установок от машинных преобразователей. В зависимости от частоты и мощности КПД машинных преобразователей составляет 0,7 – 0,8.

**Ламповые преобразователи** радиочастот на частоту 0,44 МГц (мощностью от 10 до 63 кВт) и 0,066 МГц (мощностью 100 и 160 кВт).

Весьма перспективными являются **статические (тиристорные) преобразователи** средней частоты. По сравнению с машинными, они имеют более высокий КПД (0,9 – 0,95), характеризуются более широким диапазоном оптимальных нагрузок, практически мгновенной готовностью к работе. Все это обеспечивает экономию электроэнергии до 20 %. В настоящее время серийно выпускаются тиристорные преобразователи типа ТПЧ с номинальными частотами 1 кГц (мощностью 630 и 800 кВт), 2,4 кГц (мощностью 250 и 500 кВт) и 4 кГц (мощностью 160 кВт).

### Поверхностная закалка одновременными и непрерывно-последовательными способами

По технике выполнения различают поверхностную закалку одновременным и непрерывно-последовательным способами.

Закалку непрерывно-последовательным способом применяют, в основном, при поверхностном нагреве длинномерных деталей постоянного сечения (типа валов, ходовых винтов). При этом нагреваемая деталь непрерывно движется через узкий индуктор, в котором осуществляется нагрев до закалочной температуры участка детали, находящегося в данный момент в зоне индуктора. При выходе из индуктора этот участок попадает в зону душевого закалочного охлаждения.

Поверхностная закалка одновременным способом выполняется путем одновременного нагрева всей закаливаемой поверхности детали, после окончания нагрева вся нагретая поверхность охлаждается душем или потоком воды непосредственно в индукторе либо в отдельном охлаждающем устройстве (спрейере). Этот метод позволяет выполнять закалку разнородных деталей сложной формы, благодаря чему весьма широко используется в промышленности.

Кроме вышеизложенных способов применяется и способ последовательного нагрева и охлаждения отдельных участков. Данный метод используют при закалке шеек коленчатых валов (последовательный нагрев и закалка одной шейки за другой), зубчатых колес с модулем более 6 (закалка «зуб за зубом»), кулачков распределительных валов и т.д.

### 11.3 Технология закалки с нагревом ТВЧ

Этот вариант поверхностной закалки путем быстрого индукционного нагрева лишь поверхностного слоя детали, который затем немедленно охлаждается водой. Глубина закалки определяется толщиной нагретого слоя. Сердцевина и глубинные слои нагреваются ниже температур образования аустенита, в них не происходит фазовых превращений и сохраняется исходная структура с тем же уровнем механических свойств. На рисунке 11.4 представлено распределение температуры и твердости по сечению поверхностно закаленных изделий.

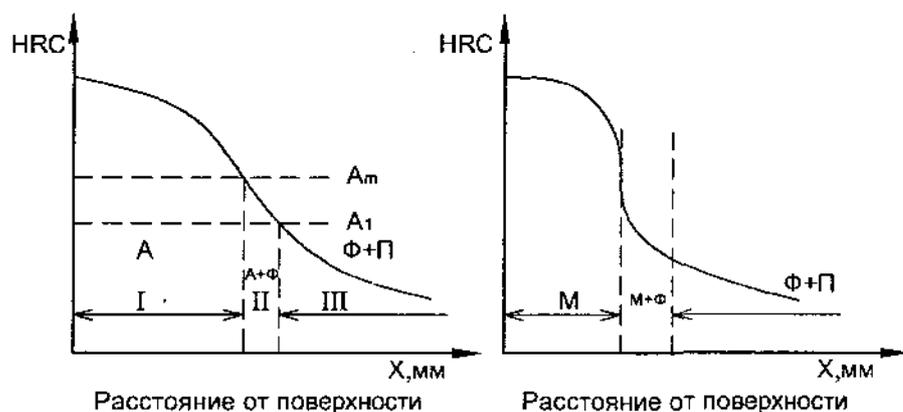


Рисунок 11.4 – Схема распределения температуры при нагреве, структура и твердость в сечении образца из доэвтектоидной стали, подвергаемой поверхностной закалке при поверхностном нагреве (x – расстояние от поверхности):

- а) распределение температуры и структуры после нагрева;
  - б) распределение твердости и структуры после охлаждения;
- I – A; II – A+Ф; III – Ф+П; IV – M; V – M+Ф

Такую закалку используют, в основном, для повышения износостойкости и усталостной прочности деталей. Из-за малой глубины закаленного слоя и быстрого падения прочности за его пределами общая прочность массивных (диаметром свыше 30 мм) деталей на кручение, изгиб и их контактная прочность не столь велики, как при объемно-поверхностной закалке.

К тому же на деталях сложной формы (шестерни среднего модуля, кольца подшипников качения и др.) этот вариант реализовать не удастся из-за трудностей с осуществлением равномерного нагрева упрочняемых поверхностей.

### **Технология объемно-поверхностной закалки при индукционном нагреве**

Этот метод состоит в согласовании прокаливаемости стали с размерами упрочняемых сечений детали.

Рассмотрим особенности объемно-поверхностной закалки.

1. Детали изготавливают из сталей, прокаливаемость которых должна быть ограничена таким образом, чтобы при глубоком (сквозном) нагреве и резком закалочном охлаждении на мартенсит закаливался лишь поверхностный слой требуемой толщины, аустенит в глубинных слоях при этом претерпевает распад на структуру сорбит или троостит закалки. Таким образом, за один цикл нагрева и охлаждения в деталях достигается сочетание упрочненного слоя с высокой твердостью (~HRC 62) при одновременном упрочнении глубинных слоев на твердость HRC 30-45. При этом в поверхностном слое возникают остаточные сжимающие напряжения (300-700 МПа), повышающие усталостную и контактную прочность деталей.

Прокаливаемость стали выбирают таким образом, чтобы глубина слоя закалки до структуры полумартенсита (50 % М+50 % Т) составляла 0,15 – 0,25 от диаметра или толщины упрочняемого сечения при заданных его размерах.

Поскольку прокаливаемость стали является основным фактором, определяющим глубину закаленного слоя, при объемно-поверхностной закалке применяют стали с ограниченной по верхнему и нижнему пределам прокаливаемостью, названные сталями регламентированной (РП) или пониженной (ПП) прокаливаемости.

В настоящее время применяют стали марок 58 (55 ПП) (для шестерен среднего модуля, крестовин кардана грузовых автомобилей и других деталей с размерами сечения упрочняемых элементов 10-20 мм), 47 ГТ (для полуосей грузовых автомобилей с диаметром стебля 45-50 мм), ШХ4-РП (для колец подшипников качения с толщиной стенки 14-20 мм).

Эти стали выплавляются с добавлением элементов – модификаторов (Al, Ti) и в связи с этим имеют малую склонность к росту зерна при нагреве. Эффект объемно-поверхностной закалки может быть получен на сталях с весьма широким диапазоном содержания углерода (0,2 1,2 %).

2. Детали подвергаются сравнительно медленному индукционному нагреву (за время порядка 20-180 сек) на глубину, не менее, чем в два раза превышающую требуемую глубину закалки. Сечения зон, определяющих нагрузочную способность деталей (например, зуб шестерни, поперечное сечение торсионов и др.), прогреваются насквозь.

3. Закалочное охлаждение осуществляется быстро движущимся потоком воды (при скорости его движения относительно закаливаемой поверхности 10-30 м/сек). Применение интенсивного охлаждения является принципиально не-

обходимым для создания значительного перепада скоростей охлаждения по сечению деталей, что обеспечивает стабильность глубины закаленного слоя при плавочных колебаниях прокаливаемости стали. По сравнению с душем охлаждение потоком воды является более равномерным; охлаждающее устройство не требует столь тщательного ухода.

Таблица 11.3 - Типовые детали машин, упрочняемые закалкой при индукционном нагреве

№ п/п	Детали	Рекомендуемая сталь	Толщины закаленного слоя, мм	Твердость, HRC	Примечания
1	2	3	4	5	6
Детали металлорежущих станков					
1	Валы	45, 40X,	1,0-1,6	48-56	
2	Винты передач винт-гайка качения	50XФА 8XФ	2-8	58-62	Толщина слоя зависит от шага резьбы
3	Шпиндели с опорами на подшипники качения	45	1,0-1,8	45-55	
4	Кулачки, копиры	45, 40X	1,0-1,8	48-56	
5	Средненапряженные ( $\sigma_{изг}=250-450$ МПа) зубчатые колеса	40X	2-3 ниже впадины зуба	48-54	Для колес $cm=1-6$ мм
Детали автомобиля					
1	Коленчатый вал двигателей:				Предварительная нормализация  Шатунные шейки
	бензиновых	45	2,6-6,5	52-62	
	дизельных	50Г	3-4	52-62	
	особо нагруженных дизельных	50XФА	3-4	52-56	
2	Распределительный вал грузового автомобиля	45	2-3	52-62 46-56 56-62	Кулачки Шестерни Опорные шейки и эксцентрики

1	2	3	4	5	6
3	Червяки рулевого управления, втулка шатунов, ролики, колодки тормоза, ось коромысла клапана	45	1,0-2,5	56-60	
4	Тонкие оси (штоки амортизаторов)	45	4	56-58	Закалка в вертикальном положении
5	Шаровые пальцы	55,40Х	5% диаметра на сторону	56	Контурная закалка сферы
6	Зубчатые муфты и винты	50ХМ	1,5	58-62	Закалка зубьев
7	Крестовина карданного вала грузового автомобиля	58 (55ПП)	1,5 (на галтели)	58-62(на концах шипов 60-66)	
8	Цилиндрические ведомые шестерни	58	1,0-2,5	58-63	Закалка зубчатого венца
9	Полуоси заднего моста грузового автомобиля	47ГТ	≥6 по впадине ≥4 шлиц		

### Отпуск стали после поверхностной закалки при индукционном нагреве

Поверхностно закаленные детали подвергают, как правило, низкому отпуску при температурах 150- 250 °С. Такой отпуск обеспечивает повышение (в 1,5-2 раза) прочности закаленной стали, сохраняет в поверхностных слоях остаточные напряжения сжатия и не приводит к существенному снижению твердости.

Отпуск, в основном, выполняют в электропечах или в масляных ваннах. Продолжительность отпуска – 1,5-3 часа, в зависимости от размеров детали.

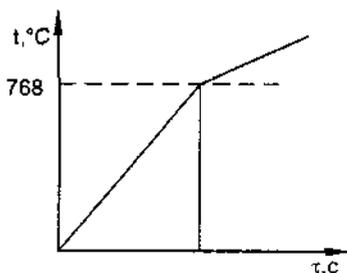
Все большее применение находит электроотпуск при индукционном нагреве. Этот отпуск осуществляется при повышенной температуре (на 50-100 °С по сравнению с отпуском в печи, но за меньшее время (десятки секунд)).

Весьма эффективно применение самоотпуска, осуществляемого путем прерывания закалочного охлаждения в момент, когда в поверхностных слоях уже произошло мартенситное превращение, а температура сердцевины еще существенно выше температуры  $M_n$ . После прекращения охлаждения поверхность детали разогревается за счет тепла, оставшегося в глубинных слоях и в сердцевине, таким образом, происходит отпуск поверхностных слоев.

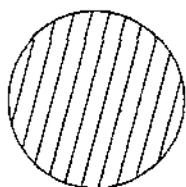
Индукционный нагрев сокращает длительность термообработки, создает условия для автоматизации процесса и обеспечивает выполнение термообработки непосредственно в поточной линии механической обработки без разрыва технологического цикла. Особенно эффективен этот метод для серийного и массового производства деталей.

### Контрольные вопросы

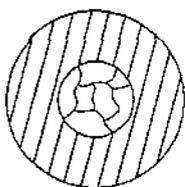
1. Объяснить, почему график индукционного нагрева имеет вид ломаной линии.



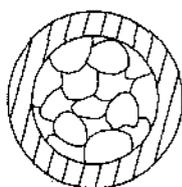
2. Объясните, при каких условиях нагрева ТВЧ цилиндрических образцов Ø25 мм получается указанная на рисунке глубина слоя.



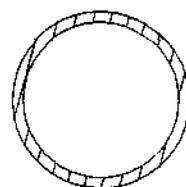
Объемная  
закалка



Глубина  
закалки 6 мм



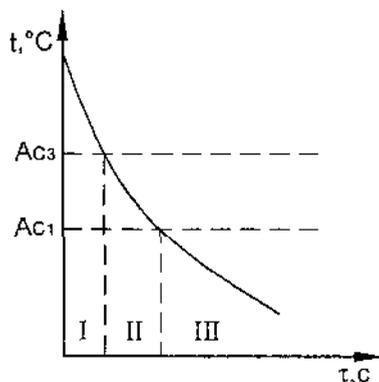
Глубина  
закалки 4 мм



Глубина  
закалки 0,6 мм

3. Укажите, в чем смысл использования для закалки ТВЧ специальных сталей типа «пп»: 58пп, 60пп. Что означает сочетание букв «пп»? Изобразите схематически, как будет выглядеть закаленный зуб шестерни, изготовленной из стали 55 и 55пп.

4. На основании графика объясните, как меняется структура по сечению закаленного ТВЧ изделия.



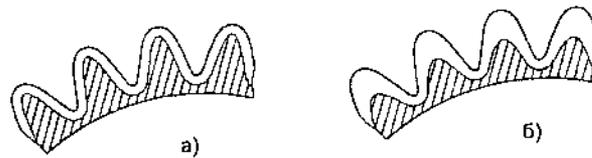
5. На основании чего выбирается температура нагрева при закалке ТВЧ? Какой фактор оказывает превышающее влияние на выбор температуры нагрева?

6. Какой термической обработке подвергаются стали перед закалкой ТВЧ?

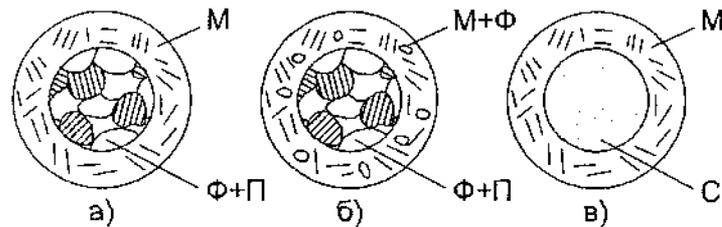
7. На чем основана закалка ТВЧ?
8. Какие преимущества в отношении механических свойств обеспечивает поверхностная закалка по сравнению с объемной?
9. Почему при печном нагреве температура закалки стали 40 составляет 840-860 °С; при нагреве ТВЧ со скоростью 250 °С/с – 880-920 °С, а при нагреве ТВЧ со скоростью 500 °С/с – 960-1020 °С?
10. Почему при закалке с нагревом ТВЧ происходит повышение усталостной прочности?
11. Укажите последовательность расположения микроструктуры стали по диаметру при объемно-поверхностной закалке, учитывая распределение  $v_{\text{охл}}$ .

### Индивидуальные задания

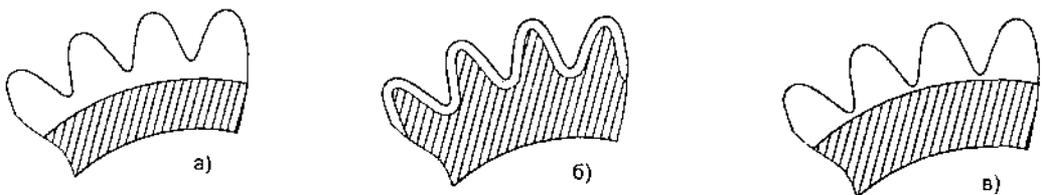
1. На схеме приведены макроструктуры двух шестерен после закалки с нагревом ТВЧ. Какая из них обработана при неправильном режиме и какие от этого могут быть последствия?



2. Поршневой палец, изготовленный из стали 60пп, подвергли объемно-поверхностной закалке ТВЧ. Какую микроструктуру будет иметь этот палец? Обоснуйте Ваш выбор.



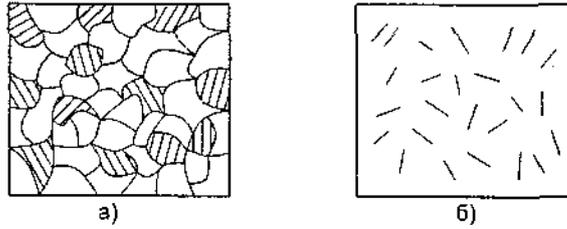
3. На схеме приведены макроструктура шестерен после закалки с нагревом ТВЧ. Учитывая, что частота тока одинакова, пояснить, почему толщина слоя разная и какая из шестерен наиболее надежна.



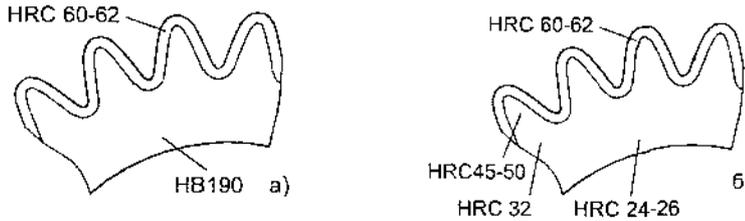
4. На рисунке приведены микроструктуры стали после термической обработки (закалки и отпуска) образца  $\varnothing 40$  мм на рисунке б) приведена микроструктура поверхностного слоя, на рисунке а) – сердцевины. Описать эти структуры, указать содержание углерода в стали, а также привести режим термической обработки и объяснить, почему сталь получила различную структуру

и твердость по сечению образца и связан ли этот результат с особенностями термообработки или со свойствами углеродистой стали.

5. На рисунке приведены микроструктуры и указана твердость поверхностного слоя и сердцевины (по сечению) зубчатых колес высотой 60 мм, закаленных двумя способами – закалкой с нагревом ТВЧ и объемной закалкой.



Сравнить характер распределения закаленного слоя поверхности и твердость зубчатых колес и указать, какой способ обработки был применен для каждого из них. Рекомендовать режим последующего отпуска для каждого из зубчатых колес.



6. Закалка с использованием ТВЧ для стали 40Г2 была выполнена по трем режимам:

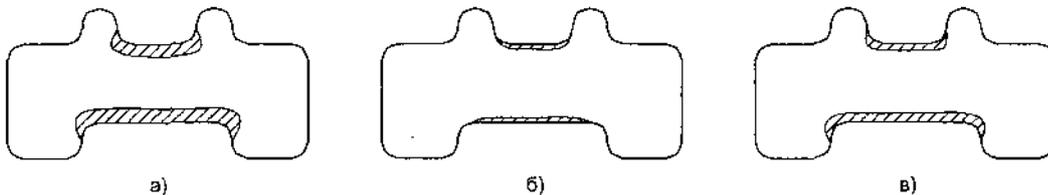
- а) нагрев 30 °C/с, закалка 780 °C в воде;
- б) нагрев 50 °C/с, закалка 850 °C в воде;
- в) нагрев 120 °C/с, закалка 950 °C в воде.

Объяснить, после какого режима шестерня будет обладать наилучшими эксплуатационными свойствами.

7. Завод изготавливает коленвалы из стали 40Г. Учитывая, что коленвал должен обладать высокой износостойкостью в шестернях, этот участок был подвергнут закалке ТВЧ, причем закаленный слой:

- а) охватывает галтель;
- б) не охватывает галтель;
- в) совпадает с границами галтели.

Какой из коленвалов будет обладать наилучшими эксплуатационными характеристиками? Обоснуйте свое мнение.



8. Завод изготавливает среднемодульные шестерни из стали 45 и упрочняет их способом закалки с нагревом ТВЧ. Однако впадина зубьев при такой обработке не закаливается, что сокращает срок службы колес. Рекомендовать марку стали и обработку, обеспечивающую закалку шестерен по всему контуру.

9. Завод проводит цементацию шестерен  $\varnothing 50$  мм из стали 20 в термическом цехе. Зубчатые колеса поступали в термический цех из механического, а затем вновь возвращались для окончательной обработки в механический цех. Для повышения производительности и сокращения длительности производственного цикла завод изменил марку стали и начал выполнять закалку с индукционного нагрева, что позволило проводить термообработку непосредственно в механическом цехе. Привести марку стали и указать технологию изготовления шестерен.

10. Завод изготавливает коленвалы  $\varnothing 35$  мм из стали 45Г2. Учитывая, что коленвал должен обладать повышенной износостойкостью не по всей поверхности, а только в шейках, то есть в участках, сопряженных с подшипниками и работающих на истирание, рекомендовать режим термообработки всего вала и высокопроизводительный режим последующей термообработки, повышающий твердость только в отдельных участках поверхностного вала. Привести структуру в поверхностном слое шейки вала и структуру в отдельных участках.

## РАЗДЕЛ 12

### ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

**Цель работы:** изучение поверхностного упрочнения деталей машин посредством химико-термической обработки.

#### 12.1 Сущность химико-термической обработки

Химико-термической обработкой (ХТО) называется поверхностного насыщения стали различными элементами путем их диффузии из внешней среды при высокой температуре. Цель ХТО – поверхностное упрочнение металлов и сплавов, и повышение их стойкости против воздействия внешних агрессивных сред.

Процессы ХТО состоят из трех стадий:

- диссоциации, которая заключается в распаде молекул насыщающего вещества, и образования активных атомов диффундирующего элемента. Например, диссоциация окиси углерода  $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$  или аммиака  $2\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H}_2 + 2\text{N}$  с образованием углерода и азота в качестве диффундирующих элементов;
- адсорбции, то есть контактирования атомов диффундирующего элемента с поверхностью стального изделия и образование химических связей с атомами металла;
- диффузии, то есть проникновения насыщающего элемента вглубь металла.

Чем выше концентрация диффузионного элемента на поверхности детали, тем более толщина слоя. Чем выше температура процесса, тем больше скорость диффузии атомов, а следовательно, возрастает толщина диффузионного слоя.

Различают следующие виды ХТО: цементация, азотирование, нитроцементация и т.д.

##### 12.1.1 Цементация

Цементацией называется процесс насыщения поверхностного слоя стальных изделий углеродом. Она осуществляется с целью получения высокой твердости на поверхности изделия при сохранении вязкой сердцевины и способствует повышению износостойкости и предела выносливости.

Цементация подвергают детали из низкоуглеродистых сталей (содержащих до 0,3 % С), работающих в условиях контактного износа, и знакопеременных нагрузок (втулки, поршневые пальцы, кулачки, эксцентрики, шестерни и т.д.).

Цементация осуществляется при температурах выше  $A_{C3}$  (900-950 °С). После цементации содержание углерода в поверхностном слое составляет 0,8-1,0 %. Более высокая концентрация углерода способствует охрупчиванию поверхностного слоя.

Цементованный слой имеет переменную концентрацию углерода по толщине, которая уменьшается от поверхности к сердцевине. В связи с этим после медленного охлаждения в структуре цементованного слоя можно различить три зоны:

- заэвтектоидную, состоящую из перлита и цементита вторичного;
- эвтектоидную, состоящую из перлита;
- доэвтектоидную, состоящую из перлита и феррита (рисунок 12.1).

Расстояние от поверхности, мм

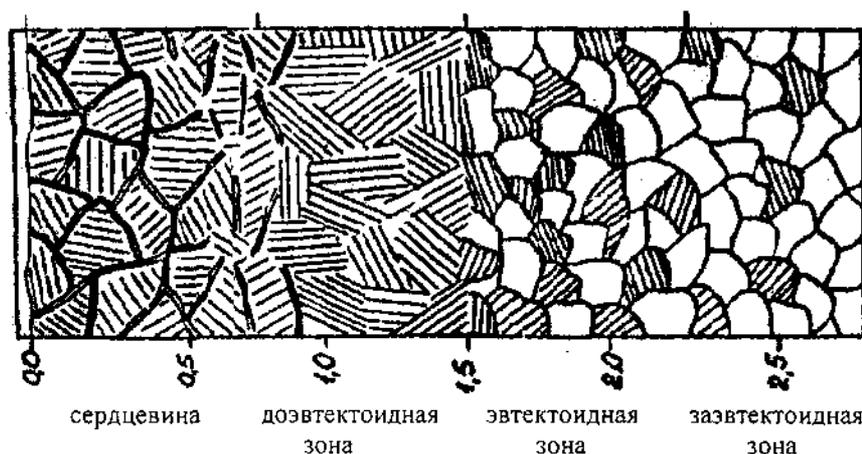


Рисунок 12.1 – Микроструктура цементованного слоя

За толщину цементованного слоя обычно принимают сумму заэвтектоидной, эвтектоидной и доэвтектоидной зон, содержащих 50 % перлита и 50 % феррита, что соответствует концентрации углерода 0,4 %. Обычно толщина слоя для большинства сталей составляет 0,8-1,4 мм.

Среда, в которой проводят цементацию, называется карбюризатором. При твердой цементации карбюризатором является древесный уголь, к которому добавляются активизаторы  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  в количестве 10-40 % от массы угля. Детали, подлежащие цементации, закладывают в металлический ящик, засыпают карбюризатором и помещают в печь. Продолжительность выдержки в печи берется из расчета роста слоя со скоростью 0,1 мм в час.

Например, слой толщиной в 1 мм получают за 10 часов. Контроль за процессом цементации и толщиной цементованного слоя осуществляется с помощью образцов той же марки стали, которые вставляют в отверстия цементационного ящика, периодически вынимают, ломают и по излому определяют толщину цементованного слоя.

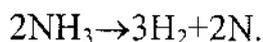
В настоящее время основным процессом цементации на заводах массового производства является газовая цементация. Стальные детали нагревают в газовых смесях, содержащих  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  и др. Газовая цементация происходит быстрее, так как не требует времени на прогрев ящика и карбюризатора. Слой толщиной 1 мм образуется за 6-7 часов.

Цементация стали не является окончательной технологической операцией, так как структура перлита наряду с цементитом в поверхностном слое не может обеспечить требуемой твердости. Поэтому все цементованные изделия подвергаются последующей термической обработке с целью получения на поверхности вместо перлита более твердого мартенсита.

### 12.1.2 Азотирование

**Азотированием** называется процесс насыщения поверхностного слоя азотом с целью получения в нем высокой твердости, износостойкости, повышенной усталостной прочности и сопротивления коррозии.

Процесс азотирования состоит в выдержке в течение длительного времени (до 60 часов) деталей в атмосфере аммиака при 500-600 °С. Аммиак при нагреве разлагается на азот и водород:



Активные атомы азота проникают в решетку  $\alpha$ -железа и диффундируют в ней. Однако это еще не обеспечивает высокой твердости.

Высокую твердость азотированному слою придают нитриды легирующих элементов – молибдена, алюминия. Наибольший эффект достигается при совместном легировании стали этими элементами – твердость азотированного слоя по Виккерсу достигает HV 1200, в то время, как после цементации и закалки твердость составляет не более HV 900. Поэтому азотированию обычно подвергают стали 38ХМЮА, 38Х2МЮА, 35ХМА, 38Х2Ю; некоторые стали, например, 3Х2В8, 5ХНМ, 4Х5МФС – штамповые.

Азотирование применяется после механической и окончательной термической обработки – закалки и высокого отпуска на структуру сорбит (улучшения). Эта структура, имеющая высокую прочность и вязкость, сохраняется в сердцевине детали и после азотирования. Высокая прочность металлической основы необходима для того, чтобы тонкий и хрупкий азотированный слой, содержащий дисперсные нитриды, не продавливался при работе детали.

Глубина азотированного слоя составляет 0,15-0,6 мм; скорость азотирования из-за низких температур значительно меньше, чем при цементации, и составляет всего 0,01 мм/ч и менее. В азотированном слое присутствуют различные азотистые фазы в соответствии с диаграммой Fe-N и температурой процесса. При температуре азотирования 500-550 °С легируемых сталей происходит последовательное образование насыщенных азотом слоев  $\alpha$ , затем  $\gamma'+\alpha$ , затем  $\epsilon+\gamma'+\alpha$ , где  $\alpha$  - азотистый феррит,  $\gamma$  - азотистый аустенит,  $\gamma'$  - нитрид  $\text{Fe}_4\text{N}$ ,  $\epsilon$  - нитрид  $\text{Fe}_2\text{N}$ .

Одновременно происходит образование нитридов легирующих элементов (CrN, MoN, AlN и др.). По сравнению с цементацией азотирование имеет ряд преимуществ и недостатков. К преимуществам относятся более высокая твердость и износостойкость поверхностного слоя, сохранение им высоких свойств при нагреве до 300-500 °С (при цементации – до 200 °С), а также высокие антикоррозионные свойства. В азотированном слое создаются остаточные напряже-

ния сжатия, что повышает усталостную прочность. Кроме того, после азотирования не требуется закалки, что позволяет избежать сопутствующих закалке дефектов.

Недостатками азотирования по сравнению с цементацией является более высокая длительность процесса и необходимость применения дорогостоящих легированных сталей. Поэтому азотирование применяют в случае изготовления более ответственных деталей, от которых требуется высокое качество поверхностного слоя.

Азотирование применяют в машиностроении для изготовления мерительного инструмента, гильз, цилиндров, зубчатых колес, шестерен, втулок, коленчатых валов, штоков и др.

### 12.1.3 Нитроцементация и цианирование стали

Если процесс одновременного насыщения стали углеродом и азотом осуществляют в газовой среде, то его называют **нитроцементацией**, а если в жидкой среде – **цианированием**.

Газовая среда обычно состоит из смеси  $\text{CH}_4$  и  $\text{NH}_3$ , жидкая – содержит расплавленные цианистые соли  $\text{NaCN}$  или  $\text{KCN}$ . Состав и свойства слоя зависят от температуры проведения процесса.

Газовая нитроцементация – один из наиболее прогрессивных технологических процессов. На многих заводах нитроцементация преобладает над цементацией. Например, на ВАЗе лишь 5,5 % деталей подвергается цементации, а 94,5 % - нитроцементации. Главным преимуществом нитроцементации является лучшая прирабатываемость нешлифуемых деталей и повышение прочности.

В зависимости от температуры процесса различают высокотемпературную (840-860 °С) и низкотемпературную (500-600 °С) нитроцементацию. Чем выше температура процесса, тем меньше насыщение поверхностного слоя азотом и больше углеродом. Совместная диффузия углерода и азота протекает быстрее, чем у этих элементов в отдельности. Для получения слоя глубиной 0,1-1,0 мм при высокотемпературной нитроцементации требуется 1-10 часов. Высокотемпературной нитроцементации подвергают цементуемые легированные стали.

Она имеет ряд преимуществ перед цементацией: меньше продолжительность процесса для получения слоя заданной толщины; меньше деформация и коробление; более высокое сопротивление износу и повышенная усталостная прочность.

Структура поверхностного слоя при высокотемпературной нитроцементации такая же, как при цементации, поэтому для получения максимально возможной твердости и износостойкости применяют последующую термообработку – закалку и низкий отпуск на структуру мартенита (мартенсит-аустенит).

Низкотемпературное цианирование осуществляется при температурах 540-560 °С. Ему подвергается инструмент из быстрорежущих сталей для повышения стойкости при резании. При обработке инструмента в расплавленных

цианистых солях в течение 1-1,5 часов получают слой толщиной 0,02-0,04 мм твердостью HV 950-1100.

## **12.2 Требования, предъявляемые к изделиям, подвергнутым ХТО**

Ежегодно в отрасли ХТО подвергается более 60 % всех термически обрабатываемых деталей, и наиболее массовые из них – шестерни.

Тяжелонагруженные шестерни в условиях эксплуатации подвергаются воздействию сил трения, циклических изгибающих и контактных, статических изгибающих и многоконтактных ударных нагрузок. Для устойчивой работы шестерни необходимо высокое сопротивление распространению трещин, возникающих во впадинах зубьев шестерен от воздействия изгибающих напряжений и распространяющихся вглубь.

Для обеспечения противостояния ударным и циклическим нагрузкам, высокого предела выносливости требуется глубокая прокаливаемость и упрочнение не только поверхностного слоя, но и сердцевины, получение более однородной и мелкозернистой структуры по сечению зуба и в сердцевине. Например, в результате предварительной термической обработки (нормализации), вызывающей измельчение зерна в слое и сердцевине, одновременно повышаются статическая, изгибо-усталостная и ударно-усталостная прочность.

Для сопротивления контактным напряжениям и износу требуется обеспечение высокой твердости поверхностного слоя. Практика показала, что наиболее частая причина выхода из строя шестерни – усталостные выкрашивания (питтинги) на эвольвентных поверхностях зубьев вследствие несоблюдения условий ХТО и термической обработки и неудачного выбора марки стали для изготовления изделий.

## **12.3 Термическая обработка наиболее распространенных деталей машин после цементации и нитроцементации**

После цементации и высокотемпературной нитроцементации из-за длительной выдержки при высоких температурах сталь приобретает крупнозернистость. Это обстоятельство необходимо учитывать при назначении обязательной термической обработки. Целью термообработки является упрочнение поверхности с одновременным измельчением зерна в сердцевине и сохранением ее вязкости. Выбор режима термической обработки определяется назначением детали, наследственной природой стали и ее химическим составом. Стали по способу термической обработки можно объединить в три группы:

первая группа – углеродистые и низколегированные (15,20, 20X, 30XP, 20XM, 18XГ, 20XН и др.);

вторая – содержащие титан, наследственно-мелкозернистые стали типа ХГТ, сохраняющие при нагреве до 950-1000 °С мелкое аустенитное зерно (18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 20ХНТ, 20ХГНР и др.);

третья – высоколегированные хромоникелевые стали, применяемые для весьма ответственных деталей (12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4ВА, 18Х2Н4МА и

др.). В качестве заменителей хромоникелевых цементуемых сталей используют стали со сниженным содержанием никеля (15ХГНМ, 15ХГН2Т, 25ХГНМТ, 25ХГНМАЮ и др.), обладающие высокой прокаливаемостью и низкой склонностью к росту аустенитного зерна, что позволяет повысить температуру цементации.

Стали первой группы (углеродистые и низколегированные) при закалке с цементационного нагрева ( $t=950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) приобретают низкие механические свойства, так как крупное зерно аустенита, выросшее в результате длительной цементации, дает в процессе охлаждения крупноигльчатый мартенсит с большим количеством остаточного аустенита в поверхностном слое и крупнозернистую феррито-перлитную структуру в сердцевине. Такая термообработка (вариант 1) на рисунке 12.2 приемлема только для неответственных деталей машин. Твердость поверхности будет около HRC 60, сердцевины – HRC 15-30.

В деталях из углеродистой стали, вследствие ее слабой прокаливаемости, высокую твердость получает лишь поверхностный цементованный слой, а сердцевина не упрочняется, в ней сохраняется феррито-перлитная структура. В низколегированных сталях в сердцевине образуется троостит.

Стали с титаном типа ХГТ (вторая группа) можно закалывать сразу после цементационного нагрева, применяя подстуживание в печи (при цементации с 950 до 860  $^{\circ}\text{C}$ , а при нитроцементации с 860 до 820  $^{\circ}\text{C}$ ). При подстуживании выделяются карбиды или карбонитриды, в результате чего содержание легирующих элементов в аустените понижается. Это вызывает повышение температуры конца мартенситного превращения (точка МК) и, следовательно, количество остаточного аустенита в закаленной стали уменьшается. После закалки твердость на поверхности составляет HRC 60 и выше; сердцевины HRC 35-45. В сердцевине образуется бейнитная структура, что повышает прочность.

Хромоникелевые стали (третья группа) относятся к наследственно-крупнозернистым, поэтому к ним нельзя применять закалку с использованием температуры цементационного нагрева. Применяемые на практике режимы термообработки этих сталей более сложные (варианты 2 и 3 на рис. 12.2).

Вариант 2 применяется для деталей менее ответственного назначения, когда не предъявляется особо высоких требований к структуре. В этом случае детали после цементации подвергаются охлаждению на воздухе, а затем однократной закалке с нагревом выше  $A_{C3}$  и низкому отпуску при 150-180  $^{\circ}\text{C}$ . При этом происходит измельчение зерна сердцевины за счет фазовой перекристаллизации, однако в поверхностном слое, где концентрация углерода 0,8-1,0 %, образуется крупноигльчатый мартенсит и большое количество остаточного аустенита, так как температура нагрева выше  $A_{C3}$  для этого слоя является перегревом. Твердость после обработки по варианту 2 неудовлетворительная (HRC 56 и менее).

Тяжелонагруженные детали ответственного назначения обрабатывают по варианту 3 (12.2), который приемлем не только для сталей третьей группы, но и для низколегированных сталей первой группы. Стали третьей группы называют иногда высокопрочными цементуемыми сталями, так как сердцевина изделий

из этих сталей сильно упрочняется при термообработке вследствие образования структур мартенсита.

Механические свойства сердцевины цементуемых сталей приведены в таблице 12.1.

Таблица 12.1 - Механические свойства сердцевины цементуемых сталей

Марка стали	Структура сердцевины	Механические свойства			
		$\sigma_{в}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	KCU, gm/m <sup>2</sup>	HRC
10, 15, 20	Феррит и перлит	400-470	250-300	10-15	15-20
15X, 20XM	Феррит и перлит	750-850	600-700	10-12	25-30
18XГТ, 20X2H4	Нижний бейнит	1200-1300	1000-110	8-14	45-55
18X2H4MA	Мартенсит	1300	1100		

Стали со сравнительно невысоким содержанием легирующих элементов (типа 30XГТ, 25XГНМТ), но с повышенным содержанием углерода (0,25-0,30 %) можно приравнять к высокопрочным.

Длительность и сложность технологии термической обработки, особенно хромо-никелевых сталей, вызывает резкое увеличение коробления деталей из-за многократности повторных нагревов, в результате чего значительно снижается реальная долговечность.

На практике при использовании хромоникелевых сталей наблюдаются противоречия между высокими механическими свойствами этих сталей и невысокой долговечности реальных деталей. По этой причине наметилась тенденция к снижению содержания никеля до 1 % и использованию комплексно-легированных сталей. Однако, при изготовлении крупногабаритных деталей, работающих одновременно при больших знакопеременных и ударных нагрузках, эти стали остаются пока неизменными, так как обладают наиболее высоким запасом вязкости. Подбором технологии ХТО можно воздействовать на величину коробления. Источником коробления являются внутренние напряжения, возникающие в деталях во время всего цикла ХТО: термические, формирующиеся в процессе нагрева и охлаждения; образующиеся в результате структурных превращений и наследованные от предварительной механической или термической обработки. С целью уменьшения и стабилизации деформации применяют ПТО, позволяющую снять наклеп, вызванный механической обработкой, и получить более равновесные и однородные структуры. Для превращения остаточного аустенита в мартенсит используют обработку холодом при температурах 60-70 °С.

Детали, наиболее чувствительные к короблению, подвергают закалке в оправках, штампах, прессах.

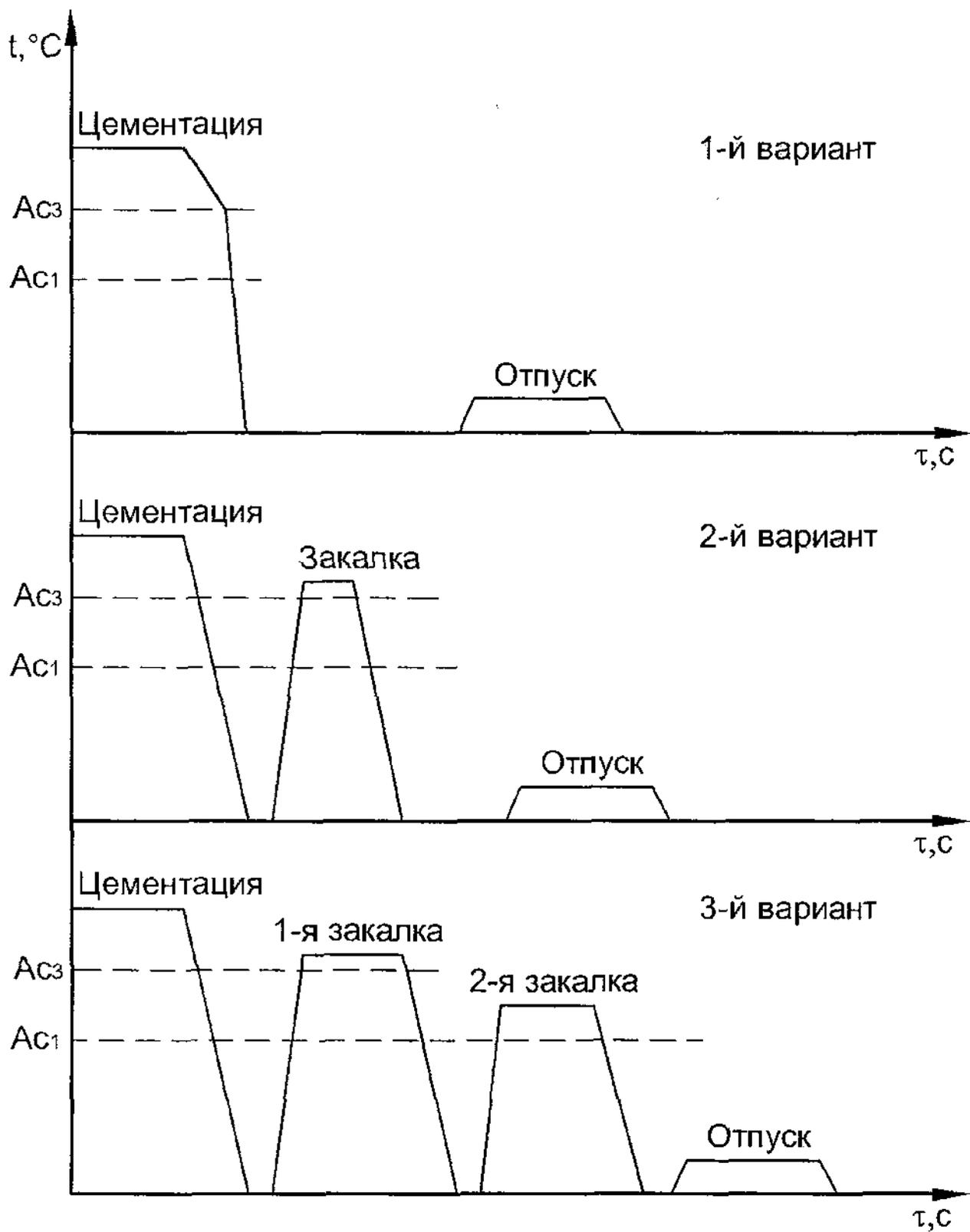


Рисунок 12.2 – Режимы термической обработки после цементации стали

## Индивидуальные задания

### Вариант №1

Приведите и обоснуйте схему термообработки, с помощью которой можно получить в цементуемой стали 12ХН3А высокую твердость и мелкозернистую, прочную сердцевину. Какую структуру будет иметь эта сталь: а) после цементации; б) после термообработки?

### Вариант №2

Объясните, как изменится режим термообработки сталь 20, если ее подвергнуть: а) цементации в твердом карбюризаторе; б) газовой цементации. Какую структуру будет иметь эта сталь после цементации и после термообработки по каждому из вариантов?

### Вариант №3

Зарисуйте схематически микроструктуру сталей 20 и 20ХН3А после цементации и последующей закалки. Укажите различие в микроструктуре. Приведите график термообработки этих сталей и укажите назначение операций.

### Вариант №4

Рекомендуйте режим термической обработки для малоответственных цементованных деталей из стали 20Х, работающих в условиях трения. Начертите график термической обработки и укажите структуру поверхностного слоя до и после термообработки.

### Вариант №5

Шестерни из стали 18ХГТ подвергали ранее газовой цементации, а затем перешли на нитроцементацию. Укажите, какие преимущества имеет нитроцементация перед цементацией. Начертите график термической обработки стали 18ХГТ, применяемой после нитроцементации.

### Вариант №6

Закалка с цементационного нагрева является наиболее дешевой термической обработкой цементованных изделий. Изобразите график этой термической обработки и укажите, в каких случаях ее можно применить. Какие стали можно подвергнуть этой термообработке?

### **Вариант №7**

Из сталей: ст5, 1, 38ХМЮА, 40Х – выберите сталь для изготовления азотируемых деталей, от которых требуется максимальная твердость. Объясните, почему Вы выбрали именно эту сталь. Укажите, какая термообработка применяется: а) до азотирования; б) после азотирования.

Почему температура азотирования ниже, чем температура цементации, а длительность процесса – больше? Какие детали Вы подвергли бы азотированию?

### **Вариант №8**

Рекомендуйте прогрессивный технологический процесс поверхностного упрочнения стали 20ХНТЦ. Каково преимущество этой стали перед сталью 20ХН? Приведите схему термической обработки стали 20ХНТЦ и укажите назначение операций.

### **Вариант №9**

Рекомендуйте вид ХТО и последующей термической обработки для ответственной тяжелонагруженной шестерни из стали 25ХГНМГ. При каких условиях будет обеспечена высокая работоспособность этой шестерни?

### **Вариант №10**

Сверлам, изготовленным из стали Р6М5, необходимо обеспечить высокую стойкость при резании. Выберите способ ХТО, позволяющий повысить стойкость сверл. Укажите, за счет каких факторов будет обеспечено повышение стойкости.

### **Вариант №11**

Червяк редуктора диаметром 35 мм можно изготовить из цементуемой и нецементуемой стали. Обосновать, в каких случаях целесообразно применять цементуемую и в каких – нецементуемую сталь. Выбрать марку цементуемой и нецементуемой углеродистой качественной стали, рекомендовать режим ХТО и термической обработки и сопоставить механические свойства стали обоих типов в готовом изделии.

### **Вариант №12**

Заводу необходимо изготовить шпиндели для шлифовальных станков, работающих в условиях износа и имеющих минимальную деформацию при окончательной обработке. Выбрать сталь для шпинделей и рекомендовать режим упрочнения. Указать структуру и твердость поверхностного слоя и сердцевины в готовом изделии.

### Вариант №13

Завод изготовил партию зубчатых колес из углеродистой цементуемой стали, однако колеса получили деформацию при закалке. Выбрать сталь и рекомендовать режим термической обработки для получения твердости на поверхности не ниже HRC 58-60, а в сердцевине – предел прочности не ниже 400 Мпа ( $40 \text{ кгс/мм}^2$ ), и ударную вязкость не ниже 0,5-0,6 мДж/м<sup>2</sup> и предупреждения брака по деформации.

Указать структуру стали в сердцевине и поверхностном слое после окончательной обработки и указать причины, вызывающие деформацию.

### Вариант №14

Стаканы цилиндров мощных моторов должны иметь особо повышенную износостойкость на рабочей поверхности и высокую твердость (HV 950-1000) и высокие механические свойства в сердцевине (предел текучести должен быть не ниже 750 Мпа ( $75 \text{ кгс/мм}^2$ )). Указать марку стали, применяемую для этого, и рекомендовать режим термической и ХТО.

### Вариант №15

Втулки из стали 20 должны обладать высокой твердостью на поверхности. Высокой прочности по ТУ не требуется. Рекомендуйте способ ХТО и термообработки этих деталей.

### Вариант №16

Шестерни из стали 20ХНЗА должны обладать высокими механическими свойствами в сердцевине и высокой твердостью на поверхности. Рекомендуйте схему термической обработки и ХТО этой стали и укажите назначение операций.

## ТЕСТЫ

### Тест № 1

1. Какие процессы происходят при ХТО?

**Ответы:** 1) диффузия; 2) диссоциация; 3) абсорбция; 4) адсорбция; 5) распад химических соединений.

2. Какие свойства повышает азотирование?

**Ответы:** 1) износостойкость; 2) коррозионную стойкость; 3) ударную вязкость; 4) относительное удлинение; 5) предел выносливости.

3. Какова структура цементованного слоя на поверхности образца?

**Ответы:** 1) П; 2) П+Ц<sub>2</sub>; 3) Ц<sub>2</sub>+П+Ф; 4) П+Ф.

4. Какая из конструкционных сталей относится к цементуемой?

**Ответы:** 1) 70СЗА; 2) 40ХГР; 3) 38ХМЮА; 4) 20ХНТЦ.

5. Какая термообработка требуется после азотирования стали?

**Ответы:** 1) закалка; 2) закалка + высокий отпуск; 3) закалка + низкий отпуск; 4) дополнительная термообработка не требуется.

### Тест № 2

1. При каком виде ХТО термическая обработка предшествует химико-термической?

**Ответы:** 1) цементации; 2) нитроцементации; 3) азотировании.

2. Какая насыщающая среда при ХТО является наилучшей?

**Ответы:** 1) твердая; 2) жидкая; 3) газовая.

3. От каких факторов зависит глубина диффузионного слоя, образующего на поверхности детали при ХТО?

**Ответы:** 1) температуры; 2) давления; 3) активности насыщающей среды; 4) состава стали; 5) длительности процесса.

4. Какая из сталей относится к азотируемой?

**Ответы:** 1) 20ХН3А; 2) 18ХГТ; 3) 40ХГР; 4) 38ХМЮА.

5. В сердцевине какой стали после цементации будут достигнуты более высокие механические свойства?

**Ответы:** 1) 20Х; 2) 40ХНМ; 3) 18Х2Н4ВА; 4) Х12Ф.

### Тест № 3

1. В каких случаях можно применить закалку с температуры цементационного нагрева?

**Ответы:** 1) если проводится цементация в твердом карбюризаторе; 2) если проводится газовая цементация; 3) если проводится газовая цементация и используются наследственно-мелкозернистые стали; 4) если производится нитроцементация.

2. Каково оптимальное содержание углерода в поверхностном слое после цементации?

**Ответы:** 1) 0,6-0,8 %; 2) 0,8-1,0 %; 3) 1,1-1,2 % С.

3. Какая из конструкционных сталей является цементуемой?

**Ответы:** 1) 40ХН; 2) 5ХНВ; 3) 12ХН3А; 4) 65СГ.

4. Применяется ли термообработка после азотирования?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

5. Как называется насыщающая среда, в которой проводят цементацию?

**Ответы:** 1) карбюризатор; 2) адсорбент; 3) ингибитор; 4) активатор.

## Тест № 4

1. Почему цементация не является окончательной технологической операцией?

**Ответы:** 1) так как изделия нуждаются в шлифовке и доводке; 2) так как цементация сопровождается деформацией изделий; 3) так как структуру перлита наряду с цементитом не может обеспечить требуемой твердости.

2. За счет каких химических соединений достигается высокая твердость при азотировании?

**Ответы:** 1) карбидов; 2) нитридов; 3) карбонитридов.

3. Почему скорость азотирования меньше, чем скорость нитроцементации?

**Ответы:** 1) так как диффузионная подвижность атомов азота меньше, чем атомов углерода; 2) так как температура азотирования меньше, чем температура цементации; 3) так как состав азотируемой стали отличается от состава цементуемой стали.

4. Какая из видов ХТО относится к наиболее прогрессивным технологическим процессам?

**Ответы:** 1) твердая цементация; 2) газовая цементация; 3) нитроцементация; 4) азотирование; 5) цианирование.

5. От чего зависит структура нитроцементованной стали?

**Ответы:** 1) от температуры нитроцементации; 2) от химического состава стали.

## Тест № 5

1. Какие преимущества имеет нитроцементация перед цементацией?

**Ответы:** 1) меньше продолжительность процесса для получения слоя заданной толщины; 2) меньше деформации и коробление; 3) более высокая пластичность диффузионного слоя; 4) более высокое сопротивление износу и повышенная усталостная прочность.

2. Какова структура цементованного слоя (0,8 %C) углеродистой стали после закалки?

**Ответы:** 1) мартенсит и карбиды; 2) мартенсит и аустенит; 3) мартенсит и перлит; 4) перлит и аустенит.

3. Какая из конструкционных сталей относится к азотируемым?

**Ответы:** 1) 38Х2МЮА; 2) 38ХСТ; 3) 35ГТРЛ.

4. Почему при цементации сердцевина деталей должна быть мягкой и вязкой?

**Ответы:** 1) чтобы обеспечить высокое сопротивление распространению трещин; 2) чтобы обеспечить высокую контактную прочность; 3) чтобы обеспечить высокий предел усталости.

5. Чем объясняется крупнозернистость сталей после цементации в твердом карбюризаторе?

**Ответы:** 1) высокой температурой; 2) длительностью процесса; 3) наследственной природой стали; 4) содержанием углерода в стали.

## Тест № 6

1. В чем преимущества легированных цементуемых сталей перед углеродистыми?

**Ответы:** 1) обеспечивается более глубокая прокаливаемость; 2) обеспечивается упрочнение сердцевины; 3) увеличивается противостояние ударным нагрузкам; 4) повышается сопротивление износу.

2. Какие цели преследует термическая обработка, применяемая после цементации?

**Ответы:** 1) упрочнение поверхности; 2) повышение вязкости поверхностного слоя; 3) измельчение зерна в сердцевине; 4) улучшение обрабатываемости резанием.

3. Какая сталь обладает низкой склонностью к росту зерна при нагреве?

**Ответы:** 1) 20Х; 2) 12ХНЗА; 3) 25ХГТ; 4) 20Х2Н4ВА.

4. После какой ХТО термическая обработка не является конечной операцией?

**Ответы:** 1) цементации; 2) нитроцементации; 3) азотирования.

5. Какие легирующие элементы должны входить в состав азотируемых сталей для получения в них высокой твердости поверхностного слоя?

**Ответы:** 1) увеличивающие прокаливаемость; 2) карбидообразующие; 3) нитридообразующие.

## Тест № 7

1. Какая из сталей - цементуемая?

**Ответы:** 1) 38ХМЮА; 2) 65СГ; 3) 20Х; 4) Х12; 5) У7.

2. Какими факторами определяется выбор режима термической обработки после цементации?

**Ответы:** 1) составом стали; 2) назначением детали; 3) наследственной природой; 4) карбюризатором.

3. Как уменьшить и стабилизировать деформацию, возникающую при высокотемпературной цементации?

**Ответы:** 1) применять закалку в воду; 2) применять закалку в горячее масло; 3) применять ПТО; 4) применять обработку холодом.

4. Как будет изменяться структура цементованного слоя по направлению от поверхности к сердцевине?

**Ответы:** 1)  $P + \Phi \rightarrow P \rightarrow P + C_2$ ; 2)  $P \rightarrow P + C_2 \rightarrow \Phi + P$ ; 3)  $P + C_2 \rightarrow P \rightarrow \Phi + P$ .

5. Какой отпуск применяется после закалки нитроцементованных сталей?

**Ответы:** 1) низкий; 2) средний; 3) высокий.

## Тест № 8

1. Какая термическая обработка применяется перед азотированием?

**Ответы:** 1) закалка и низкий отпуск; 2) отжиг; 3) нормализация; 4) улучшение.

2. При какой ХТО в качестве карбюризатора применяется жидкая среда?

**Ответы:** 1) нитроцементации; 2) азотировании; 3) цианировании; 4) цементации.

3. Какую структуру имеет сердцевина стали 18Х2Н4ВА после цементации и последующей термообработки?

**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) троостит; 3) мартенсит; 4) мартенсит и аустенит.

4. Сколько углерода содержат цементуемые стали?

**Ответы:** 1) 0,1-0,2 %; 2) 0,3-0,5 %; 3) 0,5-0,7 %.

5. При какой ХТО достигается наивысшая твердость поверхностного слоя?

**Ответы:** 1) цементации; 2) нитроцементации; 3) азотировании; 4) цианировании.

### Тест № 9

1. Чем определяется интенсивность процесса диффузионного насыщения при ХТО?

**Ответы:** 1) концентрацией диффундирующего элемента на поверхности детали; 2) температурой процесса; 3) скоростью нагрева; 4) содержанием углерода в стали.

2. Какую сталь рекомендуется использовать для изготовления азотируемых деталей, от которых требуется максимальная твердость?

**Ответы:** 1) ст5; 2) 15; 3) 40Х; 4) 38ХМЮА.

3. Какой вид ХТО является наиболее эффективным для повышения стойкости режущего инструмента?

**Ответы:** 1) цементация; 2) азотирование; 3) нитроцементация; 4) цианирование.

4. Для каких сталей можно использовать температуру цементационного нагрева для последующей закалки?

**Ответы:** 1) 20ХН; 2) 20ХГНР; 3) 20ХН3А; 4) 20Х2Н4ВА.

5. Какую структуру будет иметь сердцевина детали из стали 20 после цементации и последующей закалки?

**Ответы:** 1) феррит и перлит; 2) троостит; 3) мартенсит; 4) мартенсит и аустенит.

### Тест № 10

1. Какова температура твердого азотирования?

**Ответы:** 1) 500-850 °; 2) 850-870 °; 3) 600-800 °; 4) 500-600 °С.

2. Почему структура сорбита, имеющая высокую прочность и вязкость, характерна для сердцевины азотируемых сталей, а для цементованных - нет?

**Ответы:** 1) так как цементуемые стали после закалки подвергаются низкому отпуску, а азотируемые - высокому; 2) так как цементация и азотирование проводятся при разных температурах; 3) так как термообработка азотируемых сталей проводится до азотирования, а цементуемых - после цементации.

3. Каковы недостатки цементуемых хромоникелевых сталей?

**Ответы:** 1) являются наследственно крупнозернистыми; 2) имеют низкие механические свойства в сердцевине; 3) склонны к короблению при использовании многократных нагревов.

4. Для чего применяют обработку холодом цементованных деталей?

**Ответы:** 1) для превращения аустенита в мартенсит; 2) для уменьшения твердости; 3) для предотвращения трещинообразования; 4) для повышения вязкости сердцевины.

5. При каком процессе деформация и коробление деталей максимальны?

**Ответы:** 1) цементации; 2) нитроцементации; 3) азотировании.

### Тест № 11

1. Для чего производится цементация легированных сталей?

**Ответы:** 1) для повышения поверхностной твердости; 2) для упрочнения сердцевины.

2. Какие стали подвергаются азотированию?

**Ответы:** 1) содержащие карбидообразующие элементы; 2) содержащие нитридообразующие элементы.

3. Как меняется структура образца, подвергнутого цементации в направлении от поверхности к сердцевине?

**Ответы:** 1)  $\text{Ц} \rightarrow \text{П} \rightarrow \text{Ф} + \text{П} \rightarrow \text{Ф}$ ; 2)  $\text{П} + \text{Ц} \rightarrow \text{П} \rightarrow \text{П} + \text{Ф} \rightarrow \text{Ф} + \text{П}$ ;

3)  $\text{П} \rightarrow \text{П} + \text{Ц} \rightarrow \text{Ф} + \text{П} \rightarrow \text{Ф} + \text{Ц}_3$ .

4. Какая из сталей относится к азотируемой?

**Ответы:** 1) 65СГ; 2) 40ХГР; 3) 20ХНТЦ; 4) 38ХМЮА.

5. Какова температура твердостной цементации?

**Ответы:** 1) 700-900 °С; 2) 900-1000 °С; 3) 1000-1200 °С.

### Тест № 12

1. Выхлопные клапаны автомобилей должны обладать жаростойкостью (до 300-400 °С) и коррозионной стойкостью в атмосфере. Какому виду ХТО их следует подвергнуть?

**Ответы:** 1) цементации; 2) азотированию; 3) нитроцементации.

2. Какова структура цементованного слоя, содержащего 0,8 % С после закалки?

**Ответы:** 1) М+Ц; 2) М+А; 3) П+Ц.

3. Какая из сталей склонна к укрупнению зерна при температуре цементационного нагрева?

**Ответы:** 1) 18ХГТ; 2) 20Х; 3) 12ХНЗА; 4) 20ХНТЦ.

4. Какую структуру имеет сердцевина стали 20Х после цементации и последующей термообработки?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) М+Ф; 3) П+А.

5. Какое количество углерода должно быть в цементованном слое?

**Ответы:** 1) 0,6-0,8%; 2) 0,8-1,0%; 3) 1,0-1,2%; 4) 1,2-1,6%.

### Тест № 13

1. Какой вид ХТО позволяет получить наиболее высокую твердость в поверхностном слое?

**Ответы:** 1) цементация; 2) азотирование; 3) нитроцементация.

2. Какие элементы должны присутствовать в азотируемой стали?

**Ответы:** 1) Mn ; 2) Cr; 3) Al; 4) Mo; 5) Si.

3. Для каких сталей можно использовать температуру цементационного нагрева для последующей закалки?

**Ответы:** 1) 18ХГТ; 2) 20ХНЗА; 3) 20ХН; 4) 20ХГНР.

4. Какую структуру будет иметь сердцевина детали из стали 20ХНЗА после цементации и последующей закалки?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) М+Ф; 3) М.

5. Какой термообработке подвергаются стали перед азотированием?

**Ответы:** 1) отжигу; 2) нормализации; 3) улучшению.

### Тест № 14

1. При каком виде ХТО изделия не подвергаются окончательной термообработке?

**Ответы:** 1) цементации; 2) азотировании; 3) нитроцементации.

2. Какая из сталей наиболее пригодна для азотирования?

**Ответы:** 1) 38ХГР; 2) 38ХМЮА; 3) 20ХНЗА; 4) 20Х.

3. Какой вид ХТО обеспечивает наименьшее коробление деталей при температуре нагрева?

**Ответы:** 1) цементация; 2) азотирование; 3) нитроцементация.

4. Каково должно быть содержание углерода в цементованном слое?

**Ответы:** 1) 0,8-1,8 %С; 2) 1,0-1,2 %С; 3) 1,2-1,4 %С.

5. Какая структура получится в сердцевине детали, изготовленной из стали 18ХГТ, после цементации и последующей закалки?

**Ответы:** 1) Ф+П; 2) М; 3) Т; 4) Б.

### Тест № 15

1. Какая насыщающая среда при ХТО является наилучшей?

**Ответы:** 1) твердая; 2) жидкая; 3) газовая.

2. При каком процессе термическая обработка предшествует ХТО?

**Ответы:** 1) цементации; 2) азотировании; 3) нитроцементации.

3. За счет каких химических соединений достигается наиболее высокая твердость при азотировании?

**Ответы:** 1) карбидов; 2) нитридов; 3) оксидов.

4. Почему сталь 12ХНЗА нельзя закалывать с температуры цементационного нагрева?

**Ответы:** 1) ввиду сильного окисления; 2) из-за опасности трещинообразования; 3) из-за склонности к росту аустенитного зерна при нагреве.

5. Повысится ли твердость стали X12, если ее подвергнуть цементации?  
**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест № 16

1. Укажите цементируемые стали.

**Ответы:** 1) A12; 2) X12; 3) 18ХГТ; 4) 20ХН; 5) 40ХНМА.

2. Укажите азотируемые стали.

**Ответы:** 1) 45ХН; 2) 40Х2МЮА; 3) 40ХГР; 5) 38ХМЮА.

3. Является ли азотирование конечной операцией?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Как называется насыщающая среда, в которой проводят цементацию?

**Ответы:** 1) ингибитор; 2) активатор; 3) карбюризатор.

5. Какие стали можно закалить с температуры цементационного нагрева?

**Ответы:** 1) 12ХНЗА; 2) 30ХГТ; 3) 20ХГ; 4) 20ХНТЦ.

## РАЗДЕЛ 13

# КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И СТРУКТУРНЫЕ КЛАССЫ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

### Цель работы:

1. Научиться определять химический состав сталей по марке и классифицировать их по назначению.
2. Научиться определять по марке структуру стали и оценивать ее свойства.

### Задание:

1. Ответить на вопросы теста.
2. Выполнить индивидуальное задание.

### Основные сведения

Для улучшения физических, химических, прочностных и технологических свойств стали легируют, вводя в их состав различные химические элементы (хром, марганец, никель и др). Стали могут содержать один или несколько легирующих элементов, которые придают им специальные свойства.

В зависимости от содержания углерода, степени легирования и применения легированные стали классифицируются по:

1. химическому составу;
2. структуре в равновесном состоянии;
3. назначению, то есть применению в промышленности.

По химическому составу стали подразделяются на низко-, средне- и высоколегированные.

Низколегированные стали содержат в сумме не более 5 % легирующих элементов; среднелегированные - 5÷10 %; высоколегированные – свыше 10 %.

По структуре в равновесном состоянии легированные стали подразделяются на пять структурных классов: перлитный, мартенситный, ферритный, аустенитный и карбидный.

По назначению легированные стали классифицируются на конструкционные, инструментальные и стали с особыми свойствами.

Конструкционные стали по содержанию углерода подразделяются на цементуемые (до 0,25% С), улучшаемые (0,3-0,45 % С) и рессорно-пружинные (0,5-0,7 %).

### 13.1 Маркировка легированных сталей

Марка легированной стали состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав.

По ГОСТ 4543-71 принято обозначать: Х – хром, Н – никель, Г – марганец, С – кремний, М – молибден, В – вольфрам, Ф – ванадий, Т – титан, Д – медь, Р – бор, К – кобальт, Ю – алюминий, Б – ниобий, П – фосфор.

Содержание углерода указывается в начале марки цифрой, отвечающей его среднему содержанию. Двухзначная цифра показывает содержание углерода в сотых, а однозначная – в десятых долях %.

После цифр в начале марки, указывающих на содержание углерода, следует сочетание букв Х, Н, М и т.д. Если после букв нет цифры, то содержание легирующего элемента в стали 1,0 %. Исключение сделано для молибдена и ванадия, содержание которых в большинстве сталей 0,2 – 0,3 %. Если легирующего элемента больше 1,0 %, то цифра после буквы указывает на его содержание в целых процентах. Например, марка 45ХН обозначает сталь, имеющую в среднем 0,45 % углерода, ~1,0 % хрома и столько же никеля; сталь 35Г2 – 0,35 % углерода, 2 % марганца.

## **Особенности маркировки сталей различного назначения**

### **Конструкционные стали**

Легирующая сталь является конструкционной, если она удовлетворяет двум требованиям:

1. В начале марки стоит двухзначная цифра;
2. Сумма легирующих элементов не превышает 5 %.

Например, сталь 20ХНЗА удовлетворяет этим требованиям, т. к. цифра 20 – двухзначная, т. е. содержание углерода в стали  $20 \div 100 = 0,20$  %. Сумма легирующих элементов:  $1\% \text{ Cr} + 3\% \text{ Ni} = 4\%$ , что меньше 5%.

Сталь 40Х9С2 не является конструкционной, т. к. сумма легирующих элементов:  $9\% \text{ Cr} + 2\% \text{ Si} = 11\%$ , что больше 5%.

### **Инструментальные стали**

Сталь является инструментальной, если:

1. В начале марки стоит однозначная цифра.  
Например, сталь 9ХС, содержащая  $9 \div 10 = 0,9$  % С.
2. Если цифра в начале марки опускается.

Например, Х, ХГ, ХВГ.

Цифра опускается в том случае, если среднее содержание углерода соответствует ~1 %, т. е. в сталях Х, ХГ, ХВГ и др. содержится по 1 % С.

Исключение составляет сталь марки Х12 и ее разновидности: Х12Ф, Х12М, в которых содержание углерода по верхнему пределу ~2 %. Это самые высокоуглеродистые стали.

3. Если марка стали начинается с буквы «Р» - Р18, Р6М5, Р6М3 и др. - это так называемые быстрорежущие стали, применяемые для изготовления высокопроизводительного режущего инструмента. Буква «Р» - от слова «rapid», что означает «скоростное резание». За буквой «Р» указывается содержание главного легирующего элемента - вольфрама (W) в целых процентах.

Например, сталь Р18 содержит 18 % W, сталь Р6М5 – 6 % W и 5 % Mo.

### Стали с особыми свойствами

Марка стали с особыми свойствами (нержавеющие, жаростойкие, износостойкие и др.) начинается с двухзначной цифры, как и в конструкционных сталях, но сумма легирующих элементов превышает 5 %, и чаще всего она более 10 %.

Например, 12Х18Ю5 ( $\Sigma$  л. э.=23 %), 20Х23Н20С2 ( $\Sigma$  л. э.=45 %), 40Х9С2 ( л. э.=11%).

Исключение составляет сталь марки 110ГТРЛ, относящаяся к износостойким, в которой содержится 1,1 % С, 13 % Мп. Буква «Л» означает, что сталь используется в литом состоянии.

Отличие в обозначении качественных конструкционных сталей от высококачественных заключается в том, что в конце марки высококачественной стали приписывается буква А. Например, сталь 40ХНМ качественная, а 40ХНМА – высококачественная. Аналогично, особо высококачественная сталь обозначается буквой Ш в конце марки (40 ХН-Ш).

У сталей, применяемых в виде литья (в отливке), в конце марки приписывается буква Л (35ГТРЛ).

Все инструментальные легированные, а также стали и сплавы с особыми свойствами всегда качественные или высококачественные, поэтому в марках этих сплавов буква А не указывается.

В марках некоторых сталей более узкого применения указывается их назначение. Так, стоящие в начале марки буквы Ш, А обозначают:

Ш – шарикоподшипниковые хромистые стали ШХ6, ШХ9, ШХ15. Содержание хрома в этих сталях указывается в десятых долях процента, а содержание углерода (~ 1% С) не указывается. Так, сталь ШХ15 содержит 1% С и 1,5% хрома.

А – автоматные стали. Следующая за буквой А двухзначная цифра показывает содержание углерода в сотых долях процента. Например, сталь АС40Г содержит 0,40 % С; буква С, стоящая за буквой А указывает, какой элемент введен для улучшения обрабатываемости резанием (в данном случае - свинец); Г – указывает на наличие марганца (~1 %).

### 13.2 Структурные классы легированных сталей

В отожженном состоянии или после охлаждения на спокойном воздухе легированные стали могут относиться к одному из следующих структурных классов: перлитный, мартенситный, ферритный, аустенитный, карбидный. Принадлежность стали к тому или иному классу определяется содержанием углерода и суммой легирующих элементов. Свойства стали при этом определяются свойствами основной структурной составляющей, то есть перлита (П), мартенсита (М), феррита (Ф), аустенита (А), карбидов (К).

В таблице 13.1 показано, при каких сочетаниях углерода и легирующих элементов образуется тот или иной структурный класс.

Таблица 13.1 – Структурные классы легированных сталей

№ п/п	Структурный класс	% С	Сумма легирующих элементов, %	Главные механические или специальные свойства
1	П	любое	До 5 %	Механические свойства (твердость, прочность, пластичность) определяются содержанием углерода
2	М	0,1-0,6	От 6 % до 14 %	Твердость, прочность, износостойкость. При содержании хрома в количестве 13% устойчивость против коррозии в слабых средах – атмосфере, пресной и морской воде, маслах, нефтепродуктах, слабых растворах солей, щелочей, кислот.
3	Ф	До 0,2	Хрома – 17% и более. Дополнительно могут присутствовать Si, Al, Ti	1) Устойчивость против действия органических кислот; 2) Жаростойкость
4	А	До 0,4	Наряду с высоким содержанием хрома присутствует никель или заменяющий его марганец. Дополнительно могут присутствовать Mo, P, Ti, Nb, W и другие элементы	1) Устойчивость против действия минеральных кислот; 2) Жаропрочность
5	К	Более 0,6	Карбидообразующие элементы Cr, W, Mo, V, Mn ,более 5%	Твердость, износостойкость

## ТЕСТЫ

### Тест №1

1. Что называется аустенитом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе.

2. Могут ли стали аустенитного класса обладать высокой твердостью?

**Ответы:** 1) могут; 2) не могут.

3. Какие легирующие элементы входят в состав жаропрочной стали аустенитного класса?

**Ответы:** 1) Cr, Si, Al; 2) Cr, Ni, Mn; 3) Cr, W, V.

4. Какая структура предпочтительна для кислотостойких сталей?

**Ответы:** 1) ферритная; 2) перлитная; 3) мартенситная; 4) аустенитная.

5. Какая сталь относится к аустенитному классу?

**Ответы:** 1) 40X13; 2) ШХ15СГ; 3) 15X28; 4) 08X10H20T2.

### Тест №2

1. Какая из структур обладает наилучшим сочетанием прочности и пластичности?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

2. Какая структура является оптимальной при работе детали машин в условиях знакопеременных нагрузок?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

3. Какая структура конструкционной стали обеспечивает наиболее высокие упругие свойства?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

4. Какая из сталей имеет наибольшую износостойкость?

**Ответы:** 1) ШХ15СГ; 2) X12M; 3) 08X25T.

5. К какому структурному классу относятся быстрорежущие стали?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) перлитному; 3) карбидному; 4) аустенитному; 5) ферритному.

### Тест №3

1. К какому структурному классу относятся стали, содержащие 5-14 % легирующих элементов и до 0,6 % углерода?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) перлитному; 3) карбидному; 4) аустенитному; 5) ферритному.

2. К какому структурному классу относятся стали, содержащие 5-10 % легирующих элементов и более 0,6 % углерода?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) перлитному; 3) карбидному; 4) аустенитному; 5) ферритному.

3. Что называется мартенситом?

**Ответы:** 1) пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) пересыщенный твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе; 3) феррито-цементитная смесь.

4. Какая сталь относится к перлитному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

5. Какая из сталей относится к карбидному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

#### Тест №4

1. К какому структурному классу относятся быстрорежущие стали?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) перлитному; 3) карбидному; 4) аустенитному; 5) ферритному.

2. Что называется ферритом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор в  $\gamma$ -железе.

3. Какая структура стали обеспечивает наибольшую жаропрочность?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) мартенсит; 4) аустенит.

4. Какая из структур обладает наилучшим сочетанием прочности и пластичности?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

5. Какие стали относятся к перлитному классу?

**Ответы:** 1) содержащие 1-5 % легирующих элементов и 0,1-1 % углерода; 2) содержащие 1-5% легирующих элементов и до 0,3 % углерода; 3) содержащие 0,1-1 % углерода и свыше 5 % легирующих элементов.

#### Тест №5

1. Что называется ферритом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе.

2. Могут ли стали ферритного класса обладать высокой твердостью?

**Ответы:** 1) могут; 2) не могут.

3. Какие легирующие элементы входят в состав жаростойкой стали ферритного класса?

**Ответы:** 1) Cr, W, V; 2) Cr, Si, Al; 3) Cr, Mn, Si; 4) Cr, Ni, Mo; 5) Cr, Ni, Mn,

4. Какая структура стали обеспечивает наибольшую жаропрочность?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) мартенсит; 4) аустенит.

5. Какая сталь относится к ферритному классу?

**Ответы:** 1) 40Х13; 2) ШХ15СГ; 3) 08Х17; 4) 08Х10Н20Т2.

#### Тест №6

1. Какие основные легирующие элементы входят в состав жаропрочной стали аустенитного класса?

**Ответы:** 1) Cr, Si, Al; 2) Cr, Ni, Mn; 3) Cr, W, V.

2. Какая структура стали обеспечивает наибольшую жаропрочность?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) мартенсит; 4) аустенит.

3. Какая сталь относится к аустенитному классу?

**Ответы:** 1) 40X13; 2) ШХ15СГ; 3) 15X28; 4) 08X10Н20Т2.

4. Могут ли стали аустенитного класса обладать высокой твердостью?

**Ответы:** 1) могут; 2) не могут.

5. Что называется аустенитом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе.

### Тест №7

1. Какая структура стали обеспечивает наибольшую жаростойкость?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) мартенсит; 4) аустенит.

2. Что называется ферритом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе.

3. Какие легирующие элементы входят в состав жаростойкой стали ферритного класса?

**Ответы:** 1) Cr, W, V; 2) Cr, Si, Al; 3) Cr, Mn, Si; 4) Cr, Ni, Mo; 5) Cr, Ni, Mn.

4. Какие легирующие элементы входят в состав стали аустенитного класса?

**Ответы:** 1) Cr, Si, Al; 2) Cr, Ni, Mn; 3) Cr, W, V.

5. Какая структура предпочтительна для кислотостойких сталей?

**Ответы:** 1) ферритная; 2) перлитная; 3) мартенситная; 4) аустенитная.

### Тест №8

1. Могут ли стали перлитного класса иметь структуру, состоящую из сорбита или троостита с избыточным ферритом и карбидами?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

2. Какая из сталей относится к карбидному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

3. Какая структура конструкционной стали обеспечивает наиболее высокие упругие свойства?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

4. Что называется ферритом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе.

5. Какая сталь относится к аустенитному классу?

**Ответы:** 1) 40X13; 2) ШХ15СГ; 3) 15X28; 4) 08X10Н20Т2.

### Тест №9

1. При какой структуре конструкционная сталь обладает наилучшей обрабатываемостью резанием?

**Ответы:** 1) ферритной; 2) ферритно-перлитной; 3) перлитной; 4) перлитно-цементитной.

2. Каково основное свойство мартенсита?

**Ответы:** 1) твердость; 2) прочность; 3) пластичность.

3. Какая из сталей относится к карбидному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

4. Могут ли стали ферритного класса обладать твердостью?

**Ответы:** 1) могут; 2) не могут.

5. Какая структура стали обеспечивает наибольшую жаропрочность?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) мартенсит; 4) аустенит.

### Тест №10

1. Как изменяется прочность доэвтектоидной стали по мере повышения содержания перлита?

**Ответы:** 1) увеличивается; 2) уменьшается.

2. При какой структуре конструкционная сталь обладает наилучшей обрабатываемостью резанием?

**Ответы:** 1) ферритной; 2) ферритно-перлитной; 3) перлитной; 4) перлитно-ферритной.

3. Какая из структур обладает наилучшим сочетанием прочности и пластичности?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

4. Какая структура является оптимальной при работе детали машины в условиях знакопеременных нагрузок?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

5. Какая структура конструкционной стали обеспечивает наиболее высокие упругие свойства?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

### Тест №11

1. К какому структурному классу относятся стали, содержащие 5-14 % легирующих элементов и до 0,6 % углерода?

**Ответы:** 1) перлитному; 2) мартенситному; 3) карбидному; 4) ферритному; 5) аустенитному.

2. Как изменяется прочность доэвтектоидной стали по мере повышения содержания перлита?

**Ответы:** 1) увеличивается; 2) уменьшается.

3. Что представляет собой перлит?

**Ответы:** 1) твердый раствор; 2) механическую смесь; 3) химическое соединение.

4. Какие легирующие элементы входят в состав жаростойкой стали ферритного класса?

**Ответы:** 1) Cr, W, V; 2) Cr, Si, Al; 3) Cr, Mn, Si; 4) Cr, Ni, Mo; 5) Cr, Ni, Mn,

5. Какая из сталей имеет наибольшую износостойкость?

**Ответы:** 1) ШХ15СГ; 2) Х12М; 3) 08Х25Т.

### Тест №12

1. Что называется мартенситом?

**Ответы:** 1) перенасыщенный раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) пересыщенный твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе; 3) феррито-цементитная смесь.

2. Каково основное свойство мартенсита?

**Ответы:** 1) твердость; 2) прочность; 3) пластичность.

3. К какому структурному классу относятся стали, содержащие 5-14 % легирующих элементов и до 0,6 % углерода?

**Ответы:** 1) перлитному; 2) мартенситному; 3) карбидному; 4) ферритному; 5) аустенитному.

4. Какая из сталей относится к мартенситному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

5. Какая из сталей имеет наибольшую износостойкость?

**Ответы:** 1) ШХ15СГ; 2) Х12М; 3) 08Х25Т.

### Тест №13

1. Что называется ферритом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе.

2. Какая структура предпочтительна для кислотостойких сталей?

**Ответы:** 1) ферритная; 2) перлитная; 3) мартенситная; 4) аустенитная.

3. Какая из сталей относится к перлитному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

4. Какая структура является оптимальной при работе детали машины в условиях знакопеременных нагрузок?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

5. Какую структуру должны иметь конструкционные стали, подвергающиеся обработке давлением в холодном состоянии?

**Ответы:** 1) феррит; 2) феррит с небольшим количеством перлита; 3) перлит; 4) перлит с небольшим количеством феррита.

### Тест №14

1. Чем отличаются сорбит и троостит от перлита по строению?

**Ответы:** 1) дисперсностью феррито-цементитной смеси; 2) растворимостью углерода; 3) химической формулой.

2. К какому структурному классу относятся стали, содержащие 5-14 % легирующих элементов и до 0,6 % углерода?

**Ответы:** 1) перлитному; 2) мартенситному; 3) карбидному; 4) ферритному; 5) аустенитному.

3. Что называется аустенитом?

**Ответы:** 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе; 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе.

4. Какая структура стали обеспечивает наибольшую жаропрочность?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) мартенсит; 4) аустенит.

5. К какому структурному классу относятся быстрорежущие стали?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) перлитному; 3) карбидному; 4) аустенитному; 5) ферритному.

### Тест №15

1. Какая из сталей относится к перлитному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

2. Какая из сталей относится к мартенситному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

3. Какая из сталей относится к карбидному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

4. Какая сталь относится к ферритному классу?

**Ответы:** 1) 40Х13; 2) ШХ15СГ; 3) 15Х28; 4) 08Х10Н20Т2.

5. Какая сталь относится к аустенитному классу?

**Ответы:** 1) 40Х13; 2) ШХ15СГ; 3) 15Х28; 4) 08Х10Н20Т2.

### Тест №16

1. Какие стали относятся к перлитному классу?

**Ответы:** 1) содержащие 1-5 % легирующих элементов и 0,1-1 % углерода; 2) содержащие 1-5% легирующих элементов и до 0,3 % углерода; 3) содержащие 0,1-1 % углерода и свыше 5 % легирующих элементов.

2. К какому структурному классу относятся стали, содержащие 5-14 % легирующих элементов и до 0,6 % углерода?

**Ответы:** 1) перлитному; 2) мартенситному; 3) карбидному; 4) ферритному; 5) аустенитному.

3. Какая из структур обладает наилучшим сочетанием прочности и пластичности?

**Ответы:** 1) феррит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) троостит.

4. Какая из сталей относится к карбидному классу?

**Ответы:** 1) ХВСГ; 2) Х12М; 3) 40Х9С2.

5. Какая из сталей имеет наибольшую износостойкость?

**Ответы:** 1) ШХ15СГ; 2) Х12М; 3) 08Х25Т.

## Индивидуальные задания

При выполнении индивидуального задания работу оформить в виде таблицы:

№ п/п	Марка стали	Химический состав	Структурный класс	Свойства	Классификация по назначению
1	38ХС	0,38 % С Cr, Ni – по 1 %	П	удовлетворительные технологические свойства	конструкционная улучшаемая

### Вариант 1

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 45ХНМФА, Р12Ф3, 10Х14Н14Г4Т, Х, 15Х25Т, 110Г13Л, 8ХФ, 18ХГТ, 40Х9С2, 40Г2.

### Вариант 2

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Х6ВФ, 7Х3, 12Х17, 40ХНМА, 10Х14АГ15, Р18, 65С2ВА, А40Г, 40Х13, 12ХНЗА.

### Вариант 3

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Х12Ф1, Р6М5, 10Х13, 4Х5МФС, ХВ4, 70С3А, 08Х18Н12Т, 15Х28Ю5, ХГ, 40ХГР.

### Вариант 4

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 14Х17СЮ, 9Х2МФ, 11Х11Н4ГМВФ, 25ХГМ, АС20Г, ШХ9, 3Х2В8, Ф, Р6М3, Х12.

### Вариант 5

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 30Х2АФ, 10Х11Н20Т3Р, 5Х3В3МФС, 10Х13, 12ХМ, 55ХФА, 20ХНТЦ, Р9, ШХ15СГ, 12Х25Т.

### Вариант 6

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 10Х17Н13М2Т, А40ХЕ, 40Х10С2М, В2Ф, 5ХГМ, 30ХН2МФА, Р12Ф4, ХГ, 38ХГС, 15Х28СЮ.

### **Вариант 7**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 40ХН2МА, 110Г13Л, 04Х20Н14С2, Р5М8К4, 15Х11МБР, 65СГ, 12Х17, ХВГ, 10Х10С2М, 12ХН3А.

### **Вариант 8**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Ф, Р6М5К5, 5Х2МФ, 30Х13, АС40Г, 07Х16Н6, 15Х18СЮ, 20Х2Н4ВА, ШХ15, 40Х25Н20С2.

### **Вариант 9**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 4Х4ВМФС, 19Х14Н19В2БР, 20ХНТЦ, ХГС, 15Х6СЮ, Р10К5Ф5, Х12Ф, 15Х28Ю5, 40Х13.

### **Вариант 10**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Р6М5Ф3, 15Х17АГ14, 40Х9С2, 7Х3, 55ХГР, 30ХГТ, Х, 12Х25Т, Х6ВФ, 45ХЕ.

### **Вариант 11**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Р9К10, 10Х10С2М, 38МЮА, 55ХФ, 25ХГНМА, 10Х14АГ15МВ, Ф, 10Х14, 4ХС, 12Х17Т.

### **Вариант 12**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Х12, 70С2ХА, ХВГ, 5ХНТ, 14Х14Н4Г12БТР, Х5В6, 35ГТРЛ, 3Х3М3ВФ, 15Х25Т, ШХ6.

### **Вариант 13**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Р9М4К5, 20Х23Н20С, 5ХНВ, 09Г2, 3Х8, АЦ20ХНМ, 8Х4В9Ф2-Ш, 15Х13Л, 12Х28Ю5, 55СФА.

### **Вариант 14**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 120Г13Х2БЛ, Х12ВМ, 10Х14, 12Х17Г9АН4Р, Р12Ф3, 20ХНЗА, 7ХГ2НМ, 95Х18, 15ХМ, ШХ15СГ.

### **Вариант 15**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: Х6В3МФС, 08Х17СЮ, ХВСГ, Р9К10, 20ХГНР, 4Х5МФС, 6ХФ, Х12М, 15Х13Л, 18Х2Н4ВА.

### **Вариант 16**

Определить химсостав, структурный класс, свойства и классифицировать по назначению стали: 25Х2МФ, Р6АМ5, 60ХГСФА, 9Х5ВФ, 08Х14МТЮР, АС19ХГМ, ХГ, 15Х28Ю5С, 40ХНМА, 3Х3М3ФС.

## РАЗДЕЛ 14

### КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПО НАЗНАЧЕНИЮ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### Цель работы:

1. Научиться определять по марке стали ее назначение.
2. Приобрести навыки в выборе марки стали для изготовления изделия того или иного назначения.

#### Задание:

1. Выполнить работу по индивидуальному варианту. Результаты представить в виде таблицы:

№ п/п	Наименование изделия	Рекомендуемый сплав	Классификация по назначению
1	Пружина	70С3А	Конструкция рессорно-пружинная

2. Ответить на вопросы теста.

#### Методические указания

По назначению легированные стали делятся на:

- конструкционные;
- инструментальные;
- стали с особыми свойствами.

#### 14.1 Конструкционные стали

Широко применяются для изготовления деталей машин и приборов.

Отличительные признаки конструкционных сталей следующие:

- 1) двузначная цифра в начале марки, указывающая содержание углерода в сотых долях процента;
- 2) суммарное содержание легирующих элементов – до 5%.

Стали этого класса подразделяются на:

- цементуемые, содержащие до 0,25 % С;
- улучшаемые, то есть упрочняемые закалкой с последующим высоким отпуском, содержащие 0,3 – 0,45 % С;
- рессорно-пружинные, содержащие 0,5 – 0,7% С.

**Цементуемые** стали предназначены для деталей машин и приборов, работающих в условиях трения и испытывающих ударные и переменные нагрузки. Работоспособность таких деталей зависит от свойств сердцевины и поверхностного слоя металла. Если углеродистые стали имеют в сердцевине ферритно-перлитную структуру, то легированные – трооститную (20Х, 15ХА, 20Г),

бейнитную (18ХГТ, 20ХНТЦ, 20ХГНР) или даже мартенситную (20ХНЗА, 20Х2Н4А, 18Х2Н4МА) структуру.

После термообработки в легированных сталях обеспечивается высокая поверхностная твердость, сохраняется требуемая вязкость и заданная прочность сердцевины.

**Улучшаемые** стали подвергаются улучшению – закалке с высоким отпуском (500-650 °С), после чего приобретают наилучшее сочетание механических свойств. Из них изготавливают валы, оси, шатуны и другие детали.

Стали типа 40Х, 40ХС, 40ХФА, 30ХГСА и другие применяются для небольших деталей, работающих в условиях повышенных напряжений и знакопеременных нагрузок; 40ХН, 40ХНМА, 40ХГР, 38ХГСА – для крупных деталей ответственного назначения; 40ХН2МА, 30ХГСН2А, 40ХГСН3МД – для особо ответственных тяжело нагруженных деталей сложной формы, работающих в условиях резкоменяющихся нагрузок.

**Рессорно-пружинные** стали общего назначения предназначены для изготовления рессор, пружин, упругих элементов различного назначения. В промышленности наиболее часто применяют кремнистые стали 55С2, 60С2А, 70С3А и др. Стали, содержащие ванадий (60С2ХФА, 50ХГФА, 50ХФА), превосходят кремнистые стали по прочности и теплостойкости.

## 14.2 Инструментальные стали и сплавы

Инструментальными называются углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью, прочностью и износостойкостью и применяемые для изготовления следующих основных групп инструмента:

- режущего;
- штампового;
- мерительного.

### Стали и сплавы для режущего инструмента

Стали для режущего инструмента после закалки и низкого отпуска должны иметь высокую твердость в режущей кромке (HRC 62-68), значительно превышающую твердость обрабатываемого материала; высокую износостойкость, необходимую для сохранения размеров и формы режущей кромки при резании, достаточную прочность для предупреждения поломки инструмента в процессе работы и красностойкость.

**Красностойкость** – важнейшая характеристика сталей, которая определяет скорость резания. Под красностойкостью понимается способность материала сохранять рабочую твердость на режущей грани инструмента при нагреве до высоких температур. Она выражается температурой нагрева, при которой рабочая твердость составляет не менее HRC 58.

В зависимости от красностойкости материалы для режущего инструмента подразделяются на следующие группы:

1. Углеродистые стали с красностойкостью 200 °С.
2. Низколегированные стали с красностойкостью 200 -250°С.

3. Быстрорежущие стали с красностойкостью 600-670 °С.
4. Металлокерамические твердые сплавы с красностойкостью 800-1000 °С.
5. Минералокерамические твердые сплавы с красностойкостью 1200 °С.
6. Сверхтвердые материалы с красностойкостью 1300-1400 °С.

**Углеродистые инструментальные стали.** Их выпускают марок У7, У8, У9...У13. Цифры указывают на содержание углерода в десятых долях процента. Недостатком этих сталей является низкая прокаливаемость и склонность к короблению при закалке, так как закалка их осуществляется в воде. Кроме этого низкая красностойкость приводит к тому, что при нагреве выше 200 °С инструмент теряет твердость.

**Низколегированные инструментальные стали** типа Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ имеют такую же красностойкость, как углеродистые стали, но более глубокую прокаливаемость и меньше деформируются при закалке, так как закалка осуществляется в масле. Это позволяет использовать их для инструмента более сложной формы и крупного сечения.

Сталь марки Х применяется для строгальных, долбежных резцов; 9ХС – сверл, разверток, фрез, метчиков, плашек; ХВГ – крупных и длинных протяжек, длинных метчиков, разверток и т.д.; ХВСГ – крупных плашек, разверток, крупных протяжек и другого режущего инструмента.

Низколегированные стали сохраняют высокую твердость (HRC 60) при резании мягких материалов со скоростью 15-25 м/мин.

**Быстрорежущие стали** имеют высокую теплостойкость и применяются для изготовления высокопроизводительного режущего инструмента, обрабатывающего материалы со скоростью резания 35-80 м/мин. Из них изготавливают резцы, сверла, зенкера, развертки, фрезы, долбяки, протяжки.

Быстрорежущие стали марок Р18, Р6М5, Р6М3 и др. с красностойкостью 600-625 °С, сохраняющие твердость HRC 62-65 при обработке конструкционных сталей и чугунов, относятся к сталям нормальной производительности.

Стали, дополнительно легированные ванадием и кобальтом (Р9К10, Р10К5Ф5, Р9М4К5 и др.), имеют более высокую красностойкость (640-670 °С) и твердость (HRC 66-67). Эти стали относят к сталям высокой производительности. Ими можно обрабатывать высокопрочные стали и такие трудно обрабатываемые материалы, как жаропрочные, нержавеющие стали и титановые сплавы.

### **Металлокерамические твердые сплавы**

Изготавливаются путем прессования порошков углерода, вольфрама, титана, кобальта, тантала под высоким удельным давлением и последующего спекания при температуре 1450 °С в атмосфере водорода. Структура, образующаяся после спекания, состоит из карбидов WC, TiC, TaC и кобальта, который выполняет роль цементирующей связи. Чем больше кобальта, тем прочнее сплав.

Карбид WC придает сплавам высокую твердость (HRC 72-76) и износостойкость. В присутствии карбида TiC увеличивается температура сваривания отходящей стружки с рабочей гранью инструмента. Карбид TaC уменьшает склонность к выкрашиванию режущей кромки инструмента, так как твердые сплавы чрезвычайно хрупки и увеличивает вибропрочность.

В зависимости от состава твердые сплавы подразделяются на три группы:

1) ВК(WC+Co) с красностойкостью ~ 800 °С. Сплавы этой группы маркируются: ВК6, ВК8, ВК10 и др. Цифра, стоящая за буквой К, показывает содержание кобальта в целых процентах, остальное – карбид вольфрама. Сплавы группы ВК применяются для обработки чугунов и цветных сплавов.

2) ТВК (WC+TiC+Co) с красностойкостью ~ 900 °С. Маркируются: Т5К10, Т15К6, Т30К4 и др. Цифра, стоящая за буквой Т, указывает на количество карбида титана; за буквой К – процентное содержание кобальта, остальное – карбид вольфрама. Сплавы группы ТВК применяются для черновой и чистовой обработки стали.

3) ТТК (WC+NiC+TaC+Co): ТТ7К12, ТТ20К7 и др. Цифра, стоящая за буквами ТТ, указывает на суммарное содержание карбидов титана и тантала, за буквой К – содержание кобальта, остальное – карбид вольфрама. Сплавы ТТК применяются для черновой обработки стали в особо тяжелых условиях резания – отливок с наличием пригара формовочной смеси; поковок, штамповок со слоем окалины и т.д. Высокая красностойкость (~ 1000 °С) позволяет использовать их для обработки высоколегированных трудно обрабатываемых сталей.

Металлокерамические твердые сплавы являются инструментом высокой производительности и позволяют вести обработку со скоростью резания до 300 м/мин.

### **Минералокерамические твердые сплавы**

Эти наиболее дешевые инструментальные материалы имеют высокую красностойкость (1200 °С), твердые, износостойкие, но в то же время хрупки и недостаточно прочны. Выпускаются минералокерамические сплавы на основе окисла  $Al_2O_3$  – керметы марок ВОК-60; ВОК 60-3 и микролит марки ЦМ-442. Наилучшие результаты показывают при работе на жестких, мощных станках со скоростью резания 300 – 700 м/мин и подачей 0,06 – 0,6 мм/об. Используются при обработке твердых материалов – закаленной, азотируемой стали, отбеленных чугунов.

Сверхтвердые материалы (СТМ) на основе поликристаллов синтетических алмазов (СА) и кубического нитрида бора (КНБ) позволяют обрабатывать с высокой производительностью закаленные стали с твердостью HRC 60 – 70, белые чугуны (HB 500 - 600), твердые сплавы.

### **Штамповые стали**

Эти стали подразделяются на стали для холодного и горячего деформирования металла.

От инструментов холодного деформирования (матрицы, пуансоны, инструменты для чеканки, волочения, накатного инструмента и пр.) требуется высокая твердость и износостойкость.

Штампы небольших размеров (сечением 25-30 мм) простой формы, работающие в легких условиях, изготавливают из углеродистых сталей У7, У8, У9. Штампы сечением 75-100 мм более сложной формы и для более тяжелых условий работы изготавливают из сталей повышенной прокаливаемости: Х, ХВГ, и др.

Для изготовления инструмента с высокой износостойкостью и малой деформируемостью при закалке используют высокохромистые высокоуглеродистые стали Х6В5, Х12, Х12Ф.

Для инструмента, подвергающегося в работе большим ударным нагрузкам (пневматические зубила, режущие ножи для ножниц холодной резки металла), применяют стали с пониженной вязкостью; 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С и другие.

Молотовые штампы горячего деформирования изготавливают из сталей 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ. Эти стали обладают глубокой прокаливаемостью (200-300 мм), имеют достаточно высокую вязкость и прочность, теплостойки, устойчивы к образованию разгарных трещин при чередовании нагревов и охлаждений.

Пресс-формы для литья под давлением работают в более тяжелых условиях – при более высоких температурах и соприкасаются с расплавленным металлом. Их изготавливают из сталей мартенситного класса; 4Х5МФС, 3Х3М3ФС, 3Х2В8Ф и другие.

### **Стали для мерительного инструмента**

От мерительного инструмента требуется высокая твердость, износостойкость, стабильность размеров с течением времени, которая достигается после закалки и старения. Этот инструмент (штангенциркули, шаблоны, лекала, мерительные и эталонные плитки и др.) изготавливается из высокоуглеродистых низколегированных сталей 9ХС, Х, ХГ и других.

## **14.3 Стали и сплавы с особыми свойствами**

Эту группу представляют высоколегированные стали. По этому признаку сталь с особыми свойствами можно отличить от конструкционной стали, так как в начале марки у сталей специального назначения также стоит двузначная цифра, показывающая содержание углерода в сотых долях процента.

### **Коррозионно-стойкие стали**

Стойкость против коррозии определяется составом сплава, его структурой и свойствами окружающей среды.

В связи с этим коррозионно-стойкие стали и сплавы подразделяются на следующие группы:

1) Сплавы, стойкие в слабоагрессивных средах: воздухе, пресной и морской воде, нефтепродуктах, паре, водных растворах солей, щелочей и кислот.

Это, в основном, стали с 0,1 – 0,4 % С и 13 % Cr (20X13, 40X13), относящиеся по структуре к мартенситному классу. Поэтому они могут применяться как конструкционный материал, работающий в агрессивных средах.

2) Сплавы, стойкие к более агрессивным средам: органическим кислотам, солям, щелочам. К этой группе относятся высокохромистые стали (17-28 % Cr) ферритного класса, содержащие до 0,2 % С.

3) Сплавы, стойкие в сильных агрессивных средах – концентрированных и кипящих кислотах (серной, азотной, фосфорной) и их смесях разной концентрации. К этой группе относятся хромоникелевые стали аустенитного класса, содержащие хром, никель и дополнительно легированные молибденом, вольфрамом, титаном, ниобием, (09X14Н19В2БР, 10X14Г14Н4Т).

Сплавы на основе никеля (Н70МФВ, ХН65МВ) обладают повышенной коррозионной стойкостью, особенно в соляной кислоте.

### **Стали и сплавы для работы при повышенных температурах (жаростойкие и жаропрочные)**

Жаростойкие стали устойчивы против коррозии в воздухе, печных газах, продуктах сгорания и пр. Они пригодны при работе с небольшими нагрузками и не способны сопротивляться ползучести. Жаростойкость зависит от количества легирующих элементов. Основные легирующие элементы жаростойких сталей – хром, алюминий, кремний, титан. Содержание углерода в жаростойких сталях находится в пределах 0,1 – 0,4 % (40X9C2, 12X17 и др.).

Жаропрочные стали и сплавы используются при длительной эксплуатации под нагрузкой при повышенных температурах. Жаропрочность зависит от состава и структуры стали.

При работе до 300 – 500 °С применяются стали перлитного класса (15ХМ, 20Х3МВФ, 25Х2МВ).

При работе до 500 – 600 °С применяются стали мартенситного класса (20Х12ВМБФ).

Наиболее высокой жаропрочностью обладают хромоникелевые стали аустенитного класса (12Х18Н9Т, 40Х14Н14В2М). Их применяют для изделий, работающих при температуре 600 – 700 °С.

Для работы в интервале 700 – 800 °С применяются сплавы на основе никеля (ХН60Ю, ХН77ТЮР) и никель-кобальтовые (ХН56МКЮ, ХН62МВКЮ), содержащие менее 0,1 %С, 8 – 10 % Cr, 4 – 13 % Со, 4 – 6 % Al, 6 – 10 % Мо и никель.

### **Износостойкие стали и сплавы**

Устойчивость против износа достигается обычно получением высокой поверхностной твердости. Однако существует аустенитная сталь Гатфильда марки 110Г13Л, которая в условиях трения, сопровождаемого большим удельным давлением при низкой твердости (НВ 200-250), обладает высокой износостойкостью. Из стали 110Г13Л (1,1 % С, 13 % Mn), применяемой в литом состоянии, изготавливают черпаки экскаваторов, детали камнедробилок, трам-

важные крестовины. Около 90 % этой стали используется для изготовления звеньев гусеничных машин (траков). В Алтайском крае сталь 110Г13Л заменена сталью 35ГТРЛ.

В целях резкого повышения износостойкости проводят наплавку на рабочие поверхности изделий. Наплавочные материалы выпускают под общим названием «релит». Наплавочный слой состоит из железа с включениями карбидов вольфрама.

Существуют и другие наплавочные материалы.

## ТЕСТЫ I

### Тест № 1

1. Каким инструментальным материалом можно обрабатывать конструкционную сталь с наибольшей скоростью резания?

**Ответы:** 1) P6M5; 2) P18; 3) T14K8; 4) X12Ф1; 5) BK10.

2. Сталь какой марки применяется в качестве конструкционной нержавеющей?

**Ответы:** 1) ШХ15; 2) 08Х17Т; 3) 40Х13; 4) 10Х14Г14Н4Т; 5) ТТ7К12.

3. Какой материал следует использовать для изготовления хирургического инструмента?

**Ответы:** 1) У10; 2) 40Х13; 3) 14Х15; 4) 15Х25.

4. Сталь какой марки можно применять для изготовления инструмента, деформирующего металл в холодном состоянии?

**Ответы:** 1) X12M; 2) 5ХНВ; 3) 15Х28; 4) P6M3; 5) 15ХФ.

5. Какая из сталей - цементуемая?

**Ответы:** 1) 15Х18СЮ; 2) 10Х13; 3) 9ХС; 4) 18ХГТ; 5) ШХ15СГ.

### Тест № 2

1. Указать элементы, входящие в состав сплава T14K8.

**Ответы:** 1) железо; 2) углерод; 3) титан; 4) вольфрам; 5) ванадий; 6) тантал; 7) хром.

2. Указать марки улучшаемых сталей.

**Ответы:** 1) 65СГ; 2) 40ХНМА; 3) 40Х13; 4) 38ХГР; 5) 18ХГТ; 6) 110Г13Л.

3. Указать элементы, придающие стали коррозионную стойкость.

**Ответы:** 1) углерод; 2) вольфрам; 3) хром; 4) никель; 5) ванадий; 6) алюминий.

4. Указать марки конструкционных сталей.

**Ответы:** 1) 30ХГС; 2) 9Х; 3) X12Ф; 4) ШХ6; 5) 38ХГР; 6) 10Х18Н9; 7) 40Х9С2.

5. Указать марки сталей, в состав которых входит бор.

**Ответы:** 1) 38ХГР; 2) P12; 3) 10НХДП; 4) 12Х18Н9ВТ; 5) 35ГТРЛ.

### Тест № 3

1. Указать марки инструментальных сталей.

**Ответы:** 1) 40X; 2) 9XC; 3) ХВГ; 4) 09Г2; 5) X12; 6) 12X2H4BA; 7) P6M5.

2. Какой состав сплава соответствует сплаву T15K6?

**Ответы:** 1) 15 % Co, 6 % Ti, остальное -Fe; 2) 6 % Co, 15 % Ti, остальное -Fe; 3) 6 % Co, 15 % TiC, остальное -WC; 4) 6 % Co, 15 % Ti, остальное -W.

3. Указать марки нержавеющей сталей.

**Ответы:** 1) 18ХГТ; 2) 10X13; 3) 12X18H9T; 4) X12; 5) ШХ15.

4. Указать главный легирующий элемент быстрорежущих сталей.

**Ответы:** 1) ванадий; 2) бор; 3) вольфрам; 4) титан; 5) никель.

5. Указать марки цементуемых сталей.

**Ответы:** 1) ХВГ; 2) 12ХНЗА; 3) X12M; 4) 20ХН.

### Тест № 4

1. Указать основное требование к быстрорежущей стали.

**Ответы:** 1) твердость; 2) красностойкость; 3) износостойкость; 4) окалинностойкость; 5) жаропрочность.

2. Указать марки улучшаемых сталей.

**Ответы:** 1) 38XC; 2) 15ХНЗ; 3) 40ХГСА; 4) 65СГ; 5) X12M; 6) X; 7) Г13Л; 8) ШХ115.

3. Указать сталь с наибольшим содержанием углерода.

**Ответы:** 1) ХВГ; 2) 110Г13Л; 3) X12; 4) ШХ15.

4. Указать кислотостойкие стали.

**Ответы:** 1) 40X13; 2) 08X17T; 3) 04X18H10T; 4) 15X28; 5) 40СНХВМТЮ.

5. Указать сплавы, применяемые для режущего инструмента.

**Ответы:** 1) БрБ2; 2) P9K5Ф5; 3) T5K10; 4) Г13Л; 5) 40ГТР.

### Тест № 5

1. Указать марки инструментальных сталей.

**Ответы:** 1) 10X13; 2) X12; 3) X; 4) ШХ15; 5) P6M5; 6) 110Г13Л.

2. Как классифицировать по назначению сплав ВК10?

**Ответы:** 1) жаропрочный; 2) жаростойкий; 3) конструкционный; 4) инструментальный; 5) кислотостойкий.

3. Какая из сталей обладает наиболее высокой жаропрочностью?

**Ответы:** 1) 15ХА; 2) P6M5; 3) 40X25H20C2.

4. Какие из сталей - низколегированные?

**Ответы:** 1) ШХ15СГ; 2) 38ХМЮА; 3) 10НХГД; 4) 15Х6СЮ; 5) 20ХНЗА.

5. Какие из сталей - конструкционные?

**Ответы:** 1) 15Х6СЮ; 2) 20ХНЗА; 3) 38ХМЮА; 4) ШХ15СГ.

### Тест № 6

1. Указать сталь с наибольшим содержанием углерода.  
**Ответы:** 1) 40X13; 2) 110Г13Л; 3) X; 4) 15X18H9T; 5) ШХ15CF; 6) X12.
2. Указать элементы, входящие в состав стали P6M5.  
**Ответы:** 1) хром; 2) титан; 3) вольфрам; 4) тантал; 5) ванадий; 6) молибден; 7) никель.
3. Указать марки среднелегированных сталей.  
**Ответы:** 1) 9X5Ф; 2) 7XФ; 3) X12; 4) ШХ15; 5) ХВГ.
4. Указать цементируемые стали.  
**Ответы:** 1) 20X13; 2) 18ХГТ; 3) 15X18H12T; 4) 25ХНТЦ; 5) ХГ.
5. Указать процент наименьшего содержания хрома, обеспечивающий стали способность сопротивляться атмосферной коррозии.  
**Ответы:** 1) 5 %; 2) 9 %; 3) 13 %; 4) 17 %; 5) 21 %.

### Тест № 7

1. Какая из сталей - конструкционная?  
**Ответы:** 1) 40X13; 2) 5ХНМ; 3) 40X9C2; 4) 38ХМЮА; 5) 8ХЗ.
2. Какой сплав обладает наиболее высокой теплостойкостью?  
**Ответы:** 1) X12M; 2) ХВГ; 3) P18; 4) T5K10; 5) 12X18H9T.
3. Какая сталь содержит наибольшее количество углерода?  
**Ответы:** 1) X; 2) P18; 3) X12Ф1; 4) 110Г13Л; 5) 18ХГТ.
4. Каким инструментальным материалом можно обрабатывать конструкционную сталь с наибольшей скоростью резания?  
**Ответы:** 1) P6M5; 2) P18; 3) T14K8; 4) X12Ф1; 5) BK10.
5. Материал какой марки обладает устойчивостью в органических кислотах?  
**Ответы:** 1) P9K5Ф5; 2) 15X25T; 3) T15K6; 4) 110Г13Л; 5) BK10.

### Тест № 8

1. Какую из сталей следует подвергать цементации?  
**Ответы:** 1) 40ХГР; 2) 35ГТРЛ; 3) 20ХНТЦ; 4) 20X13; 5) X12.
2. Какой из материалов не содержит железа?  
**Ответы:** 1) P6M5; 2) ХВЧ; 3) BK10; 4) X12Ф.
3. Какой из материалов обладает наиболее высокой красностойкостью?  
**Ответы:** 1) X12; 2) T5K10; 3) P18; 4) P6M5.
4. Какая сталь противостоит слабым агрессивным средам?  
**Ответы:** 1) T14K8; 2) 20X13; 3) ШХ15; 4) X12M.
5. Какой материал обладает наиболее высокой износостойкостью?  
**Ответы:** 1) 15X25T; 2) 20X; 3) ХН65ВМ; 4) 110Г13Л.

### Тест № 9

1. Указать марки инструментальных сталей.

**Ответы:** 1) 10X13; 2) X12; 3) X; 4) ШХ15; 5) P6M5; 6) 110Г13Л.

2. Как классифицировать по назначению сплав ВК10?

**Ответы:** 1) жаропрочный; 2) жаростойкий; 3) конструкционный; 4) инструментальный; 5) кислотостойкий.

3. Является ли жаропрочная сталь жаростойкой?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какой сплав обладает наиболее высокой красностойкостью?

**Ответы:** 1) X12Ф; 2) 12X25H20C2; 3) T5K10; 4) P9; 5) P6M5.

5. Какие из сталей - нержавеющей?

**Ответы:** 1) ШХ15СГ; 2) X12M; 3) 20X13; 4) 12X18H9T; 5) P6M5.

### Тест № 10

1. Какая цифра указывает на содержание углерода в марках конструкционных легированных сталей?

**Ответы:** 1) однозначная; 2) двузначная; 3) цифра опускается.

2. Указать марки улучшаемых сталей.

**Ответы:** 1) 35ХМ; 2) 70С3А; 3) 12ХН2; 4) 55СГ; 5) 40ХНМА.

3. Какой сплав способен сопротивляться образованию окалины при высокой температуре?

**Ответы:** 1) 110Г13Л; 2) X12Ф; 3) 08X17CЮ; 4) ХВГ.

4. Указать марки инструментальных сталей.

**Ответы:** 1) 9ХВ; 2) ХВСГ; 3) 12X18H10T; 4) 6ХС; 5) 60СГ; 6) P18Ф4.

5. Сколько хрома содержит сталь ШХ10?

**Ответы:** 1) 10 %; 2) 1 %; 3) 0,1 %.

### Тест № 11

1. Указать стали, применяемые для штампов холодного деформирования.

**Ответы:** 1) 10X13; 2) X12; 3) 5ХНВ; 4) ХВГ; 5) P18.

2. Указать марки рессорно-пружинных сталей.

**Ответы:** 1) 60С2ХФА; 2) Х6ВФ; 3) 30ХГТ; 4) ХВГ; 5) 70С3А; 6) 10ХНД.

3. Начиная с какого содержания хрома сталь становится нержавеющей?

**Ответы:** 1) 5 %; 2) 9 %; 3) 13 %; 4) 17 %; 5) 25 %.

4. Какой сплав следует применить для резца, обрабатывающего отливки с наличием пригара?

**Ответы:** 1) P6M3; 2) T17K12; 3) BK8; 4) T15K6.

5. Какие стали содержат равное количество углерода?

**Ответы:** 1) 10X17CЮ; 2) ХГ; 3) X12; 4) 15X18H9T; 5) У10.

### Тест № 12

1. Указать марки улучшаемых сталей.

**Ответы:** 1) 12ХН3А; 2) 38ХГСА; 3) 65СГ; 4) 40ХГР; 5) 40Х13; 6) 40Х9С2.

2. Указать марки жаростойких сталей.

**Ответы:** 1) Х12М1; 2) Г13Л; 3) 40Х9С2; 4) Р18; 5) 12Х18Т.

3. Указать марки инструментальных сталей.

**Ответы:** 1) 10Х18Н9Т; 2) Х; 3) Р12; 4) Т14К8; 5) Х12Ф; 6) 10Х17СЮ; 7) 70СЗА.

4. Указать карбиды, содержащиеся в сплаве Т15К6.

**Ответы:** 1) Fe<sub>3</sub>C; 2) WC; 3) TiC; 4) VC; 5) CoC; 6) TaC.

5. Содержание какого элемента указывает цифра, стоящая за буквой «Р» в стали Р9?

**Ответы:** 1) бор; 2) ванадий; 3) вольфрам; 4) углерод.

### Тест № 13

1. Указать марки улучшаемых сталей.

**Ответы:** 1) 38ХГР; 2) 65СГ; 3) Р18; 4) Г13Л; 5) 70СЗА; 6) 18ХГТ.

2. Какие из сталей - нержавеющей?

**Ответы:** 1) Р10К5Ф5; 2) ШХ15СГ; 3) 10ХСНД; 4) 10Х17Н2; 5) 08Х18Н9Т; 6) Х12; 7) 110Г13Л.

3. Как называют стали, основное свойство которых - красностойкость?

**Ответы:** 1) нержавеющей; 2) штамповые; 3) быстрорежущие; 4) жаростойкие; 5) жаропрочные.

4. Указать марки сталей, в состав которых входит бор.

**Ответы:** 1) 38ХГР; 2) Р12; 3) 10НХДП; 4) 10Х18Н9ВТ; 5) 35ГТРЛ.

5. Указать элементы, входящие в состав металлокерамики.

**Ответы:** 1) тантал; 2) железо; 3) титан; 4) никель; 5) хром; 6) вольфрам; 7) ванадий.

### Тест № 14

1. Указать сталь с наибольшим количеством углерода.

**Ответы:** 1) 110Г13Л; 2) 12Х18Н10Т; 3) 9ХФ; 4) Х12Ф1; 5) ХВСГ.

2. Указать сплав с наиболее высокой жаропрочностью.

**Ответы:** 1) 14Х14Н14Г3Т; 2) 10Х25Н16Г7АР; 3) 08Х23Н28М3Д3Т; 4) ХН55ВМЮ; 5) Т15К6.

3. Указать стали, подвергаемые цементации.

**Ответы:** 1) 20Х14; 2) 20ХГСА; 3) 38ХГН; 4) 15Х25Н20С2; 5) 15ХА.

4. Указать сплав с наиболее высокой красностойкостью.

**Ответы:** 1) Р9К10; 2) Х12М; 3) 20Х25Н16; 4) ВК8; 5) Т15К6.

5. Указать содержание хрома в стали ШХ15СГ.

**Ответы:** 1) 15 %; 2) 1,5 %; 3) 0,15 %.

### Тест № 15

1. Какой сплав следует применить для резца, обрабатывающего отливки с наличием пригара?

**Ответы:** 1) Р6М3; 2) Т17К12; 3) ВК8; 4) Т15К6.

2. Какие стали содержат равноценное количество углерода?

**Ответы:** 1) 10Х17СЮ; 2) ХГ; 3) Х12; 4) 15Х18Н9Т; 5) У10.

3. Указать сталь с наибольшим количеством углерода.

**Ответы:** 1) 110Г13Л; 2) 15Х18Н10Т; 3) 9ХФ; 4) Х12Ф1; 5) ХВСГ.

4. Указать сплав с наиболее высокой жаропрочностью.

**Ответы:** 1) 14Х14Н14Г3Т; 2) 15Х25Н16Г7АР; 3) 08Х23Н28М3Д3Т; 4) ХН55ВМЮ; 5) Т15К6.

5. Указать стали, подвергаемые цементации.

**Ответы:** 1) 20Х14; 2) 20ХГСА; 3) 38ХГНР; 4) 15Х25Н20С2; 5) 15ХА.

### Тест № 16

1. Какая сталь применяется для изготовления инструмента при деформировании металла в горячем состоянии?

**Ответы:** 1) 9ХС; 2) 5ХНВ; 3) 40ХГР; 4) Р18; 5) ХВГ.

2. Указать сплав, обладающий наиболее высокой красностойкостью.

**Ответы:** 1) 9Х5В; 2) Х12; 3) Р118Ф4; 4) Т5К10; 5) Р6М3.

3. Указать сплав с наибольшим содержанием углерода.

**Ответы:** 1) 110Г13Л; 2) ШХ9; 3) Х12М; 4) ХВГ; 5) 18ХГТ.

4. Указать марки конструкционных сталей.

**Ответы:** 1) 9Х5В; 2) 65СГ; 3) 25ХНТЦ; 4) 38ХМЮА; 5) 15Х6СЮ; 6) 5ХНВ.

5. Указать сплавы, применяемые для режущего инструмента.

**Ответы:** 1) БрБ2; 2) Р9К5Ф5; 3) Т5К10; 4) Г13Л; 5) 40ГТР.

### Тест № 17

1. Какой материал следует использовать для изготовления бритвенного лезвия?

**Ответы:** 1) У10; 2) 40Х13; 3) 14Х15; 4) 15Х25

2. Сталь какой марки относится к жаростойкой?

**Ответы:** 1) ШХ15СГ; 2) Р6М3; 3) 40Х10С2М; 4) 20Х2МА; 5) Х12М.

3. Какая из сталей подвергается улучшению?

**Ответы:** 1) 4Х5В2ФС; 2) 40Х13; 3) 65СТ; 4) 40ХНМА; 5) 15ХФ.

4. Какая из сталей - инструментальная?

**Ответы:** 1) 30Х3МФ; 2) 7Х3; 3) 10Х13; 4) 15Х25Т.

5. Какой сплав обладает наиболее высокой теплостойкостью?

**Ответы:** 1) Х12М; 2) ХВГ; 3) Р18; 4) Т5К10; 5) 12Х18Н9Т.

### Тест № 18

1. Какую сталь рационально использовать для изготовления зубьев ковшей экскаваторов?

**Ответы:** 1) ШХ15; 2) 110Г13Л; 3) 12Х18Н9Т; 4) Р6М5.

2. Какой из материалов относится к инструментальным сплавам?

**Ответы:** 1) ХН62МВКЮ; 2) 10Х17Н13М2Т; 3) Т14К8; 4) 40Х10С2М; 5) 40ХН2МА.

3. Какой сплав обладает наиболее высокой теплостойкостью?

**Ответы:** 1) Х12М; 2) ХВГ; 3) Т5К10; 4) 12Х18Н9Т.

4. Какая из сталей подвергается улучшению?

**Ответы:** 1) 4Х5В2ФС; 2) 40Х13; 3) 65СТ; 4) 40ХНМА; 5) 15ХФ.

5. Материал какой марки обладает устойчивостью в органических кислотах?

**Ответы:** 1) Р9К5Ф5; 2) 15Х25Т; 3) Т15К6; 4) 110Г13Л; 5) ВК10.

### Тест № 19

1. Сколько углерода содержит сталь ХГ?

**Ответы:** 1) 0,1 %; 2) 1 %.

2. Количество какого элемента указано в стали марки Р18?

**Ответы:** 1) углерода; 2) ванадия; 3) бора; 4) вольфрама; 5) молибдена.

3. Какая из сталей подвергается улучшению?

**Ответы:** 1) 4Х5В2ФС; 2) 40Х13; 3) 65СГ; 4) 40ХНМА; 5) 15ХФ.

4. Начиная с какого содержания хрома сталь становится нержавеющей?

**Ответы:** 1) 10 %; 2) 13 %; 3) 17 %; 4) 25 %.

5. Какой основной легирующий элемент жаростойкой стали?

**Ответы:** 1) никель; 2) хром; 3) титан; 4) вольфрам; 5) алюминий.

### Тест № 20

1. Какой из материалов относится к инструментальным сплавам?

**Ответы:** 1) ХН62МВКЮ; 2) 10Х17Н13М2Т; 3) Т14К8; 4) 40Х10С2М; 5) 40ХН2МА.

2. Что означает число 15 в марке стали ШХ15?

**Ответы:** 1) содержание углерода; 2) содержание хрома в целых процентах; 3) содержание хрома в десятых долях процента.

3. Какая из сталей подвергается улучшению?

**Ответы:** 1) 4Х5В2ФС; 2) 40Х13; 3) 65СГ; 4) 40ХНМА; 5) 15ХФ.

4. Какой сплав обладает наиболее высокой теплостойкостью?

**Ответы:** 1) Х12М; 2) ХВГ; 3) Р18; 4) Т5К10; 5) 12Х18Н9Т.

5. Количество какого элемента указано в стали марки Р18?

**Ответы:** 1) углерода; 2) ванадия; 3) бора; 4) вольфрама; 5) молибдена.

## Индивидуальные задания на тему «Применение легированных сталей»

### Вариант № 1

Из следующих материалов: 35ГТРЛ, Т15К6, 20Х, 40Х, АС12НХ, 14Х21Н4Т, 30Х14, 55ХГ, ХВГ, 08Х17СЮ - выбрать наиболее подходящие для :

1. Ответственных крепежных деталей, требующихся в большом количестве.
2. Опорных катков трактора.
3. Пружинящего кольца.
4. Рейки к наборной торцевой фрезе.
5. Дыропробивного пуансона.
6. Втулки цементуемой.
7. Распределительного вала.
8. Лопаток турбореактивного двигателя.
9. Спирали электроплитки.
10. Гребного винта морского судна.

### Вариант № 2

Из следующих материалов: 4ХЗВ2М2Ф, Х114Н16БРФ, Р18К5Ф5, Х20Н80, 20Х, 40Х13, 60СГФ, 30ХГСН2А, ВК10, 40Л - выбрать наиболее подходящие для:

1. Бритвенных ножей и лезвий.
2. Штампа для чеканки монет.
3. Штампа для горячего деформирования трудно деформируемых жаропрочных сталей.
4. Фрезы для обработки высокопрочной стали.
5. Нагревательных элементов промышленных электропечей.
6. Пружины заводного механизма.
7. Лопаток турбин с рабочей температурой 650 °С.
8. Ответственной шестерни.
9. Корпуса насоса.
10. Цементуемой втулки.

### Вариант № 3

Из следующих материалов: 15Х28, Р8МЗК6, 12Х14Н28В3Т3ЮР, 15Х23Ю5, Х12Ф, Ф, 20Х, 18ХГТ, Т5К10, ШХ15СГ - выбрать наиболее подходящие для :

1. Нагревателя бытового аппарата.
2. Волочильного инструмента.
3. Труб, стойких против молочной и уксусной кислоты.

4. Инструмента для обработки конструкционных сталей высокой прочности.
5. Крупного вырубного штампа сложной формы.
6. Лопаток и дисков турбин (при 670-720 °С).
7. Шпинделя быстроходного станка.
8. Мерительного инструмента.
9. Неответственной шестерни цементуемой.
10. Шарикоподшипников.

#### **Вариант № 4**

Из следующих материалов: 9ХС, 20Х25Н20С2, 10Х13, 110Г13Л, 20ХГНР, 10Х17Ю5, Т30К4, 60С2, 38ХН3А - выбрать наиболее подходящие для:

1. Ленты нагревательных элементов электропечи.
2. Проволоки стальной нержавеющей.
3. Крепежных соединений в условиях высоких температур (600 °С) и давлений.
4. Валков для холодной прокатки клейм.
5. Мерительного инструмента.
6. Ножей к наборной фрезе.
7. Червяка редуктора (цементуемого).
8. Штока высокой прочности.
9. Рессоры грузового трехтонного автомобиля.
10. Черпака землечерпальной машины.

#### **Вариант № 5**

Из следующих материалов: Х12М, 30ХН2МА, ХН77ТЮР, Р6М5Ф3, 70С2ХА, 40Х10С2, В1, 30Х13, Т30К4, 5Х2МНФ - выбрать наиболее подходящие для:

1. Выхлопного клапана легкового автомобиля.
2. Волочильного инструмента.
3. Шестерни, работающей под действием ударных и знакопеременных нагрузок.
4. Вставных ножей для червячной фрезы.
5. Мешалки для приготовления концентрированной соляной кислоты.
6. Пружины часового механизма.
7. Напильника.
8. Крупного молотового штампа.
9. Резца для обработки жаропрочных сталей.
10. Хирургической иглы.

### Вариант № 6

Из следующих материалов: 45Г2, 12Х18Н9Т, Р6АМ5, 20Х, Х12Ф4, Ф, Т5К10, 55ХФА, 04Х27Ю5А, 14Х14Н14В2М - выбрать наиболее подходящие для:

1. Сверла по металлу.
2. Ответственного дыропробивного пуансона.
3. Резца для обработки жароупорных материалов.
4. Шестерни, закаливаемой ТВЧ.
5. Цистерны для транспортирования азотной кислоты.
6. Поршневого пальца цементуемого.
7. Клейм.
8. Котлов тепловых электростанций (температура 600 °С, давление пара 500 ат.).
9. Упругих элементов вибрационно-частотных датчиков для контроля давления.
10. Нагревательной спирали бытовой электроплиты.

### Вариант № 7

Из следующих материалов: 18ХГТ, 40ХГРА, ВК8,20Х13, 70С3А, ХГ, ТТ7К12, ХН70М27, 30Х13, 35ГТРЛ - выбрать наиболее подходящие для:

1. Труб опреснительных установок.
2. Тяжелонагруженного вала двигателя.
3. Пальца шарнира, обладающего высокой износостойкостью на поверхности и высокой вязкостью в сердцевине.
4. Сверла для работы по дереву.
5. Рессоры автомобиля большой грузоподъемности.
6. Червячных колес диаметром 150 мм и толщиной 40 мм.
7. Резца для обработки бронзы.
8. Строгального резца, работающего в тяжелых условиях резания.
9. Тросов самолетов, применяемых в условиях морской службы.
10. Лопатки турбины реактивного двигателя (рабочая температура 800 °С).

### Вариант № 8

Из следующих материалов: Т15К6, 40Х, 70С3А, 40Х25Н20С2Л, Р12, 04Х28Ю5, 6ХФ, 110Г13Л, 4Х5МФС, 08Х23Н18 - выбрать наиболее подходящие для:

1. Метчика.
2. Рессоры автомобиля.
3. Высокоскоростного резца.
4. Звеньев гусениц трелевочного трактора.
5. Шестерни коробки передач.
6. Поддона электропечи.

7. Дисков, валов для работы в соляной кислоте.
8. Ножа для обработки дерева.
9. Формы для литья под давлением.
10. Клапанов, работающих в горячей фосфорной кислоте.

### Вариант № 9

Из следующих материалов: 55ГС, Х6ВФ, 12Х18Н12М3Т, 40Х, Р6АМ5, 35ГТРЛ, 40Х13, 25Х, Т15К6, 95Х18 - выбрать наиболее подходящие для:

1. Ответственной дыропробивной матрицы.
2. Втулки, работающей на износ при небольших ударных нагрузках.
3. Плоских средненагруженных пружин.
4. Резца для обработки конструкционной стали.
5. Аппаратуры, устойчивой для горячих растворов белильной извести и сульфитного щелока.
6. Гусеничных траков.
7. Развертки.
8. Шарикоподшипников для нефтяного оборудования.
9. Медицинской иглы.
10. Шестерни.

### Вариант № 10

Из следующих материалов: ХВ4, Р12, 10Х17Ю, ТТ7К12, 65С2ВА, 40Л, 9ХС, 17Х12Н8ГМФБ, 4ХМФС, 38ХМЮА - выбрать наиболее подходящие для :

1. Шестерни коробки скоростей станков.
2. Зубила для насечки напильников.
3. Пружинящих контактов приборов.
4. Резцов для обработки штамповок и поковок.
5. Ящиков для отжига деталей в печках с неконтролируемой атмосферой.
6. Корпуса мясорубки.
7. Парового молота.
8. Долбяка.
9. Чехла термопары для измерения температуры расплавов.
10. Ножа для бумаги.

### Вариант № 11

Из следующих материалов: 55ХГСФ, 110Г13Л, 5Х3ВЗМФС, 40Х13, Р12ФЗ, 9ХФ, 20Х20Н14С2, 08Х13Ю4, 7ХГ2НМ, 12Х18Н9Т - выбрать наиболее подходящие для:

1. Цементационных ящиков.
2. Бритвенного лезвия.
3. Черпака землеройной машины при работе по мерзлomu грунту.
4. Пружин станков и прессов.
5. Пилы по дереву.

6. Развертки повышенной стойкости.
7. Прошивного пуансона.
8. Сварных конструкций в условиях серной кислоты (до 60 %).
9. Жаростойких труб (500 °С).
10. Штампа горячего деформирования.

### Вариант № 12

Из следующих материалов: 04Х28Ю5С, 18ХГТ, ВК6, 40ХГР, Р18, ХГ, ТТ20К12, Х12, 30Х13, 60Х2Н2Ф, 110Г13Л - выбрать наиболее подходящие для:

1. Плиток измерительных.
2. Гребного винта морского судна.
3. Ответственной обжимной матрицы.
4. Резца для обработки поковок и штамповок.
5. Миксера для хранения жидкого чугуна.
6. Зенкера.
7. Ответственной теплостойкой пружины.
8. Зубчатых колес ответственных передач станка.
9. Крестовин рельсов.
10. Цементуемого эксцентрика.

### Вариант № 13

Из следующих материалов: 5Х2МНФ, Р9К5, ШХ20СГ, Т15К6, 12Х17, 35ГТРЛ, ХВ4, 12Х25Н16Г7АР, ХН60ВТ, 30Х13, 12Х2МСФР, ХГ - выбрать наиболее подходящие для :

1. Ножниц для резки металла.
2. Зенкера.
3. Парового молота.
4. Труб опреснительных установок.
5. Ножей к наборной торцевой фрезе.
6. Поддона электропечи.
7. Спирали электроплиты.
8. Гусениц вездехода.
9. Роликов подшипников.
10. Зубчатого колеса, работающего при больших нагрузках.

### Вариант № 14

Из следующих материалов: 38ХГР, Р12Ф3, 15ХМ, 40Х13, 35Х7Г7С2Т, 08Х17Ю, Х20Н80, 95Х18, 50ХГФА, 3Х2В8М - выбрать наиболее подходящие для:

1. Труб пароперегревателей.
2. Карданного вала.
3. Пружины часового механизма.

4. Бритвенного лезвия.
5. Шарикоподшипников для нефтяного оборудования.
6. Матриц и пуансонов при горячих работах.
7. Зенкера повышенной стойкости.
8. Реостатной проволоки высокого омического сопротивления.
9. Оборудования рыбоконсервных заводов.
10. Наплавки на рабочие органы почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин.

### Вариант № 15

Из следующих материалов: 5ХНМ, 60СГ, 12Х2МФБ, ВК6, 9Х2, 10Х16Н15МЗБ, 110Г13Л, Р12, 12Х7СЮ, 40ХГР - выбрать наиболее подходящие для:

1. Тяжело нагруженного вала.
2. Валков станов холодной прокатки.
3. Резца для обработки латуни.
4. Клапана выпуска автомобильного двигателя.
5. Ковочного штампа.
6. Котельной установки с рабочей температурой пара 400 °С и давлении 80 ат.
7. Химической аппаратуры, устойчивой к серной кислоте.
8. Деталей камнедробилок, работающих в условиях трения, сопровождаемого ударами.
9. Протяжки.
10. Упругой мембраны.

### Вариант № 16

Из следующих материалов: 15Х17, 25Х2МФ, 20Х13, Р6М3, 60ХГСФА, 40ХФА, ХГ, Х12, 10Х14Н28ВЗТЗЮР, 35ГТЛ, 4Х2В5Ф, Т15К6, Х27 - выбрать наиболее подходящие для:

1. Кривошипа высокой прочности.
2. Чехла термопары.
3. Трубы пароперегревателей.
4. Лопаток турбин, работающих при 670 – 720 °С.
5. Трубы опреснительной установки.
6. Протяжки.
7. Чеканочного штампа.
8. Ответственной пружины, работающей до 300 °С.
9. Гусеничного трака.
10. Пуансона для горячего выдавливания металла.

### Вариант № 17

Из следующих материалов: 18ХГТ, 110Г13Л, 50ХФА, Р6М5, 40ХНМА, 3Х2В8, Х12Ф, 38ХМЮА, 40Х13, ХН70М27 – выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Вала, работающего с большими нагрузками.
2. Червяка редуктора (цементируемого).
3. Станков цилиндров мощных моторов с повышенной твердостью на рабочей поверхности (HV 950-1000).
4. Щек и шаров машин для дробления руды и камней.
5. Деталей гидросамолетов, работающих в морской воде.
6. Упругих элементов вибрационно-частотных датчиков.
7. Червячных фрез, обрабатывающих конструкционные стали с твердостью HB 240.
8. Формы литья металлов под давлением.
9. Штампов сложной формы с наличием отверстий для холодного деформирования металла.
10. Лопаток турбореактивных двигателей.

### Вариант № 18

Из следующих материалов: 40Х, 60С2ХА, АС19ХНГ, 30Х13, 12Х12В2МФ, Р18, 20ХНЗА, ВК10, 70СЗА, ХГ – выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Болтов, обрабатываемых на быстроходных станках-автоматах.
2. Зубчатых колес, закаливаемых с помощью индукционного нагрева ТВЧ.
3. Пружин приборов.
4. Деталей паровых турбин, работающих при температурах 400 – 500 °С.
5. Тросов самолетов, применяемых в условиях морской службы.
6. Долбяков для обработки конструкционных сталей твердостью HB 230.
7. Штампа для холодной чеканки медных сплавов.
8. Круглых плашек для обработки мягкой низкоуглеродистой стали.
9. Шестерни ответственного назначения, подвергаемые цементации.
10. Рессоры грузового автомобиля.

### Вариант 19

Из следующих материалов: 25ХГНА, Р6М5, 15Х18Н9Т, 65СГ, 40ХГР, 38ХМЮА, 110Г13Л, 15Х12ВМФ, Р9К5Ф5, 12Х18Т, 20Х13, 60С2ХА, 15Х25Т – выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Котлов тепловых электростанций, работающих при температуре 300 °С под давлением пара.
2. Детали оборудования, устанавливаемого на морских судах и устойчивые против действия морской воды.

3. Резец для обработки труднообрабатываемых материалов.
4. Пружины прибора.
5. Цилиндрических зубчатых колес, упрочняемых цементацией.
6. Стакана цилиндра двигателя внутреннего сгорания с твердостью на поверхности HV 950-1000.
7. Козырьков и черпаков землечерпальных машин.
8. Коленвала.
9. Спираль электроплитки.
10. Развертка.

### Вариант 20

Из следующих материалов: 15X25T, 9XФ, 20XН3А, Х12, ШХ15СГ, Р6М5, Х, 50ХФА, 20X25Н20С2, 5ХНВ – выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Спирали электрокамина.
2. Шариков подшипников скольжения.
3. Зенкера.
4. Прошивного пуансона.
5. Калибров.
6. Шестерни коробки скоростей трактора.
7. Упругой мембраны.
8. Выглаживателя для получения поверхности высокого класса точности.
9. Ковочного штампа.
10. Поддона электропечи.

### Индивидуальные задания на тему «Инструментальные материалы»

При выполнении индивидуального задания оформить результаты работы в виде таблицы:

№ п/п	Название инструмента	Материал для изготовления инструмента	Химический или фазовый состав по марке	Классификация по назначению	Красно-стойкость (для режущего инструмента)
1	Фреза	Р6М5	6% W 5% Мо	инструментальная быстрорежущая	600-625 °С

### Вариант № 1

Из следующих сталей и сплавов: Р6М5, ТТ20К9, У10, 9ХС, ВК10, Т15К6, Х12, 4Х5МФС, ВОК- 60 - выбрать материал для изделий:

1. Метчика для работы по металлу с большой скоростью резания.
2. Выглаживателя для получения поверхности высокого класса чистоты.
3. Матрицы для холодного деформирования металла.
4. Резца для черновой обработки отливок с наличием пригара.
5. Пресс-формы для литья под давлением.
6. Ножей для резки бумаги и кожи.
7. Резца для обработки чугуна с большой скоростью резания.
8. Пластины для наборной червячной фрезы, обрабатывающей конструкционную сталь.
9. Резца для обработки отбеленного чугуна.

### **Вариант № 2**

Из следующих сталей и сплавов: 3Х2В8Ф, ХВСГ, 5ХГМ, Р9К5Ф5, Т14К8, Х, У10, ТТ20К7 - выбрать материал для изделий:

1. Бритвенного ножа.
2. Сверла, для получения отверстий в вязкой нержавеющей стали.
3. Фрезы, для обработки поверхностей в штамповке.
4. Ножниц для холодной резки металла.
5. Молотового штампа.
6. Плашки, работающей при невысоких скоростях резания.
7. Калибра простой формы пониженного класса точности.
8. Пресс-формы для литья под давлением цинковых сплавов.
9. Слесарного инструмента.

### **Вариант № 3**

Из следующих сталей и сплавов: 9ХС, Р6М5, Х12Ф, ХГ, Т5К10, ВК8, ТТ17К12, 5ХНВ, СА - выбрать материал для изделий:

1. Сверла для обработки мягких материалов со скоростью резания ~20 м/мин.
2. Долбяка для обработки конструкционной стали.
3. Штампа для горячего деформирования металла.
4. Резца для обработки поковки с окалиной.
5. Волоочильного инструмента.
6. Резца для обработки бронзы.
7. Штангенциркуля.
8. Резца для чистовой обработки нормализованной конструкционной стали.
9. Инструмента для насечки напильников.

### **Вариант № 4**

Из следующих сталей и сплавов: Р9К5Ф5, 3Х3М3ФС, 5ХГТ, СА, У13А, Х6В5, 9ХФ, Т5К10, Р6М3 - выбрать материал для изделий:

1. Матрицы для холодной обрезки заусенец.
2. Зенкера для рассверливания отверстий в нормализованной стали для повышенной скорости резания.
3. Пресс-формы для литья под давлением алюминиевых сплавов.
4. Резца по стеклу.
5. Ковочного молота.
6. Резца для обработки титановых сплавов.
7. Ножовочного полотна.
8. Сверла для получения отверстий в капроне.
9. Вставных ножей к наборной фрезе.

### **Вариант № 5**

Из следующих сталей и сплавов: X, У13, 7ХФ, КНБ, 3Х2МНФ, ТТ17К12, 9ХС, Х12Ф, Р6М5Ф3 - выбрать материал для изделий:

1. Инструмента для чеканки монет.
2. Фрезы для обработки отожженной инструментальной стали.
3. Тяжелого чернового точения отливок с наличием пригара.
4. Резца для обработки закаленной стали.
5. Пресса, работающего в условиях длительного нагрева.
6. Лекала.
7. Напильника.
8. Клейма по металлу.
9. Матрицы для холодного деформирования металла.

### **Вариант № 6**

Из следующих сталей и сплавов: ВК6, ХВГ, Х12, У10, СА, Р6М3, 3Х3М3Ф, ТТ7К12, Ф - выбрать материал для изделий:

1. Ручного метчика.
2. Сверла для обработки стали 40Х.
3. Развертки для развертывания отверстия в бронзе.
4. Пуансона холодного выдавливания, работающего при высоком давлении.
5. Ножниц.
6. Ковочного молота.
7. Резца для снятия окалины с поковки.
8. Шлифования металлокерамики.
9. Гравировального инструмента.

### **Вариант № 7**

Из следующих сталей и сплавов: Х6В5, ХВГ, ВК8, ТТ60К2, 3Х2В8Ф, Р6М5, 4ХС, ХВСГ, Р18Ф4 - выбрать материал для изделий:

1. Метчика для работы по металлу с повышенной скоростью резания.

2. Накатного ролика.
3. Пуансона для холодного деформирования металла.
4. Резца для черновой обработки детали с участками сварного шва.
5. Пресс-формы для литья под давлением цветных сплавов.
6. Инструмента холодного деформирования, работающего с ударными нагрузками.
7. Резца, обрабатывающего чугуны с большой скоростью резания.
8. Резца для обработки жаропрочной стали.
9. Длинной плоской протяжки, работающей со скоростью ~20 м/мин.

### **Вариант № 8**

Из следующих сталей и сплавов: Р6М5, ВК6, ХВСГ, ТТ12К7, Х12М, У10, Х12, Р9М4К8, 5ХГМ - выбрать материал для изделий:

1. Плоскозубцев.
2. Зенкера для обработки неупрочненной конструкционной стали.
3. Резьбонакатного ролика.
4. Сверла для обработки пластмассы.
5. Калибра высокого класса точности.
6. Резца, работающего в тяжелых условиях чернового точения с ударами.
7. Штампов сложной формы, деформирующих металл в холодном состоянии.
8. Крупных молотовых штампов.
9. Резца, обрабатывающего нержавеющую сталь.

### **Вариант № 9**

Из следующих сталей и сплавов: ВК10, 6ХС, ТТ7К12, ВОК 60-3, У9, Р6М5К5, ХВ5, ХГ, Р6М3 - выбрать материал для изделий:

1. Фрезы для обработки жаропрочной стали.
2. Резца для черновой обработки отливок с наличием пригара и раковин.
3. Резца для скоростной обработки цветных металлов.
4. Штампа для холодного деформирования металла, работающего с ударами.
5. Резца для сверхскоростной обработки твердого металла на станке с ЧПУ.
6. Микрометра.
7. Сверла для высверливания отверстий в стали 40ХГР с высокой скоростью резания.
8. Шарика, обкатывающего металл для повышения чистоты поверхности.
9. Металлической линейки.

### **Вариант № 10**

Из следующих сталей и сплавов: Х, Р6М5К5, ХВГ, Р6М3, 5ХВ2Н, ЦМ442, 6Х2В2С, СА, У8 - выбрать материал для изделий:

1. Зубила.
2. Микрометрического глубиномера.
3. Фрезы для обработки нержавеющей стали.
4. Дыропробивного пуансона.
5. Резца для чистовой обработки высокопрочной стали со скоростью резания 300-700 м/мин.
6. Сверла для обработки стали 38ХС с большой скоростью резания.
7. Ножниц для резки листового металла.
8. Пресс-матрицы для горячего деформирования металла.
9. Инструмента для шлифования металлокерамических твердых сплавов.

### **Вариант № 11**

Из следующих сталей и сплавов: ХВ5, СА, Р6М5, ВОР 60, ХВГ, 8Х3, Х, ВК8, Х12Ф - выбрать материал для изделий:

1. Микрометрического нутромера.
2. Матрицы для обрезки облоя.
3. Резца по стеклу.
4. Метчика для конструкционной стали, обрабатываемой при повышенных скоростях резания.
5. Резца для обработки цветных сплавов с высокой производительностью.
6. Резца для доводки азотированной пресс-формы.
7. Протяжки, работающей с невысокой скоростью резания.
8. Клейма по металлу.
9. Накатного ролика.

### **Вариант № 12**

Из следующих сталей и сплавов: 5ХНВ, Р6М3, 9ХС, Р6М5К5, ТТ20К7, Х, Х6В5, Х12Ф - выбрать материал для изделий:

1. Плашки.
2. Зубомерного микрометра.
3. Крупного молотового штампа.
4. Фрезы для обработки титановых сплавов.
5. Резца для обтачивания заготовки из стали 40Х с высокой скоростью резания.
6. Пуансона для пробивки отверстий в листах большой толщины.
7. Бритвенного лезвия.
8. Резца для снятия окалины с поковки.
9. Накатного ролика.

### **Вариант № 13**

Из следующих сталей и сплавов: ХВГ, ТТ7К12, Х, ЦМ-442, СА, У10, Т14К8, Х12Ф, 4ХС - выбрать материал для изделий:

1. Швейной иглы.

2. Зенкера с большим отношением длины к диаметру для обработки мягких металлов со скоростью резания до 20 м/мин.
3. Резца для чистовой обработки стали 45Х с высокой производительностью.
4. Строгального резца, работающего по детали с участками сварного шва.
5. Штангенреймуса.
6. Резца для чистовой обработки высокопрочных сталей.
7. Инструмента холодного деформирования, работающего с ударами.
8. Волочильного инструмента.
9. Инструмента для шлифования изделий из камня.

#### **Вариант № 14**

Из следующих сталей и сплавов: ВК10, ТТ20К7, ХГ, 6Х3МФС, У11, Р10К5Ф5, 9ХС, Х12, Р6М3 - выбрать материал для изделий:

1. Фильтры для волочения проволоки.
2. Резца для снятия литейной корки с отливки.
3. Фрезы для обработки высоколегированной стали.
4. Шаблона для проверки ширины пазов.
5. Сверла по дереву.
6. Обжимной матрицы.
7. Вставки в пресс-форму для литья под давлением цинковых сплавов.
8. Отвертки.
9. Развертки.

#### **Вариант № 15**

Из следующих сталей и сплавов: Р6М5, 4ХМФС, ВК4, Х12Ф, Х, 4ХС, Т5К10, Р6М3Ф2, 4Х5В2ФС - выбрать материал для изделий:

1. Калибров для отверстий.
2. Вставных ножей к наборной фрезе для обработки конструкционных сталей.
3. Метчика для нарезания резьбы в изделиях из нержавеющей стали.
4. Матрица для горячего прессования металла.
5. Сверла для работы по пластмассе.
6. Пневматического зубила.
7. Крупного обрезающего штампа.
8. Прессового инструмента, деформирующего металл в горячем состоянии.
9. Резца для обработки стали 40ХГР в отожженном состоянии.

#### **Вариант № 16**

Из следующих сталей и сплавов: 3Х3ВМФ, Х, КНБ, Х12, Т14К8, 6ХС, Р9М4К8, У7, ВК8 - выбрать материал для изделий:

1. Инструмента для зенкерования чугуна.
2. Пресс-вставки для горячего деформирования конструкционных сталей.
3. Угломера.
4. Гильотинных ножниц по металлу.
5. Резца для подводки азотируемой поверхности.
6. Фрезы для обработки высоколегированной стали.
7. Резьбонакатного инструмента.
8. Резца для обработки неупрочненной стали 40ХР.
9. Зубила.

## ТЕСТЫ

### Тест № 1

1. Сколько углерода содержит сталь Х12?  
**Ответы:** 1) 1,0 %; 2) <1,0 %; 3) > 1,5%.
2. Какой материал обладает наивысшей красностойкостью?  
**Ответы:** 1) Х12Ф; 2) Р6М5; 3) Р18Ф4; 4) ТТ20К7.
3. Из какого материала можно изготовить штангенциркуль?  
**Ответы:** 1) Р9; 2) Х12; 3) Х; 4) ХНВ.
4. Укажите стали для изготовления инструмента для холодного деформирования металла.  
**Ответы:** 1) 5ХНВ; 2) Х6В5; 3) 8Х3; 4) Р6М5; 5) Х12Ф.
5. Количество какого элемента указано за буквой «Р» в стали Р6М3?  
**Ответы:** 1) углерода; 2) вольфрама; 3) ванадия; 4) бора.

### Тест № 2

1. Сколько углерода содержит сталь ХГ?  
**Ответы:** 1)  $\leq 1\%$ ; 2)  $\sim 1\%$ ; 3)  $> 1,5\%$ .
2. Какой материал применяется в особо тяжелых условиях резания?  
**Ответы:** 1) Р5К5Ф5; 2) ВК10; 3) Х12; 4) ТТ20К5.
3. Какую сталь лучше использовать для изготовления накатных роликов?  
**Ответы:** 1) 8Х3; 2) Х12Ф; 3) Р6М5; 4) 5ХГМ.
4. Карбиды каких элементов содержатся в сплаве Т5К10?  
**Ответы:** 1) W; 2) Со; 3) Ti; 4) Та.
5. Какова красностойкость стали Р6М5?  
**Ответы:** 1) 200 °С; 2) 600 °С; 3) 800 °С; 4) 1000 °С.

### Тест № 3

1. Как называется сплав Т15К6?  
**Ответы:** 1) минералокерамический; 2) быстрорежущая сталь; 3) металло-керамический; 4) синтетический.

2. Сколько компонентов содержит сталь ХГ?

**Ответы:** 1) два; 2) три; 3) четыре.

3. Укажите наиболее высокоуглеродистый материал.

**Ответы:** 1) ХВГ; 2) Р6М3; 3) ВК8.

4. Какой материал рекомендуется применять для обработки чугуна с высокой скоростью резания?

**Ответы:** 1) Х12; 2) Р6М3; 3) ВК8.

5. Какой из материалов имеет наиболее высокую красностойкость?

**Ответы:** 1) ХГСВ; 2) Т5К10; 3) Р9К10; 4) ЦМ-442.

#### Тест № 4

1. Карбиды каких элементов содержатся в сплаве Т14К8?

**Ответы:** 1) W; 2) Та; 3) Ti; 4) Со; 5) Fe.

2. Какие материалы можно использовать для штампов холодного деформирования?

**Ответы:** 1) Р6М5; 2) Х12; 3) У82; 4) ТТ14К8.

3. Как расшифровать состав сплава Т14К8?

**Ответы:** 1) 1 % С, 14 % Ti, 8% Со, 77 % Fe; 2) 14 % TiС, 8% Со, 78 % Fe; 3) 14 % TiС, 8% Со, 78 % WС.

4. На каком уровне находится красностойкость быстрорежущей стали?

**Ответы:** 1) 200-250 °С; 2) 600-650 °С; 3) 800-1000 °С.

5. Сколько компонентов содержит сталь марки Ф?

**Ответы:** 1) два; 2) три.

#### Тест № 5

1. Какой элемент не образует карбидов в металлокерамических твердых сплавах?

**Ответы:** 1) W; 2) Ti; 3) Та; 4) Со; 5) Fe.

2. Какой из материалов обладает наиболее высокой твердостью?

**Ответы:** 1) Х12; 2) СА; 3) У13; 4) ЦМ-332; 5) Т5К10.

3. Каким материалом можно обработать поковку с наличием окалины?

**Ответы:** 1) ВК8; 2) Р9К5Ф5; 3) ТТ20К7; 4) СА.

4. Сколько компонентов содержит сталь Х12М?

**Ответы:** 1) два; 2) три; 3) четыре.

5. Из какого материала можно изготовить зенкер для обработки крупных отверстий в металле?

**Ответы:** 1) Х12; 2) Т15К6; 3) Р6М5; 4) ВК8.

#### Тест № 6

1. Какая сталь применяется для горячекатаного деформирования металла?

**Ответы:** 1) Х12; 2) Р6М5; 3) 5ХНВ.

2. Из какой стали можно изготовить калибр для контроля резьбы?

**Ответы:** 1) У7; 2) ХВГ; 3) Х12Н; 4) Р6М5.

3. Какой материал можно использовать для чистовой обработки закаленной стали?

**Ответы:** 1) Р18; 2) Т5К10; 3) ЦМ-442; 4) Х12Ф.

4. Как называется сплав ТТ20К7?

**Ответы:** 1) минералокерамический; 2) металлокерамический; 3) синтетический.

5. Какова красностойкость стали Р6М5?

**Ответы:** 1) 250 °С; 2) 625 °С; 3) 800 °С; 4) 1000 °С.

### Тест № 7

1. К какому структурному классу относятся быстрорежущие стали?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) аустенитному; 3) карбидному; 4) ферритному.

2. Какой материал обладает наиболее высокой твердостью?

**Ответы:** 1) Х12; 2) СА; 3) ВК2; 4) ТТ20К7.

3. Какой материал обладает наиболее высокой красностойкостью?

**Ответы:** 1) Х12; 2) ВК20; 3) Т14К8; 4) ЦМ-442.

4. Из какого материала лучше изготовить сверло по дереву?

**Ответы:** 1) 9ХС; 2) Х12; 3) Р18; 4) Т15К6.

5. Какова область закалочных температур быстрорежущих сталей?

**Ответы:** 1) 780-820 °С; 2) 840-860 °С; 3) 1200-1280 °С; 4) 1400-1500 °С.

### Тест № 8

1. Что понимается под красностойкостью стали?

**Ответы:** 1) температура отпуска стали; 2) температура нагрева, при которой твердость закаленной стали начинает резко понижаться; 3) температура горячей обработки давлением.

2. Инструмент изготовлен из стали У7, ХВГ, Р18. В какой стали наиболее вероятно образование шлифовочных трещин?

**Ответы:** 1) У7; 2) ХВГ; 3) Р18.

3. Какие быстрорежущие стали относятся к сталям нормальной производительности?

**Ответы:** 1) Р18Ф2; 2) Р6М5; 3) Р12; 4) Р9К5Ф5.

4. К какому классу по структуре в нормализованном состоянии относятся быстрорежущие стали?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) карбидному; 3) аустенитному.

5. Какие из сталей и сплавов: 5ХНВ, Х, Т5К10, 65СГ, 12ХМ, Х12, АС40ХН - относятся к инструментальным?

**Ответы:** 1) 5ХНВ; 2) Х; 3) Т5К10; 4) 65СГ; 5) 12ХМ; 6) Х12; 7) АС40ХН.

### Тест № 9

1. Наличие каких элементов в составе быстрорежущей стали обеспечивает ее высокую твердость и износостойкость?

**Ответы:** 1) карбидообразующих; 2) углерода; 3) никеля и кобальта.

2. Какие инструменты не требуют сплошной прокаливаемости?

**Ответы:** 1) напильники; 2) молотовые штампы; 3) плашки; 4) калибры для контроля размеров валов; 5) накатные ролики.

3. Какая фаза содействует образованию шлифовочных трещин?

**Ответы:** 1) мартенсит; 2) остаточный аустенит; 3) троостит.

4. Какие инструментальные стали обладают повышенной вязкостью?

**Ответы:** 1) X; 2) В1; 3) 5ХНВ; 4) 9Х; 5) 6ХС.

5. Какой из инструментальных материалов содержит наибольшее количество карбидов?

**Ответы:** 1) X12; 2) P18; 3) BK2; 4) X6B5.

### Тест № 10

1. Почему быстрорежущие стали подвергают трехкратному отпуску?

**Ответы:** 1) для получения в структуре мартенсита; 2) для разложения остаточного аустенита; 3) для снятия внутренних напряжений.

2. Какова температура загалки стали P18?

**Ответы:** 1) 780 °С; 2) 860 °С; 3) 1280 °С; 4) 1320 °С.

3. Какую сталь лучше использовать для крупных и сложных штампов холодного деформирования?

**Ответы:** 1) P6M5; 2) 5ХНВ; 3) X12; 4) У8.

4. Какие из сплавов - металлокерамические?

**Ответы:** 1) ВOK 60; 2) BK4; 3) ЦМ-442; 4) T5K10; 5) P9M4K5; 6) TT20K7.

5. Правильно ли расшифрован состав сплава T30K14: 30 % Ti, 4 % Co, 26 % W?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

### Тест № 11

1. Какая из штамповых сталей имеет более высокую теплостойкость?

**Ответы:** 1) X12; 2) 5ХНВ; 3) 4X5MФC.

2. Для чего ответственный мерительный инструмент подвергают старению?

**Ответы:** 1) для разложения остаточного аустенита; 2) для стабилизации структуры; 3) для повышения твердости.

3. Правильно ли указан состав сплава T14K8: 14 % Ti, 8 % Co, 78 % Fe?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

4. Какие элементы не указаны в марке стали P6M3?

**Ответы:** 1) хром; 2) кремний; 3) ванадий; 4) кобальт; 5) никель.

5. Какой материал имеет красностойкость ~1200 °С?

**Ответы:** 1) T15K6; 2) P18Ф4; 3) ЦМ-442; 4) BK10.

## Тест № 12

1. Какой материал имеет красностойкость ~620 °С ?

**Ответы:** 1) Т5К10; 2) ВК8; 3) Р6М3; 4) ВОК 60; 5) Х12М.

2. Какой материал изготавливается из прессованного и спеченного порошка?

**Ответы:** 1) КНБ; 2) Р9К10; 3) Т30К4.

3. Какая сталь содержит наименьшее количество дефицитного вольфрама?

**Ответы:** 1) Р6М3; 2) ХВ5; 3) РОМЗФ2; 4) ХВГ.

4. Какую сталь следует выбрать для блоков молотовых штампов со стороной кубика 200-300 мм?

**Ответы:** 1) Х12; 2) ХВГ; 3) 4ХС; 4) 5ХНМ.

5. Как влияет ванадий на шлифуемость быстрорежущей стали?

**Ответы:** 1) улучшает; 2) ухудшает.

## Тест № 13

1. Какая сталь содержит наибольшее количество углерода?

**Ответы:** 1) 9ХС; 2) ХГ; 3) Х12; 4) Р18.

2. Какие элементы входят в состав сплава ВК8?

**Ответы:** 1) W; 2) С; 3) Со; 4) Fe.

3. Какое качество стали Р6М5 обеспечивает работу режущего инструмента с высокой скоростью?

**Ответы:** 1) твердость; 2) износостойкость; 3) красностойкость; 4) прочность.

4. Для каких случаев наиболее широко используется алмазный инструмент?

**Ответы:** 1) для чистовой обработки изделий из цветных металлов; 2) для заточки твердосплавного инструмента; 3) для резки стекла; 4) для изготовления вырубного штампа.

5. Какой материал не является инструментальным?

**Ответы:** 1) ХГ; 2) У10; 3) У12; 4) 40Х13; 5) 4ХС.

## Тест № 14

1. Карбиды каких элементов входят в состав металлокерамических твердых сплавов?

**Ответы:** 1) титана; 2) ванадия; 3) вольфрама; 4) ниобия; 5) тантала; 6) железа.

2. Какой из материалов имеет наиболее высокую красностойкость?

**Ответы:** 1) Р9К10; 2) Р18; 3) Т30К4; 4) ЦМ-442.

3. Какие из сталей содержат одинаковое количество углерода?

**Ответы:** 1) У10; 2) Х12; 3) ХГ; 4) Р18.

4. Какова структура стали ХВГ после закалки и низкого отпуска?

**Ответы:** 1)  $M+A_{ост.}$ ; 2)  $M+K$ ; 3)  $M$ .

5. В каком случае твердость быстрорежущей стали выше?

**Ответы:** 1) после закалки; 2) после закалки и отпуска.

### Тест № 15

1. Какие из сталей - инструментальные?

**Ответы:** 1) ХГ; 2) P12; 3) 40X13; 4) X12; 5) 4XC.

2. Какой из сплавов - металлокерамический?

**Ответы:** 1) X6B5; 2) 15X18; 3) T5K10; 4) X12Ф1.

3. Какую красностойкость имеют низколегированные инструментальные стали?

**Ответы:** 1) 200 °С; 2) 400 °С; 3) 600 °С; 4) 800 °С.

4. Какие свойства ухудшает остаточный аустенит в структуре стали?

**Ответы:** 1) износостойкость; 2) шлифуемость; 3) твердость; 4) красностойкость.

5. Чем можно объяснить различие в прочности разных по сечению заготовок из быстрорежущей стали?

**Ответы:** 1) разной прокаливаемостью; 2) карбидной ликвацией; 3) влиянием на прочность масштабного фактора.

### Тест № 16

1. К какому структурному классу относится сталь X12?

**Ответы:** 1) мартенситному; 2) перлитному; 3) карбидному; 4) ферритному.

2. Правильно ли указан состав сплава T15K6: 1% С, 15% Ti, 6% Со, 78 % Fe?

**Ответы:** 1) да; 2) нет.

3. Укажите материал с наиболее высокой красностойкостью.

**Ответы:** 1) T14K8; 2) P6M5; 3) BK8; 4) ЦМ442.

4. Какой инструментальный материал наиболее рационально использовать для обработки латуни?

**Ответы:** 1) T5K10; 2) X12; 3) BK8; 4) P18.

5. Какие стали можно использовать для изготовления мерительного инструмента?

**Ответы:** 1) 9XC; 2) BK10; 3) P6M5; 4) ХГ; 5) T15K6.

## РАЗДЕЛ 15 ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

**Цель работы:** ознакомление с основными сплавами на основе меди, алюминия, магния, титана, олова, свинца и приобретение навыков в выборе сплавов в зависимости от условий эксплуатации в технике характерных деталей и конструкций.

### Задание:

1. Выбрать сплавы для изделий в соответствии с вариантом задания. Результаты работы представить в виде таблицы:

№ п/п	Название изделия	Марка сплава	Название сплава	Основные компоненты сплава
1	Гильзы патронов	Л70	Латунь	70% Cu 30% Zn
2	Сложная отливка неответственного назначения	АЛ4	Силумин	Al, Si

2. Ответить на вопросы теста.

### Основные сведения

#### 15.1 Медные сплавы

##### Свойства меди

Медь относится к группе благородных металлов. Это металл красновато-розового цвета, имеет кристаллическую ГЦК решетку, полиморфных превращений нет. Температура плавления меди – 1083 °С, плотность – 8,9 г/см<sup>3</sup>.

Медь обладает хорошей технологичностью. Она прокатывается в тонкие листы, ленту, тонкую проволоку; легко полируется, хорошо паяется и сваривается.

Медь характеризуется высокими теплопроводностью и электропроводностью, пластичностью и коррозионной стойкостью.

#### Общая характеристика и классификация медных сплавов

Сохраняя положительные качества меди, медные сплавы обладают хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами. Они обладают высокой коррозионной стойкостью во многих органических кислотах. По химическому составу медные сплавы подразделяют на две основные группы: латуни и бронзы.

## Латуни

Латунями называются сплавы меди с цинком. Они бывают двойными и многокомпонентными (легированные).

По технологическим свойствам латуни подразделяются на деформируемые (обрабатываемые давлением) и литейные.

Двойные деформируемые латуни маркируются буквой Л (латунь) и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах. Содержание цинка в марке латуни не указывается и определяется по разности компонентов. Например, в латуни марки Л68 содержится 68 % меди и 32 % цинка.

В марках легированных латуней, кроме цифры, показывающей содержание меди, даются буквы и цифры, обозначающие название и количество в процентах легирующих элементов. Алюминий в медных сплавах обозначают буквой А, никель – Н, олово – О, свинец – С, фосфор – Ф, железо – Ж, кремний – К, марганец – Мц, бериллий – Б, цинк – Ц. Например, ЛАН59-3-2 содержит 59 % меди, 3 % алюминия, 2 % никеля, остальное – цинк.

В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его название. Например, ЛЦ49Мц3А содержит 40 % цинка, 3 % марганца, 1 % алюминия, остальное – медь.

Структура латуней может быть однофазной и двухфазной. Однофазные латуни содержат до 39 % цинка и имеют структуру  $\alpha$  твердого раствора цинка в меди. При большем содержании цинка образуется хрупкое соединение  $\text{CuZn}$  ( $\beta$ -фаза). Латуни находятся в двухфазном состоянии  $\alpha+\beta$  при концентрации цинка от 39 до 45 %.

В связи с высокой пластичностью однофазные латуни хорошо поддаются холодной пластической деформации, которая значительно повышает их твердость и прочность.  $\alpha$ -латуни, в основном, выпускают в виде холоднокатаных полуфабрикатов: полос, лент, труб, проволоки, листов, из которых изготавливают детали методом холодной вытяжки (радиаторные трубки, снарядные гильзы, трубопроводы), а также деталей, требующих по условиям эксплуатации низкую твердость (шайбы, втулки, уплотнительные кольца и др.).

Пластичность двухфазных латуней вследствие наличия  $\beta$ -фазы меньше, а твердость и износостойкость – выше. Эти латуни выпускают в виде горячекатаного полуфабриката: листов, прутков, труб, штамповок. Из них изготавливают втулки, гайки, тройники, штуцеры, токопроводящие детали электрооборудования и др.

Сложные латуни вследствие дополнительного легирования обладают специальными свойствами. Так, латуни, содержащие олово, имеют высокую коррозионную стойкость в морской воде (морские латуни); содержащие свинец – хорошо обрабатываются резанием на быстроходных станках-автоматах (автоматные латуни); содержащие никель и алюминий – более высокую прочность; содержащие марганец и кремний – более высокие литейные свойства. Эти латуни применяют для изготовления арматуры, деталей приборов в судостроении и общем машиностроении, массовые отливки.

## **Бронзы**

Бронзами называются сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка (который может присутствовать в качестве легирующего элемента). Название бронзам дают по основным элементам. Так, их подразделяют на оловянистые, алюминиевые, бериллиевые, кремнистые и др.

Деформируемые бронзы маркируют буквами Бр (бронза), за которыми следуют буквы, а затем цифры, обозначающие название и содержание в процентах легирующих элементов. Например, Бр ОЦС 4-4-2,5 содержит 4 % олова, 4 % цинка, 2,5 % свинца, остальное – медь. В марках литейных бронз содержание каждого легирующего элемента ставится сразу после буквы, обозначающей его название. Например, БрОбЦ6С3 содержит 6 % олова, 6 % цинка, 3 % свинца, остальное – медь.

Оловянистые бронзы превосходят латуни по прочности, сопротивляемости коррозии (особенно в морской воде), износостойкости. Важное преимущество оловянистых бронз – высокие литейные свойства (малая усадка). Их применяют для литых деталей сложной формы. Однако для арматуры котлов (и подобных деталей) они используются лишь в случае небольших давлений пара, так как отливки имеют значительную микропористость.

Алюминиевые бронзы широко используются в качестве заменителей латуни и оловянистых бронз. У этих бронз свойства (жидкотекучесть) ниже, чем у оловянистых, больше усадка, но они не имеют пористости, что обеспечивает получение более плотных отливок. Бронзы используют для котельной арматуры, работающей при повышенных напряжениях, и для деталей, применяющихся в авиации, судостроении. В виде листов, лент, проволоки их применяют для упругих элементов, в частности, для токоведущих пружин.

Все алюминиевые бронзы, как и оловянистые, устойчивы против коррозии в морской воде и во влажной тропической атмосфере.

Кремнистые бронзы превосходят латуни и алюминиевые бронзы в прочности и стойкости в щелочных средах.

Бериллиевые бронзы сочетают высокую прочность, упругость и коррозионную стойкость с повышенной электропроводностью. Применяются для ответственных изделий малого сечения в виде лент, проволоки, пружин, мембран и контактов в электрических машинах, аппаратах, приборах. Широко применяются в самолетостроении, а также машино- и приборостроении, при производстве счетно-решающих устройств и т.д.

Свинцовистые бронзы применяются в качестве антифрикционных подшипниковых сплавов. Заменяют оловянистые баббиты.

### **15.2 Алюминиевые сплавы**

Алюминий – металл серебристо-белого цвета. Он не имеет полиморфных превращений и кристаллизуется в решетке ГЦК.

Алюминий имеет сравнительно низкую температуру плавления (658 °С), малую плотность (2,7 г/см<sup>3</sup>), обладает хорошей теплопроводностью и электропроводностью, высокой пластичностью и коррозионной стойкостью во влажной атмосфере и органических кислотах.

Технический алюминий, выпускаемый в виде деформируемого полуфабриката (листы, профили, прутки и др.), маркируют АД0 и АД1. Ввиду низкой прочности, его применяют для ненагруженных изделий, где требуется легкость, свариваемость, пластичность (рамы, двери, трубопроводы, фольга, посуда и т.д.). Благодаря высокой теплопроводности он используется для различных теплообменников, в промышленных и бытовых холодильниках.

Высокая электропроводность способствует его широкому применению для проводов, кабелей, шин, конденсаторов и т.д.

### **Общая характеристика и классификация алюминиевых сплавов**

Алюминиевые сплавы классифицируют по технологии изготовления (деформируемые, литейные, спеченные), способности к термической обработке (упрочняемые и неупрочняемые) и свойствам.

#### **Деформируемые сплавы**

Эти сплавы подразделяются на упрочняемые и не упрочняемые термообработкой. К сплавам, не упрочняемым термообработкой, относятся сплавы АМц (1 – 1,6 % Мп) и АМг (среднее содержание магния в процентах указывается после букв Мг), характеризующиеся высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью. Сплавы применяют для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой, от которых требуется высокая коррозионная стойкость (трубопроводы для бензина и масла, сварные баки, заклепки, корпусные детали, рамы вагонов, кузова автомобилей и пр.).

К сплавам, упрочняемым термообработкой, относятся сплавы нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и т.д. Упрочняющая термообработка включает закалку с температуры 500 °С в воде и естественное или искусственное (при 100 – 200 °С) старение. После закалки образуется структура перенасыщенного  $\alpha$ -твердого раствора, имеющего высокую пластичность и низкие значения твердости и прочности. В процессе старения происходит распад  $\alpha$ -твердого раствора с выделением из него упрочняющих высокодисперсных фаз (химических соединений типа  $\text{CuAl}$ ,  $\text{CuMgAl}$  и др.), в результате чего пластичность уменьшается, а твердость и прочность возрастает.

Основные типы сплавов, упрочняемых термообработкой, следующие:

1. Дюралюмины – сплавы, содержащие до 5 % меди и до 1,8 % магния. Они представлены марками Д1, Д16, Д18 (где цифры 1, 16, 18 – условные) и характеризуются хорошим сочетанием прочности и пластичности ( $\sigma$  – 400 – 530 МПа,  $\delta$  – 11 – 20 %). Дюралюмины широко применяют в авиации. Из Д1, например, изготавливают лопасти воздушных винтов, из Д16 – шпангоуты, тяги управления и т.д. Кроме того, их используют для строительных конструкций, кузовов грузовых автомобилей, обсадных труб и т.д.

2. Ковочные алюминиевые сплавы маркируют буквами АК (А – алюминевый, К – ковочный). Они обладают хорошей пластичностью и стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации.

По химическому составу сплавы относятся к системе Al-Mg-Cu-Si. Ковку и штамповку ведут при температуре 450 – 470 °С. Сплав АК6 используют для средненагруженных деталей сложной формы: крыльчатки, фитинги, крепежные детали. Сплав АК8 – для высоконагруженных деталей несложной формы: лопастей, винтов вертолетов, подmotorных рам, пояса лонжеронов и т.п.

3. Высокопрочные алюминиевые сплавы маркируют буквой В (В95, В96). Они характеризуются высоким пределом прочности (600 – 700 МПа) и близким к нему по значению пределом текучести. Сплавы принадлежат к системе Al-Zn-Mg-Cu и содержат добавки марганца, хрома или циркония. Их применяют для высоконагруженных деталей конструкций (обшивки, шпангоуты, лонжероны самолетов).

### **Литейные сплавы**

Эти сплавы маркируются буквами АЛ, что значит «алюминиевый литейный». Лучшими литейными свойствами обладают сплавы Al-Si (силумины). Высокая жидкотекучесть, малая усадка, трещиностойкость, хорошая герметичность силуминов объясняются наличием большого количества эвтектики в структуре. Однако механические свойства двойных силуминов (АЛ2, АЛ4, АЛ93) низкие, и они применяются для неответственных изделий.

Легированный силумин АЛ32 (Al, Si, М) относится к высокопрочным и применяется для литья под давлением нагруженных деталей (блоки цилиндров, головки блоков и другие детали автомобильных двигателей).

Сплавы АЛ19 (Cu, Mn, Ti), АЛ20 (Mg, Si, Mn, Cu), АЛ21 (Mg, Mn, Cu) являются жаропрочными. Их рабочая температура 250 – 300 °С.

## **15.3 Магниеые сплавы**

Магний – это металл серебристо-белого цвета с температурой плавления 650 °С, имеет малый удельный вес – 1,78 г/см<sup>3</sup>. Кристаллизуется с образованием гексагональной кристаллической решетки. Из-за низких механических свойств как конструкционный материал не применяется. В чистом виде используется в пиротехнике и в металлургии как раскислитель, модификатор, легирующий элемент.

Недостаток магния (и его сплавов) – низкая коррозионная стойкость в атмосферных условиях, однако он противостоит маслам, бензину, нефтепродуктам, плавиковой кислоте, галогенам.

### **Сплавы магния**

Отличаются низкой плотностью, хорошей обрабатываемостью резанием, способностью воспринимать ударные и гасить вибрационные нагрузки. Достоинством магниевых сплавов является высокая удельная прочность.

Деформируемые сплавы магния маркируются МА. Это сплавы МА5 (Mg, Mn, Zn, Al), МА11 (Mg, Mn, Nd), МА14 (Mg, Zn, Zr), МА19 (Mg, Zn, Zr, Nd). Из них изготавливают детали грузоподъемных машин, автомобилей, ткацких станков, детали самолетов и вертолетов, космических аппаратов и др.

Литейные сплавы магния маркируются МЛ (МЛ5, МЛ6). Это сплавы системы Mg-Al-Zn. Они широко применяются в самолетостроении (корпуса приборов, насосов, коробок передач, двери кабин и др.); ракетной технике (корпуса ракет, топливные и кислородные баки, стабилизаторы); конструкциях автомобилей, особенно гоночных (корпуса, колеса); в приборостроении (корпуса и детали приборов).

Сплавы МЛ11 и МЛ19 являются жаропрочными, их потолочная рабочая температура – 250 - 300 °С.

#### **15.4 Титан и его сплавы**

Титан – металл серого цвета с температурой плавления 1665 °С и плотностью 4,5 г/см<sup>3</sup>. Он имеет две полиморфные модификации -  $\alpha$  и  $\beta$ . Температура полиморфного  $\alpha \leftrightarrow \beta$  превращения – 882 °С.

Отличительными особенностями титана являются хорошие механические свойства, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, способность сохранять высокую прочность не только при температурах 20-25 °С, но и в условиях глубокого холода.

Технический титан ВТ1-0 (до 0,3 % примесей) хорошо обрабатывается давлением. Из него изготавливают все виды пресованного и катаного полуфабриката: листы, трубы, проволоку, поковки. Он хорошо сваривается аргонодуговой и точечной сваркой.

Титан плохо обрабатывается резанием, налипает на инструмент, в результате чего тот быстро изнашивается. К недостатку титана относятся также низкие антифрикционные свойства.

По сравнению с техническим титаном сплавы титана имеют при достаточно хорошей пластичности, высокой коррозионной стойкости и малой плотности более высокую прочность при 20-25 °С и повышенных температурах. По сравнению с алюминиевыми и магниевыми сплавами они обладают более высокой удельной прочностью, жаропрочностью и коррозионной стойкостью в таких агрессивных средах, как влажный хлор, морская вода, горячая азотная, соляная, серная и другие кислоты. Поэтому титановые сплавы получили широкое применение в авиации, ракетной технике, судостроении.

Высокопрочные титановые сплавы маркируются ВТ: ВТ6 (6 % Al, 4 % V), ВТ15 (3 % Al, 3 % Mo, 11 % Cr). Их прочность составляет 600 и 1200 МПа соответственно. Повышенной стойкостью против коррозии обладает сплав АТ3 (3 % Al, 1,5 % Cr); повышенной жаропрочностью (550-650 °С) – сплав ВТ8 (6,5 % Al, 3,5 % Mo).

#### **Подшипниковые сплавы (баббиты)**

Эти сплавы применяют для заливки вкладышей подшипников скольжения. Их называют также антифрикционными, то есть обладающими низким коэффициентом трения.

Основные виды сплавов следующие:

1. Оловянистые баббиты (Б83, Б89). Содержат олово (в процентах указано в марке), 10-12 % сурьмы и медь. Применяются для вкладышей подшипников тяжело нагруженных машин (турбины).

2. Оловянисто-свинцовистые баббиты: Б16 (16% олова, 16% сурьмы, 2% меди, остальное - свинец), БН (содержат никель), БТ (содержат теллур). Применяются для машин средней нагруженности, автомобильных, тракторных моторов.

3. Баббиты на свинцовистой основе без олова более дешевы (с добавками кальция, натрия, алюминия). Маркируются БК и применяются для подшипников городского и железнодорожного транспорта.

Заменителями баббитов являются свинцовистая бронза БрС30 – для подшипников ответственного назначения; антифрикционные серые чугуны АСЧ-1, АСЧ-2 и другие.

## Индивидуальные задания

### Вариант №1

Из следующих материалов: Д16, АТ3, АМГ6, АЛ2, ЛС59-1, Л96, БК, БрОЦС5-5-5 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Емкости, изготавливаемой глубокой вытяжкой;
2. Винтов, болтов, гаек, изготавливаемых на быстроходных станках-автоматах;
3. Корпусов манометров, работающих в условиях пресной воды и пара под небольшим давлением;
4. Каркаса самолета, рассчитанного на полет с дозвуковыми скоростями ( $\sigma_s$  не ниже 400 МПа);
5. Труб, работающих в горячей азотной кислоте и имеющих более высокую стойкость, чем нержавеющая сталь 08Х18Н9Т;
6. Деталей колес самолетов, имеющих сложную форму и не испытывающих больших механических нагрузок, изготавливаемых литьем;
7. Вкладышей подшипников городского транспорта;
8. Гильз патронов.

### Вариант №2

Из следующих материалов: МА2, АМц, В95, Л70, БрАЖ9-4, Б83, АТ3, ЛО60-2 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Вкладышей подшипников турбокомпрессоров мощностью 500 л.с.;
2. Топливных баков самолетов;
3. Поршня двигателя внутреннего сгорания;
4. Трубопровода, работающего в соляной кислоте;
5. Высоконагруженных деталей самолета (тяги управления);

6. Зубчатых колес, работающих в условиях действия воды и пара;
7. Гребного винта морского теплохода;
8. Проволоки для заклепок.

### Вариант №3

Из следующих материалов: Л70, БрОЦС8-4-3, МА14, Л96, БрБ2, БК, МЛ5, АТЗ - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Радиаторных труб;
2. Вкладышей подшипников электродвигателей с малым числом оборотов;
3. Труб круглых тянутых;
4. Трубопроводов для перекачки нефти;
5. Корпуса переносного сверлильного станка;
6. Ответственной упругой спирали;
7. Сложной ненагруженной арматуры, работающей в тропических условиях;
8. Труб для перекачки горячей азотной кислоты.

### Вариант №4

Из следующих материалов: ЛС59-1, МЛ5, ВТ8, АМц, АК-4, Л90, АЛ4, БрС30 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Втулок для шарикоподшипников;
2. Подшипников токарных станков;
3. Сложной тонкостенной арматуры, работающей в среде жидкого топлива всех видов;
4. Листов для плакировки;
5. Коробки передач для экономичной легковой автомашины;
6. Обшивки летательных аппаратов со сверхзвуковой скоростью (температура 500 °С);
7. Деталей самолетов неответственного назначения, изготавливаемых ковкой;
8. Отливки сложной конфигурации, применяемой в машиностроении и работающей при небольших нагрузках.

### Вариант №5

Из следующих материалов: МЛ5, БрОЦ10-2, АМц, БрБ2, АТЗ, МА5, БрС30, Д16 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Труб, работающих в растворах хлористых солей;
2. Высоконагруженных элементов самолета, обладающих очень высокой стойкостью против коррозии;
3. Зубчатых колес, работающих при воздействии воды и пара и обладающих небольшим коэффициентом трения;

4. Вкладышей коренных и шатунных подшипников;
5. Деталей, изготавливаемых вытяжкой из листа в холодном состоянии;
6. Упругих элементов ответственных приборов;
7. Лонжеронов самолетов;
8. Картера для спортивной гоночной машины.

### Вариант №6

Из следующих материалов: Л96, Б89, АМц, МА2, МЛ5, БрБ2, АТЗ, ВТ15 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Корпуса вычислительной установки ракеты-носителя «Сатурн-5»;
2. Вкладышей подшипников тепловозов;
3. Упругих элементов измерительных приборов;
4. Деталей оборудования для производства серной кислоты;
5. Высоконагруженных деталей летательных аппаратов (летающих за пределами скорости звука);
6. Колес для спортивных машин;
7. Деталей для декоративной отделки мебели «под золото»;
8. Морозильной камеры холодильника.

### Вариант №7

Из следующих материалов: АТЗ, БрО10Ф1, МЛ5, Л96, АЛ4, АМГ, БрОЦС3-12-5, Б16, БрБ2 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Очистителей ветрового стекла автомашины;
2. Рам, рулей и других массивных деталей гоночных велосипедов;
3. Обшивки подводных лодок;
4. Арматуры, работающей в условиях пресной воды и пара;
5. Радиаторных трубок;
6. Неответственных деталей самолетов сложной формы;
7. Заливки подшипников металлообрабатывающих станков;
8. Пружинящих контактов.

### Вариант №8

Из следующих материалов: БрБ2, Л68, МА2, АМц, В96, АЛ2, АТЗ, Б16, МЛ5 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Емкости для хранения нефтепродуктов;
2. Ответственных рессор;
3. Труб, изготовленных холодным прессованием;
4. Проволоки для заклепок;
5. Высокопрочных деталей ответственного назначения, работающих в машиностроении;

6. Вкладышей для опорных подшипников паровых машин мощностью до 1200 л.с.;

7. Корпуса переносного сверлильного станка.

### Вариант №9

Из следующих материалов: МЛ5, ЛС59-1, Б83, БрО10Ф1, БрАЖ94, АТЗ, БрБ2, АМГ, БрА5 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Литых втулок;
2. Ответственных деталей прибора с высокой электропроводностью;
3. Каркаса санитарных носилок;
4. Контейнеров, длительное время находящихся в океанских глубинах;
5. Гаек зажимных винтов;
6. Вкладышей подшипников быстроходных электродвигателей мощностью более 750 кВт;
7. Фасонных отливок повышенной плотности;
8. Сварного бака для хранения машинного масла.

### Вариант №10

Из следующих материалов: МЛ5, В95, БрБ2, АЛ4, Л96, АТЗ, БН, АМГ выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Корпуса океанского лайнера;
2. Корпуса фотоаппарата;
3. Пружины часового механизма;
4. Для заливки опорных подшипников локомотивов;
5. Радиаторных трубок;
6. Бака стиральной машины;
7. Силового каркаса самолета «Антей»;
8. Неответственных отливок сложной конфигурации.

### Вариант №11

Из следующих материалов: МА8, АЛ19, БрОФ10-1, БрА10Ж4Н4, АМГ, Д21, Б83 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Испарителя холодильника;
2. Тары для транспортировки нефтепродуктов;
3. Поршней двигателей внутреннего сгорания, от которых требуется сохранение механических свойств до 300 °С;
4. Коррозионностойких тяжелонагруженных деталей, изготавливаемых литьем;
5. Зубчатых колес, стойких против действия воды и пара и обладающих небольшим коэффициентом трения;
6. Труб, работающих длительное время в растворах хлористых солей;

7. Обшивки самолета ТУ-134;
8. Вкладышей подшипников мощного турбонасоса.

### **Вариант №12**

Из следующих материалов: Л90, АЛ2, АМц, МЛ5, БрО5Ц5С5, БрС30, ЛО60-2, БК - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Труб опреснительных установок;
2. Рамы гоночного велосипеда;
3. Трубок, полученных холодной вытяжкой;
4. Сварного масляного бака;
5. Деталей колес самолетов, имеющих сложную форму и не испытывающих больших механических нагрузок;
6. Водо- и паропроводных вентилей, задвижек и других отливок;
7. Вкладышей подшипников электровозов;
8. Обшивки и лонжерона самолета.

### **Вариант №13**

Из следующих материалов: ЛО60-2, БрО10Ф1, АЛ19, ЛС59-2, В95, ВТ8, Д16, МЛ15- выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Деталей установок реактивной техники, нагреваемых до 500-600 °С;
2. Труб опреснительных установок, подающих морскую воду;
3. Каркаса пассажирского самолета;
4. Литой художественной статуэтки;
5. Духовой электросковороды;
6. Дешевых вилок;
7. Управляемых ракет, характеризующихся вибропрочностью;
8. Винтов, болтов, гаек, изготавливаемых на быстроходных станках-автоматах.

### **Вариант №14**

Из следующих материалов: АМГ, ЛС59-1, БрАЖ9, ЛО60-2, БрОЦС5-5-5, Б83, МА2, АТЗ, Д6, АЛ10В - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Гребного винта современного океанского теплохода массой 30-50 т;
2. Оболочек тепловыделяющих элементов в атомных электростанциях, нагреваемых до 500 °С;
3. Емкости для хранения плавиковой кислоты;
4. Корпусов приборов и приборных досок самолета;
5. Деталей печатных и счетных машин, обрабатываемых большими партиями;
6. Зубчатых колес с низким коэффициентом трения;

7. Деталей котлов и печей, подвергающихся действию пара под высоким атмосферным давлением.

### Вариант №15

Из следующих материалов: Л68, Б89, АМЦ, ЛМ5, ЛО60-2, БрАЖ, Бк, ВТ8, БрОЦСНЗ-7-5-1, Д1, АЛ2 - выбрать наиболее подходящие для изделий:

1. Мебельной фурнитуры;
2. Сложной тонкостенной арматуры, работающей в среде топлива всех видов, морской и пресной воды, пара;
3. Заливки подшипников трамвайных вагонов;
4. Проволоки для заклепок;
5. Литых деталей двигателя автомобиля «Запорожец»;
6. Обшивки сверхзвукового самолета;
7. Палубной оснастки морских судов;
8. Фасонных герметических отливок, применяемых в общем машиностроении.

### ТЕСТЫ

#### Тест №1

1. Указать двухфазную латунь.

**Ответы:** 1) Л96; 2) Л70; 3) Л60.

2. Указать наиболее легкий сплав.

**Ответы:** 1) АТЗ; 2) МА8; 3) Л96; 4) АМГ.

3. Указать антифрикционные сплавы.

**Ответы:** 1) БрАЖН10-4-4; 2) БрС30; 3) Л90; 4) Б83; 5) АЛ10В.

4. Указать марку сплава, называемого силумином.

**Ответы:** 1) АМГ6; 2) МА8; 3) АЛ2; 4) АТЗ.

5. Указать литейный сплав с наименьшей усадкой.

**Ответы:** 1) Л68; 2) АЛ10В; 3) МЛ5; 4) БрО5Ц5С5.

#### Тест №2

1. Указать сплав, который наиболее устойчив против коррозии в морской воде.

**Ответы:** 1) Л96; 2) АТЗ; 3) АЛ2; 4) БрАЖ9-4.

2. Указать главный легирующий элемент сплава АЛ2.

**Ответы:** 1) цинк; 2) марганец; 3) кремний; 4) медь.

3. Какой сплав содержит больше цинка?

**Ответы:** 1) Л68; 2) Л86.

4. Указать число компонентов сплава БрОЦСНЗ-12-7-1.

**Ответы:** 1) четыре; 2) пять; 3) шесть.

5. Указать сплав на основе алюминия.

**Ответы:** 1) Б16; 2) Д16; 3) МА11; 4) ЛА60-2,5; 5) АТЗ.

### Тест №3

1. Какой сплав называется латунью?

**Ответы:** 1) сплав меди и цинка; 2) сплав меди и олова; 3) сплав меди и свинца.

2. Указать алюминиевые сплавы.

**Ответы:** 1) В95; 2) АТЗ; 3) Д16; 4) АК4; 5) МА8; 6) АЛ10В.

3. Какие сплавы не уступают по прочности конструкционным легированным сталям?

**Ответы:** 1) алюминиевые; 2) медные; 3) титановые; 4) магниевые.

4. Какие сплавы превосходят по коррозионной стойкости нержавеющие стали?

**Ответы:** 1) алюминиевые; 2) медные; 3) титановые; 4) магниевые.

5. Какую основу имеет сплав Б89?

**Ответы:** 1) медную; 2) бериллиевую; 3) оловянную; 4) свинцовую; 5) кремниевую.

### Тест №4

1. Какое основное свойство присуще сплаву Б89?

**Ответы:** 1) высокая коррозионная стойкость; 2) низкий коэффициент трения; 3) легкоплавкость; 4) высокий коэффициент трения; 5) прочность.

2. Содержание какого элемента указывает двузначная цифра в сплаве Л60?

**Ответы:** 1) цинка; 2) олова; 3) меди; 4) свинца.

3. Применение какого сплава для изделий обеспечивает максимальный выигрыш в весе?

**Ответы:** 1) АМГ; 2) АЛ2; 3) АТЗ; 4) МЛ5; 5) БрБ2.

4. К какой системе относятся сплавы, называемые силуминами?

**Ответы:** 1) Al-Cu; 2) Al-Si; 3) Al-Mn; 4) Al-Mg.

5. Указать алюминиевый сплав, упрочняемый термообработкой.

**Ответы:** 1) Д16; 2) АМц; 3) АЛ2.

### Тест №5

1. Какой из сплавов сохраняет свои рабочие свойства при нагреве до 550-600 °С?

**Ответы:** 1) МЛ5; 2) ВТ8; 3) В95; 4) АК4.

2. Какой из сплавов - литейный?

**Ответы:** 1) БрОЦ4-3; 2) БрО10Ц2.

3. Какой сплав характеризуется наивысшей стойкостью в морской воде?

**Ответы:** 1) Д1; 2) ЛО59-1; 3) ЛС60-2; 4) МА3.

4. Какие из сплавов относятся к алюминиевым?

**Ответы:** 1) В96; 2) АТ3; 3) Д2; 4) Амц; 5) МА8; 6) АК2.

5. Какой сплав характеризуется наивысшей прочностью?

**Ответы:** 1) Д16; 2) ВТ15; 3) МА8; 4) ЛАН60-1-1.

### Тест №6

1. Что показывает цифра 77 в сплаве ЛА77-2?

**Ответы:** 1) содержание алюминия; 2) содержание меди; 3) содержание цинка.

2. Какой сплав следует применять для арматуры, работающей при повышенном давлении пара?

**Ответы:** 1) БрОФ6-2,5; 2) БрАЖ9-4; 3) БрС30.

3. Какой металл составляет основу сплава Б83?

**Ответы:** 1) олово; 2) свинец; 3) цинк; 4) медь.

4. Какой металл обладает наибольшей устойчивостью к плавиковой кислоте?

**Ответы:** 1) медь; 2) алюминий; 3) магний; 4) титан.

5. Какой сплав обладает наибольшей пластичностью?

**Ответы:** 1) Л70; 2) Л59.

### Тест №7

1. Какой сплав обладает наибольшей пластичностью?

**Ответы:** 1) Д16; 2) АЛ2; 3) АМц; 4) В95.

2. Какой сплав обеспечивает получение более плотных отливок?

**Ответы:** 1) БрОФ10-1; 2) БрАЖ9-4.

3. Какой сплав следует применить для заливки вкладышей подшипников?

**Ответы:** 1) БрБ2; 2) Д16; 3) Б16; 4) Л96.

4. При каких температурах работают жаропрочные алюминиевые сплавы?

**Ответы:** 1) до 150 °С; 2) 200-300 °С; 3) 300-350 °С; 4) 400-450 °С; 5) 500-600 °С.

5. Из какого сплава изделия изготавливают холодной пластической деформацией?

**Ответы:** 1) Л70; 2) Л59.

### Тест №8

1. Какая из латуней называется «морской»?

**Ответы:** 1) ЛАН60-1-1; 2) ЛО59-2; 3) ЛО60-1; 4) ЛК80-3.

2. Какие из сплавов являются антифрикционными?

**Ответы:** 1) БрС30; 2) Б83; 3) БК; 4) В96; 5) Д21.

3. Какой сплав обладает высокой пластичностью и способностью принимать вытяжку в холодном состоянии?

**Ответы:** 1) АЛ2; 2) Л70; 3) Д1; 4) БК; 5) БрБ2.

4. Какой из сплавов - литейный?

**Ответы:** 1) ЛА77-2; 2) ЛЦ40Мц3А.

5. Содержание какого элемента в сплаве ЛАЖ60-1-1 обозначено двузначной цифрой?

**Ответы:** 1) алюминий; 2) медь; 3) цинк; 4) олово; 5) свинец.

### Тест №9

1. Какая термическая обработка применяется для упрочнения алюминиевых сплавов?

**Ответы:** 1) отжиг; 2) нормализация; 3) закалка и отпуск; 4) закалка и старение; 5) улучшение.

2. Какой сплав содержит наибольшее количество цинка?

**Ответы:** 1) Л96; 2) Л59.

3. Какая из латуней - двухфазная?

**Ответы:** 1) Л68; 2) Л59.

4. Какой сплав может противостоять горячей азотной кислоте высокой концентрации?

**Ответы:** 1) БрБ2; 2) АТ3; 3) МЛ15; 4) В95; 5) Л96.

5. Какой сплав – самый легкий?

**Ответы:** 1) АЛ2; 2) МЛ15; 3) БрБ2; 4) АТ3.

### Тест №10

1. Какая латунь называется «автоматной»?

**Ответы:** 1) ЛО59-2; 2) ЛС59-1; 3) ЛК80-3.

2. Какой алюминиевый сплав следует применить для высоконагруженных деталей самолетов?

**Ответы:** 1) АМГ; 2) АЛ8; 3) В95; 4) АК2; 5) Д1 .

3. Какой сплав обладает наиболее высокой стойкостью против коррозии в сильно агрессивных средах?

**Ответы:** 1) Л96; 2) БрБ2; 3) АТ3; 4) МА8; 5) Д16.

4. Какие из латуней являются двухфазными?

**Ответы:** 1) Л70; 2) Л68; 3) Л62; 4) Л60; 5) Л59.

5. Какой сплав следует применить для заливки вкладышей подшипников?

**Ответы:** 1) БрС30; 2) БрБ2; 3) БрАЖ9-4; 4) АЛ10В.

### Тест №11

1. Какой из литейных сплавов имеет наименьшую усадку?

**Ответы:** 1) АЛ4; 2) ЛК80-3; 3) МЛ5; 4) Бр)10Ц2.

2. Какой из сплавов – наиболее тяжелый?

**Ответы:** 1) МА8; 2) АМГ; 3) Д16; 4) ВТ6.

3. Какие из латуней имеют  $\alpha$ -структуру?

**Ответы:** 1) Л96; 2) Л70; 3) Л61; 4) Л59.

4. Какой из сплавов называется силумином?

**Ответы:** 1) АМГ3; 2) МА3; 3) АЛ4; 4) АТ3.

5. Какой сплав является заменителем баббита?

**Ответы:** 1) Л90; 2) БрС30; 3) Д6; 4) АЛ10В.

### Тест №12

1. Какую основу имеет сплав Б16?

**Ответы:** 1) медную; 2) бериллиевую; 3) оловянистую; 4) свинцовистую;  
5) кремниевую.

2. Сплавы на какой основе характеризуются наиболее высокой коррозионной стойкостью?

**Ответы:** 1) алюминий; 2) титан; 3) магний; 4) медь.

3. Какие из сплавов относятся к алюминиевым?

**Ответы:** 1) АЛ9; 2) МА8; 3) В96; 4) Д16; 5) АТ3.

4. К какой системе относится латунь?

**Ответы:** 1) Cu-Sn; 2) Cu-Zn; 3) Cu-Pb.

5. Какой из сплавов обладает наивысшей прочностью?

**Ответы:** 1) МА8; 2) Д16; 3) В96; 4) ВТ15.

### Тест №13

1. Какой сплав подвергается закалке и старению?

**Ответы:** 1) Б16; 2) Д16; 3) АМГ; 4) Л62.

2. На содержание какого элемента указывает в сплаве ЛО9-1 указывает двузначная цифра?

**Ответы:** 1) олова; 2) цинка; 3) свинца; 4) меди.

3. Какое основное свойство присуще сплаву Б83?

**Ответы:** 1) высокий коэффициент трения; 2) низкий коэффициент трения; 3) легкоплавкость; 4) коррозионная стойкость.

4. К какой системе относятся силумины?

**Ответы:** 1) Al-Cu; 2) Al-Mg; 3) Al-Si; 4) Al-Mn.

5. Какую область на диаграмме состояния Al-легирующий элемент занимают сплавы, упрочняемые термообработкой?

**Ответы:** 1) область I; 2) область II; 3) область III.

### Тест №14

1. Какой сплав содержит кремний в качестве главного легирующего элемента?

**Ответы:** 1) ЛК80-3; 2) АЛ2; 3) АК4; 4) БК.

2. Какую область на диаграмме занимают литейные алюминиевые сплавы?

**Ответы:** 1) область III; 2) область II; 3) область I.

3. Какие из латуней имеют структуру однофазного твердого раствора?

**Ответы:** 1) Л70; 2) Л60.

4. Какой легирующий элемент не указан в марке сплава ЛЖМц59-1-1?

**Ответы:** 1) олово; 2) свинец; 3) цинк; 4) алюминий; 5) медь.

5. Какие из сплавов относятся к антифрикционным?

**Ответы:** 1) Б16; 2) Д16; 3) БК; 4) БрБ2; 5) БрС30.

### Тест №15

1. Какие из сплавов - литейные?

**Ответы:** 1) Б16; 2) Д16; 3) АМц; 4) АЛ9; 5) ЛЦ40Мц3А.

2. Какой сплав называется двойной латунью?

**Ответы:** 1) меди и олова; 2) меди и цинка; 3) меди и свинца; 4) меди и алюминия.

3. Какой из сплавов – на основе свинца?

**Ответы:** 1) БрС30; 2) БК; 3) Б83; 4) Д16; 5) Л59С2.

4. Применение какого сплава обеспечивает наибольший выигрыш в весе?

**Ответы:** 1) АЛ4; 2) МЛ15; 3) АТ3; 4) БрБ2.

5. Какую область на диаграмме занимают алюминиевые сплавы, подвергающиеся закалке и старению?

**Ответы:** 1) область I; 2) область II; 3) область III.

## Список литературы

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Metallургия, 1989, С. 141-182.
3. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. М.: Metallургия, 1986, 544 с.
4. Мозберг Р.К. Материаловедение: Пособие для самостоятельной работы и контроля текущей успеваемости. М.: Высшая школа, 1976, 127 с.
5. Калашникова Н.Ф., Салманов Н.С., Бутыгин В.Б. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов. Барнаул: Изд-во АПИ, 1985, 23 с.
6. Калашникова Н.Ф., Брылова Т.Б. Термическая обработка стали. Барнаул: Изд-во АПИ, 1991, 20 с.
7. Калашникова Н.Ф. Углеродистые стали. Барнаул: Изд-во АПИ, 1988.
8. Калашникова Н.Ф., Брылова Т.Б. Легированные стали: Методические указания к лабораторным работам с применением ЭВМ. Барнаул: Изд-во АПИ, 1991, 13 с.
9. Калашникова Н.Ф., Брылова Т.Б. Пластическая деформация. Барнаул: Изд-во АПИ, 1992, 20 с.
10. Калашникова Н.Ф., Брылова Т.Б. Чугуны. Барнаул: Изд-во АПИ, 1994, 4 с.
11. Бутыгин В.Б. и др. Металловедение и термическая обработка металлов. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000, 184 с.
12. Брылова Т.Б., Калашникова Н.Ф. Поверхностное упрочнение деталей машин с использованием индукционного нагрева. Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, РИО, 1995, 31 с.
13. Калашникова Н.Ф., Околович Г.А. Инструментальные материалы для режущего инструмента: Методическая разработка для студентов специальности «Технология машиностроения». Барнаул: Изд-во АПИ, 1986, 16 с.
14. Калашникова Н.Ф. Маркировка и применение легированных сталей (с индивидуальными заданиями и тестами для контроля знаний студентов): Методическая разработка для студентов машиностроительных специальностей. Барнаул: Изд-во АПИ, 1983, 27 с.
15. Калашникова Н.Ф., Брылова Т.Б. Цветные металлы и сплавы: Методическая разработка по курсу «Материаловедение». Барнаул: Изд-во АПИ, 1988, 24 с.
16. Бутыгин В.Б. Технология металлов и металловедение: Учебное пособие / Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001, 309 с.

Калашникова Нинель Федоровна  
Брылова Татьяна Борисовна

## МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Сборник задач, упражнений и тестов

Пособие для самостоятельной работы студентов дневной и заочной  
форм обучения технических специальностей вузов

Редактор Е.Ф. Изотова  
Ответственный за выпуск Н.В. Коленко

Подписано к печати 14.07.05.10.01. Формат 60x84 1/8.  
Усл.п.л. 17,50. Тираж 200. Заказ 05-379. Рег. № 67.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.