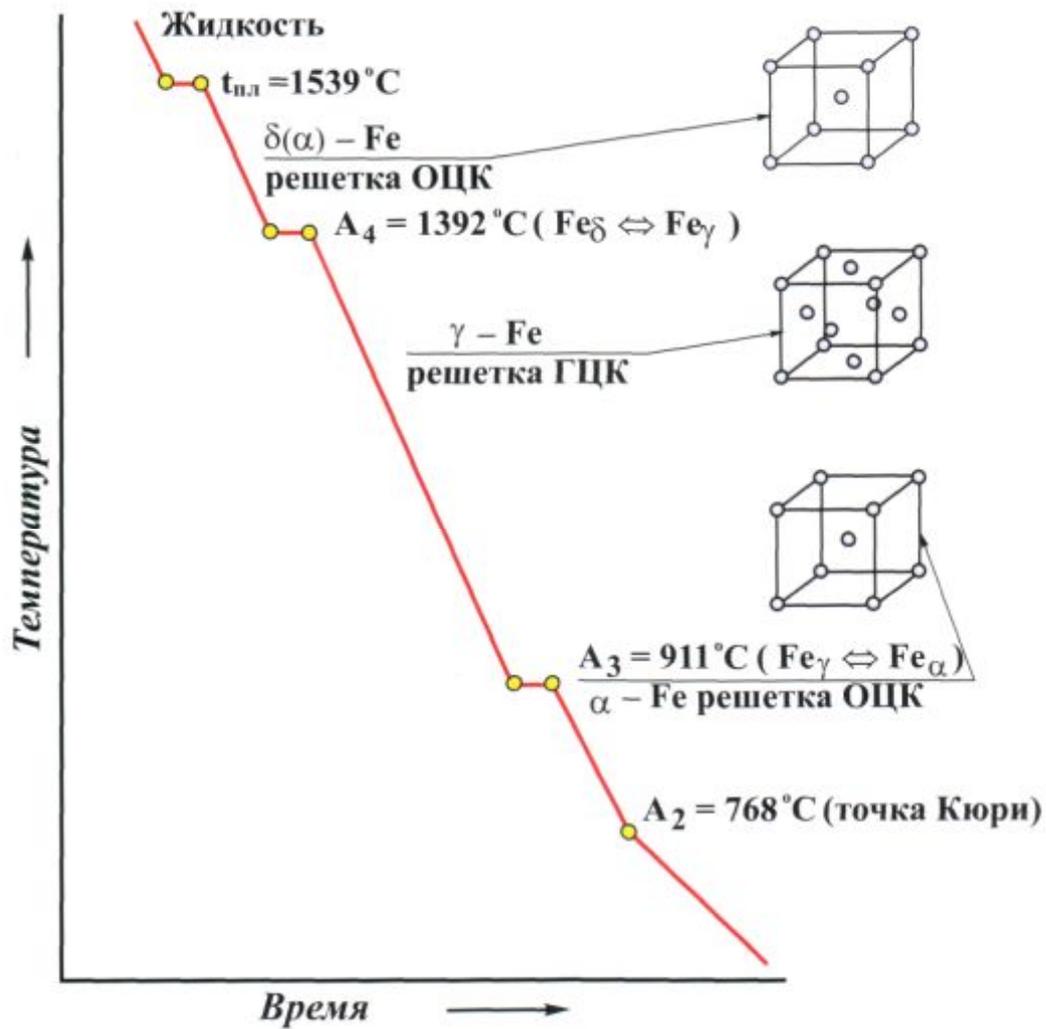


Е.В.Зубенко  
М.Л.Пантух  
Р.В.Павлюк

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
(Лабораторный практикум)

ФГБОУ ВПО СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Е.В.Зубенко, М.Л.Пантух, Р.В.Павлюк**

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Учебно-методическое пособие  
(Лабораторный практикум)  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по  
направлениям: 35.03.06 - Агроинженерия;  
23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и  
комплексов; 13.03.02 - «Электроэнергетика и электротехника»

Ставрополь  
«АГРУС»  
2018

УДК 620.22 (026)  
ББК 30.3 я73

**Составители:**

*Е.В.Зубенко, М.Л.Пантух, Р.В.Павлюк*

**Рецензент**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Процессы и машины в агробизнесе» Л.И. Высочкина

3911 Материаловедение : Учебно-методическое пособие / сост.  
Е.В.Зубенко, М.Л.Пантух, Р.В.Павлюк.-Ставрополь: АГРУС  
Ставропольского гос.аграрного ун-та,2013.-68с

В учебно-методическом пособии рассматриваются основные методы получения и исследования микро и макроструктур, испытаний металлов, построение кривых охлаждения и диаграмм состояния методом термического анализа, приводятся способы упрочнения металлов и изменения их микроструктур с помощью термической и химико-термической обработки. Предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям: 35.03.06 - «Агроинженерия»; 23.03.03 - «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»; 13.03.02-«Электроэнергетика и электротехника»

УДК 620.22 (026)  
ББК 30.3 я73

*Одобрено и рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета (протокол № 2 от 09.09.2018г.)*

Составители, 2018  
ФГБОУ ВПО Ставропольский  
государственный аграрный  
университет

## Содержание

<b>Лабораторная работа №1</b> <b>ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ.....</b>	<b>5</b>
<b>Лабораторная работа №2</b> <b>ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ.....</b>	<b>15</b>
<b>Лабораторная работа №3</b> <b>АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ</b> <b>СПЛАВОВ.....</b>	<b>20</b>
<b>Лабораторная работа №4</b> <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК И ПОСТРОЕНИЕ</b> <b>ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО</b> <b>АНАЛИЗА.....</b>	<b>27</b>
<b>Лабораторная работа №5</b> <b>ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-</b> <b>ЦЕМЕНТИТ.....</b>	<b>34</b>
<b>Лабораторная работа №6</b> <b>ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И ИХ</b> <b>МИКРОСТРУКТУРА ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ.....</b>	<b>49</b>
<b>Лабораторная работа №7</b> <b>МАТЕРИАЛОВ ИЗУЧЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ</b> <b>ОБРАБОТКИ СТАЛИ</b> <b>(ЦЕМЕНТАЦИЯ В ТВЕРДОМ</b> <b>КАБЮРИЗАТОРЕ).....</b>	<b>55</b>
<b>Лабораторная работа №8</b> <b>МАРКИРОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>59</b>

## Лабораторная работа №1

### ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

#### **Цель работы:**

Научиться самостоятельному определению твердости на приборах Бринелля и Роквелла.

#### **Задание:**

1. Изучить устройство пресса Бринелля и прибора Роквелла, отсчетного микроскопа.

2. Научиться выбирать с помощью таблицы нужный наконечник и соответствующую нагрузку, замерять полученный отпечаток (при испытании по Бринеллю), пользоваться таблицей для определения твердости по Бринеллю, выбору соответствующей шкалы прибора Роквелла.

3. Произвести измерение твердости по Бринеллю и Роквеллу (шкала HRB) образцов стали и цветных металлов, полученных у преподавателя или лаборанта.

4. Составить отчет о работе, в котором отразить основные данные о приборах, кинематическую схему пресса Бринелля, заполнить протоколы замеров твердости, сравнить полученные значения твердости по Бринеллю со значениями, полученными по Роквеллу. Выявить и письменно объяснить возможные причины несоответствия твердостей по Бринеллю и Роквеллу одних и тех же образцов.

#### **Оборудование и материалы:**

Пресс Бринелля, прибор Роквелла, отсчетный микроскоп, плакаты, образцы стали и цветных металлов.

#### **Основные положения:**

Одним из широко распространенных видов испытания металлов является определение твердости. Твердость металла можно определить прямыми и косвенными методами.

Прямые методы испытания на твердость состоят в том, что в образец вдавливают специальный твердый наконечник (из закаленной стали, алмаза или твердого сплава) различной формы (шарик, конус, пирамида). После снятия нагрузки остается отпечаток, величина которого характеризует твердость образца.

При косвенных испытаниях оцениваются свойства металла, пропорциональные его твердости (методы "царапания", "качающегося маятника", "отскакивания").

По значению твердости металла можно составить представление об уровне его свойств. Например, чем выше твердость, тем меньше пластичность металла, выше (в определенных пределах) предел прочности и износостойкость, и наоборот.

Твердость определяют на специальных приборах - твердомерах. Они бывают стационарные и переносные. Их принципиальное устройство одинаково для всех. Основными узлами твердомеров являются станина, стол, наконечник, нагружающее устройство, прибор для измерения величины деформации.

Наиболее часто проводят определение твердости следующими методами: измерение твердости по Бринеллю (ГОСТ 9012-53); по Роквеллу (ГОСТ 9013-59); по Виккерсу (ГОСТ 2999-75); измерение твердости методом ударного отпечатка (ГОСТ 18661-73); измерение микротвердости вдавливанием алмазного наконечника (ГОСТ 9450-76).

### **Измерение твердости по Бринеллю.**

Измерение твердости по Бринеллю производится вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра (10,0; 5,0; 2,5 мм) под действием заданной нагрузки (187,5...3000 кг) в течение определенного времени (60, 30, 10 с).

Схема испытания дана на рис.1.

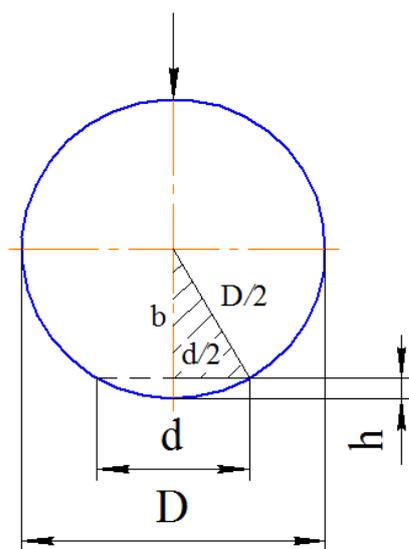


Рисунок 1 - Схема к определению твердости по Бринеллю

Твердость по Бринеллю обозначается  $HB$  и определяется по формуле:

$$HB = \frac{P}{F}, \text{ кгс/мм}^2$$

где  $P$  – нагрузка в кгс,

$F$  – площадь поверхности полученного отпечатка (шарового сегмента) в  $\text{мм}^2$ .

$$F = \pi \cdot D \cdot h$$

Так как  $h$  замерить труднее, чем  $d$ , то выразим  $h$  через  $D$  и  $d$ . Из рис.1 видно, что

$$h = \frac{D}{2} - b$$
$$b = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

Т.е

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

следовательно

$$F = \frac{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

откуда

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

где  $P$  – нагрузка, кгс;

$D$  – диаметр шарика, мм;

$d$  – диаметр отпечатка, мм.

Теперь зная нагрузку  $P$  и диаметр шарика, остается замерить с помощью отсчетного микроскопа диаметр отпечатка  $d$  и подставить полученную величину в формулу для определения твердости образца.

На рис.2 приведена схема пресса. В верхней части станины 1 имеется шпindelь 2, в который вставляется наконечник с шариком 3. Образец 5, устанавливаемый на столик 4, прижимают к шарик, вращая маховик 6 до тех пор, пока точка на шпинделе не совместится с риской на обойме шпинделя, или до ощущения упора. При этом пружина 9 сожмется, обеспечив предварительную нагрузку 100 кгс. Далее включают электродвигатель 8 нажатием кнопки. Благодаря двухступенчатому червячному редуктору рычаг 10 опускается, убирая точку опоры из-под рычага 13, на котором навешаны соответствующие грузы 15. Этим создается нагрузка на шарик в

течение 10, 30 или 60 с. Время выдержки выбирается в зависимости от испытываемого материала (см. табл.1). Далее рычажок 12, нажав на рычажок реверсивного пускателя 11, переключает вращение электродвигателя на обратное. Рычаг 10, перемещаясь вверх, поднимает подвеску с грузами, снимая этим нагрузку с шарика. Рычажок 16, нажав на рычажок реверсивного пускателя 11 в противоположном направлении, выключает электродвигатель. Цикл испытаний закончен. В зависимости от грузов, устанавливаемых на подвеске, можно создать нагрузку 187,5; 250; 500; 750; 1000; 3000 кгс.

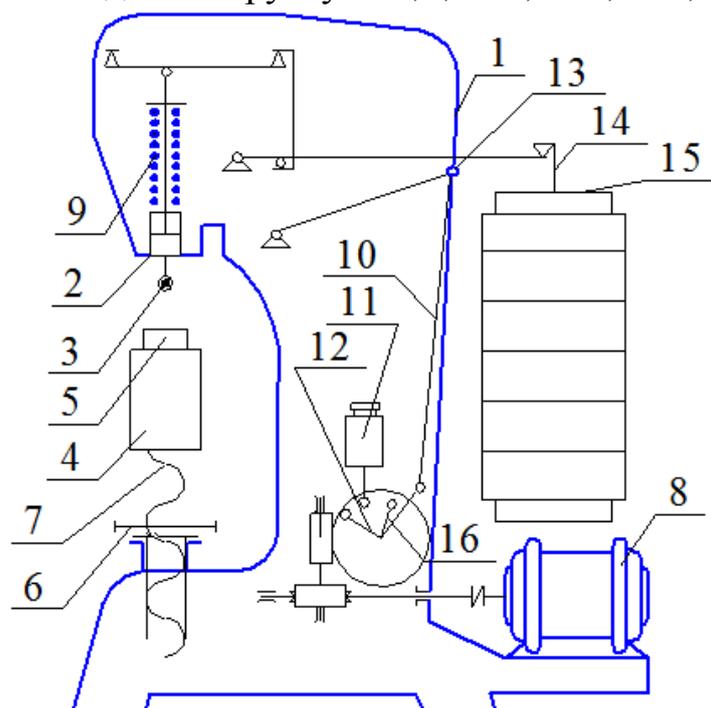


Рисунок 2 – Пресс Бринелля

Диаметр шарика и величина нагрузки выбираются в зависимости от вида испытываемого материала и его толщины. При этом должен соблюдаться закон подобия:

$$P = K \times D^2$$

где  $K = 30, 10$  или  $2,5$ . По таблице 1 выбирается и выдержка под нагрузкой в секундах.

Выбранные условия испытания (диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой) записать в соответствующие графы протокола испытания.

Перед испытанием поверхность образца обрабатывается наждачным камнем, напильником или шлифовальной бумагой, таким

образом, чтобы она была чистой, ровной и гладкой. Это необходимо для получения правильного отпечатка, с хорошо видимыми при измерении краями.

Чтобы при вдавливании шарика не происходило продавливание материала, толщина его должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка, а между центрами двух соседних отпечатков - не менее 4 диаметров отпечатков. Для получения правильных результатов диаметр отпечатка должен находиться в пределах 0,2...0,6 диаметра шарика.

Отпечаток измеряют с помощью отсчетного микроскопа с ценой деления 0,1 или 0,05 мм. Он состоит из окуляра и объектива, между которыми находится шкала. На четкую видимость шкалы настраиваются с помощью окуляра. Вращением маховика, поднимая или опуская тубус микроскопа добиваются резкости краев отпечатка и передвигая микроскоп, устанавливают его относительно отпечатка так, как показано на рис.3.

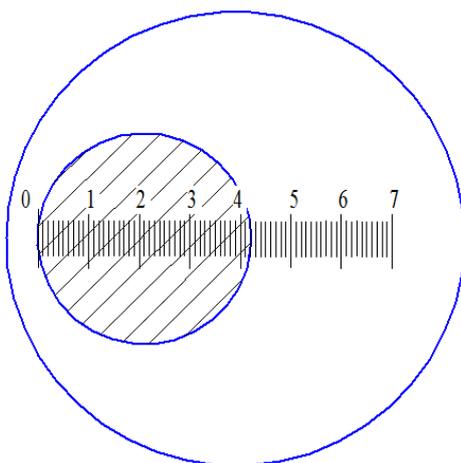


Рисунок 3 – Схема измерения отпечатка

Для более точных показаний надо произвести второе измерение диаметра отпечатка повернув микроскоп на  $90^\circ$ , а потом подсчитать среднее арифметическое значение. Для определения твердости пользоваться таблицей на плакате.

Пресс Бринелля имеет широкое применение ввиду простоты, надежности, достаточно высокой точности испытания. Однако, в ряде случаев, применить его невозможно: нельзя испытывать закаленную сталь, имеющую твердость более  $450 \text{ кгс/см}^2$ , так как будет деформироваться сам шарик и результаты испытания будут искажены. Невозможно испытывать изделия после химико-термической обработки - тонкие слои будут продавливаться. Крупные отпечатки могут привести деталь в негодность. Эти обстоятельства вызвали необходимость создания других приборов.

Таблица 1 - Выбор диаметра шарика и нагрузки в зависимости от твердости и толщины испытываемого образца

Материал	Интервал твердости в единицах Бринелля	Толщина испытываемого образца, мм	Соотношение между нагрузкой и диаметром шарика	Диаметр шарика, мм	Нагрузка, кгс	Выдержка под нагрузкой, с
Черные металлы	140 - 450	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P = 30 \cdot D^2$	10 5 2,5	3000 750 187,5	10
Черные металлы	До 140	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	$P = 10 \cdot D^2$	10 5 2,5	3000 750 187,5	30
Цветные металлы	31,8 - 130	Более 6 От 6 до 3	$P = 10 \cdot D^2$	10 5	1000 250	30
Цветные металлы	8 - 35	Не менее 6	$P = 2,5 \cdot D^2$	10	250	60

### Измерение твердости по Роквеллу.

Определение твердости производят вдавливанием в испытываемый образец алмазного конуса с углом  $180^\circ$  или стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм (1/16").

Величина твердости представляет собой разность между глубиной отпечатков, получаемых на испытываемых образцах от вдавливания алмазного конуса или стального шарика под двумя нагрузками определенной величины: предварительной - 10 кг и общей (предварительной и основной) - 60, 100 или 150 кгс.

Твердость по Роквеллу - число отвлеченное и выражается в условных единицах. В зависимости от того, чем и при какой из приведенных выше нагрузок производится испытание, т.е. по какой шкале (В, С или А), число твердости обозначается HRB, HRC или

HRA. Приведенную ниже таблицу 2 (в особенности ее первые пять столбиков) надо знать наизусть.

Определение твердости на этом приборе имеет большое применение, так как позволяет испытывать как мягкие, так и самые твердые материалы, а также твердые поверхностные слои. Получающиеся отпечатки очень малы и не портят детали, испытание проводится очень быстро и величина твердости читается по шкале прибора без каких-либо измерений, пересчетов и применения таблиц.

Основное принципиальное отличие прибора Роквелла от прибора Бринелля заключается в том, что при способе Роквелла измерение производится не диаметра отпечатка, а глубины его. Для численной характеристики твердости введена условная шкала с цифрами, нанесенными в порядке, обратном движению стрелки в момент приложения груза, при этом при внедрении наконечника на 0,002 мм стрелка перемещается на одно деление. Таким образом, если стрелка сделает один оборот от начального положения, то конус или шарик внедрятся на 0,2 мм. Следовательно, чем больше углубление, тем меньше твердость.

Таблица 2 - Выбор шкалы и нагрузки в зависимости от твердости и толщины испытываемого образца

Обозначение шкалы	Цвет шкалы	Вид наконечника	Нагрузка, кгс	Обозначение твердости по Роквеллу	Примерная твердость испытываемого материала по Бринеллю	Допустимые пределы шкалы
В	Красный	Стальной шарик диаметром 1,588 мм	100	HRB	60 ...230	25...100
С	Черный	Алмазный конус	150	HRC	230...700	20...67
А	Черный	Алмазный конус	60	HRA	Свыше 700	70...85

На циферблате прибора имеются две шкалы: красная и черная. Красная шкала (HRB), используемая с шариком, смещена относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений против

часовой стрелки. Установку стрелки на ноль всегда необходимо производить по черной шкале, независимо от того, какой шкале производится измерение твердости.

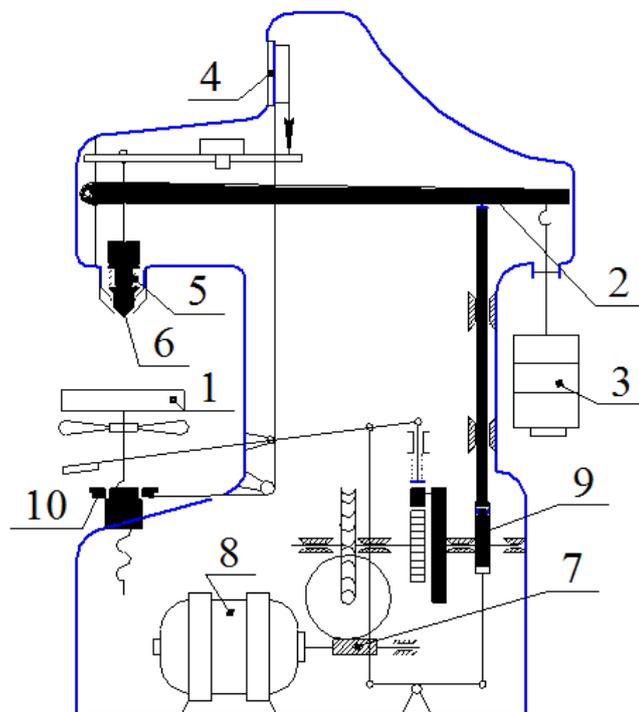


Рисунок 4 – Твердомер для определения твердости по Роквеллу  
Прибор Роквелла включает в себя следующие основные узлы и детали: стол 1, рычажную систему 2 с грузами 3, индикатор часового типа 4, пружину для предварительной нагрузки (10 кг) обойму с соответствующим наконечником 6, двухступенчатый червячный редуктор 7, приводимый в движение от электродвигателя 8, с эксцентриком 9, обеспечивающим плавное опускание и подъем грузов (рис.4).

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **Измерение твердости на прессе Бринелля**

1. Установить на подвеску выбранные грузы.
2. Наконечник с выбранным шариком установить в шпиндель.
3. Установить образец на столик.
4. Вращая маховичок, создать предварительную нагрузку и включить двигатель, нажав на кнопку.
5. Измерить полученный отпечаток.
6. Определить твердость, подсчитав ее по формуле и сверив со значением твердости по таблице на плакате.

### **Измерение твердости на приборе Роквелла**

1. Установить на подвеску груз, соответствующий шкале, по которой производится испытание.
  2. Установить соответствующий наконечник.
  3. Установить на столик образец.
  4. С помощью тумблера на корпусе включить электродвигатель (загорится лампочка).
  5. С помощью маховичка поднять стол до соприкосновения наконечника с образцом (осторожно).
  6. Создать предварительную нагрузку, продолжая поднимать стол с образцом до совмещения маленькой стрелки с красной точкой на циферблате индикатора (очень осторожно! Стрелка ни в коем случае не должна перейти за красную точку!). При этом пружина сжимается на величину, соответствующую 10 кгс. Большая стрелка прибора должна занять приблизительно вертикальное положение в верхней части циферблата.
  7. С помощью специального маховичка со шкивом 10 повернуть циферблат до совмещения нуля черной шкалы с большой стрелкой индикатора.
  8. Нажать на педаль прибора. Эксцентрик при этом делает один полный оборот, обеспечивая приложение и снятие нагрузки. Остановившаяся большая стрелка прибора указывает твердость образца по соответствующей шкале.
- Следует иметь в виду, что если на приборе Бринелля твердость получается в кгс/мм<sup>2</sup>, то на приборе Роквелла она выражается в единицах соответствующей шкалы и размерности не имеет. Например, HRC 50, HRB 78, HRA 82 и т.п.
9. Заполнить протоколы испытаний.

## Протокол определения твердости по Бринеллю

Материал образца	Толщина, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка в кгс	Время выдержки под нагрузкой, с	1 измерение		2 измерение		3 измерение		Средняя твердость <i>HB</i>
					Диаметр отпечатка, мм	Твердость <i>HB</i>	Диаметр отпечатка, мм	Твердость <i>HB</i>	Диаметр отпечатка, мм	Твердость <i>HB</i>	

## Протокол определения твердости по Роквеллу

Материал образца	Толщина, мм	Выбранная шкала	Твердость по Роквеллу				Твердость по Бринеллю, полученная переводом твердости по Роквеллу	Твердость по Бринеллю, полученная испытанием (см. первый протокол)
			1 замер	2 замер	3 замер	Среднее значение		

### Вопросы для самопроверки

1. Как определить твердость по Бринеллю, если отсутствует шарик стандартного размера?
2. Каковы стандартные размеры диаметров, шариков и как выбирается нагрузка в зависимости от диаметра шарика?
3. Каков порядок проведения испытания твердости на прессе Бринелля?
4. Как пользоваться таблицей для определения твердости по Бринеллю, если диаметр шарика равен 5 или 2,5 мм?

5. Что такое закон подобия и как он выражается?
6. В чем заключаются преимущества и недостатки прессы Бринелля?
7. В чем состоит принципиальное отличие между определением твердости по Роквеллу от определения твердости по Бринеллю?
8. Чем отличаются шкалы на приборе Роквелла? Какие нагрузки и наконечники каким шкалам соответствуют?
9. Каков порядок при проведении испытаний твердости на приборе Роквелла?
10. В чем заключаются преимущества прибора Роквелла перед прибором Бринелля?

## **Лабораторная работа №2**

### **ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

#### **Цель работы:**

Изучение процесса кристаллизации из жидкого состояния в твердое.

#### **Задание:**

Изучить процесс кристаллизации на примерах насыщенных растворов солей: азотнокислого свинца  $Pb(NO_3)_2$ , хлористого аммония  $NH_4Cl$  и калия двуххромовокислого (хромпика)  $K_2Cr_2O_7$ .

#### **Оборудование и материалы:**

Биологический микроскоп, растворы вышеназванных солей (или других), электроплитка, предметные стекла.

#### **Основные положения:**

Кристаллизацией называется процесс образования кристаллов как из жидкой фазы (первичная кристаллизация), так и из твердой фазы (вторичная кристаллизация).

Твердое состояние кристаллических тел, в том числе металлов, характеризуется геометрически правильным расположением в них атомов. В жидкости частично сохраняется только "ближний порядок" в расположении атомов, характеризующий правильность расположения небольших групп атомов.

Кристаллы (зерна), из которых состоят металлы, характеризуются анизотропией свойств, т.е. Физические свойства, в кристалле различны по различным направлениям, в то время как в аморфных телах (стекло, канифоль и т.п.), которые являются изотропными, свойства не зависят от направления. При плавлении металлов происходит разрушение так называемой кристаллической решетки, представляющей собой совокупность закономерно расположенных атомов в металле, а при кристаллизации - образование кристаллической решетки.

Для развития процесса кристаллизации необходимо создать такие условия, при которых свободная энергия твердой фазы будет меньше, чем свободная энергия жидкой фазы. Как видно из рисунка 5 это возможно только при некотором переохлаждении сплава.

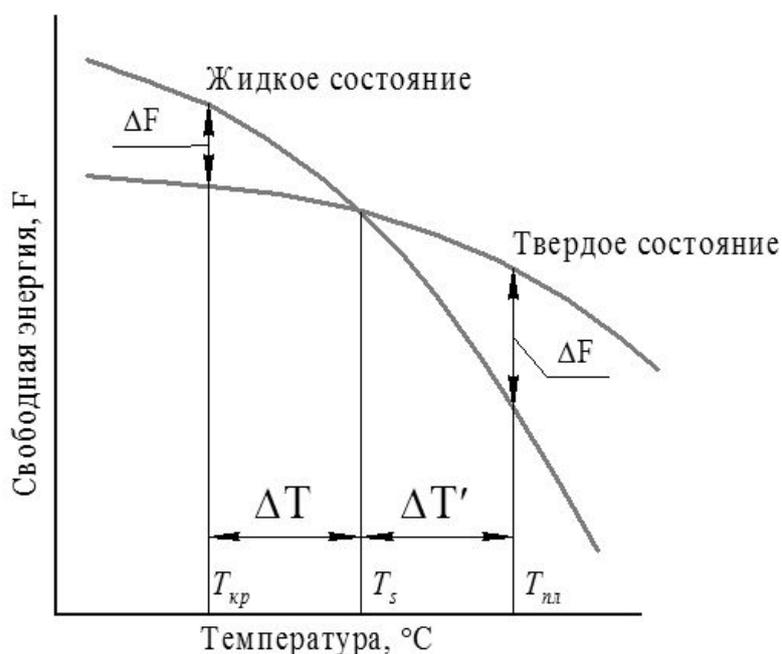


Рисунок 5 – Условия развития процесса кристаллизации

Степенью переохлаждения  $\Delta T$  называется разность между равновесной (теоретической)  $T_s$  и фактической температурой кристаллизации  $T_{кр}$ :

$$\Delta T = T_s - T_{кр}$$

где  $T_s$  – равновесная температура;  
 $T_{кр}$  – фактическая температура.

Первым описал процесс кристаллизации стали из жидкой фазы Д.К.Чернов в 1878 году. Д.К.Чернов указал, что **кристаллизация складывается из двух элементарных процессов:**

Первый - зарождение в жидкости мельчайших

кристаллических частиц (зародышей) или, как их называют, центров кристаллизации.

Второй - рост центров кристаллизации.

Позднее установлено, что при данной величине переохлаждения число возникающих зародышей (*Ч.З.*) и скорость роста кристаллов (*С.К.*) являются величинами постоянными в течение всего времени кристаллизации. Графическое выражение этой зависимости представлено на рис.б.

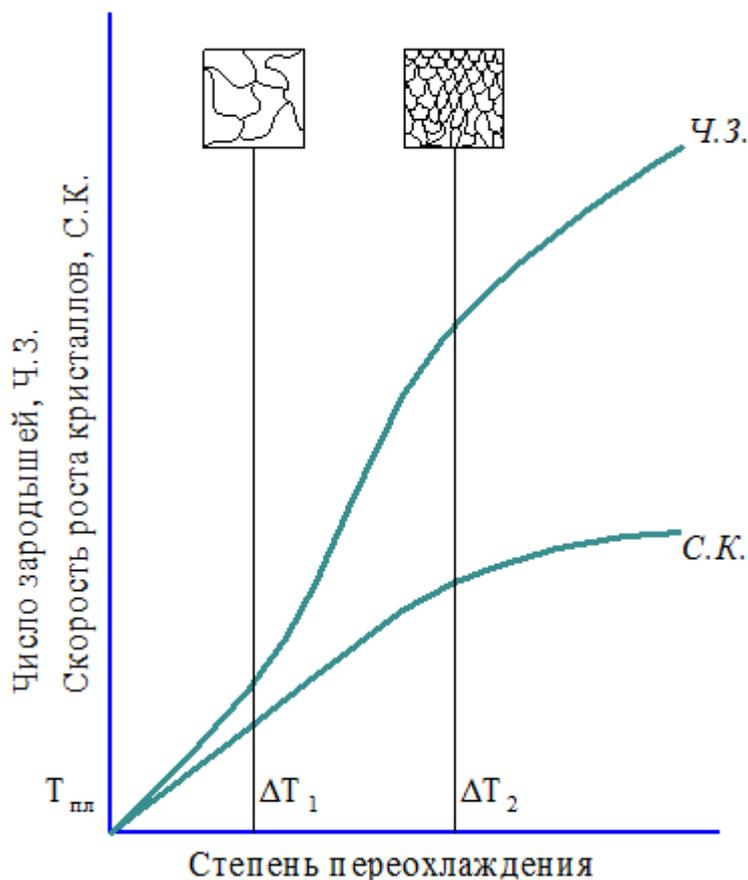


Рисунок б – Зависимость числа зародышей *Ч.З.* и скорости их роста *С.К.* от степени переохлаждения

*Скорость возникновения зародышей* – это число зародышей (*Ч.З.*), возникающих в единице объема ( $1\text{мм}^3$ ) в единицу времени (1с).

*Скорость роста кристалла (С.К.)* – это линейное перемещение растущей грани кристалла в миллиметрах в единицу времени.

Зародыши (центры кристаллизации) могут возникать непосредственно в жидкой фазе, а также на поверхностях примесей, присутствующих в жидкости или специально введенных (несамопроизвольное образование центров кристаллизации).

Величина получаемых кристаллов  $N$  зависит от соотношений величин  $C.K.$  и  $Ч.З.$  при данной степени переохлаждения и выражается формулой:

$$N = a \cdot \sqrt{\frac{C.K.}{Ч.З.}}$$

где  $a$  - коэффициент пропорциональности.

На рис.6 рассматриваются две степени переохлаждения  $\Delta T_1$  (малая) и  $\Delta T_2$  (большая). Во втором случае величина знаменателя ( $Ч.З.$ ) в формуле значительно больше, чем в первом случае, при незначительном увеличении числителя ( $C.K.$ ). Следовательно, величина  $N$  во втором случае будет намного меньше, чем в первом. Иными словами, чем больше степень переохлаждения, тем мельче зерно. На практике измельчение зерна в сплавах достигается путем модифицирования, т.е. путем введения в расплав мельчайших частичек, являющихся дополнительными центрами кристаллизации. Увеличение количества вводимых центров приводит к уменьшению размеров зерна.

Законы кристаллизации для солей и металлических сплавов одинаковы, поэтому изучение процесса кристаллизации можно производить на растворах солей (рис.7). Изучение процесса кристаллизации солей производится с помощью биологического микроскопа при увеличении не более  $\times 100$ .

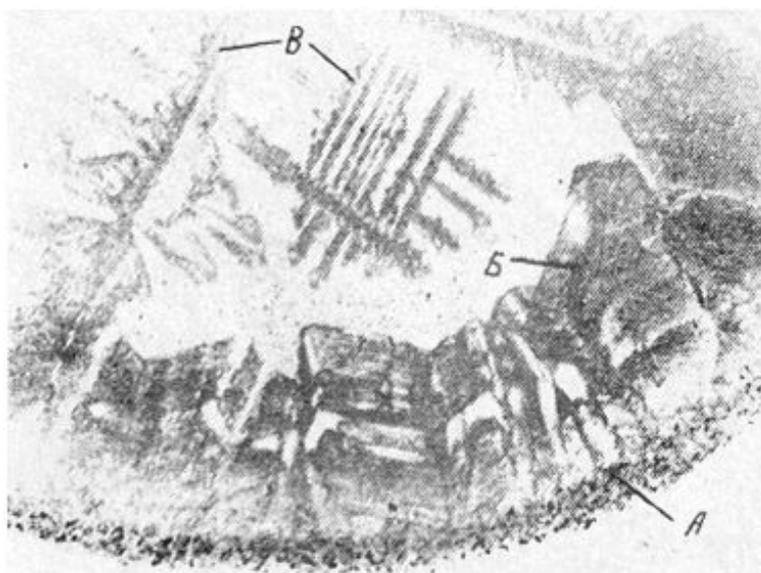


Рисунок 7 – Структура застывшей капли раствора

Процесс кристаллизации изучаемой капли раствора соли азотнокислого свинца можно условно разделить на три периода. По мере испарения жидкости концентрация раствора изменяется и

раствор постепенно приходит к состоянию насыщения. Наибольшее испарение будет у краев капли, откуда и начинается кристаллизация.

В течение первого периода кристаллизации у краев капли образуется корка, состоящая из мелких, произвольно ориентированных кристаллов (рис.7 А), так как сильное переохлаждение вызвало появление большого числа центров кристаллизации.

Во второй период кристаллизации растут крупные, так называемые столбчатые кристаллы (рис.7 Б). Направление их нормально к краям капли и растут они в направлении прямо противоположном теплоотводу. Здесь мы имеем большую скорость кристаллизации при ограниченном числе зародышей.

В третий период кристаллизации возникают кристаллы в центральной зоне капли, где слой раствора толще и испарение (или охлаждение) происходит позже и медленнее. Эти кристаллы (рис.7 В) беспорядочно ориентированы и имеют ясно выраженную форму дендритов. Дендрит - древовидный кристалл.

Процесс затвердевания металлического слитка весьма схож с процессом кристаллизации капли соли.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. На электроплитке нагреть до кипения насыщенные растворы имеющихся солей поочередно.
2. Отфокусировать с помощью, макро- и микровинтов биологический микроскоп (по чистому стеклу).
3. Стеклопалочкой нанести поочередно по капле раствора солей на плоское стекло.
4. Положить стекло с каплей раствора соли на предметный столик микроскопа.
5. Добившись необходимой резкости изображения границы капли наблюдать за процессом кристаллизации соли через окуляр микроскопа.
6. По окончании затвердевания капли зарисовать ее структуру.
7. Оформить отчет по работе, который должен содержать краткое описание процесса кристаллизации, рисунки капель солей и пояснения к рисункам.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что такое «анизотропия»?
2. Каковы условия процесса кристаллизации (плавления)?
3. Из каких этапов складывается процесс кристаллизации?
4. От чего зависит размер зерна?
5. Как, используя формулу величины зерна ( $N$ ), можно объяснить измельчение зерна при большей, степени переохлаждения?
6. С чего начинается и чем заканчивается кристаллизация капли раствора соли?

### **Лабораторная работа №3**

#### **АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВОВ**

##### **Цель работы:**

Научить студентов изготовлению микрошлифов, их травлению, исследованию структуры, определению количества (процентного содержания) углерода в стали.

##### **Задание:**

1. Изучить теоретическую часть.
2. Изготовить микрошлиф предложенного образца (пронумерованного) методом механического шлифования и полирования.
3. Рассмотреть полученную микроструктуру под микроскопом или с помощью МТУ-1 и зарисовать ее изображение.
4. Определить в процентах площадь поверхности микрошлифа, занимаемую перлитом и записать под рисунком.

##### **Оборудование и материалы:**

Металлографический микроскоп, металлографическая наждачная бумага разных номеров, толстое стекло, реактивы для травления, пронумерованные образцы стали, полировальный станок с полирующим материалом (окись хрома или алюминия, паста ГОИ и т.п.), спирт для промывки микрошлифа, фильтровальная бумага, альбом микроструктур стали.

### Основные положения:

*Микроанализ* - исследование структуры и пороков металла с помощью микроскопа, т.е. при больших увеличениях. Исследованию подвергают специально приготовленные микрошлифы. Микроанализ позволяет определить структуру металла после различных технологических обработок. При помощи микроисследования можно установить качество металла (засоренность неметаллическими включениями - оксидами, сульфидами и т.д.), величину зерна металла, дефекты и ряд других деталей структуры.

Микроструктурный метод исследования металлов состоит из следующих этапов: а) приготовление шлифов - шлифование и полирование;

б) травление шлифов - выявление структуры; в) исследование структуры, выявление дефектов под микроскопом.

Образец металла, специально подготовленный для исследования под микроскопом, называется микрошлифом. Наиболее удобными размерами микрошлифа является цилиндр диаметром 12 мм и высотой 10 мм или параллелепипед с площадью основания 12×12 мм и высотой 10 мм (рис.8а). Если исследуемый образец представляет собой тонкую пластинку или лист, то для удобства шлифования и полирования его зажимают в струбцину или в металлической муфте его заливают расплавленным бакелитом, серой или легкоплавким сплавом (рис.8б, в).

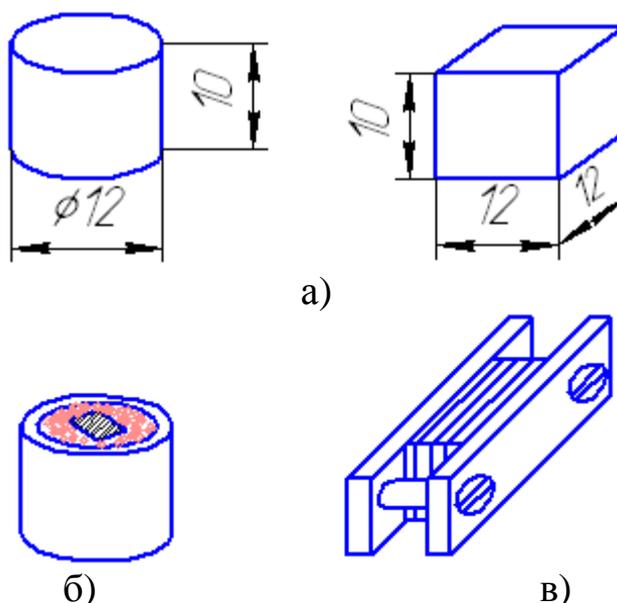


Рисунок 8 – Металлографические шлифы:

а) нормальные размеры шлифов; б) шлиф, залитый легкоплавким сплавом;

в) шлиф, зажатый в струбцину

Отрезка образца для микрошлифа производится ножовкой или на токарном станке. В хрупких сплавах образец для изготовления шлифа можно отбить молотком. Если металл очень твердый, образец отрезают посредством тонкого карборундового крута с обильным охлаждением.

Исследуемую поверхность образца заторцовывают на наждачном круге или опиливают напильником. Отрезку и заторцовку необходимо вести с охлаждением образца водой, иначе он будет нагреваться и структура сплава может измениться.

Подготовку поверхности, шлифование и полирование образцов ведут с помощью абразивных материалов и инструментов. Абразивные материалы - это измельченные породы: природные (алмаз, корунд, наждак, гранит, кварц, кремний, крокус - окись железа и др.) и искусственные (синтетические алмазы, эльбор -нитрид бора, электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, окись алюминия и др.). Абразивный материал характеризуется номером зернистости (табл.2).

Шлифовальную шкурку изготавливают так. На бумажную или тканевую основу, специально подготовленную, наносят абразивный материал и закрепляют клеящим веществом (мездровый клей, специальный лак, смола). В зависимости от последнего шкурка предназначается для сухого шлифования или с водяным, масляным или керосиновым охлаждением - водостойкая шкурка. Например, водостойкая бумажная шлифовальная шкурка шириной 230 мм, длиной 280 мм из зеленого карбида кремния марки 63С зернистостью М50-В, класса А (качество) обозначается так: Водостойкая 230x280 63С М150ВА ГОСТ 10054-75. Шлифование ведется на бумаге зернистостью 10, 8, 6, 5, 4, 3, а для окончательного шлифования можно воспользоваться наждачной бумагой зернистостью М28, М20. Использование всех перечисленных бумаг желательно для ускорения процесса шлифования.

Шлифование производится вручную или на механическом станке. Вручную образец шлифуется следующим образом. Самую грубую бумагу кладут на толстое стекло; образец слегка прижимают рукой к наждачной бумаге заторцованной стороной и водят им по бумаге в одном направлении до уничтожения рисок, оставшихся после торцевания. Поверхность шлифа должна соприкоснуться с бумагой всей плоскостью. Затем берут бумагу следующего номера и шлифование продолжается. Образцом водят в направлении перпендикулярном к рискам, оставшимся от предыдущего номера бумаги, до их полного выведения.

Таблица 2 - Крупность основной фракции

Номер зернистости	Крупность основной фракции, мкм
<b>Шлифзерно</b>	
200	2500...2000
160	2000...1600
125	1600...1250
100	1250...1000
80	1000...800
63	800...630
50	630...500
40	500...400
32	400...315
25	315...250
20	250...200
<b>Шлифпорошки</b>	
12	160...125
10	125...100
8	100...80
6	80...63
5	63...50
4	50...40
3	40...28
<b>Микропорошки</b>	
M63	63...50
M50	50...40
M40	40...28
M28	28...20
M20	20...14
M14	14...10
<b>Тонкие микропорошки</b>	
M10	10...7
M7	7...5
M5	5...3,5

Шлифование продолжают используя все более мелкие номера бумаги. Наряду с ручным шлифованием существует и механическое, которое ведется на специальных шлифовальных машинах, которые имеют несколько приводимых во вращательное движение от электродвигателя кругов диаметром 200...250 мм. К этим кругам прикрепляется или наклеивается металлографическая шлифовальная бумага различных номеров, на которой и шлифуют образцы,

постепенно переходя от более грубых сортов бумаги к более тонким. При этом риски уничтожаются так же, как и при ручном шлифовании поворачиванием шлифа на 90° при переходе от одного номера бумага к другому.

При исследовании сталей, подвергнутых химико-термической обработке (цементации, азотированию и т.п.) важно, чтобы края шлифа не были завалены, т.е. были бы плоскостью, а не сферической поверхностью. Для предотвращения заваливания краев образец закрепляют в струбцину.

Шлифы полируются на вращающемся плоском круге, насаженном на ось двигателя. Круг покрыт сукном, которое смачивается водой с мельчайшим порошком окиси алюминия или хрома. Полирование должно продолжаться не более 3...5 мин и прекращаться, как только будут выведены последние риски, оставшиеся на шлифе после шлифования. Более длительное полирование вызывает выкрашивание составляющих структуры. Полирование считается законченным, если удалены все риски и шлиф имеет зеркальную поверхность. После полирования шлиф промывают водой, затем спиртом и сушат, прикладывая его (не вытирая) к фильтровальной бумаге.

Полированный шлиф металла в нетравленном виде под микроскопом имеет вид светлого круга. Только в случае неметаллических включений (оксидов, сульфидов и т.п.) они видны и без травления.

На поверхности шлифа в результате травления образуются выступы и впадины, характеризующие микроструктуру сплава (рис.9). Для травления микрошлифов применяется множество реактивов. Наиболее употребительные из них для травления стали и чугуна следующие:

- 5% раствор азотной кислоты в этиловом спирте;
- 4% раствор пикриновой кислоты в спирте;
- пикрат натрия (пикриновая кислота и едкий натр) - стандартный реактив, применяемый для того, чтобы отличить цементит от феррита (пикрат натрия окрашивает цементит в темный цвет).

Реактив перед работой наливают в небольшую стеклянную или фарфоровую чашку. Перед травлением полированную поверхность шлифа с целью обезжиривания промывают спиртом, а затем погружают шлиф на непродолжительное время (несколько секунд) в реактив. Иногда целесообразно реактив наносить на поверхность шлифа при помощи капельницы, пипетки или ватки на стеклянной палочке. После травления шлиф промывают водой, а затем спиртом и сушат прикладывая к фильтровальной бумаге.

Если сталь, структура которой состоит из перлита и феррита, протравить раствором азотной или пикриновой кислоты, то под микроскопом перлит будет иметь вид темных зерен, а феррит - светлых (рис.9). Оптически неодинаковую окрашиваемость зерен перлита и феррита можно объяснить тем, что от феррита световых лучей в объектив отражается больше, чем от перлита, так как зерна перлита имеют менее ровную поверхность, и много лучей вследствие их рассеивания не попадает в объектив.

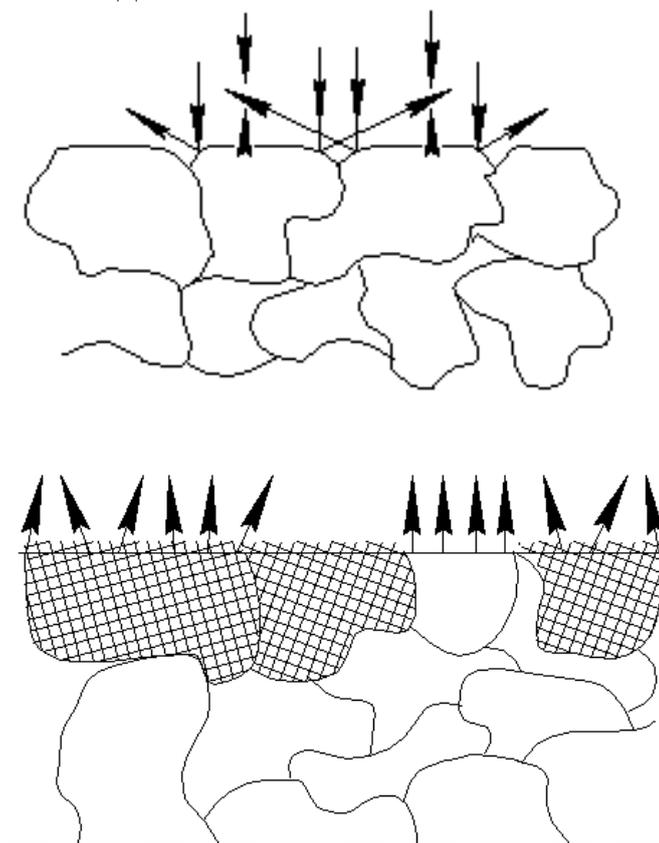


Рисунок 9 – Отражение света от протравленного микрошлифа

В результате травления границы зерен вытравливаются сильнее и дают углубления. Эти углубления вследствие рассеивания света кажутся нам под микроскопом в виде темных линий. Различная окрашиваемость отдельных зерен феррита объясняется их анизотропией. В сечении шлифа зерна феррита перерезаны по различным кристаллографическим плоскостям, а так как свойства зерен в различных сечениях различны, то и растворение каждого зерна под действием реактива неодинаково. То зерно, которое протравилось сильнее, под микроскопом будет выглядеть темнее, так как дает большее рассеивание света.

Следовательно, действие реактива на различные структурные составляющие неодинаково. Перлит, будучи двухфазной структурой,

подвергается большему электрохимическому растворению, чем феррит.

Таким образом, цель травления заключается в том, чтобы путем различного воздействия на сплав травлением, окислением при нагреве и т.п. искусственно вызвать в нем неодинаковое отражение света различными структурными составляющими или получить резкие границы, отделяющие одно зерно от другого.

Чем мельче зерно, тем быстрее травится шлиф. Поэтому понятно, почему троостит травится гораздо быстрее чем сорбит, а сорбит быстрее, чем перлит.

При изготовлении шлифов из чугуна, в структуре которого имеется графит, следует шлифовальную шкурку слегка натереть парафином, чтобы избежать выкрашивания графита абразивными частицами. Без этой предосторожности вместо графита на поверхности шлифа будут видны полости, в которых ранее располагался графит.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Получить у преподавателя пронумерованный образец и все необходимое для изготовления микрошлифа.

2. Выполнить работу в порядке, указанном в "Задании". В ходе выполнения работы необходимо научиться правильно устанавливать микрошлиф на предметный столик микроскопа, наводить на резкость, опытным путем подбирать время травления микрошлифа для более полного выявления микроструктуры.

3. Оформить письменный отчет о работе, который должен содержать: краткое описание методики приготовления и травления микрошлифа; рисунки структур до травления и после него; пояснения к рисункам; определение в процентах площади поверхности микрошлифа, занимаемой перлитом.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что такое микроструктура?
2. Каков порядок приготовления микрошлифа?
3. Какие номера металлографической наждачной бумаги используются при шлифовании?
4. Для чего травится микрошлиф?
5. Что входит в состав простейшего травителя для стали?
6. Зачем используется в качестве травителя пикрат натрия?
7. Почему зерна феррита светлые, а перлита - темные?

## Лабораторная работа №4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (На примере диаграммы "олово-свинец")

#### **Цель работы:**

Освоить методику построения кривых охлаждения металлов и сплавов, определения критических точек и построения по найденным критическим точкам диаграмм состояния сплавов.

#### **Задание:**

1. Изучить основные положения во время подготовки к лабораторной работе.

2. Построить кривые охлаждения трех сплавов олова со свинцом разных концентраций и определить для каждого сплава критические точки.

3. По полученным критическим точкам и критическим точкам, заданным преподавателем, построить упрощенную диаграмму состояния "олово-свинец" (без учета линий ограниченной растворимости).

4. Пользуясь правилом отрезков определить количество жидкой и твердой фаз сплава заданной преподавателем концентрации при заданной температуре

**Примечание.** Для упрощения термоанализа (более низкие температуры критических точек) выбрана диаграмма системы "олово-свинец" и в учебных целях, условно приравнена к диаграммам с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии.

#### **Оборудование и материалы:**

Муфельная печь, пирометр, металлографический микроскоп, три тигля со свинцово-оловянистыми сплавами разной концентрации.

#### **Основные положения:**

Диаграмма состояния сплавов – это графическое изображение изменения фазового и структурного состояния сплавов в зависимости от их концентрации и температуры.

Она нужна для теоретических и практических целей. С ее помощью можно установить температуру литья сплавов, температуру нагрева сплава для того или иного вида термической обработки и др.

Для построения диаграмм чаще всего используется термический метод (существуют магнитный, электрический, теплоемкостный и др.).

Основоположником физико-химических методов исследования металлов и сплавов является русский ученый Н.С. Курнаков.

Термический метод основан на том, что изменения в состоянии сплавов вызывают изменение их свойств. При переходе сплава из одного состояния в другое (из жидкого в твердое, перекристаллизации) физические свойства изменяются скачкообразно и сопровождаются поглощением или выделением тепла. Температуры, при которых происходят эти изменения, называются критическими, а соответствующие им точки на кривых нагрева или охлаждения - *критическими точками*.

Чтобы найти, при каких температурах совершается выделение (или поглощение) тепла, надо через короткие одинаковые промежутки времени, например, 30 с, измерять с помощью пирометра температуру охлаждающегося (нагревающегося) металла или сплава, а потом отобразить изменения температуры в виде кривой в координатах "температура-время" (рис. 10). На кривой (такой вид имеют кривые охлаждения чистых металлов и эвтектических сплавов, о чем будет сказано ниже) точка "а" - начало кристаллизации, точка "b" - конец ее. В течение времени "ab" температура не падает за счет бурного выделения тепла кристаллизации, компенсирующего отвод тепла от тигля в окружающую среду. В точке "b", когда затвердевание закончится, т.е. жидкость превратится в кристаллы, будет наблюдаться дальнейшее плавное понижение температуры. Точки "а" и "b" - критические точки начала и конца затвердевания. У чистых металлов они равны, поэтому мы считаем, что у чистых металлов одна критическая точка кристаллизации (затвердевания).

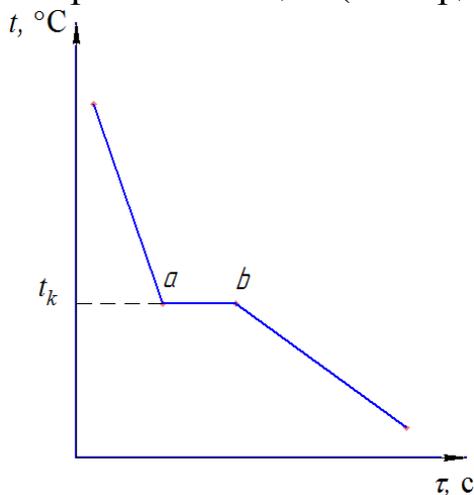


Рисунок 10 – Кривая охлаждения

Для измерения температуры пользуются пирометром, собранным по схеме, приведенной на (рис.11). *Пирометр* - это термоэлектрический прибор, состоящий из термопары и гальванометра. Шкалу гальванометра можно проградуировать в градусах Цельсия, тогда он будет показывать не ЭДС, а температуру сплава.

Термопара представляет собой две различные металлические проволоки АС и АВ, концы которых в точке А свариваются (горячий спай), а другие концы (точки С и В) соединяются проводами с гальванометром (холодный спай).

При нагреве горячего спаия в цепи появляется термоток (ЭДС), обусловленный совершающимся при диффузии электронов превращением энергии теплового движения в энергию электрического поля. Чем выше температура нагрева, тем больше ЭДС.

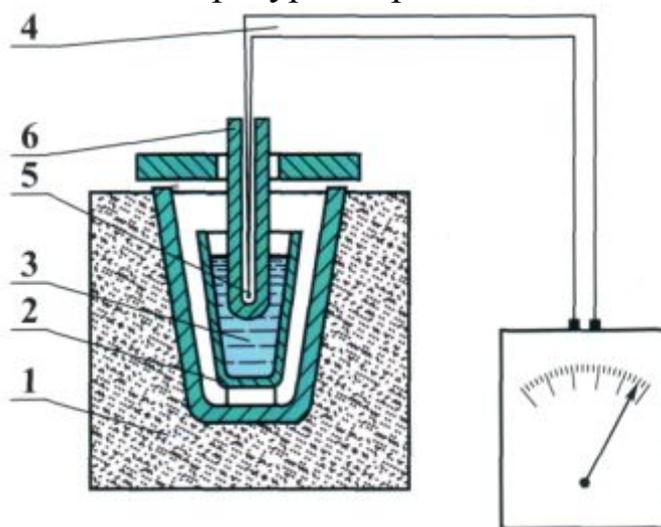


Рисунок 11 – Схема пирометра: 1- печь; 2 – тигель; 3 – расплавленный металл; 4 – термопара с измерительным прибором; 5 – рабочий спай термопары; 6 – чехол термопары

Существует много термопар. Наиболее распространенные: медь-константановая, применяемая для измерения температур от  $-200$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ ; нихромо-константановая (до  $800^{\circ}\text{C}$ ); хромель-алюмелевая (до  $950^{\circ}\text{C}$ ); платино-платинородиевая (до  $1200\text{...}1600^{\circ}\text{C}$ ).

После построения ряда кривых охлаждения сплавов различной концентрации изучаемой системы и кривых охлаждения чистых металлов, входящих в изучаемую систему, а также определения критических точек (рис.12) приступают к построению диаграммы состояния сплавов.

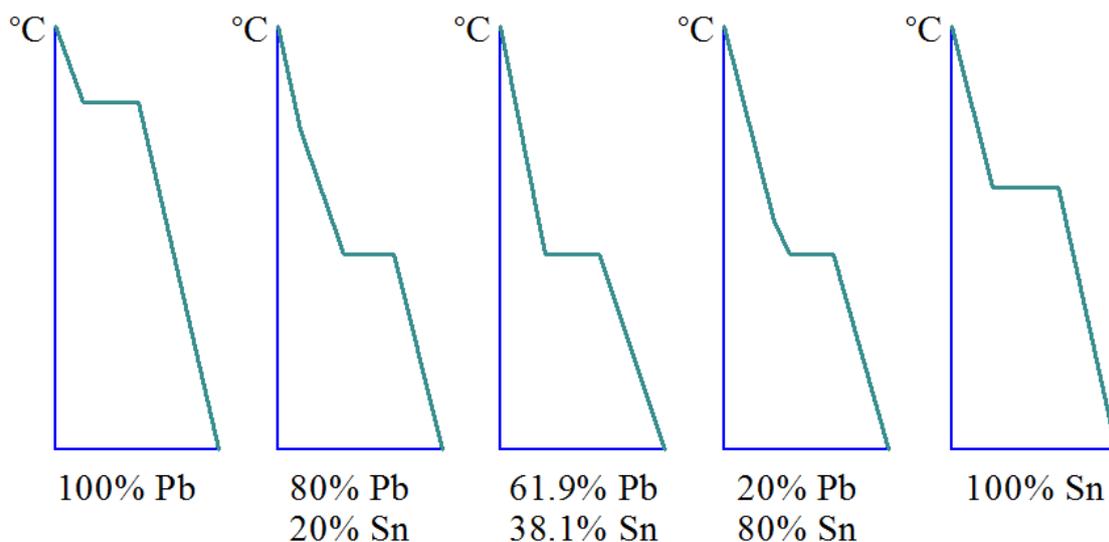


Рисунок 12 – Кривые охлаждения сплава Pb-Sn

Диаграмма состояния – это чертеж, который строится в координатах "температура-концентрация". По оси абсцисс откладывается процентное содержание компонентов, образующих систему, а по оси ординат откладывается температура критических точек сплавов, входящих в систему (рис.13). Полученные точки соединяют плавными линиями (рис.14).

Линия АСВ соответствует началу затвердевания сплава и называется линией ликвидус. Линия ДСЕ соответствует концу затвердевания сплава и называется линией солидус. Сплав, затвердевающий при самой низкой температуре с образованием механической смеси двух фаз, одновременно кристаллизующихся из жидкости, называется эвтектикой. Левее точки С сплавы называются доэвтектическими, а правее точки С - заэвтектическими.

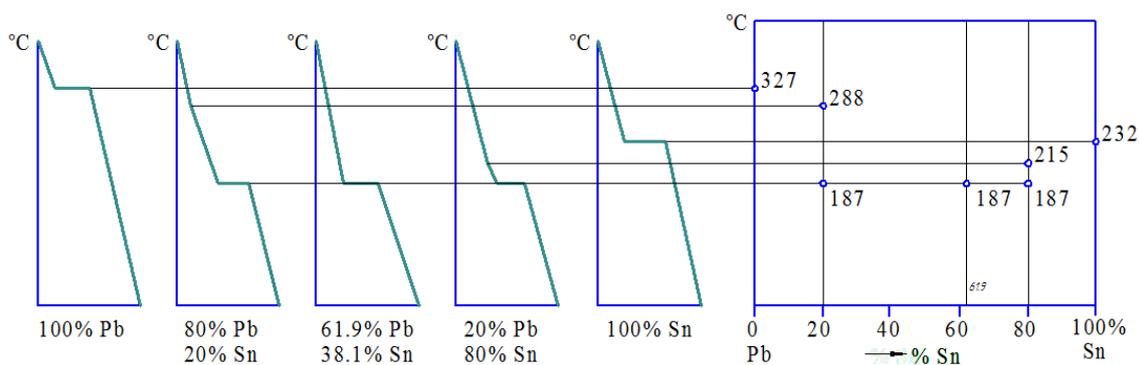


Рисунок 13 – Построение диаграммы состояния сплава Pb-Sn

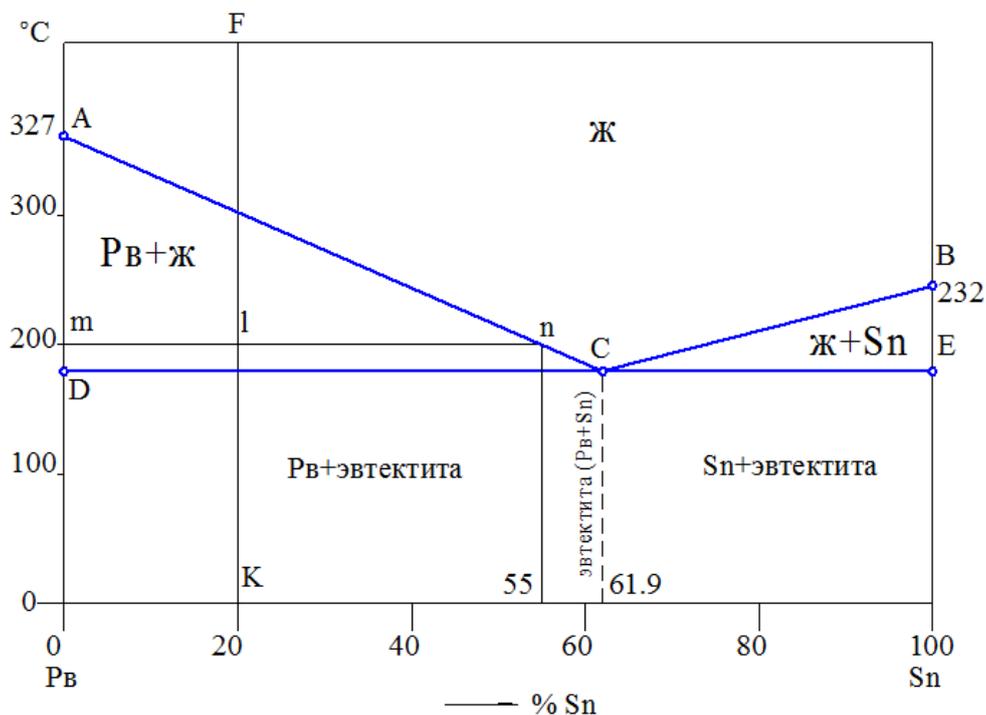


Рисунок 14 – Диаграмма состояния сплава Pb-Sn

Для анализа кривых охлаждения применяют правило фаз (правило Гиббса), которое выражается формулой:

$$C = K - \Phi + 1$$

где  $C$  – число степеней свободы, т.е. число внешних факторов (температура и концентрация), которые можно изменять без изменения числа Фаз в сплаве;

$K$  – число компонентов (в системе "олово-свинец"  $K = 2$ , Pb-Sn);

$\Phi$  – число фаз.

Фазой называется химически однородная часть сплава, отделенная от других его частей поверхностью раздела. Фазами могут быть химические элементы, химические соединения, жидкости и твердые растворы. Например, механическая смесь Pb-Sn (эвтектика) - двухфазная система.

Рассмотрим и проанализируем процесс, кристаллизации эвтектического сплава с применением правила Гиббса. Выше точки С сплав находится в жидком состоянии, следовательно имеется одна фаза, поэтому

$$C = 2 - 1 + 1 = 2.$$

При двух степенях свободы может изменяться температура и концентрация, а сплав будет оставаться однородным жидким. Кривая охлаждения будет круто опускаться вниз до точки С, где жидкий сплав начинает кристаллизоваться. При этом, согласно кривой

охлаждения, температура в течение некоторого времени остается постоянной, не падает. Объясним это явление с помощью правила Гиббса ( $C = K - \Phi + 1$ ). Число компонентов  $K = 2$ , число фаз  $\Phi = 3$ , так как одновременно образуются кристаллы свинца и олова (2 фазы) плюс жидкий сплав, из которого они кристаллизуются (еще 1 фаза). Следовательно, число степеней свободы

$$C = 2 - 3 + 1 = 0.$$

Т.е. ни концентрация ни температура не изменяются. Тепло при кристаллизации выделяется столько, что оно полностью компенсирует потерю тепла, отходящего в окружающую тигель среду. Поэтому, пока не закончится кристаллизация, температура будет оставаться постоянной (горизонтальный отрезок кривой охлаждения).

Когда, кристаллизация закончится жидкий сплав исчезнет, поэтому останется только две фазы ( $K = 2$  и  $\Phi = 2$ ), число степеней свободы

$$C = 2 - 2 + 1 = 1.$$

При одной степени свободы независимой переменной является только температура.

Также с помощью правила Гиббса можно объяснить кривую охлаждения чистого металла. При этом  $K = 1$ , в момент кристаллизации  $\Phi = 2$ , а число степеней  $C = 0$  ( $C = 1 - 2 + 1 = 0$ ).

При кристаллизации доэвтектического или заэвтектического сплава между линиями ликвидус и солидус кривые охлаждения плавно опускаются, так как согласно правилу Гиббса имеется только одна степень свободы ( $C = 2 - 2 + 1 = 1$ ), а при одной степени свободы переменной является температура.

Правилом отрезков (правилом рычага, как его иногда называют) пользуются для определения процентного и весового состава жидкой и твердой фаз или двух различных твердых фаз (количество структурных составляющих и их концентраций). Разобраться в этом лучше на примере.

Пример. Требуется определить количество твердой и жидкой фаз сплава, содержащего 80% свинца и 20% олова, при температуре 200° С. Другими словами необходимо определить количество закристиализовавшегося свинца и еще незатвердевшей жидкости при температуре 200° С.

На линию заданного сплава FK наносим точку  $l$  (рис.14), соответствующую 200°С. Проводим горизонтальную линию  $mn$  через эту точку (так называемую к аноду). Получается два отрезка  $ml$  и  $ln$ . Их соотношение обратно пропорционально процентному или

весовому содержанию фаз, к которым эти отрезки прилегают, т.е.

$$\frac{ml}{ln} = \frac{Q_{ж}}{Q_m}$$

где  $Q_{ж}$  – количество жидкой фазы;  
 $Q_m$  – количество твердой фазы.

Количество искомой фазы равно отношению отрезка, противолежащего этой фазе, ко всему отрезку.

На 100% умножаем для того, чтобы получить искомую фазу в процентах.

В нашем случае поступим следующим образом. Опускаем перпендикуляры из точек  $l, m, n$  на ось концентраций (это поможет нам определить длины отрезков  $nl, ml, mn$ , так как ось концентраций выполнена в масштабе).

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя (лаборанта) сплавы, подлежащие исследованию, поместить их в тигли, засыпать сверху активированным углем (флюс, необходимый для уменьшения окисления сплава при нагреве).

2. Поместить сплавы в печь, нагреть до температуры не менее 350°C.

3. Провести поочередно термический анализ исследуемых сплавов (металлов). Показания пирометра записывать через 30 с в таблицу по следующей форме.

Сплав: свинец.....%		
олово.....%		
№ п/п	Время охлаждения	температура сплава в °С
1	0	380
2	30	372
3	...	...

Примечание Таблицы составить для всех исследуемых сплавов отдельно.

4. По полученным температурным точкам построить кривые охлаждения в координатах "температура-время".

5. По перегибам кривых и температурным остановкам опре-

делить критические точки каждого сплава.

6. Получив у преподавателя величины критических точек остальных сплавов (металлов) построить диаграмму состояния системы "свинец-олово" (в учебных целях считая, что свинец и олово обладают полной нерастворимостью друг в друге, см. примечание выше).

7. На построенной диаграмме, определить по правилу отрезков количество жидкой и твердой фаз для заданного преподавателем сплава при заданной температуре.

8. Для заданного сплава диаграммы используя правило Гиббса построить и объяснить кривую охлаждения.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какое оборудование и приборы необходимо иметь для построения кривой охлаждения сплава?

2. Как устроен пирометр и в чем принцип его работы?

3. Каков порядок построения кривой охлаждения сплава?

4. Что называется критической точкой сплава?

5. Чем объясняются горизонтальные участки на кривых охлаждения сплавов и чистых металлов?

6. Что такое диаграмма состояния сплавов?

7. Что такое эвтектический сплав?

8. О чем говорит правило фаз (правило Гиббса)?

9. Что можно определить с помощью правила отрезков?

10. Как читается правило отрезков?

## **Лабораторная работа №5**

### **ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ**

#### **Цель работы:**

Ознакомить студентов со структурами железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии, их месте на диаграмме состояния, превращениями, происходящими при разных температурах.

#### **Задание:**

1. Изучить значение всех линий, точек и областей диаграммы состояния железо-цементит, ее фазы и структуры.

2. Изучить превращения в сплавах с различным содержанием углерода при охлаждении (нагревании).

3. Научиться применению правила фаз при построении кривых охлаждения сплавов в разных областях.

4. Научиться применению правила отрезков для определения процентного и весового состава фаз, составляющих сплав.

### **Оборудование и материалы:**

Электрифицированный стенд "Диаграмма состояния железо-цементит" и кривые охлаждения сплавов этой диаграммы.

### **Основные положения:**

Диаграмма железо-цементит является основой для понимания процессов, происходящих при нагревании и охлаждении железоуглеродистых сплавов (сталей и чугунов). Под равновесным состоянием сплава понимается состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве полностью закончились в соответствии с диаграммой состояния.

Такие состояния наступают только при медленном охлаждении. Поэтому основой для определения фаз и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии является диаграмма железо-цементит.

В практически применяемых сплавах железа с углеродом, содержание углерода не превышает 5%. Поэтому диаграмму состояния железо-углерод рассматривают с содержанием углерода не до 100%, а до 6,67%, что соответствует содержанию углерода в цементите. Такую диаграмму обычно называют диаграммой состояния железо-цементит ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ). Ниже приведена диаграмма состояния железо-цементит в упрощенном виде (рис.15). В сплавах железа с углеродом происходят превращения не только в процессе кристаллизации, но также и в твердом состоянии, вследствие аллотропических и эвтектоидных превращений, а также ограниченной растворимости углерода в  $\alpha$ - и  $\gamma$ - железе.

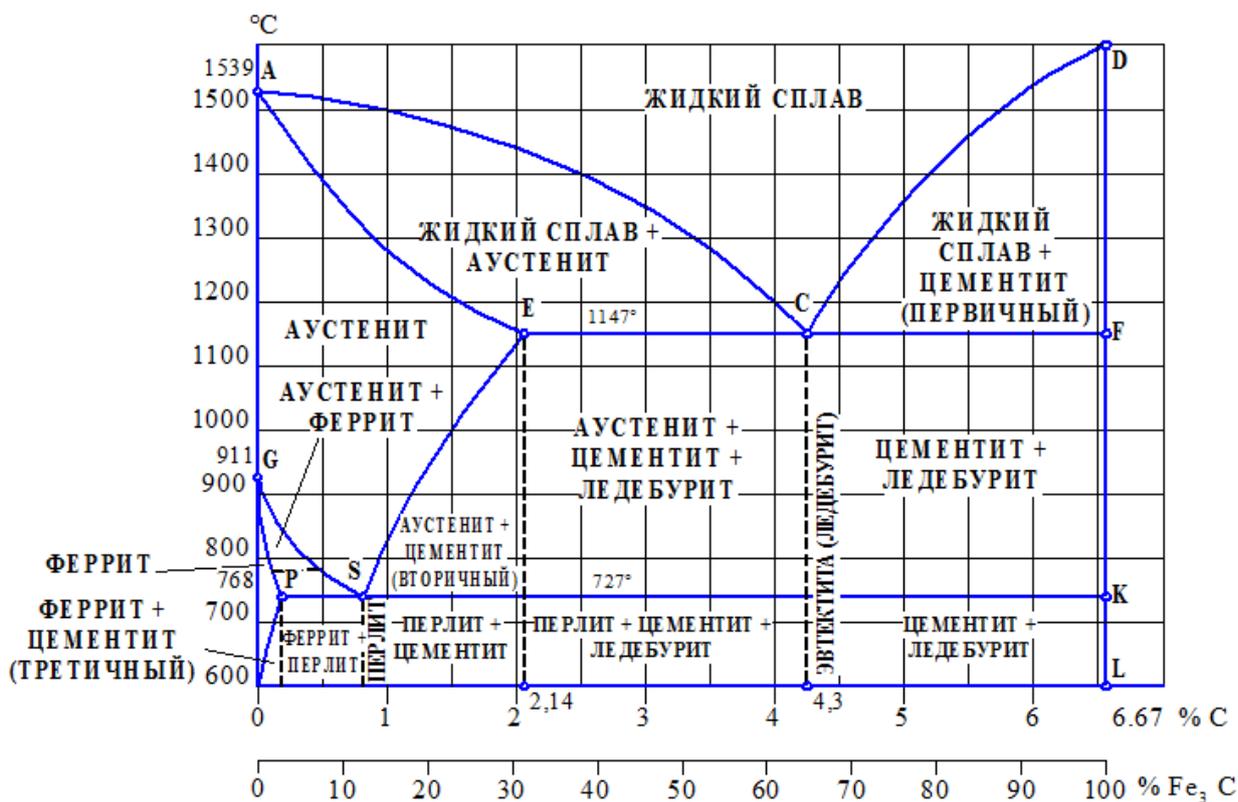


Рисунок 15 – Диаграмма железо-цементит Fe-Fe<sub>3</sub>C

### Основные характеристики компонентов системы "Железо-углерод"

Железо - металл серебристо серого цвета, очень пластичный, с удельным весом 7,8 г/см<sup>3</sup> и температурой плавления 1539°C. Чистое железо содержит 0,01% примесей. Железо имеет несколько аллотропических модификаций. При комнатной температуре железо имеет кристаллическую решетку объемно-центрированного куба. Такое железо обладает сильно выраженными магнитными свойствами. При температуре 768°C железо теряет магнитные свойства. Кристаллическая решетка при этом не меняется, изменяются только параметры кристаллической решетки. При температуре 768°C происходит аллотропическое превращение железа (рис.16). Кубическая объемно-центрированная решетка переходит при этой температуре в кубическую гранецентрированную решетку. Такое железо обозначается Fe<sub>γ</sub> в отличие от предшествующего Fe<sub>α</sub>. При этом свойства железа меняются: оно приобретает особую пластичность, высокую вязкость, увеличивается способность растворять углерод, но остается немагнитным. При температуре 1392°C происходит второе аллотропическое превращение железа. Гранецентрированная кубическая решетка γ-железа вновь переходит в объемно-центрированную кубическую решетку α-железа. Эту

решетку иногда называют  $\beta$ -железом и обозначают  $Fe_\beta$  (оно немагнитно). При температуре  $1539^\circ\text{C}$  железо плавится.

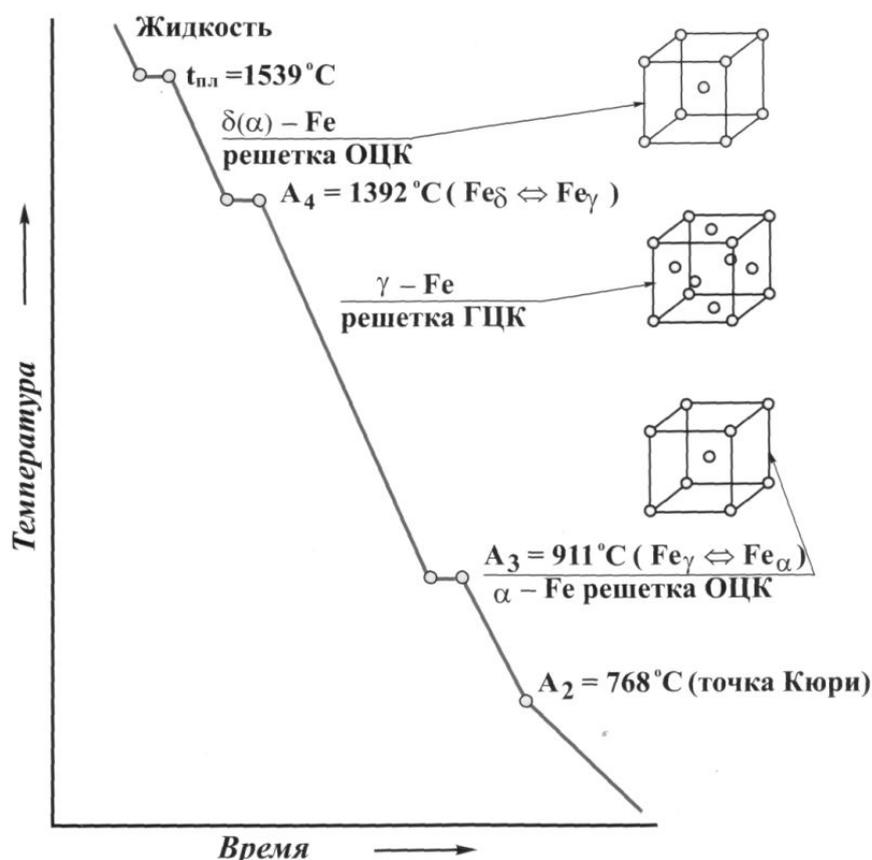


Рисунок 16 – Кривая охлаждения железа Fe

Углерод – неметаллический элемент с удельным весом  $2,5 \text{ г/см}^3$ . Температура плавления  $3500^\circ\text{C}$ . Углерод имеет три аллотропических модификаций: алмаза, графита, и угля. В железоуглеродистых сплавах углерод присутствует в виде графита только в серых чугунах. Чаще всего в железоуглеродистых сплавах углерод встречается в виде твердых растворов внедрения в  $\alpha$ - и  $\gamma$ - железе, а также в виде химического соединения  $Fe_3C$  - цементита (карбида железа).

Аустенит (А) - твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ - железе. Аустенит имеет кубическую гранецентрированную решетку. Растворимость углерода в  $\gamma$ - железе зависит от температуры. Чем выше температура, тем больше растворимость. Максимальная растворимость углерода в  $\gamma$ -железе равна 2,14% при температуре  $1147^\circ\text{C}$ . Растворимость при температуре  $727^\circ\text{C}$  равна 0,8%. Если в стали углерода меньше, то меньше его будет и в аустените.

Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо. Феррит имеет кубическую объемно-центрированную кристаллическую

решетку. Максимальная растворимость углерода в  $\alpha$ -железе равна 0,02% при температуре 727°C; при комнатной температуре растворимость 0,006%.

Из приведенных данных следует, что растворимость углерода в  $\gamma$ -железе значительно больше, чем в  $\alpha$ -железе (примерно в 40 раз), при температуре 727°C. Это объясняется различной плотностью упаковки атомов в кристаллических решетках ОЦК и ГЦК.

Цементит (Ц) (карбид железа) - химическое соединение железа с углеродом, содержащее 6,67% углерода. Он обладает металлическим блеском, сложной кристаллической решеткой, отличающейся от кристаллических решеток железа и графита, тепло- и электропроводностью, слабыми магнитными свойствами, высокой твердостью (НВ 800 кг/мм<sup>2</sup>).

Перлит (П) - эвтектоидная механическая смесь, состоящая из двух фаз: феррита и цементита. Образуется при превращении аустенита определенного состава (0,8% углерода) при температуре 727°C. Содержание углерода в перлите для всех железоуглеродистых сплавов всегда постоянно и равно 0,8%. Эвтектоид назван перлитом, так как после травления стали, содержащей 0,8% углерода, появляется перламутровый блеск.

Ледебурит (Л) - эвтектическая смесь, образующаяся из жидкой фазы определенного состава (4,3% углерода). При температуре 1147°C... 727°C ледебурит состоит из двух, фаз - аустенита и цементита. Ниже 727°C, когда аустенит переходит в перлит, ледебурит состоит из перлита и цементита, т.е. также из двух фаз - феррита и цементита. Содержание углерода в ледебурите всегда постоянно и равно 4,3%.

### Значения точек и линий диаграммы "железо-цементит"

Каждая точка диаграммы состояния характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре.

Таблица 3 – Значение точек и линий диаграммы «железо - цементит»

Обозначение точки	Температура при нагреве в °С	Предельная концентрация углерода в %	Определения
А	1539	0	Температура плавления железа
С	1147	4,3	Состав эвтектики – ледебурит
Д	1600	6,67	Температура плавления цементита
Е	1147	2,14	Предельная растворимость углерода в $\delta$ - железа
G	911	0	Аллотропическое превращение $\delta$ - железа в $\alpha$ -железо и обратно
S	727	0,8	Состав эвтектоида – перлит
P	727	0,02	Предельная растворимость углерода в $\alpha$ - железа
О	20	0,006	Максимальная растворимость углерода в $\alpha$ - железе при комнатной температуре

Линия АСД - линия ликвидус. Выше этой линии все железо-углеродистые сплавы находятся в жидком состоянии, представляющем собой жидкий раствор (жидкую Фазу).

Линия АЕСГ - линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.

Линии АС и ДС показывают температуру начала первичной кристаллизации аустенита (АС) и первичного цементита (ДС).

При выделении из жидкой базы кристаллов аустенита состав жидкой фазы будет обогащаться углеродом и по мере понижения температуры изменяться по линии АС. Состав твердой Фазы (аустенита) при этом будет изменяться по линии АЕ.

При выделении из жидкой Фазы кристаллов цементита состав ее будет обедняться углеродом и с понижением температуры изменяться по линии ДС, состав твердой фазы (цементита) остается постоянным, равным 6,67% углерода.

При достижении температуры 1147°C состав жидкой фазы для любого сплава, расположенного между концентрациями от точки E (2,14% углерода) до точки F (6,67% углерода) будет соответствовать точке С (4,3% углерода).

При этой температуре оставшаяся часть жидкой фазы данного состава (4,3% углерода) закристаллизуется с образованием эвтектической механической смеси, содержащей то же количество углерода, что и жидкость, т.е. 4,3% углерода. Эта эвтектика называется ледебуритом. Она состоит из аустенита состава точки E (2,14% углерода) и цементита, содержащего 6,67% углерода.

Для составов, расположенных левее точки С, в избытке будет находиться аустенит и структура их после затвердевания будет состоять из первичных кристаллов аустенита и ледебурита. Для сплавов, расположенных правее точки С, в избытке будет находиться цементит, поэтому структура этих сплавов после затвердевания состоит из первичных кристаллов цементита и ледебурита.

Структура сплава, содержащего 4,3% углерода будет состоять из одного ледебурита (эвтектика). По всей длине линии ЕСF образуется ледебурит, поэтому она называется линией эвтектического превращения.

Сплавы, расположенные ниже линии EA, после окончания процесса кристаллизации (область AESG) имеют структуру одного аустенита. Линии GS и ES показывают температуры начала вторичной кристаллизации. Для сплавов, лежащих левее точки S, при понижении температуры (ниже линии GS) из аустенита будут выпадать кристаллы феррита, для сплавов, расположенных правее точки S, при понижении температуры из аустенита будут выпадать кристаллы вторичного цементита.

Состав аустенита при понижении температуры будет все время меняться. Для сплавов, лежащих левее точки S, обогащаться углеродом и изменяться по линии GS; для сплавов, лежащих правее точки S, обедняться углеродом и изменяться по линии SE.

При понижении температуры до 727°C (линия PSK) состав аустенита, для всех сплавов, содержащих углерода более 0,02%, будет соответствовать точке S(0,8% углерода). При этой температуре аустенит будет превращаться в эвтектоидную механичес-

кую смесь, содержащую 0,8% углерода и состоящую из феррита и цементита, которая называется перлитом.

Линия PSK (линия перлитного, или эвтектоидного превращения) показывает температуру образования перлита и температуру конца вторичной кристаллизации сплавов, содержащих углерода более 0,02%.

Сплавы, расположенные левее точки S в избытке будут содержать феррит. Структура таких сплавов ниже температуры эвтектоидного превращения будет состоять из феррита и перлита (от 0,02 до 0,8% углерода). При содержании углерода в сплаве 0,02% (точка P) и ниже структура сплава будет состоять из одного феррита. С увеличением содержания углерода в сплаве количество феррита будет уменьшаться, а количество перлита увеличиваться и структура сплава, содержащего 0,8% углерода (точка S) ниже температуры 727°C будет состоять из одного перлита.

В сплавах, расположенных правее точки S и ниже линии PSK в избытке будет находиться цементит. С увеличением содержания углерода количество цементита будет расти.

Их структура будет состоять: из вторичного цементита и перлита (от 0,8 до 2,14% углерода); перлита, вторичного цементита и ледебурита (от 2,14 до 4,3% углерода); ледебурита (4,3% углерода); первичного цементита и ледебурита (от 4,3 до 6,67% углерода). Вторичный цементит для сплавов, содержащих углерода 4,3% и более, входит в состав ледебурита и не является самостоятельной структурой.

Сплавы железа с углеродом, в которых в результате первичной кристаллизации в равновесных условиях получается аустенитная структура, называют сталями. Следовательно, сталь это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2,14%.

Сплавы с содержанием углерода более 2,14%, в которых в конце кристаллизации образуется эвтектика (ледебурит), называют чугунами. Следовательно, чугун - это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода более 2,14%.

Стали, содержащие углерода менее 0,8%, имеют структуру феррита и перлита и называются доэвтектоидными. Стали, содержащие углерода от 0,8 до 2,14%, имеют структуру феррита и цементита и называются заэвтектоидными.

Сталь, содержащая 0,8% углерода, имеет структуру перлита и называется эвтектоидной.

Чугуны, содержащие от 2,14 до 4,3% углерода, имеют структуру перлита, вторичного цементита и ледебурита и называются

доэвтектическими. Чугуны, содержащие от 4,3 до 6,67% углерода, имеют структуру первичного цементита и ледебурита и называются заэвтектическими. Чугун, содержащий 4,3% углерода, имеет структуру ледебурита и называется эвтектическим.

На рис.17 показана диаграмма состояния системы "Железо-цементит" и кривые охлаждения. Описание процессов, протекающих в сплавах при их охлаждении из жидкого состояния приведено в таблице 4.

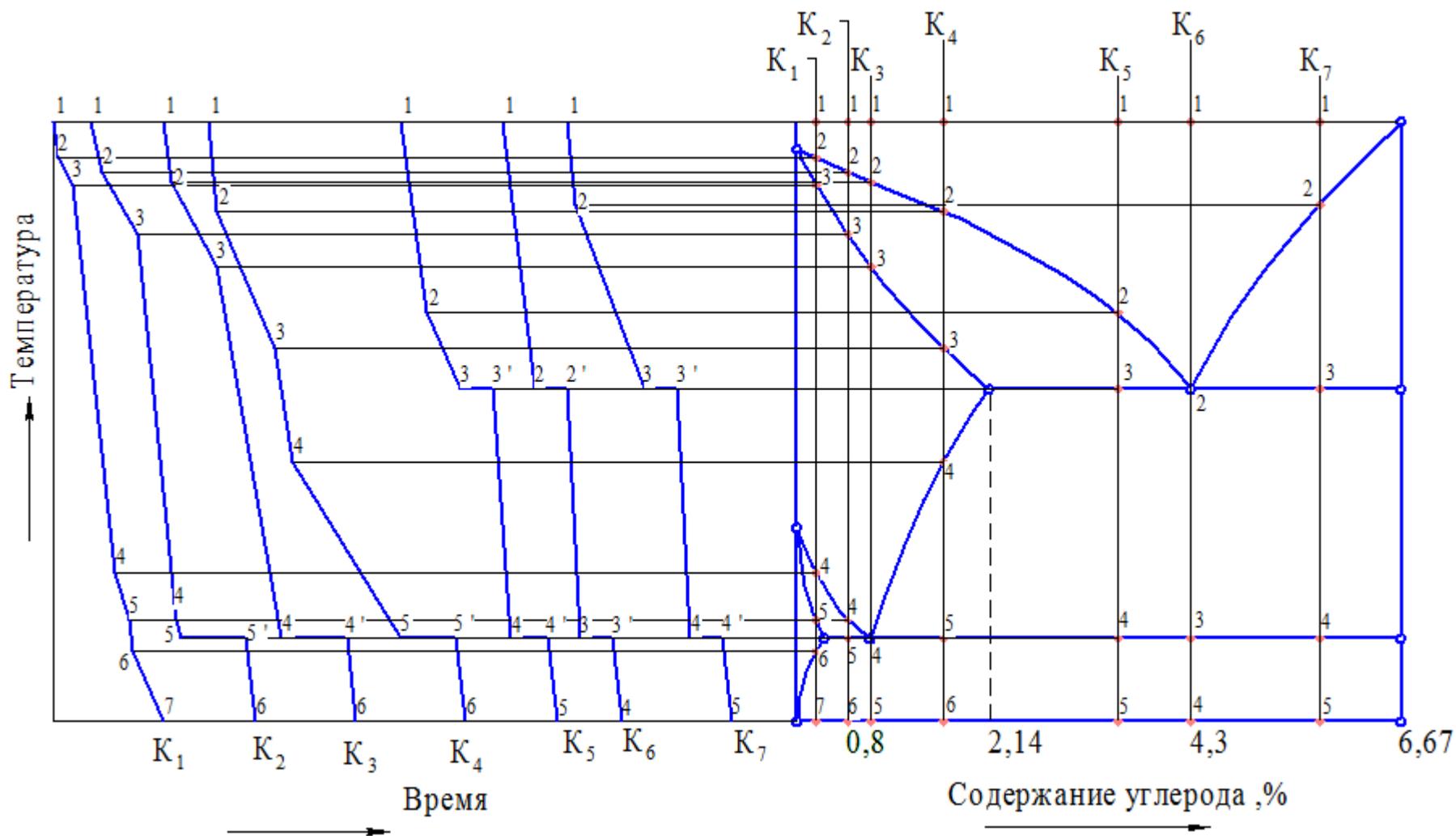
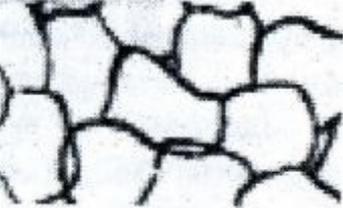


Рисунок 17 – Диаграмма состояния системы "Железо-цементит" и кривые охлаждения

Таблица 4 - Описание процессов, протекающих в сплавах при их охлаждении из жидкого состояния

С плав	Температура превращения при охлаждении	Процессы, происхождения сплава	Конечная микроструктура и схема ее зарисовки
К1 - Менее 0,02% углерода	<p>1...2</p> <p>2...3</p> <p>3...4</p> <p>4...5</p> <p>5...6</p> <p>5...6</p>	<p>Охлаждение жидкого сплава</p> <p>Выделение из жидкого сплава кристаллов аустенита: Ж.Ф.→А</p> <p>Охлаждение аустенита</p> <p>Выделение из аустенита кристаллов феррита: А→Ф</p> <p>Охлаждение феррита</p> <p>Выделение из феррита третичного цементита: Ф→Ц<sub>III</sub></p>	 <p>Феррит и третичный цементит</p> 
К2 - От 0,02% до 0,8 углерода	<p>1...2</p> <p>2...3</p> <p>3...4</p> <p>4...5</p> <p>5...5`</p> <p>5`...6</p>	<p>Охлаждение жидкого сплава</p> <p>Выделение из жидкого сплава кристаллов аустенита: Ж.Ф.→А</p> <p>Охлаждение аустенита</p> <p>Выделение из аустенита кристаллов феррита: А→Ф</p> <p>Эвтектоидное превращение: А→П</p> <p>Выделение из феррита третичного цементита: Ф→Ц<sub>III</sub></p>	 <p>Феррит и цементит</p> 

К3 - 0,8% углерода	<p>1...2</p> <p>2...3</p> <p>3...4</p> <p>4...5</p>	<p>Охлаждение жидкого сплава</p> <p>Выделение из жидкого сплава кристаллов аустенита: Ж.Ф→А</p> <p>Охлаждение аустенита.</p> <p>Эвтектоидное превращение: А→П</p> <p>Выделение из феррита третичного цементита: Ф→Ц<sub>III</sub></p>	 <p><b>Перлит</b></p> 
К4 - от 0,8% до 2,14% углерода	<p>1...2</p> <p>2...3</p> <p>3...4</p> <p>4...5</p> <p>5...5`</p> <p>5`...6</p>	<p>Охлаждение жидкого сплава</p> <p>Выделение из жидкого сплава кристаллов аустенита: Ж.Ф.→А</p> <p>Охлаждение аустенита</p> <p>Выделение из аустенита кристаллов вторичного цементита: А→Ц<sub>II</sub></p> <p>Выделение из феррита третичного цементита: Ф→Ц<sub>II</sub></p>	 <p><b>Перлит и вторичный цементит</b></p> 

<p style="text-align: center;">К5 - (К7) от 2,14% до 4,3% углерода (от 4,3% до 6,67% углерода)</p>	<p style="text-align: center;">1...2</p> <p style="text-align: center;">2...3</p> <p style="text-align: center;">3...3`</p> <p style="text-align: center;">3`...4</p> <p style="text-align: center;">4...4`</p> <p style="text-align: center;">4`...5</p>	<p>Охлаждение жидкого сплава</p> <p>Выделение из жидкого сплава кристаллов аустенита(первичного цементита): Ж.Ф.→А (Ж.Ф. - Ц<sub>I</sub>)</p> <p>Эвтектическое превращение: Ж.Ф.→Л</p> <p>Выделение из аустенита кристаллов вторичного цементита: →Ц<sub>II</sub></p> <p>Эвтектоидное превращение: А→П</p> <p>Выделение из феррита третичного цементита: Ф→Ц<sub>I</sub></p>	 <p><b>Перлит, вторичный цементит и ледебурит</b></p>   <p><b>Первичный цементит и ледебурит</b></p> 
<p style="text-align: center;">К6 - 4,3% углерода</p>	<p style="text-align: center;">1...2</p> <p style="text-align: center;">2...2`</p> <p style="text-align: center;">2`...3</p> <p style="text-align: center;">3...3`</p> <p style="text-align: center;">3`...4</p>	<p>Охлаждение жидкого сплава</p> <p>Эвтектическое превращение: Ж.Ф.→ Л</p> <p>Выделение из аустенита кристаллов вторичного цементита: А→Ц<sub>II</sub></p> <p>Эвтектоидное превращение: А→П.</p> <p>Выделение из феррита третичного цементита: Ф→Ц<sub>III</sub></p>	 <p><b>Ледебурит</b></p> 

## Определение процентного содержания углерода в доэвтектоидной стали

Как видно из диаграммы состояния, доэвтектоидная сталь состоит из феррита и перлита (см. рисунок структуры доэвтектоидной стали в табл.5). Причем феррит под микроскопом виден в виде светлых, сравнительно крупных, зерен, а перлит - темных. Темная окраска зерен перлита объясняется тем, что он представляет собой механическую смесь, сравнительно мелких зерен феррита и цементита. При травлении микрошлифа границы между зернами протравливаются и в целом зерно перлита отражает большую часть лучей света (при просмотре микрошлифа под микроскопом) во все стороны и лишь малая часть их попадает в глаз наблюдателя. Слабо протравившиеся зерна феррита большую часть лучей света отражают в глаз наблюдателя, почему и выглядят светлыми. С достаточной степенью точности, даже неопытным глазом можно определить соотношение между светлым и темным полем. Приняв все видимое поле микроскопа за единицу, определяют (как можно точнее), какая часть его занята темным полем, т.е. перлитом. Так как максимальное количество углерода в феррите в равновесных условиях, т.е. при комнатной температуре не превышает 0,006%, то углеродом, содержащимся в феррите пренебрегают, считая, что весь углерод данной стали находится в перлите. Таким образом, в данной стали углерода столько, сколько в перлите. А так как в перлите углерода 0,8%, то в стали углерода

$$C = S \times 0,8$$

где  $S$  - часть площади шлифа, "занятая" перлитом.

Например, если площадь поверхности микрошлифа, "занятая" перлитом, составляет 0,5 от всей площади, то углерода в стали 0,4% ( $C = 0,5 \times 0,8 = 0,4$ ). Если  $S = 0,8$ , то  $C = 0,8 \times 0,8 = 0,64$ ,  $C = 0,64\%$  и т.д.

Эвтектоидная сталь содержит только перлит, поэтому углерода в ней 0,8%.

В заэвтектоидной стали углерод таким образом не определяют, так как он содержится не только в перлите, но и в цементите, соотношение между которыми определить труднее и точность определения поэтому значительно ниже.

Для более точного определения площади, "занятой" перлитом, иногда пользуются специальным прибором, планиметром.

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить структурные составляющие диаграммы состояния "железо-цементит".
2. Изучить превращения железоуглеродистых сплавов диаграмме состояния "железо-цементит".
3. Определить количество углерода в стали микрошлифа, выданного преподавателем.
4. Научиться построению кривых охлаждения для разных зон диаграммы состояния "железо-цементит", описанию процессов, происходящих в критических точках и в интервале температур между ними.
5. Построить кривую охлаждения для стали, исследуемого микрошлифа (см. п.4).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие аллотропические модификации имеет чистое железо?
2. Что такое феррит и какое количество углерода он может растворять при температурах  $727$  и  $0^{\circ}\text{C}$ ?
3. Что такое аустенит и какое количество углерода он может растворять при температурах  $1147$  и  $727^{\circ}\text{C}$ ?
4. Что такое перлит и какое количество углерода он содержит?
5. Что такое ледебурит и какое количество углерода он содержит?
6. Что отличает ледебурит при температурах выше и ниже  $727^{\circ}\text{C}$ ?
7. Какую структуру имеют доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали при комнатной температуре?
8. Какую структуру имеют доэвтектические, эвтектические и заэвтектические белые чугуны при комнатной температуре?
9. Как определяется химический состав жидкой и твердой фазы сплава при заданной температуре?
10. Почему линия PSK диаграммы состояния "железо-цементит" называется линией эвтектоидного превращения?
11. Почему линия ECF диаграммы состояния "железо-цементит" называется линией эвтектического превращения?
12. Что происходит на линиях GS, и SE диаграммы состояния?
13. Как определяется содержание углерода а доэвтектоидной стали?
14. Как при наличии диаграммы состояния "железо-цементит" построить кривую охлаждения для заданного сплава?

## Лабораторная работа №6

### ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И ИХ МИКРОСТРУКТУРА ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ

#### **Цель работы:**

Изучение и освоение основных операций термической обработки стали. Изучение микроструктуры стали после термообработки.

#### **Оборудование и материалы:**

Образцы, подлежащие закалке (выдает преподаватель), набор материалов, необходимых для изготовления микрошлифов, металлографический микроскоп, муфельная печь, закалочные среды, клещи, прибор Роквелла.

#### **Основные положения:**

Термообработкой металлов называется совокупность операций, связанных с нагревом, выдержкой и последующим охлаждением, с целью изменения структуры и создания необходимых свойств (твердости, прочности, износостойкости, хорошей обрабатываемости резанием и т.д.).

В развитии термической обработки большую роль сыграли работы русского ученого-металлурга Д.К.Чернова, положившего начало изучению превращений, происходящих в металле при переходе структуры через критические точки.

К основным операциям термической обработки стали относятся: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг стали. Отжигом называется процесс термической обработки, при котором сталь нагревают до определенной температуры, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают, как правило, вместе с печью. Отжиг применяют для снятия внутренних напряжений, повышения пластичности, улучшения обрабатываемости режущим инструментом, снижения твердости и других целей. В зависимости от температуры нагрева и назначения различают следующие основные виды отжига (рис.18): полный, неполный (на зернистый перлит), диффузионный (гомогенизация), рекристаллизационный.

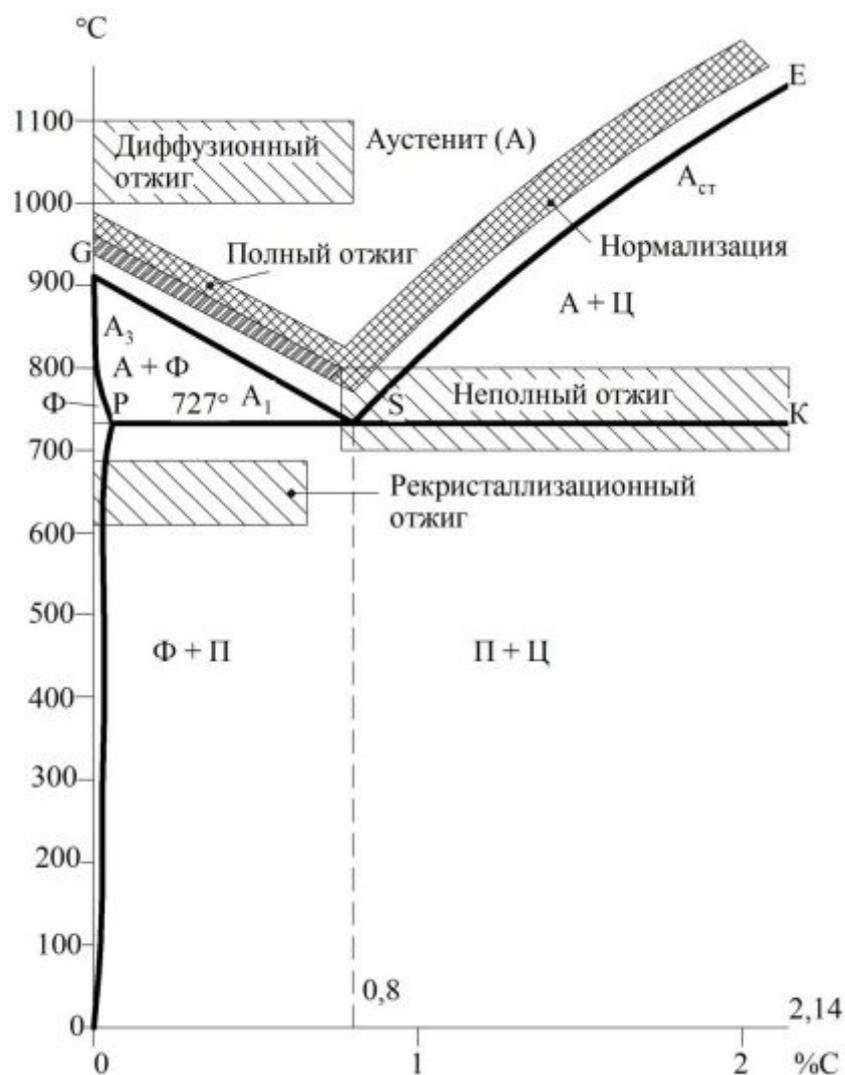


Рисунок 18 – Основные операции термической обработки стали

Полный отжиг. Этому виду отжига подвергают доэвтектоидную сталь (например, после литья иликовки) с целью создания мелкозернистой структуры, понижения твердости, повышения пластичности, снятия внутренних напряжений. Сталь нагревают до температуры на 20... 30°C выше критической точки  $A_{c3}$ , т.е. на 20... 30°C выше линии GS. При этом крупная ферритно-перлитная структура превращается в мелкозернистую структуру аустенита. При последующем медленном охлаждении (обычно со скоростью в среднем 100° С в час до 500° С и далее на воздухе) из мелкозернистого аустенита образуется мелкозернистая ферритно-перлитная структура. Заэвтектоидную сталь полному отжигу не подвергают во избежание получения цементитной сетки по границам зерен перлита, что снижает механические свойства стали.

Неполный отжиг (на зернистый перлит). Этому виду отжига подвергают эвтектоидную и заэвтектоидную сталь с целью устранения пластинчатого перлита и цементитной сетки, получения

структуры зернистого перлита. Заэвтектоидную сталь нагревают до температуры между линиями SE и PSK (740...760°C). При этом происходит превращение в аустенит только перлита, а цементит остается. При последующем медленном охлаждении из аустенита образуется ферритно-цементитная структура с зернистой формой цементита - зернистый перлит. Для обеспечения образования зернистого перлита нагрев и охлаждение повторяют несколько раз. Такой вид отжига называют маятниковым или циклическим.

Диффузионный отжиг (гомогенизация). Этот вид отжига характеризуется нагревом стали до температуры на 180...300° С выше критической точки  $A_{c3}$  с последующим медленным охлаждением. Такой отжиг применяется главным образом для легированной стали для выравнивания химической неоднородности зерен твердого раствора, т.е. уменьшения микроликвации в отливках. Практически слитки нагревают до 1100...1150° С (при этом межатомные связи ослабевают), выдерживая 12...15 часов, и затем медленно охлаждают до 200° С. Весь процесс длится 60...100 часов.

Рекристаллизационный отжиг (называется еще и разупрочняющим). Применяют его для восстановления пластичности и устранения наклепа деформированного в холодном состоянии металла. Обычно рекристаллизационный отжиг для чистых металлов производят при температуре  $T_{рек}=0,4 \times T_{плав}$  (здесь температуры абсолютные).

Нормализация стали. Нормализацией называется процесс термической обработки, заключающийся в нагреве до температуры выше  $A_{c3}$ , для доэвтектоидной стали или  $A_{cm}$  для заэвтектоидной стали с последующим охлаждением на воздухе. Нормализацией устраняют внутренние напряжения и наклеп, повышают механические свойства и подготавливают структуру стали для окончательной термической обработки. Нормализация по сравнению с отжигом более экономичная операция.

Закалка стали. Закалкой называется процесс термической обработки, заключающийся в нагреве стали до температуры несколько выше критической и последующем быстром охлаждении (в воде или масле) с целью получения неравно весной структуры. В результате закалки повышается прочность и твердость стали, а следовательно, износостойкость. Качество стали зависит от температуры и скорости нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения.

Доэвтектоидные стали при закалке нагревают до температуры на 30...50° С выше верхней критической точки  $A_{c3}$ , т.е. выше линий

GS диаграммы "железо-цементит". При этом исходная ферритно-перлитная структура превращается в аустенит, а после охлаждения стали со скоростью больше критической образуется структура мартенсита. Мартенсит является основной структурой закаленной стали. В большинстве случаев в стали стремятся получить эту структуру, так как твердость мартенсита очень высокая HRC 60...65 (HB 600 кг/мм<sup>2</sup>). Мартенсит получается при большой средней скорости охлаждения (в воде), примерно, 150...180° С в секунду.

### **Образование мартенсита**

При резком переохлаждении углерод не успевает выделиться из твердого раствора (аустенита) с образованием частичек цементита, как это имеет место при образовании перлита (а также сорбита и троостита). Что касается кристаллической решетки, то она (такова природа железа) из решетки  $\gamma$ - перестраивается в решетку  $\alpha$ -железа. Углерод же не успевает выделиться из решетки и остается внутри, сильно ее искажая. Одна из сторон решетки куба увеличивается- решетка становится *тетрагональной*. Искажение тем выше, чем больше углерода в стали. Следовательно, мартенсит является пересыщенным твердым раствором углерода в  $\alpha$ -железе. Мартенсит имеет характерное игольчатое строение. Размер игл зависит от размера зерен аустенита. Чем мельче зерно аустенита, тем мельче иглы мартенсита. При наличии очень мелких игл, неразличимых под микроскопом при обычных условиях (500. 600<sup>x</sup>) мартенсит называется бесструктурным или скрытокристаллическим. Такая структура характерна для правильно закаленной стали.

Заэвтектоидную сталь подвергают неполной закалке, т.е. нагревают до температуры на 30...50С выше нижней критической точки  $A_{c1}$ , т.е. выше линии PSK диаграммы железо-цементит. Так как эта линия горизонтальная, то можно указать интервал температуры нагрева для закалки - 760...790°С. При таком нагреве часть исходной структуры (перлит) будет превращаться в аустенит, а другая часть (цементит) останется без превращений, а это и на нужно, так как цементит сам по себе весьма тверд, и только повышает твердость закаливаемой стали. При охлаждении, аустенит превратится в мартенсит, а цементит останется без изменений и структура закаленной, стали будет состоять из мартенсита и цементита. Как мы видим, для заэвтектоидной стали неполная закалка вполне достаточна. Более того, если мы для нее станем проводить полную закалку, мы можем испортить дело. Если мы всю структуру стали переведем в аустенит при нагреве, то при резком охлаждении весь



Отпуск закаленной стали. Отпуску подвергают только закаленную сталь. С помощью этой операции либо снимают внутренние напряжения у стали, закаленной на мартенсит, либо превращают мартенсит в менее твердые, а следовательно, менее хрупкие структуры троостита или сорбита. Отпуском называется процесс термической обработки, заключающийся в нагреве закаленной стали до температур не выше  $A_{c1}$  (т.е. не выше  $727^{\circ}C$ ), обуславливающий превращение неравновесной структуры закаленной стали в более равновесную. В зависимости от температуры нагрева отпуск разделяется на низкий, средний и высокий.

Низкий отпуск. Он заключается в нагреве стали до температуры  $150...250^{\circ}C$  и охлаждения с целью получения *мартенсита отпуска* и частичного снятия внутренних напряжений. Твердость при этом практически не меняется.

Средний отпуск. Он заключается в нагреве стали до температуры  $250...500^{\circ}C$  и охлаждении с целью получения структуры *троостита отпуска*.

Высокий отпуск заключается в нагреве стали до температуры  $500...680^{\circ}C$  и охлаждении с целью получения структуры *сорбита отпуска*.

Низкий отпуск обычно проводится в масляных ваннах, для высокого отпуска используются электропечи.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Получить у преподавателя (лаборанта) образец, подлежащий термической обработке (образец, исследовавшийся на предыдущих лабораторных работах).

2. По диаграмме состояния "железо-цементит" определить диапазон температур для закалки данной стали.

3. Довести температуру печи до необходимой величины.

4. Установить образец в печь и дать необходимую выдержку.

5. Произвести закалку образца.

6. Изготовить микрошлиф закаленного образца, протравить и подготовить к просмотру под микроскопом.

7. Установить образец на микроскоп, определить образовавшуюся структуру.

8. Определить твердость образца по Роквеллу.

9. Зарисовать структуру и дать подробное ее описание.

10. Заполнить протокол проведенной работы (форма дана ниже).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие существуют виды термической обработки и их назначение?
2. Почему для доэвтектоидной стали делают полную закалку, а для заэвтектоидной - неполную?
3. Какие факторы влияют на получение той или иной структуры при закалке?
4. Что такое мартенсит?
5. Как выглядит мартенсит под микроскопом?
6. Что такое сорбит и троостит? Почему эти структуры называются перлитоподобными?
7. В чем заключается принципиальное отличие мартенситной структуры от структуры сорбита и троостита?
8. В чем состоит различие между отжигом и нормализацией?
9. Для какой цели делается отпуск? Какие стали подвергаются отпуску?
10. Какие превращения происходят в стали при разных видах отпуска?

### **Лабораторная работа №7**

#### **ИЗУЧЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ (ЦЕМЕНТАЦИЯ В ТВЕРДОМ КАРБЮРИЗАТОРЕ)**

##### **Цель работы:**

Изучить способ проведения цементации малоуглеродистых сталей в твердом карбюризаторе.

##### **Задание:**

Выбрать режим цементации (температуру и время выдержки). Произвести цементацию. Исследовать под микроскопом микроструктуру и измерить твердость исследуемого образца до и после цементации.

##### **Оборудование и материалы:**

Образцы для цементации, металлический ящик 50×60×60 мм с крышкой, огнеупорная глина, карбюризатор (75% древесного угля; 20% углекислого бария ( $\text{BaCO}_3$ ); 5% углекислого кальция ( $\text{CaCO}_3$ )), муфельная печь, прибор Роквелла, набор материалов для

изготовления микрошлифов, травитель для стали, микроскоп металлографический.

### **Основные положения:**

Поверхностное упрочнение стальных деталей сводится к увеличению твердости их поверхностных слоев. С увеличением твердости повышается сопротивление истиранию, увеличивается предел выносливости и деталь тем самым предохраняется от преждевременного разрушения.

Существует три метода повышения поверхностной прочности: поверхностная-закалка (в основном токами высокой частоты); поверхностный наклеп; химико-термическая обработка.

Одним из наиболее распространенных методов повышения поверхностной твердости является метод химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхностного слоя каким-либо элементом (или элементами) с целью изменения химического состава, микроструктуры, свойств стальных деталей.

Обязательная последующая термическая обработка (закалка и низкий отпуск) обеспечивает высокую твердость, износостойкость при сохранении пластичности сердцевины детали.

Основные параметры химико-термической обработки - температура нагрева и продолжительность выдержки. Основные процессы химико-термической обработки: диссоциация – абсорбция -диффузия.

*Диссоциация* - получение насыщающего элемента в более активном, атомарном состоянии.

*Абсорбция* - захват поверхностью детали атомов насыщающего элемента.

*Диффузия*-перемещение этого элемента в глубь изделия.

Для абсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент с основным металлом образовывал либо твердый раствор, либо химическое соединение (но не механическую смесь).

В зависимости от насыщающего элемента существует ряд разновидностей химико-термической обработки: цементация, азотирование, нитроцементация и диффузионная металлизация.

*Цементация* - заключается в диффузионном насыщении поверхности стальных изделий углеродом. Цементация бывает: твердофазная (в смеси порошка древесного угля с углекислыми солями), жидкофазная (в расплавленных углеродосодержащих солях) и газовая (в смеси газов, содержащих метан и окись углерода).

Твердофазная цементация является распространенным методом насыщения углеродом металлических изделий. Для проведения

указанной цементации деталь упаковывают в ящик (рис.21), содержащий карбюризатор, а затем помещают в печь для нагрева. Температура цементации колеблется в интервале 880...1000° С. Время выдержки при твердофазной цементации выбирается в зависимости от необходимой глубины насетения детали углеродом и составляет при температуре 900... 930 °С, примерно, 0,12 мм/ч.

Процесс насыщения заключается в следующем: при нагреве  $BaCO_3$  разлагается на окись бария и углекислый газ



Углекислый газ, являясь окислителем, вступает в реакцию с древесным углем и образует угарный газ



Эта реакция при температуре цементации легко обратима

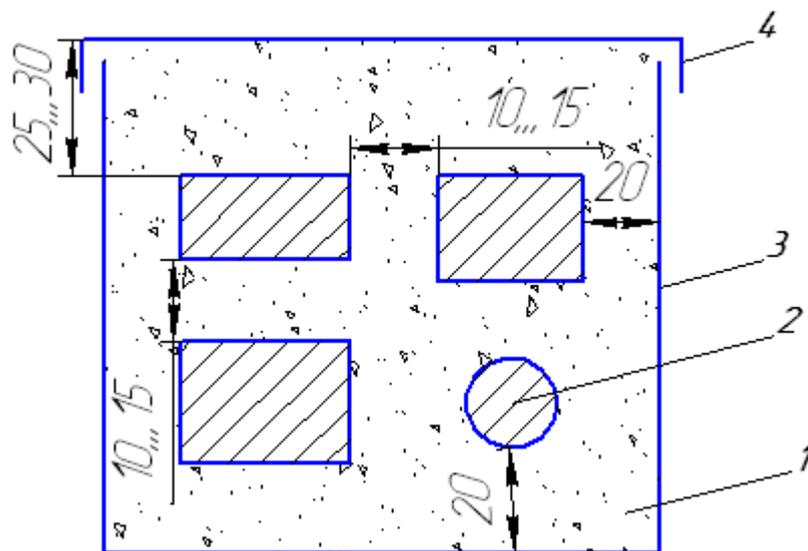
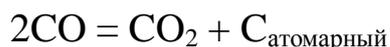


Рисунок 21 – Схема проведения цементации детали

Атомарный углерод диффундирует в сталь и растворяется в аустените. В результате цементации количество углерода в поверхностном слое увеличивается. Сечение цементованного изделия будет составлять набор структур, соответствующий диаграмме состояния железо-цементит. После цементации на поверхности образуется зона перлита и цементита (заэвтектоидная сталь) с содержанием углерода до 1%. Концентрация углерода не постоянна и

убывает к центру сечения. Поэтому далее по глубине располагается перлит (эвтектоидная сталь) с содержанием углерода 0,8% и далее феррит: и перлит (доэвтектоидная сталь). Максимально возможная концентрация углерода в цементованном слое должна соответствовать пределу растворимости углерода в аустените при температуре процесса цементации (определяется по диаграмме состояния железо-цементит). Для получения высоких механических характеристик изделие после цементации подвергают закалке. Закалку изделия осуществляют либо сразу после цементации, либо после повторного нагрева. В результате закалки поверхностная структура состоит из игольчатого мартенсита и небольшого количества цементита. Образование мартенсита на поверхности приводит к получению высокой твердости и износостойкости. Структура сердцевины после закалки получается различной в зависимости от цементуемой стали. В углеродистых сталях сохраняется ферритно-перлитная смесь.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Замерить твердость образца.
2. Составить твердый карбюризатор, для этого хорошо размешать древесный уголь (80% или 25г), барий углекислый (15% или 5г) и камбий углекислый (5% или 1,5г).
3. Засыпать карбюризатор 1 и установить образец 2; как указано на (рис. 38), в металлический ящик 3; стык между ящиком и крышкой 4; обмазать огнеупорной глиной.
4. Вставить подготовленный ящик в печь, нагреть до температуры 1000°C и выдержать при этой температуре 60 минут. Охлаждать на воздухе.
5. Замерить твердость образца.
6. Приготовить микрошлиф, протравить его.
7. Определить глубину науглероживаний.
8. Зарисовать структура микрошлифа.

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Какие существуют методы поверхностного упрочнения?
2. Что относится к основным параметрам химико-термической обработки?
3. Какие процессы имеют место при химико-термической обработке?
4. Что такое цементация?
5. Какие стали подвергаются химико-термической обработке?

6. Как зависит глубина цементации от температуры и времени выдержки?

7. Как изменяются механические свойства стали в зависимости от содержания углерода?

8. Каков порядок осуществления процесса цементации?

## Лабораторная работа №8

### МАРКИРОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

#### **Цель работы:**

Изучение классификации конструкционных материалов, определение их марок и области применения.

#### **Основные положения:**

#### **Конструкционные материалы**

##### *Углеродистые стали.*

Углеродистые конструкционные стали по качеству (в зависимости от содержания вредных примесей) подразделяют на две группы: обыкновенного качества и качественные.

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества (содержащие повышенное количество вредных примесей и др. ) применяются для металлических конструкций и неответственных деталей машин, поставляются по ГОСТ 380-71. В зависимости от способа раскисления могут быть спокойными (сп), полуспокойными (пс) и кипящими (кп). Допускается в спокойных сталях буквы (сп) не писать. Цифра (0-6) обозначает номер стали и не соответствует содержанию углерода, но с увеличением номера содержание углерода и прочностные характеристики растут. Примеры маркировки: Ст3 - спокойная углеродистая сталь обыкновенного качества (0,14-0,22% С) Ст3кп - кипящая углеродистая сталь обыкновенного качества.

Качественные углеродистые конструкционные стали применяются для металлических конструкций и более ответственных деталей машин, поставляются по ГОСТ 1050-74. Цифры (05-65) обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Стали с содержанием углерода до 0,25% могут поставляться спокойными (сп), полуспокойными (пс) и кипящими (кп). Стали с содержанием углерода больше 0,25% поставляются только

спокойными. Буква "Г" обозначает, что сталь имеет повышенное содержание марганца (до 1,2%). Буква Л в конце марки обозначает, что сталь в литом состоянии.

*Примеры маркировки:*

Сталь 15кп - углеродистая конструкционная качественная сталь с содержанием 0,15% углерода, кипящая;

Сталь 30Л - углеродистая конструкционная качественная сталь с содержанием углерода 0,30%, спокойная, применяется для деталей получаемых методом литья;

Сталь 30Г - углеродистая конструкционная качественная сталь с содержанием углерода 0,30%, спокойная, содержащая повышенное количество марганца.

### *Легированные стали.*

Конструкционные легированные стали обладают высокой конструктивной прочностью. Легирование позволяет повысить уровень механических свойств и глубину прокаливаемости. Применяются конструкционные легированные стали для ответственных деталей машин и металлических конструкций, поставляются по ГОСТ 1050-74.

Принята буквенно-цифровая система маркировки легированных сталей. Основные легирующие элементы обозначают буквами: А (в середине марки) – азот; Б – ниобий; В – вольфрам; Г – марганец; К – кобальт; М – молибден; Н – никель; Р – бор; С – кремний; Т – титан; Ц – цирконий; Ф – ванадий; Х – хром; Ю – алюминий.

Буква "А" в конце марки указывает, что сталь относится к категории высококачественных (ЗОХГСА), если та же буква в середине марки - то сталь легирована азотом (16Г2АФ), а в начале марки буква "А" указывает на то, что сталь автоматная повышенной обрабатываемости резанием (А35Г2). Индекс "АС" в начале марки указывает, что сталь автоматная со свинцом. Цифры после буквы в обозначении марки стали показывают примерное количество элемента (в процентах), округленное до целого числа. При среднем содержании легирующего элемента менее 1,5 % цифру за буквенным индексом не приводят. Содержание углерода указывается в начале марки в сотых долях процента. Если в начале марки цифр нет, то содержание углерода около 1%.

*Примеры маркировки:*

45ХН2МФ - конструкционная сталь, содержащая:

0,42-0,50%С; 0,5-0,8% Мn; 0,8-1,0 % Cr; 1,3-1,8 % Ni; 0,2-0,3 % Мо; и 0,10-0,18 % V.

Г13 - конструкционная сталь, содержащая: 1% С, 13% Мп.

### *Шарикоподшипниковые стали*

Шарикоподшипниковые стали применяются для деталей шарикоподшипников (шариков, роликов, колец). Обозначаются буквой Ш - шарикоподшипниковая, Х - хромистая и цифрой, указывающей содержание хрома в десятых долях процента. Содержание углерода в подшипниковых сталях составляет около 1%. С увеличением содержания хрома и легирующих элементов увеличивается глубина прокаливаемости, т.е. увеличивается возможность изготовления из них деталей большего размера. Поставляется по ГОСТ 801-78.

Примеры маркировки:

ШХ6 - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1% углерода и 0,6% хрома;

ШХ15СГ - шарикоподшипниковая сталь; содержащая 1% углерода, 1,5% хрома, кремния и марганца до 1%.

## **Инструментальные материалы**

### *Углеродистые стали*

Углеродистые инструментальные стали применяются для различных инструментов, но имеют недостаточно высокую температуру красностойкости (200°С). Обозначаются буквой У (углеродистая) и числом, обозначающим содержание углерода в десятых долях процента. Буква А в конце марки обозначает, что сталь высококачественная, т.е. имеет очень низкое содержание вредных примесей (S и P). Если в конце марки буквы не стоит, то сталь качественная. Углеродистая инструментальная сталь изготавливается по ГОСТ 1435-74.

Примеры маркировки:

У8 - качественная углеродистая инструментальная сталь с содержанием углерода 0,8%;

У12А - высококачественная углеродистая инструментальная сталь с содержанием углерода 1,2%.

### *Углеродистые легированные стали*

Легирование углеродистых сталей позволяет повысить прокаливаемость. Поставляются эти стали по ГОСТ 5980-73. Первое число показывает содержание углерода в десятых долях процента. Буквы и цифры за ними обозначают легирующие элементы, так же,

как в легированных конструкционных сталях.

Примеры маркировки:

7ХФ - углеродистая легированная инструментальная сталь с содержанием 0,7% углерода и менее 1% хрома и ванадия.

### *Быстрорежущие стали*

Применение быстрорежущих сталей для режущего инструмента позволяет повысить скорость резания в несколько раз, а стойкость инструмента - в десятки раз. Главной отличительной особенностью быстрорежущих сталей является их высокая красностойкость (600-700°C) при наличии высокой твердости (63-70 HRC) и износостойкости инструмента. Поставляются быстрорежущие стали по ГОСТ 19265-73. В марках быстрорежущих сталей вначале приводят букву "Р", за ней следует цифра указывающая содержание вольфрама. Во всех быстрорежущих сталях содержится около 4% Cr, но в обозначении марки буквы "Х" нет. Ванадий обозначается в марке стали, если его содержание более 2,0%. Содержание углерода в маркировке не указывается. Обычно его содержится 0,7-1,2%.

*Примеры маркировки:*

P18 - быстрорежущая сталь состава: 0,7-0,8% C; 3,8-4,4% Cr; 17,0 - 18,5% W; 1,0 - 1,4% V;

P6M5Ф3 - быстрорежущая сталь состава: 0,95-1,05% C; 3,8-4,4% Cr; 5,5-6% W; 4,6-5,2% Mo; 1,8-2,4% V.

### *Твердые сплавы*

Твердые сплавы для режущего инструмента, получаемые методом порошковой металлургии, состоят из твердых карбидов W, Ti, Ta и вязкой связки Co. Чем выше содержание Co в сплаве, тем выше ударная вязкость, но ниже твердость. Температура красностойкости таких сплавов до 1000-1050°C.

*Примеры маркировки:*

ВК2 - вольфрамокобальтовый твердый сплав, содержащий 2% Co и 98% W;

T5K10 - вольфрамотитанокобальтовый твердый сплав, содержащий 10% Co, 5% TiC и 95% WC;

ТТ10К8 - вольфрамотитанотанталокобальтовый твердый сплав, содержащий 8% Co, 10% TiC + TaC, 82% WC.

Хорошо зарекомендовали себя новые твердые сплавы, не содержащие дефицитного вольфрама. В этих сплавах используют TiC и связку из Ni и Mo.

*Примеры маркировки:*

КТС-1 - содержат 17-15% Ni; 9-7% Mo , остальное TiC (карбид титана);

ТН-20 - содержит 20% Ni , 5-10% Mo , остальное TiC (титано-никелевый) .

### **Магнитотвердые и магнитомягкие стали**

В зависимости от назначения различают магнитотвердые и магнитомягкие материалы. Магнитотвердые стали применяют для изготовления постоянных магнитов. Магнитомягкие стали используются для работы в переменных электромагнитных полях. Для листовых электротехнических сталей принята следующая маркировка: после первой буквы Э следуют две (или больше) цифры. Первая цифра за буквой Э показывает содержание кремния, вторая характеризует уровень электротехнических свойств (чем цифра выше, тем выше эти свойства) .

*Примеры маркировки:*

ЕХЗ - магнитотвердая сталь для постоянных магнитов (1% С, 3% Сг ), чем выше %Сг , тем больше прокаливаемость;

Э1, Э2 - магнитомягкие динамные стали;

ЭЗ, Э4 - трансформаторные стали;

ЭИ - горячекатаная магнитомягкая сталь с содержанием Si 1%, уровень электротехнических свойств - I.

### **Литейные чугуны**

Чугуны в отличие от стали имеют более высокое содержание углерода, обладают низкой способностью к пластической деформации и высокими литейными свойствами, поэтому используются для отливок. Чугун маркируется буквами и цифрами, характеризующими величину временного сопротивления при испытаниях на растяжение. Поставляются чугуны - серый по ГОСТ 1412-85, высокопрочный - ГОСТ 7293-85, ковкий по ГОСТ 1215-79.

*Примеры маркировки:*

СЧ10 - серый чугун с пластинчатым графитом, временное сопротивление при испытаниях на растяжение 100 МПа;

ВЧ35 - высокопрочный чугун с шаровидным графитом, временное сопротивление растяжению 350 МПа;

КЧ33-8 - ковкий чугун с хлопьевидным графитом, временное сопротивление растяжению 330 МПа, относительное удлинение 8%

## Сплавы цветных металлов

### *Сплавы меди*

#### *Латуни*

Двойные или многокомпонентные сплавы меди, где основным легирующим элементом является цинк, называются *латунями*. Латунь - сплав меди с цинком. Медные сплавы обозначают начальной буквой сплава Л - латунь, после чего следуют первые буквы основных элементов, образующих сплав: А – алюминий; О – олово; Б – бериллий; Ж - железо; К – кремний; Мц – марганец; Н – никель; С – свинец; Ф – фосфор; Х – хром.

После букв следуют цифры, указывающие содержание легирующих элементов в целых процентах. В латунях не указывается содержание цинка (цинк-остальное).

#### *Примеры маркировки:*

Л62 - латунь содержащая меди 62%, остальное - цинк;

ЛЖМц59-1-1 - латунь, содержащая 59% Cu, 1% Fe , 1% Mn, остальное цинк.

#### *Бронзы*

*Бронзы* - сплавы меди с другими элементами (алюминием, свинцом, бериллием, кремнием и т.д.). Элементы обозначаются такими же буквами, как в латуни. Бронзы маркируют буквами Бр, цифры за буквами указывают содержание легирующих элементов. В бронзах не указывается содержание меди. Основные свойства бронз - высокая коррозионная стойкость, хорошие литейные и износостойкие свойства. Поставляются бронзы по ГОСТ 5017-74, ГОСТ 613-79, ГОСТ 1320-74.

#### *Примеры маркировки:*

БрБ2 - бериллиевая бронза содержащая 2% бериллия остальное - медь;

БрА9Ж4Л - алюминиевожелезистая бронза, содержащая 9% Al, 4% Fe, остальное - медь.

Некоторые бронзы имеют специальные названия:

БрН20 - мельхиор (20% Ni , 80% Cu),

БрН40 - константан (40% Ni , 60% Cu).

### *Сплавы алюминия*

Сплавы на основе алюминия широко применяются в качестве конструкционных материалов. Сплавы на основе алюминия бывают деформируемыми и литейными. Основной легирующий элемент литейных сплавов - кремний (Si) и называются они силуминами.

Деформируемые сплавы бывают ковкими - обозначаются (АК) и обработанные прокаткой или волочением дуралюмины (Д). В маркировке сплава после букв следует условный номер сплава. Поставляются алюминиевые сплавы по ГОСТ 4784-74 и ГОСТ 2685-75.

*Примеры маркировки:*

АЛ-2 - литейный алюминиевый сплав силумин;

Д16 - деформируемый алюминиевый сплав дуралюмин;

АК5 - деформируемый алюминиевый сплав дляковки (алюминий ковочный).

### *Сплавы титана*

Сплавы титана широко используются в авиационной технике, в судостроении и транспортном машиностроении - где нужна высокая прочность и сопротивляемость коррозии, малая масса. Поставляются по ГОСТ 19807-74. Титановые сплавы имеют условную маркировку: Т3, Т4, ВТ5, ВТ16.

### *Антифрикционные сплавы*

Антифрикционные сплавы используются для подшипников скольжения.

Специальные подшипниковые сплавы - баббиты имеют минимальный коэффициент трения со сталью, хорошо прирабатываются к валу и легко удерживают смазку, благодаря вязкой основе они легко поглощают посторонние твердые частицы, не образуя задиров вала. Поставляют баббиты по ГОСТ 1320-74.

*Примеры маркировки:*

Б88 - сплав баббит (7%Sb , 3% Cu, 1%Cd[, 0,25%Ni - остальное Sn).

### *Припой*

Различают припои двух видов - мягкие и твердые. Мягкие припои с низкой температурой плавления, обеспечивающие лишь герметичность спая, спаянную деталь не следует подвергать механическим нагрузкам. Твердые припои имеют высокую температуру плавления, спай обладает высокими механическими свойствами.

*Примеры маркировки:*

ПОС - 61 - припой оловянно-свинцовый, 61% Sn - третник;

ПОС-40 - припой оловянно-свжний с 40% Sn.

## Порошковые конструкционные материалы

Порошковые конструкционные материалы (получаемые методом прессования из порошков) в зависимости от состава обладают рядом специальных свойств - высокой износостойкостью, твердостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью, специфическими магнитными и электрическими характеристиками. Для обозначения порошковых материалов принята буквенно-цифровая маркировка. В материалах на основе порошков железа приняты следующие обозначения: Гр – графит; Д – медь; Ж – железо;

М – молибден; Н – никель; О – олово. Цифры после букв обозначают долю этого элемента в целых %\_ а цифра в конце марки после тире - плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

*Примеры маркировки:*

ЖГрО,4Д4НЗ-7,3 - конструкционный порошковый материал на основе порошка железа (Ж), содержащий 0,4% графита, 4% меди, 3% никеля и имеющий плотность 7,3 г/см<sup>3</sup>.

В марках порошковых конструкционных материалов из углеродистых и легированных сталей первая буква определяет класс материалов: "С" - сталь, вторая буква "П" указывает, что материал получен методом порошковой металлургии. Первая цифра после букв "СП", как и в случае конструкционных с талей, показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента. Последующие буквы обозначают легирующие элементы, а цифры после них - их среднее содержание в целых процентах. В конце марки через тире указывается группа плотности материала (1-4).

*Примеры маркировки:*

СП50ХНМ-3 - порошковый конструкционный материал из стали 50ХНМ третьей группы плотности.

Порошковые конструкционные материалы на основе цветных металлов изготавливают из порошков алюминия, меди, никеля, титана, хрома или сплавов, например, латуни, бронзы и т.п. Марки порошковых конструкционных материалов на основе цветных металлов обозначают буквами и цифрами.

Первый буквенный индекс обозначает тип материалов: Ал - алюминий, Бе - бериллий, Бр - бронза, Л - латунь, В - вольфрам, Г - марганец, Д - медь, Ж - железо, М - молибден, Мг-магний, Н - никель, О - олово, С - кремний, Св - свинец, Ср - серебро, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цинк, Цр - цирконий. Второй индекс "П" указывает, что материал получен методом порошковой металлургии. Следующие после него буквы и цифры обозначают легирующие

элементы в целых процентах. Цифра в конце марки после тире как и для черных металлов, обозначает группу пористости материала.

*Примеры маркировки:*

АлПМг6Г4-4 - конструкционный материал из порошка алюминия с содержанием магния 6%, марганца 4%, имеющий четвертую группу пористости;

БрПО-4 - конструкционный материал из порошка бронзы, содержащий олова 4%, меди 96%, имеющий четвертую группу пористости;

ЛП80-4 - конструкционный материал из порошка латуни, содержащий меди 80%, цинка 20%, имеющий четвертую группу пористости;

ТПАл6М2-4 - конструкционный материал из порошка титана, содержащий алюминия 6%, молибдена 2%, титана 92%, имеющий четвертую группу пористости.

### **Электроды для ручной дуговой сварки**

Условное обозначение электродов для сварки конструкционных сталей состоит из обозначения марки электрода, его типа, диаметра стержня, типа покрытия и номера ГОСТа.

*Примеры маркировки:*

Э46А - УОНИИ-13/45 - 3,0-УД2 ГОСТ 9466-75

Э - электрод для ручной дуговой сварки;

46 - гарантируемое временное сопротивление растяжению металла шва  $\sigma_{св} = 460$  МПа (46 кгс/мм<sup>2</sup>);

А - гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва;

УОНИИ-13/45 - марка электрода;

3,0 - диаметр, мм;

У - электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Д2 - с толстым покрытием второй группы;

Е432 (5) - группа индексов по ГОСТ 9467-75 указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва;

Б - основное покрытие;

1 - для сварки во всех пространственных положениях;

О - на постоянном токе обратной полярности.

Более подробно марки электродов и составы покрытий указаны в литературе: Справочник сварщика под редакцией В.В. Степанова, М. "Машиностроение". 1983.

## **Вопросы для самопроверки:**

1. Что такое конструкционные материалы?
2. Углеродистые и легированные конструкционные материалы.
3. Дать определение инструментальным материалам.
4. Углеродистые и легированные инструментальные материалы.
5. Магнитотвердые и магнитомягкие стали.
6. Литейные чугуны.
7. Сплавы цветных металлов.
8. Латунни.
9. Бронзы.
10. Порошковые конструкционные материалы
11. Общая маркировка электродов для ручной дуговой сварки.