

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к лабораторным работам по дисциплине **«Металлография»**  
для направления подготовки  
**22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**  
(уровень бакалавриата)

Составитель:  
Л.В.Картонова

Владимир – 2016 г.

УДК 620.18

Рецензент:

Директор института машиностроения и автомобильного транспорта,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Технология машиностроения»

*А.И. Елкин*

**Методические указания** к лабораторным работам по дисциплине «Металлография» для направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» (уровень бакалавриата)/ Владимир. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир. 2016. – 47 с.

Содержит методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Металлография» для направления подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» (уровень бакалавриата)

Библиогр.: 8 назв.

## ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Металлография» является изучение закономерностей образования структуры, исследуя макроструктуру и микроструктуру металла, а также изменения свойств металла в зависимости от изменения его структуры. Исследование структуры необходимо для нахождения связи «структура–свойство», а установление закономерностей образования структуры – для прогнозирования на основе этой связи свойств новых сплавов.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС ВО, к результатам освоения ОПОП ВО по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Таблица 1. Требования к результатам освоения программы бакалавриата

Код	Требования к результатам освоения программы бакалавриата
ПК-4	способность использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модифицировании
ПК-5	готовность комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертифицированные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК-12	готовность работать на оборудовании в соответствии с правилами техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда

Лабораторные работы является формой групповой аудиторной работы в небольших группах для освоения практических навыков с целью формирования основных профессиональных компетенций (ПК-4, 5, 12), необходимых для освоения основной образовательной программы.

В таблице 2 указан перечень лабораторных работ.

Таблица 2. Перечень работ лабораторного практикума

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Формируемые компетенции
1.	Изучение металлографического микроскопа	ПК-4, ПК-5, ПК-12
2.	Приготовление образцов для изучения микро-структуры с помощью светового микроскопа	ПК-4, ПК-5, ПК-12
3.	Количественный металлографический анализ	ПК-4, ПК-5, ПК-12
4.	Измерение микротвердости	ПК-4, ПК-5, ПК-12
5.	Изучение влияния термической обработки на структуру углеродистых сталей	ПК-4, ПК-5, ПК-12
6.	Металлография сварных швов	ПК-4, ПК-5, ПК-12
7.	Изучение структуры чугуна с различной формой графита	ПК-4, ПК-5, ПК-12
8.	Металлография меди и сплавов на её основе	ПК-4, ПК-5, ПК-12

Приступая к выполнению лабораторной работы, студент должен заранее, при подготовке к работе, ознакомиться с методическими материалами по данной работе и с рекомендованной литературой, изложенными в практикуме по заданной тематике.

В течение очередного лабораторного занятия студенты должны защитить оформленный отчет по предыдущей работе и выполнить следующую работу.

## **Лабораторная работа N 1**

### **ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА**

Цель работы: изучить оптическую и механическую схемы металлографического микроскопа.

#### **Задания**

1. Используя литературные источники, ознакомиться с оптической и механической схемой микроскопа.

2. Освоение методов подбора оптики, настройки микроскопа.
3. Определить цену деления окуляр-микрометра и по заданию преподавателя измерить несколько микроскопических объектов.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

### **Общие положения**

Микроструктуру металлов и сплавов наблюдают в оптическом микроскопе МИМ-7, МИМ-8 и др. Практически увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива.

Металлографический микроскоп позволяет рассматривать при увеличении непрозрачные тела в отраженном свете. В качестве источника света используют низковольтные электрические лампы накаливания и реже лампы напряжения 110-120 В переменного и постоянного тока. Для уменьшения рассеивания световых лучей и повышения четкости изображения в осветительную систему введен коллектор 2. Светофильтры 4 (цветные, матовые или дымчатые стеклянные пластинки) отбирают лучи требуемой длины волны, т.е. определенного цвета, и позволяют установить нужную интенсивность освещения с тем, чтобы избежать излишнего утомления глаз наблюдателя.

Человеческий глаз обладает неодинаковой чувствительностью к разным цветам спектра; наибольшей чувствительностью он обладает к желто-зеленым цветам. Поэтому применение желто-зеленого светофильтра, отфильтровывающего другие составляющие белого цвета, позволяет более четко наблюдать особенности структуры. Апертурная диафрагма 5 необходима для ограничения светового пучка и получения большей четкости изображения, полевая диафрагма 18 – для ограничения освещенного поля рассматриваемого участка на микрошлифе.

Структуры исследуются в темном и светлом поле. При микроанализе для большинства металлов и других непрозрачных материалов и сплавов применяют наблюдение в светлом поле, т.е. при вертикальном освещении. Световые лучи, преломляясь пентапризмой 7, проходят

через линзу светлого поля, попадают на отражающую пластинку 9 и направляются через объектив 10 на микрошлиф, установленный на предметном столике. Отразившись от микрошлифа, лучи вновь проходят через объектив и, выходя через него параллельным пучком, попадают на отражательную пластинку и ахроматическую линзу 12. Зеркало 14 отклоняет лучи в сторону окуляра 13.

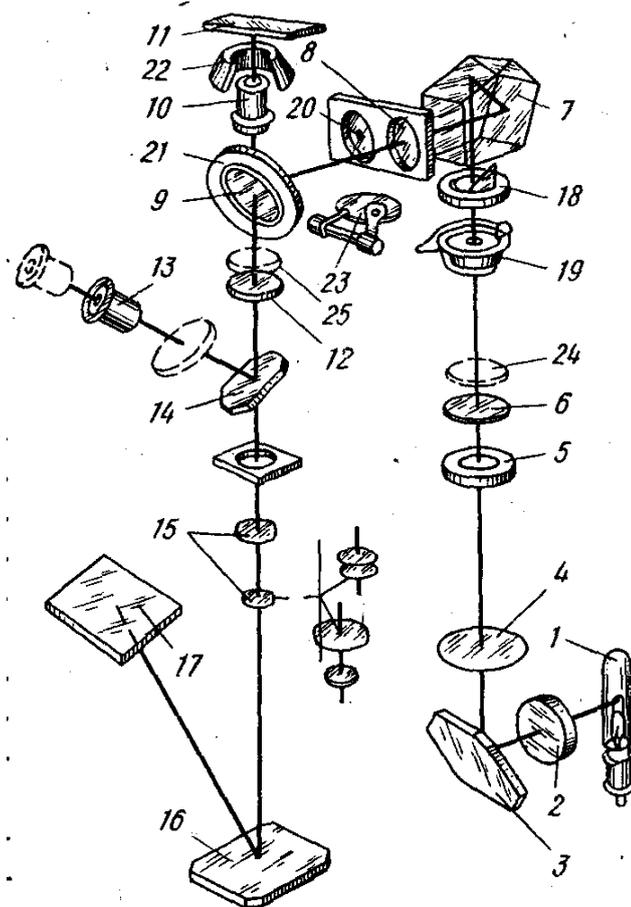


Рис.1.1. Оптическая схема и работа  
металлографического микроскопа МИМ-7:

- 1 – осветитель (лампа); 2 – коллектор; 3 – зеркало; 4 – светофильтр;  
 5 – апертурная диафрагма; 6 – линза; 7 – призма; 8 – линза для работы в светлом  
 поле; 9 – отражательная пластинка; 10 – объектив; 11 – объект;  
 12 – ахроматическая линза; 13 – окуляр; 14 – зеркало; 15 – фотоокуляр;  
 16 – зеркало; 17 – фотопластинка; 18 – полевая диафрагма; 19 – затвор;  
 20 – линза для работы в темном поле; 21 – кольцевое зеркало;  
 22 – параболическое зеркало; 23 – заслонка (включается  
 при работе в темном поле); 24 – поляризатор; 25 – анализатор

Окуляры не только дают мнимое увеличение (т.е. увеличение промежуточного изображения), но и исправляют оптические дефекты, которые полностью не устраняются даже в объективах сложной конфигурации. Практически увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива, при использовании следующих характеристик: фокусного расстояния, числовой апертуры объектива и увеличения окуляра.

Для выявления отдельных мелких рельефных частиц на гладком поле, например, при исследовании неметаллических включений, целесообразно применять темнопольное освещение. Работа микроскопа для исследования в темном поле будет отличаться от описанной схемы исследования в светлом поле тем, что вместо линзы 8 устанавливается линза 20. Центральная часть одной из поверхностей линзы 20 покрыта черным непрозрачным лаком в виде диска, задерживающего центральную часть светового пучка и пропускающего краевые лучи, проходящие через прозрачную часть линзы 20 и попадающие на кольцевое зеркало 21. Для того чтобы световые лучи не попадали на отражающую пластинку, используется заслонка 23. При исследовании в темном поле применяют эпиобъективы, имеющие вокруг оправы с объективными линзами параболическое зеркало 22. Отразившись от кольцевого зеркала, световые лучи падают на внутреннюю зеркальную поверхность параболического зеркала и, отразившись от него, концентрируются на микрошлифе. От поверхности шлифа в объектив отразится только часть лучей, имеющих диффузный характер. Эти лучи обычно отражаются от выступающих над остальной поверхностью объекта фаз. То есть исследование в темном поле не дает полной характеристики структуры и его следует рассматривать как дополняющее основное исследование в светлом поле.

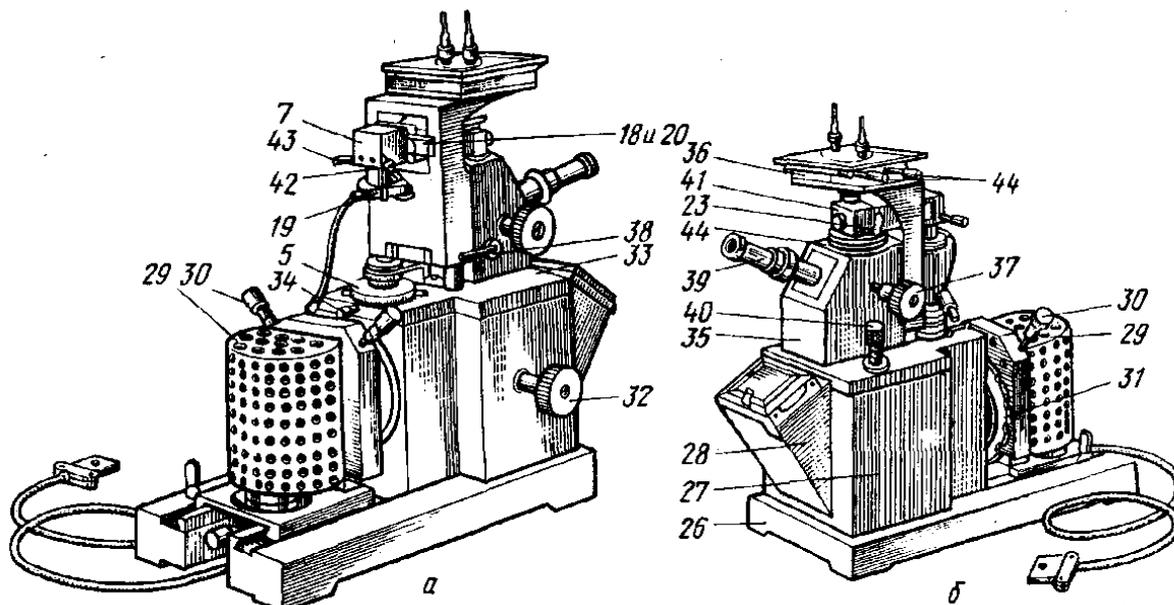
При фотографировании зеркало 14 выключается выдвижением тубуса вместе с окуляром и зеркалом, и лучи направляются непосредственно к фотоокуляру 15, проходят через него на зеркало 16, от которого отражаются и попадают на матовое стекло, где и дают изображение. Отраженные от микрошлифа световые лучи могут направляться на матовое стекло через проекционный окуляр. Для фиксирования

микроструктуры матовое стекло заменяется кассетой с фотопластинкой 17.

После фотографирования применяют обычные в фотографии приемы: проявление, фиксирование, промывание негатива и печатание позитивного изображения на фотобумагу.

Механическая система микроскопа. Металлографический микроскоп имеет штатив, тубус и предметный столик (рис. 1.2). Шлиф устанавливают на предметном горизонтальном столике, так, чтобы обеспечить перпендикулярное расположение подготовленной для исследования поверхности шлифа по отношению к оптической оси объектива. В центре столика устанавливают сменные подкладки с отверстием разного размера, через которое лучи света попадают на микрошлиф и отражаются от него. Предметный столик можно перемещать в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных плоскостях с помощью специальных винтов; это позволяет перемещать микрошлиф на нужное расстояние и просматривать микроструктуру в различных участках без изменения выбранного фокусного расстояния.

Для получения более четкого изображения шлифа, установленный на столике, находят на фокус. Для этой цели в штативе микроскопа имеется макроскопический винт, вращением которого поднимают или опускают столик, обеспечивая приблизительное фокусирование. Точное фокусирование достигается микроскопическим винтом, один оборот которого смещает объектив к шлифу на доли миллиметра (в большинстве конструкций микроскопов деление барабана микровинта равно 2 мкм). Чем больше увеличение объектива, тем меньше должно быть расстояние между шлифом и объективом.



*Рис. 1.2. Микроскоп МИМ-7:*

*а – вид со стороны трансформатора; б – вид со стороны фотокамеры;  
 1 – 25 – см. рис.1.1; 26 – плата; 27 – основание или корпус фотокамеры;  
 29 – фонарь осветителя; 30 - винты, центрирующие лампу; 31 – диск  
 со светофильтром; 32 - рукоятка для поворота диска с тремя  
 фотоокулярами; 33 – рукоятка для смещения и поворота диафрагмы 5;  
 34 – винт, фиксирующий поворот диафрагмы 5; 35 – корпус микроскопа  
 36 – предметный столик; 37 – макроскопический винт для вертикального  
 перемещения столика; 38 – стопорное устройство макровинта;  
 39 - визуальный тубус; 40 – микрометрический винт; 41 – осветительный  
 тубус; 42 – рукоятка полевой диафрагмы; 43 – механизм центрировки;  
 44 – винты для перемещения предметного столика в двух взаимно  
 перпендикулярных направлениях*

### **Порядок выполнения работы**

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе.

Второе задание выполняется под руководством преподавателя всей группой.

Третье и четвертое задание выполняется на металлографическом микроскопе бригадами по несколько человек.

Увеличение микроскопа определяется по таблице увеличения

при визуальном наблюдении, используя следующие характеристики: фокусное расстояние, числовая апертура объектива и увеличение окуляра.

При измерении микроскопического объекта при помощи окулярных и объективных микрометров необходимо сначала определить цену деления окуляр-микрометра:

1. Вставить окуляр-микрометр и объектив.
2. На подкладку предметного столика поместить объект-микрометр таким образом, чтобы шкала с делениями находилась над объективом.
3. Вращением макроскопического и микроскопического винтов навести на фокус шкалу объект-микрометра.
4. Вращением окуляра совместить шкалу окуляр-микрометра со шкалой объект-микрометра, установив параллельно штрихи обеих шкал.
5. Определить, в какое число делений окуляр-микрометра укладывается шкала объект-микрометра (если она полностью укладывается в поле зрения микроскопа) или в какое число делений окуляр-микрометра укладывается определенное количество делений шкалы объект-микрометра (если она полностью не уменьшается в поле зрения микроскопа).
6. Определить цену деления шкалы окуляр-микрометра  $C_{ок}$  по формуле

$$C_{ок} = \frac{C_{об} \cdot A_{об}}{A_{ок}} \text{ мм},$$

где  $C_{об} = 0,01 \text{ мм}$  – цена деления шкалы объект-микрометра;  $A_{об}$  – число совмещенных делений объект-микрометра;  $A_{ок}$  – число совмещенных делений окуляр-микрометра.

*Например,* шкала объект-микрометра укладывается на 25 делениях шкалы окуляр-микрометра. Тогда

$$C_{ок} = \frac{0,01 \cdot 100}{25} = 0,04 \text{ мм}.$$

Для измерения микроскопических объектов необходимо:

1. Настроить микроскоп на измеряемый объект.
2. Совместить данный объект со шкалой окуляр-микрометра.

3. Измерить микроскопический объект, т.е. определить, сколько делений шкалы окуляр-микрометра занимает объект.

4. Определить величину измеряемого объекта, для чего полученное число делений шкалы окуляр-микрометра, которое занимает объект, умножить на цену деления окуляр-микрометра.

*Например,* объект занимает 6 делений шкалы окуляр-микрометра.

Цена деления окуляр-микрометра 0,04 мм. Величина измеряемого объекта  $6 \cdot 0,04 = 0,24$  мм.

### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы и задание.
2. Результаты измерения микроскопических объектов.
3. Список используемой литературы.

### **Контрольные вопросы**

1. Принципиальная оптическая схема микроскопа МИМ-7.
2. Максимальное увеличение микроскопа. Разрешающая способность микроскопа.
3. Что собой представляют границы зерен?
4. Оценка зерна в металлах и сплавах с помощью окуляр-микрометр и объект-микрометра.

## Лабораторная работа N 2

### ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ СВЕТОВОГО МИКРОСКОПА

Цель работы: приобретение навыков приготовления образцов для изучения микроструктуры с помощью светового микроскопа.

#### Задания

1. Используя учебники и пособия, изучить методику приготовления микрошлифов.
2. Освоить методику приготовления микрошлифов.
3. Изготовить микрошлифы из образцов, предложенных преподавателем.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

#### Общие сведения

С целью получения достоверного представления о структуре контролируемого изделия необходимо правильно место вырезки образца. Если контролю подлежат крупные объекты (слитки, поковки и т.п.), то сначала от них отбирают пробы.

*Проба* – это часть металла металлопродукции, отобранная для изготовления из неё заготовок для образцов.

Далее полученную пробу разрезают на заготовки.

*Заготовка* – часть пробы, механически обработанная или необработанная, предназначенная для изготовления образцов. В случае необходимости заготовки могут подвергаться термической обработке.

*Образец* – часть заготовки определенного размера, механически обработанная или необработанная, подготовленная для исследования.

Далее образцы путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) доводят до такого состояния, когда при рассмотрении его в металлографический микроскоп выявляют неметаллические включения, мелкие поры, графит в чугунах (после шлифования и полирования) или микроструктуры (после шлифования, полирования и травления).

Шлифование проводят вручную или механическим способом на вращающемся шлифовальном круге, применяют шлифовальную бумагу. После шлифования шлифовальной бумагой с большим размером зерна на поверхности наблюдается сильная шероховатость. При смене шлифовальной бумаги меняют направление шлифования на перпендикулярное, что уменьшает шероховатость поверхности шлифа. После шлифования на поверхности шлифа видны риски.

Полирование проводят суспензиями или пастами. Суспензия представляет собой взвесь твердых нерастворимых частиц в водном или масляном диспергаторе. Паста - это концентрированная суспензия. В качестве твердой фазы применяют порошки  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  с размером частиц 1 - 5 мкм. Полирование обычно проводят механическим способом: на вращающийся круг, покрытый фетром или сукном, наносят суспензию и полируют шлиф до "зеркального" блеска. На полированном микрошлифе наблюдают неметаллические включения, определяют их форму и размеры.

Травление осуществляется химическими травителями. При травлении между различными частями (фазами) микрошлифа возникает электрохимический потенциал и идет коррозия микрошлифа. Наиболее сильно растравливаются дефектные части микрошлифа: границы зерен, в меньшей степени само зерно. Наиболее растравленные части микрошлифа сильно рассеивают падающий свет и кажутся в микроскопе более темными, чем само зерно.

### **Порядок выполнения работы**

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе.

Второе и третье задание выполняется индивидуально под руководством преподавателя.

## Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Эскизы образцов по этапам подготовки с необходимыми объяснениями и указанием реактивов, применяемых при травлении.
4. Описание состава используемых реактивов.
5. Список использованной литературы.

## Контрольные вопросы

1. Как отбирают образцы для металлографического исследования
2. Каковы задачи и область применения микроструктурного анализа?
3. Методика приготовления шлифов
4. Растворы для травления углеродистой стали.
5. Растворы для травления нержавеющей стали.
6. Растворы для травления меди и её сплавов.
7. Растворы для травления алюминия и его сплавов.
8. Растворы для травления титана и его сплавов.

## Лабораторная работа N 3

### КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Цель работы: изучить методы количественного металлографического анализа.

#### Задания

1. Используя учебники и пособия, изучить методы количественного металлографического анализа.
2. По заданию преподавателя определить величину зерна выданных образцов однофазного материала.
3. По микрофотографиям определить средний диаметр зерна, заполнить таблицу.
4. Определить количество графита в высокопрочном чугуне.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### Общие положения

В основе всех существующих стандартных методов количественного металлографического анализа лежит исследование структуры, выявленной в сечении микрошлифа.

Количественный металлографический анализ позволяет определять размер зерна в поликристаллическом металлическом материале. Состав сплава по наблюдаемой структуре можно определить только приблизительно. Под микроскопом на глаз или методом количественного металлографического анализа определяют площадь, занимаемую каждой структурной составляющей, и тем самым ее объемное содержание.

В соответствии с ГОСТ 5639-82 величина зерна определяется следующими методами:

- визуального сравнения видимых под микроскопом зерен с

эталоны шкал с определением номера (балла) зерна;

- подсчета количества зерен, приходящихся на единицу поверхности шлифа, с определением среднего диаметра и средней площади зерна;

- подсчета пересечений границ зерен отрезками прямых с определением среднего условного диаметра в случае равноосных зерен, количества зерен в  $1 \text{ мм}^3$  в случае неравноосных зерен;

- измерения длин хорд под микроскопом или с использованием микрофотографий с определением относительной доли зерен определенного размера;

- ультразвуковым.

Благодаря своей простоте наиболее широко распространен метод визуальной оценки. Однако он отличается низкой точностью. Как указывалось выше, метод заключается в том, что рассматриваемая микроструктура приближенно оценивается по стандартным шкалам, в которых есть набор стандартных микрофотографий или рисунков.

### Порядок выполнения работы

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе.

Второе задание выполняется под руководством преподавателя бригадами по несколько человек на металлографическом микроскопе.

Третье выполняется на микрофотографиях индивидуально.

**Определение среднего диаметра зерна (случай равноосных зерен).** На микрофотографии провести четыре произвольных прямых линий. Длина каждой прямой при 100-кратном увеличении 60 мм, что соответствует длине на шлифе 0,6 мм.

1. Определение суммарной длины линий, мм:

$$\Sigma L = 0,6 \times 4 = 2,44 \text{ мм};$$

2. определение числа пересечений границ зерен каждой прямой:  
 $n_1, n_2, n_3, n_4$ ;

3. определение суммарного числа пересечений:

$$\Sigma n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4;$$

4. определение среднего диаметра зерен, мм:

$$d_{\text{ср}} = \Sigma L / \Sigma n.$$

Для определения среднего диаметра зерна (случай равноосных зерен) при увеличении неравном 100 необходимо определить действительную длину линии. Для этого 60 делится на действительно увеличение (мм).

Данные заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Но- мер об- разца	Увели- чение	Суммарная длина линий, мм	Число пресечений					Средний диаметр зерна, мм	Балл зерна по ГОСТ 5639-82
			$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$\Sigma n$		

Четвертое задание выполняется бригадами по несколько человек на металлографическом микроскопе.

### Определение количества графита в высокопрочном чугуне.

Для определения количества графита в чугуне необходимо:

1. поместить внутрь окуляра стеклянную пластину с нанесенной сеткой. При сфокусированном изображении сетка накладывается на видимое изображение структуры;

2. посчитать число перекрестий видимой сетки  $n$ , попавших на включения. Перекрытия, расположенные на включении, считаются единицами ( $n_1$ ), а перекрытия, касающиеся графитовых включений, считаются половинками ( $n_2$ ). Общее число перекрытий, попавших на графит, составляет

$$n = n_1 + 0,5 n_2.$$

Число перекрытий следует подсчитать в нескольких полях зрения, чтобы  $n \sim 200$ ;

3. рассчитывать относительный объем, занимаемый графитом, по формуле

$$V_{\text{гр}} = \frac{n}{N_{\text{об}}} 100\%,$$

где  $N_{об}$  – общее число точек перекрытий.

Результаты измерения записать в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Поле зрения	$N_{об}$	$n_1$	$n_2$	$n$	$V_{гр}$
1					
2					
3					

### Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Заполненные табл. 3.1. и 3.2.
4. Список использованной литературы.

### Контрольные вопросы

1. Назовите методы количественного металлографического анализа
2. Чем характеризуется визуальный метод оценки?
3. Как определяется балл зерна?
4. Каким образом можно провести количественную оценку неметаллических включений?

## Лабораторная работа N 4

### ИЗМЕРЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ

Цель работы: изучение устройства и принципа работы прибора ПМТ-3

#### Задания

1. Используя учебники и пособия, изучить устройство и принцип работы прибора ПМТ-3.
2. По заданию преподавателя определить микротвердости выданных образцов однофазного материала.
3. По результатам заполнить таблицу.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

#### Общие положения

Испытания на твердость используются не только как средство контроля материалов, но и как средство для исследования фазовых и структурных превращений.

Под *микротвердостью* следует понимать твердость материалов в его микроскопических объемах. Статическое испытание микротвердости вдавливанием является наиболее распространенным методом.

На рис. 4.1 представлен общий вид прибора ПМТ-3.

Результаты испытания главным образом зависят от формы индентора и прикладываемой нагрузки.

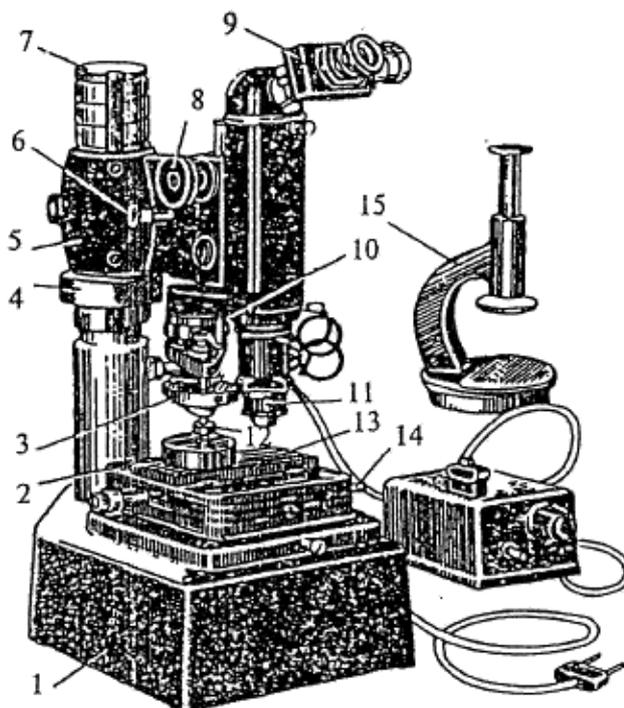
Число твердости  $H_\mu$  определяется как отношение нагрузки к площади отпечатка:

$$H_\mu = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = \frac{1,8544P}{d^2},$$

где  $\alpha$  – угол при вершине между противоположащими гранями четырехгранной с квадратным основанием пирамиды, равный  $136^\circ$ ;

$P$  – нагрузка, кг;

$d$  – длина диагонали, мм.



*Рис. 4.1. Общий вид прибора ПМТ-3 для определения микротвердости:  
1 – основание прибора; 2 – предметный столик; 3 – гиря из разновеса;  
4 – гайка для перемещения кронштейна с брусом; 5 – кронштейн бруса;  
6 – барашек микрометрического движения; 7 – колонна;  
8 – барашек грубого движения; 9 – винтовой окулярный микрометр;  
10 – рукоятка арретира; 11 – объектив; 12 – оправка с алмазным наконечником,  
13 – планка для закрепления исследуемого образца;  
14 – рукоятка для поворота столика; 15 – ручной прессик*

### **Порядок выполнения работы**

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе.

Второе и третье задания выполняются под руководством преподавателя бригадами по несколько человек. Данные заносятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

№ образца	Материал (структура)	$d_1$	$d_2$	$d_1 - d_2$	$0,3 (d_1 - d_2)$	$H_\mu$
1						
2						
3						
$n$						
Среднее значение						

### Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Заполненная табл. 4.1.
4. Список использованной литературы.

### Контрольные вопросы

1. Что понимают под микротвердостью?
2. Устройство и работа прибора ПМТ-3?
3. Как определяются значения микротвердости?
4. С чем связаны погрешности, возникающие при определении микротвердости?

## Лабораторная работа N 5

### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: изучение влияния термической обработки на структуру углеродистых сталей.

#### Задания

1. Используя литературные источники, изучить влияние термической обработки на структуру углеродистых сталей.
2. Изучить и нарисовать структуры сталей 45 и У12 после полной и неполной закалки.
3. Изучить и нарисовать структуры стали 45 после низкого, среднего и высокого отпуска.
4. Изучить структуру пластинчатого и зернистого перлита, мартенсита при 1000-кратном увеличении. Произвести сравнительную оценку рассмотренных структур по стандартной шкале.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### Общие положения

Как известно, в процессе термической обработки протекают следующие фазовые превращения, влияющие на структуру и свойства сталей:

- превращения при нагреве до аустенитного состояния – фазовая перекристаллизация;
- превращения аустенита при различных условиях охлаждения;
- мартенситное превращение;
- превращения при отпуске.

Процессы распада переохлажденного аустенита подразделяют на два типа:

- диффузионные (перлитное и промежуточное, или бейнитное);
- бездиффузионное (мартенситное).

Превращение аустенита при температурах в интервале  $A_{r1} - 550^{\circ}\text{C}$  является перлитным. В интервале указанных температур в результате распада аустенита образуются пластинчатые структуры перлитного типа:

- 1) *перлит*, имеющий грубопластинчатую структуру с размером пластинок  $\Delta_0 \approx (0,5 \dots 0,7) \cdot 10^{-3}$  мм (*превращение при 670 – 650 °C*),
- 2) *сорбитом* –  $\Delta_0 \approx 0,25 \cdot 10^{-3}$  мм (*превращение при 640 – 590 °C*),
- 3) *троостит* – при  $\Delta_0 \approx 0,1 \cdot 10^{-3}$  мм (*превращение при 580 – 550 °C*).

Превращение при температурах в интервале  $550^{\circ}\text{C} - M_n$  является промежуточным. Дисперсность кристаллов феррита и цементита также зависит от температуры превращения:

- 1) толщина пластинок  $\Delta_0 \approx 0,12 \cdot 10^{-3}$  мм образуется при  $550 - 350^{\circ}\text{C}$  (*верхний бейнит*, он имеет перистое строение – вид резаной соломки);
- 2)  $\Delta_0 \approx 0,08 \cdot 10^{-3}$  мм – ниже  $350^{\circ}\text{C}$  (*нижний бейнит*, он имеет игольчатое строение).

*Мартенсит*, многократно пересыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе, образуется при охлаждении со скоростями выше критических. Указанное превращение начинается при переохлаждении аустенита ниже линии  $M_n$ . Малейшая изотермическая задержка в интервале температур от  $M_n$  до  $M_k$  приведет к стабилизации аустенита, что приведет к образованию большого количества остаточного аустенита.

Технологические процессы термической обработки включают в себя отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

С целью подготовки к последующим операциям механической обработки, либо окончательной ТО проводят отжиг или нормализацию.

Наиболее распространенным видом окончательной ТО для сталей является закалка с последующим отпуском.

При закалке сталь нагревают до аустенитного или аустенитно-карбидного состояния, выдерживают в течение времени, необхо-

димого для завершения фазовых превращений, далее производят резкое охлаждение со скоростью выше критической для получения мартенситной структуры. Различают полную и неполную закалку.

При полной закалке сталь нагревают до температур однофазной аустенитной области (рис. 5.1) на 30 - 50°C выше линии  $A_3$  и  $A_{cm}$ , однако полную закалку выполняют только для доэвтектоидных сталей. Микроструктура после полной закалки данных сталей будет состоять из мелкоигольчатого мартенсита с небольшим количеством остаточного аустенита.

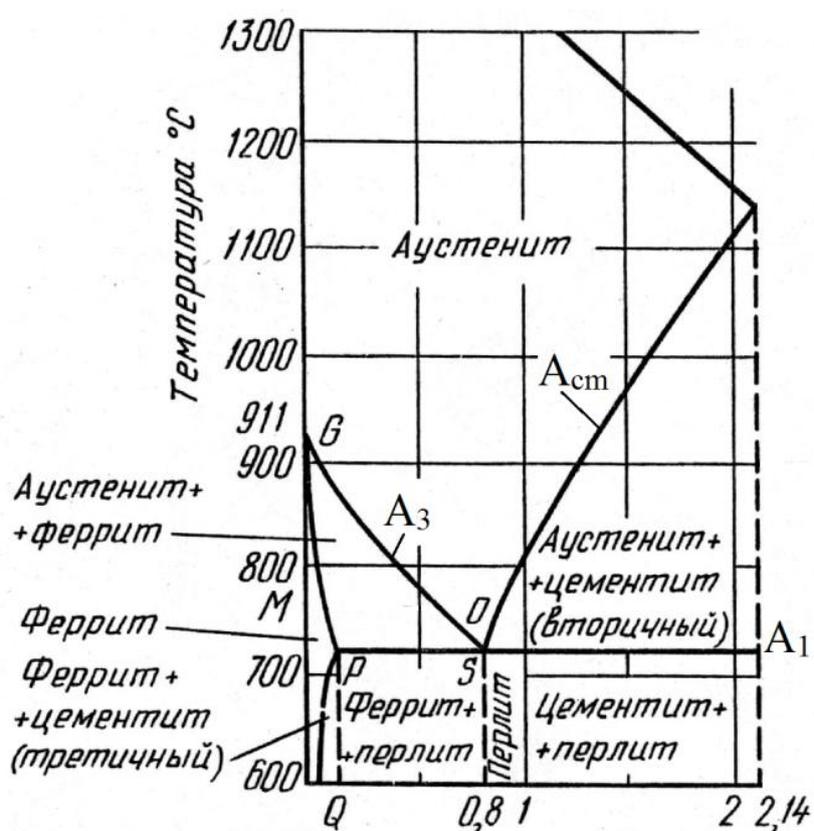


Рис. 5.1. Участок диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C

Доэвтектоидные стали при неполной закалке нагревают до температур, лежащих между линиями  $A_3$  и  $A_1$ , до аустенитно-ферритного. При последующем быстром охлаждении феррит останется без изменения, а аустенит перейдет в мартенсит, т.е. образуется структура: мелкоигольчатый мартенсит, феррит и остаточный аустенит. Сталь, имеющая такую структуру, будет мягкой и недостаточно

прочной, поэтому доэвтектодные стали подвергаются полной закалке.

Нагрев заэвтектоидных сталей до температур, на  $30 - 50^{\circ}\text{C}$  превышающих линию  $A_{cm}$ , приводит к сильному росту зерна аустенита и увеличению содержания углерода в аустените. В результате полной закалки указанных сталей большое зерно аустенита приводит к образованию крупноиглочатого мартенсита, а повышенное содержание углерода в аустените - к получению повышенного количества остаточного аустенита вследствие снижения температуры точек  $M_n$  и  $M_k$ .

Крупное зерно ведет к снижению ударной вязкости, а наличие большого количества остаточного аустенита - к снижению твердости, а отсутствие включений цементита повлечет снижение износостойкости. Поэтому заэвтектоидные стали подвергают неполной закалке.

При неполной закалке заэвтектоидную сталь нагревают до температур между линиями  $A_{cm}$  и  $A_1$ , т.е. до аустенитно-карбидного состояния. При последующем охлаждении цементитная составляющая остается без изменений, а аустенит превратится в мартенсит. Если же перед закалкой микроструктура заэвтектоидной стали состояла из пластинчатого перлита и замкнутой сетки цементита, то после неполной закалки сетка цементита сохраняется. Поэтому сталь, имеющая в своей структуре мартенсит, остаточный аустенит и замкнутую сетку цементита, будет хрупкой.

Хрупкость можно уменьшить получением цементита в виде мелких равномерно распределенных по объему зернышек, что можно обеспечить предварительной термической обработкой - отжигом на зернистый перлит.

Для обеспечения более высоких эксплуатационных свойств заэвтектоидные стали подвергаются неполной закалке.

Закалка стали сопровождается увеличением объема, что вызывает появление значительных внутренних напряжений, которые могут вызывать коробление изделий и появление трещин. Поэтому закаленные изделия всегда подвергают отпуску.

Отпуск - важнейшая операция термической обработки, формирующая структуру и свойства стали.

При отпуске сталь нагревают ниже линии  $A_1$  выдерживают при

этой температуре и охлаждают (обычно на воздухе или в масле). В зависимости от температуры различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск (120 - 250 °С) применяют для инструментов, цементованных, цианированных изделий, которым необходимы высокая твердость (60 - 65 HRC) и износостойкость. После такого отпуска у закаленной на мартенсит стали сохраняется игольчатая структура мартенсита, но иглы становятся менее резкими, несколько расплывчатыми, такой мартенсит называется отпущенным мартенситом. Характерным является то, что если в мартенсите после закалки иглы светлые, то в отпущенном мартенсите они темные. Изменение цвета игл мартенсита связано с изменениями, происходящими в нем при нагревании до указанных температур. При нагревании мартенсита из него выделяется углерод в виде карбидных частиц, но когерентно связанных с исходной фазой. Это приводит к уменьшению степени тетрагональности решетки железа.

Средний отпуск (350 - 450 °С) на отпущенный троостит применяют для стальных пружин, рессор и упругих элементов приборов, которые в работе должны сочетать свойства высокой упругости, прочности и достаточной вязкости. Структура отпущенного троостита является продуктом распада закаленного мартенсита и представляет собой высокодисперсную смесь частиц феррита и цементита. Под микроскопом троостит отпуска выглядит темной массой, в которой слабо различается игольчатое строение цементита.

Высокий отпуск (500 - 600 °С) на сорбит отпуска широко, применяется к изделиям из машиностроительных сталей, содержащих от 0,35 до 0,6% углерода. Сорбит отпуска, подобно отпущенному трооститу, представляет собой ферритно-цементитную смесь, но грубого строения.

### **Порядок выполнения работы**

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе.

Второе и третье задания выполняется под руководством пре-

подавателя бригадами по несколько человек. Каждая бригада работает с микроскопом МИМ-7, изучает и зарисовывает в квадрате 40x40 мм в виде схемы микроструктуры комплекта микрошлифов в количестве семи штук. Под каждым рисунком указываются увеличение микроскопа, марка стали и обозначаются стрелками структурные составляющие. Сравнение изучаемых структур и зарисовка их схем ведется с использованием альбома фотографий микроструктур.

Четвертое задание выполняется студентами по микрофотографиям.

### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Рисунки микроструктур и их описание.
4. Список использованной литературы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что происходит при закалке стали?
2. Как неполная закалка влияет на структуру и свойства стали?
3. Какие дефекты могут возникнуть при закалке стали?
4. Как и из каких соображений выбирают температуру отжига стали?
5. Какие бывают виды отжига и каково их назначение?
6. Как и для чего производится нормализация?
7. Что происходит при отпуске стали?
8. Каково назначение низкого, среднего и высокого отпуска?
9. Как осуществить термообработку для получения заданной структуры стали (зернистый перлит, мартенсит, бейнит, троостит, сорбит)?

## Лабораторная работа N 6

### МЕТАЛЛОГРАФИЯ СВАРНЫХ ШВОВ

Цель работы: изучение микроструктуры сварных соединений.

#### Задания

1. Используя литературные источники, изучить порядок проведения металлографического контроля сварных швов.
2. При разных увеличениях провести металлографическое исследование микроструктуры сварных соединений.
3. Изучить строение зоны термического влияния, схематично зарисовать структуру характерных участков зоны термического влияния.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

#### Общие положения

Данный вид контроля включает исследование макро- и микроструктуры и осмотр изломов сварных соединений. Исследование изломов швов производят невооруженным глазом или с помощью лупы.

По виду и цвету поверхности свежего излома определяют наличие непроваров, раковин, пор, шлаковых включений, а также пластические свойства наплавленного металла.

Мелкозернистый волокнистый серый излом, без блеска характеризует хорошую пластичность и высокую ударную вязкость металла. Крупнокристаллический блестящий излом указывает на хрупкость и низкую ударную вязкость металла. Исследование макроструктуры заключается в изучении макрошлифов сварного шва. Исследуемая поверхность образца, как правило, включает полное сечение наплавленного металла шва с прилегающими к нему зонами термического влияния и основного неизменившегося металла.

Поверхность макрошлифа промывают спиртом и травят специальными реактивами, после чего осматривают невооруженным глазом или с помощью лупы.

Макроисследования выявляют такие дефекты сварки, как непровары, трещины, поры, шлаковые включения, крупнозернистость основного и наплавленного металла, неоднородность структуры металла и другие.

На протравленной поверхности отчетливо видны границы и размеры основных зон сварного шва:

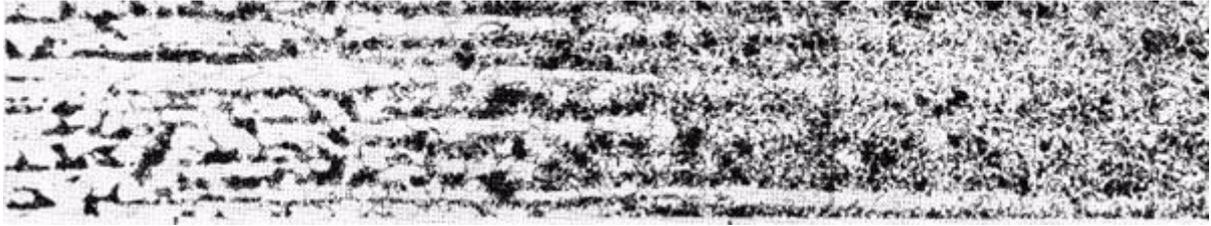
- наплавленного металла;
- термического влияния;
- основного неизмененного металла;
- участка сплавления основного металла с наплавленным;
- отдельные слои наплавленного металла.

Исследование микроструктуры сварных швов заключается в изучении поверхности протравленных микрошлифов с помощью микроскопа при увеличениях от 100 до 2000.

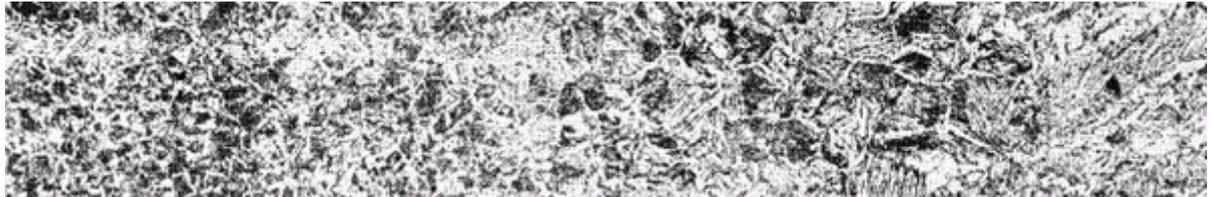
Наиболее часто обнаруживаются такие дефекты сварки: непровары; микротрещины; микропоры; шлаковые включения; нитриды (соединения железа с азотом в виде продолговатых игл), снижающие пластичность металла; окисные пленки по границам зерен наплавленного металла при его пережоге; карбиды – соединения железа и других элементов с углеродом – в сталях аустенитного класса (выпадение карбидов хрома уменьшает сопротивляемость коррозии нержавеющей стали); укрупненные зерна феррита (видманштеттовая структура), которые свидетельствуют о низких механических свойствах металла вследствие его перегрева; структуры закалки (троостит и мартенсит) при сварке легированных и углеродистых сталей.

Металлографические исследования позволяют наиболее тщательно контролировать качество металла швов.

*Участок неполного расплавления 1* (рис. 6.1) – тонкая переходная полоска от металла шва к основному металлу.



Основной металл    Неполная перекристаллизация    Нормализация



Нормализация    Участок перегрева    Металл шва

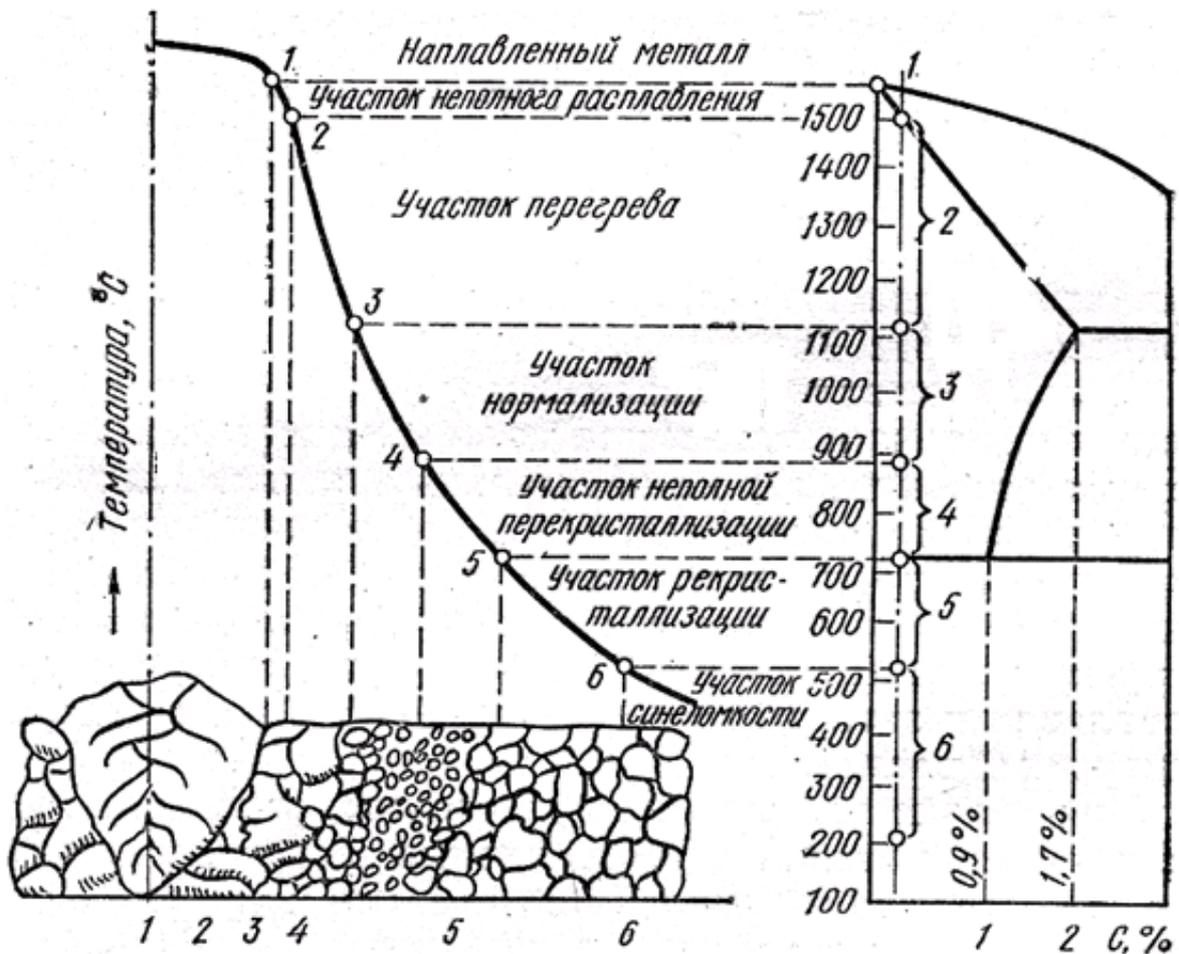


Рис. 6.1. Зона термического влияния:  
 1 – неполного расплавления; 2 – перегрева; 3 – нормализации;  
 4 – неполной перекристаллизации; 5 – рекристаллизации;  
 6 – синеломкости.

Максимальные температуры нагрева – от температуры плавления металла до температуры солидус, т.е. происходит образование и жидкой, и твердой фазы, что приводит к образованию крупного зерна.

В данной зоне происходит непосредственное сращивание кристаллов металла шва с зерном основного металла, поэтому он зачастую и определяет качество сварного соединения. Структура данного участка – феррито-перлитная с окантовкой перлитных выделений ферритными прослойками.

*Участок перегрева 2* находится в интервале максимальных температур нагрева ~ 1130 °С. Металл данного участка имеет крупнозернистое строение, так как при указанных температурах зерно успевает сильно вырасти, а последующая перекристаллизация при охлаждении не дает его заметного измельчения. Феррит окружает укрупненные перлитные зерна своеобразной каймой, при этом может наблюдаться видманштеттовская структура. Участок перегрева отличается ухудшенными механическими свойствами, поэтому, чем данный участок меньше, тем выше качество сварного соединения.

*Участок нормализации 3* лежит в тех областях металла, которые нагреваются до максимальных температур. При этом зерно аустенита не успевает заметно вырасти, так как длительность пребывания металла при этих температурах невелика. Последующая перекристаллизация при охлаждении металла приводит к получению мелкой равноосной структуры. Металл этого участка имеет самые высокие механические свойства.

*Участок неполной перекристаллизации 4* наблюдается в области нагрева металла до максимальных температур (между фазовыми точками). Протекающие здесь превращения таковы: при достижении металлом в процессе нагрева температуры, соответствующей точке, происходит эвтектоидное превращение, т. е. перлит переходит в аустенит и затем феррит начинает растворяться в аустените. Каждой температуре, лежащей выше, отвечает какое-то количество феррита, растворившегося в аустените, и только в полоске металла, примыкающего к участку нормализации, где будет достигнута температура

точки  $A_3$ , в аустените растворится весь феррит. В интервале температур, между фазовыми точками, часть феррита, не растворенная в аустенит, сохранит прежние размеры зерен. А феррит, растворенный в аустените, при последующем охлаждении металла будет выделяться из аустенита и образовывать несколько новых зерен феррита. Закончится вторичная кристаллизация эвтектоидным превращением оставшегося аустенита в перлит.

Конечная структура металла на этом участке – крупные зерна феррита, не прошедшие перекристаллизацию, и расположенные вокруг них колонии мелких зерен феррита и перлита, образовавшихся в результате перекристаллизации. Механические свойства этого участка хуже, чем свойства участка нормализации.

При сварке металла, подвергнутого холодной обработке давлением, наблюдается *участок рекристаллизации 5*. Максимальная температура нагрева металла находится в пределах  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом протекает рекристаллизация зерен феррита, т.е. рост этих зерен из их раздробленных частей, полученных при пластической деформации металла. Рост возможен только за счет перехода атомов железа из решетки одного зерна в соседнюю решетку, обладающую меньшей свободной энергией. Протекающая в таком металле рекристаллизация возвращает деформируемому металлу прежние механические свойства. Структура участка рекристаллизации – равноосные зерна феррита и перлита.

*Участок синеломкости 6* нагревается до  $\sim 200\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Данный участок характеризуется снижением пластических свойств без видимых изменений структуры. Явление синеломкости объясняют выделением из твердого раствора субмикроскопических частиц различных примесей, располагающихся по границам зерен.

### **Порядок выполнения работы**

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе.

Второе и третье задания выполняется под руководством преподавателя бригадами по несколько человек. При этом студенты схе-

матично зарисовывают рассмотренные микроструктуры и описывают строение зон термического влияния.

### **Содержание отчета**

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Рисунки микроструктур с описанием строения зон термического влияния.
4. Список использованной литературы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие реактивы используются при травлении стали?
2. Какие реактивы используются при травлении цветных сплавов?
3. Зоны сварного шва.
4. Строение зоны термического влияния.

### **Лабораторная работа N 7**

#### **ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЧУГУНА С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ГРАФИТА**

Цель работы: изучение структуры чугунов с различной формой графита

#### **Задания**

1. Используя литературные источники, изучить структуры белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов.
2. Используя литературные источники, изучить процесс получения ковких чугунов.

3. Нарисовать схему получения ковких чугунов с разными металлическими основами.

4. Изучить микроструктуру ковких чугунов с различной структурой металлической основы.

5. При 100-кратном увеличении провести определение графита в структуре чугуна с пластинчатым графитом по стандартной методике.

6. При 100х-кратном увеличении провести определение графита в структуре высокопрочного чугуна с шаровидным графитом по стандартной методике.

7. Ответить на контрольные вопросы.

8. Составить отчет.

### **Общие положения**

Как известно, углерод в чугуне может находиться в связанном виде – в виде цементита или в свободном – в виде графита.

Различают следующие виды чугунов:

1) *белый чугун*, в котором весь углерод находится в связанном состоянии, в виде цементита;

2) *серый чугун*, в котором большая часть или весь углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита;

3) *ковкий чугун*, в котором большая часть или весь углерод находится в свободном состоянии в виде хлопьевидного графита;

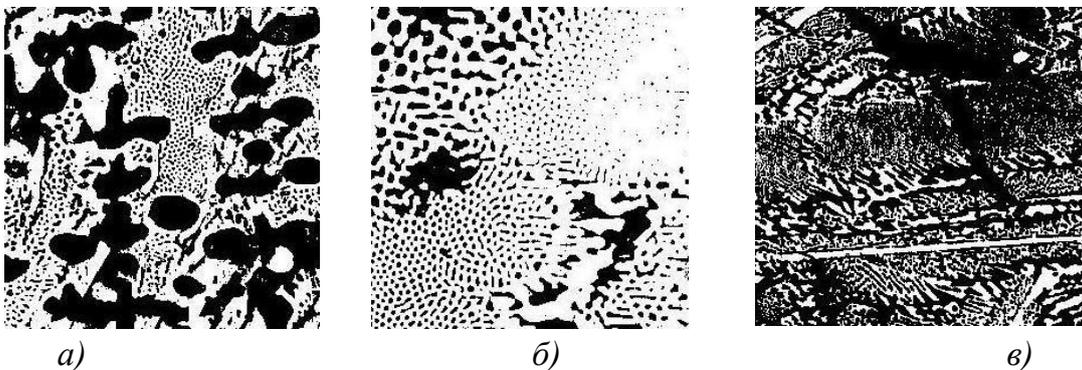
4) *высокопрочный чугун*, в котором большая часть или весь углерод находится в виде шаровидного графита.

В белом чугуне весь углерод находится в виде цементита ( $Fe_3C$ ), поэтому этот чугун очень твердый и хрупкий. Структурные превращения происходят в соответствии с диаграммой Fe- $Fe_3C$ . При кристаллизации белых чугунов образуется эвтектика - ледебурит. Как указывалось выше, ледебурит - это механическая смесь аустенита и цементита. Он образуется при температурах  $1147^{\circ}C$ ; при  $727^{\circ}C$  аустенит, входящий в состав ледебурита, превращается в перлит; ниже  $727^{\circ}C$  ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита.

По содержанию углерода *белые чугуны* делятся на

- *доэвтектические* (2 -4,3%),
- *эвтектические* (4,3%) и
- *заэвтектические* (больше 4,3%).

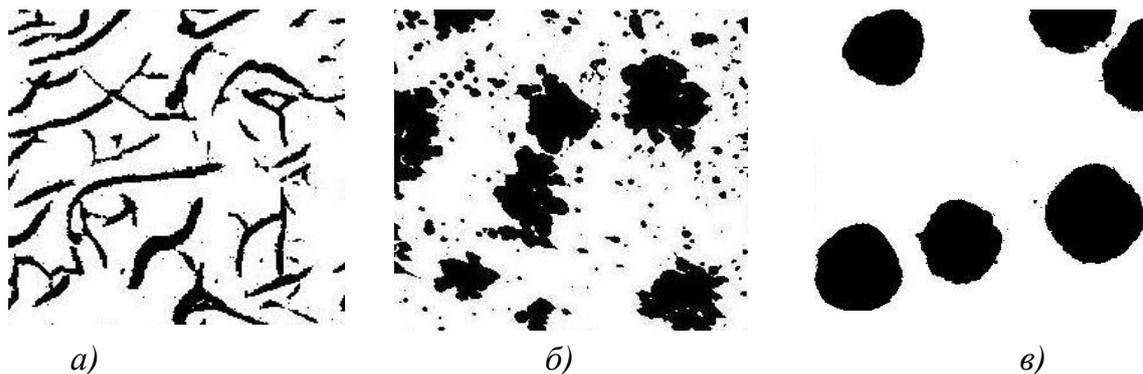
Доэвтектические белые чугуны имеют структуру, состоящую из перлита и ледебурита (рис. 7.1, *а*). Чем больше углерода в доэвтектическом чугуне, тем больше содержание ледебурита. Эвтектический белый чугун состоит только из ледебурита (рис. 7.1, *б*). Заэвтектический чугун состоит из крупных пластин первичного цементита и ледебурита (рис. 7.1, *в*). Чем больше углерода в заэвтектическом чугуне, тем больше он содержит первичного цементита.



*Рис.7.1 Микроструктуры белых чугунов:*

При присутствии углерода в чугунах в свободном виде, в виде графита, свойства чугунов определяются его формой. Графит в чугунах можно рассматривать как концентратор внутренних напряжений.

В серых чугунах графит выделяется в виде пластин (рис. 7.2, *а*), т.е. наблюдается самая высокая концентрация внутренних напряжений, следовательно, серые чугуны будут иметь низкие механические свойства. Прочность серых чугунов на растяжение находится в пределах 100 - 350 МПа (ГОСТ 1412-85).

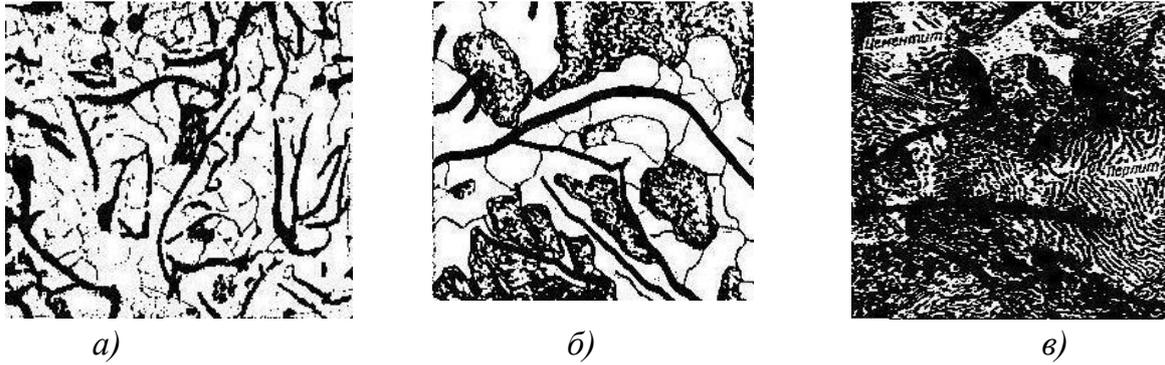


*Рис. 7.2. Микроструктуры чугунов:  
 а) серый чугун (металлическая основа и пластинчатый графит);  
 б) ковкий чугун (металлическая основа и хлопьевидный графит);  
 в) высокопрочный чугун (металлическая основа и шаровидный графит)*

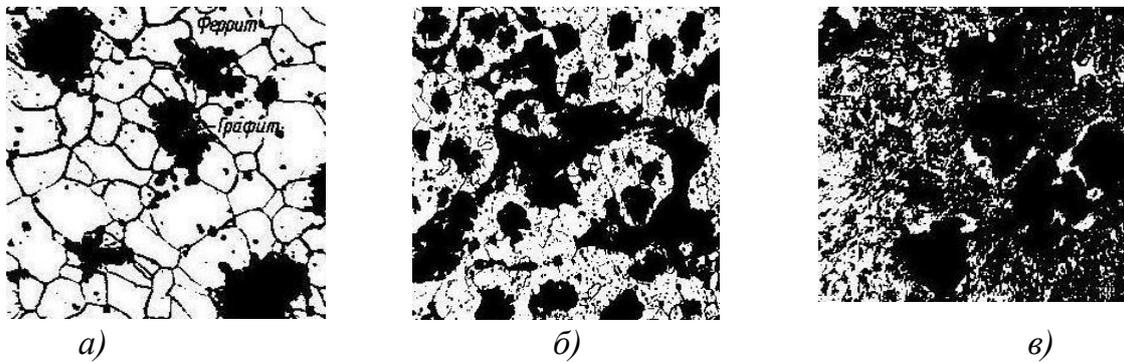
В ковких чугунах хлопьевидная форма графита (рис. 7.2, б) является более компактной в сравнении с пластинчатым графитом, поэтому вызывает меньшую концентрацию внутренних напряжений, следовательно, механические свойства ковких чугунов будут выше по сравнению с механическими свойствами серых чугунов. Прочность ковкого чугуна может меняться от 300 до 800 МПа (ГОСТ 26358-87). Кроме того, ковкий чугун более пластичен, чем серый. Относительное удлинение равно 2-15%.

В высокопрочных чугунах присутствующий шаровидный графит (рис. 7.2, в) меньше ослабляет металлическую основу и обеспечивает высокие механические свойства. Прочность этого чугуна 350 - 1000 МПа (ГОСТ 7293-85).

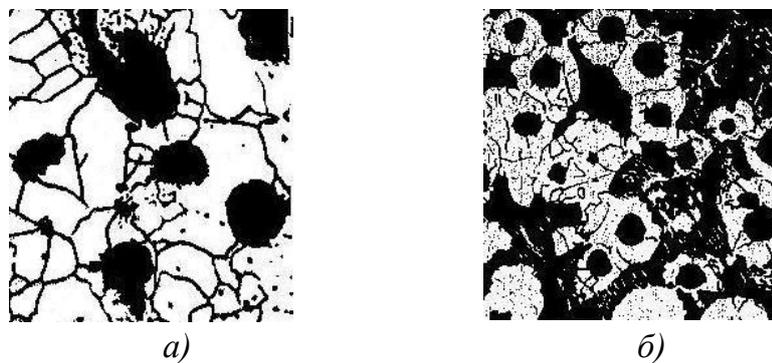
Кроме того, свойства серого, ковкого и высокопрочного чугунов определяются структурой металлической основы. Металлическая основа этих чугунов бывает ферритной, феррито-перлитной, перлитной (рис. 7.3, 7.4, 7.5). Чугуны на ферритной основе обладают несколько большей пластичностью, а чугуны на перлитной основе имеют несколько большую прочность.



*Рис.7.3. Микроструктуры серых чугунов:  
 а) серый чугун на ферритной основе;  
 б) серый чугун на феррито-перлитной основе;  
 в) серый чугун на перлитной основе*



*Рис.7.4. Микроструктуры ковких чугунов:  
 а) ковкий чугун на ферритной основе;  
 б) ковкий чугун на феррито-перлитной основе;  
 в) ковкий чугун на перлитной основе*



*Рис.7.5. Микроструктуры высокопрочных чугунов:  
 а) высокопрочный чугун на ферритной основе;  
 б) высокопрочный чугун на феррито-перлитной основе*

## Порядок выполнения работы

Первое, второе и третье задание студенты выполняют при подготовке к работе.

При выполнении третьего задания следует обратить внимание на фазовые превращения, протекаемые при получении ковких чугунов.

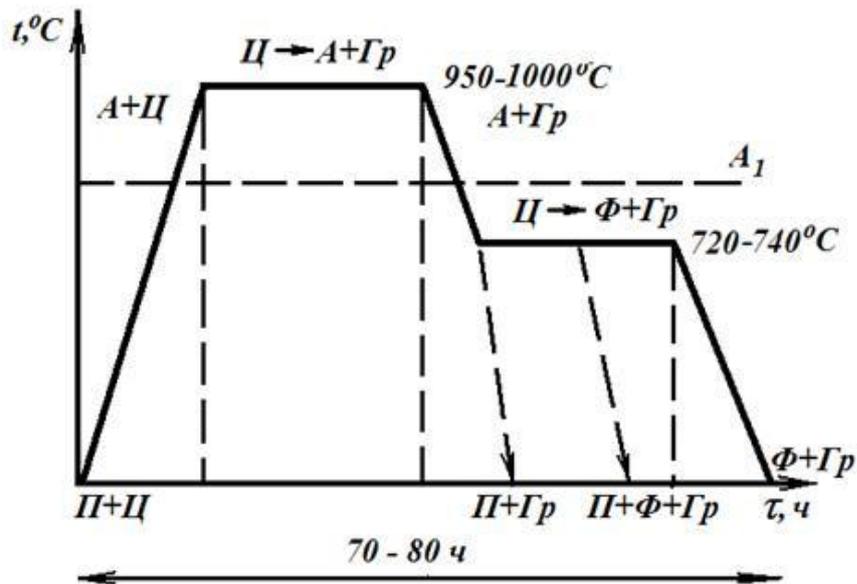


Рис. 7. 6. Получение ковких чугунов

Четвертое, пятое и шестое задания выполняется под руководством преподавателя бригадами по несколько человек. Каждая бригада работает с микроскопом МИМ-7, изучает и зарисовывает в квадрате 40x40 мм в виде схемы микроструктуры предложенных преподавателем комплекта микрошлифов.

Описание образцов в пятом и шестом задании производится в соответствии со шкалой 1А, 1В, 3А, 3В приложениями 3 ГОСТ 3443-87.

## Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Зарисованная схема получения ковких чугунов.

4. Рисунки микроструктур и их описание.
5. Список использованной литературы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какую микроструктуру имеют белые доэвтектические, эвтектические и заэвтектические чугуны?
2. Как получают ковкие чугуны на ферритной, феррито-перлитной и перлитных основах?
3. Какой серый чугун на ферритной, феррито-перлитной или перлитной основе обладает наибольшей прочностью и какой наибольшей пластичностью?
4. Определение формы включений графита в структуре чугуна с пластинчатым графитом.
5. Определение расположения включений графита в структуре чугуна с пластинчатым графитом.
6. Определение формы включений графита в структуре высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.
7. Определение расположения включений графита в структуре высокопрочного чугуна с шаровидным графитом.

### **Лабораторная работа N 8**

#### **МЕТАЛЛОГРАФИЯ МЕДИ И СПЛАВОВ НА ЕЕ ОСНОВЕ**

Цель работы: изучение микроструктуры меди и сплавов на ее основе

#### **Задания**

1. Используя литературные источники, изучить диаграммы состояния Cu-Zn, Cu-Sn.

2. Провести под микроскопом анализ структуры следующих сплавов: латуней ( $\alpha$ ,  $\alpha + \beta$ ), оловянистой бронзы Бр05 (литой и после деформации).

3. Определить с помощью металлографического анализа виды брака, возникающих при термической обработке, медных образцов.

4. Ответить на контрольные вопросы.

5. Составить отчет.

### Общие положения

Медные сплавы подразделяются на латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы.

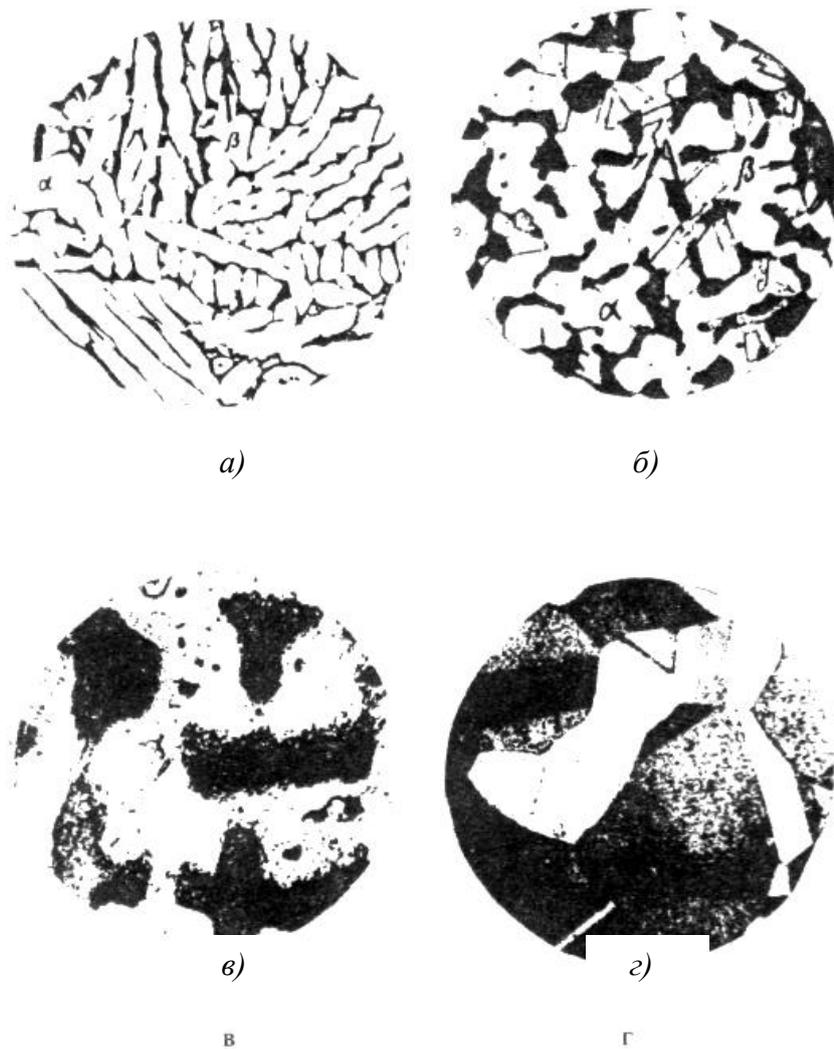
*Латуни* – сплавы меди с цинком содержат не более 45 % цинка с небольшим количеством других компонентов. Латуням присущи все положительные свойства меди (высокая электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость, пластичность) при более высокой прочности и лучших технологических свойствах.

В зависимости от числа компонентов различают простые (двойные) и специальные (многокомпонентные) латуни. Строение и свойства простых латуней зависят от содержания в них цинка.

Латуни, содержащие до 39 % цинка (Л90, Л80, Л68), имеют однофазную структуру ( $\alpha$ -раствор), представляют собой твердый раствор цинка в меди. Они не упрочняются при термической обработке, так как при нагревании до температуры плавления их структура не изменяется, такие латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состояниях.

Латуни, содержащие 40 – 45 % цинка (Л60, Л59, ЛЦ40Мц1,5), имеют двухфазную структуру ( $\alpha + \beta$ -раствор),  $\beta$ -фаза представляет собой твердый раствор на основе химического соединения CuZn (рис. 8.1). Латуни, имеющие двухфазную структуру, обладают повышенной твердостью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, но в холодном состоянии пластичность их невелика.

На рис. 8.1, *а* и *б* приведена микроструктура литейной латуни и латуни после деформирования.



*Рис. 8.1. Микроструктуры (x 100): а – литейная латунь ( $\alpha + \beta$ );  
 б – латунь ( $\alpha + \beta$ ) после деформирования; в – литейная бронза Бр05;  
 г – бронза после деформирования и рекристаллизации*

Применяются сложные латуни, в которые для изменения механических и химических свойств дополнительно вводят свинец, олово, кремний, алюминий (свинец улучшает обрабатываемость резанием ЛС59-1), олово повышает коррозионную стойкость (ЛО 60-1), кремний и алюминий повышают механические свойства (ЛК 80-3, ЛА77-2).

По технологическим признакам различают литейные и деформируемые латуни.

*Бронзы* – это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием (в настоящее время бронзами называют все спла-

вы меди, кроме латуней и медно-никелевых сплавов). По химическому составу бронзы делятся на оловянные и безоловянные (специальные), а по технологическим свойствам – на обрабатываемые давлением (деформируемые) и литейные.

Сплавы меди с оловом – *оловянные бронзы* (Бр010, БрО10Ф1) очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литейной оловянной бронзы (рис. 8.1, в) состоит из неоднородного твердого  $\alpha$ -раствора (твердого раствора олова в меди) и эвтектоида  $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ . Темные участки неоднородного твердого  $\alpha$ -раствора богаты медью, светлые – оловом, в эвтектоиде на светлом фоне соединения  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  видны темные точечные включения  $\alpha$ -фазы.

На рис. 8.1, г приведена микроструктура бронзы после деформирования и рекристаллизации.

В последнее время широко применяются безоловянные бронзы.

*Алюминиевые бронзы* содержат до 11 % алюминия (БрАЖ9-4, БрА10ЖЗМц2), для повышения механических свойств в них добавляют железо и никель.

В отожженном состоянии бронзы очень пластичны. Для повышения твердости проводят термическую обработку, которая состоит из закалки с 900 °С в воду и отпуска 650 °С. После закалки они имеют игольчатую структуру, состоящую из зерен  $\alpha$ - и  $\beta$ -твердых растворов. Алюминиевые бронзы имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

*Кремнистые бронзы* содержат до 3,0 % Si (БрКМц3-1). Они превосходят алюминиевые бронзы и латуни в прочности и стойкости в щелочных средах. Кремнистые бронзы легко обрабатываются давлением, резанием и свариваются.

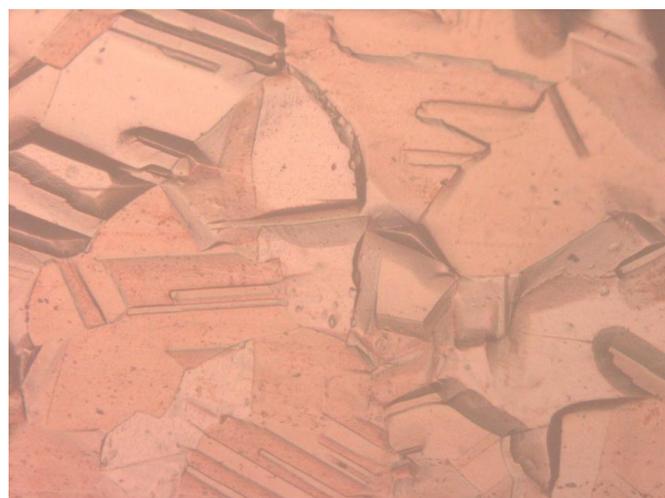
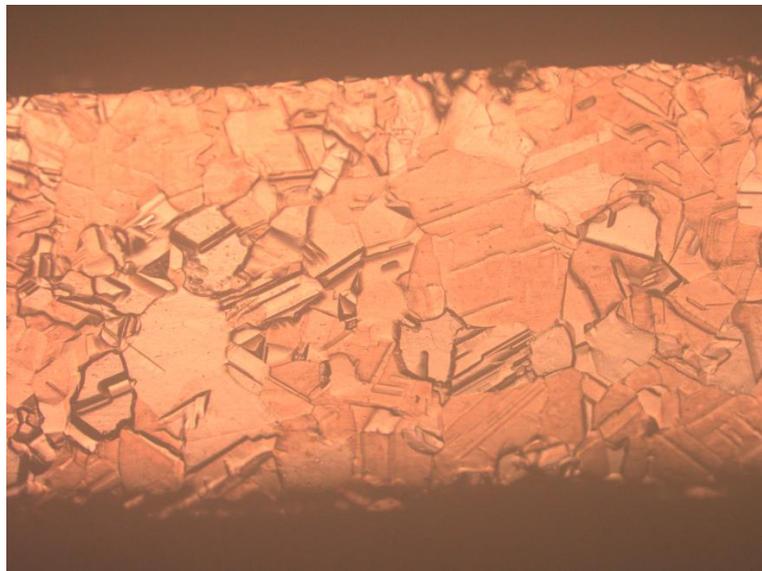
*Бериллиевые бронзы* содержат 1,8 ... 2,5 % Be (БрБ2), применяются в промышленности после упрочнения (закалка и отпуск).

*Свинцовистые бронзы* содержат 27... 33 % Pb (БрС30). Свинец практически не растворяется в жидкой меди. Структура обеспечивает ее высокие антифрикционные свойства.

*Медно-никелевые сплавы* выделяют в отдельную группу. Данные сплавы могут использоваться в качестве конструкционных (МН19, МНЦ15-20) и электротехнических (МНМц40-1,5) материалов.

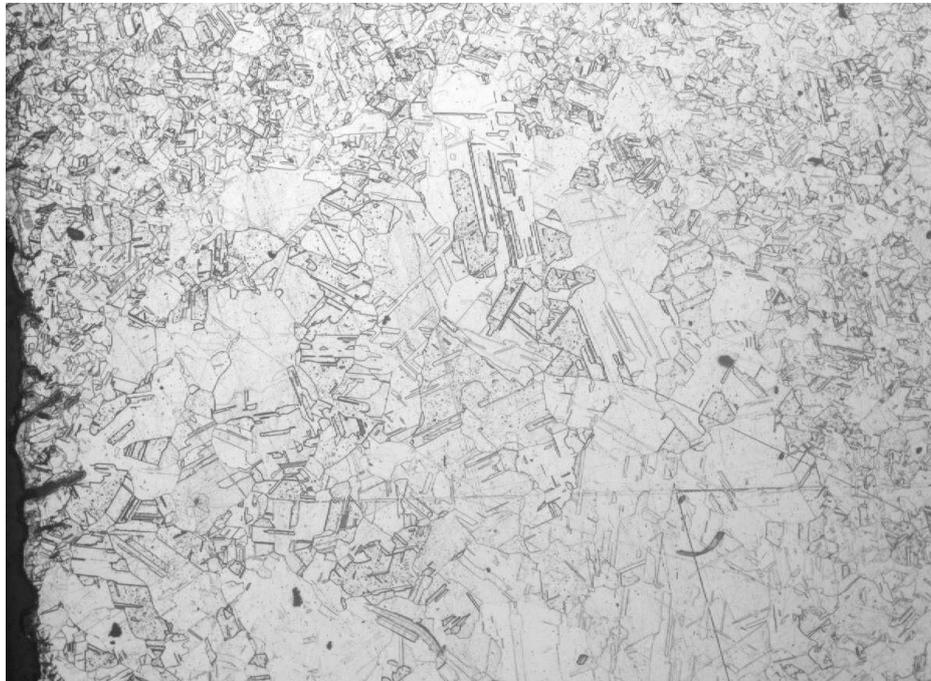
В результате термической обработке возможно образование различного рода дефектов. Металлографическое исследование образцов из меди и её сплавов позволяет определить такие дефекты, как перегрев, пережог, разнотеренность.

Пережог (рис.8.2) – неисправимый дефект, возникающий при значительном завышении температуры. Иногда наблюдается оплавление по границам зерен. Механические свойства сильно занижены. При дальнейшей обработке происходит разрушение по границам зерен.



*Рис.8.2. Пережог в структуре меди*

Разнозеренность (рис.8.3) – дефект, наблюдаемый в структуре после рекристаллизационного отжига. Нежелателен из-за существенной анизотропии свойств рекристаллизованных деталей, что, безусловно, влияет на эксплуатационные характеристики изделия.



*Рис. 8.3. Микроструктура меди М06 после рекристаллизационного отжига*

Как указывалось выше, причинами возникновения разнозеренности могут являться недостаточно сбалансированный химический состав, критические степени деформации или неравномерные деформации, отсутствие защитных атмосфер и некачественная термическая обработка.

### **Порядок выполнения работы**

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе.

Второе и третье задания выполняется под руководством преподавателя бригадами по несколько человек. Каждая бригада работает с микроскопом МИМ-7, изучает и зарисовывает в квадрате 40x40 мм в виде схемы микроструктуры двух комплектов микрошлифов.

## **Содержание отчета**

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Рисунки микроструктур и их описание.
4. Список использованной литературы.

## **Контрольные вопросы**

1. Каковы составы, структура латуней?
2. Каковы составы, структура бронз?
3. Какие виды дефектов термической обработки определяются металлографическим исследованием в изделиях, изготовленных из меди и ее сплавов?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная литература:*

1. Белихов А.Б. Основы практической металлографии [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Белихов А.Б., Белкин П.Н.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2013.— 56 с.— <http://www.iprbookshop.ru/18391>

2. Картонова Л. В. Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ/ Л. В. Картонова, В. А. Кечин. – Владимир: Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 2014. – 176 с. Издание на др. носителе: Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ [Электронный ресурс], ISBN 978-5-9984-0503-7.

3. Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие / К.А. Батышев, В.И. Безпалько; Под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 288 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-004821-5 <http://znanium.com/bookread2.php?book=397679>

4. Материаловедение и технология материалов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 397 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006899-2, <http://znanium.com/bookread2.php?book=413166>

### *Дополнительная литература:*

1. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами: Монография / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 468 с. - ISBN 978-5-16-009752-7. <http://znanium.com/bookread2.php?book=456122>

2. Материаловедение [Электронный ресурс]: учебное иллюстрированное пособие/ Е.Г. Зарембо. - М.: УМЦ ЖДТ, 2009. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9755999400475.html>

3. Материаловедение. Применение и выбор материалов [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Солнцев Ю.П., Борзенко

Е.И., Вологжанина С.А. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. –  
[http://www.studentlibrary.ru / book / ISBN9785938081406.html](http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785938081406.html)

4. Покрытия различного назначения для металлических материалов: Учебное пособие/ А.А.Ильин, Г.Б.Строганов, С.В.Скворцова - М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 144 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Совр. технол.: Магистратура). ISBN 978-5-98281-355-8, <http://znanium.com/bookread2.php?book=415572>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
<i>Лабораторная работа № 1.</i>	
Изучение металлографического микроскопа .....	4
<i>Лабораторная работа № 2.</i>	
Приготовление образцов для изучения микроструктуры с помощью светового микроскопа .....	12
<i>Лабораторная работа № 3.</i>	
Количественный металлографический анализ .....	15
<i>Лабораторная работа № 4.</i>	
Измерение микротвердости .....	19
<i>Лабораторная работа № 5.</i>	
Изучение влияния термической обработки на структуру углеродистых сталей .....	22
<i>Лабораторная работа № 6.</i>	
Металлография сварных швов .....	28
<i>Лабораторная работа № 7.</i>	
Изучение структуры чугуна с различной формой графита .....	33
<i>Лабораторная работа № 8.</i>	
Металлография меди и сплавов на ее основе .....	39
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	46