

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)**

Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине
«ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

для направления подготовки
140400 «Электроэнергетика и электротехника»
по профилю «Электроснабжение»

Составитель:
Л.В.Картонова

Владимир 2012

УДК 620.22

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
А.И. Елкин

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение» для направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электроснабжение»/ Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир, 2012 - 52 с.

Содержат методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электротехническое и конструкционное материаловедение».

Составлены по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение» (3 семестр) для направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электроснабжение».

Библиогр.: 14 назв.

УДК 620.22

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины "Электротехническое и конструкционное материаловедение" являются формирование знаний в области физических основ материаловедения, изучение объективных закономерностей зависимости свойств материалов, применяемых в технике, от их химического состава, структуры и условий эксплуатации, а также методов упрочнения для наиболее эффективного использования.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные общекультурные и профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС по направлению «Электроэнергетика и электротехника» к результатам освоения ООП ВПО.

Таблица 1

Результаты обучения (компетенции) выпускника ООП

Код	Результат обучения (компетенция) выпускника ООП
ОК-1	Способность к общению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
ОК-6	Способность в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, готовность приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения
ОК-7	Готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции
ОК-12	Способность и готовность к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики
ПК-2	Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ПК-6	Способность и готовность анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования
ПК-40	Готовность планировать экспериментальные исследования
ПК-43	Способность применять методы испытаний электрооборудования и объектов электроэнергетики и электротехники
ПК-44	Способность выполнять экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать результаты экспериментов
ПК-45	Готовность использовать технические средства испытаний технологических процессов и изделий

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать: основные группы современных материалов, их свойства и области применения; физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения и др.), их влияния на структуру, а структуры – на свойства современных металлических и неметаллических материалов (ОК-1, ПК-2);

уметь: обобщать и анализировать информацию; анализировать фазовые превращения при нагревании и охлаждении сплавов, пользуясь диаграммами состояния двойных систем (ОК-1, ПК-2); работать на световом микроскопе; выявлять на шлифах типичные структурные составляющие; проводить металлографический анализ промышленных сталей и чугунов, цветных металлов и сплавов; определять твердость и механические свойства при статических и динамических испытаниях; анализировать результаты этих испытаний для сравнительной оценки сплавов и неметаллических материалов (ПК-43, 44, 45);

владеть: практическими навыками исследования материалов (ПК-45).

Лабораторный практикум является формой групповой аудиторной работы в небольших группах для освоения практических навыков с целью формирования основных общекультурных и профессиональных компетенций (ОК - 1, 6, 7, 11, 12; ПК – 2, 3, 6, 40, 43, 44, 45), необходимых для освоения основной образовательной программы.

Таблица 2

Перечень работ лабораторного практикума

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Продолжительность
1.	Методы измерения твердости	2
2.	Микроструктурный анализ металлов и сплавов	2
3.	Пластическая деформация и рекристаллизация металлов и сплавов	2
4.	Диаграммы состояния двойных сплавов	2
5.	Микроструктурный анализ углеродистых сталей в равновесном состоянии	2
6.	Микроструктурный анализ чугунов	2
7.	Термическая обработка углеродистых сталей	2
8.	Микроструктурный анализ цветных металлов и сплавов	4
	Всего:	18

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение»" предназначены для выполнения лабораторных работ студентами направления для направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электроснабжение» и составлены так, чтобы, ознакомившись с целью работы и заданием, изучив рекомендуемую литературу, студенты могли самостоятельно выполнять работы.

На первом лабораторном занятии преподаватель знакомит студентов с задачами практикума, требованиями, предъявляемыми к отчетам по форме и содержанию. При необходимости преподаватель напоминает студентам некоторые теоретические положения, непосредственно относящиеся к выполняемым работам.

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.

При составлении лабораторных работ использован лабораторный практикум по материаловедению под редакцией А.В.Костина и В.А.Кечина.

Лабораторная работа N 1

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Цель работы: получить представление о твердости и методах ее измерения, научиться измерять твердость наиболее распространенными методами: Бринелля, Роквелла, Виккерса.

Задания

1. Ознакомиться с методами измерения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу, микротвердости.
2. Ознакомиться с устройством приборов и научиться измерять на них твердость.
3. Заполнить таблицу, построить график.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

Общие положения

Под твердостью понимают свойство поверхностного слоя материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при местных контактных воздействиях со стороны другого, более твердого тела (индентора) определенной формы и размера. Индентор – тело правильной геометрической формы (шар, конус, трех- и четырехгранная пирамиды) – изготавливается из прочных материалов: закаленной стали, твердого сплава или алмаза.

Очень важно правильно подготовить поверхностный слой образца. Чем меньше глубина вдавливания индентора, тем выше требуется чистота поверхности и тем более строго нужно следить, чтобы свойства поверхностного слоя не изменились вследствие наклепа или разогрева при шлифовании и полировке.

По характеру воздействия индентора на поверхность испытуемого материала различают:

- способ вдавливания, понимая под твердостью сопротивление вещества внедрению в него индентора (методы определения твердости по Бринеллю, Виккерсу, Роквеллу и др.);
- способ по отскоку наконечника – шарика, характеризует упругие свойства вещества (метод Шора);
- способ царапания поверхности, характеризует сопротивление разрушению путем среза (метод Мооса).

Наиболее распространенными методами измерения твердости являются методы Бринелля, Роквелла, Виккерса.

Метод Бринелля: в испытуемый металл под определенной постоянной нагрузкой P вдавливаются стальной закаленный шарик соответствующего диаметра D . Шарик оставляет на испытуемой поверхности отпечаток – лунку, размер которой зависит от твердости материала. Диаметр отпечатка d измеряют бинокулярной лупой, имеющей шкалу с делениями с точностью до сотых долей миллиметра. По формуле рассчитывают числа твердости в зависимости от диаметра отпечатка

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}.$$

Метод Бринелля не рекомендуется применять для сталей с твердостью более 450 HB, а для цветных металлов – более 200 HB. Область применения: определение твердости чугунов, пластичных сталей и цветных сплавов.

Метод Роквелла более универсален, так как позволяет испытывать металлы любой твердости, включая и твердые сплавы. Данный метод применим для определения твердости сравнительно тонких образцов. В качестве наконечника используют алмазный конус с углом при вершине 120° (шкала А и С) или стальной шарик диаметром 1,588 мм (шкала В).

Число твердости выражается формулой $HRC (HRA) = 100 - e$,

где $e = (h - h_0)/0,002$ мм (0,002 мм – цена деления шкалы индикатора прибора для испытания твердости по Роквеллу; h_0 – глубина вдавливания наконечника под действием предварительной нагрузки, h – глубина вдавливания наконечника под действием основной нагрузки).

Числа твердости при испытании определяются непосредственно отсчетом по шкале индикатора. Шкала В (красная) – применяется для измерения твердости пластичных и отожженных материалов, шкала С – для измерения твердости закаленных сталей, шкала А – для измерения твердости наиболее твердых материалов – твердых сплавов.

Метод Виккерса применяют при определении твердости поверхностных слоев (цементируемых, азотированных) и образцов материалов различной твердости в тонких сечениях. При измерении твердости в испытуемый материал вдавливаются под нагрузкой P четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине 136° .

Твердость по Виккерсу вычисляют по формуле, кгс/мм²:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}.$$

При определении твердости на приборе Виккерса измеряют длину диагоналей d с помощью измерительного микроскопа и по таблице определяют число твердости в зависимости от выбранной испытательной нагрузки.

Порядок выполнения работы

1. Измерить твердость на приборе Роквелла по шкале B образцов из различных марок углеродистых сталей и перевести ее в числа твердости по Бринеллю (используя переводную таблицу). Результаты измерения занести в табл. 1.1 рассчитать σ_B углеродистых сталей по формуле

$$\sigma_B = 0,36HB.$$

Таблица 1.1

Марка стали	Содержание углерода С, %	HRB				НВ	σ_B , кгс/мм ²
		I	II	III	сред.		
Армко-железо	0,02						
20	0,20						
30	0,30						
45	0,45						
60	0,60						

2. Построить график зависимости предела прочности от содержания углерода в сталях.

3. Измерить твердость предложенных образцов по методу Бринелля и определить их предел прочности. Результаты измерения занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Номер образца	Диаметр отпечатка d , мм	НВ	σ_B , кгс/мм ²

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Таблица с экспериментальными данными измерения твердости по Роквеллу и переводу их в числа твердости по Бринеллю, результаты расчета предела прочности углеродистых сталей.

3. График зависимости предела прочности от содержания углерода в сталях. Выводы.
4. Данные по твердости образцов, измеренных методом Бринелля.
5. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под твердостью?
2. Значение измерений твердости среди других способов определения механических свойств металлов и сплавов. Связь между твердостью и другими свойствами металлов.
3. Статические и динамические принципы измерения твердости.
4. Метод измерения твердости по Бринеллю, область применения.
5. Условия и организация измерений твердости по Бринеллю.
6. Метод измерения твердости по Роквеллу, область применения.
7. Метод измерения твердости по Виккерсу, область применения.
8. Измерение микротвердости.
9. Метод измерения твердости у крупных изделий.
10. Метод измерения твердости шариков шарикоподшипников.
11. Принцип подобия при измерении твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

Лабораторная работа N 2

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомиться с микроструктурным методом анализа металлов и сплавов и изучить взаимосвязь между структурой и механическими свойствами металлов и сплавов.

Задания

1. Используя литературу, ознакомиться с влиянием микроструктуры на механические свойства металлов и сплавов.
2. Освоить методику приготовления микрошлифов.
3. Ознакомиться с устройством микроскопа МИМ-7, принципом его работы, зарисовать схему хода лучей.
4. Изучить под микроскопом и зарисовать поверхности образцов после различных обработок. Определить увеличение микроскопа.

5. Измерить микроскопический объект при помощи окулярных и объективных микрометров.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

Под микроскопическим анализом (микроанализом) понимают изучение строения металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 50-2000 раз.

Задачи микроанализа:

- 1) Оценка формы и размеров кристаллических зерен металлов и сплавов;
- 2) определение формы и размеров неметаллических включений – сульфидов, оксидов и др.;
- 3) определение микропороков – микротрещин, раковин, пор и др.;
- 4) анализ изменения микроструктуры сплавов после термической, химико-термической обработки и обработки металлов давлением;
- 5) определение химического состава некоторых структурных составляющих по их характерной форме и окраске после применения избирательных травителей.

Для микроанализа из испытуемого материала вырезают образец и путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) доводят до такого состояния, когда при рассмотрении его в металлографический микроскоп выявляют неметаллические включения, мелкие поры, графит в чугуне (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.

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.

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.

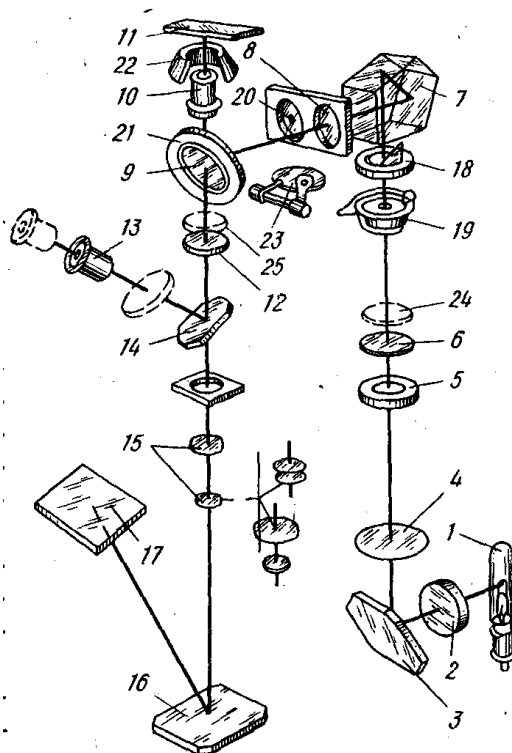


Рис.2.1. Оптическая схема и работа металлографического микроскопа МИМ-7:

- 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

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. Отра-

зившись 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 выдвиганием 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.

Порядок выполнения работы

Первое и второе задания студенты выполняют при подготовке к работе. Обратите внимание, что существенное влияние на свойства металлов и сплавов оказывают форма и размер неметаллических включений, неоднородность структуры.

Третье задание выполняется под руководством преподавателя всей группой.

Четвертое задание выполняется бригадами по 2-3 человека на металлографическом микроскопе МИМ-7. Каждая бригада получает комплект из 4 образцов сталей и чугунов:

1 - после шлифовки (сталь); 2 - после полировки (сталь); 3 - после полировки (чугун); 4 - после полировки и травления (сталь).

Установить шлиф на предметный столик микроскопа, рассмотреть и зарисовать наблюдаемую поверхность после различных видов обработки (в квадрате 40x40 мм), указать наличие и отсутствие неметаллических включений и характер их распределения.

Определить увеличение микроскопа, используя характеристики: фокусное расстояние, числовая апертура объектива и увеличение окуляра.

При выполнении пятого задания необходимо сначала определить цену деления окулярмикрометра:

1. Вставить окулярмикрометр и объектив.

2. На подкладку предметного столика поместить объективмикромметр таким образом, чтобы шкала с делениями находилась над объективом.

3. Вращением макроскопического и микроскопического винтов навести на фокус шкалу объективмикромметра.

4. Вращением окуляра совместить шкалу окулярмикромметра со шкалой объективмикромметра, установив параллельно штрихи обеих шкал.

5. Определить, в какое число делений окулярмикромметра укладывается шкала объективмикромметра (если она полностью укладывается в поле зрения микроскопа) или в какое число делений окулярмикромметра укладывается определенное количество делений шкалы объективмикромметра (если она полностью не уменьшается в поле зрения микроскопа).

6. Определить цену деления шкалы окулярмикромметра $C_{ок}$ по формуле

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

где $C_{об} = 0,01 \text{ мм}$ – цена деления шкалы объективмикромметра;

$A_{об}$ - число совмещенных делений объективмикромметра;

$A_{ок}$ - число совмещенных делений окулярмикромметра.

Например, шкала объективмикромметра укладывается на 25 делениях шкалы окулярмикромметра. 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 окулярмикромметра.
3. Измерить микроскопический объект, т.е. определить, сколько делений шкалы окулярмикромметра занимает объект.
4. Определить величину измеряемого объекта, для чего полученное число делений шкалы окулярмикромметра, которое занимает объект, умножить на цену деления окулярмикромметра.

Например, объект занимает 6 делений шкалы окулярмикромметра.

Цена деления окулярмикромметра $0,04 \text{ мм}$.

Величина измеряемого объекта $6 \cdot 0,04 = 0,24 \text{ мм}$.

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Оптическая схема микроскопа МИМ-7 со спецификацией основных элементов схемы.

3. Микроструктуры шлифованного, полированного и травленых микрошлифов стали и чугуна с необходимыми объяснениями, увеличение микроскопа.

4. Результаты измерения микроскопических объектов.

5. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Каковы задачи и область применения микроструктурного анализа?

2. Методика приготовления шлифов.

3. Принципиальная оптическая схема микроскопа МИМ-7.

4. Максимальное увеличение микроскопа. Разрешающая способность микроскопа.

5. Что собой представляют границы зерен?

6. Оценка зерна в металлах и сплавах с помощью окуляра и объективмикрометра.

7. Влияние размеров зерна на механические свойства металлов и сплавов.

8. Влияние разнотерности на механические свойства металлов.

9. Влияние формы неметаллических включений и характера распределения на механические свойства.

Лабораторная работа N 3

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: определить влияние холодной пластической деформации и последующей термообработки на структуру и механические свойства металлов и сплавов.

Задания

1. Используя литературные источники, изучить влияние упругой и пластической деформации на изменение структуры металлов и сплавов на микро- и субмикроуровнях, а также наклепа на изменение физических, химических и механических свойств.

2. Определить влияние степени холодной пластической деформации λ %, на твердость α -латуни и построить график зависимости

$$HV = f(\lambda).$$

3. Рассчитать температуру начала рекристаллизации для α -латуни, используя формулу А.А. Бочвара.
4. Изучить влияние отжига на прочность α -латуни.
5. Определить температуру рекристаллизационного отжига и области холодной и горячей обработки α -латуни.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

Явление упрочнения металла при холодной пластической деформации называется наклепом, изменяются не только механические, но и физические, химические свойства: увеличивается электросопротивление, снижается магнитная проницаемость, понижается коррозионная стойкость.

Пластическая деформация приводит металл в структурно неустойчивое состояние. При нагреве деформированного металла происходят явления возврата и рекристаллизации, возвращающие металл в равновесное состояние.

Снятие искажений решетки в процессе нагрева деформированного металла называется *возвратом*, или *отдыхом*. При этом уменьшается плотность дислокаций в результате их взаимного уничтожения (аннигиляция).

Дальнейшее повышение температуры приведет к тому, что беспорядочно расположенные внутри зерна дислокации собираются, образуя дислокационные стенки и создавая ячеистую структуру (процесс *полигонизации*), которая может быть устойчивой и может затруднить процессы, развивающиеся при более высокой температуре.

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

Температура начала рекристаллизации или температурный порог рекристаллизации может быть определен по формуле А.А. Бочвара:

$$T_{\text{рек}} = \alpha T_{\text{пл}},$$

где α – коэффициент, зависящий от состава и структурного состояния металла (для чистых металлов $\alpha = 0,1-0,2$; для металлов технической чистоты $\alpha = 0,3-0,4$; для сплавов $\alpha = 0,6-0,8$); $T_{\text{пл}}$ – температура плавления, К.

Первичная рекристаллизация характеризуется процессом образования новых, равноосных зерен вместо ориентированной волокнистой структуры деформированного металла. После завершения первичной рекристаллизации в процессе последующего нагрева происходит рост одних рекристаллизованных зерен за счет других (*собирательная рекристаллизация*).

Различают холодную и горячую деформации. Деформация, которая проводится ниже температуры рекристаллизации, называется холодной, она сопровождается наклепом. Деформация, осуществляемая выше температуры рекристаллизации, называется горячей, здесь упрочнение, вызванное пластической деформацией, снимается рекристаллизацией, протекающей при температурах деформации.

Порядок выполнения работы

1. Первое задание студенты выполняют дома, при подготовке к лабораторным работам.

2. Работа выполняется в следующем порядке. Группа студентов делится на бригады. Первая бригада измеряет штангенциркулем высоту недеформированного и деформированного образцов с точностью до 0,1 мм и рассчитывает степень деформации по формуле

$$\lambda = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100\%,$$

где H_0 – высота недеформированного образца; H_1 – высота деформированного образца.

Замеряется твердость по Роквеллу (HRB) недеформированного и деформированных образцов, результаты измерения заносятся в табл. 3.1, строится график зависимости $HRB = f(\lambda, \%)$.

Таблица 3.1

Номер образца	Материал	Высота образца, мм		Степень деформации $\lambda, \%$	Твердость HRB
		до деформации	после деформации		
1	Л80 (α –латунь)				
2					
3					
4					

3. Вторая группа студентов отжигает в печи образцы с наибольшей степенью деформации при $t = 200, 400, 600^\circ\text{C}$ в течение 20 минут и измеряет твердость по Роквеллу (HRB), результаты измерений заносит в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Номер образца	Материал	Температура, °С	Степень деформации λ , %	Твердость HRB
4	Л80 (α – латунь)	20		
4		200		
4		400		
4		600		

4. Рассчитать температуру начала рекристаллизации α -латуни (Л80, $t_{пл} = 1059$ °С) по формуле А.А. Бочвара: $T_{рек} = \alpha T_{пл}$.

5. Построить график зависимости: HRB $f(t_{отж})$ и определить ориентировочно температуру начала рекристаллизации α -латуни.

Содержание отчета

1. Задание и цель работы.
2. Табл. 3.1 с экспериментальными данными твердости деформируемой α -латуни. График зависимости твердости α -латуни (HRB) от степени деформации, λ %.
3. Расчет температуры начала рекристаллизации α -латуни (Л80).
4. Табл. 3.2 с экспериментальными данными по твердости отожженной α -латуни при $t = 200, 400, 600$ °С. График зависимости твердости от температуры отжига.
5. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Что такое упругая деформация металлов и сплавов? Физические методы определения упругой деформации.
2. Что такое пластическая деформация металлов и сплавов?
3. Диаграмма напряжение – деформация для пластичных и хрупких металлов. Характеристики пластической деформации для пластичных и хрупких материалов.
4. Как происходит пластическая деформация в моно- и поликристаллах? Текстура деформированных материалов.
5. Что такое дислокация и плотность дислокаций?
6. Какова плотность дислокаций в отожженных и наклепанных образцах?
7. Физическая сущность наклепа.
8. Как влияет наклеп на физические, химические и механические характеристики наклепанного материала?

9. Отдых и полигонизация. Изменение структуры, физических, химических и механических свойств металлов и сплавов.

10. Первичная рекристаллизация металлов и сплавов. Изменение физических, химических и механических свойств металлов и сплавов.

11. Вторичная рекристаллизация металлов и сплавов. Как влияет вторичная рекристаллизация на изменение механических свойств наклепанных материалов.

12. Критическая степень деформации.

13. Холодная и горячая обработка металлов и сплавов. Области применения.

Лабораторная работа N 4

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: научиться определять фазы и структуры в сплавах при различных температурах, устанавливать связь между диаграммой состояния (структурой) и механическими, технологическими свойствами сплавов.

Задания

1. Вычертить предложенную преподавателем диаграмму состояния, оставив рядом место для построения кривых охлаждения.

2. Определить образующиеся фазы и значение линий диаграмм состояния (ликвидус, солидус, линии полиморфных превращений, предельной растворимости избыточных фаз, эвтектического и перитектического превращения).

3. Написать реакции фазовых превращений, происходящих при постоянных температурах.

4. Определить структуры сплавов во всех областях диаграммы состояния. Для заданных сплавов построить кривые охлаждения и объяснить происходящие в них изменения. Для указанного сплава при данной температуре определить фазы, их химический состав и весовое количество.

5. Сравнить механические и технологические свойства сплавов с различной структурой.

6. Ответить на контрольные вопросы.

7. Составить отчет.

Общие положения

В промышленности широко применяются не чистые металлы, а их сплавы. Под сплавом понимается вещество, получаемое сплавлением двух

или более элементов. Различают следующие типы сплавов: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Общие закономерности сосуществования устойчивых фаз, отвечающих теоретическим условиям равновесия, могут быть выражены в математической форме, называемой *правилом фаз*, или *законом Гиббса*. Правило фаз дает количественную зависимость между степенью свободы системы и количества фаз и компонентов:

$$C = K + П - Ф$$

где C – число степеней свободы (вариантность), т. е. число внешних и внутренних факторов, которое может изменяться без изменения числа фаз в системе;

K – количество компонентов (веществ, образующих систему);

$П$ – число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), воздействующих на систему;

$Ф$ – число фаз; фаза – это однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую свойства изменяются скачкообразно.

Так как в дальнейшем мы будем рассматривать влияние температуры (охлаждение или нагрев системы), то правило фаз можно записать следующим образом:

$$C = K + 1 - Ф$$

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава. Она показывает, как изменяется структура сплавов и температура фазовых превращений при изменении состава.

Между составом и структурой сплава, определяемой диаграммой состояния и свойствами сплава, существует определенная зависимость.

Сплавы эвтектического состава отличаются средней прочностью и пластичностью, но исключительно хорошими линейными свойствами, так как имеют высокую жидкотекучесть и очень малую усадку (поскольку кристаллизуются при постоянной температуре).

Твердые растворы однородны, а потому имеют повышенную прочность и пластичность,ковки, но имеют очень высокое электросопротивление и плохие литейные свойства.

Химические соединения устойчивы, тверды, но чрезвычайно хрупки. Переход сплава в однофазное состояние повышает пластичность, распад твердого раствора – понижает ее.

Коррозионная стойкость высока у чистых металлов, ниже – твердых растворов и наименьшая – у механических смесей.

Порядок выполнения работы

Для выполнения работы каждый студент получает диаграмму состояния, по которой выполняет все предложенные задания.

Пример построения кривой охлаждения представлен на рис.4.1.

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Диаграмма состояния (приложение 1).
3. Кривые охлаждения.
4. Список использованной литературы.

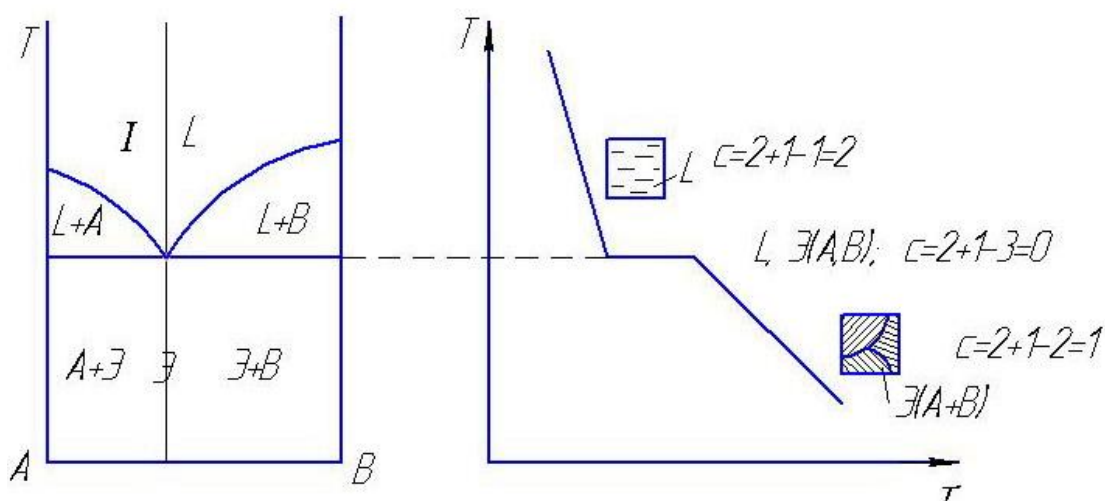


Рис. 4.1. Диаграмма состояния и кривая охлаждения сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов

Контрольные вопросы

1. Правило фаз.
2. Твердые растворы замещения, внедрения, упорядоченные.
3. Химические соединения и промежуточные фазы.
4. Линии и структуры в диаграмме состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов.
5. Диаграмма состояния сплавов, кристаллизующихся с образованием механической смеси из чистых компонентов.
6. Диаграмма состояния с ограниченной растворимостью компонентов и с эвтектикой.
7. Диаграмма состояния с перитектическими превращениями.
8. Диаграмма состояния с устойчивым химическим соединением.
9. Диаграмма состояния с полиморфным превращением.

10. Что такое эвтектическое и эвтектоидное превращение?
11. Правило отрезков.
12. Как определить химический состав (концентрацию) фаз, находящихся в равновесии в двухфазной области?
13. Диаграмма состояния с неустойчивым химическим соединением.

Лабораторная работа N 5

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы: изучить микроструктуру отожженной стали и установить связь между структурой и механическими свойствами.

Задания

1. Вычертить в масштабе диаграмму железо-цементит с указаниями температур фазовых превращений и концентраций углерода в особых точках, а также расставить кристаллические фазы и структурные составляющие, присутствующие в различных областях. Используя литературные источники, изучить свойства структурных составляющих сталей, а также классификацию сталей в соответствии с микроструктурой.
2. Построить схематично кривую охлаждения одного сплавов (сплав выдается преподавателем) с применением правила фаз. Описать превращения, происходящие при охлаждении сплавов из жидкого состояния до комнатной температуры. Схематично изобразить структуры на каждом участке кривой охлаждения.
3. Рассмотреть под микроскопом комплект шлифов. Определить по микроструктуре тип сплава. Изучить, зарисовать и описать структуру исследуемых сталей.
4. Для доэвтектоидных сталей определить (приблизительно) содержание углерода по микроструктуре и написать марку качественной стали.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

На рис. 5.1 приведена диаграмма фазового равновесия сплавов железо - углерод (железо – цементит).

Ось концентраций двойная: содержание углерода и содержание цементита. Линия $ABCD$ является ликвидусом системы, линия $АНЕССF$ – солидусом. Железо, кроме того, что образует с углеродом химическое соединение Fe_3C , имеет две аллотропические формы α и γ (до $911^\circ C$ атомы железа образуют объемно-центрированную кубическую решетку Fe_α , выше $911^\circ C$ гранецентрированную Fe_γ), поэтому в системе существуют следующие фазы:

жидкость (жидкий раствор углерода в железе) существует выше линии ликвидус и обозначается буквой L ;

цементит Fe_3C (линия $DFKL$) обозначается буквой $Ц$;

феррит - твердый раствор углерода в $Fe-\alpha$, обозначается буквой Φ ;

аустенит – твердый раствор углерода в $Fe-\gamma$, обозначается буквой A .

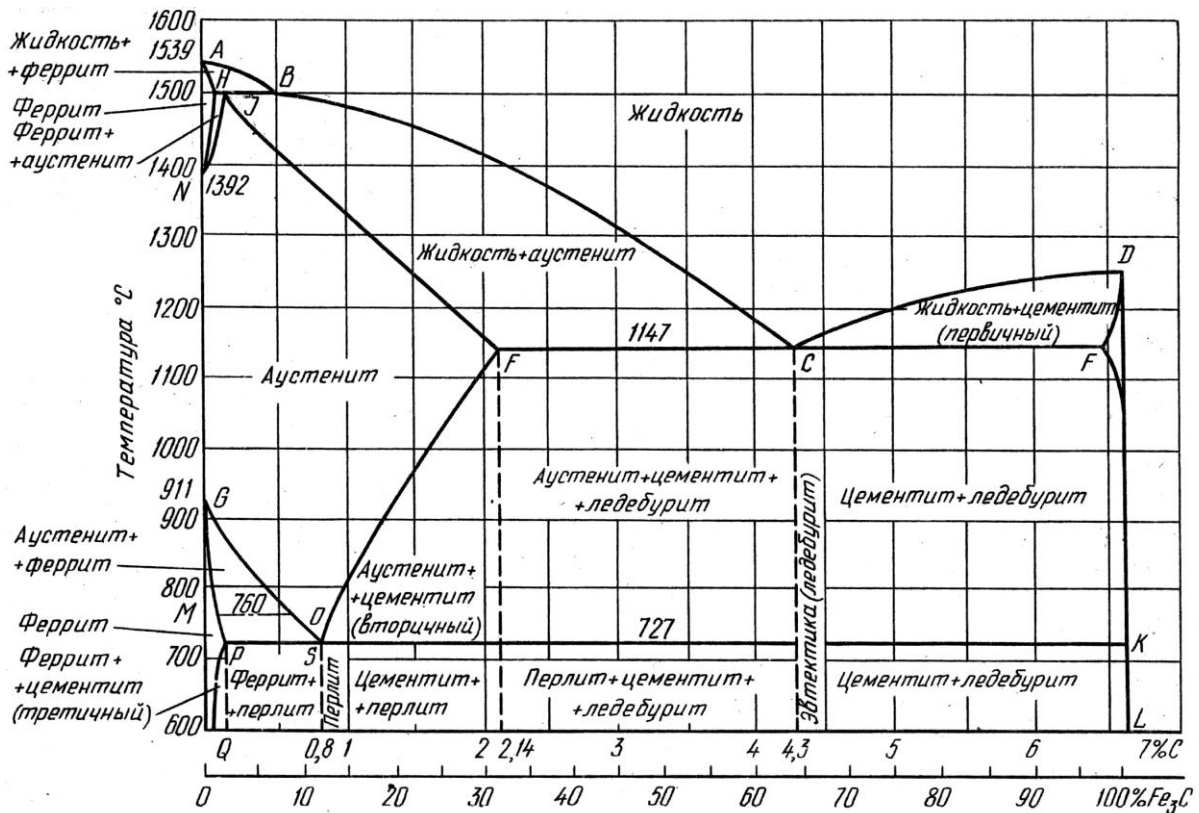


Рис.5.1. Диаграмма состояния железо-углерод

Область существования феррита расположена левее линии GPQ и $АНН$, а область существования аустенита – левее линии $НЕССG$.

Три горизонтальные линии на диаграмме (*HJB*, *ECF* и *PSK*) указывают на протекание трех невариантных реакций.

1) При 1499°C (линия *HJB*) протекает перитектическая реакция:

$L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$. В результате перитектической реакции образуется аустенит. Реакция эта наблюдается только у сплавов, содержащих углерода от 0,1 до 0,5 %.

2) При 1147°C (горизонталь *ECF*) протекает эвтектическая реакция:

$L_C \rightarrow A_E + \text{Ц}$. В результате данной реакции образуется эвтектическая смесь аустенита и цементита, называемая *ледебуритом*. Эта реакция протекает у всех сплавов, содержащих более 2,14% углерода.

3) При 727°C (горизонталь *PSK*) протекает эвтектоидная реакция:

$A_S \rightarrow \Phi_P + \text{Ц}$. В результате этой реакции образуется эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая перлитом.

Сплавы железа с углеродом, которые содержат до 2,14% углерода, называются сталями. В сталях, кроме феррита и цементита, имеется также эвтектоидная структурная составляющая пластинчатого строения - перлит; в сталях, содержащих до 0,025% углерода, перлитной составляющей нет.

По структуре в равновесном состоянии углеродистые стали разделяют на *доэвтектоидные* (содержащие менее 0,8 углерода), *эвтектоидные* (содержащие 0,8 углерода) и *заэвтектоидные* (содержащие более 0,8 углерода).

Доэвтектоидные стали после отжига имеют *структуру феррита и перлита*. Чем больше в доэвтектоидной стали углерода, тем больше в ее структуре перлита и тем выше прочность стали (одновременно с повышением прочности уменьшается пластичность). *Эвтектоидная сталь* после отжига состоит из *перлита*. Она прочная, твердая, но пластичность меньше, чем у доэвтектоидной. *Заэвтектоидные стали* после отжига имеют *структуру перлита и вторичного цементита*, который обычно располагается в виде сетки. При увеличении содержания углерода твердость заэвтектоидных сталей увеличивается, а прочность снижается из-за увеличения хрупкости. Именно поэтому на практике применяются стали содержащие менее 1,3% углерода.

Для повышения пластичности и улучшения обрабатываемости резанием заэвтектоидные стали подвергают специальному отжигу, при котором весь цементит выделяется в виде зерен. Эти зерна находятся в феррите. Такая зернистая смесь называется *зернистым перлитом*. Микроструктуры сталей приведены ниже.

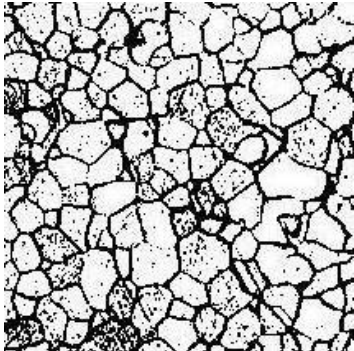
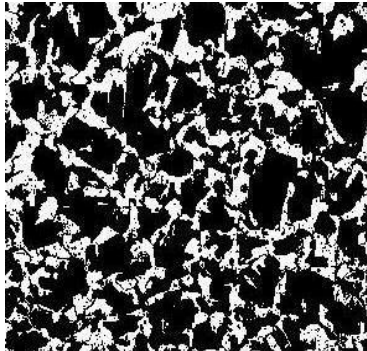

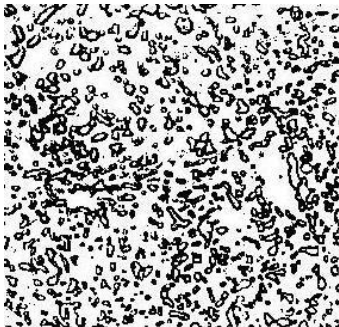
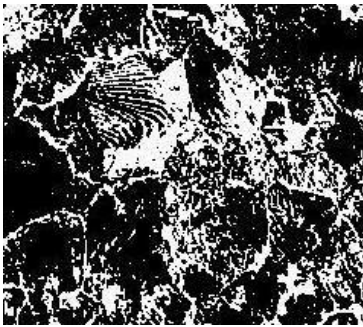
Арко-железо (феррит)		Доэвтектоидная сталь (феррит и перлит)	
			
Эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит)	Эвтектоидная сталь (зернистый перлит)	Заэвтектоидная сталь (перлит и цементит)	
			

Рис.5.2. Микроструктуры углеродистых сталей

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется в порядке подготовки к лабораторной работе, при этом необходимо вычертить в масштабе диаграмму с указанием температур фазовых превращений и концентраций особых точек (Н, I, В, С, Р, Q, S). Указать кристаллические фазы и структурные составляющие в различных областях диаграммы.

При выполнении второго задания описать превращения, происходящие при охлаждении из состояния жидкого раствора до комнатной температуры. Указать конечные структурные составляющих сплава и схематично изобразить конечную структуру.

Третье задание выполняется бригадой по 2 - 3 человека. Студенты получают набор микрошлифов сталей с различным содержанием углерода. Изучив структуру шлифа под микроскопом, зарисовать ее в квадрате размерами 40x40 мм с указанием структурных составляющих и увеличения микроскопа. Дать описание строения и свойств структурных составляющих и указать класс стали.

По микроструктуре доэвтектоидных сталей (задание 4) определить содержание углерода. Принимая феррит за чистое железо (практически), можно считать, что весь углерод в доэвтектоидных сталях находится в перлите.

Например, пусть 50% всей площади рассматриваемого под микроскопом шлифа занято перлитом и 50 % - ферритом. Тогда содержание углерода в сталях можно определить из пропорции: 100 % перлита - 0,8 %, 50 % перлитата - X%.

$$X = \frac{50 \cdot 0,8}{100} = 0,4\% .$$

Такое содержание углерода имеет сталь 40.

По результатам исследований сделать выводы о том, как меняется микроструктура стали от содержания углерода и как влияет содержание углерода на механические свойства.

Содержание отчета

1. Название, цель и задание.
2. Участок диаграммы железо - цементит в масштабе (область сталей).
3. Кривые охлаждения для указанных сталей с расстановкой фаз и числа степеней свободы. Пример построения кривой охлаждения приведен в приложении 2.
4. Рисунки микроструктур исследуемых сталей с описанием строения структуры, механических свойств. Применение этих сталей.
5. Расчет содержания углерода по микроструктуре (для доэвтектоидной стали).
6. Выводы о влиянии углерода на структуру и механические свойства стали.
7. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Какие сплавы железа с углеродом относятся к доэвтектоидным?
2. Что такое феррит и каковы его механические свойства?
3. Что такое перлит и каковы его механические свойства?
4. Что такое цементит и каковы его механические свойства?
5. Каково содержание углерода в перлите?
6. При какой температуре образуется перлит в стали?
7. Как влияет увеличение содержания углерода в стали на механические характеристики сталей?
8. Какую микроструктуру имеют доэвтектоидные стали и где они применяются?
9. Какую микроструктуру имеют заэвтектоидные стали и где они применяются?
10. Какова равновесная микроструктура сталей 20, 45, 60. У8, У12?

Лабораторная работа N 6

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ

Цель работы: изучить микроструктуру чугунов и установить связь между составом, условиями получения, структурой и свойствами.

Задания

1. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуру образцов белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Описать их структуру, условия и метод получения, механические свойства и применение.
2. Объяснить влияние формы и размеров графита на механические свойства чугунов.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Составить отчет.

Общие положения

Сплавы железа с углеродом, которые содержат более 2,14% углерода, называются чугунами. Кроме углерода, чугуны содержат повышенное количество кремния, марганца, серы и фосфора. 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. Чем больше углерода в доэвтектическом чугуне, тем больше содержание ледебурита. Эвтектический белый чугун состоит только из ледебурита. Заэвтектический чугун состоит из крупных пластин первичного цементита и ледебурита. Чем больше углерода в заэвтектическом чугуне, тем больше он содержит первичного цементита.

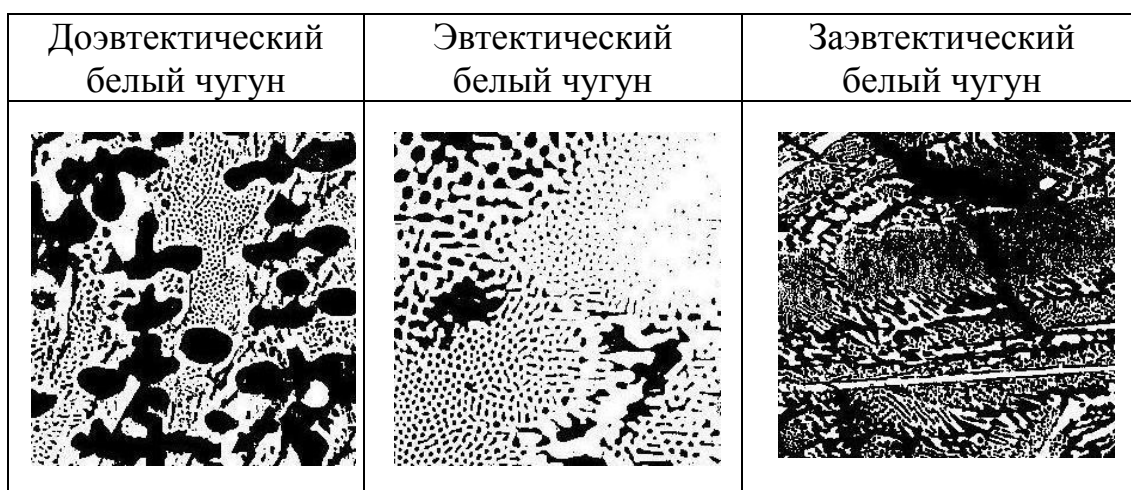


Рис.6.1 Микроструктуры белых чугунов

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, 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).

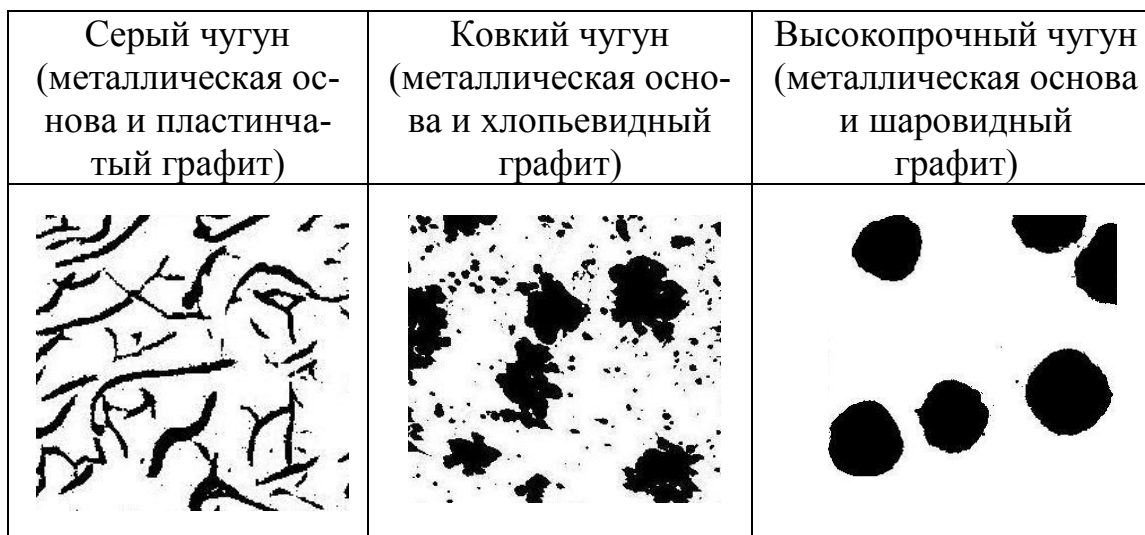


Рис.6.2. Микроструктуры чугунов

В ковких чугунах хлопьевидная форма графита 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 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. Чугуны на ферритной основе обладают несколько большей пластичностью, а чугуны на перлитной основе имеют несколько большую прочность.



Серый чугун на ферритной основе	Серый чугун на феррито- перлитной основе	Серый чугун на перлитной основе
		

Рис.6.3. Микроструктуры серых чугунов

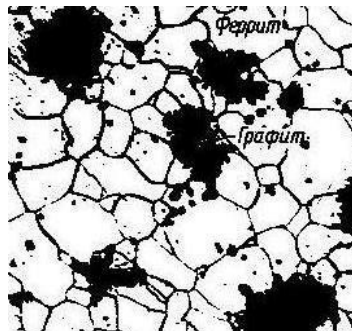
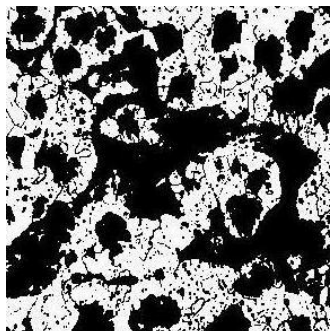
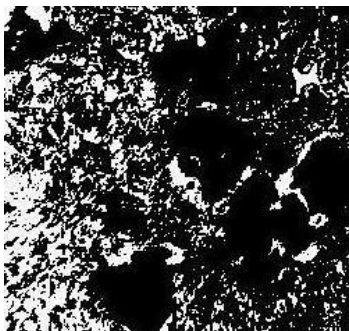
Ковкий чугун на ферритной основе	Ковкий чугун на феррито- перлитной основе	Ковкий чугун на перлитной основе
		

Рис.6.4. Микроструктуры ковких чугунов

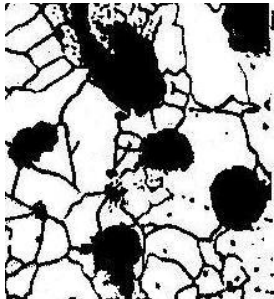
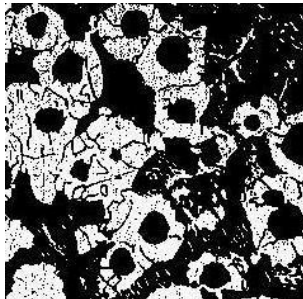
Высокопрочный чугун на ферритной основе	Высокопрочный чугун на феррито-перлитной основе
	

Рис.6.5. Микроструктуры высокопрочных чугунов

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется бригадами по 2 - 3 человека. Каждой бригаде выдается коллекция микрошлифов различных чугунов (белые, серые, ковкие, высокопрочные). Изучив микроструктуру шлифа, зарисовать ее в квадрате 40x40 мм с указанием структурных составляющих. Следует описать микроструктуру, механические свойства чугунов и их применение. Сравнить форму выделений графита в сером, ковком и высокопрочном чугунах.

Второе задание представляет собой выводы по результатам выполнения первого задания.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Рисунки микроструктур чугунов с необходимыми пояснениями.
3. Анализ влияния формы и размеров графитовых включений на механические свойства чугуна
4. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Какие сплавы железа с углеродом относятся к белым чугунам?
2. Какую микроструктуру имеют белые доэвтектические, эвтектические и заэвтектические чугуны?
3. Какие сплавы железа с углеродом относятся к серым чугунам?
4. Какой серый чугун на ферритной, феррито-перлитной или перлитной основе обладает наибольшей прочностью и какой наибольшей пластичностью?
5. Какие сплавы железа с углеродом относятся к ковким чугунам и как их получают?
6. В каком диапазоне изменяется предел прочности на растяжение и относительное удлинение ковких чугунов?
7. Какие сплавы железа с углеродом относятся к высокопрочным чугунам и как их получают?

Лабораторная работа N 7

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: изучить влияние термической обработки (отжиг, нормализация, закалка и отпуск) на твердость и структуру углеродистых сталей.

Задания

1. Выбрать по диаграмме Fe-Fe₃C и обосновать температуру нагрева под полную и неполную закалку сталей 45, У12 и нормализацию для стали 45.
2. Провести полную и неполную закалку сталей 45, У12 и нормализацию стали 45.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Составить отчет.

Общие положения

Термическая обработка (ТО) - это обработка металлов и сплавов, находящихся в твердом состоянии, путем нагрева, выдержки и охлаждения.

Операциями термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск. Отжиг и нормализация - это чаще всего предварительная ТО, заключается в подготовке структуры к последующим операциям механической обработки, либо окончательной ТО.

Закалка с последующим отпуском являются наиболее распространенным видом окончательной ТО для углеродистых сталей.

При закалке сталь нагревают до аустенитного или аустенитно-карбидного состояния, выдерживают в течение времени, необходимого для завершения фазовых превращений, и охлаждают со скоростью выше критической для получения мартенситной структуры.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. При полной закалке сталь нагревают до температур однофазной аустенитной области (рис.) на 30 - 50°C выше линии A₃ и A_{ст}. Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей. Микроструктура после полной закалки этих сталей будет состоять из мелкоигльчатого мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита.

Микроструктура заэвтектоидных сталей после полной закалки состоит из крупноигльчатого мартенсита и повышенного количества остаточного аустенита. Это объясняется тем, что нагрев этих сталей до температур, на 30 - 50°C превышающих линию A_{ст}, приводит к сильному росту зерна аустенита и увеличению содержания углерода в аустените (за

счет растворенного цементита). Большое зерно аустенита приводит к получению крупноигльчатого мартенсита, а повышенное содержание углерода в аустените - к получению большого процента остаточного аустенита вследствие снижения температуры точек M_H и M_K .

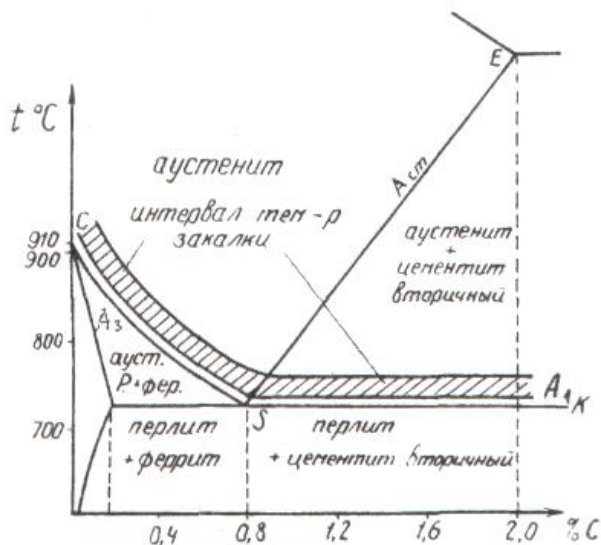


Рис. 7.1. Участок диаграммы Fe-Fe₃C (нанесены температуры закалки)

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

При неполной закалке заэвтектоидную сталь нагревают до температур между линиями $A_{ст}$ и A_1 , т.е. до двухфазного состояния аустенит плюс цементит.

При последующем охлаждении аустенит превратится в мартенсит. Цементит должен быть в виде мелких равномерно распределенных по объему зернышек. Это обеспечивается предварительной термической обработкой - отжигом на зернистый перлит. Если же перед закалкой микроструктура стали состояла из пластинчатого перлита и замкнутой сетки цементита, то после неполной закалки сетка цементита сохраняется. Сталь, имеющая в своей структуре мартенсит, остаточный аустенит и замкнутую сетку цементита, будет хрупкой. Итак, для заэвтектоидных сталей следует рекомендовать неполную закалку как обеспечивающую более высокие эксплуатационные свойства и экономически более выгодную.

Доэвтектоидные стали при неполной закалке нагревают до температур, лежащих между линиями A_3 и A_1 , т.е. до структуры аустенит плюс феррит. При последующем быстром охлаждении аустенит перейдет в мартенсит, а феррит останется без изменения. Микроструктура доэвтектоидной стали после неполной закалки представляет собой мелкоигльчатый

мартенсит, феррит и остаточный аустенит. Сталь, имеющая такую структуру, будет мягкой и недостаточно прочной.

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.

Двойная операция (закалка с высоким отпуском) называется улучшением, так как после такой термической обработки сталь приобретает наиболее благоприятное сочетание механических свойств: высокую вязкость и пластичность.

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется всей группой вместе с преподавателем. Для выполнения 2-го, 3-го и 4-го пунктов задания группа студентов разбивается на 4 бригады.

Первая бригада замеряет твердость образцов стали 45 и У12 в исходном состоянии на приборе Роквелла (шкала HRB). Определяет сечение образцов и выбирает время выдержки при нагреве под закалку и нормализации из расчета 1 мин на 1 мм диаметра и толщины (для углеродистых сталей).

Вторая бригада проводит нормализацию стали 45 и полную закалку сталей 45 и У12. Образцы поместить в лабораторную печь, предварительно нагретую до заданной температуры, выдержать и охладить в воде или на воздухе. Замерить твердость образцов после закалки (шкала HRC), после нормализации (шкала HRC).

Третья бригада выполняет неполную закалку сталей 45 и У12 по аналогии со вторым заданием. Результаты измерений занести в табл. 7.1. Проанализировав полученные данные, записать в таблицу предполагаемые микроструктуры.

Таблица 7.1

Марка стали	Микроструктура в исходном состоянии	Твердость в исходном состоянии	Вид операции	Температура нагрева, °С	Время, мин	Охлаждающая среда	Твердость после ТО, HRC	Микроструктура после ТО
45								
45								
У12								
У12								
45								

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Заполненная табл.7.1.
3. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Как и из каких соображений выбирают температуру под закалку сталей?

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

Лабораторная работа N 8

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучение микроструктуры и свойств цветных сплавов, установление связи между структурой сплава и соответствующей диаграммой.

Задания

1. Зарисовать диаграммы фазового равновесия следующих систем Cu-Zn (до 50 % Zn), Cu-Sn (до 30 % Sn), Al-Si.
2. Провести под микроскопом анализ структуры следующих сплавов: латуней (α , $\alpha + \beta$), оловянистой бронзы Бр05 (литье, отжиг), силумина АЛ2 до и после модифицирования, титановых сплавов, баббита (Б83).
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Составить отчет.

Общие положения

Цветные сплавы широко используются в промышленности.

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 (α), представляют собой твердый раствор цинка в меди. Такие латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Латуни, содержащие 40-45 % цинка (Л60, Л59, ЛЦ40Мц1,5), имеют двухфазную структуру ($\alpha + \beta$), β - 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.

Однофазные латуни состоят из зерен однофазного твердого α - раствора. Они не упрочняются при термической обработке, так как при нагревании до температуры плавления их структура не изменяется. Повысить прочность однофазных латуней можно только при холодной деформации.

Неодинаковая окраска зерен под микроскопом возникает вследствие анизотропии.

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 (ЛЮ 60-1), кремний и алюминий повышают механические свойства (ЛК 80-3, ЛА77-2).

Бронзы - это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием (в настоящее время бронзами называют все сплавы меди, кроме латуней и медно-никелевых сплавов). По химическому составу бронзы делятся на оловянистые и безоловянистые (специальные), а по технологическим свойствам – на обрабатываемые давлением (деформируемые) и литейные.

Сплавы меди с оловом - *оловянистые бронзы* (Бр 010) очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литой оловянистой бронзы (рис.22) состоит из неоднородного твердого α -раствора (твердого раствора олова в меди) и эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$. Темные участки неоднородного твердого α -раствора богаты медью, светлые - оловом, в эвтектоиде, на светлом фоне соединения $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ видны темные точечные включения α -фазы.

В последнее время оловянистые бронзы заменяются более дешевыми и прочными алюминиевыми бронзами.

Алюминиевые бронзы содержат до 11% алюминия, 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°C в воду и отпуска 650°C. После закалки они имеют игольчатую структуру, состоящую из зерен α и β твердых растворов. Алюминиевые бронзы

имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

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

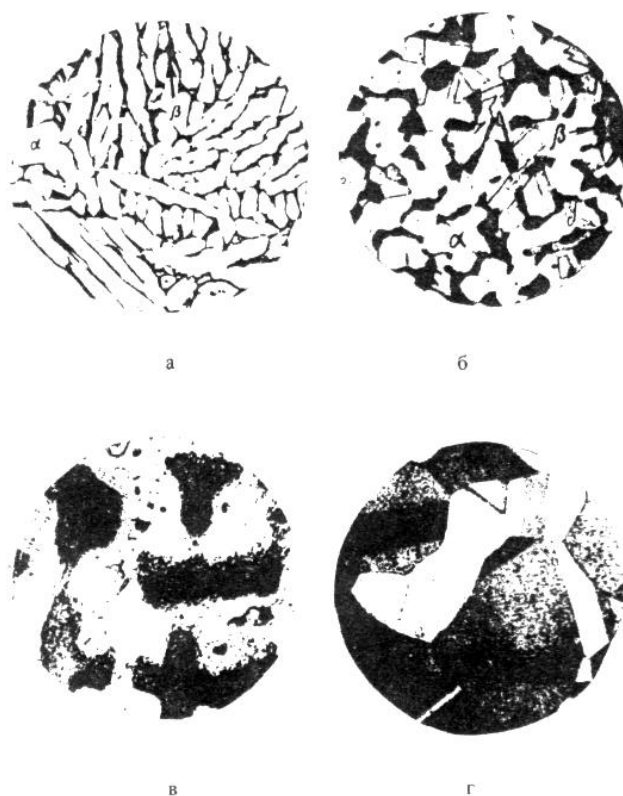


Рис.8.1. Микроструктуры (x 100): а - литая латунь Л59 ($\alpha+\beta$); б - латунь ($\alpha+\beta$) после деформирования; в - литая бронза Бр05; г - бронза после деформирования и рекристаллизации

Бериллиевые бронзы содержат 1,8...2,5 % Be (Бр Б2), применяются в промышленности после упрочнения (закалки и отпуска).

Свинцовистые бронзы содержат 27...33 % Pb (Бр С30). Свинец практически не растворяется в жидкой меди. Структура обеспечивает ее высокие антифрикционные свойства.

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

Алюминиевые сплавы классифицируются по технологии изготовления (деформируемые, литейные и спеченные (порошковые)), по способности к термической обработке (упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой), по свойствам (сплавы повышенной пластичности, низкой прочности, нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и др.).

Типичными представителями деформируемых сплавов на алюминиевой основе являются дюралюминий (Д1, Д16) и литейных - силумин АЛ2.

Силумины литейные сплавы на основе алюминия с кремнием (4...13 %, иногда до 23 % Si) и некоторыми другими элементами (медь, марганец, магний, цинк, титан, бериллий). Сплавы, содержащие до 11,3 % Si, являются доэвтектическими и имеют структуру из первичных кристаллов α – раствора (кремния в алюминии) и эвтектики ($\alpha + \text{Si}$). При более высокой концентрации кремния (заэвтектические сплавы) в структуре сплавов кроме эвтектики присутствуют первичные кристаллы кремния в виде пластинок.



Рис.8.2. Микроструктура алюминиевого сплава АЛ2, х 250:

а - литой немодифицированный:

α -твердый раствор и β -кремнистая фаза игольчатой формы;

б - модифицированный: α -твердый раствор и эвтектика тонкого строения

Силумины обычно модифицируют натрием, который в виде хлористых и фтористых солей вводят в жидкий сплав в виде 2-3 % от массы сплава. Натрий сдвигает эвтектическую точку в системе Al - Si в сторону больших содержаний кремния.

Обычный силумин содержит 12-13 % Si и по структуре является заэвтектическим, но если перед самой отливкой внести в сплав незначительное количество хлористых и фтористых солей натрия, то структура резко изменится. Сплав становится доэвтектическим. При модифицировании температура выделения кремния и кристаллизации эвтектики понижается. Так как кристаллизация происходит при более низких температурах, следовательно, продукты кристаллизации становятся более мелкозернистыми. Измельчение структуры и отсутствие первичных выделений хрупкого кремния улучшают механические свойства.

Дюралюминий (дюралюмин) – сплав шести компонентов: алюминия, меди, магния, марганца, кремния и железа. Указанный сплав можно причислить к сплавам системы Al – Cu – Mg, кремний и железо являются постоянными примесями. Перечисленные компоненты образуют ряд раство-

римых соединений (CuAl_2 , фаза S, Mg_2Si) и нерастворимых соединений (железистые и марганцовистые соединения). Структура дюралюмина в отожженном состоянии состоит из твердого раствора и вторичных включений различных интерметаллидных соединений.

Дюралюмин относится к сплавам, в которых не происходят полиморфные превращения при нагреве. Поэтому они могут подвергаться упрочняющей термической обработке, состоящей из закалки с последующим естественным и искусственным старением.



*Рис.8.3. Микроструктура оловянистого баббита Б83:
 α -твердый раствор темного фона, SnSb в виде крупных кристаллов*

Антифрикционные сплавы (баббиты) применяются для заливки вкладышей подшипников скольжения различных машин. Они должны быть одновременно и твердыми для уменьшения коэффициента трения, и мягкими, давая возможность вкладышу прирабатываться к валу. Для этого им придают структуру, состоящую из мягкой основной массы и твердых кристаллов (рис. 8.3). Подшипниковые сплавы должны иметь, кроме того, не слишком низкую температуру плавления, обладать хорошей теплостойкостью, а также не быть дорогими.

Наиболее высокими качествами обладает баббит марки Б83 (83% Sn, 11% Sb и 6% Cu). Структура сплава состоит из темной пластичной основы α -фазы (твердого раствора сурьмы и меди в олове), светлых твердых частиц крупных кубических кристаллов Sn-Sb и мелких игл

Порядок выполнения работы

Первое задание студенты выполняют при подготовке к лабораторной работе, при этом необходимо зарисовать соответствующую диаграмму состояния.

При выполнении второго задания построить кривую охлаждения для сплавов и указать все происходящие превращения. На основании этого можно представить схему ожидаемой структуры данного сплава в стабильном состоянии.

Провести анализ структуры коллекции сплавов (в соответствии с третьим заданием) под микроскопом.

Описать структурные составляющие сплавов, указать марки сплавов, их механические свойства и примерное назначение изучаемых сплавов.

Содержание отчета

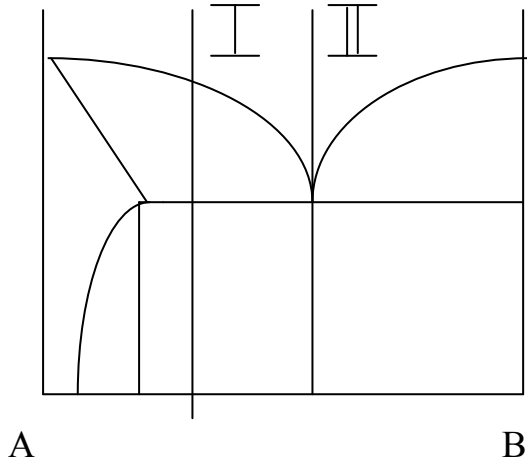
1. Название, цель работы и задание.
2. Диаграммы состояния цветных сплавов.
3. Кривые охлаждения заданных сплавов с описанием превращений, происходящих в сплавах при охлаждении.
4. Рисунки микроструктур с описанием структурных составляющих, свойств и применения изучаемых сплавов.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

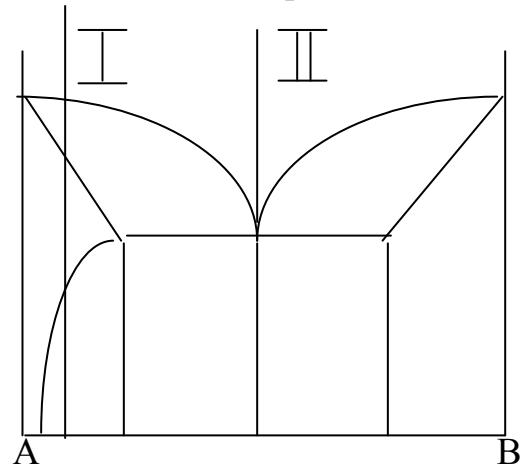
1. Каковы составы, структура, маркировка и применение латуней?
2. Каковы составы, структура, маркировка и применение бронз?
3. Какая термообработка проводится для бронз?
4. Какие алюминиевые сплавы применяются для изготовления отливок?
5. Как повышают прочность литейных алюминиевых сплавов?
6. Какие алюминиевые сплавы и по каким режимам упрочняются термообработкой?
7. Как классифицируются магниевые сплавы?
8. Каковы структура, свойства, маркировка и применение титановых сплавов?
9. Какие сплавы применяются в качестве антифрикционных материалов?

Приложение 1

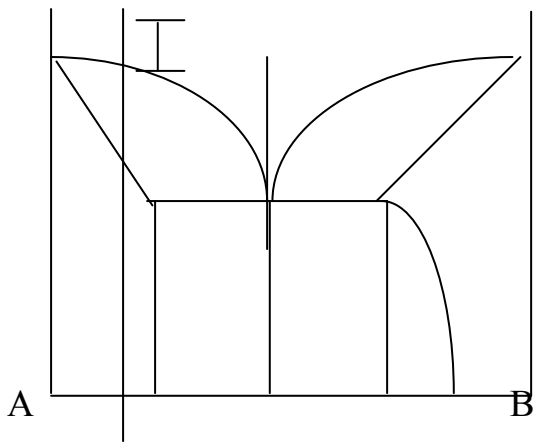
Вариант 1



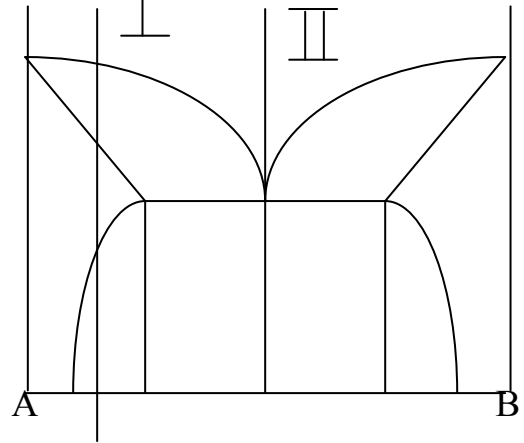
Вариант 2



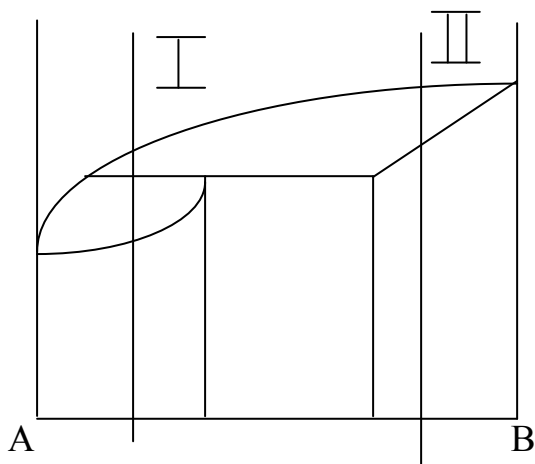
Вариант 3



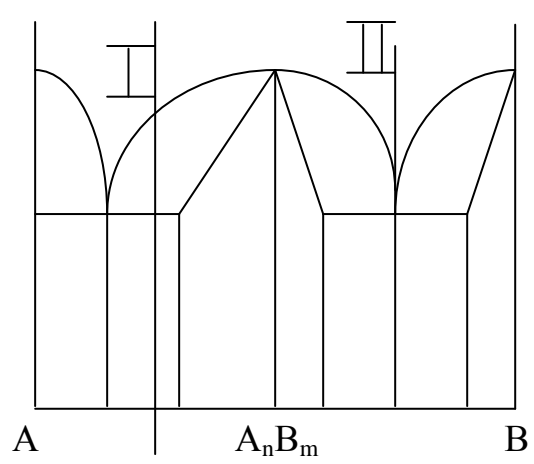
Вариант 4



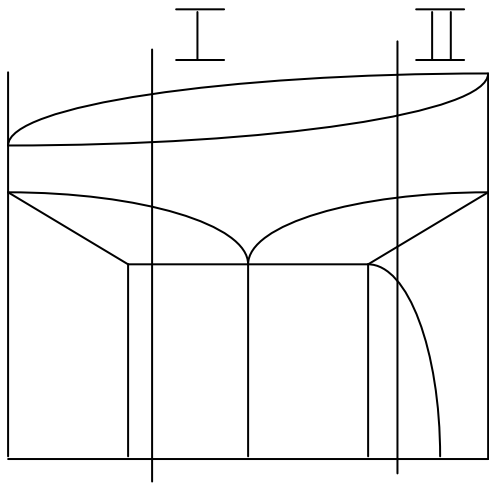
Вариант 5



Вариант 6



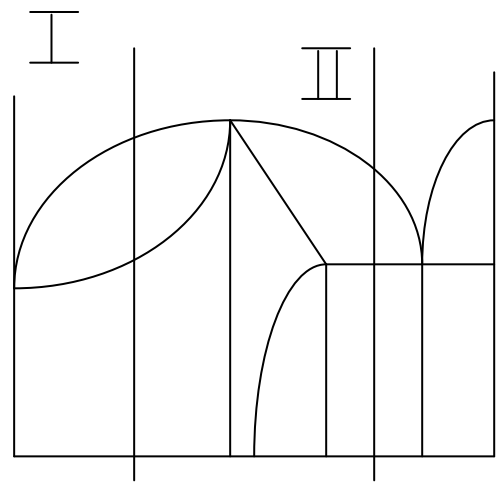
Вариант 7



A

B

Вариант 8

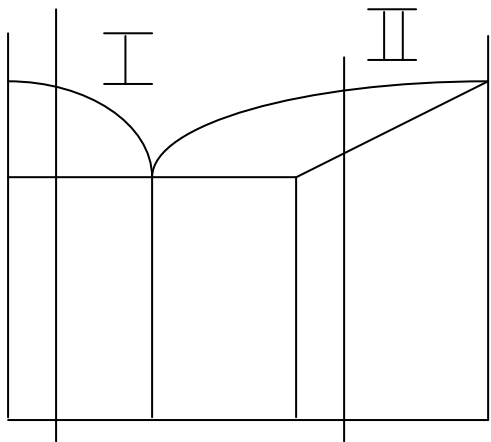


A

$A_n B_m$

B

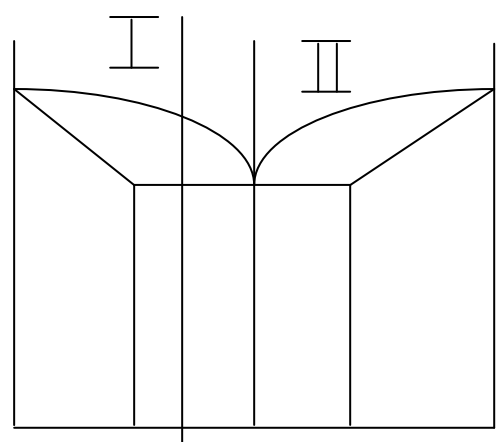
Вариант 9



A

B

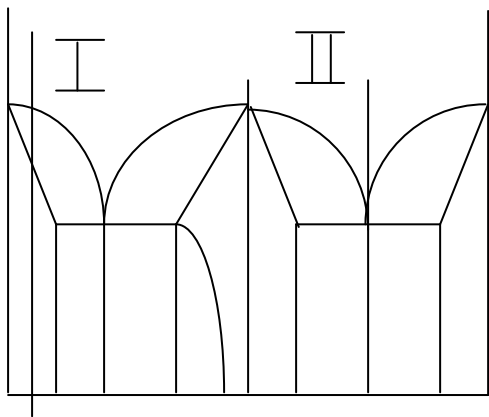
Вариант 10



A

B

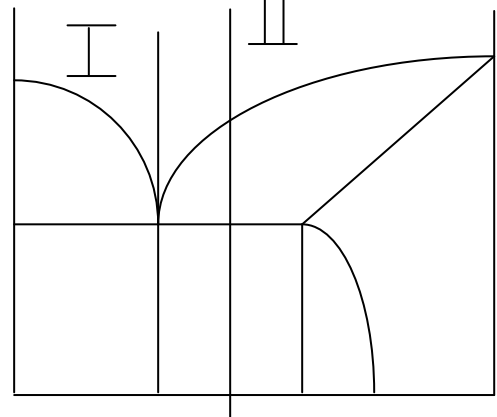
Вариант 11



A

B

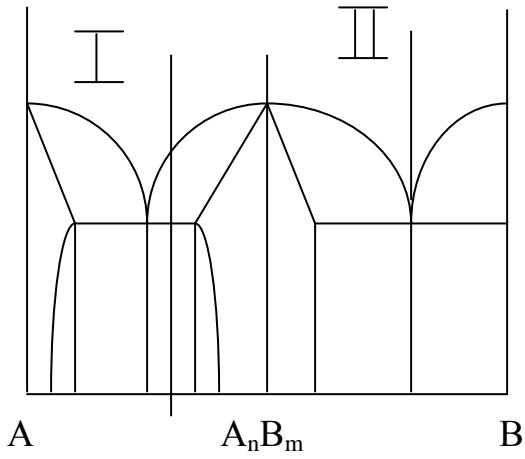
Вариант 12



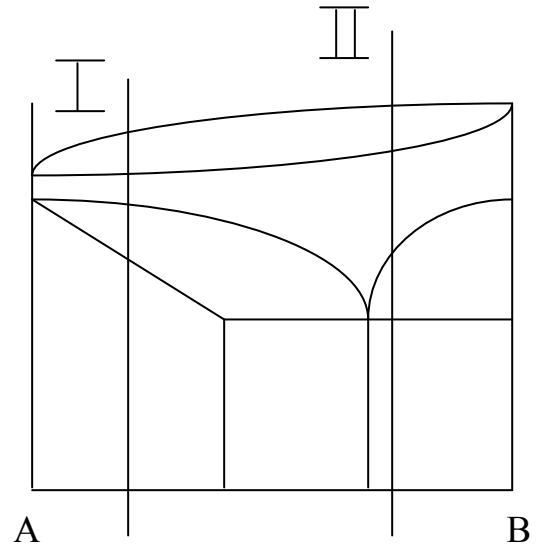
A

B

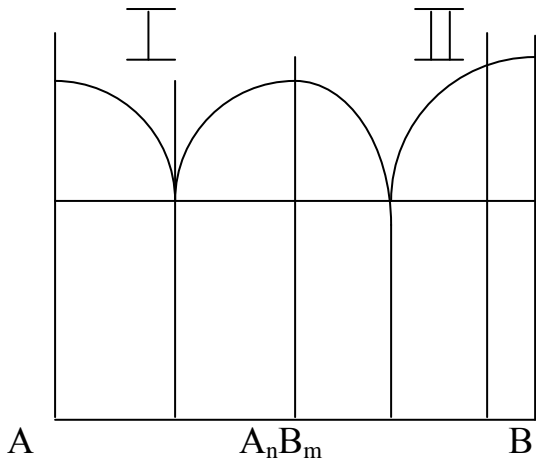
Вариант 13



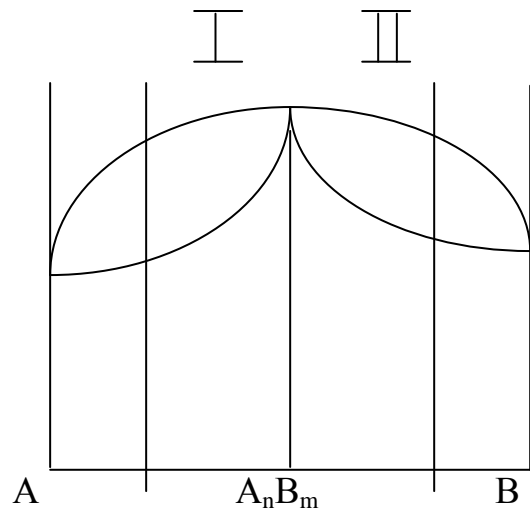
Вариант 14



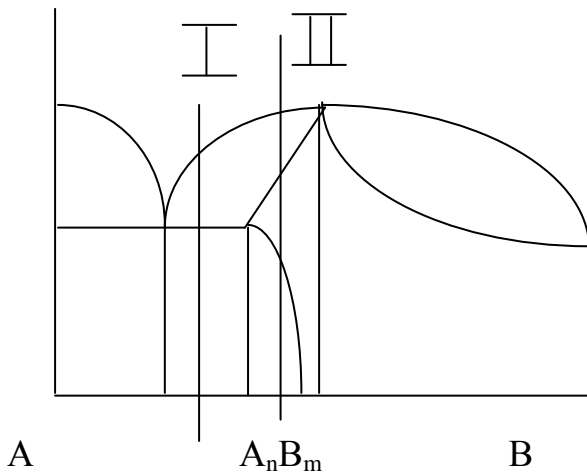
Вариант 15



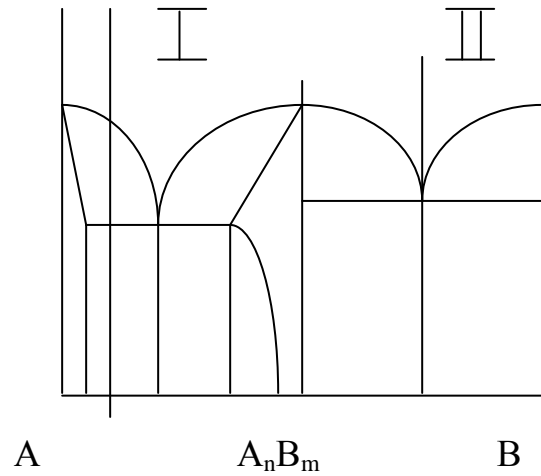
Вариант 16



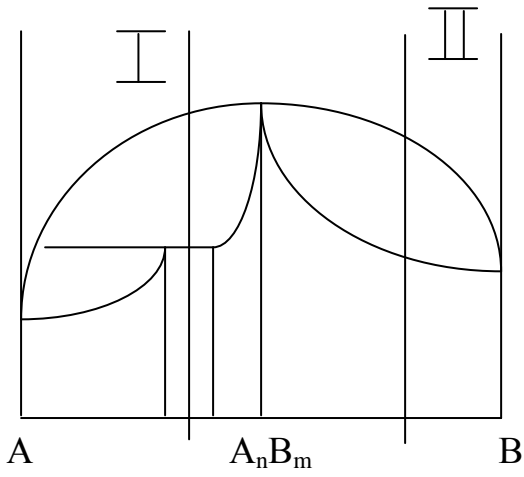
Вариант 17



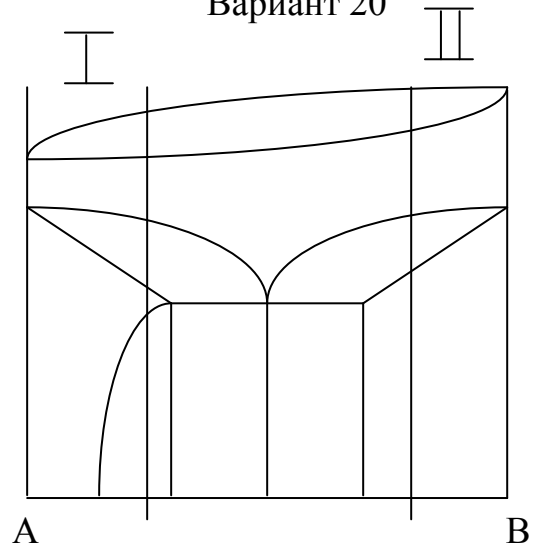
Вариант 18



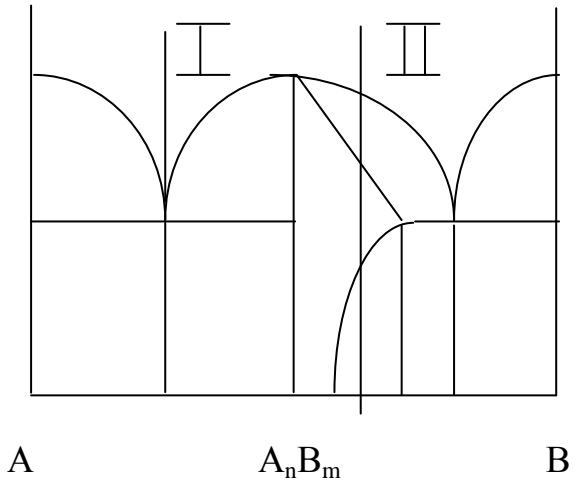
Вариант 19



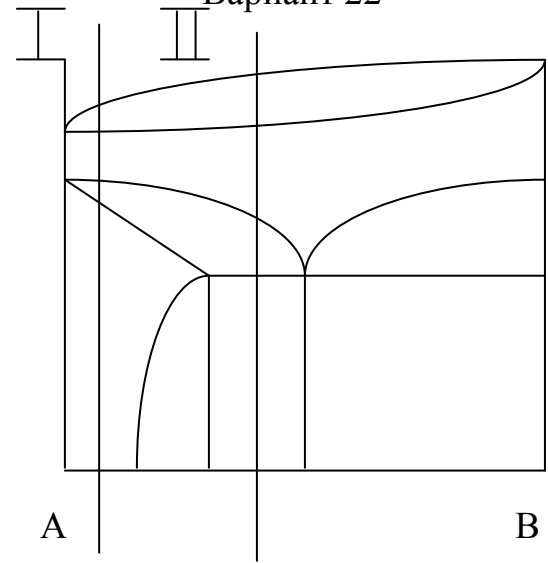
Вариант 20



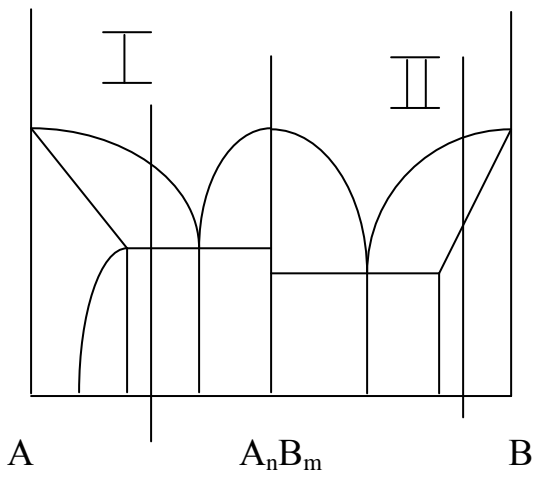
Вариант 21



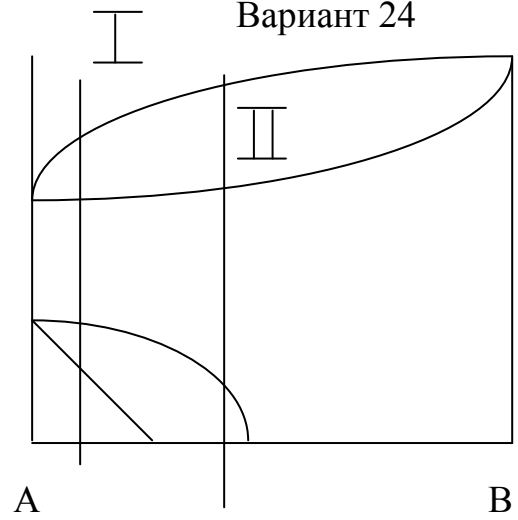
Вариант 22



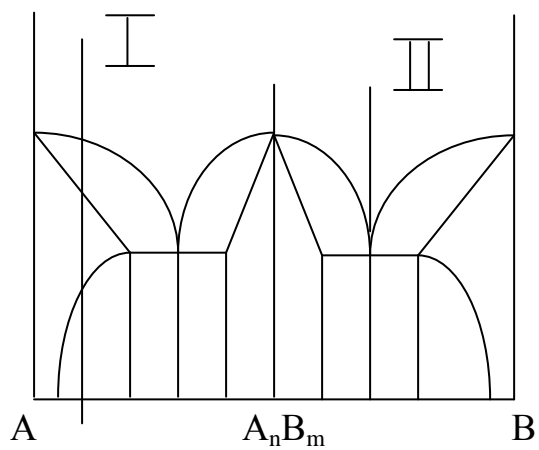
Вариант 23



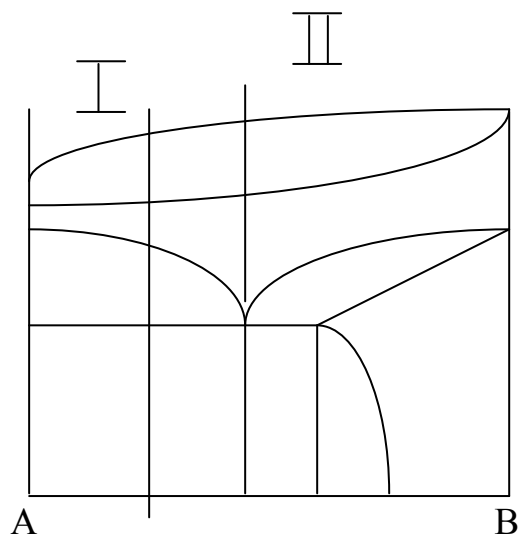
Вариант 24



Вариант 25

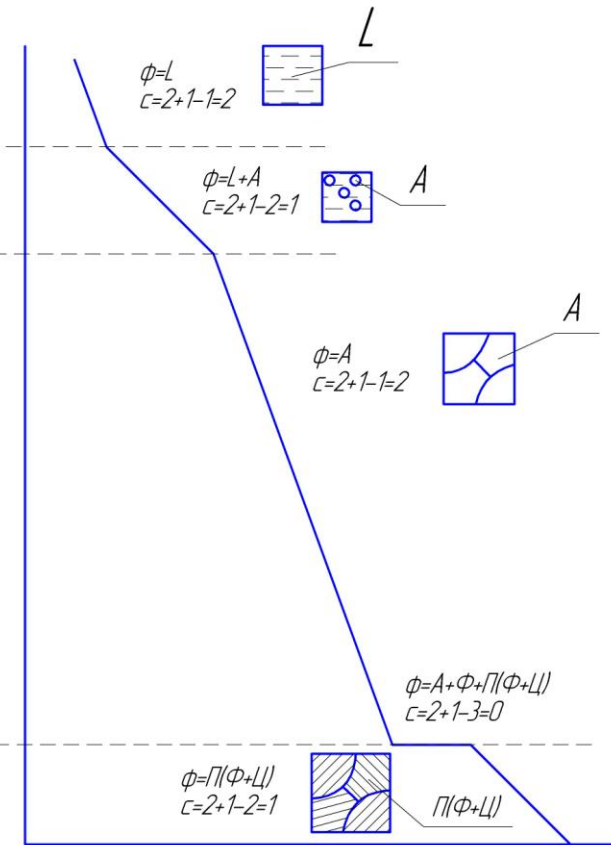
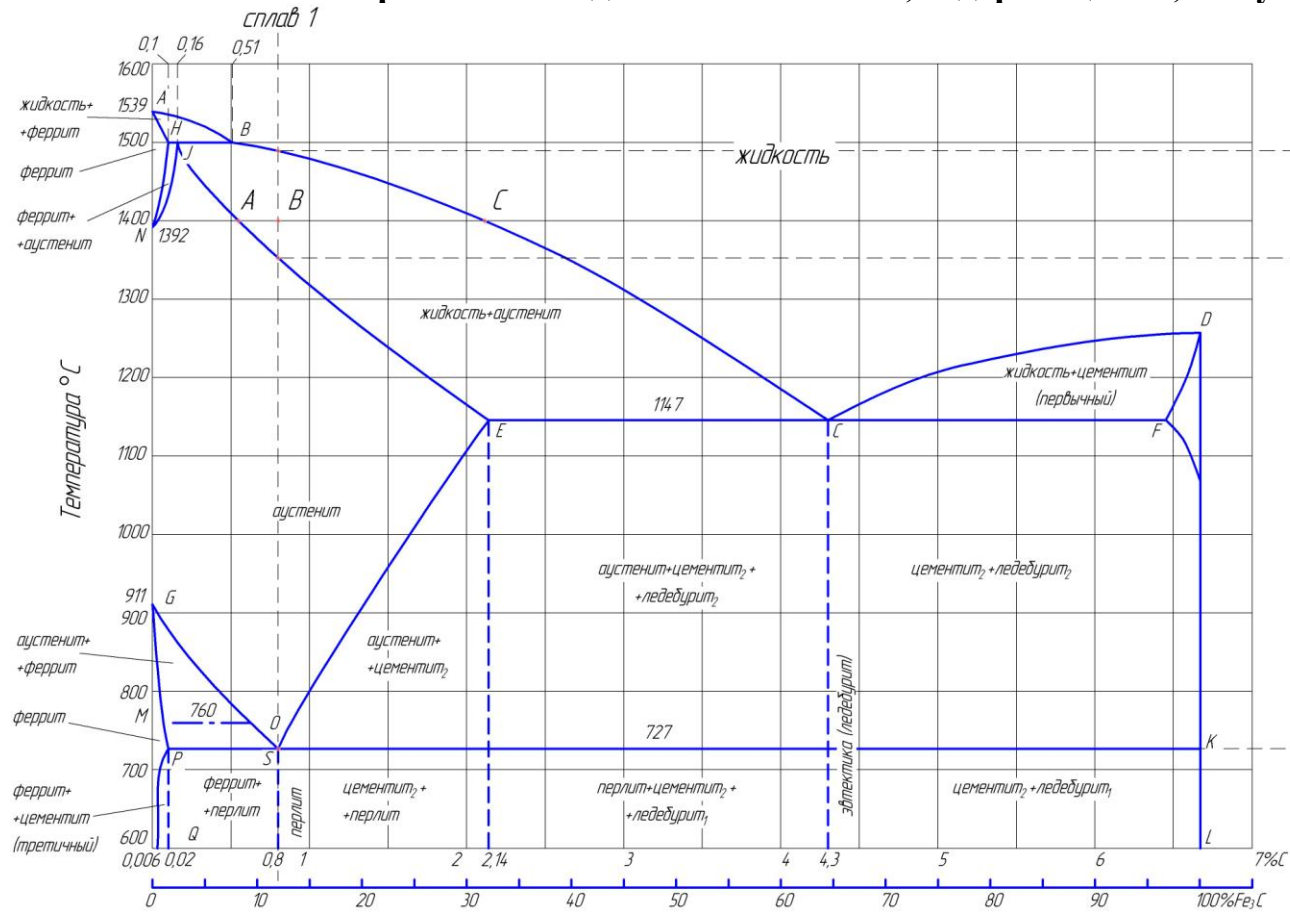


Вариант 26



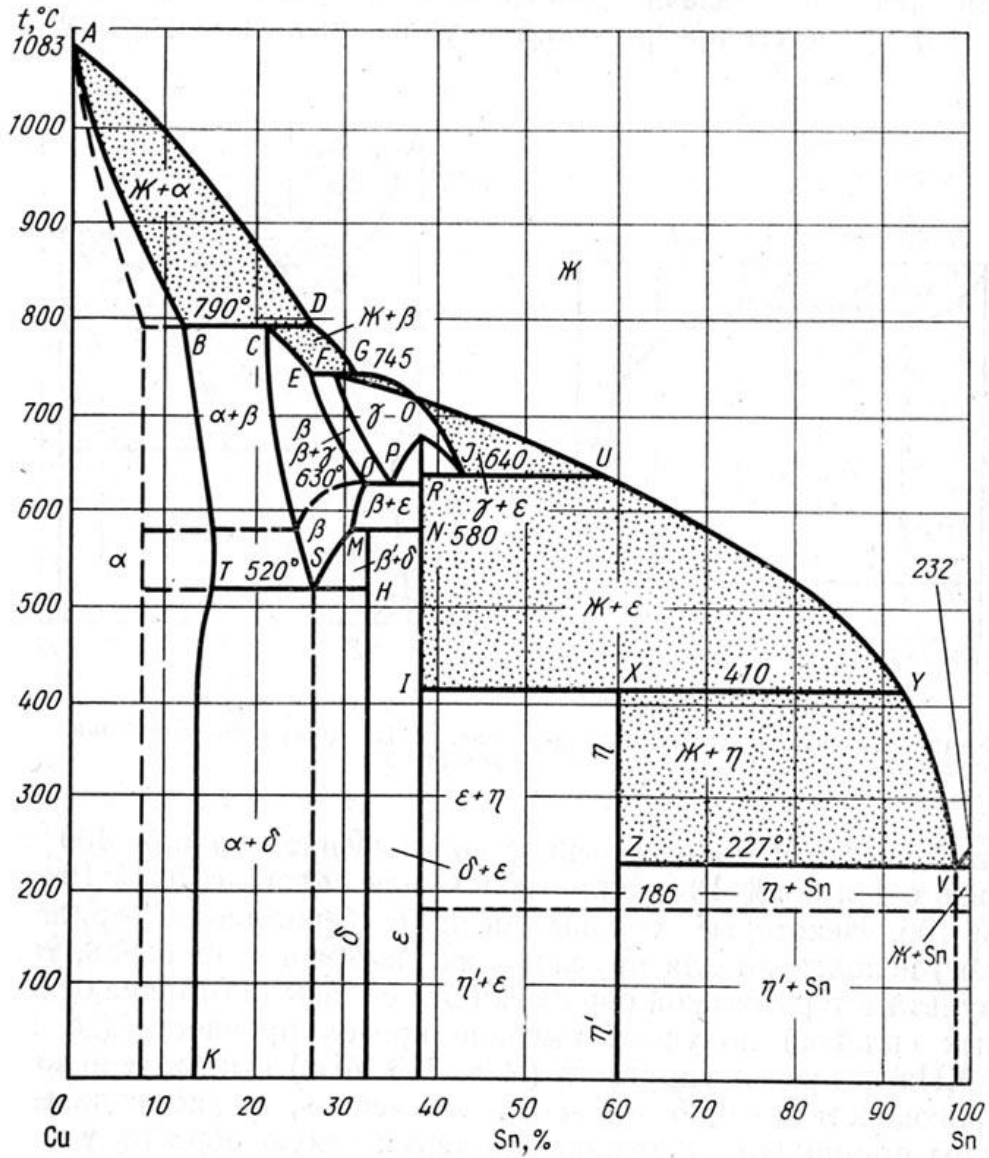
Приложение 2

Кривая охлаждения сплава Fe-C, содержащего 0,8 % углерода

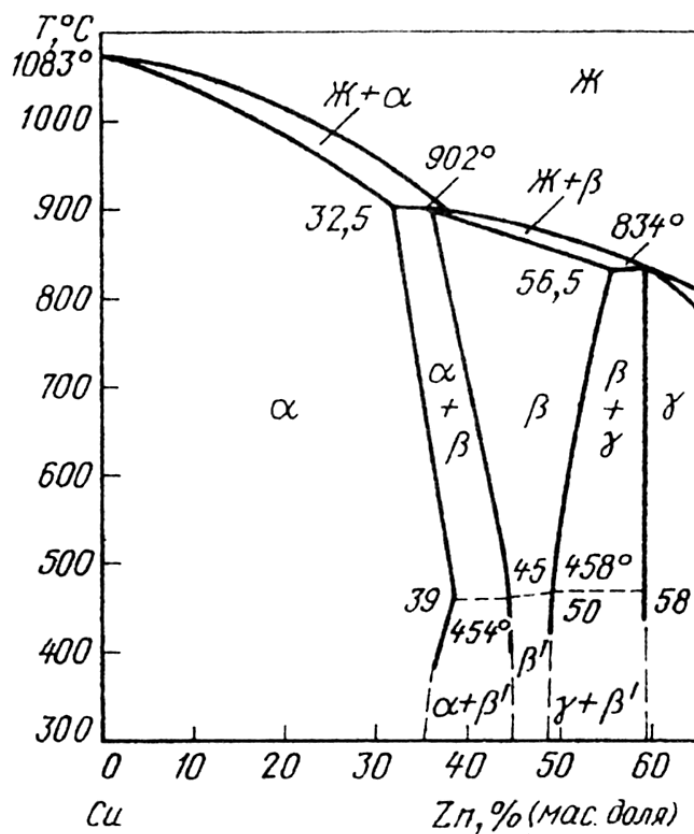


Диаграммы состояния цветных сплавов

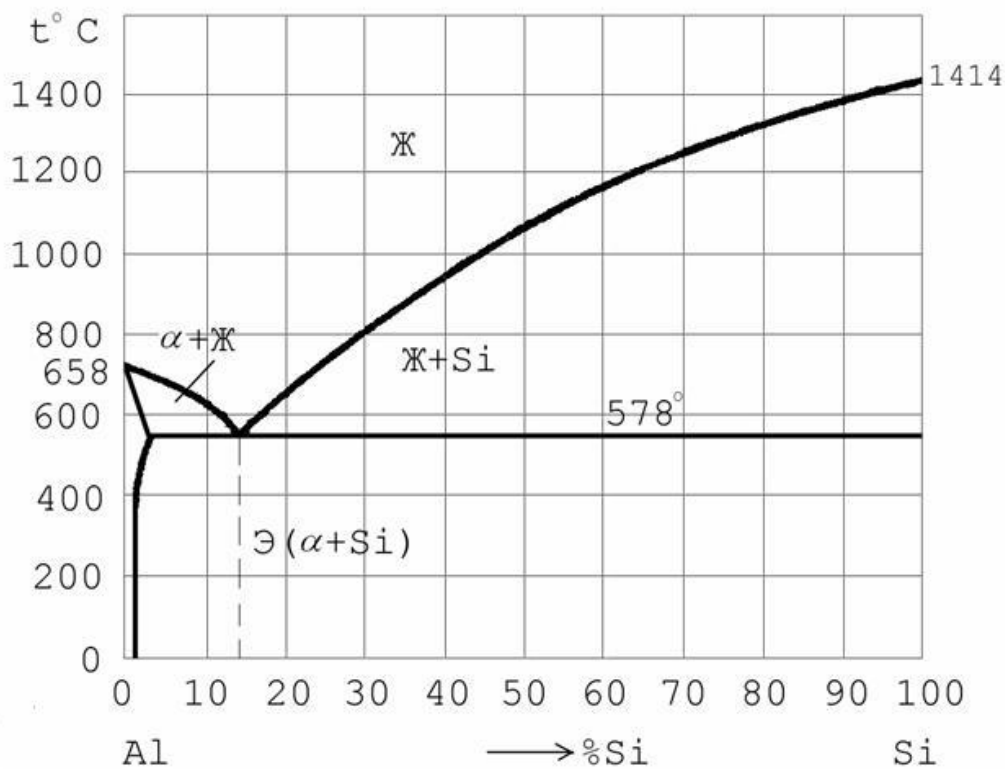
а) диаграмма состояния медь-олово (бронзы)



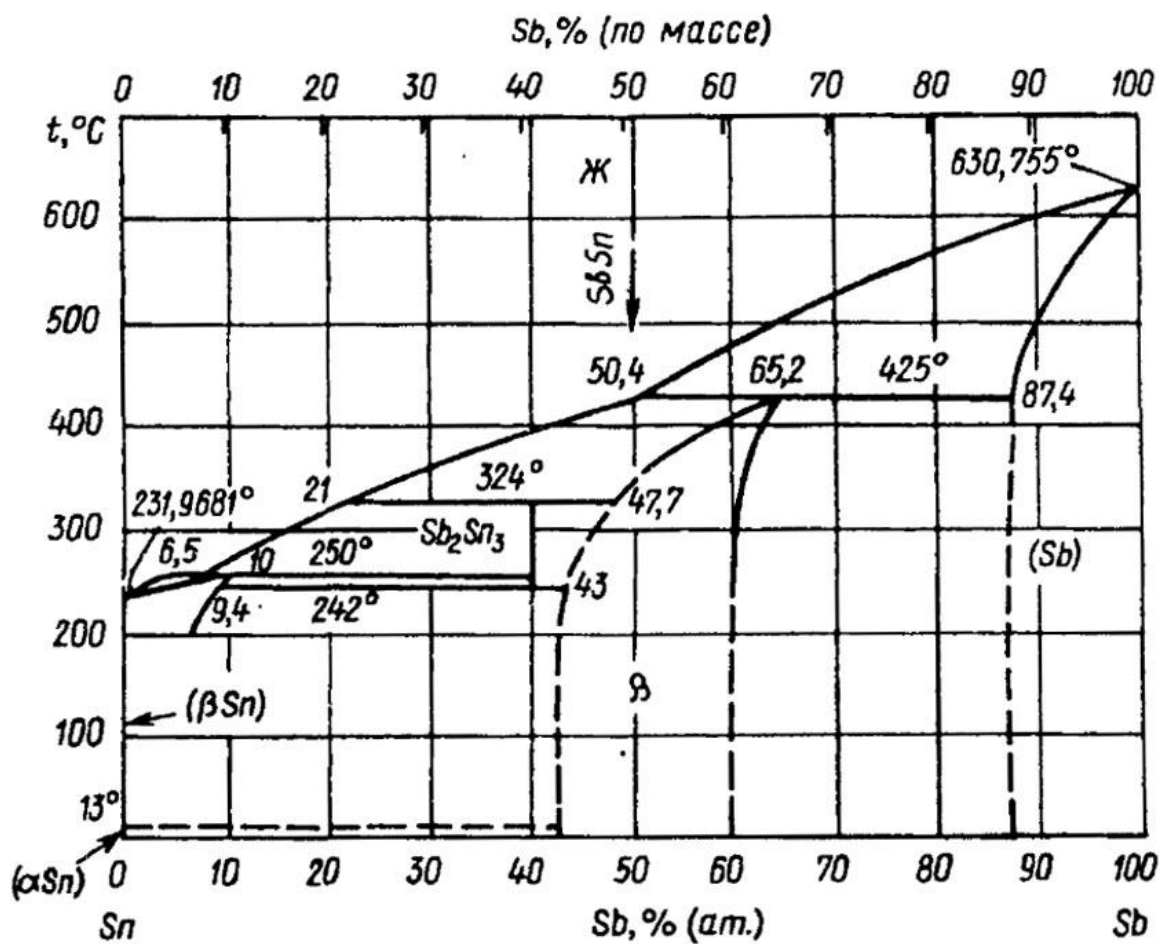
б) диаграмма состояния медь-цинк (латуни)



в) диаграмма состояния алюминий-кремний



г) диаграмма состояния олово-сурьма



Список используемой литературы

1. Волков Г.М., Зуев В.М. Материаловедение. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 400 с.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Металлургия. 1983.– 384 с.
3. Гуляев А.П. Металловедение,-6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544с.
4. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Металлургия, 1981. – 416 с.
5. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ.ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. М. : Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 688 с.
6. Материаловедение и технология конструкционных металлов / В.Б. Арзамасов, А.Н. Волчков, В.А. Головин и др.; Под ред. В.Б. Арзамасова, А.А. Черепихина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 448 с.
7. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П.Фетисова – 4-е изд., испр. – М.: Высш.шк., 2006. – 862 с.
8. Мозберг Р.К. Материаловедение. – 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1991. – 448 с.
9. Лабораторный практикум по материаловедению/ Л.В. Картонова, А.В. Костин, В.Б. Цветаева; Под ред. А.В. Костина и В.А. Кечина. Владимир. гос. ун-т. Владимир, 2007. – 68 с.
10. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. – 3-е изд., перераб и доп.– М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
11. Сильман Г.И. Материаловедение. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 336 с.
12. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение. – 3-е изд., перераб. и доп.– СПб.: ХИМИЗДАТ, 2004. – 736 с.
13. Рогов В.А., Поздняк Г.Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки.- М.: Издательский центр «Академия», 2008.-336 с.
14. Условные обозначения марок металлических материалов/ Владимир. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова, Н.А. Елгаев. Владимир: ООО Полиграм.- 2011, 20 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
<i>Лабораторная работа N 1. Методы измерения твердости.....</i>	6
<i>Лабораторная работа N 2. Микроструктурный анализ металлов и сплавов.....</i>	9
<i>Лабораторная работа N 3. Пластическая деформация и рекристаллизация металлов и сплавов.....</i>	15
<i>Лабораторная работа N 4. Диаграмма состояния двойных сплавов</i>	19
<i>Лабораторная работа N5. Микроструктурный анализ углеродистых сталей в равновесном состоянии.....</i>	22
<i>Лабораторная работа N 6. Микроструктурный анализ чугунов.....</i>	27
<i>Лабораторная работа N 7. Термическая обработка углеродистых сталей.....</i>	32
<i>Лабораторная работа N 8. Микроструктурный анализ цветных сплавов.....</i>	36
Приложения.....	42
Список используемой литературы.....	52