

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

Л.В. Картонова
А.В. Костин
В.Б. Цветаева

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

Под редакцией А.В. Костина, В.А. Кечина
Издание второе, исправленное и дополненное

Владимир 2007

УДК 669.01(076.5)

ББК 30.3

Л12

Авторы:

Л.В. Картонова (лаб. работы № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7);

А.В. Костин (лаб. работы № 8, 10, 13, 14);

В.Б. Цветаева (лаб. работы № 9, 11, 12).

Рецензент

Доктор технических наук, заместитель директора
Владимирского научно-производственного объединения «Магнетон»
И.В. Беляев

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Лабораторный практикум по материаловедению / Л.В. Картонова, А.В. Костин, В.Б. Цветаева ; под ред. А.В. Костина и В.А. Кечина. – 2-е изд., испр. и доп. ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 68 с.

ISBN 5-89368-780-9

Содержит методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Материаловедение», в которых рассматриваются вопросы микро-, макро- и рентгеноструктурного анализа, методы измерения твердости, выбора режимов термической обработки, диаграммы состояния сплавов и др.

Составлен в соответствии с типовой программой по дисциплине «Материаловедение» для машиностроительных специальностей ВлГУ (140211, 140501, 140607, 150206, 151001, 150104, 190601, 190603, 200101, 200201, 200401, 220301, 220401, 220402, 240304, 240502, 280102).

Ил. 10. Табл. 11. Библиогр.: 15 назв.

УДК 669.01(076.5)

ББК 30.3

ISBN 5-89368-780-9

© Владимирский государственный
университет, 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторный практикум по курсу "Материаловедение" предназначен для выполнения лабораторных работ студентами машиностроительных специальностей университета и составлен так, чтобы, ознакомившись с целью работы и заданием, изучив рекомендуемую литературу, студенты могли самостоятельно выполнять работы индивидуально или бригадами из двух-трех человек.

В зависимости от шифра специальности, числа студентов в группе и возможностей лаборатории работы можно выполнять в предложенной или иной последовательности.

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

В ходе вводной беседы преподаватель знакомит студентов с правилами техники безопасности при выполнении работ в лаборатории, что фиксируется в специальном журнале. Студенты, не усвоившие правил техники безопасности, к выполнению работ не допускаются.

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

В течение очередного лабораторного занятия студенты должны защитить оформленный отчет по предыдущей работе и получить допуск к выполнению следующей работы.

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 вдавливается 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 вдавливается 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				HB, кгс/мм ²	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	HB, кгс/мм ²	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. Ответ на контрольный вопрос.
6. 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

МАКРОАНАЛИЗ И ДЕФЕКТОСКОПИЯ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: ознакомиться с основными методами макроанализа и дефектоскопии металлов.

Задания

1. Используя учебники и пособия, изучить методы макроанализа (волокнистое строение металлов, наличие трещин, раковин, пористости, анализ изломов, анализ ликвации серы).
2. Изучить виды изломов и образцы для макроанализа.
3. Выполнить анализ на макрошлифах ликвации серы по Бауману.
4. Ознакомиться с работой магнитного дефектоскопа, выявить дефекты стального калибра методом магнитной дефектоскопии.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

Макроскопический анализ заключается в определении строения металла (макростроения) невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз). Макроскопическому исследованию могут быть подвергнуты различного рода объекты. Основные из них: поверхность нераз-

рушенного изделия, изломы, макрошлифы нетравленные или с выявленной специальными реактивами структурой.

Макроскопический анализ применяют для выявления вида излома (вязкий, хрупкий, смешанный, усталостный, нафталинистый и т. д.); нарушения сплошности металла (усабочная рыхлость, пористость, трещины, флокены, дефекты сварки и т. д.); дендритного строения литого металла; химической неоднородности литого металла (ликвацию) и присутствия в нем грубых включений: волокнистой структуры деформированного металла и т. п.

Существующие технологические процессы в металлургии и металлообработке таковы, что в получаемых металлах могут образовываться различные опасные дефекты (трещины, раковины, посторонние включения, рыхлости и др.).

Для контроля качества металла с целью выявления дефектов без разрушения целостности изделия разработаны различные методы дефектоскопии:

1. Для обнаружения поверхностных дефектов – магнитный, электромагнитный, капиллярный, люминесцентный.

2. Для обнаружения внутренних дефектов – ультразвуковой, радиационный (гамма – дефектоскопия), рентгеновский методы, которые позволяют не только обнаружить наличие дефектов, но и установить их форму и размеры.

Порядок выполнения работы

Первое задание студенты выполняют при подготовке к работе, т. е. дома или в библиотеке. При этом следует обратить внимание на связь между макроструктурой и свойствами металлов, на роль ликвации, а также характеристику изломов.

Второе задание выполняется в лаборатории под руководством преподавателя путем изучения коллекций макрошлифов и изломов. Необходимо научиться определять вид излома и связать его с причиной разрушения. При выполнении данного задания студенты пользуются альбомами и картотекой с описанием изломов.

Третье задание заключается в проведении анализа на макрошлифах ликвации серы по Бауману.

Для определения ликвации серы используют метод отпечатков (метод Баумана). Для этого на хорошо подготовленную поверхность накладывают фотографическую (бромсеребряную) бумагу, предварительно смоченную в течение 5 – 10 минут в 5 %-ном растворе серной кислоты, и выдерживают 5–10 минут. На тех участках поверхности металла, на которых имеются скопления сернистых соединений (сульфидов), происхо-

дид реакция между ними и серной кислотой, оставшейся на фотобумаге: $\text{FeS} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{S}$. Сероводород, образующийся непосредственно против очагов своего выделения, воздействует на кристаллики бромистого серебра фотоэмульсии, поэтому на этих участках происходит дальнейшая реакция: $2\text{AgBr} + \text{H}_2\text{S} = 2\text{HBr} + \text{Ag}_2\text{S}$. Сернистое серебро имеет темный цвет, поэтому образующиеся на фотобумаге темные участки указывают форму и характер распределения включений сульфидов в исследуемой стали (или чугуне). Снятую с макрошлифа фотобумагу промывают в воде, фиксируют 3 минуты в растворе гипосульфита, после чего снова промывают и сушат. Полученный отпечаток вклеивается в отчет, где должны содержаться данные о протекающих реакциях и выводы по результатам анализа.

Четвертое задание выполняется в лаборатории с использованием имеющегося оборудования и альбомов. Преподаватель демонстрирует студентам принцип действия магнитного дефектоскопа. Сущность магнитного метода заключается в следующем. Деталь намагничивается в специальном приборе. При наличии дефекта возникающий при намагничивании магнитный поток рассеивается в месте расположения дефекта и выходит на поверхность. Затем намагниченную деталь покрывают магнитным порошком окиси железа (сухой метод) или поливают жидкостью (суспензией), состоящей из порошка окиси железа и керосина, или деталь погружают в суспензию (мокрый метод). Порошок окиси железа притягивается вышедшим на поверхность магнитным потоком, т. е. в тех местах, где имеется дефект: в результате ранее невидимый дефект становится хорошо заметным.

Содержание отчета

1. Название работы, цель и задание.
2. Эскизы коллекции изломов и образцов.
3. Отпечаток по ликвации серы по методу Баумана и выводы по анализу.
4. Ответ на контрольный вопрос.
5. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Цели и задачи макроанализа.
2. Виды макроскопических дефектов и их влияние на свойства металла.
3. Виды изломов и их особенности, связь со свойствами металла.
4. Особенности усталостного излома.

5. Виды и происхождение раковин и пор.
6. Волокно в металле, его происхождение, влияние на свойства и методы выявления.
7. Ликвация и ее влияние на свойства сплава.
8. Методы выявления ликвации.
9. Методы выявления поверхностных дефектов.
10. Методы выявления внутренних дефектов.
11. Магнитная дефектоскопия.
12. Люминесцентная дефектоскопия.
13. Ультразвуковая дефектоскопия.
14. Рентгеновская дефектоскопия.
15. Гамма-дефектоскопия.

Лабораторная работа N 3

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 90-1500 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).

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

Порядок выполнения работы

Первое и второе задания студенты выполняют при подготовке к работе. Обратите внимание, что существенное влияние на свойства 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, числовую апертуру объектива и увеличение окуляра.

При выполнении пятого задания необходимо сначала определить цену деления окулярмикрометра:

1. Вставить окулярмикрометр и объектив.
2. На предметный столик поместить объектмикрометр таким образом,

чтобы шкала с делениями находилась над объективом.

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

4. Вращением окуляра совместить шкалу окулярмикрометра со шкалой объектмикрометра.

5. Определить, в какое число делений окулярмикрометра укладывается шкала объектмикрометра (сколько делений одной шкалы приходится на другую).

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

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

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

$A_{об}$ – число совмещенных делений объектмикрометра;

$A_{ок}$ – число совмещенных делений окулярмикрометра.

Например, шкала объектмикрометра укладывается на 25 делениях шкалы окулярмикрометра. 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 окулярмикрометра.

3. Измерить микроскопический объект, т. е. определить, сколько делений шкалы окулярмикрометра занимает объект.

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

Например, объект занимает 6 делений шкалы окулярмикрометра.

Цена деления окулярмикрометра $0,04 \text{ мм}$. 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 травленных микрошлифов стали и чугуна с необходимыми объяснениями, увеличение микроскопа.

4. Результаты измерения микроскопических объектов.

5. Ответ на контрольный вопрос.

6. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. 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 объектив-микрометра.
7. Влияние размеров зерна на механические свойства металлов и сплавов.

Лабораторная работа N 4

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Цель работы: изучить рентгеновский метод исследования структуры металлов и сплавов.

Задания

1. Используя учебники и пособия, изучить условия получения рентгеновских лучей и их свойства, ознакомиться с выводом уравнения Вульфа-Брегга, лежащего в основе изучаемого метода порошка (рентгеноструктурного анализа поликристаллических веществ методом Дебая-Шерера).
2. Ознакомиться с устройством рентгеновского аппарата камеры РКД и рентгеновской трубки.
3. Освоить методику установления вещества по межплоскостным расстояниям.
4. Рассчитать рентгеновскую плотность исследуемого вещества.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

Рентгеноструктурный анализ основан на отражении рентгеновских лучей от атомов кристаллической решетки и интерференции рентгеновских лучей, т. е. из их способности усиливать или ослаблять (гасить) друг друга.

Каждое вещество (фаза) обладает своей кристаллической решеткой. Семейства атомных плоскостей, образующих эту решетку, обладают характерным только для данной решетки набором значений межплоскостных расстояний d . Знание межплоскостных расстояний d исследуемого металла позволяет установить, с каким веществом (фазой) мы имеем де-

ло. При взаимодействии рентгеновских лучей с кристаллическим веществом возникает дифракционная картина, максимумы интенсивности которой удовлетворяют уравнению Вульфа-Брегга

$$n\lambda = 2d\sin\theta,$$

где n – порядок дифракции (целое число 1,2,3 и т.д.); λ – длина волны рентгеновских лучей; d – межплоскостное расстояние; θ – угол скольжения лучей (угол рассеяния).

Из уравнения Вульфа-Брегга следует, что

$$\frac{d}{n} = \frac{\lambda}{2\sin\theta}.$$

Так как длина волны характеристического излучения, в котором получена рентгенограмма, известна, то задача определения межплоскостных расстояний d/n сводится к нахождению углов θ для всех линий. Вместо d/n пишем для сокращения записи d_i .

Рентгеноструктурный анализ производят на рентгеновском аппарате УРС-60, где источником рентгеновских лучей является рентгеновская трубка БСВ-4. Рентгеновской камерой называется устройство, позволяющее регистрировать на рентгеновской пленке дифракционные рентгеновские максимумы, которые затем расшифровываются. В методе порошка используется рентгеновская камера РКД, в которой исследуемое вещество в виде порошка наклеивается на стеклянную нить. Результат взаимодействия рентгеновских лучей с исследуемым веществом в виде рентгенограммы (дебаграммы) подлежит расшифровке, что и является практической задачей данной работы.

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется при подготовке к лабораторной работе.

Для выполнения второго задания студенты в сопровождении преподавателя посещают лабораторию рентгеноструктурного анализа, где непосредственно знакомятся с рентгеновской аппаратурой.

Третье задание выполняется индивидуально. По рентгенограмме поликристаллического вещества, снятой в камере Дебая (РКД), определив углы и межплоскостные расстояния d , с помощью определителя межплоскостных расстояний установить, с какого вещества была снята рентгенограмма (произвести идентификацию вещества).

Четвертое задание, как и третье, выполняется индивидуально. Для исследуемого вещества определяется его рентгеновская плотность, которая совпадает с плотностью вещества для веществ с неискаженной структурой.

Для облегчения расчетов рентгенограммы по определению межплоскостных расстояний рекомендуется заносить исходные данные, результаты замеров и расчеты в табл. 4.1 и заполнять ее последовательно по столбцам.

Расчет рентгенограммы для определения межплоскостных расстояний и идентификации веществ (к заданию 3).

Длина волны излучения $\lambda =$, Å

Диаметр камеры 57,3 мм.

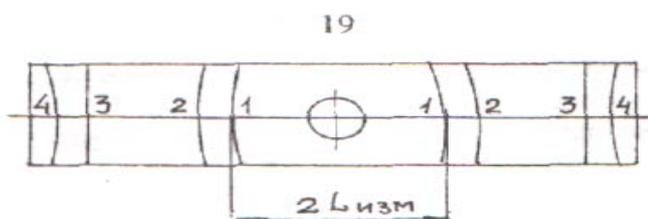
Радиус исследуемого образца $\rho =$

Таблица 4.1

№ п/п	$2L_{изм}$, мм	$\theta_{приб}$, град	Поправка на погло- щение $\Delta\rho$, мм	$2L_{исп}$, мм	$\theta_{точн}$, град	$\theta_{точн}$, град и мин	$\sin\theta$	d_i расч. А	Табл. знач. d_i А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									
4									

Столбец 1. Для расчета выбирают четыре линии, которые цифрами отмечены на рентгенограмме.

Столбец 2. С помощью линейки измеряют расстояние $2L$ между парой указанных линий, симметрично расположенных относительно входного отверстия (с точностью до 0.2 мм).



Столбец 3. Приближенные значения угла $\theta_{прибл}$ определяют по формуле, град.:

$$\theta_{прибл} = 2L_{изм} / 2.$$

Столбец 4. Более точное значение угла находят с учетом поправки на поглощение. Чтобы упростить расчеты, в специальной таблице для каждого значения θ дано значение $\Delta\rho$ в зависимости от известного радиуса ρ исследуемого образца.

Столбец 5. Величину $2L_{испр}$ получают из формулы

$$2L_{испр} = 2L_{изм} - \Delta\rho,$$

где Δr – поправка на поглощение, выбранная из табл.4.1.

Столбец 6. Угол $\theta_{\text{точн}}$ в градусах рассчитывают по формуле, град.

$$\theta_{\text{точн}} = 2L_{\text{испр}} / 2 ,$$

(например, $\theta_{\text{точн}} = 42,6^\circ / 2 = 21,3^\circ$).

Столбец 7. Значения угла $\theta_{\text{точн}}$ записывают в градусах и минутах (например, $21,3^\circ = 21^\circ 18'$, т. к. $0,3 \times 60' = 18'$).

Столбец 8. Значения с точностью до четвертого знака после запятой выбирают из тригонометрических таблиц.

Столбец 9. Используя значение $\sin\theta$ и известную длину волны рентгеновского излучения, с помощью уравнения Вульфа-Брегга рассчитывают межплоскостные расстояния $d_{\text{расч}}$.

$$d_{\text{расч}} = \lambda_{\alpha} / 2\sin\theta.$$

Столбец 10. Табличные значения $d_{\text{табл}}$.

С помощью справочной табл. 4.2 следует определить вещество, для которого табличные значения $d_{\text{табл}}$ совпадают с расчетными значениями межплоскостных расстояний $d_{\text{расч}}$. Записать название вещества.

Определение рентгеновской плотности вещества (к заданию 4). После выполнения расчета рентгенограммы и идентификации исследуемого вещества необходимо, пользуясь справочной табл. 4.2, найти тип кристаллической решетки вещества, координационное число и параметр решетки найденного вещества.

Рентгеновская плотность вещества ρ рассчитывается по формуле, $\text{г}/\text{см}^3$,

$$\rho = nA / a^3.$$

где ρ – плотность исследуемого вещества; n – число атомов в элементарной ячейке; A – вес одного атома в а.е.м. ($1\text{ а.е.м.} = 1,66 \times 10^{-24}\text{ г}$); a – параметр ячейки .

Таблица 4.2

Хим. элемент	Межплос. расстояние d , Å	Параметр ячейки a , Å	Атомный радиус r , Å	Координационное число	Температура плавления, °C	Плотность ρ , $\text{г}/\text{см}^3$	Атомный вес A , а.е.м
Fe	2,01	2,86 3,65	1,26	K8 K12	1535	7,87	56
Ni	2,04	3,52	1,24	K12	1455	8,9	58,7
Cu	2,08	3,61	1,28	K12	1083	8,96	63,5
V	2,14	3,04	1,31	K8	1900	6,11	51
Mo	2,22	3,14	1,40	K8	2620	10,2	96
W	2,23	3,16	1,41	K8	3410	19,3	184
Pt	2,25	3,92	1,38	K12	1773	21,4	195
Al	2,33	4,05	1,43	K12	659	2,7	27
Au	2,35	4,08	1,44	K12	1163	19,3	197
Ag	2,36	4,08	1,44	K12	960	10,5	108
Zn	2,46	$a=2,66$ $a=4,94$	1,39	Г6	419	7,31	65,4
Ti	2,54	$a=2,95$ $c=4,68$	1,46	Г12	1668	4,51	47,9
Mg	2,77	$a=3,21$ $c=5,21$	1,6	Г12	651	1,78	24,3
Pb	2,85	4,95	1,75	K12	327	11,34	207
Sn	2,91	6,49	1,58		232	7,29	118,7

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Расчет рентгенограммы, выполненный в виде табл. 4.1.
4. Расчет рентгеновской плотности исследуемого вещества.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. На каком физическом явлении основан рентгеноструктурный анализ?
2. Свойства и возбуждение рентгеновских лучей (тормозное и характеристическое излучения).
3. Вывод и смысл уравнения Вульфа-Брегга.
4. Что такое межплоскостные расстояния?
5. Почему линии на дебаеграмме имеют форму дуг?
6. Почему приближенное значение угла рассеяния $\theta_{\text{прибл}}$ при расчете рентгенограммы, полученной в рентгеновской камере РКД, равно половине $2L_{\text{изм}}$?
7. Практическое применение метода порошка (метода Дебая-Шерера) при фазовом анализе металлических сплавов.
8. Определение числа атомов в элементарной ячейке для ОЦК и ГЦК решеток.
9. Получение рентгеновских лучей для структурного анализа.
10. Устройство рентгеновской камеры типа РКД.

Лабораторная работа №5

ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВ

Цель работы: получить процесс затвердевания кристаллических веществ и установить взаимосвязь между структурой слитка и условиями процесса кристаллизации.

Задания

1. Используя учебники и пособия, познакомиться с основными параметрами процесса кристаллизации.
2. Построить кривую охлаждения олова.
3. Проследить за процессом кристаллизации капли азотнокислого свинца $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

4. Изучить строение металлического слитка и установить взаимосвязь между структурой слитка и условиями кристаллизации.

5. Ответить на контрольные вопросы.

6. Составить отчет.

Общие положения

Переход металла из жидкого состояния в твердое называется кристаллизацией. Этот процесс можно изобразить кривыми в координатах температура – время, (кривой охлаждения).

На размер зерна влияют температура нагрева и разливки жидкого металла, его химический состав и присутствие в нем посторонних примесей. Кристаллы, образующиеся в процессе затвердевания металла, в зависимости от скорости охлаждения, характера и количества примесей могут иметь различную форму.

Чаще в процессе кристаллизации образуются разветвленные, или древовидные, кристаллы, получившие название дендритов. Правильная форма дендритов искажается в результате столкновения и срастания частиц на поздних стадиях кристаллизации. При первом соприкосновении со стенками формы в тонком прилегающем слое жидкого металла возникает резкий градиент температур и явление переохлаждения, ведущее к образованию большого количества центров кристаллизации. В результате корка получает мелкозернистое строение. Затем образуются удлиненные дендриты (столбчатые кристаллы). Рост этих кристаллов происходит в направлении отвода тепла, т. е. нормально к стенкам изложницы. В случае сильного перегрева металла, быстрого охлаждения его с высокой температуры литья и спокойного заполнения формы зона удлиненных дендритов может полностью заполнить весь объем. В центре слитка уже нет определенной направленности отдачи тепла. В результате этого образуется равноосная структура. Зародышами кристалла здесь являются обычно различные мельчайшие включения, присутствующие в жидком металле.

Порядок выполнения работы

1. Первое задание выполняется студентами в порядке подготовки к лабораторной работе.

Задания 2, 3 и 4 выполняются бригадами по 2 человека. Знания, приобретенные при выполнении 1-го пункта, используются для объяснения полученных результатов.

2. Второе задание бригада выполняет в следующем порядке:

– на установке поставлен тигель с готовым расплавом олова. В расплав погружен горячий спай термопары, холодный подключен к потенциометру;

– снять показания потенциометра через 30 секунд в процессе охлаждения расплава олова;

– по полученным данным построить кривые охлаждения, пользуясь градуировочной шкалой.

3. Процесс кристаллизации капли азотнокислого свинца наблюдают под микроскопом при увеличении не больше $\times 100$. Для этого на подогретое стекло наносят каплю насыщенного раствора соли $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ и устанавливают на предметный столик микроскопа так, чтобы край капли был виден в окуляр.

Следует обратить внимание на то, что процесс кристаллизации начинается у краев капли с образованием мелких зерен. Вслед за мелкими зернами перпендикулярно им в сторону отвода тепла растут крупные столбчатые кристаллы. В центре капли растут беспорядочно ориентированные кристаллы, имеющие форму дендритов.

4. Для выполнения четвертого задания каждая бригада получает коллекцию изломов слитков, имеющих различное строение, которое определяется условиями охлаждения. Строение изломов изучить с помощью лупы и зарисовать, описать предполагаемые условия кристаллизации. Следует обратить внимание на факторы, способствующие развитию той или иной зоны металлического слитка, а также на свойства этих зон.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Кривая охлаждения олова с необходимыми объяснениями и выводами.
3. Схема строения закристаллизовавшейся капли азотнокислого свинца и необходимыми объяснениями и выводами.
4. Рисунки металлических слитков, закристаллизовавшихся при различных условиях, с необходимыми объяснениями и выводами.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Что такое фазовое превращение? Приведите примеры.
2. Объясните, почему фазовое превращение кристаллических тел сопровождается тепловым эффектом? Приведите примеры.
3. Нарисуйте кривую охлаждения и нагрева для кристаллического и аморфного вещества.
4. Нарисуйте и объясните схему изменения свободной энергии чистого металла в твердом и жидком состояниях и зависимости от температуры.

5. Чем объясняется различие между температурой плавления и температурой кристаллизации?
6. Назовите основные параметры процесса кристаллизации.
7. Объясните связь между числом центров кристаллизации, линейной скоростью их роста и величиной зерна.
8. Нарисуйте и объясните схему влияния переохлаждения на число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов.
9. Перечислите факторы, способствующие переохлаждению металлов.
10. Дайте понятие о критическом радиусе зародыша твердой фазы.
11. Дайте понятие о гомогенном механизме зарождения твердой фазы.
12. Дайте понятие о гетерогенном механизме зарождения твердой фазы.
13. Нарисуйте и объясните зональное строение металлического слитка.
14. Перечислите достоинства и недостатки слитка с развитой зоной столбчатых кристаллов. Назовите факторы, способствующие развитию зоны столбчатых кристаллов.
15. Перечислите достоинства и недостатки слитка с развитой зоной равноосных кристаллов. Назовите факторы, способствующие развитию зоны равноосных кристаллов.

Лабораторная работа N 6

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

$$HB = f(\lambda).$$
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. 6.1, строится график зависимости $HRB = f(\lambda, \%)$.

Таблица 6.1

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 $t = 200, 400, 600$ °С в течение 20 минут и измеряет твердость по Роквеллу (HRB), результаты измерений заносит в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Номер образца	Материал	Температура, °С	Степень деформации $\lambda, \%$	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. 6.1 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. 6.2 с экспериментальными данными по твердости отожженной α - латуни при $t = 200, 400, 600$ °С. График зависимости твердости α – латуни (HRB) от температуры отжига.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. 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 7

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 количеством 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;

К – 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:

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

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.7.1.

Содержание отчета

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

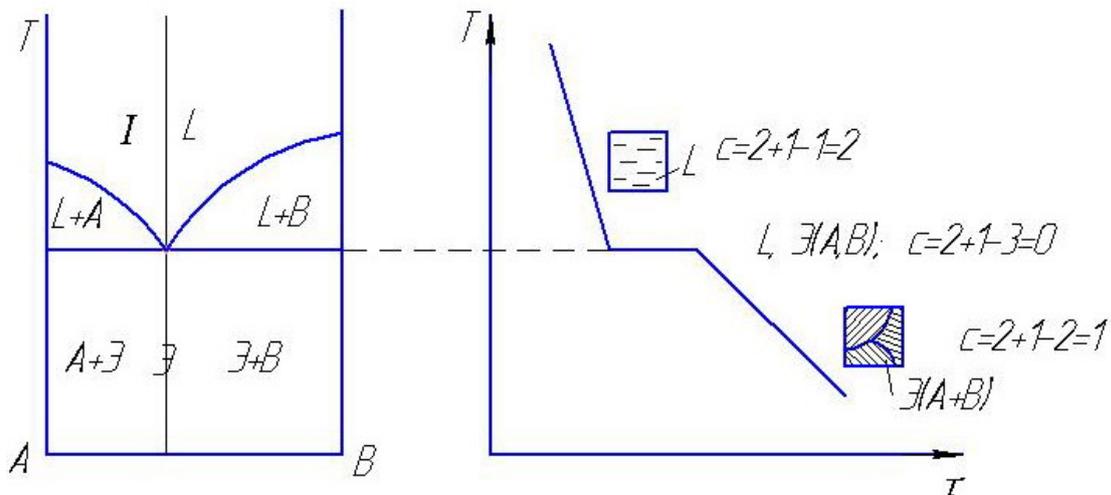


Рис. 7.1. Диаграмма состояния и кривая охлаждения сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов

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

Лабораторная работа N 8

РАСШИФРОВКА ОБОЗНАЧЕНИЙ МАРОК СТАЛЕЙ, ЧУГУНОВ И ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучить принципы обозначения марок сталей, чугунов и цветных сплавов.

Задания

1. Изучить принципы обозначения углеродистых сталей (обыкновенного качества, качественных и высококачественных).
2. Изучить принципы обозначения легированных сталей.
3. Изучить принципы обозначения чугунов (серого, высокопрочного, с вермикулярным графитом, ковкого и легированного).
4. Изучить принципы обозначения цветных сплавов (силумин, дюралюмин, латунь, бронза, магниевый сплав, цинковый сплав, припой, баббит).

Общие положения

Принципы обозначения марок

- 1) углеродистых сталей изложены в
ГОСТ 380-94 (конструкционных обыкновенного качества),
ГОСТ 1050-88 (качественных конструкционных),
ГОСТ 1435-99 (инструментальных);
- 2) чугунов
ГОСТ 1412-85 (серых чугунов),
ГОСТ 7293-85 (высокопрочных чугунов),
ГОСТ 28394-89 (чугунов с вермикулярным графитом),
ГОСТ 26358-87 (ковких чугунов);
- 3) легированных сталей
ГОСТ 4543-71 (конструкционных),
ГОСТ 14959-79 (рессорно-пружинных),
ГОСТ 801-78 (подшипниковых),
ГОСТ 5950-2000 (прутки и полосы),
ГОСТ 5632-72 (коррозионностойких);
- 4) цветных сплавов
ГОСТ 1583-89 (силуминов),
ГОСТ 4784-74 (дюралюминов),
ГОСТ 15527-70, 17711-80 (латуней),
ГОСТ 483-79 (бронз),
ГОСТ 19734-74 (припоев),
ГОСТ 1209-78 (баббитов).

Порядок выполнения работы

При подготовке к работе студенты знакомятся с условными обозначениями марок металлических материалов по ГОСТам в библиотеке.

В лаборатории каждому студенту выдается задание, содержащее по 5–6 марок машиностроительных материалов из вышеперечисленных групп. Необходимо

расшифровать марки по химическому составу, по качеству, по области применения. Полученные результаты заносятся в табл. 8.1 (с примером).

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Таблица с результатами расшифровки марок машиностроительных материалов.
3. Ответ на контрольный вопрос.
4. Список использованной литературы.

Таблица 8.1

Заданная марка сплава	Наименование материала с указанием его качества	Химический состав сплава (по марке)	Характеристика сплава	Область применения
20 пс	Сталь качественная полуспокойной разливки	0,2 % С; до 0,04 % S; до 0,035 % P; 0,8 % Mn; 0,35 % Si; остальное Fe	Сталь пластичная, сравнительно малопрочная, хорошо работает при ударных нагрузках	Применяется для строительных, в т.ч. сварных металлоконструкций, работает при переменных и ударных нагрузках

Контрольные вопросы

1. Значение букв и цифр, употребляемых при маркировке сталей обыкновенного качества.
2. Обозначение элементов в марках легированных сталей.
3. Обозначения элементов легированных чугунов.
4. Обозначение различных групп легированных сталей и степени их качества.
5. Буквенные обозначения различных групп цветных сплавов.
6. Обозначение легирующих элементов при маркировке цветных сплавов.

Лабораторная работа N 9

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, Al-Cu.

2. Построить кривые охлаждения для четырех сплавов (состав задает преподаватель) указанных систем и описать процессы превращений, происходящие в сплаве.

3. 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).

4. Ответить на контрольные вопросы.

5. Составить отчет.

Общие положения

Цветные сплавы широко используются в промышленности. Рассмотрим структуру наиболее часто применяемых сплавов.

Сплавы меди. Медные сплавы разделяют на две группы: латуни – сплавы меди с цинком и бронзы – сплавы меди со всеми другими элементами.

Латуни – сплавы меди с цинком содержат не более 45 % цинка. Различают однофазные латуни α , содержащие до 39 % цинка (Л70, Л68, Л62), и двухфазные ($\alpha + \beta$), содержащие 39-45 % цинка (Л60, Л59, ЛЦ40Мц1.5) (ГОСТ 15527-70, ГОСТ 17711-93).

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.

Латунь Л68 (68 % меди, остальное цинк) обладает высокой пластичностью, антикоррозионной стойкостью и используется чаще для изготовления изделий прокаткой и штамповкой (проволока, листы, трубы и др.).

К двухфазным латуням ($\alpha + \beta$) относятся сплавы, содержащие от 30–45 % цинка.

Латунь Л59. В структуре этой латуни, кроме α – фазы, присутствует более твердая и хрупкая β' . Под микроскопом кристаллы β' – фазы имеют темную окраску (рис. 9.1, а).

При температуре выше 454 °С в двухфазных латунях присутствует фаза β , которая отличается большей пластичностью. При 454 °С в фазе β происходит процесс упорядочения, образуется β' , фаза имеет большую твердость и очень низкую пластичность, что затрудняет обработку сплавов давлением в холодном состоянии. Поэтому двухфазные латуни деформируют при температуре существования фазы (рис. 9.1, б) β .

Применяются сложные латуни, в которые для изменения механических и химических свойств дополнительно вводят свинец, олово, кремний, алюми-

ний (свинец улучшает обрабатываемость резанием ЛС 59-1), олово повышает коррозионную стойкость (ЛО 60-1), кремний и алюминий повышают механические свойства (ЛК 80-3, ЛА77-2).

Бронзы – это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием. Сплавы меди с оловом – оловянистые бронзы (Бр 010, 10 % Sn, остальное – Cu) очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литой оловянистой бронзы (рис. 9.1, в) 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.

Бронзы, содержащие до 8% алюминия, – однофазные (БрА-7), состоят из твердого раствора, при термической обработке не упрочняются, для упрочнения проводят холодную деформацию.

В двухфазных бронзах, содержащих 9 – 11 % алюминия, в твердом состоянии происходит эвтектоидное превращение (БрАЖН-10-4.4). После отжига в структуре этих доэвтектоидных бронз видны светлые зерна твердого раствора и участки пластинчатого эвтектоида ($\alpha + \gamma_2$).

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 α и β твердых растворов. Алюминиевые бронзы имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

Сплавы на основе алюминия обладают малой прочностью. Для получения прочных сплавов их легируют различными элементами в количествах, способствующих образованию двухфазной структуры (ГОСТ 1583-89, ГОСТ 4784-74).

Типичными представителями деформируемых сплавов на алюминиевой основе являются дюралюминий (Д1, Д16) и литейных – силумин АЛ2 (ГОСТ 4789-97).

Литая структура дюралюминия характеризуется наличием фазы α с расположенными по ее границам кристаллами S-фазы и Al_2Cu . После закалки из области α -твердого раствора от температуры 505 – 510 °С сплав приобретает однородную структуру. Процесс старения сплава Д1 (3,8 – 4,8 % Cu; 0,6 % Mg; 0,6 % Mn; < 0,7 % Si) приводит к выделению дисперсионных частиц S-фазы и (Al_2Cu), невидимых под оптическим микроскопом.

Сплав Д1 обладает достаточной прочностью и пластичностью. Прокаткой или штамповкой из него изготавливают листы, прутки, трубы и др.

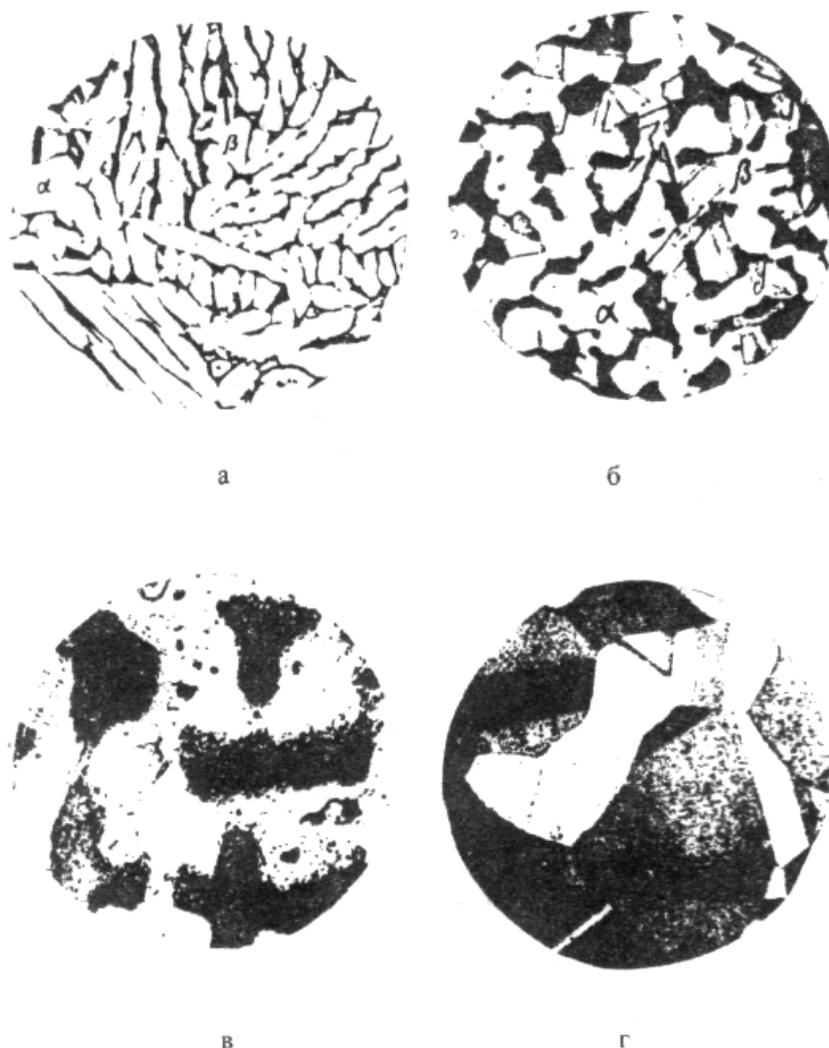


Рис. 9.1. Микроструктуры (x 100):
а – литая латунь Л59 ($\alpha+\beta$); б – латунь ($\alpha+\beta$) после деформирования; в – литая бронза Бр05; г – бронза после деформирования и рекристаллизации

Структура немодифицированного литого сплава алюминия с кремнием (рис. 9.2, а) имеет грубое строение и состоит из крупных удлиненных кристаллов кремнистой фазы β , расположенной на фоне α -фазы, богатой алюминием. Сплав АЛ2 (10–13 % Si) того же состава, модифицированный натрием при его выплавке, характеризуется структурой, состоящей из эвтектической смеси и обособившихся кристаллов твердого α -раствора (рис. 9.2, б).

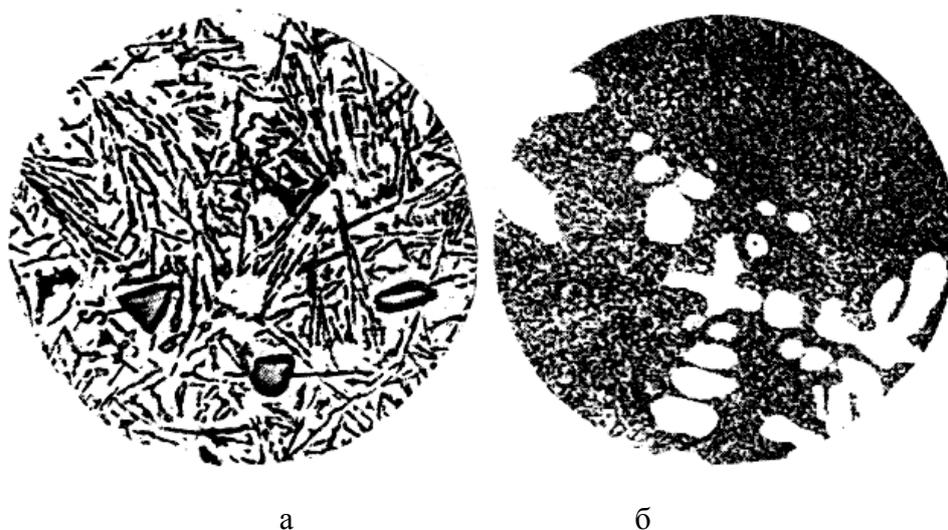


Рис. 9.2. Микроструктура алюминиевого сплава АЛ2, х 250:
 а – литой немодифицированный: α -твердый раствор и β -кремнистая фаза игольчатой формы; б – модифицированный: α -твердый раствор и эвтектика тонкого строения

Сплав АЛ2 обладает коррозионной стойкостью и хорошими литейными свойствами, применяется для литья (крышки, кожухи, барабаны и др.).

Антифрикционные сплавы (баббиты) применяются для заливки вкладышей подшипников. 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. 9.3). 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 SnSb и мелких игл или звезд кристаллов Cu_6Sn_5 (Cu_3Sn).



Рис. 9.3. Микроструктура оловянистого баббита Б83:
 α -твердый раствор темного фона, SnSb в виде крупных кристаллов

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?

Лабораторная работа N 10

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЮРАЛЮМИНА

Цель работы: изучить технологический процесс упрочняющей термической обработки дюралюмина.

Задания

1. Используя учебники, пособия и диаграмму состояния Al-Cu, изучить процессы, происходящие при термической обработке дюралюмина.
2. Провести закалку дюралюминовых образцов и определить их твердость.
3. Выявить влияние температуры искусственного старения и времени выдержки на изменение твердости закаленных дюралюминовых образцов.
4. Построить зависимость изменения твердости от времени и температуры искусственного старения. Объяснить эти зависимости и описать процессы, происходящие при нагревании закаленных дюралюминовых образцов.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

Дюралюмин относится к сплавам, в которых не происходят полиморфные превращения при нагревании. Они могут подвергаться упрочняющей термической обработке, состоящей в закалке без полиморфного превращения с последующим естественным и искусственным старением.

Как видно из диаграммы Al-Cu (рис. 10.1), любой сплав, содержащий

до 5,7 % меди, соответствующим нагревом можно перевести в однофазное состояние и зафиксировать его закалкой. Полученный таким образом при комнатной температуре α -раствор при содержании в нем более 0,2 % меди является пересыщенным и неустойчивым. Выдержка при комнатной температуре (естественное старение) или при искусственном повышении температуры (искусственное старение) приводит к изменениям в твердом растворе, ведущем в конечном итоге к выделению соединения CuAl_2 и сохранению в растворе лишь соответствующего равновесной системе количества меди (0,2 % Си). Происходящие при старении структурные превращения обуславливают изменения свойств. Современные представления о механизме старения базируются на следующем.

При естественном и низкотемпературном (до 200 °С) искусственном старении (первая стадия старения) атомы меди, располагающиеся в свежезакаленном сплаве в случайных местах, собираются в определенных местах кристаллической решетки. В результате этого процесса внутри кристалла образуются зоны повышенной концентрации растворенного компонента, так называемые зоны Гинье-Престона (Г-П).

Атомы меди на этой стадии старения не выделяются, поэтому среднее значение параметра решетки не изменяется, однако в местах повышенной концентрации меди параметр должен быть иной, чем в обедненных местах, это создает большие напряжения в кристалле и дробит блоки мозаики, что приводит к повышению твердости.

При старении при 150 – 200 °С (вторая стадия старения) в зонах Г-П происходит перестройка решетки. Образуются кристаллы новой фазы, так называемые θ -фазы (фазы Вассермана), имеющей решетку, отличную от алюминиевого твердого раствора, но когерентно с ней связанную.

При длительных выдержках при 200 °С или при более высокой температуре (третья стадия старения) образуется θ -фаза, соответствующая соединению CuAl_2 . Дальнейшее повышение температуры приводит к коагуляции выделившихся частиц.

При низких температурах вследствие малой подвижности атомов старение развивается только до первой стадии, при высоких температурах оно развивается в большей степени до второй и третьей стадий. При повышенных температурах первая стадия может отсутствовать, тогда процесс начинается сразу с образования θ -фазы (вторая стадия) или даже θ -фазы (третья стадия).

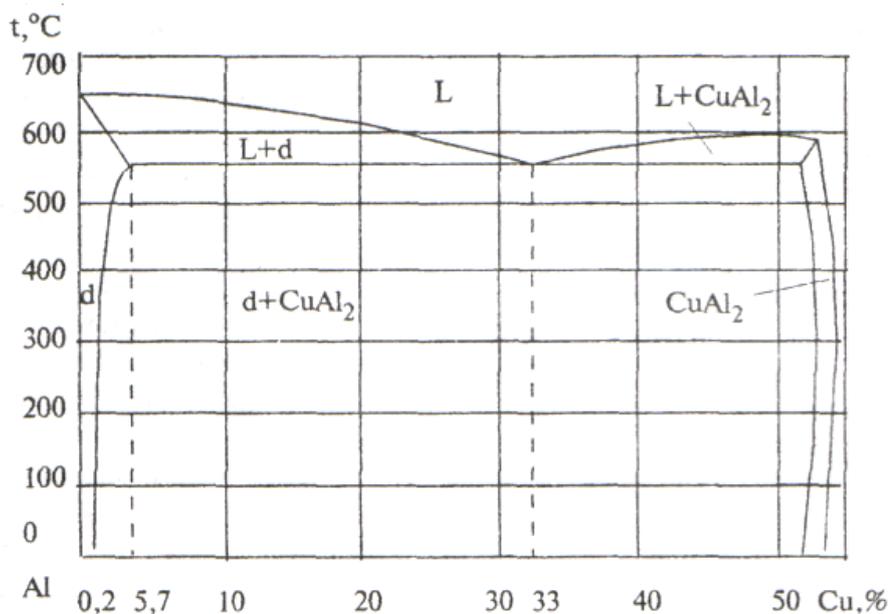


Рис. 10.1. Диаграмма состояния сплавов Al-Cu

Максимальное упрочнение соответствует обычно начальным стадиям старения - первой и второй. Третья стадия вызывает уже разупрочнение сплава.

Порядок выполнения работы

При выполнении первого задания следует особо обратить внимание на правильность выбора температуры закалки, используя диаграмму состояния Al-Cu. Знать, какая микроструктура получается после правильно проведенной закалки и какие превращения происходят при нагревании свежезакаленного сплава. Эта часть работы выполняется студентами при подготовке к работе.

Для выполнения второго, третьего и четвертого заданий группа студентов разбивается на 5 бригад.

Первая бригада измеряет твердость образцов дюралюмина марки Д16 (9 штук) на приборе Роквелла (шкала HRB). На каждом образце – 3 замера. Среднее значение твердости внести в табл. 10.1.

Вторая бригада проводит закалку образцов. Для этого все образцы поместить на поддоне в лабораторную печь, нагретую до 500 °С, после десятиминутной выдержки охладить их в воде (время переноса из печи в воду не более 5 с). Замерить твердость (шкала HRB).

Третья, четвертая и пятая бригады производят искусственное старение образцов по режимам, приведенным в табл. 10.1. Образцы после закалки сразу же помещают в лабораторные печи, разогретые до температур 100, 200, 300 °С. После соответствующей выдержки (5, 10, 15 мин) образцы ох-

лаждают на воздухе и измеряют твердость на приборе Роквелл (шкала HRB).

По данным таблицы построить зависимости изменения твердости HRB от времени старения для каждой температуры. Кратко объяснить ход кривых и описать процессы, происходящие при нагревании закаленных дюралюминовых образцов.

Таблица 10.1

Номер образца	Исходная твердость, HRB	Твердость после закалки, HRB	Температура старения, °C	Время старения, мин	Твердость после старения, HRB
			100	5 10 15	
			200	5 10 15	
			300	5 10 15	

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Участок диаграммы состояния Al-Cu со стороны Al.
3. Таблица 10.1 с экспериментальными значениями твердости.
4. Графики изменения твердости в зависимости от времени и температуры старения.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

1. Какие основные легирующие элементы входят в состав дюралюмина?
2. Каким видам термической обработки можно подвергнуть дюралюмин?
3. В чем состоит закалка дюралюмина?
4. Чем объясняется, что закалка дюралюмина приводит к разупрочнению?
5. Какую микроструктуру имеет сплав Al-Cu с 4 % Си в отожженном состоянии?
6. Какую микроструктуру имеет сплав Al-Cu с 4 % Си в закаленном состоянии?
7. Какие три стадии наблюдаются при нагревании свежезакаленного дюралюмина?

8. Каков механизм упрочнения дюралюмина?
9. Почему возможна упрочняющая термическая обработка дюралюмина?
10. Какому виду термической обработки надо подвергнуть дюралюмин, чтобы получить максимальную пластичность?
11. При какой температуре проводят искусственное старение дюралюмина?
12. Приведите типы сплавов, в которых механизм упрочнения при термической обработке аналогичен механизму в дюралюминах?

Лабораторная работа N 11

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 – углерод (область сталей) с обозначением на ней всех фаз и структур.
2. Построить схематично кривую охлаждения для доэвтектоидной стали. Объяснить ее с помощью правила фаз (содержание углерода задает преподаватель).
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

Стали – это сплавы железа с углеродом, которые содержат до 2,14 % углерода.

В сплавах железа, также как у железа, в твердом состоянии происходит превращение из-за перехода железа, из одной кристаллографической формы в другую. До 910 °С атомы железа образуют объемноцентрированную кубическую решетку Fe – α , выше 910 °С гранецентрированную Fe – γ . В сталях из-за влияния углерода превращение происходит при других температурах.

На рис. 11.1 приведена диаграмма фазового равновесия сплавов железо – углерод (пунктирные линии) и железо – цементит (сплошные линии).

При изменении температуры в сталях могут получаться следующие структуры:

- 1) аустенит – твердый раствор углерода в Fe- γ ,
- 2) феррит – твердый раствор углерода в Fe- α ,
- 3) цементит – химическое соединение Fe₃C,
- 4) перлит – механическая эвтектоидная смесь феррита и цементита.

Превращение, которое происходит в сталях в твердом состоянии при температуре 727 °С, называется эвтектоидным. При охлаждении аустенит превращается в перлит. В зависимости от содержания углерода структура стали и ее свойства меняются.

При комнатной температуре все сплавы (кроме сплавов с содержанием углерода менее 0,002 %) состоят из двух фаз – феррита и цементита.

В сталях (сплавы, содержащие до 2,14 % углерода), кроме избыточного феррита или цементита, имеется также эвтектоидная структурная составляющая пластинчатого строения – перлит; в сталях, содержащих до 0,025 % углерода, перлитной составляющей нет.

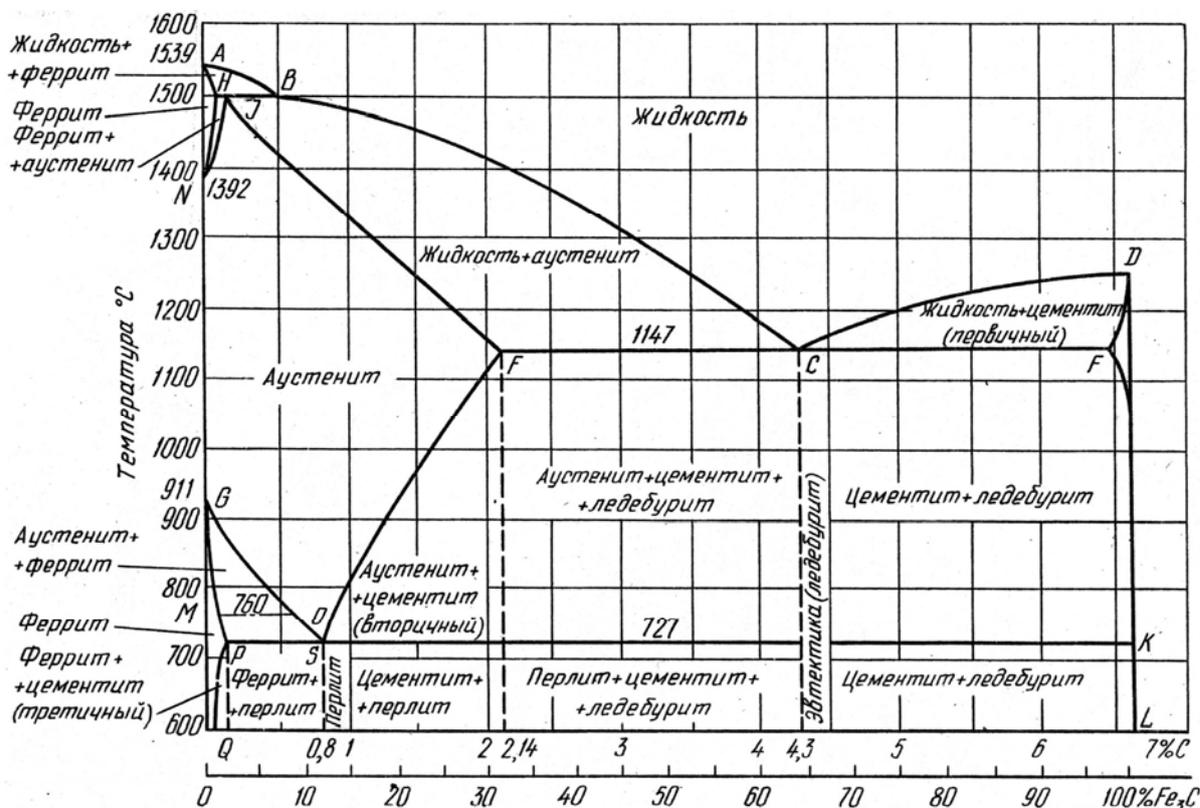


Рис. 11.1. Диаграмма состояния железо-углерод и железо-цементит

По структуре стали делят на группы: доэвтектоидные, содержащие до 0,8 % углерода, эвтектоидные, содержащие 0,8 % углерода, и заэвтектоидные, которые содержат от 0,8 – 2,14 % 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.

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 на рис. 11.2.

Свойства структурных составляющих отожженных сталей в относительно равновесном состоянии приведены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Структурные составляющие	Свойства		
	Твердость НВ	Предел прочности, МН/м ²	Относительное удлинение, %
Феррит	50-90	186-275	40,0-50,0
Цементит	750-820	29,4	–
Перлит (пластинчатый)	190-230	843-882	9,0-12,0
Заэвтектоидная сталь с зернистым перлитом	160-190	637-686	18,0-25,0

При перегреве доэвтектоидных сталей (нагрев 1000 °С) с последующим охлаждением на воздухе может образоваться неравновесная структура. Феррит в этом случае выделяется в виде длинных пластин (игл), прорезающих крупные зерна перлита. Такая структура называется видманштеттовой. Образуется она при перегреве и в литой стали.

Сталь с видманштеттовой структурой имеет низкую прочность, ударную вязкость и пластичность. Исправить такую структуру (сделать ее мелкозернистой) можно, подвергнув такую сталь полному отжигу.

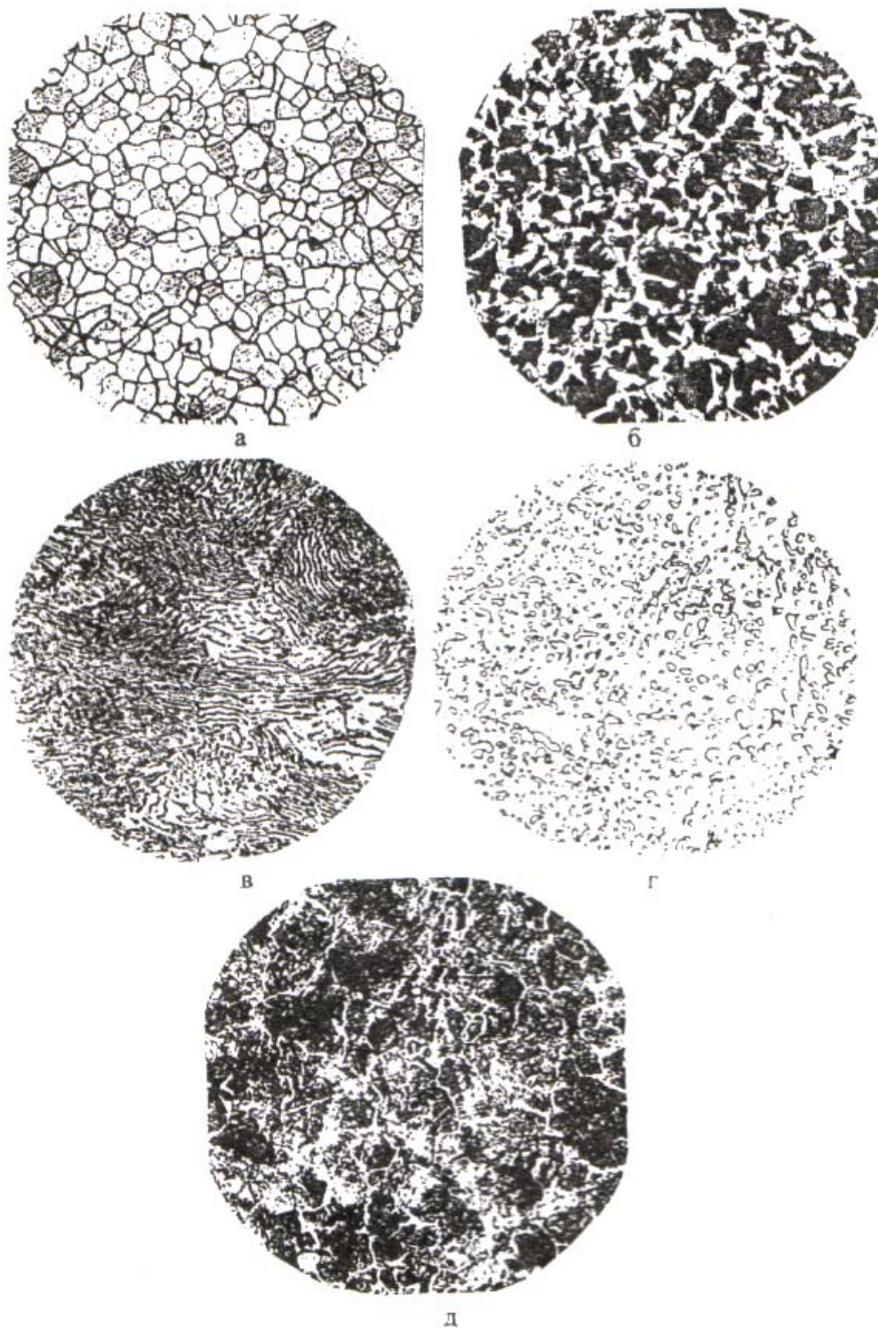


Рис. 11.2. Микроструктуры сталей (x250):
 а – технически чистого железа (феррит);
 б – доэвтектоидной (феррит + перлит);
 в, г – эвтектоидной (перлит); д – заэвтектоидной
 стали (перлит + сетка вторичного цементита)

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 (H, I, B, C, P, 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 составляющие 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 35 % всей площади рассматриваемого под микроскопом шлифа занято перлитом и 65 % – ферритом. Тогда содержание углерода в сталях можно определить из пропорции: 100 % перлита – 0,8 % C, 35 % перлита – X % C.

Откуда $X = (35 - 0,8) / 100 = 0,27$ % углерода. Такое содержание углерода имеет сталь марки 25.

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.
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. Ответ на контрольный вопрос.

8. Список использованной 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 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 12

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ

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

Задания

1. Зарисовать диаграмму железо – углерод (пунктирные линии) и железо–цементит (сплошные линии) для чугунов.
2. Построить кривые охлаждения для доэвтектического и заэвтектического чугуна. Проверить правильность их построения с помощью правила фаз; указать превращения, протекающие в чугунах при охлаждении их из жидкого состояния до комнатной температуры.
3. Рассмотреть под микроскопом и зарисовать микроструктуру образцов белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Описать их структуру, условия и метод получения, механические свойства и применение.
4. Объяснить влияние формы и размеров графита на механические свойства чугунов.

5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

Чугунами называются сплавы железа с углеродом, которые содержат более 2,14 % углерода. Кроме углерода, чугуны (по сравнению со сталями) содержат повышенное количество кремния, марганца, серы и фосфора.

В зависимости от содержания примесей, скорости охлаждения и последующей обработки углерод в чугуне может находиться в связанном виде – в виде цементита или в свободном – в виде графита.

Различают следующие виды чугунов:

1. Белый чугун. Весь углерод находится в виде цементита.
2. Серый чугун. Большая часть или весь углерод находится в виде графита. Графит имеет форму пластинок.
3. Ковкий чугун. Большая часть находится в виде графита. Графит имеет хлопьевидную форму.
4. Высокопрочный чугун. Большая часть или весь углерод находится в виде графита. Графит имеет шаровидную форму.

Белые чугуны получают при ускоренном охлаждении и повышенном содержании марганца (свыше 1 %). 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. Ледебурит – это механическая смесь аустенита и цементита. Он образуется при температуре 1147 °С, при 727 °С аустенит, входящий в состав ледебурита, превращается в перлит. Ниже 727 °С ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита.

По содержанию углерода белые чугуны делятся на доэвтектические (2,14 – 4,3 %), эвтектические (4,3 %) и заэвтектические (больше 4,3 %). Доэвтектические белые чугуны имеют структуру, состоящую из перлита и ледебурита (рис. 12.1, а). Чем больше углерода в доэвтектическом чугуне, тем больше содержание ледебурита.

Эвтектический белый чугун состоит только из ледебурита (рис. 12.1, б).

Заэвтектический чугун состоит из крупных пластин первичного цементита и ледебурита (рис. 12.1, в). Чем больше углерода в заэвтектическом чугуне, тем больше он содержит первичного цементита. Серый чугун получается при медленном охлаждении и повышенном содержании кремния (до 3 %). Структура серых чугунов характеризуется количеством и формой графитовых включений и структурой металлической основы. Графит выде-

ляется в виде пластин, такие включения являются внутренними надрезами. Они сильно снижают прочность чугуна.

Металлическая основа серого чугуна бывает ферритной, феррито-перлитной, перлитной. Микроструктура серого чугуна на феррито-перлитной основе приведена на рис. 12.1, г.

Свойства серого чугуна зависят от количества и формы графита и структуры металлической основы. Прочность серых чугунов на растяжение находится в пределах 100 – 350 МПа (ГОСТ 1412-85).

Серый чугун маркируется буквами СЧ (серый чугун) и двузначным числом. Две цифры показывают минимальное значение предела прочности чугуна на растяжение. Мерой качества чугуна принято считать показатели его прочности. Количество, размер и форму графитных включений изучают на нетравленных шлифах. После травления изучают структуру металлической основы. Если в чугуне наряду с графитом есть ледебурит, то такой чугун называется половинчатым.

Ковкий чугун получают при длительном нагреве при высоких температурах (отжиг 900 – 1000 °С) отливок из белого чугуна. При температурах около 1000 °С цементит распадается и образуется графит хлопьевидной формы. Такой графит по сравнению с пластинчатым значительно меньше снижает прочность и пластичность металлической основы.

Металлическая основа ковкого чугуна бывает ферритной, феррито-перлитной и перлитной. Микроструктура ковкого чугуна на феррито-перлитной основе показана на рис. 12.1, д.

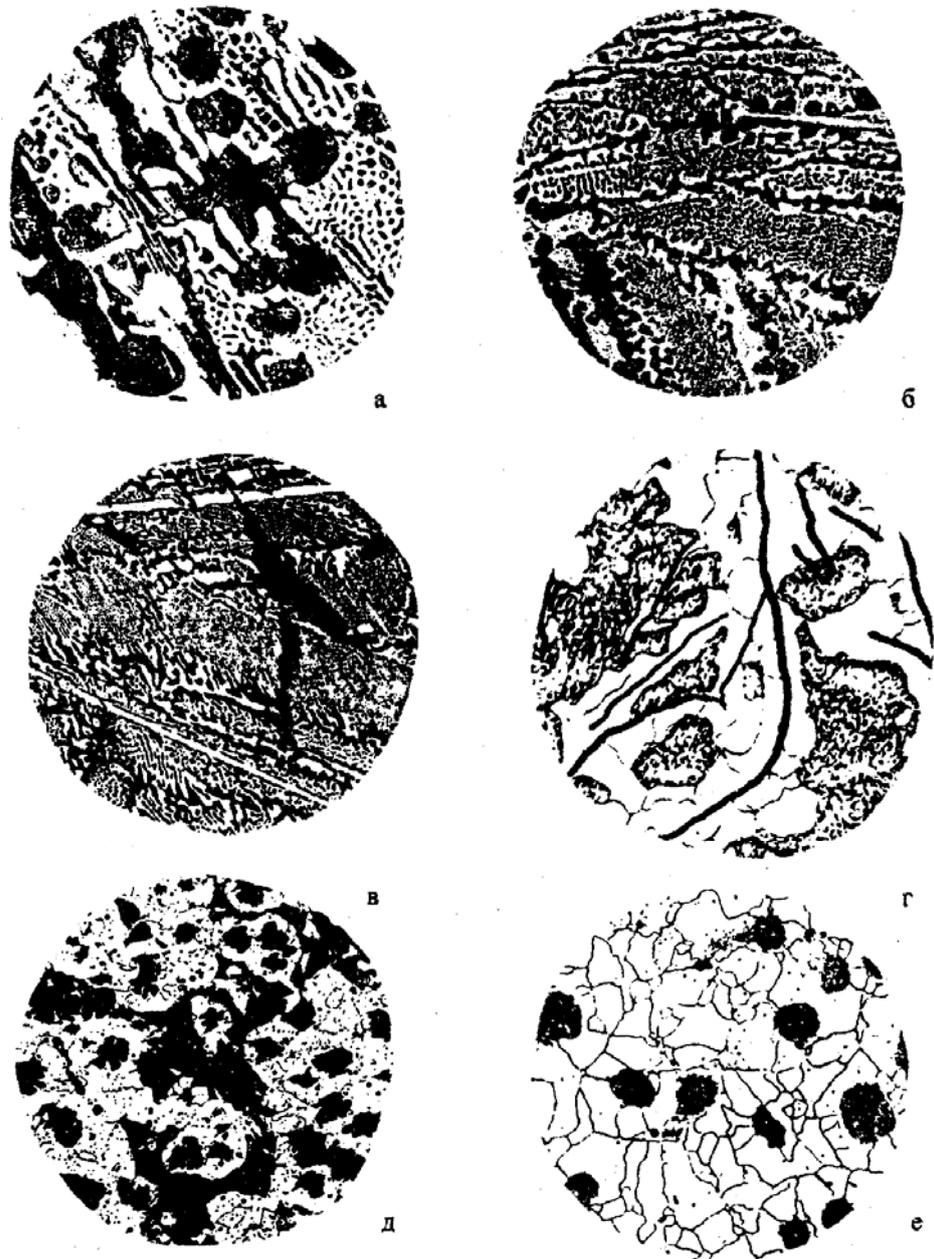


Рис. 12.1. Микроструктура чугунов (x 250):
 а – доэвтектический белый чугун; б – эвтектический белый чугун;
 в – заэвтектический белый чугун; г – серый феррито-перлитный
 чугун; д – ковкий феррито-перлитный чугун; е – высокопрочный
 ферритный чугун

Прочность ковкого чугуна (ГОСТ 26358-87) может меняться от 300 до 800 МПа. Кроме того, ковкий чугун более пластичен, чем серый. Относительное удлинение равно 2–15 %.

В марках ковкого чугуна указывается наряду с пределом прочности на растяжение величина относительного удлинения в процентах. Например, чугун марки КЧ 60-3 имеет предел прочности на растяжение $\sigma_b = 600$ МПа; относительное удлинение $\delta = 3$ %.

Высокопрочный (модифицированный) чугун получают при модифицировании серых чугунов. Перед разливкой в чугун добавляют небольшое количество магния или церия (0,1 – 0,3 %). Под воздействием этих элементов графит при кристаллизации принимает шаровидную форму.

Металлическая основа высокопрочного чугуна бывает ферритной, феррито-перлитной и перлитной. Микроструктура высокопрочного чугуна на ферритной основе приведена на рис. 12.1, е. Шаровидный графит меньше ослабляет металлическую основу и обеспечивает высокие механические свойства. Прочность этого чугуна $\sigma_b = 350 - 1000$ МПа (ГОСТ 7293-85). В марках высокопрочного чугуна указывается только предел прочности на разрыв, как и у серых чугунов. Например, чугун марки ВЧ 80 имеет предел прочности на растяжение $\sigma_b = 800$ МПа.

Порядок выполнения работы

Первое задание студенты выполняют при подготовке к лабораторной работе, при этом следует изобразить диаграмму фазового равновесия железо – углерод (область чугунов) в масштабе. Второе задание выполняется в лаборатории. При этом каждый студент получает два сплава с различным содержанием углерода.

Построив кривую охлаждения для сплава, следует на каждом участке кривой расставить одновременно существующие фазы и, используя правило фаз, определить число степеней свободы.

Для правильного описания микроструктуры сплавов при комнатной температуре надо знать структурные составляющие чугунов, их свойства и реакции образования.

Третье 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.

Четвертое задание представляет собой выводы по результатам выполнения третьего задания.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Кривая охлаждения для указанных сплавов с расстановкой фаз и числа степеней свободы; описание процесса кристаллизации и превращений, протекающих в чугунах при охлаждении их до комнатной температуры. Описание микроструктуры сплавов при комнатной температуре.
3. Рисунки микроструктур чугунов с необходимыми пояснениями.
4. Анализ влияния формы и размеров графитовых включений на механические свойства чугуна.
5. Ответ на контрольный вопрос.
6. 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 13

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. Провести низкий и высокий отпуск закаленных образцов стали 45.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

Общие положения

Обработка металлов и сплавов, находящихся в твердом состоянии, путем нагрева, выдержки и охлаждения называется термической обработкой (ТО). Цель ТО состоит в получении заданных свойств сплава путем изменения его структуры без изменения формы и состава.

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. 13.1) на 30 – 50 °С выше линии A_3 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 °С 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_n и M_k .

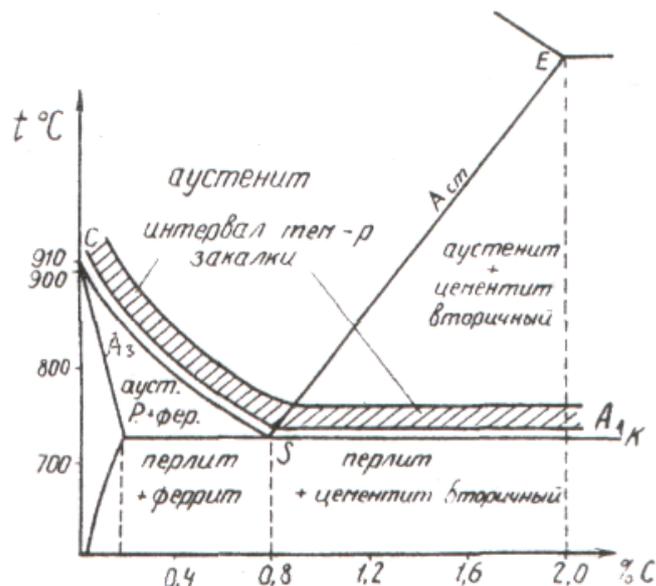


Рис. 13.1. Участки диаграммы Fe-Fe₃C (нанесены температуры закалки и отпуска)

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 (рис. 13.1).

Низкий отпуск ($120 - 250 \text{ }^\circ\text{C}$) применяют для инструментов, цементованных, цианированных изделий, которым необходимы высокая твердость ($60 - 65 \text{ HRC}$) 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 ($350 - 450 \text{ }^\circ\text{C}$) 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 ($500 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$) 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

1-я часть

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

Первая бригада замеряет твердость образцов стали 45 и У12 в исходном состоянии на приборе Роквелла (шкала НRB). Определяет сечение образцов и выбирает время выдержки при нагреве под закалку и нормализацию 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 НRC), после нормализацию (шкала НRC).

Третья бригада выполняет неполную закалку сталей 45 и У12 по аналогии с пунктом 2. Результаты измерений занести в табл. 13.1. Проанализировав полученные данные, записать в таблицу предполагаемые микроструктуры.

Четвертая бригада получает предварительно закаленные образцы из стали У12, 45 для проведения отпуска. Замерить твердость в исходном состоянии (шкала НRC). Поместить в лабораторные печи, предварительно нагретые до температур 200, 600 °С, соответствующих низкому и высокому отпуску, выдержать 20 минут и охладить на воздухе. Замерить твердость (шкала НRC). Полученные данные занести в табл. 13.2.

Построить график зависимости твердости от температуры отпуска и указать предполагаемые микроструктуры.

Таблица 13.1

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

Таблица 13.2

Марка стали	Твердость в исходном состоянии, НRC	Температура нагрева, °С	Время выдержки, мин	Охлаждающая среда	Твердость после отпуска, НRC	Вид отпуска	Микроструктура
45							
У12							

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Заполненная таблица 13.1.
3. Заполненная таблица 13.2.
4. График зависимости твердости стали У12 от температуры отпуска.
5. Выводы.

2-я часть

Микроструктуру углеродистых сталей после различной термической обработки изучают на специально приготовленной коллекции микрошлифов, которая включает микрошлифы сталей 45 и У12 после полной и неполной закалки с низким и высоким отпуском.

Порядок выполнения работы

Группа студентов разбивается на 4-5 бригад.

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.

Описать микроструктуры с обязательным указанием условий ее получения и механических свойств ($HВ$, σ_B).

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Участок диаграммы состояния Fe-Fe₃C с нанесенными температурами закалки и отпуска.
3. Рисунки микроструктур и их описание.
4. Ответ на контрольный вопрос.
5. Список использованной литературы.

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 № 14

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: освоить принцип выбора легированных сталей и их термообработки для конкретных деталей с заданными свойствами.

Задания

1. Провести анализ условий эксплуатации деталей.
2. Выбрать материал, наиболее экономичный и удовлетворяющий эксплуатационным и технологическим свойствам деталей.
3. Выбрать режимы термообработки указанных деталей.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

Общие положения

Инженеры-механики в своей практической деятельности сталкиваются с необходимостью рационального выбора сталей, необходимых для изготовления деталей или инструмента и характеризующихся определенным комплексом эксплуатационных и технологических свойств.

Для решения таких задач необходимо изучить:

1. Назначение, маркировку, эксплуатационные и технологические свойства основных групп сталей и других сплавов.
2. Влияние термической обработки на структуру и свойства сталей.
3. Структурную классификацию легированных сталей.
4. Влияние легирующих элементов на полиморфизм железа, критические точки, структуру и свойства фаз.
5. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость сталей.
6. Влияние легирующих элементов на структурные изменения при отпуске закаленных сталей.

Из курса «Сопротивление материалов» и «Детали машин» необходимо

вспомнить, какие требования предъявляются по механическим и технологическим свойствам к наиболее распространенным деталям машин, механизмов и приборов.

Пример 1. Оси, полуоси и валы различных станков и машин.

а) Механические свойства: высокая прочность, ударная вязкость всего сечения, износостойкость поверхностного слоя;

б) технологические свойства: полная прокаливаемость, хорошая штампуемость и обрабатываемость резанием.

Пример 2. Шестерни, зубчатые колеса.

а) Механические свойства: высокая твердость 60 HRC в наружном слое зубьев, высокая износостойчивость в поверхностном слое, высокая ударная вязкость сердцевины;

б) технологические свойства: полная прокаливаемость, хорошая обрабатываемость резанием.

Пример 3. Подшипники скольжения.

а) Механические свойства: высокое сопротивление контактными нагрузкам, высокая износостойчивость в условиях высоких температур;

б) технологические свойства: хорошая обрабатываемость резанием, высокие литейные свойства.

Пример 4. Пружины витые цилиндрические.

а) Механические свойства: высокий предел упругости;

б) технологические свойства: повышенная пластичность заготовки, малое коробление при закалке, полная прокаливаемость.

Пример 5. Металлорежущий инструмент (резцы, сверла), работающий при нагреве режущей кромки до 600 °С.

а) Механические свойства: твердость, высокая красностойкость, износостойчивость;

б) технологические свойства: полная прокаливаемость, малое коробление при закалке, хорошая шлифуемость.

Порядок выполнения работы

Студент получает наименование двух деталей и одного инструмента, для изготовления которых выбирает сплавы с необходимыми свойствами. Выбор материала включает следующие стадии:

– анализ условий эксплуатации и технологии обработки данной детали. В результате анализа необходимо сформулировать требования к материалу по эксплуатационным и технологическим свойствам, обеспечивающие надежность деталей;

– определение группы сталей, обладающих свойствами, наиболее близкими к требуемым (конструкционные и инструментальные стали, стали с особыми физическими и химическими свойствами), и окончательный выбор

марки в соответствии с указанными выше требованиями;

– описание технологии изготовления детали или инструмента из выбранного сплава, рассмотрев возможности улучшения свойств путем термической, химико-термической или термомеханической обработки и обосновав выбор того или иного вида обработки.

При выборе материала необходимо использовать справочную литературу.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Выбор материала для предложенных деталей.
3. Обоснование правильности выбора материала для предложенных деталей с выводами о сравнительных преимуществах выбранного материала и его обработки перед другими возможными вариантами.

Пример

Выбрать сталь для изготовления вала диаметром 70 мм. Вал двигателя предназначен для работы с большими нагрузками. Предложить режим термообработки выбранной стали.

Стали: Ст4, 45, 40Х, 40ХН, У10.

1. Анализ условий эксплуатации и требования к материалу. Вал работает в условиях повышенных напряжений, поэтому по всему сечению материал должен иметь высокую прочность и достаточную пластичность, вязкость (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ). Необходимо выбрать конструкционную сталь с высокой прокаливаемостью. Для получения комплекса прочностных свойств вал необходимо термически обработать.

2. Из предназначенных материалов к конструкционным сталям относятся Ст4, 45, 40Х и 40ХН.

Ст 4 – сталь обыкновенного качества с повышенным содержанием серы и фосфора, имеет низкое сопротивление ударным нагрузкам. Для изготовления ответственной детали применение недефицитной, дешевой стали не рационально.

Сталь 45 – качественная, может подвергаться термообработке, но имеет низкую прокаливаемость (до 10–15 мм).

Сталь 40ХН имеет прокаливаемость до 75 мм и может обеспечить необходимое сочетание прочности и пластичности по всему сечению вала. Для изготовления вала двигателя выбираем сталь 40ХН.

3. Технология обработки детали и термическая обработка:

- а) отжиг сортового металла для снижения твердости;
- б) изготовление вала путем механической обработки;
- в) термическая обработка.

Закалка от 820 – 840 °С в масле. Охлаждение в масле необходимо для

уменьшения напряжений и деформации изделия при закалке. После закалки сталь имеет мартенситную структуру и твердость не ниже HRC 55, после чего следует отпуск при 500 – 540 °С. Для предупреждения отпускной хрупкости после нагрева деталь следует охладить в масле. Однородная по всему сечению структура сорбита отпуска позволяет получить требуемое сочетание прочности и пластичности.

Контрольные вопросы

1. Как определить прокаливаемость?
2. Как можно повысить прокаливаемость?
3. Какой вид имеет диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали У8, У12?
4. Что такое критическая скорость закалки и каковы факторы, влияющие на нее?
5. В чем природа твердости мартенсита?
6. Что такое красностойкость и каковы способы ее повышения?
7. Что такое обратимая отпускная хрупкость?
8. Как влияют легирующие элементы на порог хладноломкости?
9. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей мартенситного класса?
10. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей аустенитного класса?
11. Каковы технологические недостатки хромоникелевых сталей?
12. Как влияют легирующие элементы (хром, никель, марганец, кремний, вольфрам и др.) на полиморфизм железа?
13. Как обозначаются конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества?
14. Как обозначаются качественные углеродистые конструкционные стали?
15. Как обозначаются инструментальные углеродистые стали?
16. Как обозначаются легированные стали?

ЗАДАЧИ

В задачах необходимо выбрать материал, наиболее экономичный и удовлетворяющий эксплуатационным и технологическим свойствам деталей, а также выбрать режимы различных видов термообработки указанных деталей или инструмента.

1. Какую сталь следует выбрать для изготовления болтов на токарных станках? Требуемая прочность $\sigma_s \geq 45$ кгс/мм². Стали: Ст4, Ст5сп, 40Х, 30ХГСНА.

2. Выбрать сталь для изготовления кожухов электродвигателей методом глубокой вытяжки. Стали: Ст1кп, Ст5, 50.

3. Какие из перечисленных сталей для изготовления осей можно охладить после отпуска при 600 °С на воздухе? Стали: 40ХНР, 40ХГ, 40Х, 40, 45, 30ХГС, 30ХМ, 40ХНМА.

4. Выбрать материал и термообработку для изготовления валов диаметром 50 мм, $\sigma_T \geq 150$ кгс/мм, $\psi \geq 15\%$. Стали У8, 40ХНМ, 30ХГСА, Н18К9М5Т.

5. Шестерни коробки скоростей изготавливают из наследственно мелкозернистой стали. Описать режимы обработки для получения поверхностной твердости 59 - 62 HRC. Стали: 20, 20ХН, 18ХГТ.

6. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления вала зубчатой передачи диаметром 45 мм ($\sigma_T \geq 60$ кгс/мм², $\psi \geq 30\%$). Твердость поверхности шейки вала – 50 – 54 HRC.

7. Какие заготовки (литые, кованные или сортовой металл) следует использовать для изготовления шатунов с наибольшей прочностью?

8. Выбрать материал для массового изготовления винтов, служащих для крепления электроарматуры. Стали: Ст2, А12, сталь 10.

9. Выбрать материал для изготовления валов электродвигателей $\sigma_T \geq 25$ кгс/мм², $\delta \geq 17\%$. Стали: 40Х, 20ХН, Ст5.

10. Выбрать сталь для изготовления распределительного вала диаметром 70 мм с $\sigma_T > 50$ кгс/мм², $\delta \geq 20\%$, на поверхности кулачков HRC > 50. Стали: 40Г, 40ХМ, 20, Ст2.

11. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления тяжело нагруженных валов с высокими свойствами по всему сечению диаметром 50 мм. Стали: 35ХМ, 50Х, 40Г.

12. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления валов диаметром 70 мм при условии, что $\sigma_T > 80$ кгс/мм², $a_n > 5$ кгс/см². Стали: 40ХНМА, 20ХГНР, 60С2.

13. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления турбинного вала диаметром 300 мм при условии, что $\sigma_T > 70$ кгс/мм², $a_n \geq 5$ кгс/см². Стали: 30ХГСА, 34ХНЗМ, 18ХНЗА, У7, 60С2.

14. Выбрать стали и термообработку для изготовления ответственных шестерен вместо сталей 12ХНЗА, 20Х2Н4А. Стали: 18ХГТ, 20, 15, 20ХГР.

15. Выбрать сталь для изготовления сварной конструкции, $\sigma_B \geq 45$ кгс/мм², $\sigma_T > 25$ кгс/мм². Стали: 20, 40, 20Г, 50С2, 12Х2Н4А, 12ХНЗА.

16. Какую сталь и в каком состоянии (литом, кованом, после механической обработки) рационально использовать для изготовления зубьев ковшей экскаваторов? Стали: ШХ15, 05Х18Н9Т, Г13Л.

17. Выбрать сталь для изготовления вала диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками $\sigma_T \geq 75$ кгс/мм², $a_n \geq 9$ кгс/см². Стали: 20ХНЗА,

38ХЗМФ, Ст4, 45.

18. Изготовить три вала двигателей, $a_n > 75$ кгс/мм². Первый вал имеет диаметр 30 мм, второй – 50 мм, третий – 120 мм. Стали: 40, 40Х, 40ХНМА, Ст5, 30ХГСА.

19. Выбрать сталь и режим обработки для изготовления зубчатых колес диаметром 50 мм, работающих в условиях износа, удара и повышенных напряжений. Стали: 20, 15Х, 12Х2Н4А, 18ХГТ.

20. Выбрать сталь для изготовления шпинделей диаметром 75 мм токарных станков. Твердость в поверхностном слое должна быть HRC 56 - 62. Стали: У7, 60, Ст5, Ст4сп, 40Х.

21. Выбрать сталь для изготовления конических зубчатых колес диаметром 50 мм, работающих в условиях динамических нагрузок повышенного износа. Сталь должна иметь высокую вязкость в сердцевине. Стали: 15, 20, 15Х, 20ХГНР.

22. Для изготовления зубчатых колес выбрать сталь, для которой следует применять закалку с индукционным нагревом. Стали: 18ХГТ, 20Х, 20, 15.

23. Выбрать сталь и режимы обработки для изготовления стаканов цилиндров мощных двигателей. Стали: 38ХМЮА, 40, 40Х, Ст4сп.

24. Выбрать сталь для изготовления болтов на станках-автоматах. В конструкциях болты не воспринимают значительных нагрузок.

Стали: 08, А12, А20, 45Х.

25. Выбрать стали для изготовления деталей методом глубокой вытяжки на вырубных штампах. Стали: 10кп, 30, 18ХНВА.

26. Выбрать сталь конструкции, изготовление которой требует сварки и применения сложной гибки. Стали: 10кп, 08, 20, 40Х.

27. Выбрать сталь для изготовления шестерни диаметром 50 мм. Высокая прочность сердцевины не требуется. Стали: 15, 20, 40, 40ХН.

28. Выбрать сталь для изготовления шестерни диаметром 70 мм с высокой вязкостью и прочностью сердцевины. Стали: 15, 20, 12Х2Н4, 12ХН3А.

29. Выбрать материал для изготовления валов диаметром 50 мм, упрочняемый поверхностной закалкой при индукционном нагреве. Стали: 45, 55, Ст3, Ст5.

30. Выбрать сталь и режим обработки для изготовления шпинделей быстроходных станков. Стали: 38ХМЮА, 30ХГ2М, 45, У8.

31. Выбрать сталь и режим обработки для изготовления цилиндров двигателей. Стали: 38ХМЮА, 40ХН, Ст2.

32. Изготовить оси диаметром 12 мм с одинаковыми прочностными свойствами по сечению и предложить термообработку. Стали: 35, 08кп, 15Х.

33. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления коленчатых валов диаметром 30 мм с одинаковыми свойствами по всему сечению. Стали: 35Г2, 40Х, 50, Ст5.

34. Выбрать материал и режим термообработки шестерни ответственного назначения диаметром 60 мм. Стали: 40ХН, 30ХГС, 35ХМ, 40, 30, Ст5.

35. Выбрать сталь и термообработку для изготовления валов высокой прочности диаметром 110 мм. Стали: 40ХНМА, 30ХГС, 35.

36. Выбрать сталь и термообработку для изготовления клапанов выпуска автомобильных двигателей. Стали: 13Х6СМ, 40Х9С2, 30ХГСНА, 30.

Инструментальные стали

37. Выбрать стали для изготовления напильников. Стали: P18, X12Ф1, У12.

38. Выбрать стали для изготовления зубил. Стали: 7ХФ, 9Х5Ф, ХВГ.

39. Как избавиться от остаточного аустенита в структуре быстрорежущей стали?

40. Выбрать сталь для изготовления матрицы вырубного штампа. Стали: У12, Х6ВФ, X12Ф1, 40ХНМА.

41. Выбрать сталь для изготовления торцевой фрезы диаметром 100 мм. Стали: P18, P6M5, ХВГ.

42. Выбрать сталь для изготовления штампов горячего прессования. Стали: 3Х2В8Ф, 5ХНМ, 5ХНВ.

43. Какую сталь использовать для изготовления хирургического инструмента. Стали: У10, ШХ15, 30Х13, 10Х13.

44. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления пуансона диаметром 25 мм вытяжного штампа. Стали: У12, P18, ХВГ, У7, 7ХФ.

45. Выбрать стали для деревообрабатывающего инструмента, работающего с ударными нагрузками (долота, топоры). Стали: 9ХС, XI2, У7, 7ХФ.

46. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления машинных метчиков диаметром 20 – 30 мм. Стали: P18, ХВГ, У7, В1.

47. Выбрать сталь и термообработку для изготовления крупных и сложных штампов. Стали: X12Ф1, 5ХНМ, 3Х2В8.

48. Для контроля размеров гнезда под подшипник использовали измерительные калибры из стали ХВГ. После длительного использования калибров обнаружен массовый брак – гнезда оказались с завышенными размерами. Объясните причину брака. Выбрать режим термообработки калибров из стали ХВГ.

49. Какую сталь применяют для изготовления бритв? Указать термообработку.

50. Выбрать сталь и термообработку для изготовления вырубных штампов крупных в сложных форм. Стали: 7ХГ2ВМ, 9ХФ, У7, 45, 60С2.

51. Выбрать сталь и термообработку для изготовления матриц, ис-

пользуемых при прессовании. Стали: X12M, 5XHM, 6XC, 30XГСНА, 30X13.

52. Из предложенных сталей выбрать материал для изготовления пружин. Описать технологию изготовления пружин. Стали: 50XH, БСт5, 60, 70СЗА.

53. Выбрать сталь для изготовления пружин, работающих при нагреве до 300 °С. Стали: 65Г, 40X, 60ГС, 50ХФА.

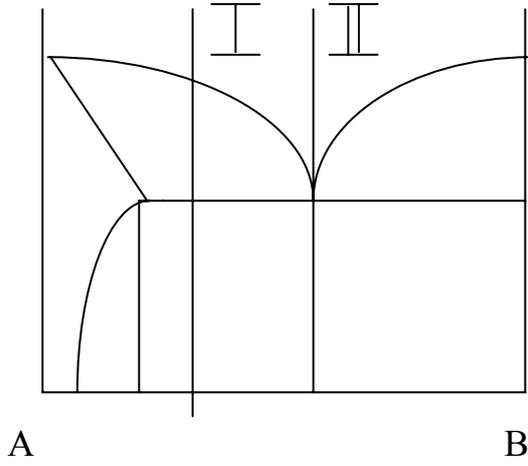
54. Выбрать сталь для изготовления пружин, работающих в агрессивных средах. Стали: 20XH, Ст1, 55ГС, 40X13, 3X2B8Ф, 30X13.

55. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления рессор легковых автомобилей. Стали: 60С2, 50ХГФ, 40, 20X2H4A.

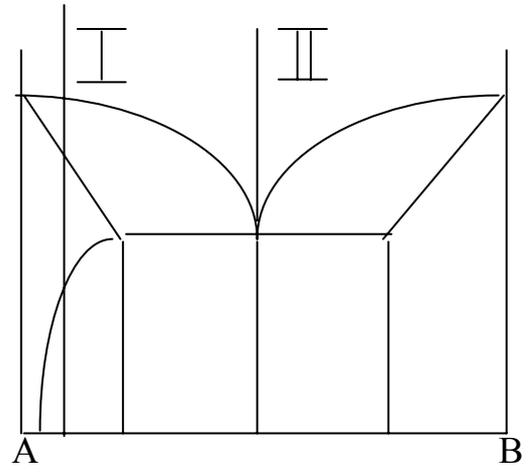
56. Выбрать сталь для изготовления пружин клапанов двигателей внутреннего сгорания. Стали: У7, 65Г, 60С2, 50ХФА.

57. Какой вид брака термообработки наблюдается у рессор с повышенным содержанием кремния?

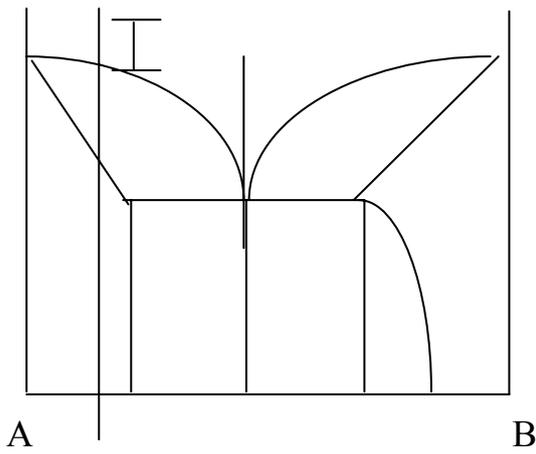
Вариант 1



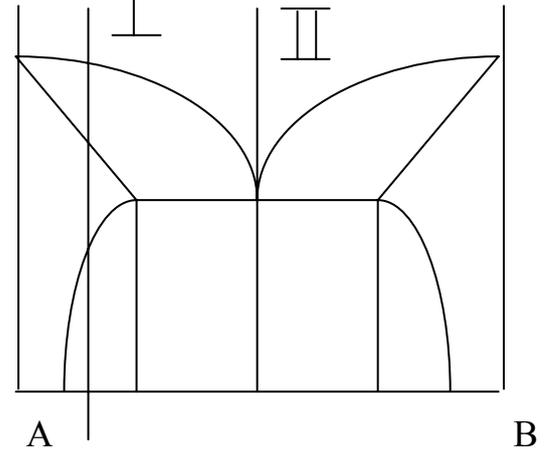
Вариант 2



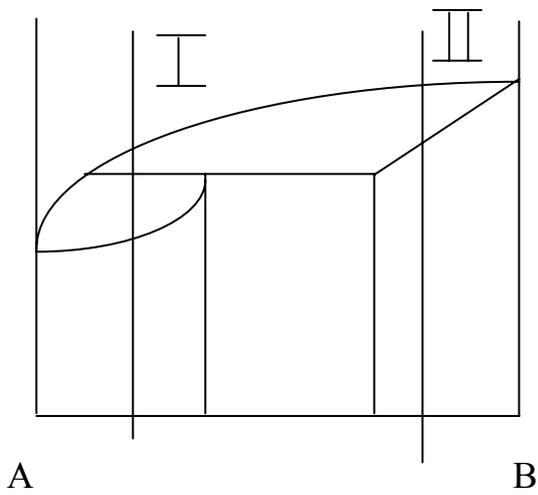
Вариант 3



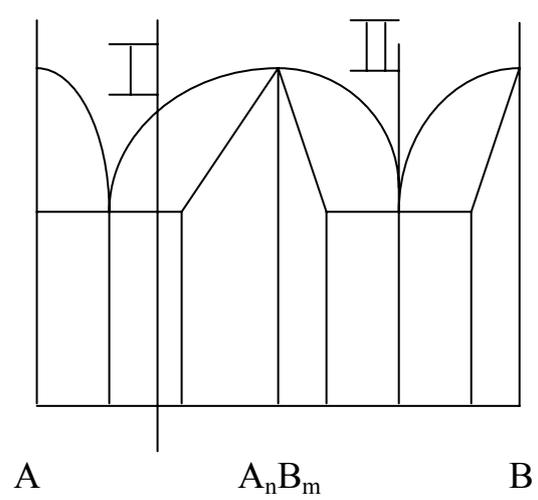
Вариант 4



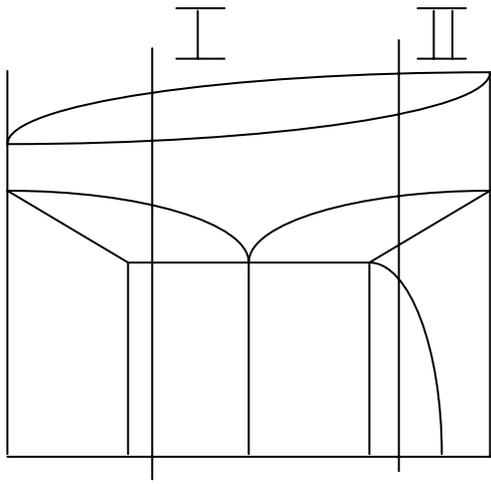
Вариант 5



Вариант 6



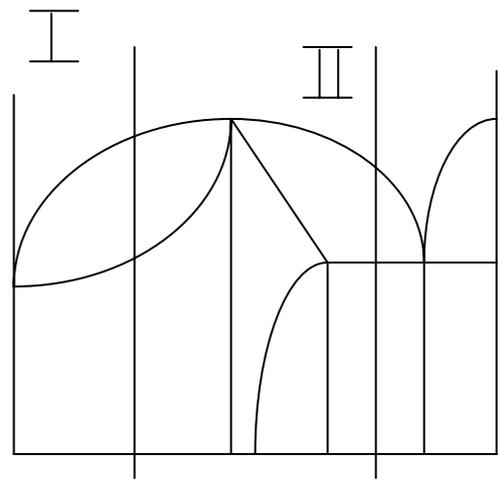
Вариант 7



A

B

Вариант 8

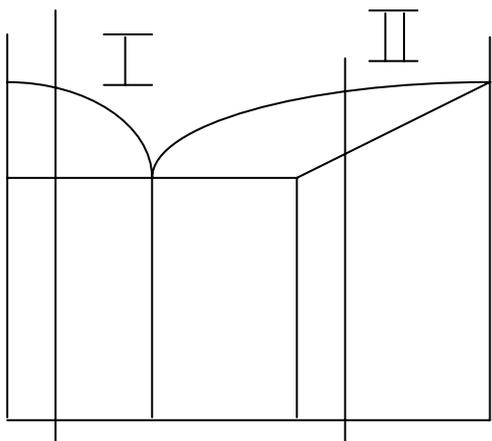


A

$A_n B_m$

B

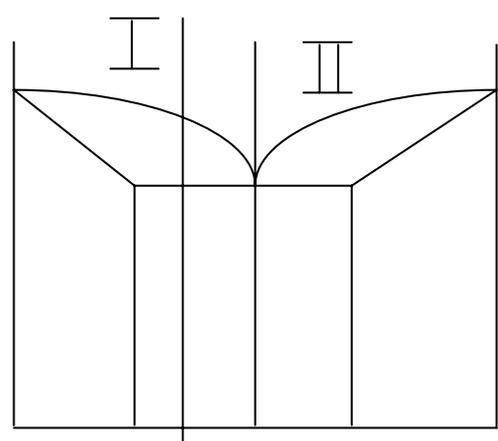
Вариант 9



A

B

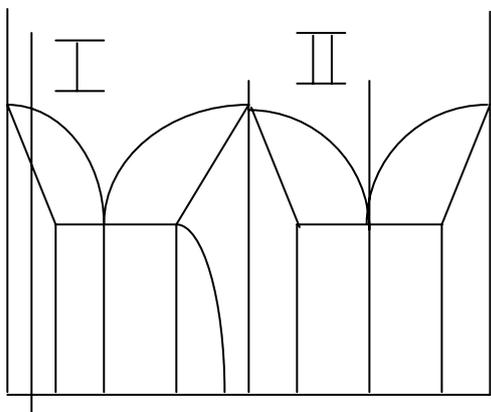
Вариант 10



A

B

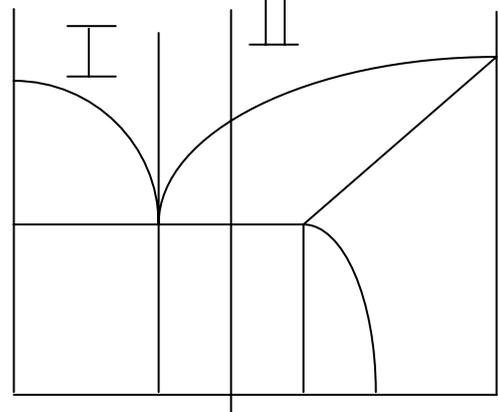
Вариант 11



A

B

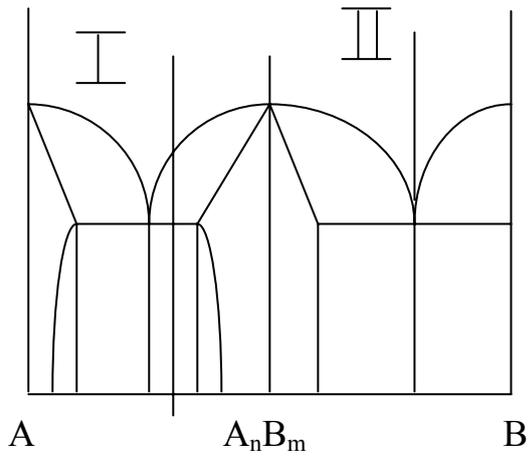
Вариант 12



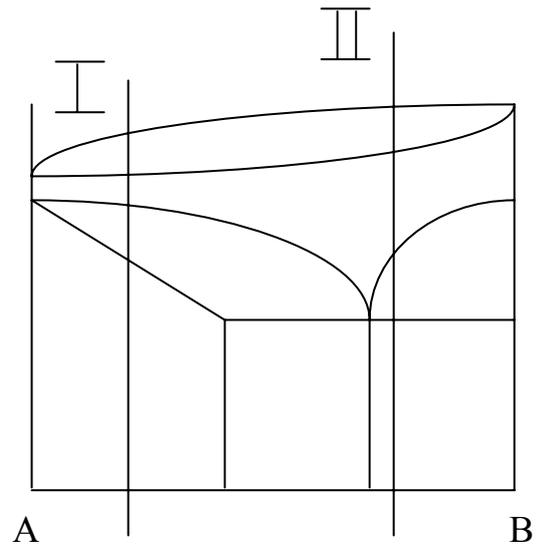
A

B

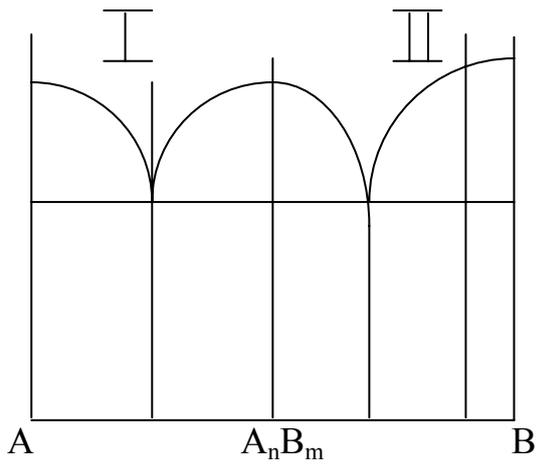
Вариант 13



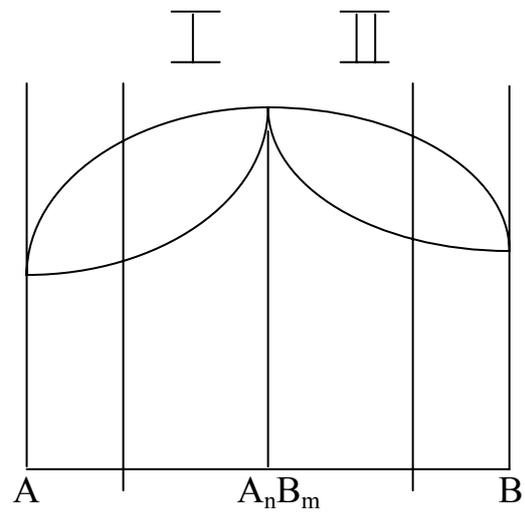
Вариант 14



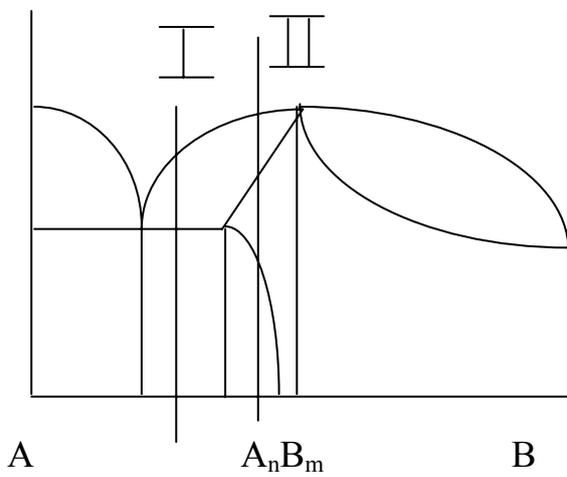
Вариант 15



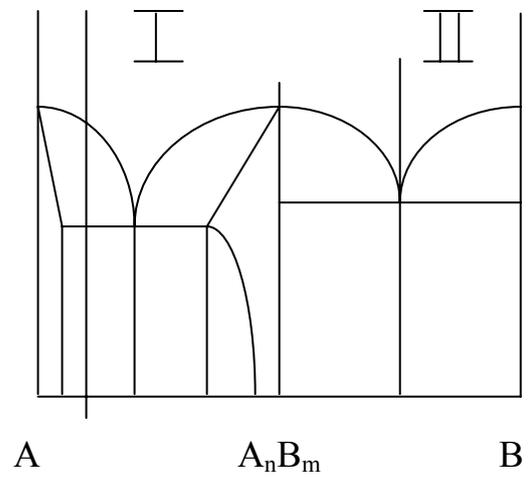
Вариант 16



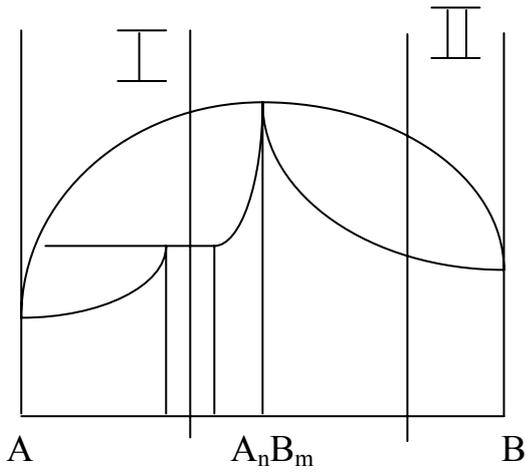
Вариант 17



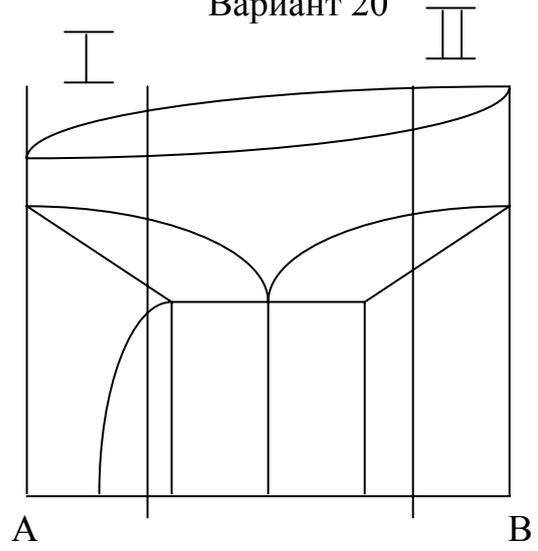
Вариант 18



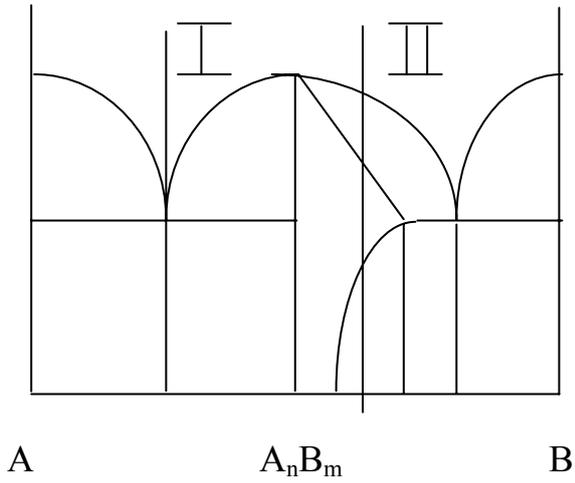
Вариант 19



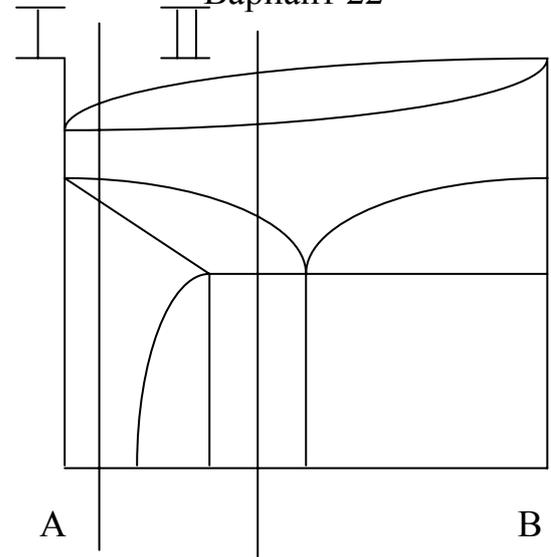
Вариант 20



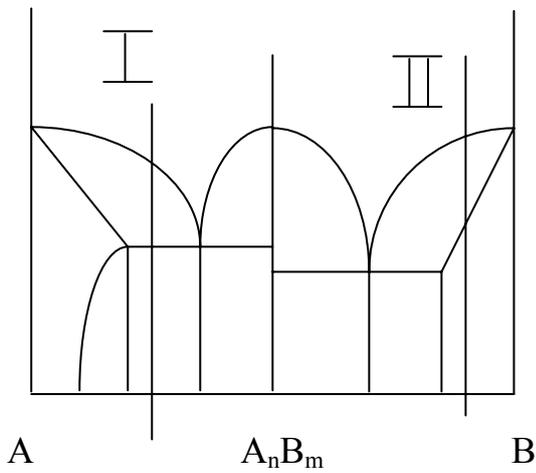
Вариант 21



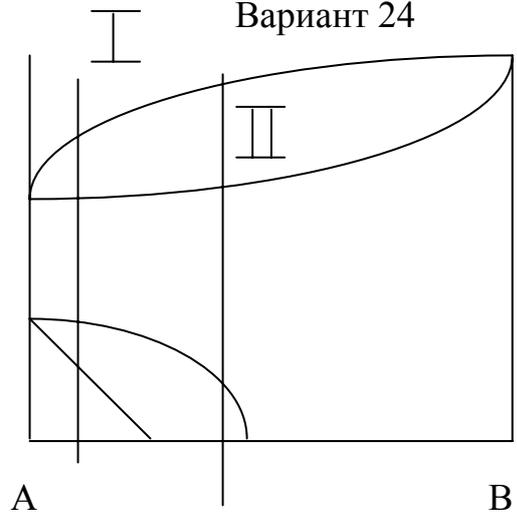
Вариант 22



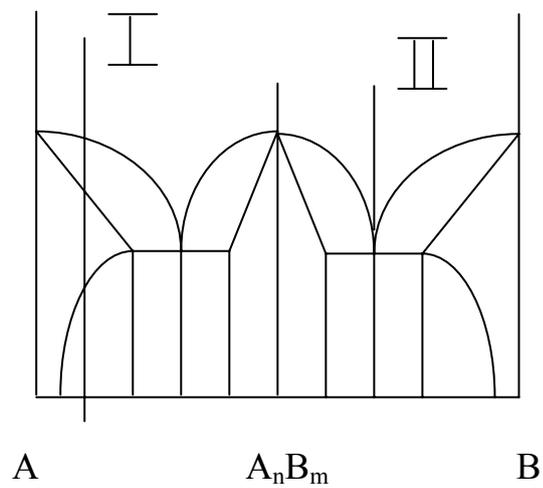
Вариант 23



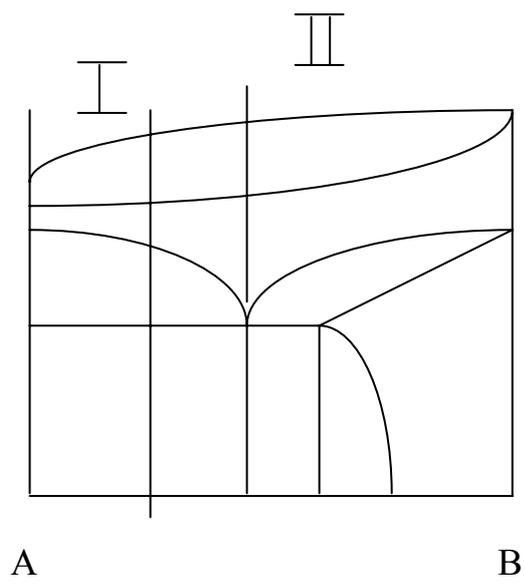
Вариант 24



Вариант 25



Вариант 26



Список основной литературы

1. *Гуляев, А. П.* Металловедение / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgy, 1986. – 544 с.
2. *Колесник, П. А.* Материаловедение на автомобильном транспорте / П. А. Колесник, В. С. Кланица. – М. : Академия, 2005. – 318 с.
3. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 528 с.
4. Материаловедение / Б. Н. Арзамасов и др. ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 648 с.
5. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / под ред. В. С. Чередниченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Омега-Л, 2006. – 752 с.
6. *Мозберг, Р. К.* Материаловедение / Р. К. Мозберг. – 2-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1991. – 448 с.
7. *Ржевская, С. В.* Материаловедение / С. В. Ржевская. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Университетская книга, Логос.- 424 с.
8. *Солнцев, Ю. П.* Материаловедение / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2004. – 736 с.

Список дополнительной литературы

1. *Гелин, Ф. Д.* Металлические материалы : Справочник / Ф.Д. Гелин. – Минск : Высш. шк., 1987. – 368 с.
2. *Геллер, Ю. А.* Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Metallurgy, 1989. – 456 с.
3. *Журавлев, В. П.* Машиностроительные стали : Справочник / В. П. Журавлев, О. И. Николаева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 480 с.
4. *Золоторевский, В. С.* Механические свойства металлов / В. С. Золоторевский. – 2-е изд. – М. : Metallurgy, 1983. – 352 с.
5. Композиционные материалы : Справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др. ; под общ. ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
6. Конструкционные материалы : Справочник / Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др. ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
7. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник / под ред. Л. С. Ляховича. – М. : Metallurgy, 1981. – 424 с.

Оглавление

Предисловие	3
<i>Лабораторная работа N 1. Методы измерения твердости</i>	<i>4</i>
<i>Лабораторная работа N 2. Макроанализ и дефектоскопия металлов</i>	<i>7</i>
<i>Лабораторная работа N 3. Микроструктурный анализ металлов и сплавов</i>	<i>10</i>
<i>Лабораторная работа N 4. Рентгеноструктурный анализ</i>	<i>13</i>
<i>Лабораторная работа N 5. Процесс кристаллизации веществ</i>	<i>17</i>
<i>Лабораторная работа N 6. Пластическая деформация и рекристаллизация металлов и сплавов</i>	<i>20</i>
<i>Лабораторная работа N 7. Диаграмма состояния двойных сплавов</i>	<i>24</i>
<i>Лабораторная работа N 8. Расшифровка обозначений марок сталей, чугунов и цветных сплавов</i>	<i>26</i>
<i>Лабораторная работа N 9. Микроструктурный анализ цветных сплавов</i>	<i>28</i>
<i>Лабораторная работа N 10. Термическая обработка дюралюмина</i>	<i>34</i>
<i>Лабораторная работа N 11. Микроструктурный анализ углеродистых сталей в равновесном состоянии</i>	<i>38</i>
<i>Лабораторная работа N 12. Микроструктурный анализ чугунов</i>	<i>43</i>
<i>Лабораторная работа N 13. Термическая обработка углеродистых сталей</i>	<i>48</i>
<i>Лабораторная работа N 14. Выбор материалов</i>	<i>54</i>
Задачи	57
Приложение	62

Учебное издание
КАРТОНОВА Любовь Владимировна
КОСТИН Альберт Васильевич
ЦВЕТАЕВА Вера Борисовна

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

Подписано в печать 15.05.07.

Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 3,95. Тираж 200 экз.

Заказ

Издательство Владимирского государственного университета
600000, Владимир, ул. Горького, 87.