

Владимирский государственный университет

**ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ
ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ**

Владимир 1999

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Владимирский государственный университет

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

Под редакцией А.В.Костина, В.А.Кечина

Владимир 1999

УДК 669.01(076.5)

Л12

Авторы:

В.М.Баландин (лаб.работы № 5, 7, 8);

Л.В.Картонова (лаб.работы № 2, 4);

А.В.Костин (лаб.работы № 10, 14);

А.С.Петров (лаб.работы № 1, 3, 6, 13);

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

Рецензенты

Доктор технических наук

Владимирского научно-производственного объединения «Магнетон»

И.В.Беляев

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Технология литейных процессов»

Московского государственного института стали и сплавов
(технологического университета), председатель Научно-
методического совета по специальности «Литейное производство»

Л.Я.Козлов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Л12 **Лабораторный** практикум по материаловедению /В.М.Баландин, Л.В.Картонова, А.В.Костин и др.; Под ред. А.В.Костина и В.А.Кечина. Владим.гос.ун-т. Владимир, 1999.84 с. ISBN 5-89368-109-6.

Содержат 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 (101200, 120100, 120300, 150200, 190100, 190500, 210200,210300, 230100, 290700).

Ил. 19. Табл. 11. Библиогр.: 12 назв.

УДК 669.01(076.5)

ISBN 5-89368-109-6.

@ Владимирский государственный
Университет, 1999

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 и с рекомендованной литературой, изложенными в лабораторном практикуме

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

При составлении лабораторных работ использованы методические указания под редакцией проф. Г.П.Иванова и доц. А.К.Волкова.

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. Выполнить контрольные задания.
5. Составить отчет.

Общие положения

Под твердостью понимают сопротивление материала внедрению в него более твердого тела, называемого индентором. Индентор - тело правильной геометрической формы (шар, конус, трех- и четырехгранная пирамиды) изготавливается из прочных материалов, закаленной стали, твердого сплава или алмаза. Различают статические, статико-динамические и динамические методы измерения твердости. В статических методах измерения твердости время взаимодействия индентора с измеряемой поверхностью составляет 30 - 40 секунд, в динамических реализуется принцип мгновенного, обычно упругого взаимодействия индентора с измеряемой поверхностью. Статико-динамические методы занимают среднее положение между статическими и динамическими методами измерения твердости.

К статическим методам измерения твердости относят методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и модификацию метода Виккерса - микротвердость.

Метод Бринелля: в испытуемый металл под определенной постоянной нагрузкой вдавливаются стальной закаленный шарик соответствующего диаметра. Шарик оставляет на испытуемой поверхности отпечаток - лунку, размер которой зависит от твердости материала. Отношение нагрузки P , кгс, к площади сферической поверхности отпечатка - лунки F , мм², называют числом твердости по Бринеллю и обозначают через HB , кгс/мм²:

$$HB = P / F.$$

Если поверхность отпечатка выразить через диаметр шарика D и диаметр отпечатка d , то число твердости по Бринеллю определяется по формуле, кгс/мм²:

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

Диаметр отпечатка d измеряют бинокулярной лупой, имеющей шкалу с делениями с точностью до сотых долей миллиметра.

По формуле рассчитывают числа твердости по Бринеллю в зависимости от диаметра отпечатка (таблица чисел твердости ГОСТ 9012-59). Во избежание остаточной деформации стального шарика необходимо, чтобы твердость его была в 1,5 раза выше твердости испытуемых материалов, поэтому для испытания материалов с твердостью >450 кгс/мм² по HB применять метод Бринелля не рекомендуется. Высота образца для измерения твердости по Бринеллю должна быть в 10 раз больше высоты лунки. Область применения: определение твердости чугунов, пластичных сталей и цветных сплавов.

Метод Роквелла, HR, более универсален, так как позволяет испытывать металлы любой твердости, включая и твердые сплавы. Метод Роквелла применим для определения твердости сравнительно тонких образцов (толщиной 0,4 мм). За единицу твердости принимают осевое перемещение индентора на 0,002 мм. Числа твердости при испытании определяются непосредственно отсчетом по шкале индикатора. Их три: B , C , A . Шкала B (красная) - применяется для измерения твердости пластичных и отожженных материалов, шкала C - для измерения твердости закаленных сталей, шкала A - для измерения твердости наиболее твердых материалов - твердых сплавов. В соответствии с вышеизложенным применяют два индентора - стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм и алмазный или твердосплавный конус с углом при вершине 120°.

Для уменьшения разброса результатов измерения используют предварительное нагружение с $P = 10$ кгс и окончательное P_1 определяемое шкалой (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

Наименование сплава	Шкала	P , кгс	P_1 , кгс	Индентор	Обозн., чисел твердости
Пластичный и отожженный Закаленные стали Твердый сплав	B	10	90	Стальной шарик	HRB
	C	10	140	Алмазный (твердосплавный) конус	HRC
	A	10	50	Алмазный (твердосплавный) конус	HRA

Метод Виккерса применяют при определении твердости поверхностных слоев (цементируемых, азотированных) и образцов материалов различной твердости в тонких сечениях. При измерении твердости по Виккерсу, HV , в испытуемый материал вдавливаются четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине 136° . Твердость по Виккерсу определяет удельное давление, приходящееся на единицу поверхности отпечатка, кгс/мм²:

$$HV = \frac{P}{F}$$

Если выразить площадь поверхности отпечатка через его диагональ, то получим, кгс/мм²,

$$HV = \frac{2P \sin(\alpha / 2)}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

где P - нагрузка, кгс; α - угол при вершине индентора, равный 136° ; d - среднее арифметическое длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

При определении твердости на приборе Виккерса измеряют длину диагоналей с помощью измерительного микроскопа и по таблице определяют число твердости в зависимости от выбранной испытательной нагрузки. Метод Виккерса в отличие от методов Бринелля и Роквелла обладает подобием, т.е. твердость, определенная для одного материала при различных нагрузках, одинакова.

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 таблицу) Результаты измерения занести в табл. 1.2. рассчитать a_n углеродистых сталей по формуле $\sigma_B = 0,36HV$.

Таблица 1.2

Марка стали	Содержание углерода С, %	НКВ				НВ кгс/мм ²	σ_B кгс/мм ²
		I	II	III	Cре		
Армко-железо	0,03						
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 углеродистых сталей по методу Бринелля и определить предел прочности сталей.

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.
4. Данные по твердости сталей, измеренных методом Бринелля.
5. Список используемой литературы.

Контрольные задания

1. Понятие о твердости, значение измерения твердости для приборостроения и машиностроения. Корреляция между твердостью и другими свойствами сплавов.
2. Статические, статико-динамические и динамические принципы измерения твердости.
3. Метод измерения твердости по Бринеллю, область применения.
4. Условия и организация измерений твердости по Бринеллю.
5. Метод измерения твердости по Роквеллу, область применения.
6. Метод измерения твердости по Виккерсу, область применения.
7. Метод измерения твердости у крупных изделий.
8. Метод измерения твердости шариков шарикоподшипников.
9. Принцип подобия при измерении твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.
10. Соотношение значений твердости по различным шкалам для образцов с одинаковым модулем упругости.
11. Метод измерения микро твердости, условия и организация эксперимента.

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.

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 и макро анализ сварного соединения стальных изделий.
- 4.Ознакомиться с работой магнитного дефектоскопа, выявить дефекты стального калибра методом магнитной дефектоскопии. Получить представление о других методах дефектоскопии.
- 5.Выполнить контрольные задания.
- 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 не разрушенного 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 (усадочная 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.

Для контроля стальных деталей 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 и макроанализа сварного соединения стальных изделий. Для этого студенты делятся на 2 группы, каждая из которых выполняет свою половину задания, после этого они меняются местами.

Для определения ликвации серы используют метод отпечатков (метод Баумана). Для этого на хорошо подготовленную поверхность накладывают фотографическую (бромосеребряную) 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), происходит 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 клеивается в отчет, где должны содержаться данные о протекающих реакциях и выводы по результатам анализа.

При выполнении макроанализа сварного соединения стальных изделий используют реактив для поверхностного травления (реактив Гейне). 10%-ный водный раствор двойной соли хлорной меди и аммония окрашивает в стали и железе места, богатые фосфором, углеродом и серой в темный цвет, при этом выявляется также и пористость. Образец исследуемого металла шлифованной поверхностью погружают в реактив на 1 минуту, затем осевшую на поверхность медь осторожно снимают ваткой, после чего образец просушивают фильтровальной бумагой. Дефектные участки растравливаются в большей степени. В отчете должны быть представлены эскизы исследуемых изделий 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), состоящий 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. Отпечаток по ликвации серы по методу Баумана и выводы по анализу.
3. Эскиз поверхности сварных соединений после выполнения макроанализа и выводы по результатам данного анализа.
4. Список используемой литературы.

Контрольные задания

1. Цели и задачи макроанализа.
2. Виды макроскопических дефектов и их влияние на свойства металла.

11

3. Виды изломов и их особенности связь со свойствами металла.
4. Особенности усталостного излома.
5. Виды и происхождение раковин и пор.
6. Волокно а 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.

Библиографический список

1. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Металловедение. М.: Металлургия, 1989.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.
3. Кузьмин Б.А., Самохоцкий А.И., Кузнецова Т.Н. Металлургия, металловедение и конструкционные материалы. М.: Высш. шк., 1971.
4. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1990.

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

I. 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.

12

4. Изучить под микроскопом и зарисовать поверхности образцов после различных обработок. Определить увеличение микроскопа.

5. Определить размер зерна на микрошлифах, используя балльную систему и непосредственно по цене делений окуляра (с охватом поперечника 10 зерен).

6. Выполнить контрольные задания.

7. Составить отчет.

Общие положения

Различают макроструктуру, микроструктуру и субмикроструктуру металлов и сплавов.

Макроструктура - это структура металлов и сплавов, видимая невооруженным глазом или при увеличении до 30 раз. Микроструктура - это структура металлов и сплавов, видимая при увеличении в 100 - 1500 раз. Субмикроструктура - это структура металлов и сплавов, видимая при увеличении в 10000 - 250000 раз. В первом случае фиксируют грубую, дендритную структуру, волокна, трещины, раковины, во втором наблюдают зеренную структуру металлов и сплавов, в третьем - тонкую структуру металлов и сплавов, дислокации.

Микроструктурный анализ заключается в исследовании структуры материалов с помощью микроскопа.

Задачи микроанализа

1. Оценка формы и размеров зерен металлов и сплавов.
2. Определение формы и размеров неметаллических включений.
3. Анализ изменения микроструктуры сплавов после термической, химико-термической обработки и обработки металлов давлением
4. Определение химического состава некоторых структурных составляющих по их окраске после применения избирательных травителей.

Методика приготовления микрошлифов (микрошлиф - обычно размерами 10x10x20 мм) включает три основных операции: шлифование, полирование, травление.

Шлифование проводят вручную или механическим способом на вращающемся шлифовальном круто, применяют шлифовальную бумагу следующих номеров: с 10-го до 65-го через десять номеров с убывающим размером зерна. После шлифования шлифовальной бумагой с большим

размером зерна на поверхности наблюдается сильная шероховатость.

При смене шлифовальной бумаги меняют направление шлифования на перпендикулярное, что уменьшает шероховатость поверхности шлифа. После шлифования на поверхности шлифа видны риски.

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

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

Зеренную структуру металлов и сплавов наблюдают в оптическом микроскопе МИМ-7, МИМ-8 и др. Практически увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива. Разрешающая способность микроскопа зависит от длины волны видимого света и составляет 0,2 мкм при максимальном увеличении $\times 1500$. Форма и размер зерна оцениваются двумя методами: балльным методом и непосредственно по измерению обычно 10 поперечников зерен с предварительно определенной ценой деления шкалы окуляра.

Методика определения размера зерна по балльной системе и с помощью окуляр- и объект-микрометра

1. Определение размера зерна по баллу зерна.

Установить увеличение микроскопа МИМ-7, равное $\times 100$. Сравнить зеренную структуру исследуемого микрошлифа с таблицей зернистости стали ($\times 100$) и определить балл зерна. По баллу зерна определить размер зерна в микрометрах.

2. Определение размера зерна при помощи окулярных и объективных микрометров.

Поставить на предметный столик объект-микрометр и определить, цену

деления окуляр-объект-микрометра C для данного объектива по формуле, мм,

$$C = A / (B * 100),$$

14

где C - цена деления окуляр-микрометра для данного объектива;

A - количество делений шкалы объект-микрометра;

B - количество делений окуляр-микрометра.

Определить средний размер зерна в горизонтальном направлении, взяв 5 - 10 поперечников зерна, по формуле, мм :

$$l_{\text{ср}} = K \cdot C / M_{\text{ср}},$$

где K - количество делений окуляр-микрометра, соответствующее 5 - 10 поперечникам зерна; C - цена делений окуляр-микрометра для данного объектива; $M_{\text{ср}}$ - число зерен (10 - 15) , приходящихся на K деления окуляр-микрометра.

Определить средний размер зерна в вертикальном направлении, используя вышеприведенную методику, и рассчитать площадь зерна, приняв условно $l_{\text{ср}} = d$, по формуле :

$$d_{\text{ср}} = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot P}{4},$$

где d - средняя площадь зерна, мкм^2 ,

Порядок выполнения работы

Первое и второе задания студенты выполняют при подготовке к работе. Обратить 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 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 правления (сталь)

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

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

15

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Микроструктуры шлифованного, полированного и травленых микрошлифов стали и чугуна с необходимыми объяснениями, увеличение микроскопа.
3. Оптическая схема микроскопа МИМ-7 со спецификацией основных элементов схемы.
4. Разрешающая способность микроскопа при длине волны видимого света, равной 6000 А.
5. Размер зерна стали и чугуна.
6. Список используемой литературы.

Контрольные задания

1. Область применения микроструктурного анализа
2. Методика приготовления шлифов.
3. Принципиальная оптическая схема микроскопа МИМ-7. Максимальное увеличение микроскопа. Разрешающая способность микроскопа.
4. Понятие о зеренной структуре металлов и сплавов. Что собой представляют границы зерен.
5. Балльный метод оценки размеров зерна в металлах и сплавах.
6. Оценка зерна в металлах и сплавах с помощью окуляра и объектив-микрометра.
7. Влияние размеров зерна на механические свойства металлов и сплавов.
8. Влияние зернистости на механические свойства металлов.
9. Влияние формы неметаллических включений и характера распределения на механические свойства.

Библиографический список

1. Гуляев Д.П. Металловедение. М: Металлургия. 1985.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение. 1990.

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. Выполнить контрольные задания.

6. Составить отчет.

Общие положения

Рентгеновские лучи возникают при соударении быстролетящих электронов с атомами любого элемента и представляют собой электромагнитные волны в диапазоне между ультрафиолетовыми лучами и гамма-лучами. Рентгеновский спектр может быть сплошным (тормозным) либо линейчатым (характеристическим). Длина волны рентгеновского излучения по величине близка к межатомным расстояниям в кристаллической решетке вещества. Поэтому кристаллы являются для рентгеновских лучей естественными трехмерными дифракционными решетками.

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

Одним из распространенных методов рентгеноструктурного анализа

является метод порошка (метод Дебая-Шерера), который позволяет следить за деформированием металла и контролировать режим термообработки. По рентгенограмме (дебаеграмме) можно судить о фазовом составе сплава, определить концентрации твердого раствора, изучать распределение внутренних напряжений.

17

В методе порошка в качестве объекта исследования берут поликристаллическое вещество (порошок), состоящее из частиц с линейными размерами не больше нескольких микрон, и используют характеристическое излучение.

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 дело.

Пусть узкий пучок монохроматических рентгеновских лучей с известной данной волны λ падает на совокупность большого числа кристаллов (кристаллическую решетку), которая может быть охарактеризована семейством параллельных плоскостей с определенными межплоскостными расстояниями. При взаимодействии рентгеновских лучей с кристаллическим веществом возникает дифракционная картина, максимумы интенсивности которой

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

удовлетворяют уравнению Вульфа-Брегга

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 (дебаеграммы) подлежит расшифровке, что и является практической задачей данной работы.

18

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 $\rho =$

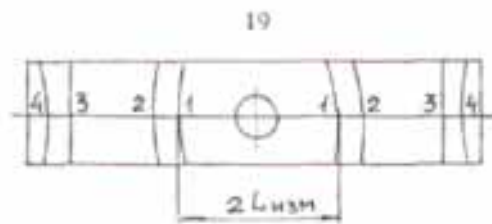
Таблица 4.1.

№ п/п	$2L_{изм}$, мм	$\theta_{приб}$, град.	Поправка на поглощени е $\Delta\rho$,мм	$2L_{исп}$, мм	$\theta_{точн}$, град.	$\theta_{точн}$, град. и мин.	$\sin\theta$	$d_{i\text{ расч.}}$ Å	Табл. знач. d_i Å
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 $\theta_{\text{прибл}}$ определяют по формуле, град. :

$$\theta_{\text{прибл}} = 2L_{\text{изм}} / 2.$$

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 $2L_{\text{испр}}$ получают из формулы

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

где $\Delta\rho$ - 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_i расч.

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

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.

20

Рентгеновская плотность вещества ρ рассчитывается по формуле, г/см^3 ,

$$P = nA / a^3,$$

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

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. Список используемой литературы.

Таблица 4.2

Хим. элемент	Межплос. расстояние d, Å	Параметр ячейки a, Å	Атомный радиус r, Å	Координационное число	Температура плавления, °С	Плотность ρ , г/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	102	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	1,46	Г12	1668	4,51	47,9

Mg	2,77	$c=4,68$ $a=3,21$	1,6	Г12	651	1,78	24,3
Pb	2,85	$c=5,21$ 4,95	1,75	К12	327	11,34	207
Sn	2,91	6,49	1,58		232	7,29	118,7

Контрольные задания и 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.

Библиографический список

1. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализы. М.: Металлургия. 1970.
2. Русаков А.А. Рентгенография металлов. М.: Атомиздат. 1977.
3. Уманский Я.С. Рентгенография металлов и полупроводников. М.: Металлургия, 1969.

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 кривые охлаждения цинка.

22

3. Проследить за процессом кристаллизации капли азотнокислого свинца $Pb(NO_3)_2$.

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

5. Выполнить контрольные задания.

6. Составить отчет.

Общие положения

Переход металла из жидкого состояния в твердое называется кристаллизацией.

Она протекает вследствие перехода к термодинамически более устойчивому состоянию с меньшей энергией Гиббса G (свободной энергией).

При температуре t_0 значение G металла в жидком и твердом состояниях равны (рис.5.1). Температура t_0 соответствует равновесной температуре кристаллизации (или плавления) данного вещества, при которой обе фазы (жидкая и твердая) могут существовать одновременно. При температуре выше t_c более устойчив жидкий металл, имеющий меньшее значение G , а ниже этой температуры устойчив твердый металл. Процесс кристаллизации развивается, если имеется разность ΔG (см. рис.5.1).

Согласно второму закону термодинамики ни один процесс не может самопроизвольно совершаться без уменьшения свободной энергии Гиббса.

Следовательно, процесс кристаллизации может протекать лишь при переохлаждении металла ниже t_0 . Разность Δt между температурой t_0 и температурой t_{ϕ} , при которой протекает кристаллизация, называется степенью переохлаждения: $\Delta t = t_0 - t_{\phi}$. На рис.5.2 приведены кривые охлаждения, построенные методом термического анализа, которые

характеризуют процесс кристаллизации чистых металлов при охлаждении с разной скоростью. При медленном охлаждении степень переохлаждения невелика и кристаллизация протекает при температуре, близкой к равновесной (кривая V_1). На кривых охлаждения при температурах кристаллизации отмечаются горизонтальные площадки (остановка в падении температуры), образование которых объясняется выделением скрытой теплоты кристаллизации.

С увеличением скорости охлаждения степень переохлаждения возрастает (кривые V_2, V_3), и процесс кристаллизации протекает при температурах, лежащих значительно ниже t_0 . Степень переохлаждения (зависит от природы и чистоты металла; обычно она не превышает 10-30 °С. Чем чище жидкий металл, тем он более склонен к переохлаждению. При очень больших скоростях охлаждения можно получать "аморфный" металл.

23

Как впервые установил Д.К.Чернов, процесс кристаллизации начинается с образования кристаллических зародышей (центров кристаллизации) и продолжается при их росте.

Пока образовавшиеся кристаллы растут свободно, они могут иметь геометрически относительно правильную форму. При столкновении же растущих кристаллов их правильная форма нарушается. В результате расту-

Кристаллизация

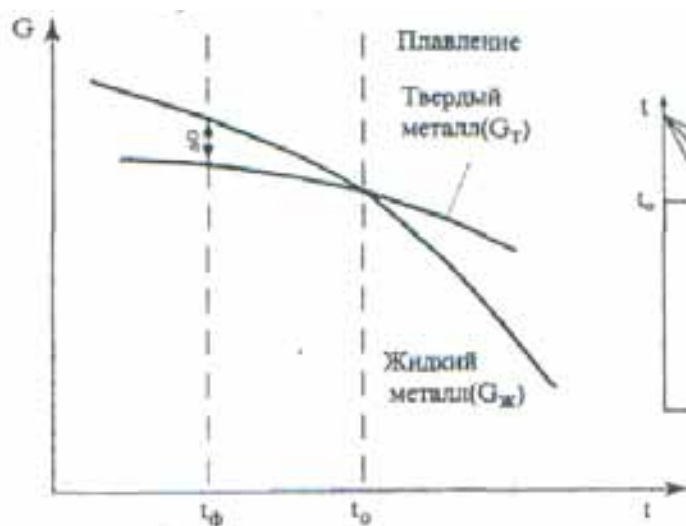


Рис.5.1 Изменение энергии Гиббса металла в жидком ($G_{ж}$) и твердом ($G_{т}$) состояниях в зависимости от температуры

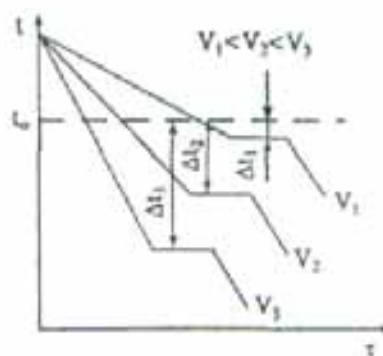


Рис.5.2. Кривые охлаждения в случае кристаллизации при различных степенях переохлаждения

щие кристаллы, имеющие сначала геометрически правильную форму, после

затвердевания получают неправильную внешнюю форму; их называют кристаллитами, или зернами.

Число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов. Скорость процесса кристаллизации и строение металла после затвердевания зависят от числа зародышей (центров кристаллизации), возникающих в единицу времени в единице объема ($1/\text{мм} \cdot \text{с}$), от скорости роста зародышей, т.е. от скорости увеличения линейных размеров растущего кристалла в единицу времени ($\text{мм}/\text{с}$).

Величина зерна. Чем больше центров кристаллизации (зародышей) и меньше скорость их роста, тем мельче кристалл, выросший из одного зародыша (зерно металла).

Величина зерна может меняться в пределах от 0.4 до 0.001 мм.

24

При небольшой степени переохлаждения (малой скорости охлаждения) число зародышей мало и скорость роста велика. В этих условиях будет получено крупное зерно. С увеличением степени переохлаждения число зародышей возрастает в большей мере, чем скорость их роста, и размер зерна в затвердевшем металле уменьшается (рис.5.3). Чем больше размер зерна, тем ниже пластичность и прочность металла.

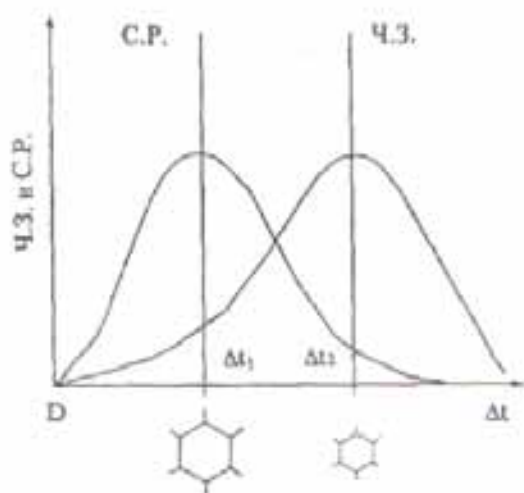


Рис.5.3 Схема зависимости числа зародышей (ч.з.) и скорости их роста (с.р.) от степени переохлаждения Δt

Величина зерна зависит не только от степени переохлаждения. На размер зерна влияют температура нагрева и разливки жидкого металла, его

химический состав и присутствие в нем посторонних примесей.

Строение металлического слитка. Кристаллы, образующиеся в процессе затвердевания металла, в зависимости от скорости охлаждения- характера и количества примесей могут иметь правильную 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. Кристаллизация жидкого металла начинается у поверхности более холодной формы. Вследствие большой скорости охлаждения это приводит к образованию на поверхности слитка очень узкой зоны 1 сравнительно мелких равноосных кристаллов (рис.5.4).

За зоной 1 расположена зона 2 удлиненных дендритов. Рост этих кристаллов происходит в направлении отвода тепла, т.е. нормально к стенкам изложницы. В случае сильного перегрева металла, быстрого охлаждения

25

его высокой температуры литья и спокойного заполнения формы зона удлиненных дендритов может полностью заполнить весь объем.

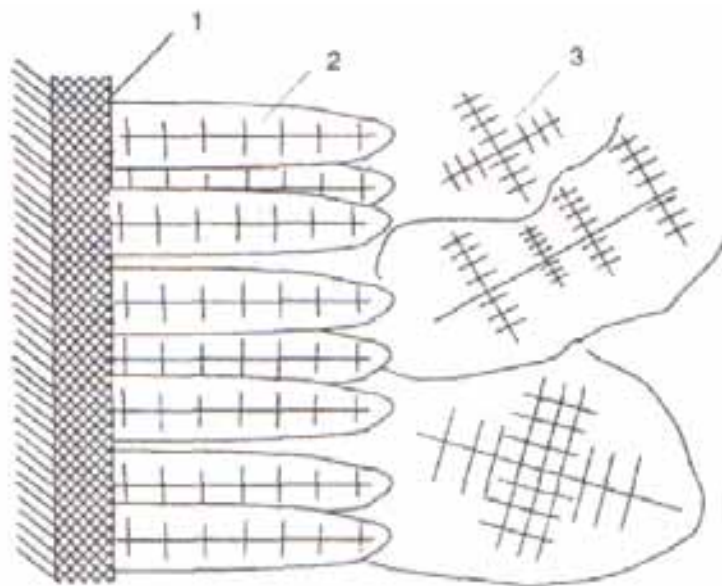


Рис.5.4. Схема строения литой стали: 1 - зона мелких различно ориентированных кристаллов; 2 - зона столбчатых кристаллов; 3 - зона крупных различно ориентированных кристаллов.

При низкой температуре литья и медленном охлаждении, например в срединных слоях крупных отливок, также создаются условия для возникновения зародышей кристаллов. Это приводит к образованию во внутренней части отливки структурной зоны 3, состоящей из равноосных различно ориентированных дендритов. Размеры этих кристаллов зависят от степени перегрева жидкого металла, скорости охлаждения, химического состава, наличия примесей и др.

Тугоплавкие частицы, находящиеся в жидком металле, способствуют развитию зоны мелких равноосных кристаллов.

Жидкий металл имеет больший удельный объем, чем твердый, поэтому в той части слитка, которая затвердевает в последнюю очередь, образуется полость - усадочная раковина. Усадочная раковина окружена наиболее загрязненной частью металла, в котором после затвердевания образуются микро- и макропоры и пузыри.

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 Zn. В расплав погружен горячий спай термопары, холодный подключен к потенциометру;

- снять показания потенциометра через 30 секунд в процессе охлаждения расплава Zn;

- по полученным данным построить кривые охлаждения в координатах ($M_{\text{в}}$ -с). По данной кривой определить критические точки в градусах Цельсия, соответствующие перегибам или остановкам ($M_{\text{в}}$), пользуясь градуировочной шкалой.

3. Процесс кристаллизации капли азотнокислого свинца издают под микроскопом при увеличении не больше $\times 100$. Для этого на подогретое стекло наносят каплю почти 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 зарисовать и 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. Кривые охлаждения цинка с необходимыми объяснениями и выводами.
3. Схема строения закристаллизовавшейся капли азотнокислого свинца и необходимыми объяснениями и выводами.

27

4. Рисунки металлических слитков, закристаллизовавшихся при различных условиях, с необходимыми объяснениями и выводами.
5. Список используемой литературы.

Контрольные задания

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.

Библиографический список

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: *Металлургия*, 1985.

2. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. М.: *Металлургия*, 1990.

28

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, $\lambda\%$, 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.Выполнить контрольные задания.

7.Составить отчет.

Общие положения

Пластическая деформация - это деформация, которая сохраняется после прекращения действий внешних сил.

Процесс пластической деформации происходит путем скольжения гонких слоев кристалла по определенным кристаллографическим плоскостям. Скольжение осуществляется в результате перемещения в кристалле дислокации. С увеличением степени деформации количество дислокаций увеличивается, движение их затрудняется в результате взаимодействия друг с другом. Происходит упрочнение металла, обусловленное изменением дислокационной структуры. В результате этих процессов изменяется форма кристаллов. До деформации зерно имело округлую форму, после деформации оно вытягивается в направлении действующих сил, образуя волокни-

29

стую структуру. С увеличением степени деформации растут твердость, предел прочности, уменьшаются показатели пластичности.

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

При нагреве деформированного металла происходят явления возврата и рекристаллизации, возвращающие металл в равновесное состояние.

Возврат происходит после нагрева наклепанного металла до температур ниже $0,3 T_{пл}$. В результате такого нагрева снимаются микронапряжения, происходит процесс перераспределения дислокаций, который называется полигонизацией. Это приводит к изменению тонкой структуры (субструктуры), т.е. внутреннего строения деформированных зерен без изменения их формы и размеров. Микроструктура остается без изменения, незначительно снижается прочность, несколько повышается пластичность, восстанавливаются физические свойства.

При дальнейшем повышении температуры до некоторой величины происходит образование новых равноосных зерен вместо старых деформированных. Этот процесс называется первичной рекристаллизацией. После рекристаллизации металл состоит из новых равноосных зерен. Полностью снимается наклеп и восстанавливаются все свойства. В процессе последующего нагрева происходит рост рекристаллизованных зерен за счет других. Этот процесс носит название собирательной рекристаллизации, он обусловлен стремлением системы к уменьшению свободной энергии.

Механические свойства меняются незначительно. Если какие-то зерна имеют предпочтительные условия для роста, то эта стадия рекристаллизации называется вторичной. Образующаяся разнотелность (много мелких и небольшое количество крупных зерен) отрицательно сказывается на механических свойствах, сильно понижается ударная вязкость. Этот процесс реализуется не во всех металлах.

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, $T_{\text{пл}}$ - температура плавления, К.

В зависимости от отношения температуры деформации к температуре рекристаллизации различают холодную и горячую деформации. Деформация, которая проводится ниже температуры рекристаллизации, называется холодной, она сопровождается наклепом. Деформация, осуществляемая выше температуры рекристаллизации, называется горячей, здесь упроч-

30

нение, 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

$$\alpha = ((H_0 - H_1) / H_0) 100 \%$$

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

Замеряется твердость по Роквеллу (HRB) недеформированного и деформированных образцов, значение твердости по Роквеллу переводится и величины твердости по Бринеллю, результаты измерения заносятся в табл. 6.1, строится график зависимости $HВ = f(\lambda, \%)$.

Таблица 6.1

Номер образца	Материал	$\lambda, \%$	HRB				НВ
			I	II	III	среднее	
1 2 3 4	Л80 (α - Латунь)	0					

3. Вторая группа студентов отжигает в печи образцы с наибольшей степенью деформации при $t = 200, 400, 600 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 20 минут и измеряет твердость по Роквеллу (HRB), переводит значения твердости по Роквеллу в величины твердости по Бринеллю, результаты измерений заносит в табл. 6.2.

4. Рассчитать температуру начала рекристаллизации α -латуни (Л80, $t_{пл} = 1059 \text{ }^\circ\text{C}$) по формуле А.А.Бочвара: $T_{н.р} = \alpha T_{пл}$.

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

31

Таблица 6.2

Номер образца	Материал	Температура отжига, $^\circ\text{C}$	$\lambda, \%$	HRB				НВ
				I	II	III	среднее	
4	Л80	0						
4	(α - Латунь)	200						
4		400						
4		600						

Содержание отчета

1. Название, задание и цель работы.

2. Табл. 6.1 с экспериментальными данными твердости деформируемой α -латуни. График зависимости твердости α -латуни (НВ) от степени деформации, %.

3. Расчет температуры начала рекристаллизации α -латуни (Л 80).

4. Табл. 6.2 с экспериментальными данными по твердости отожженной α -латуни при $t = 200, 400, 600 \text{ }^\circ\text{C}$. График зависимости твердости α -латуни (НВ) от температуры отжига.

5. Температура рекристаллизационного отжига α -латуни, область холодной и горячей обработки α -латуни.

6. Список используемой литературы

Контрольные задания и вопросы

1. Что такое упругая деформация металлов и сплавов? Физические методы определения упругой деформации. Структурно-чувствительные и нечувствительные характеристики упругой деформации.

2. Что такое пластическая деформация металлов и сплавов? Диаграмма напряжение - деформация для пластичных и хрупких металлов. Характеристики пластической деформации для пластичных и хрупких материалов.

3. Как происходит пластическая деформация в моно- и поликристаллах? Текстура деформированных материалов. Что такое дислокация и плотность дислокаций? Какова плотность дислокаций в отожженных и наклепанных образцах?

4. Физическая сущность наклепа. Как влияет наклеп на физические, химические и механические характеристики наклепанного материала?

32

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

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

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

8. Критическая степень деформации. Ее влияние на структуру и свойства отожженных материалов.

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

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия. 1985.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.

Лабораторная работа N 7

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Цель работы: методом термического анализа построить диаграмму состояния Zn-Sn.

Задания

1. Используя учебники и пособия, изучить графические принципы построения диаграмм состояния. Ознакомиться с правилом фаз и правилом отрезков.

2. Построить кривые охлаждения для ряда сплавов системы Zn-Sn. Правильность построения кривых охлаждения проверить по правилу фаз. По кривым охлаждения определить критические точки.

3. По критическим точкам исследуемых сплавов построить диаграмму состояния Zn-Sn. Во всех областях диаграммы состояния обозначить образующиеся структуры. Проанализировать формирование структур в сплавах, указанных преподавателем.

4. Выполнить контрольные задания.

5. Составить отчет.

Общие положения

Термический анализ заключается в построении для заданного сплава кривой охлаждения в координатах температура - время. Для построения кривой охлаждения необходимо при плавном, медленном охлаждении расплава периодически, через равные промежутки времени, регистрировать температуру. На полученных кривых температура - время фазовые превращения проявляются в виде характерных изгибов или площадок (остановок), соответствующих критическим точкам.

Появление горизонтального участка указывает, что превращение протекает при постоянной температуре; перегибы кривой наблюдаются в том случае, если превращение происходит в интервале температур. Поэтому кривые охлаждения или нагрева характеризуют температуру или особенности превращения.

Процесс кристаллизации металлических сплавов и связанные с ним многие закономерности строения сплавов описывают с помощью диаграмм состояния или диаграмм фазового превращения. Эти диаграммы в удобной графической форме показывают фазовый состав и структуру сплава в зависимости от температуры и концентрации.

Состояние сплава зависит от внешних условий (температуры, давления) и характеризуется числом и концентрацией образовавшихся фаз.

Закономерность изменения числа фаз в гетерогенной системе определяется правилом фаз, устанавливающим зависимость между числом степеней свободы, числом компонентов и фаз. Оно выражается уравнением

$$C = K + 2 - \Phi,$$

где C - число степеней свободы системы (или вариантность); K - число компонентов, образующих систему; 2 - число внешних факторов; Φ - число фаз, находящихся в равновесии.

Под числом степеней свободы (вариантностью системы) понимают число независимых переменных - температуры, давления и концентрации, при изменении которых не изменяется число фаз, находящихся в равновесии.

При изучении физико-химических равновесий за внешние факторы, влияющие на состояние сплава, принимают температуру и давление. Применяя правило фаз к металлам и сплавам, можно во многих случаях принять изменяющимся только один внешний фактор - температуру, так как давление, за исключением очень высокого, мало влияет на фазовое равновесие сплавов в твердом и жидком состояниях.

Тогда уравнение примет вид $C = K + 1 - \Phi$.

Обычно диаграммы состояния получают экспериментально, а правило фаз используют для анализа опытных данных. Диаграммы состояния строят в координатах температура - концентрация в процентах по массе или реже в атомных процентах.

Для построения диаграммы состояния, особенно для определения температур затвердения, используют термический анализ. Пример построения диаграммы состояния с помощью кривых охлаждения для случая полной взаимной растворимости компонента А и В в жидком и твердом состояниях приведен на рисунке.

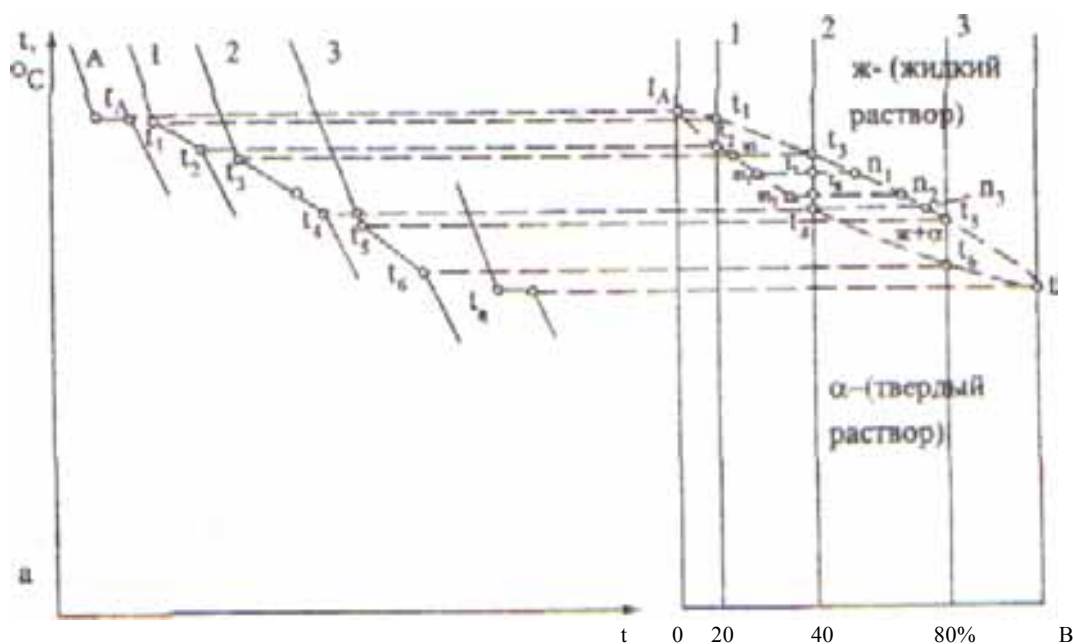


Диаграмма состояния для случая неограниченной растворимости компонентов А и В в жидком и твердом состояниях: а - кривые охлаждения; б - диаграмма состояния

Рассмотрим построение диаграммы состояния при помощи наиболее часто применяющегося для этой цели метода термического анализа. Температура охлаждаемого чистого компонента А равномерно понижается до t_A (рисунок, а), при этой температуре компонент А затвердевает. На кривой отмечается остановка (горизонтальная линия), так как согласно правилу фаз только в этом случае при постоянной температуре могут существовать две фазы - твердая и жидкая ($C = 1 + 1 - 2 = 0$). После затвердевания компонента А, когда $C = 1$, температура снова равномерно понижается. Аналогично протекает кристаллизация компонента В (см. рисунок а, кривая В).

При охлаждении сплава 1 температура равномерно понижается до t_1 (см. рисунок а). При температуре t_1 начинается процесс кристаллизации, и на

35

кривой охлаждения отмечается перегиб (критическая точка), связанный с уменьшением скорости охлаждения вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации.

Начиная от температуры t_1 , из жидкого сплава кристаллизуется твердый раствор. Процесс кристаллизации протекает при понижающейся температуре, так как согласно правилу фаз в двухкомпонентной системе при наличии двух фаз (жидкой и кристаллов твердого раствора α) число степеней свободы будет равно единице ($C = 2 + 1 - 2 = 1$).

При достижении температуры t_2 (см. рисунок а) сплав затвердевает, и

при более низких температурах существует только α - твердый раствор. Аналогично затвердевают и другие сплавы этой системы.

Если найденные критические точки от t_1 до t_6 перенести на диаграмму, где по оси абсцисс нанесены составы сплавов, а по оси ординат температура, и одновременные критические точки (т.е. отражающие одинаковый физический процесс) соединить плавными кривыми, то получится диаграмма состояния системы сплавов компонентов А и В, образующих непрерывный ряд твердых растворов (рисунок б).

Для определения состава фаз, находящихся в равновесии при любой температуре, лежащей между линиями ликвидус (начала затвердевания) и солидус (окончание затвердевания), например t_7 или t_8 (см. рисунок б), нужно через данный температурный уровень t_7 или t_8 провести линию, параллельную оси концентраций до пересечения с линиями ликвидус и солидус. Тогда проекция точки пересечения этой линии с линией ликвидус (n_1 и n_2) на ось концентраций укажет состав жидкой фазы, а точки пересечения с линией солидус (m_1 и m_2) - состав твердой фазы (α -раствора).

В процессе кристаллизации меняется не только состав фаз, но и количественное соотношение между ними. Для определения количественного соотношения фаз, находящихся в равновесии при данной температуре, пользуются правилом отрезков (рычага). Согласно этому правилу, например, для определения объемного количества твердой фазы необходимо вычислить отношение длины отрезка, примыкающего к составу жидкой фазы, к длине всей коноды; для определения количества жидкой фазы - отношение длины отрезка, примыкающего к составу твердой фазы, к длине коноды. Следовательно, количество твердой фазы (в процентах) при температуре t_7 , определится отношением отрезка t_7n_1 к длине коноды m_1n_1

$$\alpha = (t_7 n_1 / m_1 n_1) 100\%.$$

Массу или объем жидкой фазы при температуре t_7 определим из соотношения

$$Ж = (t_7 m_1 / m_1 n_1) 100\%.$$

36

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется студентами при подготовке к лабораторной работе.

Второе задание выполняется в лаборатории бригадами по 2-3 человека. Каждая бригада получает расплав одного из сплавов, указанного преподавателем. Работа проводится в следующей последовательности:

- тигель с расплавом поставить, пользуясь специальными клещами, на установку для термического анализа. Установка состоит из штатива и

термопары, соединенной с электронным потенциометром;

- в расплав погрузить горячий спай термопары с защитным колпачком (термопара должна упираться в дно колпачка);

- при охлаждении через каждые 30 секунд регистрировать показания потенциометра;

- по полученным данным построить кривую охлаждения в координатах температура - время, мин;

- по кривым охлаждения определить критические точки, соответствующие перегибам или остановкам, мВ. По градуировочным кривым по соответствующим значениям ТЭДС определить критические точки в градусах Цельсия;

- данные, полученные всеми бригадами, занести в таблицу;

- каждому студенту построить схемы кривых охлаждения всех исследуемых сплавов;

- по критическим точкам построить диаграмму состояния в координатах концентрация - температура. Указать значение линий диаграмм состояния.

Описать фазовые превращения в указанном сплаве, анализируя изменения химического состава фаз и их весового количества.

Исследуемый сплав	Начало кристаллизации		Конец кристаллизации	
	мВ	°С	мВ	°С
100% олова 75% олова+25% цинка 50% олова +50% цинка 25% олова+75% цинка 25% олова+75% цинка 100% цинка				

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.

2. Схемы кривых охлаждения сплавов.

37

3. Таблица критических точек.

4. Диаграмма состояния.

5. Описание процесса кристаллизации, фазовых превращений и окончательной структуры одного из сплавов.

6. Список используемой литературы.

Контрольные задания и вопросы

1. Диаграмма состояния сплавов, кристаллизующихся с образованием

механической смеси из чистых компонентов. Линии, точки, структуры в различных областях диаграммы.

2. Сущность и назначение термического анализа.
3. Правило фаз.
4. Правило отрезков.
5. Как определить концентрацию и весовое количество фаз, находящихся в равновесии в двухфазном состоянии сплавов?
6. Что такое эвтектическое превращение?
7. Опишите кривую охлаждения и кристаллизацию сплавов с различным содержанием цинка.
8. Что такое критические точки и как их определить по кривой охлаждения?
9. Что такое эвтектика, условия ее образования и структура?
10. Указать сплав, обладающий наилучшими литейными свойствами в системе Zn-Sn.
11. Указать сплав, обладающий наилучшими механическими свойствами в системе Zn-Sn.
12. Указать наиболее легкоплавкий сплав системы Zn-Sn.
13. Опишите кривую охлаждения и кристаллизации сплава с 5%-ным содержанием цинка.
14. Опишите кривую охлаждения и кристаллизации сплава с 10%-ным содержанием цинка.
15. Опишите кривую охлаждения и кристаллизации сплава с 50%-ным содержанием цинка.

Библиографический список

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: *Металлургия*, 1985.
2. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. М.: *Металлургия*, 1990.

38

Лабораторная работа N 8

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. Выполнить контрольные задания.

7. Составить отчет.

Общие положения

Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику

Как видно из рис. 8.1, выше линии ликвидус $t_A C t_B$ в устойчива лишь жидкая фаза Ж. Линия $t_A d C e t_B$ - линия солидус. При температурах ниже солидус вес сплава находятся в твердом состоянии.

Между линиями ликвидус и солидус в равновесии находятся две фазы: твердые растворы α (твердый раствор компонента В в А) или β (твердый раствор компонента А в В) и жидкая фаза Ж. При температурах, соответс-

твующих линии $t_A C$ из жидкого сплава выделяются кристаллы α - твердого раствора; а по линии $t_B C$ - кристаллы β (рис.8.1,б). Линии $t_A C$ и $t_B C$ не только соответствуют температурам начала кристаллизации сплавов

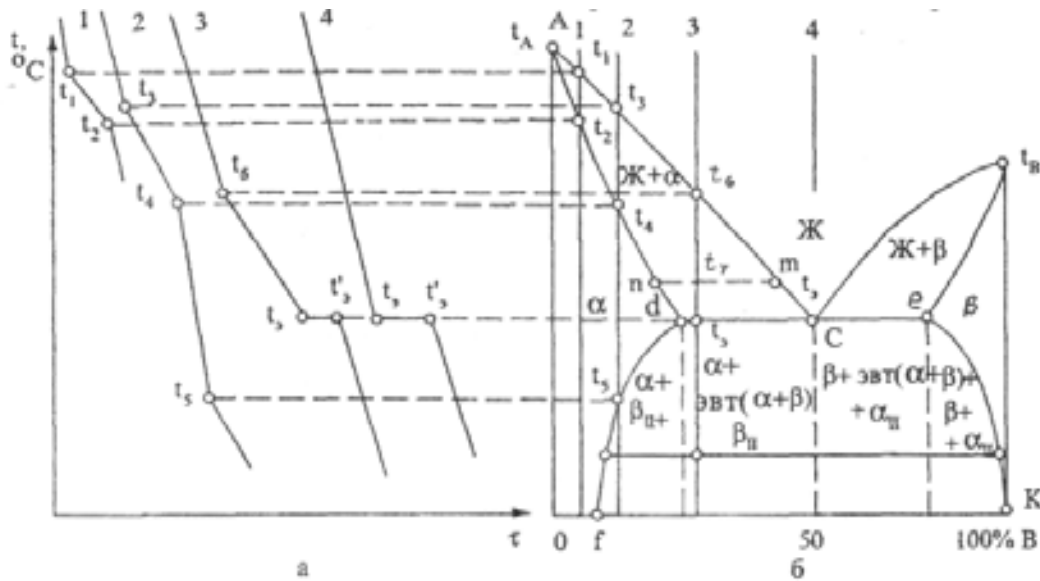


Рис.8.1. Диаграмма состояния (б) и кривые охлаждения (а) сплавов, образующих ограниченные твердые растворы и эвтектику

различного состава, но и показывают степень насыщения жидкой фазы компонентами А и В, т.е. являются линиями растворимости. Точка *d* характеризует предельную растворимость компонента В в компоненте А, а точка *e* - А в В при температуре t_3 , а *f* и *k* - при комнатной температуре. Таким образом, линия *df* характеризует изменение растворимости компонента В в А, а линия *ek* - компонента А в В с изменением температуры; эти линии называют линиями предельной растворимости.

Сплав, соответствующий точке С (в нашем случае содержит 50% В), затвердевает при постоянной температуре t_3 . При температуре несколько ниже t_3 жидкий сплав оказывается насыщенным по отношению к обеим фазам (α - и β -твердым растворам), так как точка С как бы принадлежит сразу двум ветвям линий ликвидус (рис.8.1,б). Поэтому при температуре t_3 одновременно с жидким раствором сосуществуют предельно насыщенные кристаллы твердых растворов α и β , образующих гетерогенную структуру.

Сплавы, в которых происходит одновременная кристаллизация α - и β -фаз при постоянной и самой низкой для данной системы сплавов тем-

пературе, называются эвтектическими. Структуру, состоящую из определенного сочетания двух или более твердых фаз, одновременно кристаллизующихся из жидкого сплава, называют эвтектикой. Эвтектическая структура в условиях сравнительно высоких степеней переохлаждения состоит из мелких кристаллов обеих фаз (α и β), так как при одновременной кристаллизации их из жидкого сплава рост каждой из

них затрудняется.

При распаде твердого раствора происходит увеличение твердости, прочности и уменьшение пластичности. Процесс выделения избыточной фазы из пересыщенного твердого раствора называется старением.

*Диаграмма состояния сплавов, образующих ограниченные
твердые растворы и перитектику*

Диаграмма состояния сплавов с перитектикой приведена на рис.8.2.

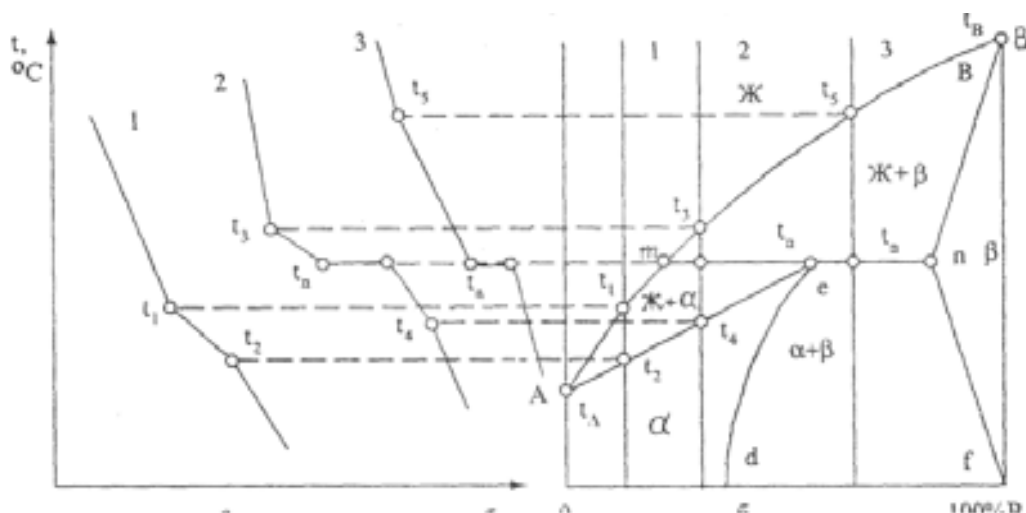


Рис.8.2. Диаграмма состояния сплавов, образующих твердые растворы с перитектическим превращением:
а - кривые охлаждения; б - диаграммы состояния

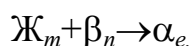
Линия $t_A m t_B$ на диаграмме соответствует линии ликвидус, а линия $t_A e n t_B$ - линии солидус. Точка e характеризует максимальную растворимость компонента В в А, а точка n - предельную растворимость А в В.

Линия $m e n$ называется линией перитектического превращения. Перитектическое превращение отличается от эвтектического. Если при эвтектическом превращении из жидкой фазы одновременно кристаллизуются две твердые фазы, то при перитектическом превращении кристаллизуется лишь

одна фаза, образующаяся за счет ранее выделившейся твердой фазы и жидкой части сплава определенного состава (точка m).

По достижении температуры t_n происходит перитектическое

превращение:



Перитектическая реакция, протекающая при условии существования трех фаз постоянного состава, происходит при постоянной температуре.

Диаграмма состояния сплавов, образующих химические соединения

Диаграмма состояния с одним устойчивым химическим соединением показана на рис.8.3.

Диаграмму состояния сплавов, в которых присутствует устойчивое химическое соединение A_nB_m , можно разделить на две части. Одна часть диаграммы характеризует сплавы, образуемые компонентом А с химическим соединением (область А- A_nB_m), которое играет роль самостоятельного компонента, а другая часть - сплавы, образуемые компонентом В с этим же химическим соединением (область A_nB_m -В). Для рассматриваемых сплавов каждая часть диаграммы представляет сплавы с ограниченной растворимостью в твердом состоянии и эвтектикой (см.рис. 8.1).

*Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых
имеют полиморфные превращения*

Полиморфные превращения одного или обоих компонентов сплава изменяют его структуру и свойства.

Такие превращения происходят во многих промышленных сплавах, например, во многих сплавах железа, титана и др. Диаграммы состояния сплавов, образующих твердые растворы с неограниченной растворимостью, в которых один из компонентов А имеет две модификации A_α и A_β , представлены на рис.8.4,а.

Для случая, приведенного на рис.8.4,а, все сплавы после затвердевания состоят из β -раствора, который является твердым раствором компонента A_β (в состоянии, когда он имеет β -модификацию) и В. При понижении температуры A_β -модификация превращается в A_α -модификацию. Поэтому в области, ограниченной линиями ab и ac , в равновесии находят две фазы $\alpha + \beta$, где β -фаза является твердым раствором компонента В и β -модификация компонента А, а α -фаза - твердым раствором В и α -модификация компонента А. Ниже линии ab сплавы состоят только из α -фазы. Кристаллическая решетка α -раствора отлична от решетки β -раствора. На диаграмме

(см. рис.8.4,а) линия ac при охлаждении соответствует температуре

начала, а линия ab -температуре окончания полиморфного $\beta \Rightarrow \alpha$ -превращения.

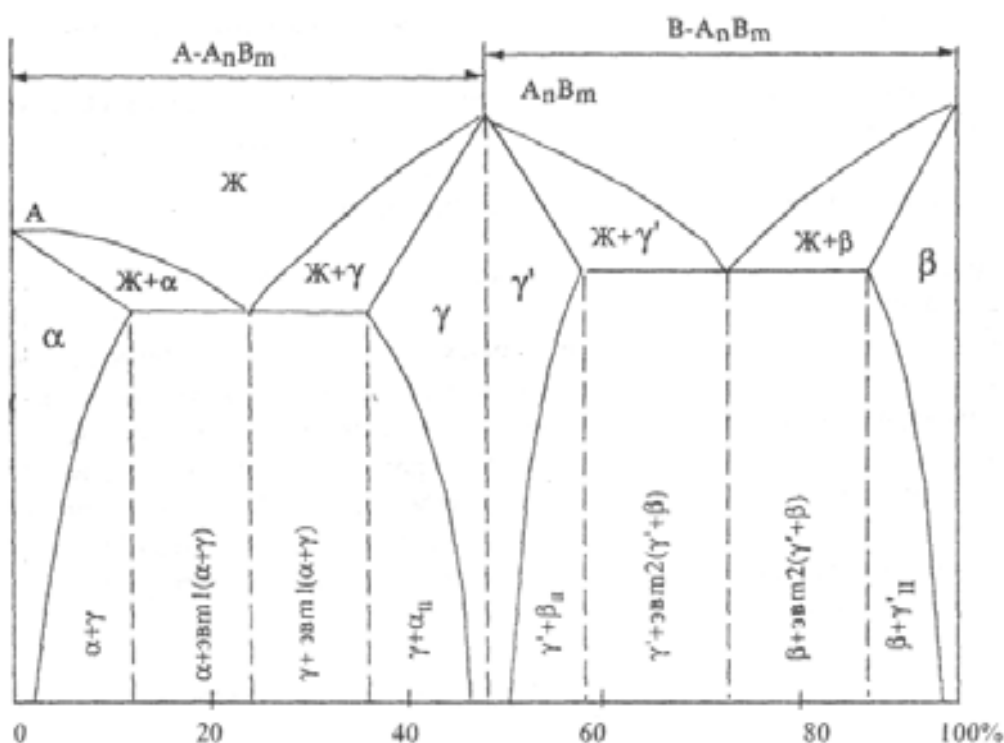


Рис.8.3. Диаграмма состояния сплава с образованием устойчивого химического соединения

Например, при температуре t_3 (сплав 1, точка m_1) β -твердый раствор становится неустойчивым и в его кристаллах возникают зародыши α -твердого раствора, состав которого соответствует точке n_1 . Развитие превращения $\beta - \alpha$ возможно только при дальнейшем охлаждении сплава. Образующиеся кристаллы α -твердого раствора при понижении температуры изменяют свой состав по линии ab , а кристаллы β -твердого раствора - по линии ac .

При температуре t_5 (точка n_3) полиморфное превращение $\beta - \alpha$ заканчивается, и при более низкой температуре сплав имеет однофазную структуру α -твердого раствора. В сплавах, находящихся между точками b и c , превращение $\beta - \alpha$ при комнатной температуре не заканчивается; после охлаждения до 20°C эти сплавы сохраняют двухфазную структуру $\beta + \alpha$.

Сплавы, лежащие правее точки c , не претерпевают полиморфного

превращения.

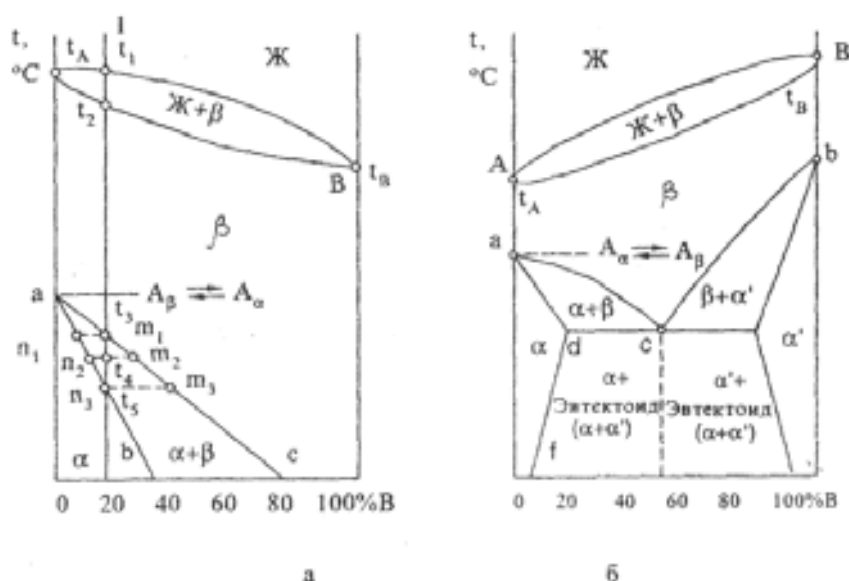


Рис.8.4. Диаграммы состояния сплавов, компоненты которых имеют полиморфные превращения: а - полиморфное превращение одного компонента (A_α и A_β), б - полиморфное превращение двух компонентов (A_α и A_β , B_α и B_β) на образование эвтектоида

Для случая, приведенного на рис.8.4,б, распад β -твердого раствора на две твердые фазы ($\beta_c - \alpha_d + \alpha_e'$) называют эвтектоидным превращением, а смесь полученных кристаллов ($\alpha_d + \alpha_e'$) - эвтектоидом. Сплавы, расположенные левее точки c , называются доэвтектоидными, сплав, отвечающий точке c , - эвтектоидным и сплавы, лежащие правее точки c , - заэвтектоидными.

Линия df указывает на изменение предельной растворимости компонента В в α -модификации компонента А в зависимости от температуры, а линия ek компонента А в α -модификации компонента В.

Диаграммы состояния, строение и свойства сплавов

Между составом и структурой сплава, определяемой диаграммой состояния и свойствами сплава, существует определенная зависимость (рис.8.5).

Твердые растворы имеют более высокие значения временного

сопротивления разрыву и твердости, чем исходные компоненты (рис.8.5,а), в то же время они сохраняют достаточно высокую пластичность.

Твердые растворы из-за сочетания повышенной прочности и хорошей пластичности выгодно использовать как основу для конструкционных сплавов. Образование твердых растворов сопровождается значительным увеличением электрического сопротивления, что связано с сильным искажением электрического поля металла-растворителя атомами растворенного компонента и уменьшением температурного коэффициента электросопротивления. Поэтому твердые растворы применяют для изготовления проволоки (ленты), используемой в электронагревательных элементах и реостатах.

В сплавах с ограниченной растворимостью свойства при концентрациях, отвечающих однофазному твердому раствору, изменяются по криволинейной зависимости (рис.8.5,б). В области механической смеси двух фаз

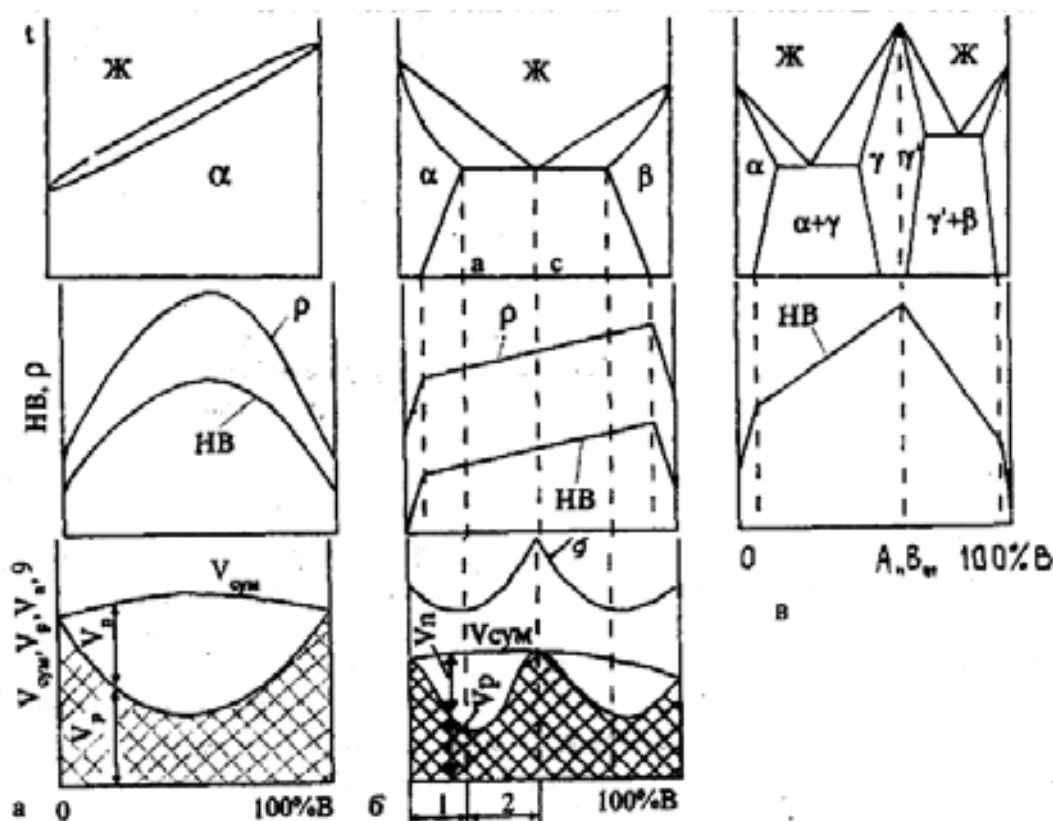


Рис. 8.5. Связь между диаграммой состояния (структурой) и некоторыми свойствами сплавов (ρ - электросопротивление; $V_{\text{сум}}$ - суммарное изменение объема; V_p - объем усадочной раковины; V_n - пористость; g - жидкотекучесть); 1 - деформируемые сплавы; 2 - литейные сплавы

α и β и свойства изменяются по прямой, т.е. представляют собой среднее из свойств фаз, образующих смесь. Так, если одна фаза мягкая и пластичная, а другая твердая и хрупкая, то сплав тем тверже и хрупче, чем больше в нем второй фазы.

При концентрации, соответствующей химическому соединению (рис.8.5,в), наблюдается характерный перелом кривой свойств (сингулярная точка).

Это объясняется тем, что свойства химических соединений отличаются от свойств образующих компонентов. Химические соединения, особенно соединения металла с углеродом (карбиды) и азотом (нитриды), имеют очень высокую твердость, но хрупки.

Указанные схемы дают приближенную зависимость свойств от состава и строения сплава. Свойства сильно зависят от тонкого строения сплава (размеры блоков, искажений кристаллической решетки), величины зерна, степени дисперсности фаз и т.д. Существует определенная связь между типом диаграммы состояния и литейными свойствами.

Сплавы - твердые растворы - имеют низкие литейные свойства (плохая жидкотекучесть g , склонность к образованию рассеянной пористости V_a и трещинам). Для получения высоких литейных свойств концентрация компонентов в литейных сплавах должна превышать их максимальную растворимость в твердом состоянии и приближаться к эвтектическому составу. Эвтектические сплавы обладают хорошей жидкотекучестью, и усадка в них проявляется в виде сконцентрированной раковины.

Сплавы, лежащие левее точки a (предельной растворимости в твердом растворе) и состоящие в основном из α -фазы, пластичны, и поэтому хорошо прокатываются, куются, прессуются и т.д. (см. рис.8.5,б). Пластичность сильно снижается при появлении в структуре эвтектики. Поэтому в деформируемых сплавах максимум растворимости при эвтектической температуре (см. рис.8.5,б, точка a) является верхним желательным пределом содержания компонентов.

Эксплуатационные и технологические свойства сплавов зависят от их структуры при различных температурах. Диаграмма состояния показывает, как изменяется структура сплавов и температура фазовых превращений при изменении состава.

Порядок выполнения работы

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

В качестве примера выполнения лабораторной работы рассмотрим диаграмму состояния компонентов, обозначенных А и В (рис. 8.6).

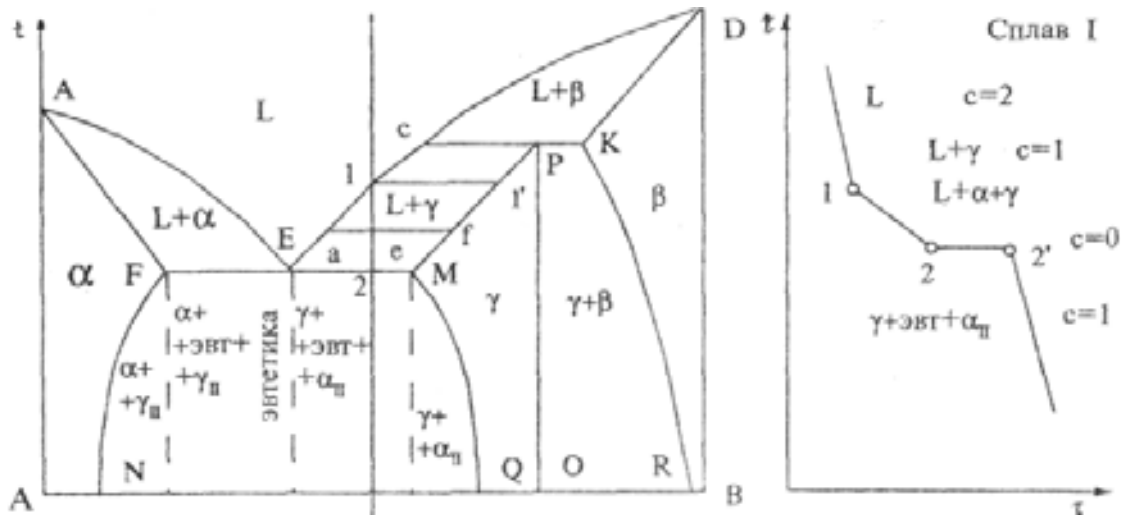
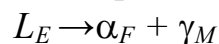


Рис.8.6. Диаграмма состояния компонентов, выдаваемая студенту

1. Образуются фазы: L - жидкая фаза; α - твердый раствор компонента В в А; β - твердый раствор компонента А в В; γ - промежуточная фаза.

Линии диаграммы состояния: ликвидус - $AECD$; солидус - $AFEMPKD$, FN - показывает предельную растворимость компонента В в α -твердом растворе, MQ , PQ , KR - линии предельной растворимости.

2. Фазовые превращения при постоянных температурах. Эвтектическое превращение на линии FEM заключается в том, что жидкая фаза состава т.Е кристаллизуется с одновременным образованием α - твердого раствора и γ -промежуточной фазы, т.е. эвтектики.



Перитектическое превращение происходит на линии CPK . Расплав т.С взаимодействует с β -твердым раствором т.К, в результате образуется γ промежуточная фаза т. Р.



3. Структура во всех областях диаграммы.

Твердые растворы α и β примыкают к ординатам соответствующих компонентов, на основе которых они образованы, γ -фаза образуется в

результате перитектического превращения.

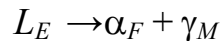
47

Для определения фаз, образующихся в двухфазных областях, можно воспользоваться конодой. Конечные точки коноды (изотермы), проведенной в двухфазной области, показывают составы фаз, находящихся в равновесии.

Образующиеся фазы и структуры обозначим на диаграмме состояния. Для сплава 1 по критическим точкам, определенным по диаграмме состояния, построим кривую охлаждения.

т. 1 - начало кристаллизации, из расплава образуются кристаллы γ -фазы. При охлаждении от т. 1-2 химический состав расплава изменяется по линии ликвидус, стремясь к т. E. Количество фазы увеличивается, а ее состав изменяется от т. 1' до т. M.

т. 2 - кристаллизация заканчивается эвтектическим превращением.



При дальнейшем охлаждении из γ -фазы выделяются избыточные кристаллы α_{II} -твердого раствора. Окончательная структура



Фазы в сплаве I при температуре t_e , т.е. их весовое количество и химический состав, приведены в таблице.

4. Гомогенные сплавы со структурой твердого раствора характеризуются хорошей деформируемостью. Твердость и электросопротивление их возрастает с увеличением концентрации растворенного компонента. Эвтектические сплавы имеют хорошие литейные свойства.

Сплав	Температура	Фазы	Весовое количество фаз	Химический состав фаз

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Диаграмма состояния.
3. Кривые охлаждения.
4. Таблица.
5. Список используемой литературы.

Контрольные задания и вопросы

- 1.Правило фаз.
- 2.Твердые растворы замещения, внедрения, упорядоченные.

48

- 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.

Библиографический список

- 1.Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.
- 2.Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1990.

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 анализ структуры под микроскопом 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 17711-80).

Однофазные латуни состоят из зерен однофазного твердого раствора - α . 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°C в двухфазных латунях присутствует фаза β , которая отличается большей пластичностью. При 454°C 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, алюминий (свинец улучшает обрабатываемость резанием ЛС 59-1), олово по-

50

вышает 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 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°C в воду и отпуска 650°C . После закалки они имеют игольчатую структуру, состоящую из зерен α и β твердых растворов. Алюминиевые бронзы имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

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.

Литая структура дюралюминия характеризуется наличием фазы α с

расположенными по ее границам кристаллами S-фазы и Al_2Cu . После закатки из области α -твердого раствора от температуры 505 - 510°C 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

51

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.

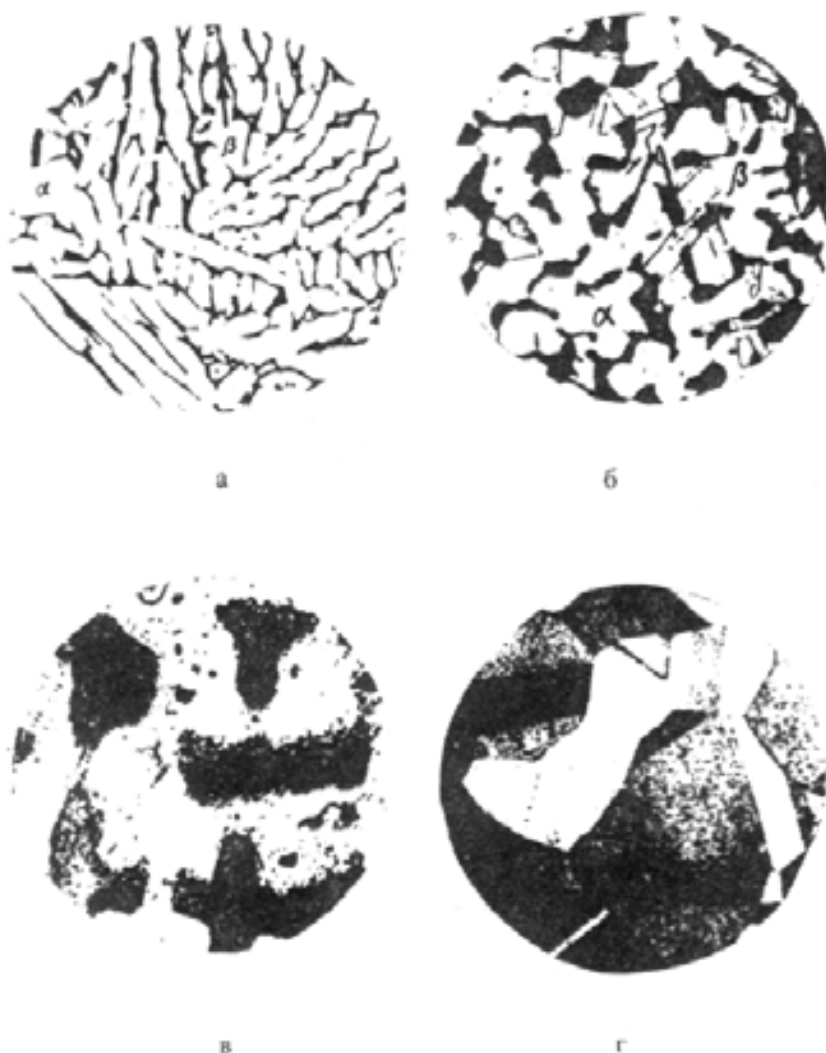


Рис.9.1. Микроструктуры (x 100):

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

52

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).

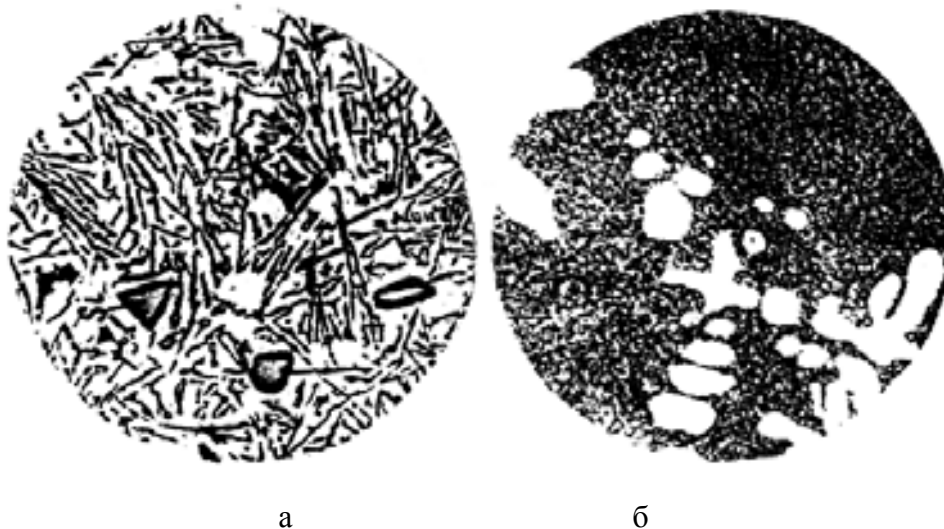


Рис.9.2. Микроструктура алюминиевого сплава АЛ2, х 250:
а - литой немодифицированный: α -твердый раствор и β -кремнистая фаза игольчатой формы; б - модифицированный: α -твердый раствор и эвтектика тонкого строения

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

53

основы α -фазы (твердого раствора сурьмы и меди в олове), светлых твердых частиц крупных кубических кристаллов SnSb и мелких игол 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 задания два для сплавов построить кривую охлаждения 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 заданием три) 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.

54

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. Список используемой 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?

Библиографический список

1. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1990.
2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.
3. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Металловедение. М.: Металлургия, 1989.
4. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1970.

Лабораторная работа N 10

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЮРАЛЮМИНА

Цель работы: изучить технологический процесс упрочняющей термической обработки дюралюмина.

55

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 (см. рисунок), 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 0,5% 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% Cu). Происходящие при старении структурные превращения обуславливают изменения свойств. Современные представления о механизме старения базируются на следующем.

При естественном и низкотемпературном (до 200 °C) 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°C (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 °C 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).

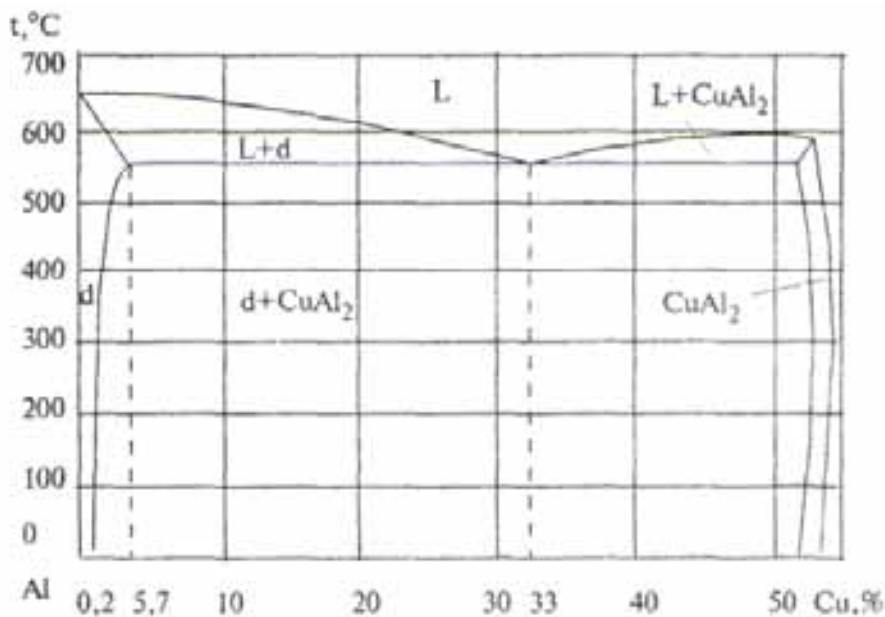


Диаграмма состояния сплавов Al-Cu

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

57

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 таблицу.

Вторая бригада проводит закалку образцов. Для этого все образцы поместить в лабораторную печь, нагретую до 500°C, после 7-минутной выдержки охладить их в воде (время переноса из печи в воду не более 5 секунд). Замерить твердость (шкала HRB).

Третья, четвертая и пятая бригады производят искусственное старение образцов по режимам, приведенным в таблице. Образцы после закалки сразу же помещают в лабораторные печи, разогретые до температур 100,

200, 300°C. После соответствующей выдержки (см.таблицу) образцы охлаждаются 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.

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	

58

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Участок диаграммы состояния Al-Cu со стороны Al.
3. Заполнение таблицы.
4. Графики изменения твердости в зависимости от времени и температуры старения.
5. Список используемой 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?

ралюмина?

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?

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1990.
3. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Металлургия, 1984.

59

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 микро структуре 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°C атомы железа образуют объемно-центрированную кубическую решетку Fe - α , выше 910°C 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 ,

60

3) цементит - химическое соединение Fe₃C,

4) перлит - механическая эвтектоидная смесь феррита и цементита.

Превращение, которое происходит в сталях в твердом состоянии при температуре 727°C, 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.

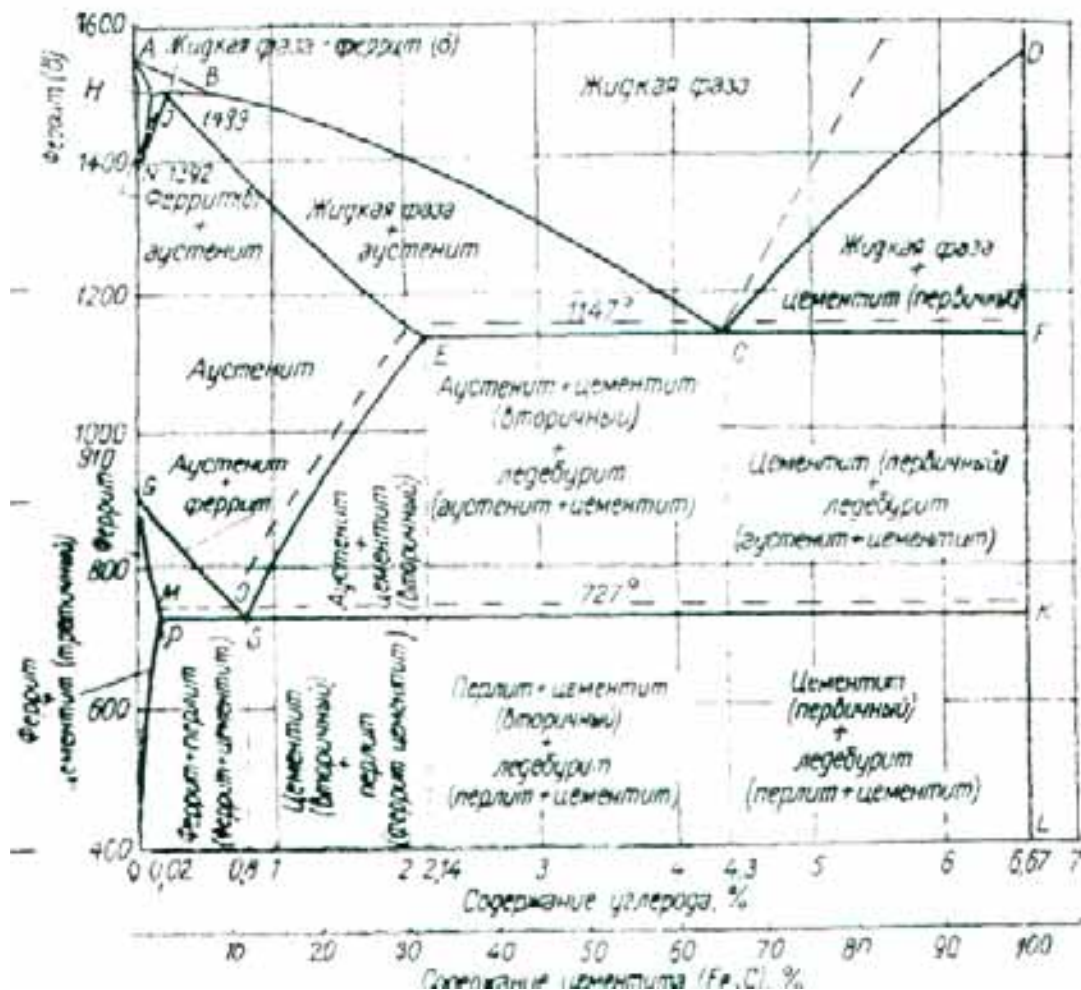


Рис.11.1. Диаграмма состояния железо – углерод и железо-цементит

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% 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 таблице.

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
Заэвтеюидная 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.

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

При выполнении второго задания описать превращения, происходящие при охлаждении из состояния жидкого раствора до комнатной температуры.

Указать конечные структурные составляющих сплава и схематично изобразить конечную структуру.

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

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

Например, пусть 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%, 35% перлита X%

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. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Какие сплавы железа с углеродом относятся к доэвтектоидным?
2. Что такое феррит и каковы его механические свойства?
3. Что такое перлит и каковы его механические свойства?
4. Что такое цементит и каковы его механические свойства?
5. Каково содержание углерода в перлите?
6. При какой температуре образуется перлит в стали?
7. Как влияет увеличение 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?

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.
3. Арзамасов Б.Н. и др. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1986.

Лабораторная работа N 12

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ

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

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 температурах $1147^{\circ}C$, при $727^{\circ}C$ аустенит, во-

ходящий в состав ледебурита, превращается в перлит. Ниже $727^{\circ}C$

ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита.

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

Эвтектический белый чугун состоит только из ледебурита (см. рисунок б).

Заэвтектический чугун состоит из крупных пластин первичного цементита и ледебурита (см. рисунок 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 выделяется 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 рисунке 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°C) отливок из белого чугуна. При температурах около 1000°C цементит распадается и образуется графит хлопьевидной формы. Такой графит по сравнению с пластинчатым значительно меньше снижает прочность и пластичность металлической основы.

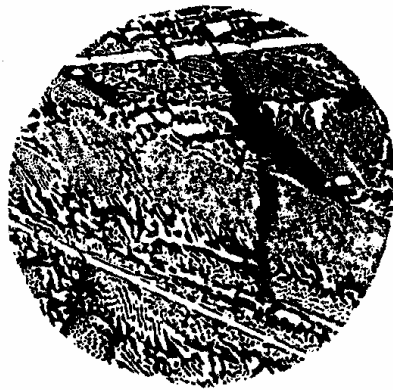
Металлическая основа ковкого чугуна бывает ферритной, феррито-перлитной и перлитной. Микроструктура ковкого чугуна на феррито-перлитной основе показана на рисунке д.



а



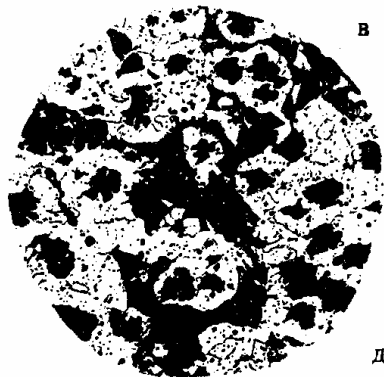
б



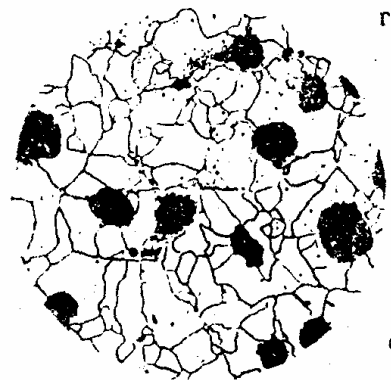
в



г



д



е

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 может меняться от 300 до 800 МПа (ГОСТ 26358-87). 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 рисунке 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; сплошными линиями метастабильное равновесие (Fe-Fe₃C), пунктирными (штриховыми) стабильное (Fe-C). 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 опи-

сать 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. 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?

Библиографический список

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М: Машиностроение, 1990.

2. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.

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.

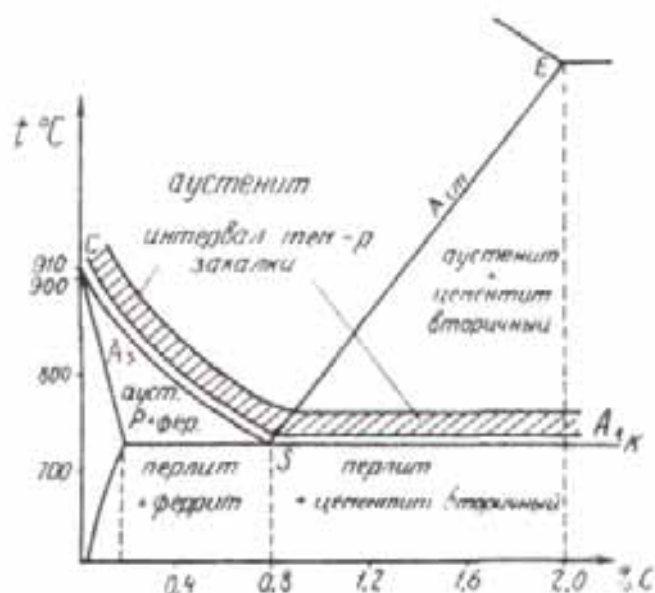
При закалке сталь нагревают до аустенитного или аустенитно-карбидного состояния, выдерживают в течение времени, необходимого для завершения фазовых превращений, и охлаждают со скоростью выше критической для получения мартенситной структуры.

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

аустенита.

71

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 $A_{сг}$, 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 .



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 $A_{сг}$ 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 $A_{3'}$, 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 (см. рисунок).

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

железа.

Средний отпуск (350 - 450 °С) на отпускаемый троостит применяют для стальных пружин, рессор и упругих элементов приборов, которые в работе должны сочетать свойства высокой упругости, прочности и достаточной вязкости. Структура отпускаемого троостита является продуктом распада закаленного мартенсита и представляет собой высокодисперсную смесь

73

частиц феррита и цементита. Под микроскопом троостит отпуска выглядит темной массой, в которой слабо различается игольчатое строение цементита.

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

Двойная операция (закалка с высоким отпускком) 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-го, 3-го и 4-го пунктов задания группа студентов разбивается на 4 бригады

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

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

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 НРС). 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 HRC). 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, HRC	Микроструктура после ТО
45 45 У12 У12 45								

Таблица 13.2

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

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Заполнение табл.13.1.
3. Заполнение табл.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 подготовленной 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.

75

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. Рисунки микроструктур и их описание.
2. Выводы.

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)?

Библиографический список

1. Гуляев А. П. *Металловедение*. М.: *Металлургия*, 1985.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. *Материаловедение*. М.: *Машиностроение*, 1990.
3. Гринберг Б.Г., Иващенко Т.М. *Лабораторный практикум по металловедению и термической обработке*. М.: *Высш. шк.*, 1968.

76

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-й. Оси, полуоси и валы различных станков и машин.

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

77

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

Пример 2-й. Шестерни, зубчатые колеса.

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

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

Пример 3-й. Подшипники скольжения.

а) механические свойства: высокое сопротивление контактным нагрузкам, высокая износоустойчивость в условиях высоких температур;

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

Пример 4-й. Пружины витые цилиндрические.

а) механические свойства: высокий предел упругости;

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

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

а) механические свойства: твердость, высокая красностойкость, износоустойчивость;

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 терми-

78

ческой, 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 нерационально.

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.

79

Закалка от 820 - 840°C 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 де-

80

талей, 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: БСт4, Ст5сп, 40Х, 30ХГСНА.

2.Выбрать сталь для изготовления кожухов электродвигателей методом глубокой вытяжки. Стали: Ст1кп, ВСт5, 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 $\sigma_T > 80 \text{ кгс/мм}^2$, $a_n > 5 \text{ кгс/см}^2$. Стали: 40ХНМА, 20ХГНР, 60С2.

13. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления турбинного вала диаметром 300 мм при условии, что $\sigma_T \geq 70 \text{ кгс/мм}^2$, $a_n \geq 5 \text{ кгс/см}^2$. Стали: 30ХГСА, 34ХНЗМ, 18ХНЗА, У7, 60С2.

81

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, $\sigma_B \geq 45 \text{ кгс/мм}^2$, $\sigma_T > 25 \text{ кгс/мм}^2$. Стали: 20, 40, 20Г, 50С2, 12Х2Н4А, 12ХНЗА.

16. Какую сталь и в каком состоянии (литом, ковном, 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. $\sigma_T \geq 75 \text{ кгс/мм}^2$, $a_n \geq 9 \text{ кгс/см}^2$. Стали: 20ХНЗА, 38ХЗМФ, Ст4, 45.

18. Изготовить три вала двигателей, $a_n > 75 \text{ кгс/мм}^2$. 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, ВСт4сп, 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, ВСт4сп.

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, 12ХНЗА.

82

29.Выбрать материал для изготовления валов диаметром 50 мм, упрочняемый поверхностной закалкой при индукционном нагреве. Стали: 45, 55, Ст3, ВСт5.

30.Выбрать сталь и режим обработки для изготовления шпинделей быстроходных станков. Стали: 38ХМЮА, 30ХТ2М, 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: Р18, Х12Ф1, 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, Х12Ф1, 40ХНМА.

41. Выбрать сталь для изготовления торцевой фрезы диаметром 100 мм. Стали: Р18, Р6М5, 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, Р18, ХВГ, У7, 7ХФ.

83

45. Выбрать стали для деревообрабатывающего инструмента, работающего с ударными нагрузками (долота, топоры). Стали: 9ХС, Х12, У7, 7ХФ.

46. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления машинных метчиков диаметром 20 - 30 мм. Стали: Р18, ХВГ, У7, В1.

47. Выбрать сталь и термообработку для изготовления крупных и сложных штампов. Стали: Х12Ф1, 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, используемых при прессовании. Стали: Х12М, 5ХНМ, 6ХС, 30ХГСНА, 30Х13.

52. Из предложенных сталей выбрать материал для изготовления пружин. Описать технологию изготовления пружин. Стали: 50ХН, БСт5, 60, 70С3А.

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

54. Выбрать сталь для изготовления пружин, работающих в

агрессивных средах Стали: 20ХН, Ст1. 55ГС. 40Х13, 3Х2В8Ф, 30Х13.

55.Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления рессор легковых автомобилей. Стали: 60С2, 50ХГФ, 40, 20Х2Н4А.

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?

Библиографический список

- 1.Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.
- 2.Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение М.: Машиностроение, 1990.
3. Материалы в машиностроении. Справ./Под ред. И.В.Кудрявцева М.: Машиностроение, 1967.

84

Оглавление

Предисловие.....	3
Лабораторная работа N 1. Методы измерения твердости	4
Лабораторная работа N 2. Макроанализ и дефектоскопия металлов	8
Лабораторная работа N 3. Микроструктурный анализ металлов и сплавов.....	11
Лабораторная работа N 4. Рентгеноструктурный анализ	16
Лабораторная работа N 5. Процесс кристаллизации веществ	21
Лабораторная работа N 6. Пластическая деформация и рекристаллизация металлов и сплавов.....	28
Лабораторная работа N 7. Термический анализ	32
Лабораторная работа N 8. Диаграмма состояния двойных сплавов	38
Лабораторная работа N 9. Микроструктурный анализ цветных сплавов.....	48
Лабораторная работа N 10. Термическая обработка дюралюмина	54
Лабораторная работа N 11. Микроструктурный анализ углеродистых сталей в равновесном состоянии.....	59
Лабораторная работа N 12. Микроструктурный анализ чугунов	64
Лабораторная работа N 13. Термическая обработка углеродистых сталей	70
Лабораторная работа N 14. Выбор материала.....	76
Задачи.....	79

Учебное издание
БАЛАНДИН Владимир Михайлович
КАРТОНОВА Любовь Владимировна
КОСТИН Альберт Васильевич и др.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

Редактор А.П.Володина
Корректор В.В.Гурова

Изд. лиц. №020275 от 13.11.96. Подписано в печать 13.05.99
Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс
Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 5,27. Тираж 200 экз.
Заказ 211-99

Владимирский государственный университет
Подразделение оперативной полиграфии
Владимирского государственного университета.
Адрес университета и подразделения оперативной полиграфии:
600026, Владимир, ул. Горького, 87.