

Министерство общего образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

Составитель:
Л.В.Картонова

Владимир 2004

УДК 669.01(076.5)
УДК 620.22

Рецензент
Кандидат технических наук,
доцент кафедры литейных процессов и конструкционных материалов
Владимирского государственного университета
Н.А.Елгаев

Методические указания к лабораторным работам по материаловедению/
Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир, 2004 - 87 с.

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).

Библиогр.: 12 назв.

УДК 620.22

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания к лабораторным работам по курсу "Материаловедение" предназначены для выполнения лабораторных работ студентами машиностроительных специальностей университета и составлены 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 использован лабораторный практикум по материаловедению под редакцией А.В.Костина и В.А.Кечина.

Лабораторная работа N 1

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

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

Задания

1. Ознакомиться с методами измерения твердости по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу, микротвердости.
2. Научиться определять твердость по методам Бринелля и Роквелла.
3. Измерить твердость предложенных образцов по методу Роквелла.
4. Построить зависимость предела прочности от содержания углерода из полученных результатов измерения.
5. Измерить твердость предложенных образцов по методу Бринелля.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

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

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

По характеру воздействия индикатора на поверхность испытуемого материала различают:

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

Различают статические, статико-динамические и динамические методы 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 вдавливается 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. 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 более 450 кгс/мм² по HB применять метод Бринелля не рекомендуется. Область применения: определение твердости чугунов, пластичных сталей и цветных сплавов.

Метод Роквелла более универсален, так как позволяет испытывать металлы любой твердости, включая и твердые сплавы. Число твердости при испытании определяется непосредственно отсчетом по шкале индикатора. Их три: A , B , C . 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 погрешности измерения используют предварительное нагружение с $P = 100$ Н и окончательное P_1 определяемое шкалой (шкала A - 500Н, шкала B - 900 Н, шкала C - 1400 Н).

Число твердости обозначается формулой $HRC (HRA) = 100 - e$, где $e = (h - h_0) / 0,002$ мм (0,002 мм - цена деления шкалы индикатора прибора для испытания твердости по Роквеллу). Твердость по шкале B $HRB = 130 - e$.

Метод Виккерса применяют при определении твердости поверхностных слоев (цементируемых, азотированных) и образцов материалов различной твердости в тонких сечениях. При измерении твердости по Виккер-

су, HV , в испытуемый материал вдавливаются четырехгранная алмазная пирамида с углом при вершине 136° . Нагрузка может меняться от 10 до 1000Н. Твердость по Виккерсу, кгс/мм²:

$$HV = \frac{2P \sin(\alpha / 2)}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

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 В образцов из различных марок углеродистых сталей и перевести ее в числа твердости по Бринеллю. Результаты измерения занести в табл. 1.1. рассчитать σ_B углеродистых сталей по формуле

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

Таблица 1.1

Марка стали	Содержание углерода С, %	HRB				HV, кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²
		I	II	III	сред.		
Армко-Fe	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 предложенных образцов по методу Бринелля и

определить их предел прочности. Результаты измерения занести в табл.1.2.

Таблица 1.2.

№ образца	Диаметр отпечатка d, мм	НВ, кгс/мм ²	σ_B , кгс/мм ²

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Таблица с экспериментальными данными измерения твердости по Роквеллу и переводу их в числа твердости по Бринеллю, результаты расчета предела прочности углеродистых сталей.
3. График зависимости предела прочности от содержания углерода в сталях.
4. Данные по твердости образцов, измеренных методом Бринелля.
5. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

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

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985. – с. 70 – 73
2. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1983. – с. 245 - 263

3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. - с. 87–117

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 (волоконистое 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 макроанализ сварного соединения стальных изделий.
4. Ознакомиться с работой магнитного дефектоскопа, выявить дефекты стального калибра методом магнитной дефектоскопии.
5. Выполнить контроль качества деталей методом капиллярной дефектоскопии.
6. Ознакомиться с устройством ультразвукового дефектоскопа, изучить методику ультразвуковой дефектоскопии. Получить представление о других методах дефектоскопии.
7. Ответить на контрольные вопросы.
8. 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.

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

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

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

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

Магнитная и электромагнитная дефектоскопия применяется для обнаружения дефектов с помощью ферромагнитных порошков и суспензий (магнитная порошковая дефектоскопия) или электромагнитных и электронных приборов.

Магнитной порошковой дефектоскопией подвергают исключительно ферромагнитные сплавы. Этим методом выявляют мелкие трещины, раковины и другие дефекты, расположенные на поверхности детали или залегающие на небольшой глубине (не более 2-3 мм.). В основе контроля положен принцип создания магнитного потока, образующие поле рассеивания над дефектами. Недостатком метода является затруднительность определения величины, распространения трещины в глубь металла.

Капиллярный метод применяют для выявления поверхностных дефектов: исследуемую поверхность смачивают керосином, а затем после его удаления покрывают мелом. Керосин, выделяющийся из трещин, пор и тому подобных, смачивает мел, и в месте расположения дефектов образуются тёмные пятна. Необходимо отметить, что различие между участками сухого и смоченного мела невелико, и метод недостаточно точен.

Люминесцентным методом можно выявить только открытые дефекты, например микротрещины, не видимые невооруженным глазом в любых материалах: металлах и их сплавах, пластмассах, керамических изделиях и т.п. Во многих случаях контроля немагнитных материалов люминесцентный метод является единственным методом дефектоскопии. Для контроля очищенная деталь погружается в ванну, содержащую флюоресцирующий раствор, затем раствор смывают и просушивают поверхность и облучают её ультразвуковым светом. При наличии поверхностных микротрещин проникший в них флюоресцирующий раствор под действием ультрафиолетовых лучей светится зелёным светом, и тем самым позволяют их выявить.

Ультразвуковой метод дефектоскопии основан на принципе приёма ультразвуковых импульсов, отраженных от дефекта внутри металла. Данный метод позволяет определить не только наличие внутренних дефектов, но и глубину их расположения (до 1 м.).

Дефектоскопия просвечиванием рентгеновскими лучами и гамма-лучами радиоактивных изотопов используется для определения внутренних макроскопических дефектов в металле отливок и сварных швов.

Выявление внутренних дефектов при помощи просвечивания основано на способности рентгеновских и гамма-лучей, проникать через любое тело и в различной степени поглощаться при прохождении через металл различной плотности.

Дефекты фиксируются на плёнке в виде действительных изображений, рентгеновская дефектоскопия позволяет надёжно контролировать стальные детали толщиной до 60-80мм.

При помощи гамма-дефектоскопии можно обнаружить внутренние дефекты в стальных изделиях толщиной до 300мм, а в сплавах алюминия и магния – до 500мм.

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: $FeS + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2S$. Сероводород, образующийся непосредственно против очагов своего выделения, воздействует на кристаллики бро-

мистого 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 чугуна). 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.

Выявление дефектов капиллярным методом (пятое задание) проводится по схеме, изложенной выше.

При изучении ультразвукового дефектоскопа (шестое задание) необходимо, что изучаемый ультразвуковой импульс, отраженный от дефекта и от дна усиливается и регистрируется на экране индикатора.

Индикатором в дефектоскопе служит электроннолучевая трубка, на экране которой с помощью специального развертывающего устройства возникает временная диаграмма, соответствующая распространению ультразвукового импульса в металле. Горизонтальные линии на экране представ-

ляет собой ось времени. Посылка ультразвукового импульса в исследуемый металл производится периодически, ультразвук распространяет в данном металле с постоянной скоростью: $V=S/T$, где в V - скорость звука, S -расстояние, T -время. Дефект находящийся внутри металла, можно обнаружить по зарегистрированному на экране всплеску импульса, при чем расстояние между начальным импульсом и импульсом, отраженным от дефекта, соответствует глубине залегания дефекта.

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 вопросы

1. Каковы цели и задачи макроанализа?
2. Виды макроскопических дефектов и их влияние на свойства металла.
3. Виды изломов и их особенности связь со свойствами металла.
4. Особенности усталостного излома.
5. Виды и происхождение раковин и пор.
6. Волокно в металле, его происхождение, влияние на свойства и методы выявления.
7. Ликвация и ее влияние на свойства сплава.
8. Методы выявления ликвации.
9. Методы выявления поверхностных дефектов.
10. Методы выявления внутренних дефектов.
11. Магнитная дефектоскопия.
12. Люминесцентная дефектоскопия.
13. Ультразвуковая дефектоскопия.
14. Рентгеновская дефектоскопия.
15. Гамма-дефектоскопия.

Библиографический список

1. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Металлургия, 1989. – с. 11 – 22.
2. Кузьмин Б.А., Самохоцкий А.И., Кузнецова Т.Н. Металлургия, материаловедение и конструкционные материалы. М.: Высш. шк., 1971.

3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1983. – 359 с.

4. Самохоцкий А.И., Кузнецова Т.Н. Металлургия, металловедение и конструкционные материалы. М.: Высш. шк., 1971.- с.176-180

5. Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по материаловедению. М.: Машиностроение, 1971. - 184 с.

6. Рети П. Неразрушающие методы контроля металлов: Сокр. пер. с венгер. М.: Машиностроение, 1971. – 208 с.

Лабораторная работа N 3

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

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

Задания

1. Используя литературу, ознакомиться с влиянием микроструктуры на механические свойства металлов и сплавов.

2. Освоить методику приготовления микрошлифов.

3. Ознакомиться с устройством микроскопа МИМ-7, принципом его работы, зарисовать схему хода лучей.

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

5. Измерить микроскопический объект при помощи окулярных и объективных микрометров.

6. Ответить на контрольные вопросы.

7. Составить отчет.

Общие положения

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

Задачи микроанализа:

1) Оценка формы и размеров кристаллических зерен металлов и сплавов;

2) определение формы и размеров неметаллических включений – сульфидов, оксидов и др.;

- 3) определение микропорошков – микротрещин, раковин, пор и др.;
- 4) анализ изменения микроструктуры сплавов после термической, химико-термической обработки и обработки металлов давлением;
- 5) определение химического состава некоторых структурных составляющих по их характерной форме и окраске после применения избирательных травителей.

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

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

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

Травление осуществляется химическими травителями. При травлении между различными частями (фазами) микрошлифа возникает электрохимический потенциал и идет коррозия микрошлифа. Наиболее сильно растравливаются дефектные части микрошлифа: границы зерен, в меньшей степени само зерно. Наиболее растравленные части микрошлифа сильно рассеивают падающий свет и кажутся в микроскопе более темными, чем само зерно. Микроструктуру металлов и сплавов наблюдают в оптическом микроскопе МИМ-7, МИМ-8 и др. Практически увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива.

Металлографический микроскоп позволяет рассматривать при увеличении непрозрачные тела в отраженном свете. В качестве источника света используют низковольтные электрические лампы накаливания и реже лампы напряжения 110-120 В переменного и постоянного тока. Для уменьшения рассеивания световых лучей и повышения четкости изображения в осветительную систему введен коллектор 2. Светофильтры 4 (цветные, матовые

или дымчатые стеклянные пластинки) отбирают лучи требуемой длины волны, т.е. определенного цвета, и позволяют установить нужную интенсивность освещения с тем, чтобы избежать излишнего утомления глаз наблюдателя.

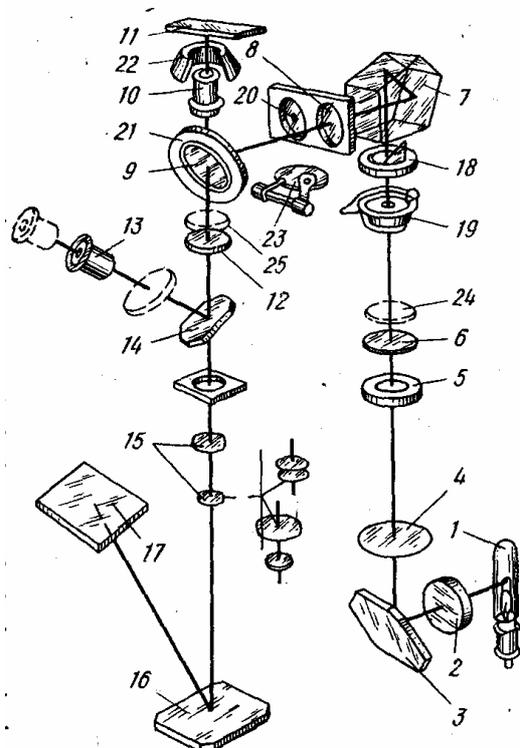


Рис.3.1. Оптическая схема и работа металлографического микроскопа МММ-7:

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

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

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

Световые лучи, преломляясь пентапризмой 7, проходят через линзу светлого поля, попадают на отражающую пластинку 9 и направляются через объектив 10 на микрошлиф, установленный на предметном столике. Отразившись от микрошлифа, лучи вновь проходят через объектив и, выходя через него параллельным пучком, попадают на отражательную пластинку и ахроматическую линзу 12. Зеркало 14 отклоняет лучи в сторону окуляра 13.

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

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

При фотографировании зеркало 14 выключается выдвижением тубуса вместе с окуляром и зеркалом, и лучи направляются непосредственно к фотоокуляру 15, проходят через него на зеркало 16, от которого отражаются и попадают на матовое стекло, где и дают изображение. Отраженные от микрошлифа световые лучи могут направляться на матовое стекло через проекционный окуляр. Для фиксирования микроструктуры матовое стекло заменяется кассетой с фотопластинкой 17.

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

изображения на фотобумагу.

Механическая система микроскопа. Металлографический микроскоп имеет штатив, тубус и предметный столик (рис.3.2). Шлиф устанавливают на предметном горизонтальном столике, так, чтобы обеспечить перпендикулярное расположение подготовленной для исследования поверхности шлифа по отношению к оптической оси объектива. В центре столика устанавливают сменные подкладки с отверстием разного размера, через которое лучи света попадают на микрошлиф и отражаются от него. Предметный столик можно перемещать в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных плоскостях с помощью специальных винтов; это позволяет перемещать микрошлиф на нужное расстояние и просматривать микроструктуру в различных участках без изменения выбранного фокусного расстояния.

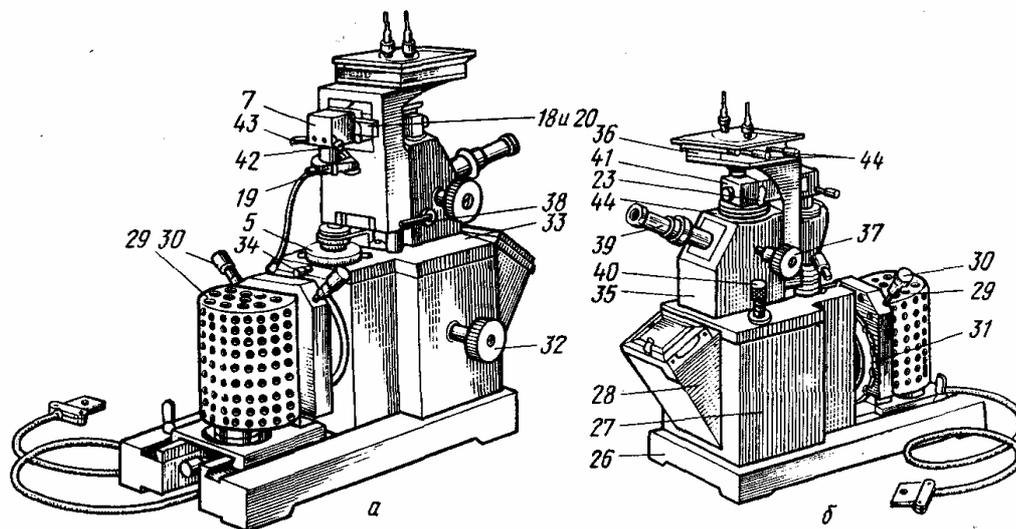


Рис.3.2. Микроскоп МИМ-7:

а – вид со стороны трансформатора; *б* – вид со стороны фотокамеры; 1 – 25 – см. рис.3.1; 26 – плита; 27 – основание или корпус фотокамеры; 29 – фонарь осветителя; 30 – винты, центрирующие лампу; 31 – диск со светофильтром; 32 – рукоятка для поворота диска с тремя фотоокулярами; 33 – рукоятка для смещения и поворота диафрагмы 5; 34 – винт, фиксирующий поворот диафрагмы 5; 35 – корпус микроскопа; 36 – предметный столик; 37 – макроскопический винт для вертикального перемещения столика; 38 – стопорное устройство макровинта; 39 – визуальный тубус; 40 – микрометрический винт; 41 – осветительный тубус; 42 – рукоятка полевой диафрагмы; 43 – механизм центрировки; 44 – винты для перемещения предметного столика в двух взаимно перпендикулярных направлениях

Для получения более четкого изображения шлифа, установленный на столике, находят на фокус. Для этой цели в штативе микроскопа имеется макроскопический винт, вращением которого поднимают или опускают столик, обеспечивая приблизительное фокусирование. Точное фокусирова-

ние достигается микроскопическим винтом, один оборот которого смещает объектив к шлифу на доли миллиметра (в большинстве конструкций микроскопов деление барабана микровинта равно 2 мкм). Чем больше увеличение объектива, тем меньше должно быть расстояние между шлифом и объективом.

Порядок выполнения работы

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

Третье задание выполняется под руководством преподавателя всей группой.

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

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

Установить шлиф 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.

При выполнении пятого задания необходимо сначала определить цену деления окулярмикрометра:

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

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

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

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

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

Например, шкала объективмикрометра укладывается на 25 делениях шкалы окулярмикрометра. Тогда

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

Для измерения микроскопических объектов необходимо:

1. Настроить микроскоп на измеряемый объект.
2. Совместить данный объект со шкалой окулярмикрометра.
3. Измерить микроскопический объект, т.е. определить, сколько делений шкалы окулярмикрометра занимает объект.
4. Определить величину измеряемого объекта, для чего полученное число делений шкалы окулярмикрометра, которое занимает объект, умножить на цену деления окулярмикрометра.

Например, объект занимает 6 делений шкалы окулярмикрометра.

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

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Микроструктуры шлифованного, полированного и травленных микрошлифов стали и чугуна с необходимыми объяснениями, увеличение микроскопа.
3. Оптическая схема микроскопа МИМ-7 со спецификацией основных элементов схемы.
4. Результаты измерения микроскопических объектов.
5. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Каковы задачи и область применения микроструктурного анализа?
2. Методика приготовления шлифов.
3. Принципиальная оптическая схема микроскопа МИМ-7.
4. Максимальное увеличение микроскопа. Разрешающая способность микроскопа.
5. Что собой представляют границы зерен?
6. Оценка зерна в металлах и сплавах с помощью окуляра и объектив-микрометра.

7. Влияние размеров зерна на механические свойства металлов и сплавов.
8. Влияние разнотерности на механические свойства металлов.
9. Влияние формы неметаллических включений и характера распределения на механические свойства.

Библиографический список

1. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. М.: Металлургия, 1989. – с. 26 – 87.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
3. Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по материаловедению. М.: Машиностроение, 1971.- 184 с.

Лабораторная работа N 4

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

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

Задания

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

Общие положения

Рентгеновские лучи возникают при соударении быстролетающих 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 ве-

личине 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, т.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.

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 удовлетворяют уравнению Вульфа-Брегга

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

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

Из уравнения Вульфа-Брегга следует, что

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

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

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

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется при подготовке к лабораторной работе.

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

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

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

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

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

Длина волны излучения $\lambda =$, Å

Диаметр камеры 57,3 мм.

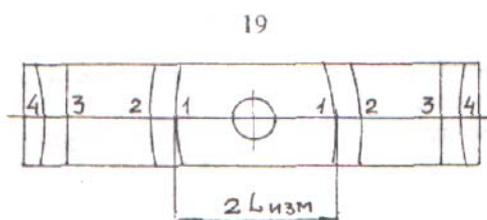
Радиус исследуемого образца $\rho =$

Таблица 4.1

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

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

Столбец 2. С помощью линейки измеряют расстояние $2L$ между парой указанных линий, симметрично расположенных относительно входного отверстия (с точностью до 0,2 мм).



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

$$\theta_{прибл} = 2L_{изм} / 2.$$

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

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

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

где $\Delta\rho$ - поправка на поглощение, выбранная из табл.4.1.

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

$$\theta_{точн} = 2L_{испр} / 2 ,$$

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

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 $d_{i \text{ расч.}}$.

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

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 шириночной табл.4.2. найти тип кристаллической решетки вещества, координационное число и параметр решетки найденного вещества.

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

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

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

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.

Контрольные вопросы

1. На каком физическом явлении основан рентгеноструктурный анализ?
2. Свойства и возбуждение рентгеновских лучей (тормозное и характеристическое излучения).
3. Вывод и смысл уравнения Вульфа-Брегга.
4. Что такое межплоскостные расстояния?
5. Почему линии на дебаеграмме имеют форму дуг?
6. Почему приближенное значение угла рассеяния $\theta_{\text{прибл}}$ при расчете рентгенограммы, полученной в рентгеновской камере РКД, равно половине $2L_{\text{изм}}$?

7. Практическое применение метода порошка (метода Дебая-Шерера) при фазовом анализе металлических сплавов.

8. Определение числа атомов в элементарной ячейке для ОЦК и ГЦК решеток.

9. Получение рентгеновских лучей для структурного анализа.

10. Устройство рентгеновской камеры типа РКД.

Таблица 4.2

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

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: изучить 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 олова.
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. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

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

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением температуры и может быть вызвано простым охлаждением, так как при этом нет качественного изменения состояния. При достижении температуры кристаллизации на кривой температура-время появляется горизонтальный участок, так как отвод тепла компенсируется выделяющейся при кристаллизации скрытой теплотой кристаллизации. По окончании кристаллизации, т.е. после полного перехода в твердое состояние, температура снова начинает снижаться, и твердое кристаллическое вещество охлаждается.

Разница между теоретической и фактической температурами кристаллизации называют величиной или степенью переохлаждения.

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.

Кристаллы, образующиеся в процессе затвердевания металла, в зависимости от скорости охлаждения, характера и количества примесей могут иметь различную форму.

Чаще в процессе кристаллизации образуются разветвленные, или древовидные, кристаллы, получившие название дендритов. Правильная форма дендритов искажается в результате столкновения и срастания частиц на поздних стадиях кристаллизации. При первом соприкосновении со стенками формы в тонком прилегающем слое жидкого металла возникает резкий градиент температур и явление переохлаждения, ведущее к образованию большого количества центров кристаллизации. В результате корка получает мелкозернистое строение (рис.5.1).

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

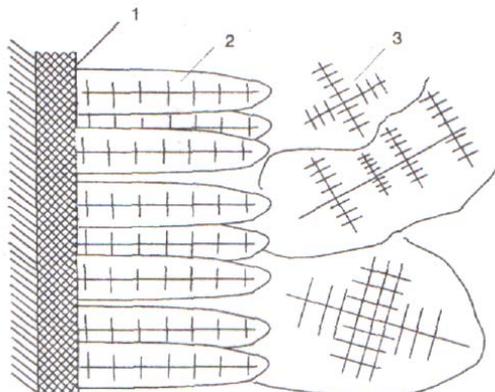


Рис.5.1. Схема строения литой стали:

- 1 - зона мелких различно ориентированных кристаллов;
- 2 - зона столбчатых кристаллов;
- 3 - зона крупных различно ориентированных кристаллов.

В центре слитка уже нет определенной направленности отдачи тепла. В результате этого образуется равноосная структура. Зародышами кристалла здесь являются обычно различные мельчайшие включения, присутствующие в жидком металле, или случайно, или не растворившиеся в нем (например, тугоплавкие включения).

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

Первое задание выполняется студентами в порядке подготовки к лабораторной работе. При этом необходимо обратить внимание на следующие вопросы: термодинамические условия перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое (схема изменения свободных энергий чистого металла в жидком и твердом состояниях от температуры); влияние степени переохлаждения на число центров кристаллизации и скорость их роста; факторы, способствующие переохлаждению металлов; понятие о критическом радиусе зародыша; связь между числом центров кристаллизации, линейной скорости их роста и степенью переохлаждения.

Задания 2, 3 и 4 выполняются бригадами по 2-3 человека. Знания, при-

обретенные при выполнении первого задания, используются для объяснения полученных результатов.

Второе задание бригада выполняет в следующем порядке:

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

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

- по полученным данным определить точки в градусах Цельсия, пользуясь градуировочной шкалой, построить кривые охлаждения в координатах температура - время.

Процесс кристаллизации капли азотнокислого свинца (третье задание) изучают под микроскопом при увеличении не больше $\times 100$. Для этого на подогретое стекло наносят каплю почти насыщенного раствора соли $Pb(NO_3)_2$ 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.

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 олова с необходимыми объяснениями и выводами.
3. Схема строения закристаллизовавшейся капли азотнокислого свинца и необходимыми объяснениями и выводами.
4. Рисунки металлических слитков, закристаллизовавшихся при различных условиях, с необходимыми объяснениями и выводами.
5. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Что такое фазовое превращение? Приведите примеры.
2. Объясните, почему фазовое превращение кристаллических тел сопровождается тепловым эффектом? Приведите примеры.

3. Нарисуйте кривую охлаждения и нагрева для кристаллического и аморфного вещества.
4. Нарисуйте и объясните схему изменения свободной энергии чистого металла в твердом и жидком состояниях и зависимости от температуры.
5. Чем объясняется различие между температурой плавления и температурой кристаллизации?
6. Назовите основные параметры процесса кристаллизации.
7. Объясните связь между числом центров кристаллизации, линейной скоростью их роста и величиной зерна.
8. Нарисуйте и объясните схему влияния переохлаждения на число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов.
9. Перечислите факторы, способствующие переохлаждению металлов.
10. Дайте понятие о критическом радиусе зародыша твердой фазы.
11. Дайте понятие о гомогенном механизме зарождения твердой фазы.
12. Дайте понятие о гетерогенном механизме зарождения твердой фазы.
13. Нарисуйте и объясните зональное строение металлического слитка.
14. Перечислите достоинства и недостатки слитка с развитой зоной столбчатых кристаллов. Назовите факторы, способствующие развитию зоны столбчатых кристаллов.
15. Перечислите достоинства и недостатки слитка с развитой зоной равноосных кристаллов. Назовите факторы, способствующие развитию зоны равноосных кристаллов.

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Metallurgy, 1985. – с. 38 - 54
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. - с. 24 - 37

Лабораторная работа N 6

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

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

Задания

1. Используя литературные источники, изучить влияние упругой и пластической деформации на изменение структуры металлов и сплавов на

микро- и субмикроуровнях, а также наклепа на изменение физических, химических и механических свойств.

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

$$HB = f(\lambda)$$

3. Рассчитать температуру начала рекристаллизации для α -латуни, используя формулу А.А.Бочвара.

4. Изучить влияние рекристаллизационного отжига на прочность α -латуни.

5. Определить температуру рекристаллизационного отжига и области холодной и горячей обработки α -латуни.

6. Ответить на контрольные вопросы.

7. Составить отчет.

Общие положения

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

Процесс пластической деформации происходит путем скольжения тонких слоев кристалла по определенным кристаллографическим плоскостям. 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 волокнистую 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.

Пластическая деформация приводит металл в структурно неустойчивое состояние. При нагреве до сравнительно низких температур (как правило, ниже $0,2T_{пл}$) начинается процесс *возврата*, возвращающий металл в равновесное состояние. Снимаются внутренние искажения кристаллической решетки, уменьшается плотность дислокаций в результате взаимного уничтожения (анигиляции), слияние блоков, уменьшение количества вакансий. Наряду с этим может происходить еще так называемый процесс *полигонизации*, заключающийся в том, что беспорядочно расположенные внутри зерна дислокации собираются в дислокационные стенки (полигоны), образуя сетку и создавая ячеистую структуру, которая может быть устойчивой и

может затруднить процессы, развивающиеся при более высокой температуре. Микроструктура остается без изменения, незначительно снижается прочность, несколько повышается пластичность, восстанавливаются физические свойства.

При дальнейшем повышении температуры подвижность атомов возрастает и при достижении определенной температуры происходит образование новых равноосных зерен. Этот процесс называется *первичной рекристаллизацией*. Полностью снимается наклеп, и восстанавливаются все свойства. В процессе последующего нагрева происходит рост рекристаллизованных зерен за счет других. Этот процесс носит название *собирающей 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 разномелкость (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 (для чистых металлов $\alpha = 0,1-0,2$; для металлов технической чистоты $\alpha = 0,3-0,4$; для сплавов $\alpha = 0,6-0,8$), $T_{\text{пл}}$ - температура плавления, К.

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

Порядок выполнения работы

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

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

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

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

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

Таблица 6.1

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

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

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

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

Таблица 6.2

Номер образца	Материал	Температура	Степень деформации $\lambda, \%$	HRB
4	Л80 (α -латунь)			
4				
4				
4				

Содержание отчета

1. Задание и цель работы.
2. Табл. 6.1 с экспериментальными данными твердости деформируемой α -латуни. График зависимости твердости (HRB) α -латуни от степени деформации, %.
3. Расчет температуры начала рекристаллизации α -латуни (Л80).
4. Табл. 6.2 с экспериментальными данными по твердости отожженной α -латуни при $t = 200, 400, 600^\circ\text{C}$. График зависимости твердости (HRB) α -латуни от температуры отжига.
5. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Что такое упругая деформация металлов и сплавов? Физические методы определения упругой деформации.
2. Что такое пластическая деформация металлов и сплавов?
3. Диаграмма напряжение - деформация для пластичных и хрупких металлов. Характеристики пластической деформации для пластичных и хрупких материалов.
4. Как происходит пластическая деформация в моно- и поликристаллах? Текстура деформированных материалов.
5. Что такое дислокация и плотность дислокаций?
6. Какова плотность дислокаций в отожженных и наклепанных образцах?
7. Физическая сущность наклепа.
8. Как влияет наклеп на физические, химические и механические характеристики наклепанного материала?
9. Отдых и полигонизация. Изменение структуры, физических, химических и механических свойств металлов и сплавов.
10. Первичная рекристаллизация металлов и сплавов. Изменение физических, химических и механических свойств металлов и сплавов.
11. Вторичная рекристаллизация металлов и сплавов. Как влияет вторичная рекристаллизация на изменение механических свойств наклепанных материалов.
12. Критическая степень деформации.
13. Холодная и горячая обработка металлов и сплавов. Области применения.

Библиографический список

1. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990.- с.68-87
2. Мозберг Р.К. Материаловедение. М.: Высш. шк., 1991.- с.19-44

Лабораторная работа N 7

ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

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

Задания

1. Вычертить предложенную преподавателем диаграмму состояния, оставив рядом место для построения кривых охлаждения.
2. Определить образующиеся фазы и значение линий диаграмм состояния (ликвидус, солидус, линии полиморфных превращений, предельной растворимости избыточных фаз, эвтектического и перитектического превращения).
3. Написать реакции фазовых превращений, происходящих при постоянных температурах.
4. Определить структуры сплавов во всех областях диаграммы состояния. Для заданных сплавов построить кривые охлаждения и объяснить происходящие в них изменения. Для указанного сплава при данной температуре определить фазы, их химический состав и весовое количество.
5. Сравнить механические и технологические свойства сплавов с различной структурой.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

В промышленности широко применяются не металлы, а их сплавы. Под сплавом понимается вещество, получаемое сплавлением двух или более элементов. Различают следующие типы сплавов: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Механическая смесь двух компонентов А и В образуется тогда, когда они неспособны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием соединения, то есть силы притяжения между одноименными атомами преобладают над силами притяжения между разноименными атомами. Поэтому образуются зерна как компонента А, так и компонента В, и наблюдается сохранение их кристаллического строения.

Твердые растворы – это фазы, в которых один из компонентов сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого компонента располагаются в решетке первого компонента (растворителя), изменяя ее размеры, то есть твердый раствор состоит из двух или нескольких компонентов, имеющих один тип кристаллической решетки, и представляет собой одну фазу. Различают:

- 1) *твердые растворы внедрения* (атомы растворенного компонента располагаются в междоузлиях кристаллической решетки растворителя);
- 2) *твердые растворы замещения* (атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в его кристаллической решетки).

Твердые растворы замещения имеют большую растворимость, для увеличения растворимости необходимо соблюдать следующие условия:

- 1) одинаковый тип решетки компонентов;
- 2) разница атомных диаметров не должна превышать 8%, что снизит искажения кристаллического строения;
- 3) свойства компонентов должны быть близкими.

Химические соединения разнообразны, они имеют следующие характерные особенности: 1) образуется новая кристаллическая решетка, отличная от решеток компонентов, образующих соединение; 2) в соединении всегда сохраняется простое кратное соотношение компонентов (состав можно отразить формулой A_nB_m , где А и В – соответствующие элементы, n и m – простые числа); 3) свойства соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава.

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

$$C = K + П - \Phi$$

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

К – количество компонентов (веществ, образующих систему);

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

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

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

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

Диаграммы состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы. Оба компонента неограниченно растворимы в жидком и твердом состояниях и не образуют химические соединения, поэтому возможно существование только двух фаз – жидкого раствора *L* и твердого раствора *α*. Следовательно, трех фаз быть не может, кристаллизация при постоянной температуре не наблюдается, и горизонтальной линии на диаграмме нет. Диаграмма, изображенная на рис.7.1, как бы состоит из двух линий:

верхняя линия отделяет жидкую фазу, являясь *линией ликвидус*, и нижняя линия отделяет твердую фазу, являясь *линией солидус*.

Диаграмма состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы, состоит из трех областей: жидкость L , жидкость $L +$ твердый раствор α и твердый раствор α .

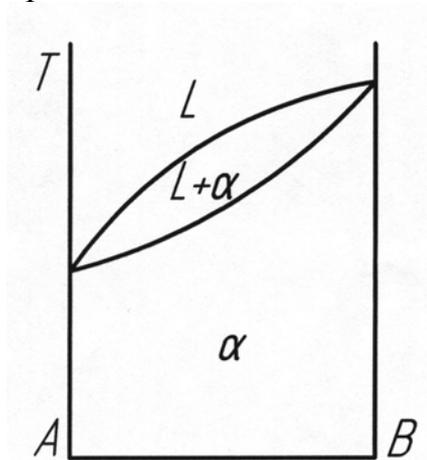


Рис.7.1. Диаграмма состояния сплавов, образующих неограниченные твердые растворы

Диаграммы состояния сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов. Оба компонента в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы и не образуют химических соединений. В этом случае диаграмма имеет вид, представленный на рис.7.2.

Сплав I при охлаждении до температуры кристаллизации затвердевает при одновременном выделении из жидкости кристаллов обоих компонентов A и B . В момент кристаллизации $s = 2 + 1 - 3 = 0$. Такой сплав, имеющий мелкокристаллическое строение и представляющий собой хорошо организованную механическую смесь с минимальной температурой плавления, называют *эвтектикой*.

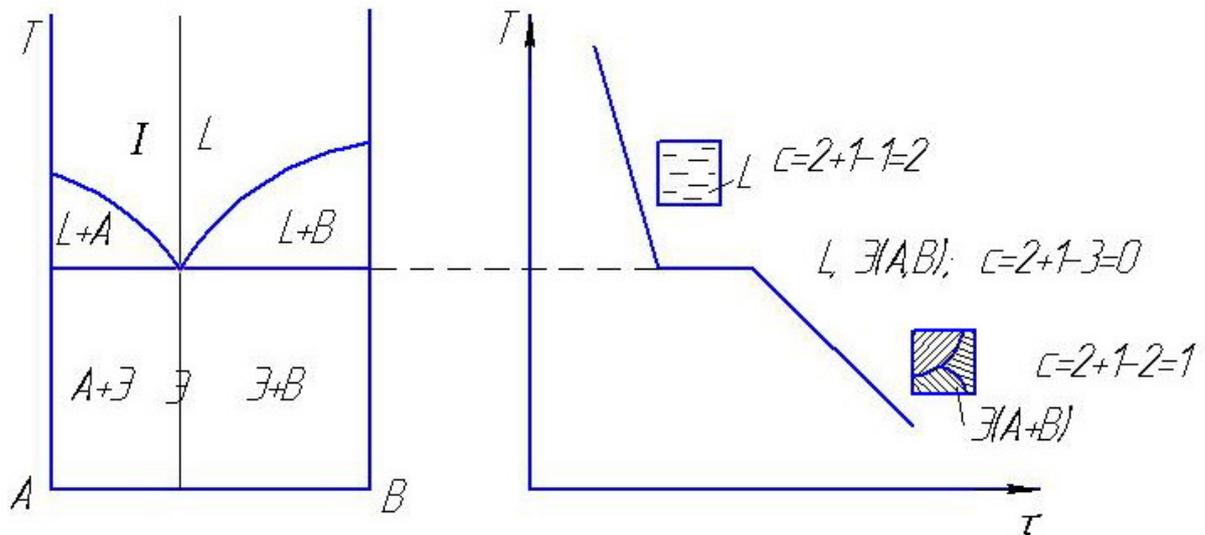


Рис.7.2. Диаграмма состояния и кривая охлаждения сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов

Диаграммы состояния сплавов, образующих ограниченные твердые растворы. Оба компонента неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограничено в твердом и не образуют химических соединений.

В сплавах такого рода возможно существование: жидкой фазы L , жидкого раствора компонента B в A , который будет называться α -раствором, и (или) твердого раствора компонента A в B , который обозначается через β . В этих сплавах возможно неинвариантное равновесие при одновременном сосуществовании трех фаз: L , α и β ; в данном случае (рис.7.3): L , α и B . В зависимости от того, какая реакция протекает в условиях существования трех фаз, могут быть два вида диаграмм: диаграмма с эвтектическим превращением (рис.7.3) и диаграмма с перитектическим превращением (рис.7.4).

В отличие от верхней диаграммы, изображенной на рис.7.3, на диаграмме, представленной внизу рис.7.3, видно, что растворимость B в A с понижением температуры уменьшается. Это приводит к пересыщению раствор I , и из него должен выделиться избыточный компонент B . Кристаллы B , выделяющиеся из твердого раствора, называют *вторичными кристаллами* и часто обозначают символом, имеющим индекс Π : в данном случае B_{Π} . Процесс выделения вторичных кристаллов из твердой фазы носит название *вторичной кристаллизации*.

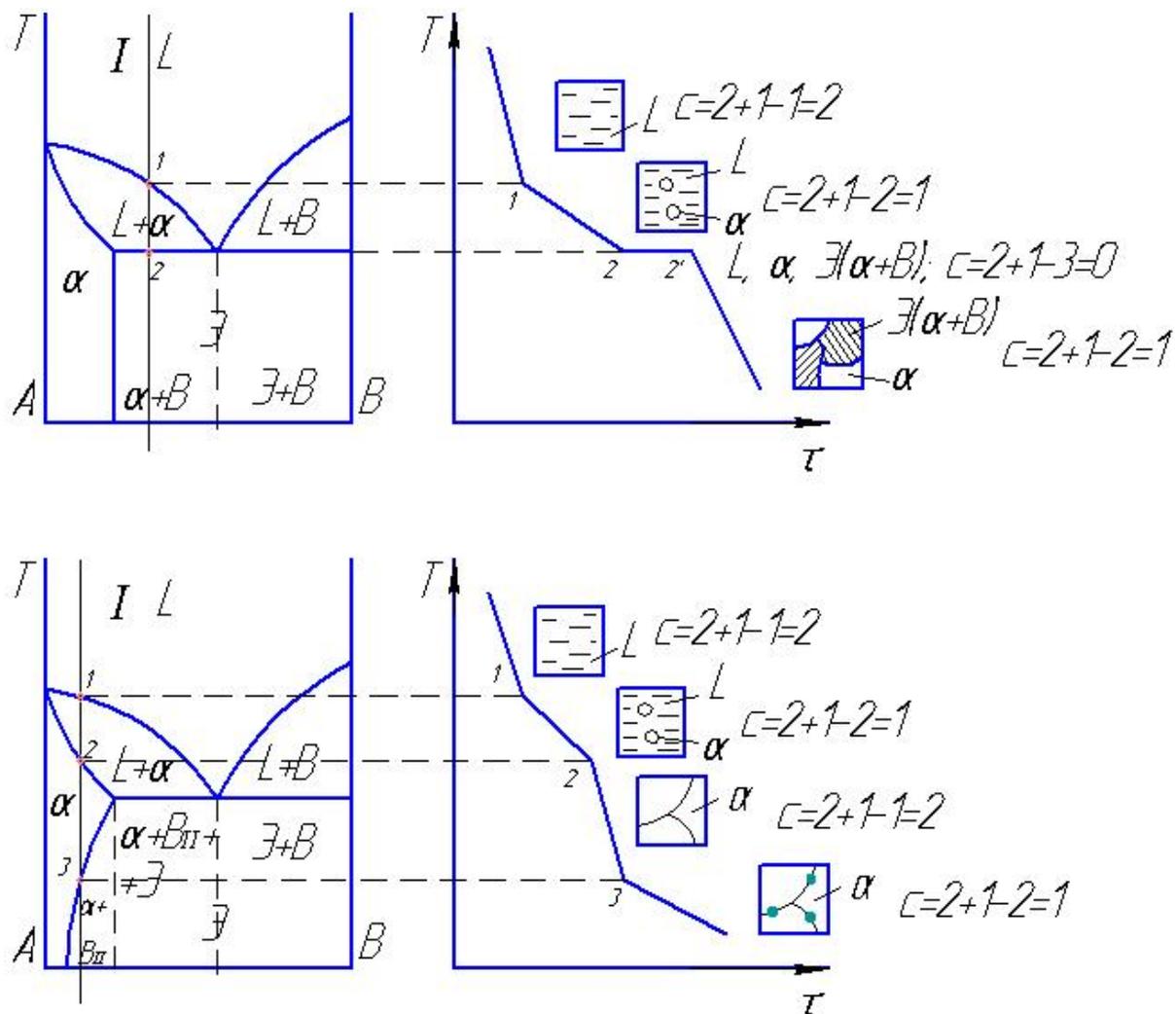


Рис. 7.3. Диаграммы состояния и кривые охлаждения сплавов, образующих ограниченные твердые растворы с постоянной и переменной растворимостью

При эвтектическом превращении жидкость кристаллизуется с образованием двух твердых фаз. Возможен и другой тип неинвариантного превращения, когда жидкость реагирует с ранее выпавшими кристаллами и образуется новый вид кристаллов. Реакция подобного типа называется *перитектической* (рис. 7.4).

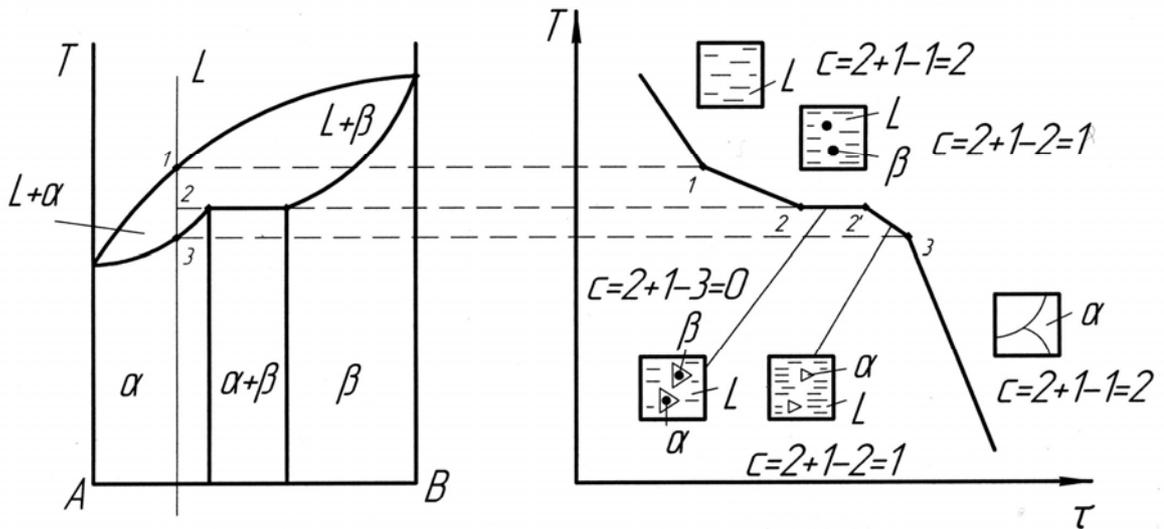


Рис.7.4. Диаграмма состояния и кривая охлаждения сплавов с перитектическим превращением

Диаграммы состояния сплавов, испытывающих полиморфные превращения. Вид диаграммы состояния зависит от соединений, образующихся между аллотропическими формами обоих компонентов. Если полиморфизм присущ обоим компонентам, и высокотемпературные модификации неограниченно растворимы друг в друге, а низкотемпературные - нерастворимы, то диаграмма состояния имеет вид, показанный на рис. 7.5.

Видно, что ниже некоторой температуры образовавшийся твердый раствор γ распадается в механическую смесь, которая подобна эвтектике, но образуется не из жидкой фазы, а из твердого раствора и называется эвтектоидом. В данном случае $\mathcal{E}_\delta = \alpha + B$.

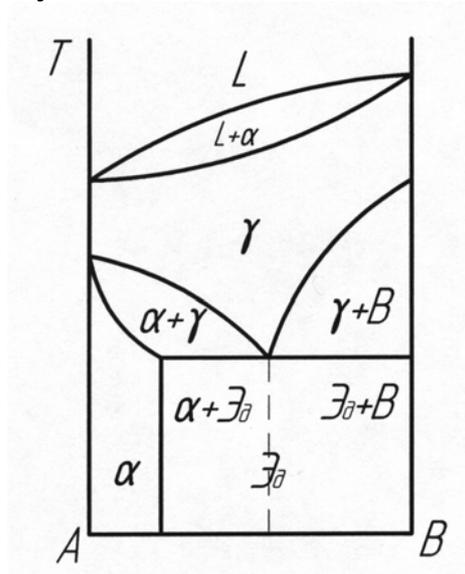


Рис. 7.5. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих полиморфные превращения

Диаграммы состояния сплавов, образующих химические соединения. Такая диаграмма представлена на рис. 7.6. Данное химическое соединение A_nB_m устойчиво, поэтому может быть нагрето без разложения до своей температуры плавления. Химическое соединение A_nB_m плавится при постоянной температуре и можно рассматривать как однокомпонентную смесь.

Кристаллизация сплавов по этой диаграмме происходит совершенно аналогично кристаллизации сплавов, образующих диаграммы с ограниченной растворимостью. Отличие состоит в том, что кроме выделения кристаллов чистых компонентов А и В и кристаллов твердых растворов, происходит еще образование кристаллов химического соединения. Таким образом, диаграмма с химическим соединением представляет собой как бы приставленные одна к другой две простые диаграммы. Можно визуально разделить такую диаграмму на две части по вертикали, соответствующей химическому соединению, и изучать каждую часть диаграммы отдельно.

В данном случае (рис.7.6):

$$\alpha = A (A_nB_m), \gamma = A_nB_m (A), \Xi_1 = \alpha + \gamma; \beta = B (A_nB_m), \Xi_2 = A_nB_m + \beta.$$

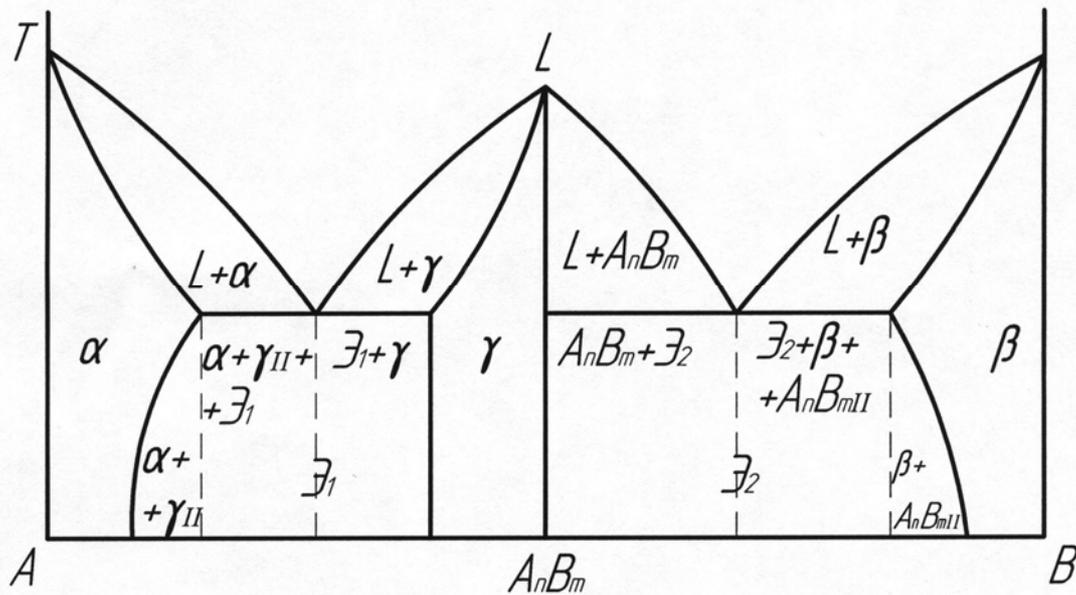


Рис.13. Диаграмма состояния сплавов, образующих химические соединения

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

Сплавы эвтектического состава отличаются средней прочностью и пластичностью, но исключительно хорошими линейными свойствами, так как

имеют высокую жидкотекучесть и очень малую усадку (поскольку кристаллизуются при постоянной температуре).

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

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

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

Порядок выполнения работы

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

Содержание отчета

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

Контрольные вопросы

1. Правило фаз.
2. Твердые растворы замещения, внедрения, упорядоченные.
3. Химические соединения и промежуточные фазы.
4. Линии и структуры в диаграмме состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов.
5. Диаграмма состояния сплавов, кристаллизующихся с образованием механической смеси из чистых компонентов.
6. Диаграмма состояния с ограниченной растворимостью компонентов и с эвтектикой.
7. Диаграмма состояния с перитектическими превращениями.
8. Диаграмма состояния с устойчивым химическим соединением.
9. Диаграмма состояния с полиморфным превращением.
10. Что такое эвтектическое и эвтектоидное превращение?
11. Что такое перитектическое и перитектоидное превращение?
12. Правило отрезков.
13. Как определить химический состав (концентрацию) фаз, находящихся в равновесии в двухфазной области?
14. Диаграмма состояния с неустойчивым химическим соединением.

Библиографический список

1. Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: *Металлургия*, 1985. - с. 100 - 141
2. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. М.: *Металлургия*, 1983. – 359 с.

Лабораторная работа N 8

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

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

Задания

1. Зарисовать диаграммы фазового равновесия следующих систем Cu-Zn (до 50 % Zn), Cu-Sn (до 30 % Sn), Al-Si, 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 с небольшим количеством других компонентов. Латуням присущи все положительные свойства меди (высокая электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость, пластичность) при более высокой прочности и лучших технологических свойствах.

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

Латуни, содержащие до 39 % цинка (Л90, Л80, Л68), имеют однофаз-

ную структуру (α), представляют собой твердый раствор цинка в меди. Такие латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Латуни, содержащие 40-45 % цинка (Л60, Л59, ЛЦ40Мц1,5), имеют двухфазную структуру ($\alpha + \beta$). β - Фаза представляет собой твердый раствор на основе химического соединения CuZn. Латуни, имеющие двухфазную структуру, обладают повышенной твердостью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, но в холодном состоянии пластичность их невелика.

Однофазные латуни состоят из зерен однофазного твердого 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.).

Латунь Л59. В структуре этой латуни, кроме α - фазы, присутствует более твердая и хрупкая β' . Под микроскопом кристаллы β' - фазы имеют темную окраску (рис.8.1, 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.8.1, б) β .

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

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

Сплавы меди с оловом - оловянистые бронзы (Бр 010) очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литой оловянистой бронзы (рис.8.1, в) состоит из неоднородного твердого α -раствора (твердого раствора олова в меди) и эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$. Темные уча-

стки неоднородного твердого α -раствора богаты медью, светлые - оловом, в эвтектоиде, на светлом фоне соединения $Cu_{31}Sn_8$ видны темные точечные включения α -фазы.

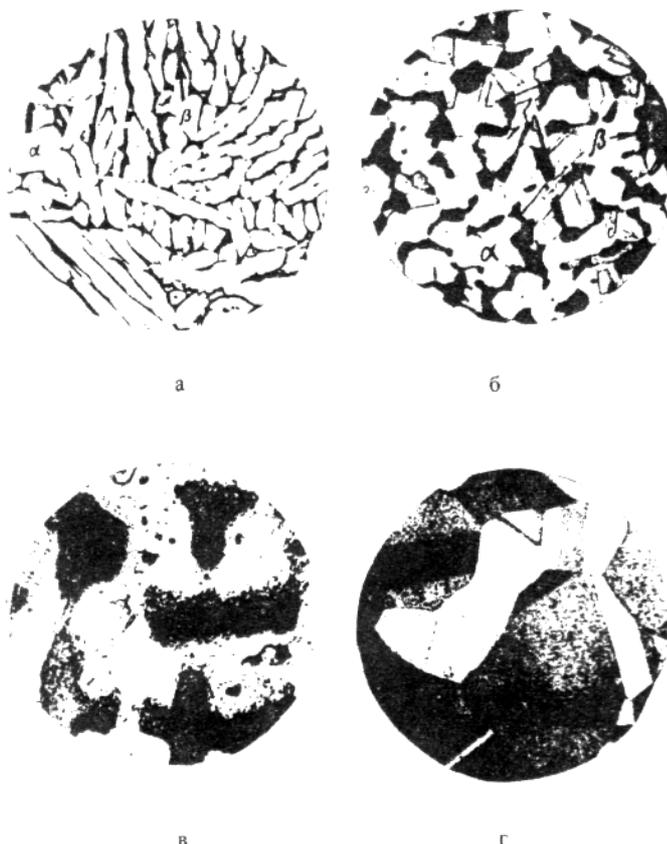


Рис.8.1. Микроструктуры (x 100): а - литая латунь Л59 ($\alpha+\beta$); б - латунь ($\alpha+\beta$) после деформирования; в - литая бронза Бр05; г - бронза после деформирования и рекристаллизации

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 (БрА7), 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 $900^{\circ}C$ в воду и отпуска $650^{\circ}C$. После закалки они имеют игольчатую структуру, состоящую из зерен α и β твердых растворов. Алюминиевые бронзы

имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

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

Сплавы на основе алюминия обладают малой прочностью. Для получения прочных сплавов их легируют различными элементами в количествах, способствующих образованию двухфазной структуры.

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

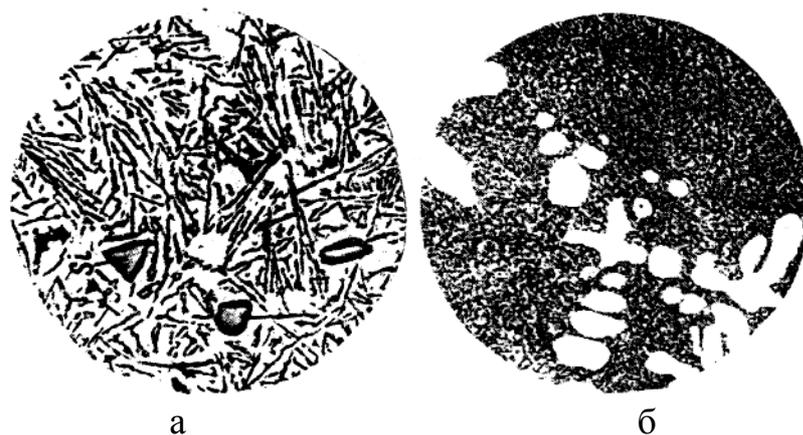
Все дюралюмины можно подразделять на следующие подгруппы: классический дюралюмин марки Д1, с которым сравниваются другие дюралюмины; дюралюмин повышенной прочности (Д16), самый распространенный в настоящее время, отличающийся от классического более высоким содержанием магния; дюралюмины повышенной пластичности (Д18, В65), отличающиеся от классического более низким содержанием или некоторых компонентов.

Литая структура дюралюминия характеризуется наличием фазы α с расположенными по ее границам кристаллами S-фазы и CuAl_2 . После закалки 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 частиц S-фазы и (CuAl_2), невидимых под оптическим микроскопом. Сплав Д1 обладает достаточной прочностью и пластичностью. Прокаткой или штамповкой из него изготавливают листы, прутки, трубы и др.

Сплавы на основе системы Al-Si известны под общим названием силумины. Силумины характеризуются хорошими литейными свойствами и герметичностью, средней прочностью и достаточно коррозионной стойкостью. Они применяются для изготовления сложных отливок.

Структура немодифицированного литого сплава алюминия с кремнием (рис.8.2, а) имеет грубое строение и состоит из крупных удлиненных кристаллов кремнистой фазы β , расположенной на фоне α -фазы, богатой алюминием. Сплав АЛ2 (10-13% Si) того же состава, модифицированный натрием при его выплавке, характеризуется структурой, состоящей из эвтектической смеси и обособившихся кристаллов твердого α -раствора (рис.8.2, б).

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



*Рис.8.2. Микроструктура алюминиевого сплава АЛ2, х 250:
 а - литой немодифицированный:
 α -твердый раствор и β -кремнистая фаза игольчатой формы;
 б - модифицированный: α -твердый раствор и эвтектика тонкого строения*

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

Наиболее высокими качествами обладает баббит марки Б83 (83% Sn, 11% Sb и 6% Cu). Структура сплава состоит из темной пластичной основы α -фазы (твердого раствора сурьмы и меди в олове), светлых твердых частиц крупных кубических кристаллов SnSb и мелких игл или звезд кристаллов Cu_6Sn_5 (Cu_3Sn).



*Рис.8.3. 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 соответствующие диаграммы состояния.

При выполнении второго задания 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.
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. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985.

2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Металловедение. М.. Metallургия, 1989.- 456 с.

3. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М.: Metallургия, 1970.

4. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. М. : Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - с. 341 – 347.

Лабораторная работа № 9

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЮРАЛЮМИНА

Цель работы: изучить технологический процесс упрочняющей термической обработки дюралюмина.

Задания

1. Используя учебники, пособия и диаграмму состояния Al-Cu, изучить процессы, происходящие при термической обработке дюралюмина.

2. Провести закалку дюралюминовых образцов и определить их твердость.

3. Выявить влияние температуры искусственного старения и времени выдержки на изменение твердости закаленных дюралюминовых образцов.

4. Построить зависимость изменения твердости от времени и температуры искусственного старения. Объяснить эти зависимости и описать процессы, происходящие при нагревании закаленных дюралюминовых образцов.

5. Ответить на контрольные вопросы.

6. Составить отчет.

Общие положения

Дюралюмин – наиболее распространенный представитель алюминиевых сплавов, применяемых в деформированном виде и упрочняемый термической обработкой. Это сплав, по крайней мере, шести компонентов: алюминия, меди (около 4%), магния, марганца, кремния и железа. Указанный сплав можно причислить к сплавам системы Al – Cu – Mg, кремний и железо являются постоянными примесями. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений (CuAl_2 , фаза S, Mg_2Si) и нерастворимых соединений (железистые и марганцовистые соединения). Структура дюралюмина в отожженном состоянии состоит из твер-

дого раствора и вторичных включений различных интерметаллидных соединений.

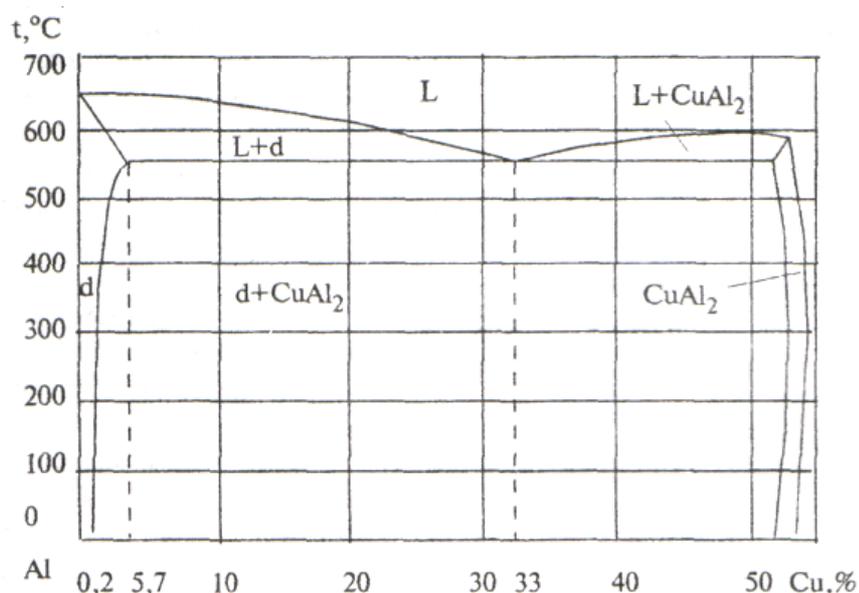


Рис. 9.1. Диаграмма состояния сплавов Al – Cu

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

После закалки с оптимальных температур (500⁰С) основное количество соединений CuAl₂ и Mg₂Si растворяется в алюминии, соединения железа не растворяются. Поэтому в закаленном состоянии структура состоит из алюминиевого твердого раствора (пересыщенного α – раствора) и нерастворимых включений соединений железа. Такая структура будет отличаться большей пластичность, но меньшей твердостью и прочностью, т.е. в результате закалки дюралюмин становится мягким и пластичным. Старению предшествует 2...3 – часовой инкубационный период, в течение которого сплав сохраняет высокую пластичность. Но полученный в результате закалки α – раствор является 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 соединений (в сплавах дополнительно легированных магнием также выделяется S – фаза – CuMgAl₂).

Дюралюмины после закалки подвергают естественному старению, так как оно обеспечивает получение более высокой коррозионной стойкости, но естественное старение продолжается в течение 5 – 7 суток. Длительность старения значительно сокращается при увеличении температуры до 40⁰С особенно 100⁰С, температура искусственного старения различных алюми-

ниевых сплавов колеблется от 20⁰С до 200⁰С.

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется студентами при подготовке к работе. При этом следует знать, что на 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 является пересыщенным и неустойчивым. Необходимо 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.

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

Первая бригада измеряет твердость образцов дюралюмина марки Д16 на приборе Роквелла (шкала HRB), выполняя на каждом образце - 3 замера. В таблицу заносятся только среднее значение твердости.

После измерения твердости образцов в исходном состоянии вторая бригада проводит закалку образцов. Для этого все образцы закладывают в лабораторную печь, нагретую до 500⁰С, после выдержки, время которой устанавливается в зависимости от сечения образцов, необходимо очень быстро охладить их в воде. Среднее значение твердости (шкала HRB) заносятся в таблицу.

Третья бригада производит искусственное старение образцов. Для этого образцы после закалки сразу же помещают в лабораторные печи, разогретье до температур 200, 300 °С. После соответствующей выдержки (табл.9.1) образцы охлаждают на воздухе и измеряют твердость (шкала HRB).

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

Таблица 9.1.

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

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Диаграмма состояния Al-Cu.
3. Таблица.
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?
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. с. 493 - 497
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия. 1983. – 359 с.

Лабораторная работа N 10

Изучение диаграммы состояния железо-цементит

Цель работы: изучение диаграммы состояния железо-цементит.

Задание

1. Используя литературные источники, изучить полиморфные превращения чистого железа, а также соединения, образующие железом с углеродом, и их свойства.

2. Вычертить в масштабе диаграмму железо-цементит с указаниями температур фазовых превращений и концентраций углерода в особых точках, а также расставить кристаллические фазы и структурные составляющие, присутствующие в различных областях.

3. Построить схематично кривые охлаждения двух сплавов (сплавы выдаются преподавателем) с применением правила фаз.

4. Описать превращения, происходящие при охлаждении сплавов из жидкого состояния до комнатной температуры. Схематично изобразить структуры сплавов на каждом участке кривых охлаждения.

5. Используя правило отрезков, подсчитать весовое количество (в %) присутствующих в сплаве фаз и их состав при одной из температур, указанного сплава.

6. Ответить на контрольные вопросы.

7. Составить отчет.

Общие положения

На рис. 10.1 приведена диаграмма фазового равновесия сплавов железо - углерод (железо – цементит).

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

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

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

феррит - твердый раствор углерода в Fe_α , обозначается буквой F ;

аустенит - твердый раствор углерода в Fe_γ , обозначается буквой A .

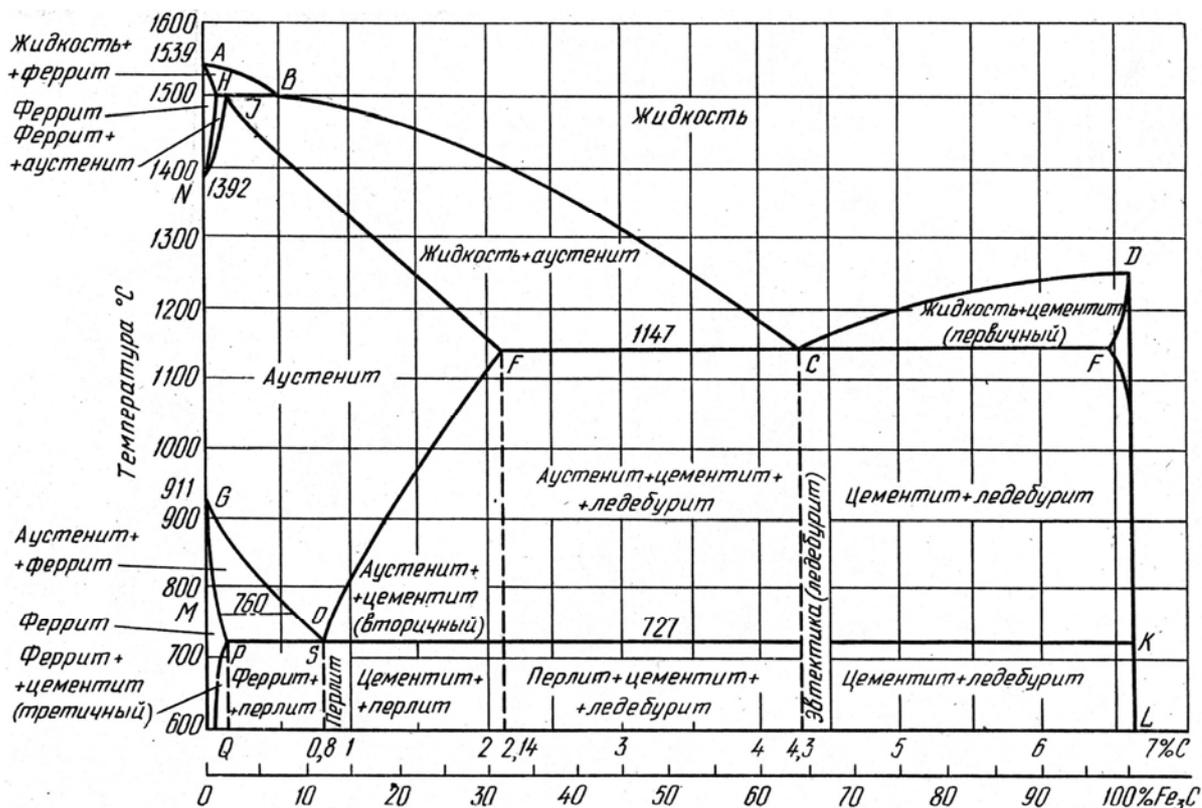


Рис.10.1. Диаграмма состояния железо-углерод

Область существования феррита расположена левее линии GPQ и AHN , а область существования аустенита – левее линии $NJESG$.

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

1) При 1499°C (линия HJB) протекает перитектическая реакция:
 $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$. В результате перитектической реакции образуется аустенит. Реакция эта наблюдается только у сплавов, содержащих углерода от 0,1 до 0,5 %.

2) При 1147°C (горизонталь ECF) протекает эвтектическая реакция:
 $L_C \rightarrow A_E + \text{Ц}$. В результате данной реакции образуется эвтектическая смесь аустенита и цементита, называемая *ледебуритом*. Эта реакция протекает у всех сплавов, содержащих более 2,14% углерода.

3) При 727°C (горизонталь PSK) протекает эвтектоидная реакция:
 $A_S \rightarrow \Phi_P + \text{Ц}$. В результате этой реакции образуется эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая перлитом.

Порядок выполнения работы

Первое и второе задания выполняются в порядке подготовки к лабораторной работе, при этом необходимо вычертить в масштабе диаграмму с указанием температур фазовых превращений и концентраций особых то-

чек (H, I, В, С, Р, Q, S). Указать кристаллические фазы и структурные составляющие в различных областях диаграммы.

При выполнении третьего и четвертого заданий каждый студент схематично строит кривые охлаждения двух сплавов (по указанию преподавателя) с применением правила фаз, описывает превращения, происходящие при охлаждении сплавов от жидкого состояния до комнатной температуры. Схематично изобразить структуры сплавов на каждом участке кривых охлаждения.

При выполнении пятого задания студенты подсчитать весовое количество (в %) присутствующих в сплаве фаз (используя правило отрезков) и их состав при одной из температур, указанного сплава.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Диаграмма железо – цементит в масштабе.
3. Кривые охлаждения для указанных сплавов с расстановкой фаз и числа степеней свободы.
4. Описание превращений, происходящих при охлаждении сплавов из жидкого состояния до комнатной температуры. Схематичное изображение структур сплавов на каждом участке кривых охлаждения.
5. Расчет весового количества фаз и их состава.

Контрольные вопросы

1. Почему на диаграмме состояния у чистого железа имеется несколько критических точек?
2. Что такое феррит, аустенит, перлит и цементит?
3. Где на диаграмме состояния находятся области сталей и чугунов (определить области по содержанию углерода)?
4. Как подразделяются по содержанию углерода стали? Каково различие их структур и механических свойств?
5. Как подразделяются по содержанию углерода белые чугуны? Каково различие их структур и механических свойств?
6. Каков состав, строение и свойства перлита, ледебурита и цементита?
7. Как и при какой температуре протекает перитектическая реакция?
8. Как и при какой температуре протекает эвтектическая реакция?
9. Как и при какой температуре протекает эвтектоидная реакция?

Библиографический список

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1985. с. 142 - 160
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. - с. 118 - 129

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-цементит с указаниями температур фазовых превращений и концентраций углерода в особых точках, а также расставить кристаллические фазы и структурные составляющие, присутствующие в различных областях. Используя литературные источники, изучить свойства структурных составляющих сталей, а также классификацию сталей в соответствии с микроструктурой.

2. Построить схематично кривые охлаждения двух сплавов, указанных в таблице (сплавы выдаются преподавателем), с применением правила фаз. Описать превращения, происходящие при охлаждении сплавов из жидкого состояния до комнатной температуры. Схематично изобразить структуры сплавов на каждом участке кривых охлаждения.

3. Рассмотреть под микроскопом комплект шлифов. Определить по микроструктуре тип сплава. Изучить, зарисовать и описать структуру исследуемых сталей.

4. Для доэвтектоидных сталей определить (приблизительно) содержание углерода по микроструктуре и написать марку качественной стали.

5. Ответить на контрольные вопросы.

6. Составить отчет.

Общие положения

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

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

Доэвтектоидные стали после отжига имеют *структуру феррита и перлита*. Чем больше в доэвтектоидной стали углерода, тем больше в ее структуре перлита и тем выше прочность стали (одновременно с повыше-

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

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

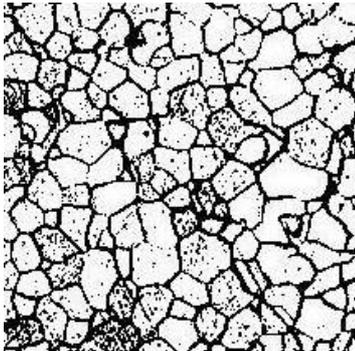
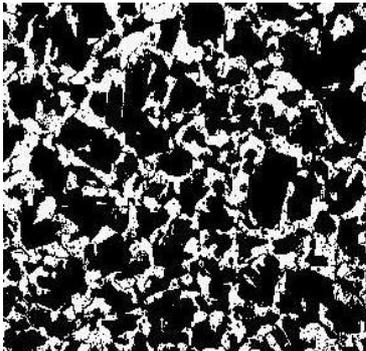
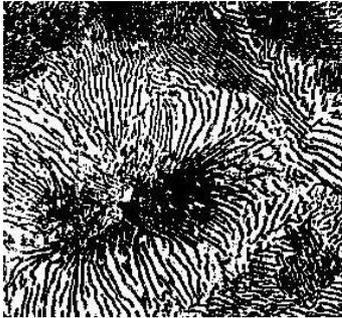
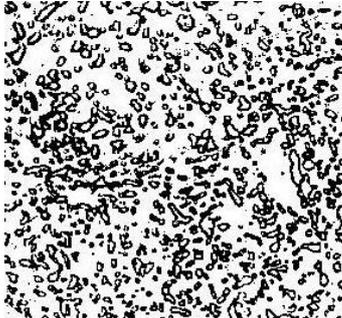
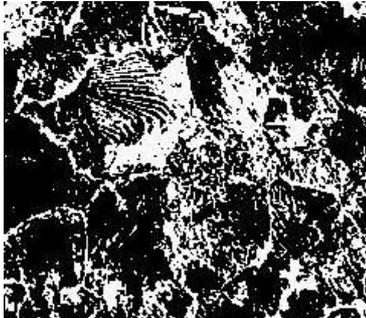
Арко-железо (феррит)		Доэвтектоидная сталь (феррит и перлит)	
			
Эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит)	Эвтектоидная сталь (зернистый перлит)	Заэвтектоидная сталь (перлит и цементит)	
			

Рис.11.1. Микроструктуры углеродистых сталей

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. В сталях из-за влияния углерода превращение происходит при других температурах.

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.

Порядок выполнения работы

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

Второе задание выполняется студентами, если программой курса «Материаловедение» для данной специальности не предусмотрено выполнение лабораторной работы «Изучение диаграммы состояния железо-цементит».

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

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

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

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

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

Такое содержание углерода имеет сталь 40.

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

Содержание отчета

1. Название, цель и задание.
2. Участок диаграммы железо - цементит в масштабе (область сталей).
3. Кривые охлаждения для указанных сталей с расстановкой фаз и числа степеней свободы.
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.: Metallurgy, 1985. с. 160 - 181
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. - с. 131 - 144

3. Материаловедение/ Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., переработ. и доп. – М.: Изд-ве МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.

Лабораторная работа N 12

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНОВ

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

Задания

1. Вычертить в масштабе диаграмму железо-цементит с указаниями температур фазовых превращений и концентраций углерода в особых точках, а также расставить кристаллические фазы и структурные составляющие, присутствующие в различных областях.

2. Построить кривую охлаждения указанного преподавателем сплава с применением правила фаз. Описать 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

Сплавы железа с углеродом, которые содержат более 2,14% углерода, называются чугунами. Кроме углерода, чугуны содержат повышенное количество кремния, марганца, серы и фосфора. Углерод в чугуне может находиться в связанном виде - в виде цементита или в свободном - в виде графита.

Различают следующие виды чугунов:

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

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

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

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

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. Как указывалось выше, ледебурит - это механическая смесь аустенита и цементита. Он образуется при температурах $1147^{\circ}C$; при $727^{\circ}C$ аустенит, входящий в состав ледебурита, превращается в перлит; ниже $727^{\circ}C$ ледебурит представляет собой смесь перлита и цементита.

По содержанию углерода *белые чугуны* делятся на *доэвтектические* (2 - 4,3%), *эвтектические* (4,3%) и *заэвтектические* (больше 4,3%). Доэвтектические белые чугуны имеют структуру, состоящую из перлита и ледебурита. Чем больше углерода в доэвтектическом чугуне, тем больше содержание ледебурита. Эвтектический белый чугун состоит только из ледебурита. Заэвтектический чугун состоит из крупных пластин первичного цементита и ледебурита. Чем больше углерода в заэвтектическом чугуне, тем больше он содержит первичного цементита.

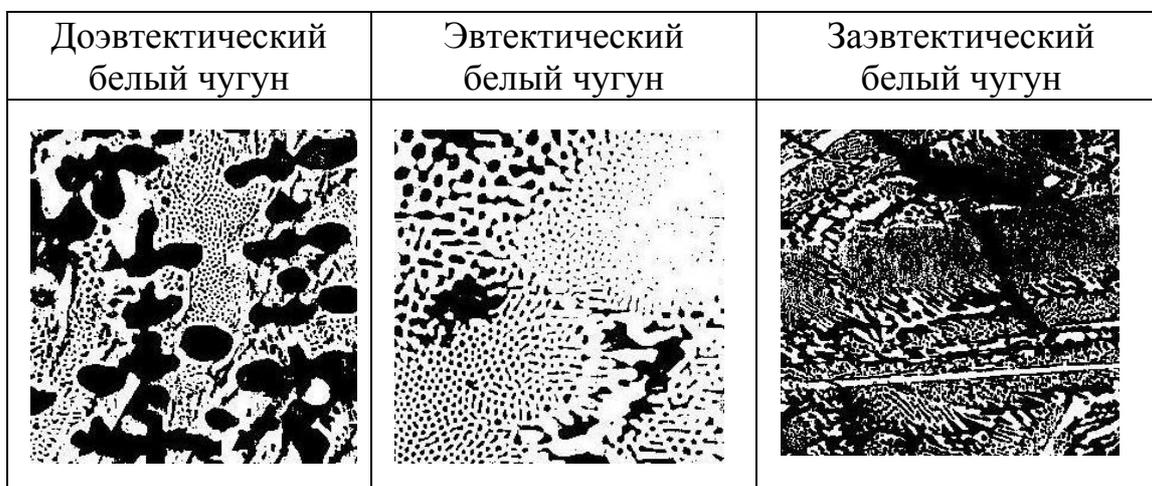


Рис.12.1 Микроструктуры белых чугунов

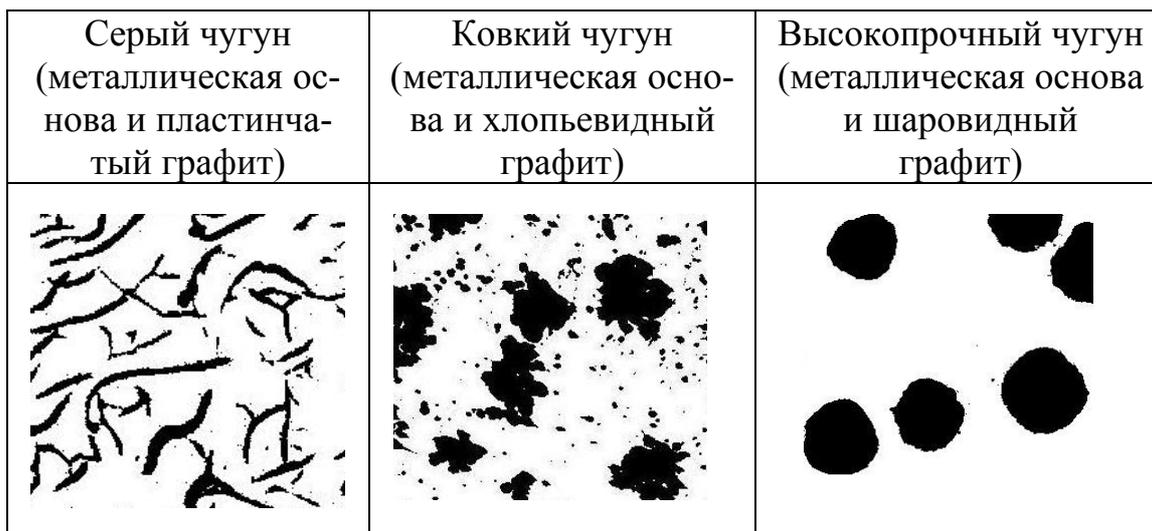


Рис.12.2. Микроструктуры чугунов

Металлическая основа серого, ковкого и высокопрочного чугунов бывает ферритной, феррито-перлитной, перлитной.

Серый чугун получается при медленном охлаждении и повышенном содержании кремния (до 3%). Свойства серого чугуна зависят от количества и формы графита и структуры металлической основы. Графит выделяется в виде пластин, такие включения являются внутренними надрезами, которые значительно снижают прочность чугуна. Прочность серых чугунов на растяжение находится в пределах 100 - 350 МПа (ГОСТ 1412-85).

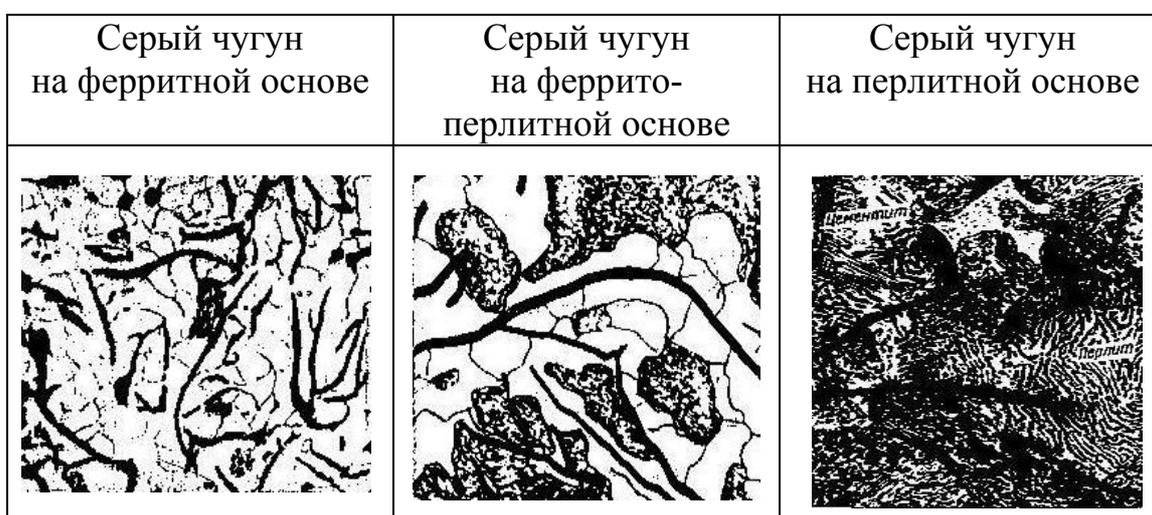


Рис.12.3. Микроструктуры серых чугунов

Ковкий чугун получают при длительном нагреве при высоких температурах (отжиг 900 - 1000°C) отливок из белого чугуна. При этом цементит распадается и образуется графит хлопьевидной формы. Такой графит по

сравнению с пластинчатым значительно меньше снижает прочность и пластичность металлической основы.

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%.

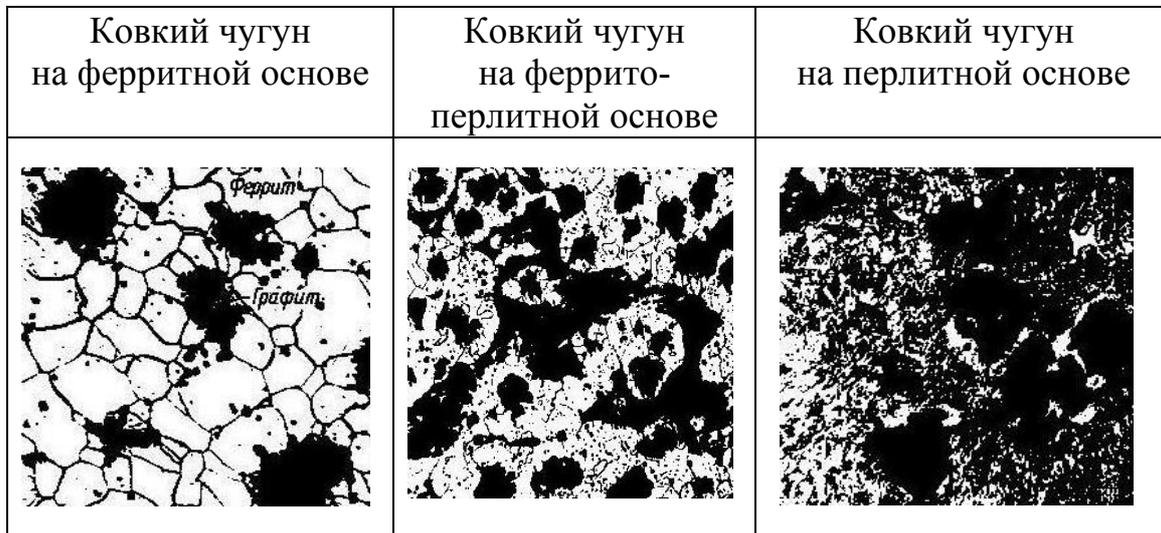


Рис.12.4. Микроструктуры ковких чугунов

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. Шаровидный графит меньше ослабляет металлическую основу и обеспечивает высокие механические свойства. Прочность этого чугуна $\sigma_B = 350 - 1000$ МПа (ГОСТ 7293-85).

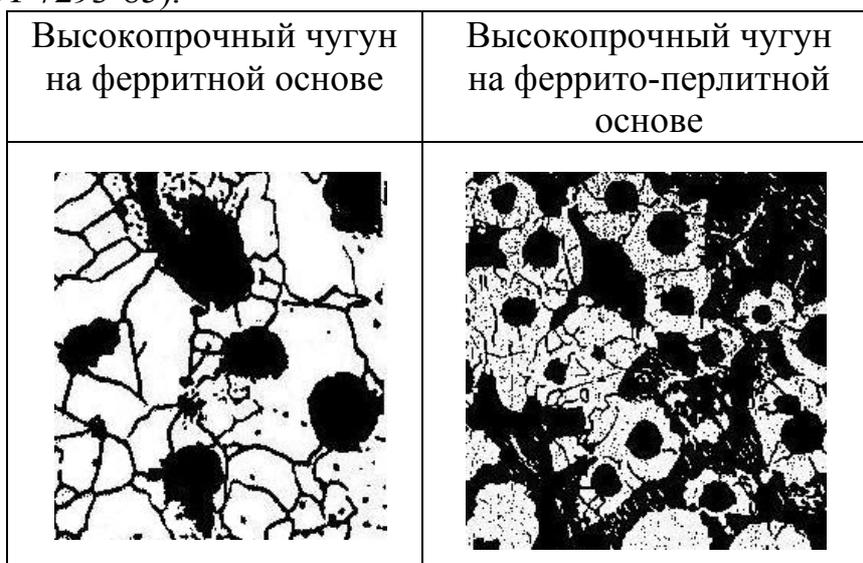


Рис.13.5. Микроструктуры высокопрочных чугунов

Порядок выполнения работы

Первое задание студенты выполняют при подготовке к лабораторной работе, при этом следует изобразить диаграмму фазового равновесия железо - углерод в масштабе.

Второе задание выполняется студентами, если программой курса «Материаловедение» для данной специальности не предусмотрено выполнение лабораторной работы «Изучение диаграммы состояния железо-цементит». Это задание выполняется в лаборатории. При этом каждый студент получает сплав с указанным преподавателем содержанием углерода. Построив кривую охлаждения для сплава, следует на каждом участке кривой расставить одновременно существующие фазы, и используя правило фаз, определить число степеней свободы.

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

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

Четвертое задание представляет собой выводы по результатам выполнения третьего задания.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Кривая охлаждения для указанного сплава 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. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Metallurgy, 1985. – с. 181 - 198
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. - с. 144 - 156
3. Материаловедение/ Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., переработ. и доп. – М.: Изд-ве МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.

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

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

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

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

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

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. При полной закалке сталь нагревают до температур однофазной аустенитной области (рис.) на 30 - 50°C выше линии A_3 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.

Микроструктура заэвтектоидных сталей после полной закалки состоит из крупноигольчатого мартенсита и повышенного количества остаточного аустенита. Это объясняется тем, что нагрев этих сталей до температур, на 30 - 50°C превышающих линию $A_{ст}$, приводит к сильному росту зерна аустенита и увеличению содержания углерода в аустените (за счет растворенного цементита). Большое зерно аустенита приводит к получению крупноигольчатого мартенсита, а повышенное содержание углерода в аустените - к получению большого процента остаточного аустенита вследствие снижения температуры точек M_H и M_K .

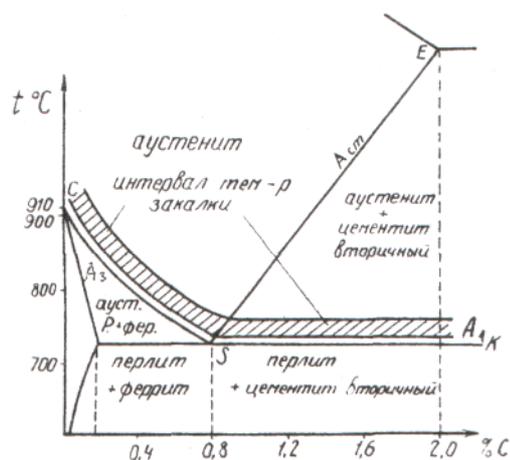


Рис. 13.1. Участок диаграммы Fe-Fe₃C (нанесены температуры закалки)

Наличие большого количества остаточного аустенита ведет к снижению твердости, крупное зерно - к снижению ударной вязкости, а отсутст-

вие включений цементита - к снижению износостойкости. Поэтому заэвтектоидные стали подвергают неполной закалке.

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

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

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

Закалка стали сопровождается увеличением объема, что вызывает появление значительных внутренних напряжений, которые могут вызывать коробление изделий и появление трещин. Поэтому закаленные изделия всегда подвергают отпуску. Отпуск - важнейшая операция термической обработки, формирующая структуру и свойства стали.

При отпуске сталь нагревают ниже линии A_1 выдерживают при этой температуре и охлаждают (обычно на воздухе или в масле). В зависимости от температуры различают низкий, средний и высокий отпуск (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 уменьше-

нию степени тетрагональности решетки железа.

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

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

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

Порядок выполнения работы

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 со вторым заданием. Результаты измерений занести в табл. 13.1. Проанализировав полученные данные, записать в таблицу предполагаемые микроструктуры.

Четвертая бригада получает предварительно закаленные образцы из стали 45, У12 для проведения отпуска. Замерить твердость в исходном состоянии (шкала НРС). Поместить в лабораторные печи, предварительно нагретые до температур 200, 600⁰С, 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. Заполненная табл.13.1.
3. Заполненная табл.13.2.
4. График зависимости твердости стали У12 от температуры отпуска.
5. Выводы.

2-я часть

Каждая бригада работает с микроскопом МИМ-7, изучает и зарисовывает в квадрате 40x40 мм в виде схемы микроструктуры комплекта, который включает микрошлифы сталей 45 и У12 после полной и неполной закалки с низким и высоким отпуском. Под каждым рисунком указываются увеличение микроскопа, марка стали и структурные составляющие. Описать микроструктуры с обязательным указанием условий ее получения и механических свойств (НВ, 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. - с. 256 - 278
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. – с. 191 - 228

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;
- 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 контактными 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 термической, химико-термической или термомеханической обработки и обосновав выбор того или иного вида обработки.

При выборе материала необходимо использовать справочную литературу.

Содержание отчета

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

Пример

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

Стали: Ст4, 45, 40Х, 40ХН, У10.

1. Анализ условий эксплуатации и требования к материалу. Вал работает в условиях повышенных напряжений, поэтому по всему сечению материал должен иметь высокую прочность и достаточную пластичность,

вязкость ($\sigma_b, \sigma_{0,2}, \delta, \psi$). Необходимо выбрать конструкционную сталь с высокой прокаливаемостью. Для получения комплекса прочностных свойств вал необходимо термически обработать.

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

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

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

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

3. Технология обработки детали и термическая обработка:

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

Закалка от 820 - 840°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.

ЗАДАЧИ

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

1. Какую сталь следует выбрать для изготовления болтов на токарных станках? Требуемая прочность $\sigma_b \geq 45 \text{ кгс/мм}^2$. Стали: Ст4, Ст5сп, 40Х, 30ХГСА.

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

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

4. Выбрать материал и термообработку для изготовления валов диа-

метром 50 мм, $\sigma_T \geq 150$ кгс/мм, $\psi \geq 15\%$. Стали У8, 40ХНМ, 30ХГСА, Н18К9М5Т.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

17. Выбрать сталь для изготовления вала диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками: $\sigma_T \geq 75$ кгс/мм², $a_n \geq 9$ кгс/см². Стали: 20ХНЗА, 38ХЗМФ, Ст4, 45.

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

19. Выбрать сталь и режим обработки для изготовления зубчатых колес

диаметром 50 мм, работающих в условиях износа, удара и повышенных напряжений. Стали: 20, 15Х, 12Х2Н4А, 18ХГТ.

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

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

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

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

24. Выбрать сталь для изготовления болтов на станках-автоматах. В конструкциях болты не воспринимают значительных нагрузок. Стали: 08, А12, А20, 45Х.

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

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

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

28. Выбрать сталь для изготовления шестерни диаметром 70 мм с высокой вязкостью и прочностью сердцевины. Стали: 15, 20, 12Х2Н4А, 12ХНЗА.

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

30. Выбрать сталь и режим обработки для изготовления шпинделей быстходных 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: P18, X12Ф1, У12.

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

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

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

41. Выбрать сталь для изготовления торцевой фрезы диаметром 100 мм. Стали: P18, P6М5, ХВГ.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

51. Выбрать сталь и термообработку для изготовления матриц, используемых при прессовании. Стали: X12М, 5ХНМ, 6ХС, 30ХГСНА, 30Х13.

52. Из предложенных сталей выбрать материал для изготовления пружин. Описать технологию изготовления пружин. Стали: 50ХН, Ст5, 60,

70С3А.

53. Выбрать сталь для изготовления пружин, работающих при нагреве до 300°C. 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?

2-я часть

Во второй части предложены дополнительные задачи, которые выполняются по заданию преподавателя.

1. При проведении термической обработки вала, изготовленного из стали 40Х, была выполнена закалка с 760 °С. Правильно ли была выбрана температура закалки? Обоснуйте свое решение. Какова структура вала после данной термообработки.

2. Объясните причины возникновения напряжений при закалке. Какие дефекты могут возникнуть при этом? Каким образом можно предотвратить образование закалочных трещин?

3. В процессе горячейковки стальная деталь хрупко разрушилась. В чем возможная причина разрушения? Как предотвратить этот вид брака?

4. Опишите механизмы бейнитного превращения. Сравните микроструктуру верхнего и нижнего бейнитов.

5. Детали машин из стали 40 закалены: одни - с температуры 760 °С, другие - с температуры 840 °С. Укажите правильный режим закалки, используя диаграмму железо-цементит. Какие из данных деталей имеют более высокую твердость и лучшие эксплуатационные характеристики. Предложите вид отпуска применимый для данной стали.

6. Стальной рычаг у экскаватора сломался в морозную погоду. В чем может быть причина поломки? Как ее устранить?

7. Метчики из стали У10А закалены: одни - с температуры 760 °С, другие - с температуры 840 °С. Используя диаграмму железо-цементит, укажите правильный режим закалки. Какой из этих инструментов будет иметь более высокую твердость и износостойкость, а соответственно лучшие эксплуатационные характеристики предложите вид отпуска для данной стали.

8. В результате термической обработки некоторые детали машин должны иметь твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Какой обработкой можно достичь данного результата? Опишите данную обработку.

9. Сталь 60 подвергалась закалке с температуры 760°C и 840°C . Опишите превращения, происходящие при данных режимах закалки. Укажите, какие образуются структуры, и объясните причины получения этих структур. Какой режим закалки следует применить к данной стали? Какой вид отпуска следует рекомендовать для получения высоких упругих характеристик?

10. Опишите, в чем заключается низкотемпературная термомеханическая обработка конструкционной стали. Объясните с позиции теории дислокаций, почему этот процесс приводит к получению высокой прочности стали. Какими преимуществами и недостатками обладает вариант низкотемпературной термомеханической обработки по сравнению с высокотемпературной термомеханической обработкой?

11. Сущность и особенности мартенситного превращения. Природа твердости и хрупкости мартенсита в стали. Как влияет содержание углерода на свойства закаленного сплава?

12. Какой термической обработкой и у каких чугунов можно повысить прочность, твердость и пластичность? Как уменьшить литейные напряжения в сложных чугунных конструкциях?

13. Микроанализом обнаружено крупное зерно у отпущенной стали. Как оно повлияет на свойства стали? В чем возможная причина? Как избежать этого? Как исправить структуру? В каких сталях это встречается? Какие из перечисленных сталей не склонны к этому браку: 40X, 40XН, 45, 30XM, 40, 40XГС, 40XНМА (обоснуйте свое решение)?

14. Сравните влияние нормализации и улучшения на структуру и свойства стали. В чем причина различия механических свойств, получаемых при этом структур?

15. Нарисуйте схематические структуры закалки (М, Т, С) и одноименные структуры отпуска ($M_{\text{отп}}$, $T_{\text{отп}}$, $C_{\text{отп}}$). Объясните различие их механических свойств.

16. Вал, изготовленный из стали 35, после проведения термообработки по правильным режимам обладает недостаточной прочностью. Как подобрать подходящую марку и режимы ее термообработки? Обоснуйте свое решение.

17. В чем заключается обработка стали холодом и в каких условиях она применяется?

18. В стали состава: 0,86 % С, 4,2 % Cr, 6,2 % W, 1,8 % V и 5,2 % Mo после закалки осталось много аустенита. Назовите марку стали. Как влияет

остаточный аустенит на ее свойства? Что надо сделать, что бы избавиться от остаточного аустенита?

19. Опишите азотирование сталей, укажите температуры, при которых производится процесс прочностного азотирования, используя диаграмму состояния железо-азот, объясните, почему азотирование не производится при температуре ниже 500°C и выше 700°C . Назовите марки сталей, применяемых для азотирования, и опишите полный цикл их термической и химико-термической обработки.

20. Какими способами можно добиться значительного повышения коррозионной стойкости готовой стальной детали? Какие способы наиболее эффективны? Какие - наиболее экономичны?

21. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривые режима ступенчатой и изотермической закалок. Опишите сущность превращений и какая структура получится при этом. В чем отличие обычной закалки от данных обработок? Каковы преимущества и недостатки каждого из этих обработок?

22. В процессе термической обработки стали могут возникать различного рода дефекты. Какие из этих дефектов присущи углеродистым, а какие - легированным сталям? Как следует вести закалку детали из среднеуглеродистой стали, чтобы уменьшить вероятность коробления и закалочных трещин?

23. Каким образом можно обеспечить окалиностойкость деталей, работающих при высоких температурах?

24. Объясните влияние формы графитовых включений на механические свойства серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Опишите получение ковкого чугуна.

25. Как и в какой стали могли возникнуть такие структуры: $\Phi + M$; $S_{отп} + C_{п}$; $M_{отп} + \Phi$, $T_{отп}$; $M_{отп}$? Охарактеризуйте качество получаемых структур.

26. Подберите сталь для изготовления пружины. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и свойства до и после термической обработки. Каким образом можно повысить усталостную прочность пружины?

27. Подберите сталь для изготовления напильника. Опишите исходную микроструктуру и механические свойства, назначьте и обоснуйте режимы термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки.

28. Подберите марку стали для изготовления прессформы для прессования пластмассы, выделяющей химически активные пары. Назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали до и после термической обработки.

29. Подобрать сталь для изготовления разверток. Опишите исходную микроструктуру и свойства сплава, назначьте термическую обработку, опишите сущность происходящих превращений и влияние легирования на превращения на всех этапах термической обработки данной стали, структуру и свойства после термообработки.

30. Подобрать сталь для изготовления подшипников качения (шариков, роликов и др. деталей). Назначьте термическую обработку, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки.

31. Подберите сталь для изготовления машинных метчиков. Назначьте и обоснуйте режимы термической обработки. Приведите химический состав стали и получаемую микроструктуру.

32. Подобрать сталь для изготовления рессоры. Опишите химический состав стали, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки. Обратите внимание к какому виду отпуска подвергается данная сталь для обеспечения высоких упругих характеристик.

33. Подберите сталь для изготовления тяжело нагруженного вала диаметром 40 мм. Назначьте и обоснуйте режимы термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки.

34. Подберите сталь для изготовления хирургического инструмента. Опишите исходную микроструктуру и свойства стали, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства после термообработки.

35. Подберите сталь для изготовления рессоры с толщиной листа 15 мм. Опишите исходную микроструктуру и механические свойства, назначьте режимы термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений; микроструктуру и свойства после термообработки.

36. Подобрать сталь для изготовления пружин, работающих при температуре 350 °С. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений и влияние легирования, укажите структуру и свойства стали после термообработки.

37. Каким образом и в каких сталях можно получить необходимое для зубчатых колес сочетание высокой твердости поверхностного слоя и вязкости в сердцевине: а) HRC50 и KCV = 1,2 МДж/м²; б) HRC62 и KCV = 2,5 МДж/м². Опишите предлагаемые виды обработок.

38. Подберите сталь для изготовления резьбовой плашки. Назначьте режим термической обработки, подробно обоснуйте его, опишите микроструктуру и свойства после термической обработки.

39. Подберите сталь для изготовления стяжных болтов, которые должны иметь твердость HB220-230. Назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

40. Подобрать сталь для изготовления сварной конструкции. Опишите исходную структуру и механические свойства, назначьте режим возможной термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

41. Выбрать сталь для изготовления для изготовления кожухов электродвигателей методом глубокой вытяжки. Опишите исходную структуру и механические свойства, назначьте режим возможной термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

42. Подберите сталь для изготовления зубьев ковшей экскаватора. Опишите исходную микроструктуру, назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки. В каком состоянии (литом, ковном, после механической обработки) рационально использовать данную сталь.

43. Подобрать сталь для изготовления деталей, работающих с крепкими кислотами. Назначьте режим возможной термической обработки, обоснуйте свое решение. Опишите влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термообработки.

44. Подобрать сталь для изготовления зенкеров. Назначьте режим термической обработки, приведите подробное его обоснование, Опишите структуру и свойства стали после термообработки.

45. Подберите сталь для изготовления резьбовой плашки. Назначьте режим термической обработки, приведите подробное его обоснование. Опишите структуру и свойства стали после термообработки.

46. Подберите сталь для изготовления некоторых деталей подшипников качения, типа роликов, шариков и т.д. Опишите исходную структуру и механические свойства стали, назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

47. Подберите нержавеющую сталь для изготовления деталей, работающих в среде уксусной кислоты при температуре не выше 60 °С. Приведите химический состав стали, необходимую термическую обработку, получаемую структуру. Объясните физическую природу коррозионной устойчивости материала и роль каждого легирующего элемента.

48. Подберите сталь для изготовления деталей печной арматуры, работающих при температуре 800 °С. Приведите химический состав, объясните роль каждого легирующего элемента, укажите термическую обработку, получаемую структуру и механические свойства сплава.

49. Подберите сталь для изготовления деревообрабатывающего инструмента, работающего с ударными нагрузками (долото, топоры). Назначь-

те термическую обработку, опишите сущность происходящих при этом явлений, укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

50. Подберите сталь для деталей, работающих в условиях повышенного абразивного износа. Назначьте режим термической обработки, приведите подробное его обоснование. Опишите микроструктуру сплава, укажите, требования, предъявляемые к сплаву. Опишите природу упрочнения данного сплава.

51. Для изготовления коробки скоростей выбрана сталь 18ХГТ: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе по назначению относится данная сталь; б) назначьте и обоснуйте режимы термической обработки; в) объясните влияние легирующих элементов на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки; г) опишите структуры и свойства стали после термообработки.

52. Для изготовления молотого штампа была выбрана сталь 5ХНМ: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе по назначению относится данная сталь; б) назначьте и обоснуйте режимы термической обработки; в) объясните влияние легирующих элементов на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки; г) опишите структуры и свойства стали после термической обработки.

53. Для массового изготовления винтов, используемых в качестве крепежных деталей, выбрана сталь А20: а) расшифруйте состав и определите к какой группе по назначению относится данная сталь; б) какой обработке подвергается данная сталь, обоснуйте свое решение; в) опишите структуру и свойства стали.

54. Для изготовления деталей, работающих в агрессивной среде выбрана сталь 08Х18Н10Т: а) расшифруйте состав и определите к какой группе по назначению относится данная сталь; б) назначьте режим термической обработки, обоснуйте свой выбор, объясните влияние легирования на превращения происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; в) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

55. Для изготовления деталей высокой прочности используется мартенситно-старяющая сталь Н18К12М5Т: а) расшифруйте состав и определите к какой группе по назначению относится данная сталь; б) назначьте режим термической обработки, обоснуйте свой выбор; в) опишите сущность превращений, происходящих в процессе обработки; г) опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

56. Для изготовления деталей, работающих в слабо агрессивных средах (водные растворы солей, слабые растворы кислот и т.п.) выбрана сталь 12Х13Н9Т: а) расшифруйте состав и определите к какой группе по назначению относится данная сталь; б) объясните физическую природу корро-

зионной устойчивости стали и роль каждого легирующего элемента; в) назначьте режим термической обработки, обоснуйте свой выбор; г) опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

57. Для изготовления мерной ленты, не меняющей своей длины при изменении температуры, выбран сплав НЗ6 (инвар): а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) опишите влияние никеля на свойства сплава; в) опишите свойства данного сплава. Каким образом в случае необходимости можно стабилизировать размеры деталей, изготовленных из инвара. Сравните сплавы НЗ6 и НЗ1К6 по свойствам и стоимости.

58. Для изготовления матриц штампов холодной штамповки выбрана сталь Х12М: а) расшифруйте состав и определите к какой группе по назначению относится данная сталь; б) назначьте режим термической обработки, приведите подробное его обоснование; в) поясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

59. Для изготовления сверл высокой производительности выбрана быстрорежущая сталь Р9М4К8: а) расшифруйте состав; б) назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование; в) поясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите структуру и свойства стали после термической обработки. Объясните необходимость медленного прогрева инструмента в интервале температур от 20 до 800 °С. Как избавиться от остаточного аустенита?

60. В результате термической обработки деталь должна получить твердый износоустойчивый поверхностный слой (HV1200). Для ее изготовления выбрана сталь 38Х2МЮА: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической и химико-термической обработок, приведите подробное его обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Каким образом можно ускорить процесс химико-термической обработки?

61. Для изготовления валов высокой прочности диаметром 110 мм выбрана сталь 38Х2Н2МА: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) поясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

62. Копиры должны иметь минимальную деформацию и высокую износостойкость (твердость поверхностного слоя HV 750 - 1000). Для их изго-

товления выбрана сталь 38ХМЮА: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической химико-термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите структуру и свойства стали после термической и химико-термической обработки.

63. В результате термической и химико-термической обработки поршневые пальцы должны получить твердый износоустойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Для этого выбрана сталь 18Х2Н4ВА: а) расшифруйте химический состав марки и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической и химико-термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после этих обработок.

64. Для изготовления гладких измерительных калибров выбрана сталь ХВГ: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

65. Для изготовления ряда трубчатых деталей, используемых для обжига керамической плитки с рабочей температурой 1250-1300 °С, выбрана сталь ХН45Ю (ЭП747): а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь; б) назначьте режимы термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите структуру и свойства стали после термической обработки.

66. Для изготовления конических зубчатых колес диаметром 50 мм, работающих в условиях динамических нагрузок и повышенного износа, выбрана сталь 20ХГНР: а) расшифруйте химический состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической и химико-термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после этих обработок.

67. Для изготовления конструкции, изготовление которой требует сварки и сложной гибки, выбрана сталь 10кп: а) расшифруйте химический состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению;

б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) опишите структуру и свойства стали после термической обработки. Подберите варианты возможной замены данной стали.

68. Для изготовления сверл выбрана сталь ХВГ: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

69. Для изготовления крупных высоконагруженных пружин ответственного назначения выбрана сталь 60С2ХА: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

70. Для изготовления резцов выбрана сталь Р18Ф2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки. Как влияет остаточный аустенит на свойства стали? Как избавиться от остаточного аустенита?

71. Для изготовления малого штампа небольших размеров выбран сплав 4ХМФС: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

72. Для изготовления камертонных рыле используется сплав Н35ХМВ (элинвар): а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данный сплав по назначению; б) объясните влияние легирования на свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

73. Для изготовления постоянных магнитов используется сплав ЮНДК40Т8А: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данный сплав по назначению; б) объясните влияние легирования на свойства сплава; в) опишите возможную термообработку; г) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

74. Для изготовления рессоры легкового автомобиля выбрана сталь 60С2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки этой стали; в) назначьте режим термической обработки; г) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки. Какой обработкой можно повысить предел выносливости данных деталей?

75. Для изготовления распределительного вала выбрана сталь 40ХН: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки; в) объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали; г) опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки.

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?

Список основной литературы

1. Гуляев А.П. Металловедение. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1983. – 359 с.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1983. - 528 с.
4. Материаловедение/ Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., переработ. и доп. – М.: Изд-ве МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с.
5. Мозберг Р.К. Материаловедение. - 2-е изд., перераб. - М.: Высшая школа, 1991. - 448 с.

Список дополнительной литературы

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

Содержание

Предисловие	3
<i>Лабораторная работа N 1. Методы измерения твердости.....</i>	4
<i>Лабораторная работа N 2. Макроанализ и дефектоскопия металлов... 8</i>	8
<i>Лабораторная работа N 3. Микроструктурный анализ металлов и сплавов.....</i>	13
<i>Лабораторная работа N 4. Рентгеноструктурный анализ</i>	20
<i>Лабораторная работа N 5. Процесс кристаллизации веществ.....</i>	25
<i>Лабораторная работа N 6. Пластическая деформация и рекристаллизация металлов и сплавов.....</i>	29
<i>Лабораторная работа N 7. Диаграмма состояния двойных сплавов ...</i>	33
<i>Лабораторная работа N 8. Микроструктурный анализ цветных сплавов</i>	42
<i>Лабораторная работа N 9. Термическая обработка дюралюмина.....</i>	48
<i>Лабораторная работа N 10. Изучение диаграммы состояния железо-цементит</i>	52
<i>Лабораторная работа N 11. Микроструктурный анализ углеродистых сталей в равновесном состоянии</i>	55
<i>Лабораторная работа N 12. Микроструктурный анализ чугунов.....</i>	59
<i>Лабораторная работа N 13. Термическая обработка углеродистых сталей.....</i>	64
<i>Лабораторная работа N 14. Выбор материала.....</i>	69
Задачи	72
Список основной литературы.....	87
Список дополнительной литературы.....	87