

**ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»**

**Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Материаловедение»
для студентов направления подготовки бакалавров
150700.62 «Машиностроение» (профиль
«Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения**

Воронеж 2015

Составители: д-р техн. наук Ю.С. Ткаченко,
ст. преп. Ю.Э. Симонова

УДК 658 012

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение» для студентов направления подготовки бакалавров 150700.62 «Машиностроение» (профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств») заочной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Ю.С. Ткаченко, Ю.Э. Симонова. Воронеж, 2015. 59 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ дает возможность получения практических навыков инженерной работы, связанной с изготовлением и разработкой машин.

Предназначены для студентов 2 - 3 курсов.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS WORD 97 и содержатся в файле лрмат.doc.

Ил. 14. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. В.И. Корнеев

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук,
проф. С.В. Сафонов

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический
университет», 2015

Лабораторная работа № 1

МАКРОСКОПИЧЕСКИЙ

АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомление с макроскопическим и микроскопическим анализом, изучение характерных макро- и микроструктур металлов и сплавов.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: металлографический микроскоп, микрошлифы, специальные химические реактивы - травители.

Краткие теоретические сведения

Макроструктурой называется строение металла, видимое без увеличения или при небольшом увеличении до 10...30 раз с помощью лупы.

Макроструктура исследуется непосредственно на поверхности изделия, на изломе или на специально подготовленном образце (темплете), который называется макрошлифом. Макрошлиф получают после шлифования и последующего травления поверхности специальными реактивами.

Макроанализ применяется для выявления дендритного строения литых деталей, газовых пузырей, пустот, трещин, шлаковых включений, структурной неоднородности, качества сварных соединений, ликвации серы и фосфора, расположения волокон в поковках, штамповках и т. д.

Порядок приготовления макрошлифов

1. Вырезка образца в определенном месте детали в зависимости от цели проводимых исследований, обработка исследуемой поверхности вручную или на металлорежущем станке.

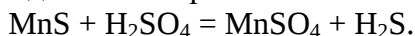
2. Последовательное шлифование на шлифовальных бумагах с постепенно уменьшающимся размером зерен абразива.

3. Промывка, обезжиривание спиртом, травление, промывка и просушка.

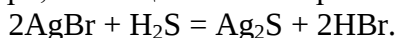
Методы травления.

Выявление ликвации серы. Для выявления в стали ликвации серы применяют метод Баумана. Макрошлиф протирают ватой, смоченной в спирте. На поверхность макрошлифа накладывают лист фотобумаги, вымоченной в течение 5...10 мин в водном растворе с массовой долей серной кислоты 5 %, проглаживают резиновым валиком для удаления излишков раствора и пузырьков газа, выдерживают 2-3 мин и осторожно снимают.

Отпечаток промывают в воде, фиксируют в растворе с массовой долей гипосульфита 25 %, снова промывают и высушивают. Коричневые пятна на фотобумаге соответствуют участкам поверхности шлифа, обогащенным серой. Фотобумага окрашивается в результате взаимодействия серной кислоты и MnS :



Сероводород действует на бромистое серебро эмульсионного слоя и при этом образуется сернистое серебро, имеющее темно-коричневый цвет:



Выявление ликвации фосфора. Поверхность образца протирают ватой, смоченной спиртом; образец погружают на 1...2 мин в раствор состава: 85 г хлористой меди, 53 г хлористого аммония в 1000 см³ воды. В результате обменной реакции железа с раствором на поверхности образца осаждается слой меди. Образец вынимают из реактива, протирают ватой под струей воды для удаления слоя меди, и просушивают.

Более темные участки на поверхности макрошлифа обогащены фосфором. На светлых участках содержание фосфора меньше.

Выявление строения литой стали. Дендритное строение литой стали выявляют травлением в водном растворе с массовой долей персульфата аммония 15 %, предварительно подогретом до 80...90 °С. Образец погружают в горячий раствор на 10...15 мин, затем промывают водой и просушивают.

Выявление волокнистого строения стали. Для выявления волокнистости применяют реактив и методику для выявления ликвации фосфора, описанные выше.

Выявление структуры сварного шва на углеродистых сталях. Для выявления структуры сварного шва на углеродистых сталях применяют спиртовой раствор с массовой долей азотной кислоты 4 %. Макрошлиф травят, протирая ватным тампоном, смоченным в реактиве, или погружая в реактив с последующей промывкой в воде и сушкой. Продолжительность травления до тридцати минут.

Выявление ликвации углерода или глубины закаленного слоя. Для выявления ликвации углерода или глубины закаленного слоя применяют реактив Гейне, содержащий 35 г CuCl_2 и 53 г NH_4Cl в 1000 см³ воды. Образец погружают в реактив. В результате обменной реакции поверхность покрывается слоем меди. На участках обогащенных углеродом, закаленных или имеющих дефекты (поры, раковины, трещины и т.п.), медь выделяется менее интенсивно и не защищает поверхность от травления хлористым аммонием. Эти участки окрашиваются в темный цвет. Таким реактивом можно выявлять также структуру сварного шва и зоны термического воздействия.

Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла.

Для выявления дефектов на изделиях из углеродистых и низколегированных сталей нужен реактив, состоящий из 4...10 см³ азотной кислоты и 90...96 см³ воды.

Травитель применяют в холодном состоянии. Продолжительность травления до 30 мин. Макрошлиф погружают в раствор или протирают его поверхность ватным тампоном, смоченном в реактиве, промывают и сушат. Для более контрастного выявления структуры полезна тонкая шлифовка или полировка.

Порядок выполнения работы

1. Провести исследования макроструктур с выявлением содержания серы, фосфора, литой структуры, сварного шва, закаленного слоя и дефектов сплошности металла.

2. Зарисовать характерные макроструктуры.

Содержание отчета

1. Описание методики выявления структуры макрошлифа.

2. Зарисовка и характеристика макроструктуры.

3. Зарисовка характерных (доэвтектоидных, эвтектоидных, заэвтектоидных, эвтектических) микроструктур сталей, чугунов, алюминиевых и медных сплавов.

4. Вводы.

Лабораторная работа № 2 **МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ** **АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Цель работы: ознакомление с микроскопическим и анализом, изучение характерных микроструктур металлов и сплавов.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: металлографический микроскоп, микрошлифы, специальные травители.

Краткие теоретические сведения

Микроанализ – это исследование металлов и сплавов при помощи оптических микроскопов с увеличением от 50 до 2000 раз. Строение металлов, выявленное с помощью микроскопа, носит название микроструктуры. Изучение микроструктуры позволяет обнаружить пороки строения, изменение внутреннего строения металла и сплава при механическом, термическом и других видах воздействия. Для выявления микроструктуры металлов готовят специальные образцы, называемые микрошлифами.

Порядок приготовления микрошлифов

1. Вырезка образцов вручную или на металлорежущем станке из наиболее важного для исследования участка детали. Оптимальные размеры образцов – цилиндр диаметром 10...12 мм и высотой 10...15 мм или куб со стороной 10...15 мм.

2. Получение плоской поверхности при помощи напильника или обработки на абразивном круге.

3. Последовательная обработка на шлифовальных бумагах с постепенно уменьшающимся размером зерен

абразива, положенных на твердую плоскую поверхность. При переходе с одного номера бумаги на другой шлиф поворачивают на 90° и шлифуют до полного удаления рисок, полученных в процессе предыдущей обработки. Наряду с ручным шлифованием существует и механическое – на специальных шлифовальных станках. При каждом переходе к следующему номеру бумаги следует тщательная промывка шлифа водой для удаления оставшихся на поверхности абразивных зерен.

4. Полирование на быстровращающихся дисках, обтянутых замшей, фетром или мягким сукном, или вручную на мягкой ткани с применением шлифующих смесей (пасты ГОИ, порошки оксидов, карбидов, искусственных или естественных алмазов). Полирование считается законченным, если при рассмотрении поверхности шлифа в микроскопе риски не обнаруживаются.

5. Промывка водой, обезжиривание спиртом, просушка фильтровальной бумагой.

6. Травление полированной поверхности специальным реактивом для выявления микроструктуры. Реактивы выбирают в зависимости от состава исследуемого сплава, его структурного состояния и цели исследования. Так, например, для травления углеродистой стали применяется спиртовой раствор с массовой долей азотной кислоты 4 %; для алюминиевых сплавов – водный раствор с массовой долей фтористоводородной кислоты 0,5 %.

Различные структурные составляющие, подвергшиеся воздействию реактива в неодинаковой степени, по-разному отражают свет. Структура, травящаяся сильнее, кажется под микроскопом более темной, так как рассеивает свет сильнее, чем слабо травящаяся. Границы зерен чистых металлов и твердых растворов выглядят под микроскопом в виде тонкой сетки, поскольку на них сосредоточены

многочисленные дефекты кристаллической решетки и здесь атомы металла легко переходят в раствор.

7. Тщательная и возможно быстрая промывка шлифа водой и спиртом для удаления остатков реактива и сушка.

Правила обращения с микрошлифами

Для предотвращения преждевременной порчи микрошлифов необходимо соблюдать следующие правила.

1. Шлифы должны храниться комплектами в коробочках на слое ваты. Запрещается нарушать комплектность и перекладывать шлифы из одной коробочки в другую. Микрошлиф можно брать из коробочки только за боковую поверхность и ставить только на предметный столик микроскопа.

2. Во избежание загрязнения и повреждения изучаемой поверхности микрошлифов нельзя касаться ее пальцами, тереть, передвигать по поверхности предметного столика и т. д.

3. При повреждении шлифа студент обязан во внеурочное время приготовить его заново.

4. Перед началом работы студент получает у преподавателя комплект шлифов и по окончании работы сдает его преподавателю.

Для изучения структуры металлов и сплавов применяется металлографический микроскоп модели МИМ-7 (рис. 1). На основании 1 установлен корпус 2, в котором находится фотокамера 3 с матовым стеклом 4. Предметный столик 7, управляемый рукоятками 8, предназначен для установки на нем исследуемого микрошлифа. Рукоятка 9 служит для вертикального перемещения стола при грубой наводке на резкость, а микрометрический винт 5 – для точной наводки. В тубусе 6 устанавливается сменный окуляр. Внутри корпуса осветителя 10 находится

низковольтная лампа накаливания. Рукоятка 11 служит для переключения светофильтров.

Оптическая система микроскопа состоит из объектива, окуляра и ряда вспомогательных оптических элементов (рис. 2). Свет от кинопроекционной лампы 1 модели К30 ($V = 17 \text{ В}$, $W=170 \text{ Вт}$) проходит через коллектор 2, попадает на зеркало 3 и через светофильтр 4, апертурную диафрагму 5, линзу 8, полевую диафрагму 18, призму 7 и линзу 6 поступает на стеклянную пластинку 9, отражающую около половины светового потока, а затем через объектив 10 – на шлиф 11. Отразившись от шлифа, лучи вновь попадают в объектив, проходят через пластинку 9, ахроматическую линзу 12 и, отразившись от зеркала 14, поступают в окуляр 13.

При фотографировании зеркало 14 выдвигается вместе с тубусом визуального наблюдения, и лучи проходят через один из трех фотоокуляров 15, которые укреплены на поворачивающемся диске. Отражаясь от зеркала 16, лучи попадают на матовое стекло или фотопластинку 17. Для фотографирования используют фотозатвор 19.

Если наблюдения проводят в темном поле, то вместо линзы 6 в световой поток включают линзу 20 и непрозрачный диск 23. В этом случае свет попадает только на кольцевое зеркало 21 и, отразившись от него, концентрируется параболическим зеркалом 22, расположенным вокруг объектива, на поверхности шлифа.

Для исследования в поляризованном свете на оправку линзы 8 помещают поляризатор 24, а на оправку линзы 12 – анализатор 25.

Общее увеличение микроскопа определяется комбинацией сменных объективов и окуляров, установленных на микроскопе.

Таблица 1

Увеличения микроскопа МИМ-7

Фокусное расстояние объектива F, мм	Увеличение окуляра			
	7 ^x	10 ^x	15 ^x	20 ^x
23,2	60	90	130	170
13,8	100	140	200	300
8,16	170	240	360	500
6,16	250	320	500	650
2,77	500	720	1080	1440

Правила обращения с микроскопом

1. Микроскоп является точным прибором, требующим аккуратного и осторожного обращения.

2. Нельзя трогать ответственные части микроскопа, кроме макро- и микрометрических винтов, винтов предметного столика и рукоятки светофильтров, так как микроскоп отрегулирован, и смещение частей приводит к трудновыполнимой работе по новой регулировке.

3. Совершенно недопустимо отвинчивать винты, разъединять детали микроскопа и т. п., так как это ведет к его порче.

4. Включение микроскопа производится посредством трансформатора, рукоятка которого поворачивается вправо на 2...3 щелчка (напряжение на осветительной лампе не более 10...12 В).

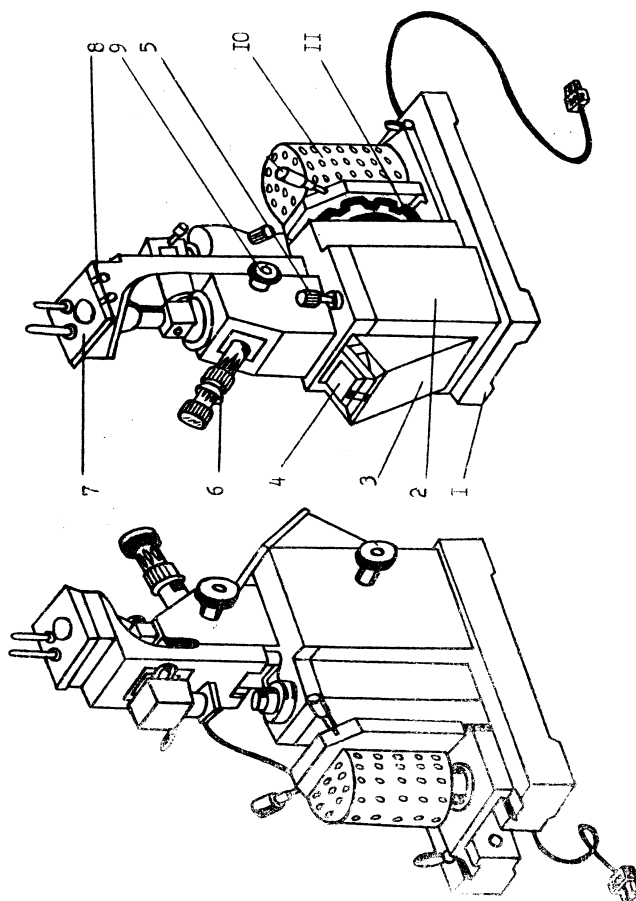
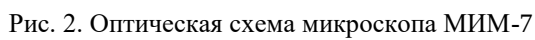


Рис. 1. Общий вид вертикального микроскопа МИМ-7



Порядок выполнения работы

1. Изучить методику проведения микроскопического анализа.
2. Провести исследования микроструктур сталей, чугунов (доэвтектоидных, эвтектоидных, заэвтектоидных, эвтектических), алюминиевых и медных сплавов.
3. Зарисовать характерные микроструктуры.

Содержание отчета

1. Описание методики выявления структуры микрошлифа.
2. Рисунки и характеристика исследуемых микроструктур.
3. Зарисовка характерных (доэвтектоидных, эвтектоидных, заэвтектоидных, эвтектических) микроструктур сталей, чугунов, алюминиевых и медных сплавов.
4. Выводы.

Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомление с методикой определения твердости по методу Роквелла. Определение механических свойств стали по ее твердости.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: твердомер типа ТК-2, образцы сплавов металлов в отожженном и закаленном состояниях.

Краткие теоретические сведения

Твердостью называется свойство материала оказывать сопротивление местной пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое. Измерение твердости вследствие быстроты и простоты осуществления, а также возможности без разрушения изделия суждения о его свойствах, получило широкое применение для контроля качества металлических изделий.

Существует несколько методов определения твердости.

Определение твердости по Бринеллю (НВ). Метод основан на том, что в плоскую поверхность металла вдавливается под постоянной нагрузкой P закаленный стальной шарик (рис.3, а).

После снятия нагрузки в испытуемом материале образуется отпечаток (лунка). Твердость по Бринеллю, в МПа, определяется по формуле

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} 10^{-6}$$

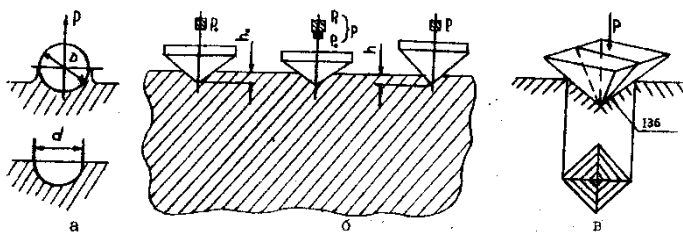


Рис. 3

где P - нагрузка, Н;

D - диаметр шарика, мм;

d - диаметр отпечатка, мм.

Диаметр шарика и нагрузка P выбираются в зависимости от вида испытываемого материала:

для стали и чугуна $D = 10$ мм, $P = 30000$ Н ($P = 300D^2$);

для меди и сплавов $D = 10$ мм, $P = 10000$ Н ($P = 100D^2$);

для очень мягких сплавов (алюминий, баббиты и др.)
 $D = 10$ мм, $P = 2500$ Н ($P = 25D^2$)

При расчете твердости НВ измеряют диаметр лунки d и по нему находят твердость по прилагаемым к прибору таблицам. Метод Бринелля не рекомендуется применять для металлов с твердостью более 450, так как шарик может деформироваться, что исказит результаты измерений.

Определение твердости по Роквеллу (HR). При этом методе твердость определяют по глубине отпечатка. Наконечником служит алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик ($D = 1,588$ мм). Алмазный конус применяют для твердых, а шарик – для мягких металлов. Конус и шарик вдавливают двумя последовательными нагрузками (рис.3, б): предварительной $P_0 = 100$ Н и общей $P = P_0 + P_?$ (где $P_?$ – основная нагрузка). Основная нагрузка для шарика 900 Н (шкала В), для алмазного конуса 1400 Н (шкала С) и 500 Н при испытании очень твердых и тонких металлов (шкала А).

Твердость по Роквеллу измеряют в условных единицах. За единицу твердости принято значение осевого перемещения наконечника на 0,002 мм. Твердость по Роквеллу HR определяют по формулам $HR = 100 - l$ (при измерении по шкалам А и С), $HR = 130 - l$ (при измерении по шкале В). Значение l , мм:

$$l = \frac{h-h_0}{0,002},$$

где h – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 , мм;

h_0 – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием нагрузки P_0 , мм.

Твердость по Роквеллу обозначается HRA при нагрузке 600 Н (испытание алмазным конусом). HRC при нагрузке 1500 Н и HRB при нагрузке 1000 Н (испытание стальным шариком). Значения твердости сразу считывают по шкале прибора.

Для определения твердости по Роквеллу широко применяется прибор ТК-2, так как он позволяет испытывать различные материалы, а также тонкие слои. Значения твердости по Роквеллу могут быть приближенно переведены в значения твердости по Бринеллю.

При испытании нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твердости испытываемого материала по табл. 1.

Таблица 2

Шкала	Вид наконечника	Нагрузка, Н	Обозначение твердости	Пределы измерения твердости в единицах HR
A	Алмазный конус	600	HRA	70-85
B	Стальной шарик	1000	HRB	25-100
C	Алмазный конус	1500	HRC	20-67

При испытании неответственных деталей твердостью HRC 20...50 допускается применение наконечника из твердого сплава.

Образец для испытаний должен иметь плоские и параллельные друг другу поверхности, без дефектов и окалины, поэтому сначала проводится зачистка поверхностей напильником, шлифовальным кругом или шлифовальной бумагой. Правильность показаний прибора периодически проверяют по эталонным образцам с известной твердостью.

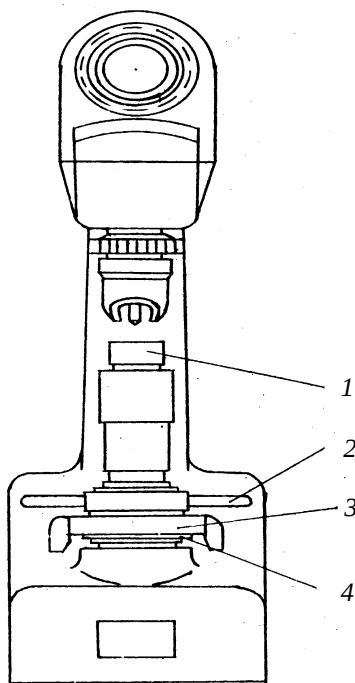


Рис.4. Прибор ТК-2

Подготовленный образец помещают на столе прибора 1 (рис. 4), вращением маховика 2 по часовой стрелке устанавливают маленькую стрелку против красной точки, а вращением барабана 3 – нуль шкалы “С” против конца большой стрелки индикатора. Плавным нажатием на клавишу 4 включают привод механизма нагружения. После окончания цикла нагружения производят отсчет по шкале индикатора. Вращением маховика 2 опускают стол, и повторяют испытание не менее трех раз.

Определение твердости при вдавливании алмазной пирамиды по Виккерсу(HV).

Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Твердость определяют, вдавливая в испытываемую поверхность (шлифованную или полированную) четырехгранную алмазную пирамиду (рис. 3, в), с углом при вершине 136° .

Твердость по Виккерсу рассчитывают по формуле:

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

где P – нагрузка на пирамиду 50, 100, 200, 300, 500, 1000 или 1200 Н (обозначения: HV_5 , HV_{10} , HV_{20} и т. д.);

d – среднее арифметическое двух диагоналей отпечатка, измеряемых после снятия нагрузки, мм.

Чем тоньше материал, тем меньше должна быть нагрузка. Твердость по Виккерсу определяется с помощью специальных таблиц по измеряемым значениям d в мм.

Порядок выполнения работы

1. Изучить работу твердомера ТК-2М. Произвести замеры твердости образцов. Использовать таблицу 2.

2. Произвести расчеты и заполнить табл.. Определить класс (марку) стали или чугуна.

2. Определить свойства образцов, используя формулу

$$\sigma_s = KHB, \quad (1)$$

где K – коэффициент, зависящий от материала. Для стали с твердостью 120 ... 450 HB $K \approx 0,34$; для меди, латуни, бронзы отожженных $K \approx 0,55$, наклепанных $K \approx 0,40$; для алюминия и алюминиевых сплавов с твердостью 20 ... 45 HB $K \approx 0,35$.

Таблица 3

Ориентировочный перевод значений твердости,
определяемых различными методами

HV, МПа	HB, МПа	HR по шкале			HV, МПа	HB, МПа	HR по шкале		
		C	A	B			C	A	B
12340	7800	72	84	--	2280	2290	20	61	100
11160	7450	70	83	--	2220	2230	19	60	99
10220	7120	68	82	--	2170	2170	17	60	98
9410	6820	66	81	--	2130	2120	15	59	97
8680	6730	64	80	--	2080	2070	14	59	95
8040	6270	62	79	--	2010	2010	13	58	94
7460	6010	60	78	--	1970	1970	12	58	93
6940	5780	58	78	--	1920	1920	11	57	92
6500	5550	56	77	--	1860	1870	9	57	92
6060	5340	54	76	--	1830	1830	8	56	90
5870	5140	52	75	--	1780	1790	7	56	90
5510	4950	50	74	--	1740	1740	6	55	89
5340	4770	49	74	--	1710	1700	4	55	88
5020	4610	48	73	--	1660	1670	3	54	87
4740	4440	46	73	--	1620	1630	2	53	86
4600	4290	45	72	--	1590	1590	1	53	85
4350	4150	43	72	--	1550	1560	-	-	84
4230	4010	42	71	--	1520	1520	-	-	83
4010	3880	41	71	--	1490	1490	-	-	82
3900	3750	40	70	--	1480	1460	-	-	81
3860	3630	39	70	--	1430	1430	-	-	80
3610	3520	38	69	--	1400	1400	-	-	79
3440	3410	36	68	--	1380	1370	-	-	78
3340	3310	35	67	--	1340	1340	-	-	77
3200	3210	33	67	--	1310	1310	-	-	76
3110	3110	32	66	--	1290	1280	-	-	75
3030	3020	31	66	--	1270	1260	-	-	74

Таблица 4

Результаты испытаний

Образец	Материал	Состояние	HRC ср	HB, МПа	σ_s , МПа
1					
2					
3					
4					

Содержание отчета

1. Краткое описание методики определения твердости металлов и сплавов.
2. Результаты испытаний в виде таблицы 3.
3. Выводы.

Лабораторная работа № 4
ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОХЛАЖДЕНИЯ
СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ

Цель работы: ознакомление с принципами построения диаграмм состояния сплавов, изучение диаграммы состояния железо-цементит и превращений в железоуглеродистых сплавах в равновесных условиях.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: диаграмма железо-цементит

Краткие теоретические сведения

Существует много методов построения диаграммы состояния (дилатометрический, электрический, магнитотермический, термический и др.). Сущность любого из них сводится к нахождению критических точек при нагреве или охлаждении металлов и сплавов. Критическими точками называются температуры, при которых начинаются и/или заканчиваются какие-либо превращения в сплавах. Определив экспериментально критические точки серии сплавов, строят полную диаграмму состояния в координатах "температура – концентрация".

Диаграмма состояния железо-цементит (рис. 5) охватывает сплавы, содержащие углерод в количестве от 0 до 6,67 %*. При содержании 6,67 % углерода он образует химическое соединение с железом Fe_3C – карбид железа, называемый также цементитом. Один из компонентов сплавов – железо – имеет несколько аллотропических модификаций: до 911 °С железо имеет объемноцентрированную кубическую (ОЦК) кристаллическую решетку с периодом 0,286 нм, а в интервале температур 911...1392 °С – гранецентрированную кубическую (ГЦК) кристаллическую решетку, а

*Здесь и далее приведены массовые %.

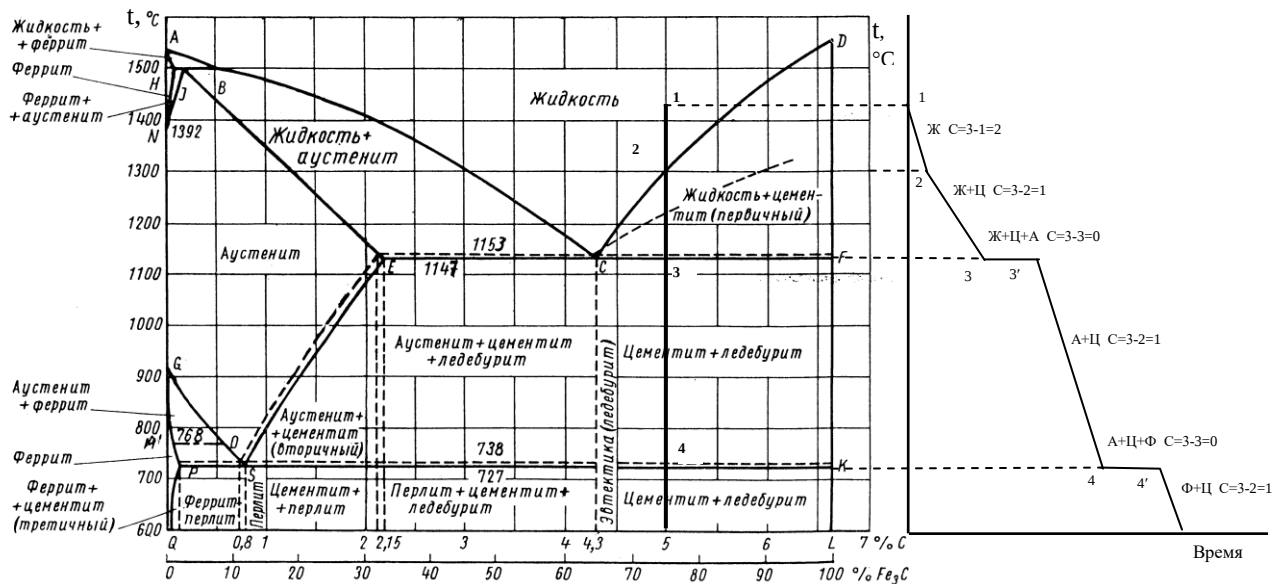


Рис. 5. Диаграмма состояния системы железо – цементит (слева) и кривая охлаждения чугуна содержащего 5 % углерода (справа)

выше 1392 °С – снова объемноцентрированную кубическую кристаллическую решетку, но с другим периодом – 0,293 нм.

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы подразделяются на техническое железо ($\leq 0,02$ % С), углеродистые стали (от 0,02 до 2,14 % С) и чугуны (от 2,14 до 6,67 % С). Стали в свою очередь подразделяются на доэвтектоидные (0,02-0,8 % С), эвтектоидные (0,8 % С), заэвтектоидные (0,8...2,14 % С).

Чугуны по содержанию углерода классифицируются на доэвтектические (2,14...4,3 % С), эвтектические (4,30 % С), заэвтектические (4,30...6,67 % С).

Процессы, происходящие в сплавах при их фазовых превращениях, подчинены общему закону равновесия, который носит название правила фаз и выражает зависимость числа степеней свободы системы «с» от количества компонентов «к», фаз « ϕ » и внешних переменных факторов « n » в условиях равновесия:

$$c = k + n - \phi$$

При рассмотрении равновесия в металлических сплавах, находящихся под воздействием атмосферного давления, единственным внешним переменным фактором является температура и поэтому $n = 1$. Система железо-цементит является двухкомпонентной, то есть $k = 2$. Отсюда следует, что

$$c = 2 + 1 - \phi = 3 - \phi$$

Для построения кривой охлаждения (или нагрева) сплава прежде всего необходимо найти на концентрационной оси диаграммы состояния координату,

соответствующую содержанию углерода в сплаве. Затем из найденной точки следует восстановить перпендикуляр до области существования жидкой фазы. Кривая охлаждения (или нагрева) строится справа от диаграммы состояния в координатах температура (ось абсцисс) - время (ось ординат).

Масштаб оси времени произвольный, а масштаб оси температуры такой же, как и на диаграмме состояния.

Во время охлаждения сплава в нем происходят фазовые превращения. Каждое превращение протекает за определенный промежуток времени, поэтому соответствующие им участки кривой охлаждения имеют различные углы наклона по отношению к горизонтальной оси. Чем быстрее происходит превращение, тем круче кривая. Перитектическое, эвтектическое и эвтектоидное превращения идут во времени при постоянной температуре (так как $c = 0$), следовательно им на кривой охлаждения будут соответствовать горизонтальные участки.

Построение кривой охлаждения рассмотрим на примере чугуна, содержащего 5 % углерода (рис. 5). Восстанавливаем перпендикуляр из отметки 5 % углерода на оси абсцисс до точки 1, находящейся в области жидкого состояния сплавов. Переносим пунктиром температуру точки 1 на ось температур нашего графика. В точке 1 рассматриваемый сплав находится в жидком состоянии (то есть существует только одна фаза – жидкий раствор углерода в железе), следовательно $c = 3 - 1 = 2$. При двух степенях свободы равновесие в системе не нарушается даже при одновременном изменении температуры и концентрации сплава в определенных пределах. При понижении температуры в сплаве не будет происходить никаких превращений, и температура будет падать быстро, кривая охлаждения идет круто вниз до точки 2.

Точкой 2 обозначено пересечение нашей вертикали с линией CD диаграммы состояния, соответствующей началу кристаллизации цементита. Следовательно, в сплаве появляется вторая фаза – цементит, число степеней свободы уменьшается

($c = 3 - 2 = 1$), кривая охлаждения станет более пологой до температуры, соответствующей следующей критической точке 3. На участке кривой 1-2 указываем фазовое состояние сплава “ж” и число степеней свободы, равное 2, соответственно на участке 2-3 фазовое состояние “Ж + Ц”, а число степеней свободы $c = 1$.

При изменении температуры в пределах точек 2 и 3 изменяется соотношение между жидкой и твердой фазами, но равновесие не нарушается.

Точка 3 (пересечение вертикали с линией ECF) соответствует эвтектическому превращению, то есть совместной кристаллизации цементита и аустенита с образованием ледебурита. При этом одновременно существуют три фазы – жидкость, цементит и аустенит, следовательно число степеней свободы $c = 3 - 3 = 0$, и система невариантна, три фазы могут находиться в равновесии только при строго постоянной температуре. На кривой охлаждения это отражено отрезком 3-3’.

Между точками 3 и 4 сплав имеет двухфазное состояние (аустенит и цементит) и $c = 3 - 2 = 1$. При температуре, соответствующей точке 4, в сплаве происходит эвтектоидное превращение, аналогичное эвтектическому. Отличие только в том, что в нем участвуют только твердые фазы – аустенит, цементит и феррит. На кривой охлаждения делаем соответствующие записи.

Порядок выполнения работы

1. Применяя правило Гиббса, построить кривые

охлаждения стали или чугуна по варианту, который выдан преподавателем (табл. 5).

2. Проанализировать фазовые превращения.

3. Сделать вывод.

Таблица 5

Номер варианта	Наименование материала или содержание углерода (%)	Номер варианта	Наименование материала ли процентное содержание углерода
1	40X	13	110ГЛ
2	ХВГ	14	30ХГСА
3	0,1 %	15	КЧ 50-5
4	Ст3	16	3,2 %
5	0,6 %	17	0,02 %
6	1,2 %	18	0,8 %
7	45	19	2,14 %
8	СЧ 25	20	P18
9	2,6 %	21	ШХ15
10	4,3 %	22	65Г

Содержание отчета

1. Диаграмма состояния железо-цементит с обозначением критических точек и областей диаграммы.

2. Кривая охлаждения (или нагрева) сплава с заданной концентрацией углерода.

3. Определение феррита, аустенита, перлита, ледебурита и зарисовка их структур.

4. Выводы.

Лабораторная работа № 5 ИСПЫТАНИЯ НА СТАТИЧЕСКОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: изучение и освоение методики и оборудования для проведения испытаний на статическое растяжение, изучение основных количественных характеристик механических свойств, определяемых при испытаниях на статическое растяжение, и экспериментальное их определение для стальных образцов.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: машина разрывная Р-5, образцы стальные цилиндрические, штангенциркуль, чертилка или кернер.

Краткие теоретические сведения

Рабочая длина образца l – часть образца с постоянной площадью поперечного сечения между его головками или участками для захвата (рис. 1).

Начальная расчетная длина образца l_0 – участок рабочей длины образца между нанесенными метками до испытания, на которое определяется удлинение (рис. 1).

Конечная расчетная длина образца l_k – длина расчетной части после разрыва образца.

Начальный диаметр образца d_0 – диаметр рабочей части цилиндрического образца до испытания (рис. 1).

Диаметр образца после разрыва d_k – минимальный диаметр рабочей части цилиндрического образца после разрыва.

Начальная площадь поперечного сечения образца F_0 – площадь поперечного сечения рабочей части образца до испытания.

Площадь поперечного сечения образца после разрыва
 F_k – минимальная площадь поперечного сечения рабочей части образца после разрыва.

Предел пропорциональности $\sigma_{mц}$ – напряжение, которое материал образца выдерживает без отклонения от закона Гука.

Предел упругости $\sigma_{0,05}$ – напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05% от первоначальной длины образца.

Предел текучести физический σ_m – наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без увеличения нагрузки.

Предел текучести условный $\sigma_{0,2}$ – напряжение, при котором пластическая деформация образца достигает 0,2 % от рабочей длины образца l .

Предел прочности (временное сопротивление) σ_s – напряжение, соответствующее наибольшему усилию P_{max} , предшествующему разрыву образца.

Истинное сопротивление разрыву S_u – напряжение, определяемое отношением усилия в момент разрыва к минимальной площади поперечного сечения образца после разрыва F_k .

Относительное удлинение δ – отношение приращения расчетной длины образца $(l_k - l_o)$ после разрушения к начальной расчетной длине l_o , выраженное в процентах.

Относительное сужение ψ – отношение разности F_o и минимальной F_k площади поперечного сечения образца после разрушения к начальной площади поперечного сечения образца F_o , выраженное в процентах.

Нагрузка на образец при статических испытаниях возрастает медленно и плавно или остается постоянной в течение длительного времени. К статическим испытаниям металлов и сплавов относятся испытания на растяжение,

Методы испытаний на растяжение черных и цветных металлов и изделий из них регламентируется ГОСТ 1497-84.

Размеры и типы образцов установлены ГОСТ 1497-84.

Technical drawing of a shaft-hub assembly. The drawing shows a shaft of diameter d_s and length l inserted into a hub of outer diameter D and inner diameter D_I . The total length of the assembly is L . The shaft has a surface texture symbol $Rz\ 80$. The hub has a fillet radius r at the end. The shaft has a fillet radius r_1 at the end. The distance from the end of the shaft to the end of the hub is $1,25$. The dimensions h_2 and h_1 are indicated at the end of the shaft.

Испытание образцов осуществляют на серийно выпускаемых испытательных (разрывных) машинах,

которые имеют три основных узла: механизм нагружения, механизм силоизмерения и устройство для автоматической записи диаграммы растяжения – диаграммный аппарат.

Установив образец на машине и выбрав зазоры, медленно и плавно нагружают образец до момента его разрыва. Параллельно с этим записывается диаграмма растяжения, показывающая зависимость между нагрузкой, действующей на образец, и вызываемой ею изменением длины образца.

На рис. 7 показана диаграмма растяжения образца из стали. По оси ординат отложена нагрузка P , Н, по оси абсцисс – удлинение образца Δl , мм. На диаграмме отмечено несколько характерных участков: упругой деформации до точки В; равномерной пластической деформации от В до D и сосредоточенной пластической деформации от D до E. Прямолинейный участок сохраняется до точки А или нагрузки $P_{\text{пл}}$, что соответствует пределу пропорциональности $\sigma_{\text{пл}}$, который определяют по формуле:

$$\sigma_{\text{пл}} = \frac{P_{\text{пл}}}{F_0}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пл}}$ – усилие, превышение которого вызывает появление остаточной деформации;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца.

Тангенс угла наклона прямолинейного участка характеризует модуль упругости первого рода E .

На небольшом участке от А до В нарушается линейная зависимость между P и Δl из-за упругих несовершенств материала, связанных с дефектами решетки.

Точке В соответствует усилие $P_{\text{упр}}$, при котором остаточная деформация станет равной 0,05 % от начальной расчетной длины образца.

Ордината точки В служит для определения предела упругости:

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{уп}}{F_o}, \text{ МПа}, \quad (2)$$

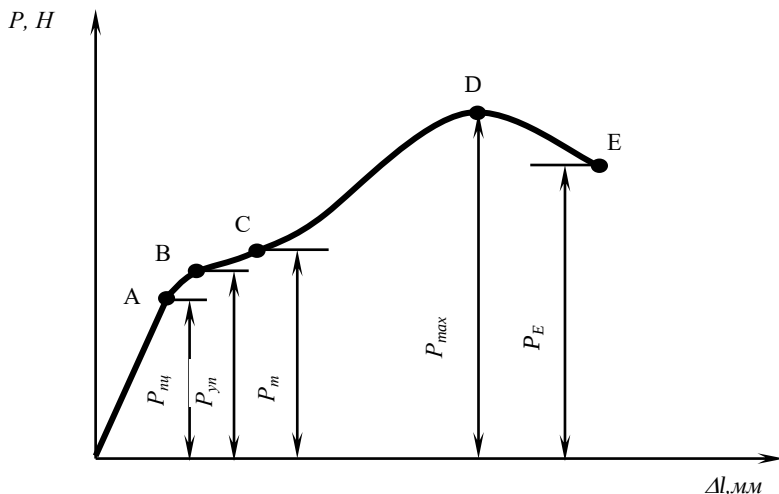


Рис. 7. Диаграмма растяжения образца

Предел пропорциональности и предел упругости определяют упругие свойства материала.

Ордината точки С, соответствующей течению материала при пластическом деформировании, служит для определения физического предела текучести σ_m :

$$\sigma_m = \frac{P_m}{F_o}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где P_T - усилие при текучести.

Физический предел текучести определяют по диаграмме растяжений, когда на ней имеется горизонтальный участок (площадка текучести). Такой

участок характерен только для малоуглеродистых сталей и латуней. Для остальных сплавов определяют условный предел текучести, который равен напряжению $P_{0,2}$, при котором остаточное удлинение образца составляет 0,2 %:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \text{ МПа,} \quad (4)$$

Выбранная пластическая деформация 0,2 % достаточно точно характеризует переход от упругих деформаций к пластическим, а напряжение $\sigma_{0,2}$ несложно определить при испытаниях независимо от того, имеется или нет площадка текучести на диаграмме растяжения.

Пластическое деформирование выше точки С идет при возрастающей нагрузке, так как металл в процессе деформирования упрочняется. Упрочнение металла при деформировании называется наклепом. До точки Д удлинение происходит равномерно по всей длине рабочей части рабочей части образца. Цилиндрическая форма образца сохраняется, хотя диаметр его уменьшается по мере удлинения. Ордината точки Д соответствует максимальному усилию $P_{\text{тах}}$ и служит для определения предела прочности или временного сопротивления:

$$\sigma_s = \frac{P_{\text{max}}}{F_0}, \text{ МПа,} \quad (5)$$

Наклеп металла увеличивается до момента разрыва образца, хотя растягивающая нагрузка при этом уменьшается от $P_{\text{тах}}$ до P_E (см. рис. 2). Это объясняется появлением в образце местного утонения – шейки, в которой в основном сосредотачивается пластическая деформация. Несмотря на уменьшение нагрузки, растягивающие напряжения в шейке повышаются до тех пор, пока образец не разорвется. В точке Е определяют истинное сопротивление разрыву $S_{\text{и}}$ – напряжение, определяемое отношением усилия в момент разрыва P_E к

минимальной площади поперечного сечения образца после разрыва F_k :

$$S_u = \frac{P_E}{F_k}, \text{ МПа} \quad (6)$$

Напряжения $\sigma_{0,05}$, σ_T и σ_B - стандартные характеристики прочности.

Пластичность материала характеризуется относительным удлинением и относительным сужением.

Относительное удлинение определяется по формуле:

$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o} \cdot 100\% = \frac{\Delta l}{l_o} \cdot 100\% \quad (7)$$

Относительное сужение:

$$\psi = \frac{F_o - F_k}{F_o} \cdot 100\% \quad (8)$$

На рис. 8. представлены типовые диаграммы растяжения различных материалов.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством машины для испытаний на растяжение Р-5 и принципом работы на ней.

2. Получить и подготовить образцы для испытания, измерить диаметр. Вычислить площадь поперечного сечения образца и определить начальную расчетную длину l_o .

3. Произвести испытание образцов.

4. Зафиксировать максимальную нагрузку, достигнутую в процессе испытания.

5. Сложив разорванные части, измерить конечную расчетную длину образца. Рассчитать относительное удлинение.

6. Замерить диаметр образца в месте разрыва. Рассчитать относительное сужение.

7. Рассчитать предел прочности и истинное сопротивление разрыву.

8. Занести все результаты измерений и расчета характеристик в таблицу.

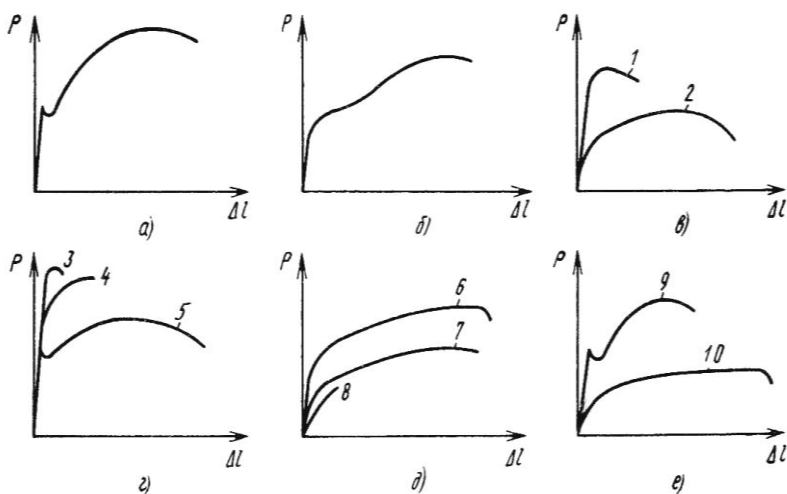


Рис. 8. Типовые диаграммы растяжения различных металлов: *а* - углеродистая сталь; *б* - аустенитная сталь; *в* - медь холоднодеформированная 1 и рекристаллизационная 2; *г* - углеродистая закаленная сталь 3, улучшенная 4 и отожженная 5; *д* - высокопрочный чугун 6, ферритный ковкий чугун 7, серый чугун 8; *е* - высокоуглеродистая сталь 9, алюминий 10

Содержание отчета

1. Название, цель работы.

2. Краткие сведения об основных характеристиках прочности и пластичности металлических материалов.

3. Эскиз образца.

4. Диаграмма растяжения.

5. Таблица с результатами эксперимента.

6. Рассчитанные количественные данные о прочностных и пластических характеристиках испытанных образцов.

7. Выводы.

Лабораторная работа № 6 ИСПЫТАНИЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ

Цель работы: изучение оборудования и методики испытаний на ударную вязкость; определение ударной вязкости стальных образцов.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: маятниковый копер МК-30, штангенциркуль, призматические стальные образцы, лупа.

Краткие теоретические сведения

Ударная вязкость – работа удара, отнесенная к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза). Ударную вязкость обозначают буквами КС (символ ударной вязкости), третья буква – вид концентратора: КСУ, КСВ, КСТ. Допускается обозначать ударную вязкость двумя индексами (a_i); первый (a) – символ ударной вязкости; второй (i) – символ типа образца.

Работа удара – работа, затрачиваемая на разрушение образца, обозначается двумя буквами (КУ, КВ, или КТ) и

цифрами. Первая буква (K) - символ работы удара, вторая буква (U, V или T) – вида концентратора. Допускается обозначать работу удара двумя буквами A_i : первый (A) – символ работы удара, второй (i) – символ типа образца.

Хладноломкость – свойство металлического материала терять вязкость, хрупко разрушаться при понижении температуры.

Испытания металлов и сплавов, из которых изготовлены механизмы и оборудование, проводимые под действием статических нагрузок, не дают объективных данных для оценки надежности устройств в целом. Важное значение имеет определение механических характеристик в условиях, близких к реальным, когда под действием определенных факторов (действие концентраторов напряжений, увеличение скорости деформации, понижение температуры и др.) металлы переходят в хрупкое состояние и могут катастрофически (очень быстро) разрушаться. В связи с этим во многих технических условиях на изготовление различных изделий предусмотрены динамические испытания материалов – испытания на ударный изгиб (определение ударной вязкости).

Метод испытания на ударный изгиб при температуре от минус 100 °С до плюс 1200 °С регламентирован ГОСТ 9454-78. Метод основан на разрушении образца с концентратором посередине одним ударом маятникового копра (рис. 9).

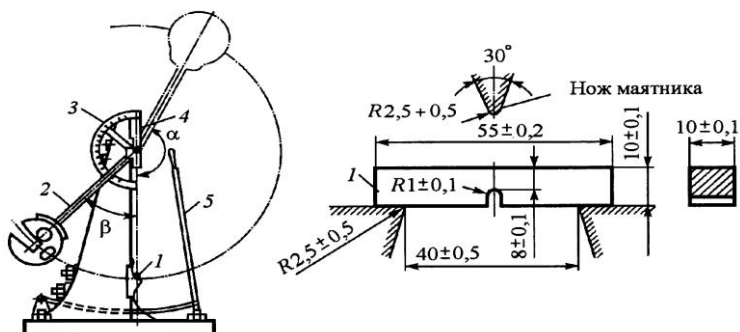


Рис. 9. Схема маятникового копра и образца для определения ударной вязкости.

Копер имеет тяжелый маятник, который свободно качается вокруг оси. При помощи защелки маятник может быть свободно установлен на различной высоте. Если защелку освободить, то маятник упадет и по инерции взлетит на такую же высоту, на которую был поднят. Если на пути падения маятника встретится препятствие, то преодолев его, энергия падения маятника уменьшится, и он взлетит на меньшую высоту. Препятствием является образец, который устанавливают на пути падения маятника, надрезом в сторону, противоположную удару маятника. Падая, маятник ребром ломает образец.

Общий запас энергии маятника будет расходоваться на разрушение образца и на взлет маятника после разрушения. Поэтому если из общего запаса энергии маятника вычесть часть, затраченную на взлет после разрушения образца, то получится работа удара, затраченная на излом образца.

Стандартный образец устанавливают на две опоры и посередине наносят удар, приводящий к разрушению

образца. По шкале маятникового копра определяют работу K , затраченную на разрушение, и рассчитывают основную характеристику, получаемую в результате этих испытаний – ударную вязкость:

$$KC = \frac{K}{F}, \quad (1)$$

где F - площадь поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза), см^2

$$F = h \cdot b, \quad (2)$$

где h – начальная высота рабочей части образца, см, (рис. 3, а);

b – начальная ширина образца, см.

В соответствии с ГОСТ 9454-78 предусмотрены испытания образцов с концентратором напряжений трех видов: U-образным (радиус надреза $r = 1$ мм); V-образным ($r = 0,25$ мм) и Т-образным (трещина усталости, созданная в основании надреза). Соответственно ударную вязкость обозначают: KCU, KCV, KCT.

Образцы с U-образным концентратором применяют при выборе и приемо-сдаточных испытаниях металлов и сплавов конструкций общего назначения; V-образным концентратором – для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды давления и т. п.); Т-образным – для особо ответственных конструкций, для эксплуатации которых оценка сопротивления развитию трещины имеет первостепенное значение.

Основным критерием ударной вязкости является KCU. Она состоит из двух составляющих:

$$KCU = KC_3 + KC_p, \quad (3)$$

где KC_3 – работа зарождения трещины; KC_p .

КСТ – работа распространения трещины. Чем острее надрез, тем меньше KC_3 . Критерий КСТ является критерием трещиностойкости, оценивающим сопротивление материала распространению трещины.

Разрушение может быть двух видов: хрупкое и вязкое.

Трещина при хрупком разрушении острая, часто ветвящаяся, распространяется быстро, в устье трещины зона пластической деформации небольшой протяженности. При вязком разрушении пластическая зона, идущая впереди распространяющейся трещины велика, а сама трещина затупляется у своей вершины.

Оценить характер разрушения можно по виду излома. Волокнистый (матовый) излом характеризуется наличием волокон, образующихся при пластической деформации зерен в процессе разрушения. Он имеет матовую шероховатую поверхность в случае распространения разрушения в плоскости, перпендикулярной направлению действия максимальных растягивающих напряжений. Когда разрушение совпадает с направлением действия касательных напряжений, волокнистый излом приобретает более блестящий, шелковистый вид. Хрупкий (кристаллический) излом характеризуется наличием на поверхности плоских блестящих участков (фасеток). Качественную оценку характера разрушения можно сделать визуально по величине волокнистой составляющей излома:

$$B = \frac{F_{\text{вяз}}}{F} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $F_{\text{вяз}}$ – площадь поверхности излома, где проходило

вязкое разрушение;

F - общая площадь поверхности излома.

Ударная вязкость из всех характеристик механических свойств наиболее чувствительна к снижению температуры. Поэтому испытания на ударную вязкость при пониженных температурах используют для определения *порога хладноломкости* – температуры или интервала температур, в котором происходит снижение ударной вязкости и разрушение становится преимущественно хрупким. Порог хладноломкости – количественная характеристика хладноломкости.

Хладноломкость проявляется у железа, стали, металлов и сплавов, имеющих ОЦК или ГП решетку. Она отсутствует у металлов с ГЦК решеткой.

Для определения температурного порога хладноломкости проводят оценку ударной вязкости при различных температурах и строят так называемые *сериальные кривые*: кривую зависимости ударной вязкости от температуры испытаний и кривую зависимости процента волокна в изломе от температуры испытаний. Порог хладноломкости обозначают температурой t_{50} , при которой в изломе образца имеется 50 % волокнистой составляющей и КСТ снижается наполовину (рис. 10.). Зная температурный порог хладноломкости можно определить *температурный запас вязкости* – интервал температур между порогом хладноломкости (t_{50}) и рабочей температурой эксплуатации материала (t_p):

$$t_{\text{вяз}} = t_{50} - t_p \quad (5)$$

При этом, чем ниже температура перехода в хрупкое состояние по отношению к рабочей температуре, тем больше температурный запас вязкости и выше гарантия от хрупкого разрушения.

Для ответственных деталей за критическую

температуру хрупкости принимают температуру, при которой в изломе 90 % волокна, ее называют t_{90} – верхний порог хладноломкости.

Нижнему порогу хладноломкости t_{10} соответствует не более 10 % волокна в изломе.

По изменению геометрических размеров поперечного сечения образцов в месте надреза после испытаний можно оценить также деформационную характеристику пластичности при ударном изгибе ψ :

$$\psi = \frac{B_2 - B_1}{b} \cdot 100\% \quad (6)$$

где B_2 – ширина образца в сечении с надрезом на стороне, с которой наносился удар;

B_1 – ширина образца на стороне, противоположной той, на которую наносился удар (рис. 11);

b – ширина образца до испытаний.

По результатам испытания на ударный изгиб можно установить такие свойства материалов, как хладноломкость, красноломкость, отпускную хрупкость и др., которые при статических испытаниях не всегда можно обнаружить. Известно, что деформируемые цветные сплавы меди, алюминия и др. нецелесообразно подвергать испытаниям на ударный изгиб, так как они при любых температурах не обнаруживают перехода в хрупкое состояние. Нет необходимости в проведении ударных испытаний некоторых литых сплавов (чугун, литые алюминиевые и магниевые сплавы), которые разрушаются хрупко при статических испытаниях на растяжение.

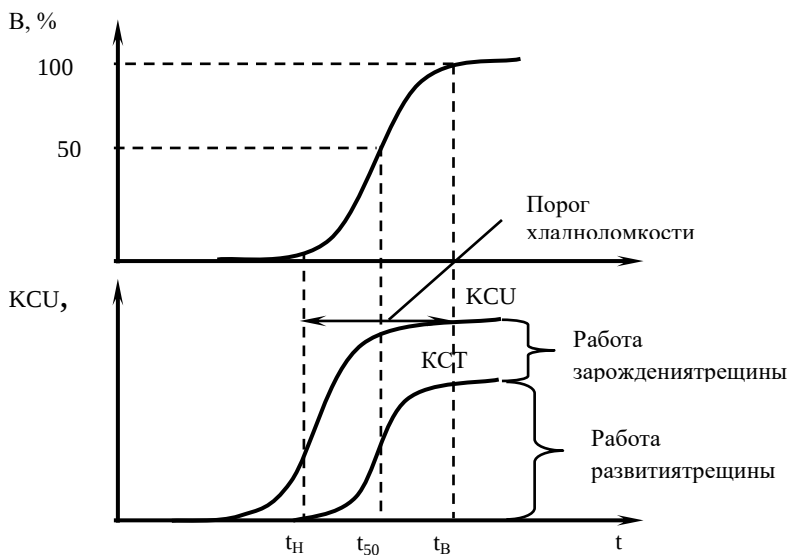


Рис. 10. Влияние температуры испытаний на процент вязкой составляющей в изломе (B) и ударную вязкость материала KCU, KCT

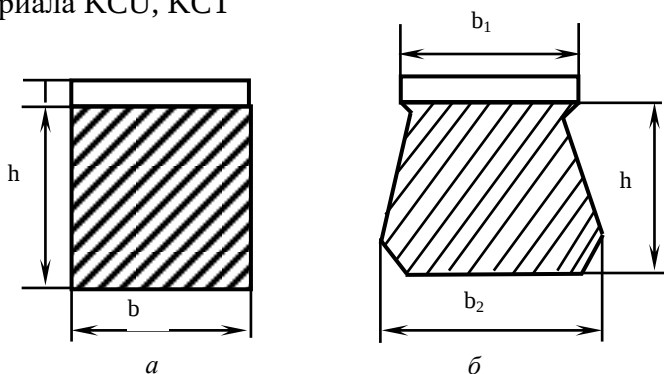


Рис. 11. Сечения образца для испытания на ударный изгиб: a - до испытания; $б$ - после испытания

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством маятникового копра и принципом работы на нем. Особое внимание обратить на правила техники безопасности.

2. Получить и подготовить образцы для испытаний: тщательно измерить поперечное сечение образца в месте надреза. Рассчитать площадь поперечного сечения.

3. Произвести испытания на копре серий образцов с разным исходным состоянием (после отжига, закалки, нормализации). Определить работу, затраченную на разрушение надрезанного образца.

4. Вычислить величину ударной вязкости.

5. Изучить структуру изломов и определить визуально долю вязкой составляющей в изломе (B , %).

6. Измерить образцы в плоскости разрушения после испытаний и определить деформационную характеристику пластичности при ударном изгибе (ψ , %).

7. Занести все результаты экспериментов в протокол испытаний (таблица).

Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткие сведения о сущности и методике испытаний на ударный изгиб.
3. Эскиз образца (рис. 10).
4. Перечень характеристик механических свойств, определяемых данным испытанием
5. Сериальные кривые (рис. 11).
6. Таблица с экспериментальными данными.
7. Выводы.

Лабораторная работа № 7

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: ознакомление с основными видами термической обработки сталей, определение зависимости твердости сталей от вида и параметров режима термической обработки и содержания углерода.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: муфельные электропечи для отжига, закалки и отпуска образцов, прибор Роквелла, металлографический микроскоп, образцы среднеуглеродистой и высокоуглеродистой стали, емкости с охлаждающими жидкостями, щипцы.

Краткие теоретические сведения

Термической обработкой называют технологические процессы, состоящие из нагрева и охлаждения металлических изделий с целью изменения их структуры и свойств.

Термической обработке подвергают слитки, отливки, полуфабрикаты, сварные соединения, детали машин и инструменты.

Основными видами термической обработки являются отжиг, закалка, отпуск и старение. Каждый из указанных видов имеет несколько разновидностей.

Отжиг - термическая обработка, в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной. Отжиг вызывает разупрочнение металлов и сплавов, сопровождающееся повышением пластичности и снятием остаточных напряжений.

Температура нагрева при отжиге зависит от состава сплава и конкретного вида отжига. Скорость охлаждения с

температуры отжига обычно невелика и лежит в пределах 30...200 °С/ч.

Закалка - термическая обработка, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура. Неравновесные структуры при термической обработке можно получить только в том случае, когда в сплавах имеются превращения в твердом состоянии - полиморфные превращения твердых растворов, распад твердого раствора по эвтектоидной реакции, переменная растворимость и др. Для получения неравновесной структуры сплав нагревают выше температуры фазового превращения в твердом состоянии. Затем его быстро охлаждают, чтобы предотвратить равновесное превращение при снижении температуры.

Отпуск и старение - термическая обработка, в результате которой в предварительно закаленных сплавах происходят фазовые превращения, приближающие их структуру к равновесной. Термин «отпуск» используют обычно применительно к сталям и другим сплавам, испытывающим при закалке полиморфное превращение, а термин «старение» - применительно к сплавам, не претерпевающим при закалке полиморфного превращения.

Сочетание закалки с отпуском или старением практически всегда предполагает получение более высокого уровня свойств (твердости, характеристик прочности, коэрцитивной силы, удельного электрического сопротивления и др.) по сравнению с отожженным состоянием. При этом температуру и выдержку выбирают таким образом, чтобы равновесное состояние при обработке не достигалось, как это происходит при отжиге.

Скорость охлаждения с температуры отпуска или старения обычно не влияет на структуру и свойства сплавов.

На рис. 12 представлена диаграмма термических превращений. Если превращение происходит при температурах более $650...670^{\circ}\text{C}$, образуется сравнительно грубая смесь кристаллов феррита и цементита с межпластиночным расстоянием $500...700\text{ нм}$. Таковую смесь называют *перлитом* (П). Превращение при температуре $640...590^{\circ}\text{C}$ дает межпластиночное расстояние $300...400\text{ нм}$, такую перлитную структуру называют *сорбитом* (С). При температуре превращения $580...550^{\circ}\text{C}$ межпластиночное расстояние уменьшается до $100-200\text{ нм}$, такую структуру называют *трооститом* (Т).

При температуре превращения $580...550^{\circ}\text{C}$ межпластиночное расстояние уменьшается до $100-200\text{ нм}$, такую структуру называют *трооститом* (Т).

В интервале температур промежуточного превращения аустенит распадается с образованием структур, называемых *бейнитом* (Б). Бейнит представляет собой двухфазную смесь кристаллов феррита и цементита. Основная особенность промежуточного превращения состоит в том, что полиморфный переход происходит по мартенситному механизму.

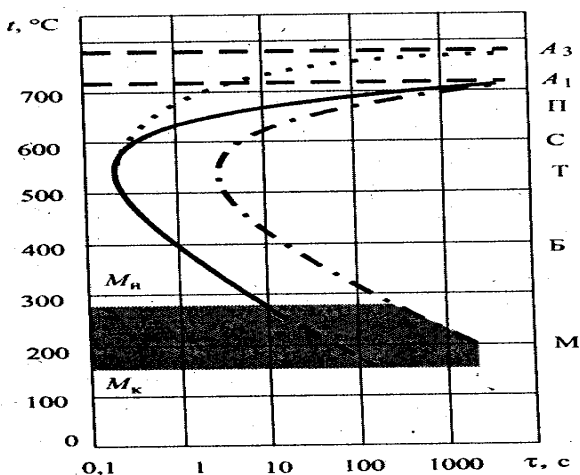


Рис. 12. Диаграмма термических превращений.

Бейнит, образовавшийся при температуре 400...550 °С называют *верхним*, он имеет перистое строение. Бейнит, образовавшийся при более низких температурах, называют *нижним*, он имеет пластинчатое строение.

Высокой прочностью и одновременно достаточно высокими пластичностью и вязкостью обладает нижний бейнит, а именно бейнит, полученный при температуре на 50...100 °С выше мартенситной точки M_n .

Мартенситное превращение интенсивно протекает при непрерывном охлаждении в интервале температур от M_n до M_k . Для получения мартенситной структуры аустенит углеродистых сталей необходимо очень быстро и непрерывно охлаждать, применяя для этого холодную (лучше соленую) воду. Быстрое охлаждение необходимо для того, чтобы подавить возможные диффузионные процессы и образование перлитных и бейнитных структур. Мартенсит представляет собой неравновесную фазу - пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе.

Мартенсит имеет тетрагональную кристаллическую решетку. Мартенсит имеет очень высокую твердость, равную или превышающую HRC₆₀, при содержании углерода, которое составляет более 0,4 %. С увеличением содержания углерода возрастает хрупкость мартенсита. Мартенситное превращение в сталях сопровождается заметным увеличением объема. Весьма сильно изменяются и другие физические свойства.

Отпуск стали - заключительная операция, определяющая ее конечные свойства после закалки.

В зависимости от температуры различают:

- *низкотемпературный или низкий отпуск* (120...250 °С);

- *среднетемпературный или средний отпуск*(350...500 °C),

- *высокотемпературный или высокий отпуск*(500...680 °C).

Низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, а также детали, претерпевшие поверхностную закалку, цементацию, цианирование или нитроцементацию. Средний отпуск применяют главным образом для пружин и рессор, а также для штампов. Высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Комплексную термическую обработку, состоящую из полной заковки и высокого отпуска конструкционных сталей, называют *улучшением*. Улучшению подвергают среднеуглеродистые конструкционные стали, к которым предъявляются высокие требования по пределу выносливости и ударной вязкости. Однако износостойкость улучшенной стали, вследствие ее пониженной твердости, не высокая.

Порядок выполнения работы

1. Провести замер твердости у исходных отожженных образцов двух марок сталей на приборе Роквелла. За величину твердости исследуемой стали принимается средняя арифметическая трех замеров на каждом образце. Твердость измеряется только на торце цилиндрического образца.

2. Перед измерением твердости с поверхности удалить окалину абразивным кругом или абразивной бумагой. На стол установить испытуемое изделие и вращением маховика поднимать его к наконечнику до тех пор, пока малая стрелка индикатора не станет против красной точки, а большая с погрешностью ± 5 делений – на нуль шкалы индикатора. Если большая стрелка отклонилась

больше чем на 5 делений относительно нулевого штриха шкалы, необходимо опустить стол и начать испытание на новом месте. Плавным нажатием включить привод механизма нагружения. После окончания цикла нагружения произвести отсчет твердости по шкале индикатора. Вращением маховика против часовой стрелки испытуемое изделие отвести от наконечника и снять со стола.

3. Выбрать по диаграмме состояния системы железо-цементит температуру нагрева стали под закалку (рис. 13).

4. Назначить продолжительность нагрева по табл. 6.

5. Провести операцию заковки. Для этого в электропечь, нагретую до выбранной температуры, заложить образцы и выдержать их там в течение рассчитанного времени. Температуру контролировать с помощью термопары.

6. Вынуть образцы из печи щипцами и быстро погрузить в емкость с жидкостью, выдержать их там до полного охлаждения. Измерить твердость закаленных образцов и внести результаты в таблицу следующей формы:

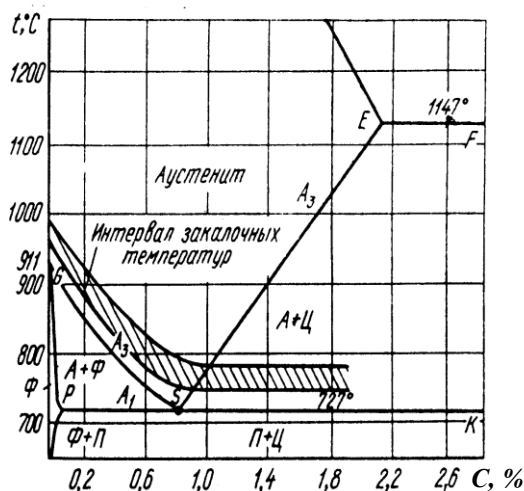


Рис. 13. Интервал закалочных температур

Таблица 6

Продолжительность нагрева стали в зависимости от температуры, формы и размеров детали

Температура нагрева, °С	Форма изделия		
	круг	квадрат	пластина
	Продолжительность нагрева, мин		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2,0	3,0	4
700	1,5	2,2	3
800	1,0	1,5	2
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

7. Провести отпуск стали, поместив образцы в печи, предварительно нагретые до 200, 400 и 600 °С, и выдержав их там в течение 30 мин. Охладить образцы на воздухе.

8. Определить твердость образцов после отпуска. Результаты испытаний занести в ту же таблицу.

9. Построить график зависимости твердости от параметров режимов термической обработки для сталей с различным содержанием углерода.

10. Рассмотреть микроструктуры сталей после термической обработки.

Содержание отчета

1. Привести краткое описание термической обработки.
2. Результаты испытаний занести в таблицу.
3. Зарисовка характерных микроструктур после термической обработки.
4. График зависимости твердости от режимов термической обработки.
5. Выводы.

Лабораторная работа № 8 **ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУР** **ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

Цель работы: изучение взаимосвязи состава и микроструктуры конструкционных и инструментальных легированных сталей.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: микроскоп МИМ-7, микроструктуры легированных сталей

Краткие теоретические сведения

Легированной сталью называется такая сталь, в которую при выплавке вводят элементы, изменяющие ее строение и свойства. Эти элементы называются легирующими. В углеродистой стали, кроме углерода, всегда содержится небольшое количество примесей: $Mn \leq 0,5 \%$; $Si \leq 0,4 \%$; $P \leq 0,04 \%$; $S \leq 0,04 \%$.

Перечисленные примеси в указанных количествах практически не влияют на механические свойства углеродистой стали. Введение в сталь более 1 % любого из перечисленных элементов существенно сказывается на механических свойствах, и такие стали будут уже легированными. К легирующим относятся следующие элементы: Mn, Si, Cr, Ni, Mo, Ti, W, Nb, Al, Ta и др. Следовательно, легированная сталь – это многокомпонентный сплав "железо-углерод-легирующий элемент".

Маркировка и классификация легированных сталей.

Для обозначения состава легированной стали согласно государственному стандарту принято буквенно-цифровое обозначение. Буквы показывают наличие того или иного элемента. Так, например, Г обозначает марганец, С –

кремний, Х – хром, Н – никель, В – вольфрам, Р – бор, Д – медь, Ю – алюминий, Т – титан, Ф – ванадий, К – кобальт.

Цифры, стоящие в начале марки, показывают: для конструкционных сталей – содержание углерода в сотых долях процента, для инструментальных – в десятых долях процента.

Цифры, следующие за буквами, указывают содержание соответствующего легирующего элемента, если его больше 1,5 %.

Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная, т. е. серы и фосфора в ней не более чем 0,03% каждого; чистая по неметаллическим включениям; имеющая определенный номер зерна, определенную прокаливаемость и т. д.

Например, сталь 30ХГСА – высококачественная, имеет следующий состав: С = 0,3 %, Cr = 1,0 %, Mn = 1,0 %, Si = 1,0 %; сталь 9ХС – инструментальная, качественная, имеет следующий состав: С = 0,9 %, Cr = 0,95-1,25 %, Si = 1,2 - 1,6 %.

По назначению легированные стали делятся на следующие классы:

а) машиностроительные или конструкционные стали, идущие на изготовление деталей машин. Они разделяются, в свою очередь, на цементуемые, улучшаемые и пружинные;

б) инструментальные стали, идущие на изготовление различного инструмента: штампового, режущего, мерительного и др. Они делятся на углеродистые, легированные, быстрорежущие и твердые сплавы;

в) стали особого назначения. Они делятся на жаростойкие, нержавеющие, кислотостойкие, с особым коэффициентом расширения, магнитные, немагнитные и др.

По структуре легированные стали классифицируются в равновесном (отожженном) и в нормализованном

состояниях.

Исходя из положения критических точек на диаграмме состояния и структуры легированные стали, также как и углеродистые стали, могут быть разделены на следующие три класса:

- 1) доэвтектоидные – структура: феррит и перлит;
- 2) заэвтектоидные – структура: перлит и вторичные карбиды;
- 3) ледебуритные – структура: перлит, вторичные карбиды и ледебурит.

Так как легирующие элементы смещают на диаграмме состояния критические точки Р и S влево, то в легированной стали перлит и ледебурит появляются при меньшем содержании углерода, чем в железоуглеродистых сплавах. Так, например, углеродистая сталь, содержащая 0,4 % углерода, будет доэвтектоидной; а легированная сталь при том же содержании углерода и 6,0 % вольфрама – заэвтектоидной, если же вольфрама будет 13 %, то сталь станет ледебуритной.

В зависимости от содержания в стали легирующих элементов, расширяющих α -область, на структурной диаграмме различают следующие 5 классов сталей:

- 1) доэвтектоидный,
- 2) заэвтектоидный,
- 3) ледебуритный,
- 4) полуферритный,
- 5) ферритный.

Классификация сталей по структуре в нормализованном состоянии.

В основу этой классификации положены диаграммы изотермического распада аустенита. В зависимости от того, какую структуру приобретают образцы диаметром 25 мм после нормализации (охлаждения на воздухе), различают три основных класса сталей: *а* – перлитный, *б* –

мартенситный и δ – аустенитный (рис. 14).

К сталям перлитного класса относятся доэвтектоидные и заэвтектоидные стали с содержанием легирующих элементов до 5 %. В этих сталях аустенит при охлаждении на воздухе превращается в феррито-цементитную смесь с образованием перлита, сорбита или троостита. По назначению эти стали могут быть конструкционными или инструментальными.

Стали мартенситного класса могут иметь то же количество углерода, что и стали перлитного класса, но должны обязательно содержать повышенное количество (13-15 %) легирующих элементов. При охлаждении на воздухе аустенит этих сталей претерпевает бездиффузионное мартенситное превращение.

Стали аустенитного класса содержат большое количество легирующих элементов (15...30 %), обычно хрома или марганца. В этих сталях аустенит сохраняется даже при охлаждении на воздухе. Такие стали имеют особые физические свойства: кислотостойкость, жаростойкость, коррозионную стойкость, специальные магнитные свойства и т. д.

Конструкционные стали. Эти стали предназначены для изготовления коленчатых валов, шатунов, осей, пальцев, втулок, зубчатых колес, валов, коробок передач и для многих других деталей, испытывающих в работе статические и динамические нагрузки. К ним предъявляются следующие основные требования:

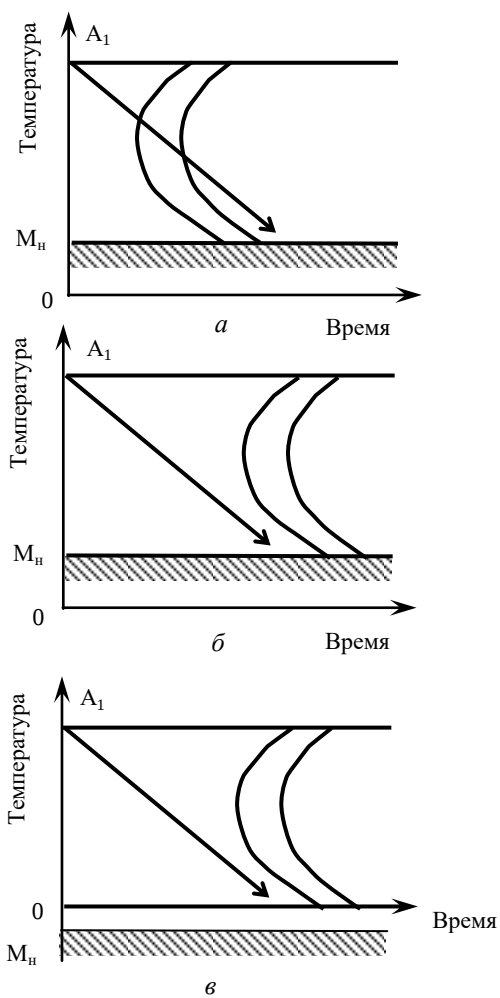


Рис. 14. Диаграммы изотермического распада аустенита

1. Высокие механические свойства, т.е. стали должны сочетать высокую статическую прочность ($\sigma_B = 800 \dots 1300$ МПа, $\sigma_{0.2} = 400 \dots 1000$ МПа) с хорошей пластичностью ($\psi \geq 50$ % и $\delta = 13 \dots 17$ %) и ударной вязкостью ($a_K = 10 \dots 14$ кДж/м²).

2. Высокий предел усталости $\sigma_{-1} = 500 \div 550$ МПа для образцов диаметром 10 мм .

3. Высокое сопротивление износу.

Малая чувствительность к надрезу.

4. Хорошая прокаливаемость.

5. Хорошие технологические свойства (хорошая обрабатываемость резанием, ковкость, отсутствие дефектов при термической обработке и т.д.).

В конструкционных сталях этого назначения содержание углерода колеблется от 0,1 до 0,55 %, содержание легирующих элементов в сумме не должно превышать 6 %, так как при большом содержании углерода и легирующих элементов в стали наблюдается резкое падение вязкости и пластичности.

Необходимо помнить, что конструкционные легированные стали обладают лучшим комплексом механических свойств по сравнению с углеродистой сталью только при соответствующей термической обработке. Поэтому для деталей, которые не требуют упрочняющей термической обработки (заковки с последующим отпуском), легированные стали применять не рекомендуется, так как это не экономично.

Конструкционные легированные стали могут подвергаться различным видам термической обработки и делятся на цементуемые ($C = 0,1-0,3$ %) и улучшаемые ($C = 0,3-0,55$ %).

Цементуемые стали. Для высоконагруженных и крупных деталей применяются качественные и высококачественные стали следующих марок: 15Х, 15ХФ,

18ХГТ, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4 и др. Эти стали имеют большую прокаливаемость, обладают более высокой прочностью и вязкостью, чем углеродистые стали. Новые марки стали, применяемые для цементации: 15ХНТА, 18ХГТЦ, 20ХГР, 25Х2Н2ТА, 30ХГТ, 30ХГТЦ и др.

Улучшаемые стали. Для ответственных деталей сечением до 30 мм² применяются стали марок: 40ХА, 40ХГОА, 30ХГСА и др., сечением до 50 мм² и выше – высоколегированные стали марок: 37ХН3А, 40ХНМА, 40ХНВА и др.

Инструментальные стали для режущего инструмента.

Режущие инструменты (резцы, фрезы, сверла и др.) могут быть изготовлены из углеродистых, легированных, быстрорежущих сталей, а также твердых сплавов.

Основные требования, предъявляемые к сталям для режущего инструмента:

1. Высокая прочность и износоустойчивость при достаточно высокой вязкости.

2. Высокая красностойкость (для инструмента работающего с большими скоростями резания). Под *красностойкостью* понимают способность стали сохранять достаточно длительное время высокую твердость (структуру мартенсита) и режущие свойства при нагреве до высоких температур.

3. Малая деформация при закалке (особенно важна при изготовлении инструмента сложной конфигурации).

4. Хорошие технологические свойства (хорошая обрабатываемость резанием в отожженном состоянии, отсутствие склонности к обезуглероживанию при нагреве и т.д.).

Обычная легированная сталь для режущих инструментов содержит от 0,7 до 1,5 % углерода и в сумме от 1 до 3 % легирующих элементов (Cr, Mn, W, V, Si). Термическая обработка этих сталей состоит из закалки с

температуры выше точки A_1 и последующего низкого отпуска 150...200 °С. По своим режущим свойствам легированные стали мало отличаются от углеродистых сталей с таким же содержанием углерода. Но они имеют лучшие технологические свойства: большую прокаливаемость (до 30 мм), а поэтому закаляются в масле; обладают меньшей деформацией при закалке и т.д.

Порядок выполнения работы

1. Исследовать микроструктуру нескольких марок легированных сталей.
2. Определить химический состав стали по марке.
3. Исходя из химического состава, приблизительно определить класс стали по структуре.

Содержание отчета

1. Описание влияния легирующих элементов на термическую обработку стали.
2. Зарисовки микроструктур легированных сталей. Под каждым рисунком указать марку, химический состав, режим термической обработки, микроструктуру, механические, физические и химические свойства, область применения.
3. Указать класс стали по структуре в отожженном и нормализованном состояниях.
4. График режима термообработки быстрорежущей стали Р18. Описать процессы, которые происходят в этой стали при нагреве, указать, какую роль играют первичные карбиды, а также почему эту сталь необходимо нагревать под закалку до высоких температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материаловедение [Текст]: учебник / В.Н. Гадалов, С.В. Сафонов, Д.Н. Романенко, Ю.В. Скрипка, Т.Н. Розина. – М.: Аргамас-Медиа. Инфра, 2014 – 272 с.

2. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник / Г.П. Фетисов. – М.: Высш. шк., 2008. -638 с.

3. Лахтин Ю.М. Материаловедение [Текст]: учебник / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – 527 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 МАКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	1
Лабораторная работа № 2 МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	5
Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	12
Лабораторная работа № 4 ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОХЛАЖДЕНИЯ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ	19
Лабораторная работа № 5 ИСПЫТАНИЯ НА СТАТИЧЕСКОЕ РАСТЯЖЕНИЕ	26
Лабораторная работа № 6 ИСПЫТАНИЯ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ	34
Лабораторная работа № 7 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ	43
Лабораторная работа № 8 ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУР ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ	50
Библиографический список	58

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Материаловедение»
для студентов направления подготовки бакалавров
150700.62 «Машиностроение» (профиль
«Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения

Составители:
Ткаченко Юрий Сергеевич
Симонова Юлия Эдуардовна

В авторской редакции

Компьютерный набор Ю.Э. Симоновой

Подписано к изданию 20.03.2015.
Уч. – изд. л. 3,7. «С»

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14