

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Филиал в г. Миассе  
Кафедра "Технология производства машин"

620.22 (07)  
М483

В.Г. Мельниченко, Л.И. Иванова

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебное пособие к лабораторным работам

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2016

УДК 620.22 (076.5)  
М483

*Одобрено  
учебно-методической комиссией  
машиностроительного факультета филиала в г. Миассе*

*Рецензенты:  
М.Н. Леонтьев, А.И. Новиков*

**Мельниченко, В.Г.**

М483 Материаловедение: учебное пособие к лабораторным работам/  
В.Г. Мельниченко, Л.И. Иванова– Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ,  
2016. 22 с.

Учебное пособие предназначено в качестве руководящего материала к выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение». Настоящее пособие окажет помощь в изучении свойств конструкционных материалов, основных технологических процессов машиностроительного производства и получении навыков обработки экспериментальных данных.

УДК 620.22 (076.5)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение – это наука, изучающая строение и свойства технических материалов, возможности изменения их свойств в нужном направлении и использование в технике. Получение, разработка новых материалов, способы их обработки являются основой современного производства. Проектирование рациональных и конкурентоспособных изделий, организация их производства невозможны без определённого уровня знаний в области материаловедения. Кроме того, материаловедение служит базой для изучения многих специальных дисциплин.

В современной технике имеется огромное количество различных устройств, машин и механизмов, строительных конструкций, приборов, оборудования и инструментов, элементы которых работают в самых разнообразных условиях: высокие нагрузки, износ, действие агрессивных сред, повышенные и высокие температуры и т.д.

Для того, чтобы обеспечить работоспособность, надёжность и долговечность современной техники, необходимы материалы, работающие в конкретных условиях.

Сообщить необходимые сведения о данной области знаний и является целью курса «Материаловедение», включающего серию лабораторных работ.

# 1. МАКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Основными методами изучения строения металлов и сплавов являются макро- и микроскопические анализы. Макроструктура – строение металла, видимое без увеличения или при небольшом увеличении (до 10...30 раз) с помощью лупы. При макроанализе можно наблюдать одновременно большую поверхность детали в изломе или на макрошлифе.

Макроструктурный анализ является наиболее простым и доступным методом исследования строения и свойств металлов и сплавов. Этот анализ осуществляется осмотром внешних поверхностей изделий, изломов и макрошлифов невооруженным глазом или при небольших увеличениях (до 30 крат).

Наиболее простым методом выявления строения металла является изучение излома. В отличие от аморфного тела металлы имеют зернистый (кристаллический) излом. В большинстве случаев чем мельче зерно в изломе, тем выше механические свойства металла. По излому можно судить о размере зерна, особенностях литья и термической обработки, выявить отдельные дефекты.

Макроструктурный анализ позволяет определить:

- 1) характер первичной кристаллизации;
- 2) химическую неоднородность (ликвацию);
- 3) направление волокна в деформированном металле;
- 4) качество сварки;
- 5) расположение и количество некоторых дефектов (усадочные раковины, трещины, газовые пузыри, шлаковые включения, флокены);
- б) неоднородность структуры после термической и химико-термической обработки.

Макроанализ располагает двумя методами исследования:

- 1) изучение изломов;
- 2) изучение макрошлифов.

Макрошлифом называют поверхность образца (детали), подготовленную для исследования макроструктуры. Образцы, называемые темплетами, вырезают из крупных заготовок (слитков, проката), а мелкие и средних размеров детали разрезают в определённом месте и в определённой плоскости. Поверхность образца шлифуют, подвергают травлению кислотами или специальными реактивами для выявления дефектов, нарушающих сплошность металла, неоднородность строения при обработке давлением и т.д.

## Лабораторная работа №1

### АНАЛИЗ ИЗЛОМОВ И МАКРОШЛИФОВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

#### 1.1. Цель работы

Ознакомиться с методикой проведения и возможностями макроструктурного метода исследования металлов и сплавов.

#### 1.2. Материал исследования

Коллекция изломов и макрошлифов.

#### 1.3. Порядок выполнения работы

1.3.1. Изучить, зарисовать и описать наиболее характерные виды изломов.

1.3.2. Изучить и зарисовать макрошлиф горячедеформированного металла; сформулировать вывод о правильности расположения в нем волокон.

1.3.3. Составить отчёт.

#### 1.4. Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Цель работы;
2. Материал исследования;
3. Порядок выполнения работы;
4. Рисунки и описания выданных изломов и макрошлифов;
5. Выводы.

#### Контрольные вопросы

1. Задачи макроскопического анализа.
2. Методика приготовления объекта исследования (макрошлифа).
3. Назовите дефекты, выявляемые макроанализом.

### 2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Микроструктурный анализ заключается в исследовании структуры металлов и сплавов при больших увеличениях с помощью микроскопа. Наблюдаемая структура называется микроструктурой. Способ применяется для определения количества и типа структурных составляющих, оценки формы, размера и характера расположения зёрен, качества предшествующей обработки, например, литья, обработки давлением, сварки и т.д.; для установления наличия не-

металлических включений, микротрещин, раковин, определения приблизительного содержания углерода в стали и т.д.

Микроструктура – это строение (взаимное расположение, форма и размеры зёрен) металлов и сплавов, видимое с помощью микроскопа.

Структурная составляющая – это участок микроструктуры, имеющий своё строение и свойства и отделённый от остальных участков поверхностью раздела (границей).

Промышленные металлы и сплавы представляют собой конгломерат кристаллов неправильной формы, т.е. имеют поликристаллическое строение. Так как кристаллы должны иметь геометрически правильную огранку, то кристаллы неправильной формы в поликристаллическом агрегате принято называть зёрнами. Так как размер зёрен в поликристаллических материалах может быть от единиц микронов до нескольких миллиметров, то изучение структуры и определение размеров зёрен проводится с применением оптической и электронной микроскопии.

Образец металла, специально приготовленный для исследования его структуры под микроскопом, называется микрошлифом. Из исследуемого материала вырезают образец, поверхность его подвергают шлифованию, полированию, травлению (получают микрошлиф), который подвергают травлению и потом рассматривают в металлографический микроскоп.

Шлифование проводят на специальных шлифовальных станках и начинают на шкурке с наиболее крупным абразивным зерном, постепенно переходя к шлифованию на шкурке с более мелким зерном и затем переходят к полированию. Полирование ведут на полировальном станке на вращающемся круге, обтянутом сукном, смачиваемым полировальной жидкостью – водой с взвешенными частицами окиси хрома. Полированная поверхность получается блестящей и зеркальной, но на светлом фоне полированной поверхности образца выявляются только неметаллические включения и микродефекты. Для выявления микроструктуры полированную поверхность образца подвергают травлению, т.е. воздействию растворов кислот, щелочей, солей. Различные структурные составляющие растворяются с различной скоростью, поэтому одни вытравляются больше, другие меньше. При освещении микрошлифа на микроскопе лучи света по-разному отражаются от неодинаково протравившихся структурных составляющих. Места, протравившиеся сильнее, больше рассеивают отражённые лучи, поэтому в объективе микроскопа они получаются более темными. Составы реактивов для травления шлифов приведены ниже.

## Лабораторная работа №2

# ПРИГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

### 2.1. Цель работы

Ознакомиться с методикой приготовления микрошлифов сталей, чугунов и цветных металлов.

### 2.2. Материал исследования

Образцы углеродистых и легированных сталей, чугунов и цветных металлов.

### 2.3. Порядок выполнения работы

2.3.1. Вырезанные образцы в случае необходимости обработать на наждаке для выравнивания поверхности, при этом образец периодически охлаждается водой, так как нагрев может привести к изменению структуры. После получения плоской поверхности образец отшлифовать на шлифовальных станках наждачной бумагой, сначала крупной, затем мелкой. При переходе от одного номера наждачной бумаги к другому, образец поворачивается на 90 градусов. Для мягких металлов наждачная бумага смачивается керосином или натирается парафином. После обработки образцы промыть и отполировать на фетре или сукне, на которые наносят тонкие абразивные материалы ( $Al_2O_3$  или  $Cr_2O_3$ ). Можно производить электрохимическое полирование в ваннах электролитов, где образец является анодом. После полирования образцы промыть водой, затем спиртом и просушить фильтровальной бумагой.

2.3.2. Изучить микрошлифы в «нетравленном виде», т.е. сразу после полировки. Под микроскопом такой шлиф имеет вид светлого круга, на котором видны темные участки неметаллических включений (оксиды, нитриды, фосфиды, графит в чугунах и т.д.); произвести визуальную оценку количества включений по шкале бальности (стенд).

2.3.3. Приготовленные образцы подвергнуть травлению, т.е. воздействию химического реактива. Для различных сплавов применяют различные реактивы (табл. 2).

При травлении поверхности шлиф погрузить в реактив или протереть ваткой, смоченной реактивом. Время травления от нескольких секунд до одной минуты и более. Когда поверхность шлифа станет матовой, шлиф быстро промыть и просушить. В результате травления реактив по-разному действует на структурные составляющие, а также границы зерен. Границы разделяются

сильнее и под микроскопом выглядят темными. Сами зерна, вследствие анизотропии, травятся неодинаково и под микроскопом могут иметь разные оттенки.

2.3.4. Приготовленные микрошлифы изучить с помощью оптического микроскопа и зарисовать выявленную микроструктуру.

Таблица 1

Реактивы для травления микрошлифов

Наименование реактива	Состав реактива
1. Реактивы для травления железа и его сплавов	
1.1 Для выявления структуры углеродистых нелегированных сталей и чугунов	
1. Спиртовый раствор азотной кислоты	Азотная кислота (плотность 1,4г/см <sup>3</sup> ) 1...5 мл, этиловый спирт 100 мл
2 Спиртовый раствор пикриновой кислоты (реакция Ижевского)	Пикриновая кислота (кристаллическая) 4 г, этиловый спирт 100 мл
1.2. Для выявления границ зерен сталей	
3 Реактив Марбле	20 г CuSO <sub>4</sub> 100 мл HCl (плотность 1,19), 100 мл этилового спирта
4 Раствор пикриновой кислоты	Насыщенный раствор пикриновой кислоты в воде плюс 3...4% моющего средства (типа "Синтол", Новость")
2. Для алюминиевых сплавов	
5 Раствор кислот в воде	1% плавиковая кислота 2,5% азотная кислота 1,5% соляная кислота, 95% вода
3. Для медных сплавов	
6. Солянокислый раствор хлористого железа	3% раствор FeCl <sub>3</sub> в 10% растворе HCl

2.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) материалы исследования;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) рисунки и описание распределения неметаллических включений;
- 5) рисунки и описание изученных микроструктур.



## Контрольные вопросы

1. Каковы задачи микроскопического исследования металлов;
2. Дайте определение микроструктуры и структурной составляющей.

## Лабораторная работа №3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРНА И КОЛИЧЕСТВА СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

#### 3.1. Цель работы

Приобретение навыков количественной металлографии.

#### 3.2. Материал исследования

Микрошлифы технического железа, аустенитных сталей с равноосной зеренной структурой, доэвтектоидных сталей.

#### 3.3. Порядок выполнения работы

3.3.1. Подобрать необходимое увеличение. Установить объектив и окуляр-микрометр, при которых в данном поле зрения находилось бы не менее 10 объектов исследования - зерен, либо участков структурных составляющих.

3.3.2. Определить цену деления окуляр-микрометра. Для этого установить на предметном столике объект-микрометр таким образом, чтобы его шкала совпадала со шкалой окуляр-микрометра. Затем, перемещая предметный столик, совместить начальные деления этих шкал или другие деления, принятые за нулевые, и подсчитать число делений на определенном участке (желательно наибольшем) до совпадения конечных делений обеих шкал. В этом случае цена одного деления окуляр-микрометра

$$D = ZT/A, \quad (1)$$

где  $D$  – цена деления окуляр-микрометра;

$T$  – число делений объект-микрометра;

$A$  – число делений окуляр-микрометра от начальных до конечных взаимосо- вмещенных делений;

$Z$  – цена деления объект-микрометра.

3.3.3. Определить средний условный диаметр зерна. Для этого, перемещая предметный столик с анализируемым микрошлифом, произвести статически равновероятные замеры диаметров зерен, например тех, для которых шкала окуляр-микрометра является секущей линией. Число таких замеров должно быть не менее 100...150. Пользуясь значением цены окуляр-микрометра, определить числовое значение среднего диаметра зерна в мм.

3.3.4. Определить размер зерна в баллах методом сравнения со стандартными шкалами при увеличении 100х. Если увеличение отличается от 100х, определить балл зерна при данном увеличении и, пользуясь табл.3, определить балл зерна при увеличении 100х.

Таблица 2

Пересчет номера зерна на стандартное увеличение (100х) при использовании увеличений от 25 до 800

Увеличение 100	Номера зерна																	
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
50			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
200							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
400									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
800																		

3.3.5. Пользуясь табл. 4, сравнить результаты различных методов определения среднего размера зерна.

Таблица 3

Соотношение номера зерна с условным диаметром зерна

Номер зерна	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Средний условный диаметр зерна, мм	0,875	0,650	0,444	0,313	0,222	0,167	0,111	0,0788	0,0553	0,0391	0,0267	0,0196	0,0138	0,0099	0,0069	0,0049	0,0032	0,0023

3.3.6. Определить содержание углерода в отожженной доэвтектоидной стали по ее микроструктуре. Для этого с помощью окуляр-микрометра определяют удельное количество перлитной составляющей в микроструктуре доэвтектоидной стали. Определение проводится по результатам анализа не менее 10 полей зрения. В каждом поле зрения определяют суммарную долю деления шкалы окуляр-микрометра, используемой как секущей, по отношению к длине секущей. Считают, что весь углерод находится в перлите, и, пользуясь правилом отрезков, определяют количество углерода в стали по соотношению

$$\%C = \frac{S_n}{S_{общ}} \cdot 0,8, \quad (2)$$

где  $\frac{S_n}{S_{общ}}$  – удельное количество составляющей в структуре стали;

0,8 – процентное содержание углерода в перлите.

### 3.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы;
2. Материал исследования;
3. Порядок выполнения работы;
4. Расчеты цены деления окуляр-микрометра;
5. Результаты замеров диаметров зерен и вычисление среднего условного диаметра зерна технического железа или аустенитной стали;
6. Сравнительный анализ различных методов определения среднего размера зерна;
7. Результаты удельного количества перлитной составляющей в доэвтектоидной стали и расчет содержания углерода в этой стали.

#### Контрольные вопросы

1. Цель и порядок определения цены деления окуляр-микрометра;
2. Как определить размер зерна стали окуляр-микрометром?
3. Задачи микроскопического анализа.

### 3. ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Высокая способность к пластической деформации является характерным свойством металлов. Пластическая деформация осуществляется под действием касательных напряжений путем сдвига. Сдвиг происходит по плоскостям и направлениям с наиболее плотным расположением атомов. В ходе пластической деформации металл упрочняется и способность к пластической деформации уменьшается. Это явление наклепа. Чтобы вернуть металлу способность к деформированию, его подвергают нагреву до определенной температуры, т.е. рекристаллизационному отжигу. При этом происходит изменение микроструктуры металла, которое сопровождается снижением твердости и прочности и повышением пластичности. Путём пластической деформации и последующего рекристаллизационного отжига можно существенно влиять на размер зерна металлов и сплавов. Размер зерна в значительной мере влияет на механические характеристики материала.

## Лабораторная работа №4

# ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РЕКРИСТАЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

### 4.1. Цель работы

Изучить влияние пластической деформации на твердость и размер зерна металлов и сплавов.

### 4.2. Материал и оборудование для исследования

Литые и отожженные пластинки технически чистого алюминия; лабораторный прокатный стан.

### 4.3. Порядок выполнения работы

4.3.1. Осмотреть литую пластинку алюминия и зарисовать дендритное строение литого металла.

4.3.2. Измерить толщину литой пластинки.

4.3.2. Протравить конец литой пластинки в 50%-ном водном растворе соляной кислоты. Зарисовать зеренную структуру литого алюминия.

4.3.3. Зачистить площадку на конце отожженной пластинки и замерить твердость на приборе Бринелля (диаметр шарика 10 мм, нагрузка 250 кг.).

4.3.4. Отожженную пластинку алюминия прокатать до степени деформации 10%, 20%, 35% и 50%.

После каждой степени деформирования изменяется твердость.

Чтобы получить требуемую степень деформации сначала нужно рассчитать, какую толщину должна иметь деформированная пластинка алюминия, по формуле (4).

$$E_1 = \frac{h_0 - h_1}{h_0} 100\%,$$

$$h_1 = \frac{h_0(100\% - E_1)}{100}$$

где  $E_1$  – заданная степень деформации,

$h_0$  – начальная толщина пластинки, мм;

$h_1$  – толщина пластинки, соответствующая степени деформации  $E_1$ , мм

Толщина пластинки измеряется штангенциркулем или микрометром.

Деформирование проводят на лабораторном прокатном стане. Заданная степень деформации достигается за несколько проходов. Поскольку толщина пластинки после прокатки может несколько отличаться от расчетного значения, то находят действительную степень деформации по формуле (3), куда подставляют полученные экспериментальные значения.

4.3.5. Полученные данные занести в таблицу.

Таблица

НВ литой пластины	E <sub>1</sub> , %	НВ <sub>1</sub>	E %	НВ	E %	НВ	E %	НВ

Построить график зависимости твердости алюминия от степени деформации.

4.3.5. После деформации в наибольшей степени пластинку подвергнуть ре-кристаллизационному отжигу по режиму: температура=550 С°, время выдержки =30 мин, охлаждение на воздухе.

4.3.6. Замерить твердость отожженной пластинки.

4.3.7. Пластинку протравить в 50%-ном водном растворе соляной кислоты для выявления зёрненной микроструктуры. Структуру зарисовать.

4.3.8. После рекристаллизационного отжига пластинку алюминия подвергнуть пластической деформации на различную степень путем загиба пластины на 180°.

4.3.9. Деформированную таким образом пластину подвергнуть рекристаллизационному отжигу по указанному режиму.

4.3.10. Пластинку протравить в растворе соляной кислоты и зарисовать выявленную зёрненную структуру по всей длине пластинки.

#### 4.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы;
2. Материал исследования;
3. Порядок выполнения работы;
4. Полученные результаты в виде таблиц, графика, рисунков;
5. Выводы о влиянии пластической деформации и рекристаллизации на твердость и размер зерна алюминия.

#### Контрольные вопросы

1. Как изменяется твёрдость металла в процессе деформации?
2. Как можно вернуть металлу способность к деформированию?
3. Как влияет размер зерна на механические свойства металла?

## 4. СТРУКТУРА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ МЕДЛЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Железоуглеродистые сплавы, т. е. стали и чугуны, являются наиболее распространенными конструкционными материалами. О фазовом и структурном составе их после медленного охлаждения дают представления диаграммы состояния железо-цементит и железо-графит.

### Лабораторная работа №5

## МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

### 5.1. Цель работы

Ознакомиться с фазовым и структурным составом углеродистых сталей и чугунов после медленного охлаждения.

### 5.2. Материал исследования

Коллекция микрошлифов, фотографии микроструктур сталей и чугунов (стенд).

### 5.3. Порядок выполнения работы

5.3.1. Изучить под оптическим микроскопом микроструктуры сталей, зарисовать их и обозначить структурные составляющие.

5.3.2. Пользуясь фотографиями микроструктур на стенде, приблизительно определить содержание углерода в приведённых образцах.

5.3.3. Ознакомиться со структурами белых чугунов, зарисовать их, обозначить структурные составляющие.

5.3.4. Ознакомиться со структурами серых, ковких и высокопрочных чугунов до и после травления, зарисовать их и обозначить структурные составляющие.

### 5.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы;
2. Схематические рисунки микроструктур сталей с указанием структурных составляющих;
3. Краткую характеристику фазового и структурного состава железоуглеродистых сплавов;

4. Схематические рисунки микроструктур белых, серых, ковких и высокопрочных чугунов с указанием структурных составляющих;
5. Выводы о фазовом и структурном составе сталей и чугунов.

### Контрольные вопросы

1. Какие структурные составляющие сталей и чугунов Вы знаете?
2. Какие структурные составляющие присущи и сталям и чугунам?
3. Какие структурные составляющие свойственны только чугунам ?
4. Почему стали значительно прочнее чугунов?
5. Почему серый чугун имеет значительно меньшую прочность, чем ковкий или высокопрочный?

## 5. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева металлов до определенной температуры, выдержки при этой температуре и охлаждения с заданной скоростью с целью изменения структуры и получения необходимых свойств.

Для многих видов термической обработки сталь нагревают до температур, соответствующих существованию аустенита (процесс аустенизации).

В зависимости от скорости охлаждения различают следующие виды термической обработки сталей: закалка, отжиг, нормализация, отпуск.

### Лабораторная работа №6

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

### 6.1. Цель работы

Выяснить влияние скорости охлаждения на структуру и твердость углеродистых и легированных сталей.

### 6.2. Материал исследования

Образцы углеродистых, низколегированных, высоколегированных и других сталей марок 35, 35X, 35X ГСА, У10 и т.д.

### 6.3. Порядок выполнения работы

6.3.1. Пользуясь справочной литературой, выписать химический состав и критические точки сталей.

6.3.2. Выбрать температуру нагрева по диаграмме состояния железо – углерод и время выдержки ( по табл. 5) для аустенизации образцов.

Таблица 5

Температура нагрева	Форма изделия		
	Круг	квадрат	Пластина
	продолжительность нагрева, (мин)		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2	3	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

6.3.3. Произвести аустенизацию образцов по выбранному режиму с последующим охлаждением в средах:

- а) соленая вода (водный 10%-ный раствор хлористого натрия);
- б) вода;
- в) воздух;
- д) печь.

6.3.4. Заточить образцы на наждаке и измерить их твердость на приборе Роквелла по шкале «С».

6.3.5. Приготовить шлифы, протравить в 4-х процентном спиртовом растворе азотной кислоты и зарисовать микроструктуру.

6.3.6. Полученные данные занести в таблицу.



Таблица

Марки стали	Температура аустенизации	Время выдержки, мин	Охлаждающие среды	Твердость	Микро - структура	Наименование термообработки
			Соленая вода Вода Масло Воздух Печь			
			Соленая вода Вода Масло Воздух Печь			

### 6.1. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Материал исследования;
3. Химический состав и критические точки сталей;
4. Схематические рисунки микроструктур сталей, охлажденных с различными скоростями;
5. Таблицы с полученными результатами;
6. Выводы о влиянии скорости охлаждения, содержания углерода и легирующих элементов на твердость стали.

### Контрольные вопросы

- 1) С какой целью проводят закалку сталей?
- 2) Какие виды термической обработки упрочняющие?
- 3) Какие виды термической обработки повышают пластичность?
- 4) Цель отжига и нормализации?

### Лабораторная работа №7

### ОТПУСК СТАЛИ

Термическую обработку, заключающуюся в нагреве закалённой стали до температуры ниже линии ECF, выдержки и охлаждения в воде или на воздухе, называют отпуском.

Типичная структура закалённой стали – мартенсит и остаточный аустенит, которые являются неравновесными фазами. Переход стали в более устойчивое состояние должен сопровождаться распадом мартенсита и остаточного аустенита с образованием структуры из аустенита и цементита (ферритно-цементитной смеси). Распад этих фаз проходит по диффузионному механизму и поэтому скорость процесса обусловлена температурой нагрева. Из указанных фаз в первую очередь при нагреве распадается мартенсит (первое превращение при отпуске). Второе превращение при отпуске – превращение остаточного аустенита. Третье превращение – снятие внутренних напряжений и карбидное превращение. Распад мартенсита при отпуске влияет на все свойства стали. Например, в случае низкотемпературного отпуска уменьшается склонность стали к хрупкому разрушению.

Различают 3 вида отпуска: низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий).

### 7.1. Цель работы

Выяснить влияние температуры отпуска на твёрдость образцов из легированных и углеродистых сталей.

### 7.2. Материал исследования

Образцы углеродистых и легированных сталей 35, 35X, 35X ГСА и др., термообработанных в предыдущей лабораторной работе №6.

### 7.3. Порядок выполнения работы

7.3.1. Закалённые образцы в предыдущей лабораторной работе подвергнуть отпуску при температурах 200, 400 и 600 градусов Цельсия.

7.3.2. Отпущенные образцы заточить на наждаке и измерить их твёрдость на приборе Роквелла.

7.3.3. Полученные данные занести в таблицу.

7.3.4. Построить график зависимости твёрдости образца от температуры отпуска.

### 7.4 Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Цель работы;
2. Химический состав и критические точки исследуемых образцов;
3. Таблицу с полученными результатами;

4. График зависимости твёрдости от температуры отпуска;
5. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Цель отпуска сталей;
2. Какие виды отпуска Вы знаете?
3. Почему при отпуске не проходит аустенизация?
4. Почему не опасно после отпуска охлаждать детали в воде?
5. Есть ли связь прочности и твёрдости сталей?

## 6. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Сплавы на основе алюминия имеют широкое применение, так как характеризуются относительно высокой прочностью, высокими теплопроводностью, электропроводностью, а также удовлетворительными технологическими свойствами. По назначению алюминиевые сплавы делятся на литейные и деформируемые; могут быть упрочняемыми и неупрочняемыми термической обработкой. К категории деформируемых сплавов, подвергаемых упрочнению термической обработкой, относятся дуралюмины (сплавы на основе алюминия, меди, магния, альтамаги (алюминий – магний), авиали (алюминий – магний – кремний) и другие. Наиболее распространены и изучены в технике дуралюмины.

### Лабораторная работа №8

## ТЕРМООБРАБОТКА ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

### 8.1. Цель работы

Изучить влияние температуры и продолжительности термической обработки на твёрдость дуралюмина.

### 8.2. Материал исследования

Образцы в форме прямоугольных параллелепипедов или круглой формы из сплавов Д1, Д16 и др.

### 8.3. Порядок выполнения работы

- 8.3.1. Выписать химический состав сплавов по ГОСТ;
- 8.3.2. Определить твёрдость «сырых», т.е. незакалённых образцов;
- 8.3.3. Закалить образцы по следующим режимам:
  - Сплав Д1: нагрев до температуры 500...510 градусов;
  - Сплав Д16: нагрев до температуры 495 ...505 градусов;

Время выдержки при заданной температуре 1 час.

Охлаждение в воде.

8.3.4. Определить твёрдость закалённых образцов на приборе Бринелля.

8.3.5. Подвергнуть закалённые образцы естественному старению при комнатной температуре в течение 15; 30; 45; 60; 90; 1440 минут;

8.3.6. Провести искусственное старение таких же образцов при температуре 100; 150; 200; 350 градусов с выдержкой в течение 10; 20; 30 минут;

8.3.7. Провести искусственное старение образцов при температуре 100 градусов

при выдержке в течение 10; 20; 30 минут.

8.3.8 После каждой операции старения замерить твёрдость образцов на приборе Бринелля (диаметр шарика 10 мм, нагрузка 250 кг).

8.3.9. Полученные результаты занести в таблицу.

Таблица

Марка Сплава	Закалка			Старение			
	$t_H, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{выд}},$ МИН.	НВ	$t_H, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{выд}},$ МИН.	НВ	Вид старения

8.3.10. Построить графики зависимости:

а) твёрдости от времени выдержки НВ( $\tau_{\text{выд}}$ ) для температуры старения 20  $^\circ\text{C}$ ;

б) твёрдости от температуры старения НВ( $t_H$ ) при выдержке в течение 10 мин.;

в) твёрдости от времени выдержки НВ( $\tau_{\text{выд}}$ ) для температуры старения 20  $^\circ\text{C}$ .

#### 8.4. Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

- 1) Цель работы;
- 2) Химический состав исследуемых сплавов;
- 3) Порядок выполнения работ
- 4) Таблицу с экспериментальными данными зависимости температуры термической обработки от времени выдержки.

#### Контрольные вопросы

- 1) Что такое искусственное и естественное старение алюминиевых сплавов?
- 2) Чем отличаются литейные алюминиевые сплавы от деформируемых?
- 3) Подвергают ли термической обработке литейные алюминиевые сплавы?
- 4) Какая температура нагрева применяется при естественном старении алюминиевых сплавов?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Кушнер Ю.Г., Верещака А.С., Схиртладзе А.Г. Бургонова О.Ю., Негров Д.А., Материаловедение. Практикум/ В.С. Кушнер [и др.]. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 208 с.

2 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. Учебник для высших учебных заведений. – Стереотипное издание. Перепечатка с третьего издания 1990 г. – М.: Альянс, 2014. – 528 с.: ил.

3 Богодухов С.И., Козик Е.С. Материаловедение: учебник/ С.И. Богодухов, Е.С. Козик. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 536 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Макроструктурный метод исследования металлов и сплавов .....	4
Лабораторная работа №1 Анализ изломов и макрошлифов металлов и сплавов.....	5
2. Микроструктурный метод исследования .....	5
Лабораторная работа №3 Определение величины зерна и количества структурных составляющих .....	9
3. Пластическая деформация и рекристаллизация .....	11
Лабораторная работа №4 Влияние пластической деформации и рекристаллизации на структуру и свойства металлов.....	12
4. Структура железоуглеродистых сплавов после медленного охлаждения..	14
Лабораторная работа №5 Микроскопические исследования структуры сталей и чугунов .....	14
5. Термическая обработка сталей.....	15
Лабораторная работа №6 Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства сталей.....	15
Лабораторная работа №7 Отпуск стали .....	17
6. Термическая обработка алюминиевых сплавов .....	19
Лабораторная работа №8 Термообработка деформируемых алюминиевых сплавов.....	19
Библиографический список.....	21