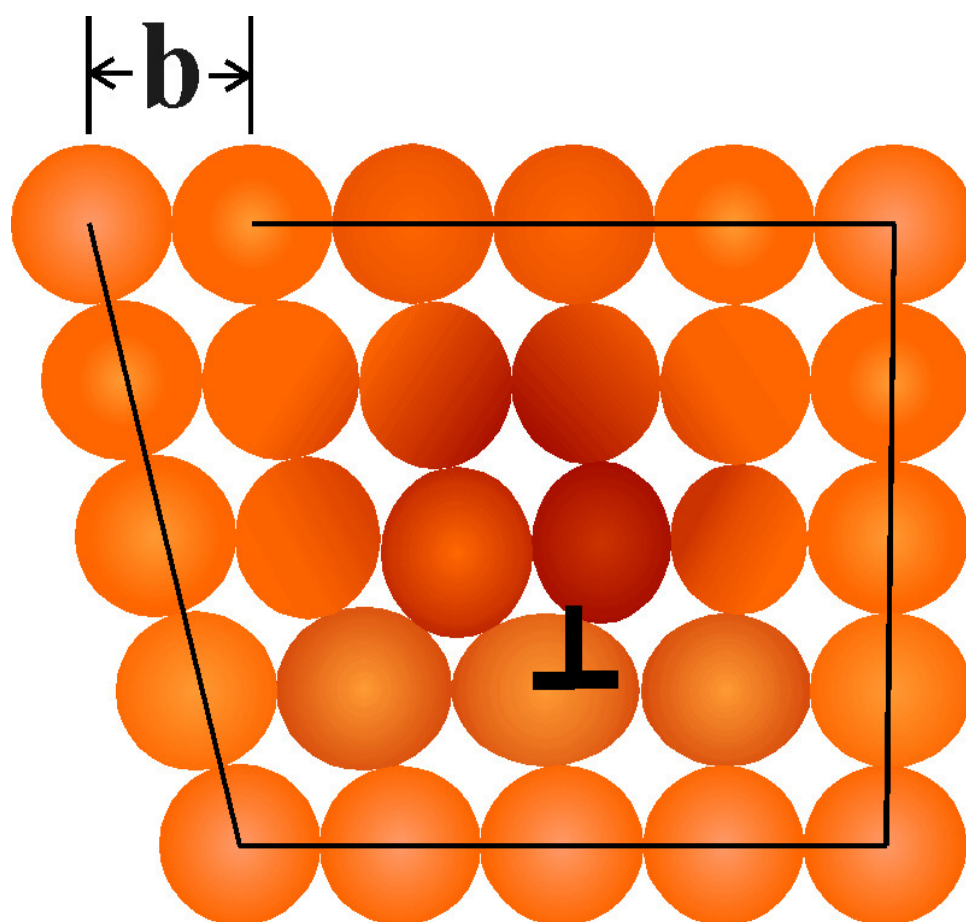


Волкова Н.А., Соловьев В.В., Бочкарева И.Ю.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



БЛАГОВЕЩЕНСК 2004

СОСТАВИТЕЛИ:

ст. преп. Волкова Н.А.

к.т.н. Соловьев В.В.

ст. преп. Бочкарева И.Ю.

Рецензенты:

к.т.н., проф., зав. кафедрой «Энергетики» Савина Н.В.

к.ф.-м.н., с.н.с. зав. лабораторией «Конструкционной керамики»

Демчук В.А. Амурский комплексный научно-исследовательский институт
ДВО РАН

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум предназначен для студентов дневного и заочного отделений специальности 0104, 1001, 1002, 1004, 1005, 2104, 3301, 2803, 2803, 2809, 0608. Лабораторные работы должны выполняться параллельно с чтением курса лекций.

Цель настоящего лабораторного практикума - повысить эффективность лабораторных занятий за счет самостоятельной подготовки студентов по теме очередного занятия.

Лабораторный практикум не только экспериментально иллюстрирует излагаемое на лекциях, но и знакомит студентов с методами исследования в материаловедении и их современным аппаратным оформлением, дает навыки в проведении таких исследований.

Кроме методических указаний к лабораторным работам пособие содержит краткое описание теоретической части курса. Пособие имеет достаточно большое число лабораторных работ, часть из них повышенной сложности. Это позволяет дифференцировать работы по специальностям в зависимости от объема и содержания лекционного курса.

При подготовке к лабораторным работам и зачету студентам необходимо пользоваться вопросами для самоконтроля, приведенными в конце каждой темы методических указаний.

ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы проводятся в лабораториях кафедры «Физического материаловедения и лазерных технологий». К выполнению работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж, имеющие четкие представления о работе прибора или устройства, знакомые с правилами техники безопасности при его обслуживании и способами оказания первой помощи пострадавшим; приступать к выполнению работы необходимо с разрешения преподавателя.

Студенты обязаны:

1. Знать и строго соблюдать правила по технике безопасности, установленные для лабораторий.
2. В процессе работы неукоснительно выполнять все указания преподавателя, руководящего занятиями, и обслуживающего персонала лаборатории в части соблюдения Правил техники безопасности и эксплуатации электроустановок.
3. После окончания работы убрать рабочее место.
4. Выполнять работу в строгом соответствии с методическими указаниями.
5. В случае неисправности перегрев, искрение, отклонение приборов от нормы и т.д./ немедленно отключить установку и поставить в известность преподавателя.

ПОМНИТЕ!

Нарушение правил техники безопасности на любом участке работ может привести к несчастным случаям с вами и вашими товарищами.

Напряжение свыше 50 В может быть опасным для жизни.

I. СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА ПРИГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ

Цель работы:

1. Изучение устройства микроскопа и приобретение навыков работы на нём.
2. Освоение методики исследования микроструктуры металлов и сплавов при помощи микроскопа.
3. Освоить методику изготовления различных образцов металлов и сплавов для микроскопического исследования при помощи светового микроскопа

Некоторые вопросы устройства микроскопа и теории металлографического анализа.

Существует два способа микроскопического исследования: исследование в проходящем свете и отражённом свете.

Микроскопы, рассматривающие предметы в проходящем свете, называют биологическими. Биологические микроскопы применяются в таких областях науки, как медицина, биология, где исследуемые предметы прозрачные.

Микроскопы, рассматривающие предметы в отражённом свете, называются металлографическими. Металлографические микроскопы применяются при изучении структуры металлов и сплавов, т.е. непрозрачных предметов.

Общее увеличение, которое даёт микроскоп с помощью объектива и окуляра, можно принять равным произведению увеличений их.

Обычно окуляры увеличивают от 2 до 15 раз, а компенсационные до 25 раз, тогда как увеличение объективов часто бывает от 9 до 99 раз. Максимальное (полезное) увеличение микроскопа зависит от разрешающей способности глаза и микроскопа. Оно определяется по формуле:

$$M = \frac{d_1}{d_2} = \frac{0,3}{0,0002} = 1500 \text{ раз, где}$$

d_1 - максимальная разрешающая способность человеческого глаза, равная 0.3мм;

d_2 – максимальная разрешающая способность оптического микроскопа, равная 0.0002мм.

Ещё большие увеличения получают, пользуясь электронными микроскопами, разрешающая способность которых зависит от длины волны электронов.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ МИКРОСКОПА.

Микроскоп МИМ-7 предназначен для наблюдения и фотографирования микроструктуры металлов в обыкновенном свете в светлом и тёмном поле.

Набор объективов и окуляров обеспечивает увеличение микроскопа от 60 до 1440 при визуальном наблюдении и от 70 до 1350 при фотографировании.

В качестве источника света использована кинопроекторная лампа К-30 в., 170 вт.

Полный комплект микроскопа перечислен в прилагаемом к нему свидетельстве.

2. ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА.

1. Оптическая схема микроскопа для работы в светлом поле.

Нить лампы 1-1¹ коллектором 1-2 проектируется в плоскость апертурной диафрагмы 1-5.

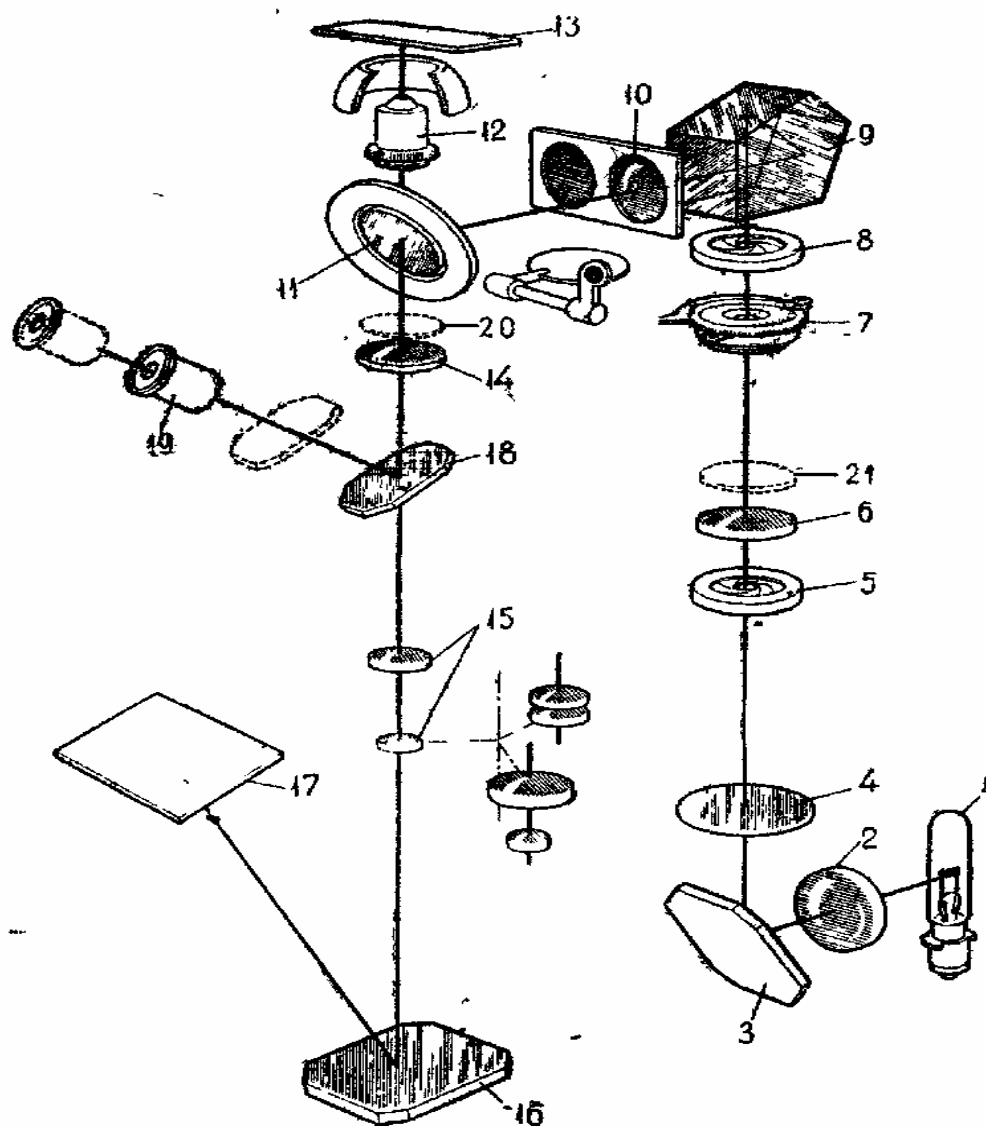


Рис. 1. Оптическая схема прибора при работе в светлом поле:

1- лампа; 2 – коллектор; 3 – зеркало; 4 – светофильтр; 5 – апертурная диафрагма; 6 – линза; 7 – фотозатвор; 8 – полевая диафрагма; 9 – пентапризма; 10 – линза; 11 – отражательная пластинка; 12 – объектив; 13 – плоскость предмета; 14 – ахроматическая линза; 15 – фотоокуляр; 16 –

¹ Первая цифра означает номер рисунка, вторая позицию на рисунке.

зеркало; 17 – матовая пластинка; 18 – зеркало; 19 – окуляр; 20 – вкладной анализатор; 21 – поляризатор.

Системой, состоящей из линз 1-6 и 1-10, призмы 1-9 и отражательной пластинки 1-11, апертурная диафрагма изображается в плоскости опорного торца для объективов. Отражательная пластинка 1-11 направляет в объектив лучи, которые, отразившись от объекта, вновь проходят через объектив, выходят из него параллельным пучком, проходят отражательную пластинку и попадают на ахроматическую линзу 1-14.

Таким образом, объектив служит не только для получения изображения, но и является частью осветительной системы. Выходящие из объектива параллельные лучи при помощи линзы 1-14 образуют изображение объекта в фокальной плоскости окуляра. При визуальном наблюдении в ход лучей вводится зеркало 1-18, которое отклоняет лучи в сторону окуляра 1-19.

При фотографировании зеркало 1-18 выключается, и лучи направляются непосредственно к фотоокуляру 1-15. За фотоокуляром 1-15 находится зеркало 1-16, которое направляет лучи на фотографическую пластинку.

Полевая диафрагма 1-8 служит для ограничения участка наблюдаемого объекта.

2. Оптическая схема микроскопа для работы в тёмном поле.

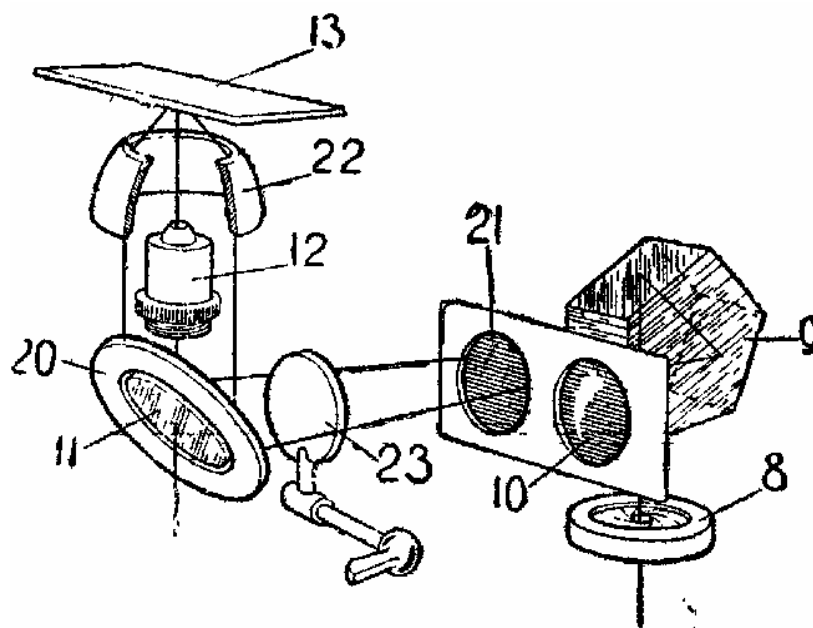


Рис. 2. Оптическая схема прибора при работе в темном поле

8 – полевая диафрагма; 9 – пентапризма; 10 – линза; 11 – отражательная пластинка; 12 – объектив; 13 – плоскость предмета; 20 – зеркало; 21 – линза; 22 – параболическое зеркало; 23 – диафрагма.

Оптическая схема прибора для исследования объектов в тёмном поле отличается от предыдущей схемы тем, что вместо линзы 1-10 (2-10) устанавливается линза 2-21 и включается диафрагма 2-23.

Как указывалось выше, источник света проектируется на плоскость апертурной диафрагмы, которая расположена в фокальной плоскости системы, состоящей из линз 1-6 и 2-21.

Пройдя линзу 2-21, свет идёт параллельным пучком. Так как на пути лучей стоит диафрагма 2-23, то на зеркало 2-20 падает пучок лучей в виде светового кольца. Отразившись от зеркала 2-20, лучи падают на внутреннюю зеркальную поверхность параболического зеркала 2-22 эпиобъектива. Отразившись от параболического зеркала, лучи концентрируются на предмете.

Поляризованный свет

Для наблюдения в поляризованном свете (неметаллических включений в шлифах) в систему включаются два поляризатора: один из них, являясь поляризатором, накладывается на оправу линзы 1-6, а второй в качестве анализатора 8-13 вставляется в паз, расположенный под корпусом иллюминатора.

3. КОНСТРУКЦИЯ МИКРОСКОПА.

Общий вид микроскопа показан на рисунке 6.

Прибор состоит из четырёх основных частей:

1. Осветителя, установленного на направляющие основания.
2. Корпуса прибора с фотокамерой и узлом апертурной диафрагмы.
3. Верхней части прибора с иллюминатором, визуальным тубусом и механизмами грубой подачи предметного столика и микрометрической подачи объектива.
4. Предметного столика.

1. Осветитель.

Осветитель состоит из фонаря, закреплённого на угольнике. Угольник имеет направляющие, позволяющие перемещать весь осветитель вдоль оси относительно коллектора. Фиксация положения осветителя производится рукояткой. Фонарь опирается на угольник двумя центрировочными винтами 6-12. С помощью этих винтов производится центровка нити лампы относительно оптической оси прибора.

Лампа находится внутри кожуха фонаря в специальном патроне. При замене перегоревшей лампы фонарь снимается с угольника, и лампа вынимается вместе с патроном.

Питание лампы осуществляется через трансформатор ТР-17 (рис. 7).

Трансформатор даёт выходное напряжение 18,5 в. при первичном напряжении 110, 127 и 220 в. переменного тока. Переключение

трансформатора на соответствующее первичное напряжение производится через окошко, расположенное снизу трансформатора.

Вторичное напряжение устанавливается переключателем и контролируется по вольтметру. Вторичное напряжение для ламп К-30 не должно превышать 17 в.

2. Корпус прибора.

На стороне корпуса микроскопа, обращённой к осветителю, находятся коллектор и рукоятка диска с набором светофильтра. Набор состоит из следующих светофильтров: синего СС-2, жёлто-зелёного ЖЗС-5, оранжевого ОС-11 и зелёного ЗС-1. При одном из крайних положений рукоятки диска светофильтры выключаются.

Слева от наблюдателя на корпусе прибора находится рукоятка 6-2 переключения фотоокуляров. Увеличение окуляров награвировано на шкале рукоятки цифрами "7", "10" и "15". Совмещение одной из цифр с точкой на неподвижной втулке соответствует включенному окуляру данного увеличения.

Посадочное устройство для фотографической кассеты имеет фиксирующие зажимы под кассету 9X12 и рамку с матовым стеклом. Узел апертурной диафрагмы укреплен на верхней части корпуса под оправой 6-7 осветительной линзы. Кольцо 6-8 с накаткой служит для изменения диаметра диафрагмы. Винтом 6-9 производится смещение диафрагмы с оси для создания косо́го освещения. Отчёты диаметров диафрагмы и величин смещения диафрагмы с оси производятся по соответствующим шкалам. Вращение апертурной диафрагмы осуществляется за накатанную часть корпуса. Фиксация поворота диафрагмы производится винтом 6-10.

3. Верхняя часть прибора.

В верхней части прибора находятся следующие его части.

а) осветительный тубус, в верхнем срезе которого имеется посадочное отверстие под объектив в виде гладкого кольца. На патрубке осветительного тубуса находится рамка 6-6 с линзами для работы в светлом и тёмном поле

(по схеме оптики линзами 2-10 и 2-21). Под кожухом 6-13 находится пентапризма. В нижней части кожуха 6-13 располагаются центрировочные винты 6-3 полевой диафрагмы. Изменение диаметра полевой диафрагмы производится рукояткой 6-4. Под корпусом полевой диафрагмы находится фотозатвор – шторка. При открытом фотозатворе свет идёт в фотокамеру. Фотозатвор открывается с помощью рукоятки 6-5.

б) визуальный тубус. При визуальном наблюдении тубус вдвигается в корпус до упора. При фотографировании он выдвигается до отказа. На верхнюю часть визуального тубуса может надеваться насадка с нейтральным светофильтром, прилагаемым к комплекту микроскопа.

в) микрометричная передача. Барашек микрометричной подачи выведен с правой стороны прибора. Расход микрометричной подачи – 3мм., цена деления барабана – 0,003 мм.

4. Предметный столик.

Квадратный, превращающийся предметный столик имеет крестообразное перемещение на 15 мм в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Эти перемещения производятся вращением рукояток. Величина перемещения отсчитывается по шкалам.

Для установки предметного столика на рабочую высоту нужно совместить индекс, имеющийся на его кронштейне, с точкой на корпусе. При этом микрометричная подача должна находиться в среднем положении.

Перемещение предметного столика по высоте осуществляется вращением рукоятки грубой подачи. Для фиксации положения предметного столика при исследовании тяжёлых объектов или при длительной работе без перефокусировки служит стопорный механизм, рукоятка 6-1 которого находится с левой стороны от наблюдателя.

Объект устанавливается на столике исследуемой поверхностью вниз.

Для крепления препарата пользуются клеммами или специальным, дополнительным устройством для зажима неустойчивых объектов.

К столику прилагаются три дополнительные металлические шайбы с разными по диаметру отверстиями.

При работе с объективом ОЭ-6 или ОЭ-3Т применяется металлическая шайба с наибольшим диаметром, поэтому при креплении препарата рекомендуется пользоваться устройством для зажима неустойчивых объектов.

Для наблюдения объектов в поляризованном свете к прибору прикладывается вкладыш с градусными делениями, заменяющий собой вращающийся столик.

Предметный столик и механизм грубой подачи рассчитаны на нагрузку до 10 кг.

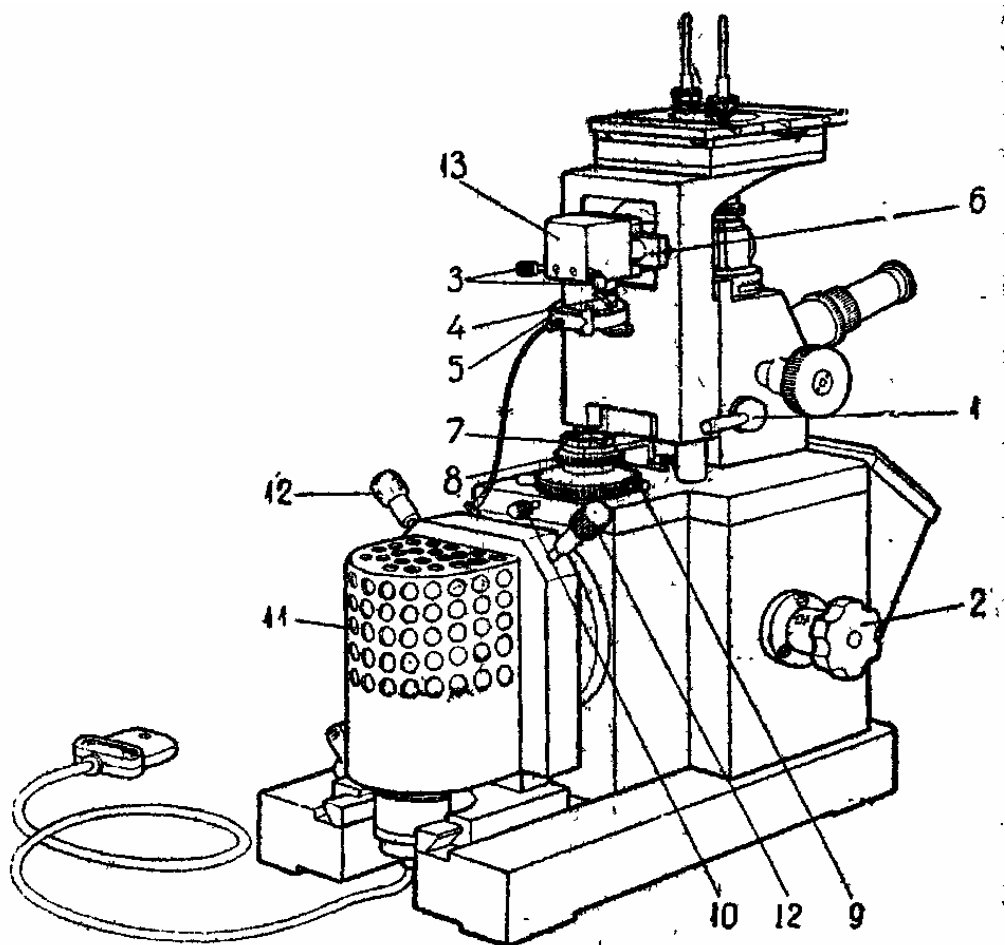


Рис. 4. Общий вид микроскопа

1 – стопорный винт грубой подачи; 2 – рукоятка окуляров; 3 – центрировочные винты полевой диафрагмы; 4 – рукоятка полевой диафрагмы; 5 – фотозатвор; 6 – рамка с дополнительными линзами; 7 – оправа осветительной линзы; 8 – кольцо апертурной диафрагмы; 9 – винт смещения апертурной диафрагмы; 10 – стопорный винт; 11 – осветитель; 12 – центрировочные винты; 13 – кожух пентапризмы.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ

Общие сведения

Микроанализ – исследование структуры и пороков металла с помощью микроскопа, т.е. при больших увеличениях. Исследованию подвергаются специально подготовленные шлифы.

Микроанализ позволяет определить структуру металла в литом, отожженном состоянии, а также различных видов термической обработки и пластической деформации. При помощи микроисследований можно установить качество металла, засоренность неметаллическими включениями, величину зерен металла и ряд других деталей структуры.

Микроструктурный метод исследования состоит из следующих этапов:

1. Подготовка шлифов – шлифование и полирование.
2. Травление шлифов – выявление структуры.
3. Исследование структуры, дефектов металлов и сплавов под микроскопом.

Образец металла, специально изготовленный для исследования его структуры под микроскопом, называется микрошлифом.

Неправильно шлифованные и полированные образцы могут исказить структуру металла, поэтому при изготовлении шлифов надо пользоваться определённым методом. Рассматривая поверхность, мы увидим, что она должна быть плоской и блестящей.

Шлифование производят на специальной металлографической бумаге разных номеров. Металлографическая бумага отечественного производства имеет следующие нумерации: 100, 120, 150, 180, 220, 240, 280, 320 (старое обозначение), 22, 16, 10, 8, 6, 5, 4, 3 (новое обозначение). Номера приведены в порядке уменьшения зернистости (марка КЗ).

Для грубого предварительного шлифования берут бумагу первых 4-х размеров.

Заканчивают шлифование бумагой 220-320 (5-3) с мелким абразивным зерном.

Шлифование производят вручную. Самую грубую бумагу кладут на толстое стекло, образец-шлиф прижимают рукой к бумаге торцовой стороной и водят им в одном направлении до уничтожения рисок. Поверхность шлифа должна полностью соприкоснуться с бумагой. Затем берут бумагу следующих размеров и продолжают шлифование, вводя шлифом в направлении, перпендикулярном к штрихам, оставшимся от предыдущего шлифования. Продолжают до тех пор, пока риски не будут уничтожены.

Полирование производится на вращательном круге, покрытом сукном, которое смачивается водой с мельчайшим порошком окиси Cr или Al. При полировании образец прижимают к поверхности круга всей плоскостью.

Полирование чугуна и стали должно продолжаться не более 3-5 минут до тех пор, пока не будут выведены последние риски, оставшиеся на шлифе.

Полирование считается законченным, если удалены все риски и шлиф имеет зеркальную поверхность. Полированный шлиф металла в не травленном виде под микроскопом имеет вид светлого круга. Только в случае

неметаллических включений окислов, сульфидов и других – последние видны без травления.

Поэтому после полирования для выявления структуры металла, шлиф подвергается травлению реактивами, из которых наиболее распространены:

Для травления сталей и чугуна:

А) 5% раствор HNO_3 в этиловом спирте;

Б) пикрат натрия / пикриновая кислота и едкий натр/-Реактив для отличия цементитов от феррита;

В) 4% раствор пикриновой кислоты в спирте;

Г) реактив для травления жаропрочных сплавов: 20 см³ Концентрированной HCl и 5 гр. CuSO_4 , 20 мм³ H_2O .

Сущность процесса выявления структуры металлов и сплавов травлением заключается в различной степени растворения и окрашивания отдельных структурных составляющих – зерен чистых металлов, твердых растворов, химических соединений. Различные структурные составляющие обладают различным электронным потенциалом. Когда полированная поверхность сплавов покрыта травителем, являющимся электролитом, одни структурные составляющие сплава, имеющие наиболее электроотрицательный потенциал, будут являться анодами и растворяться, а другие структурные составляющие сплава с более положительным потенциалом, будут являться катодами и сохраняться неизменными. Так как таких анодных и катодных участков много, то в результате травления на поверхности микрошлифа образуются многочисленные впадины и выступы, которые и характеризуют микроструктуру сплава.

При освещении протравленного микрошлифа на металлографическом микроскопе лучи света будут по разному отражаться от различно - протравившихся структурных составляющих. Структурные составляющие, протравившиеся слабо, отразят в поле зрения микроскопа больше лучей света и будут казаться светлыми; структурные составляющие, протравившиеся

сильно, отразят в поле зрения микроскопа, вследствие рассеяния света, меньше лучей и будут казаться темными.

Таким образом, на разнице в состоянии поверхности и количестве отраженных лучей и основано выявление структуры сплавов.

Перед травлением полированную поверхность шлифа, с целью обезжиривания, промывают спиртом, а затем шлиф погружают на непродолжительное время в реактив. Время травления различно для разных сплавов и структур. После травления шлиф промывают сначала водой, а затем спиртом, сушат прикладыванием к фильтровальной бумаге.

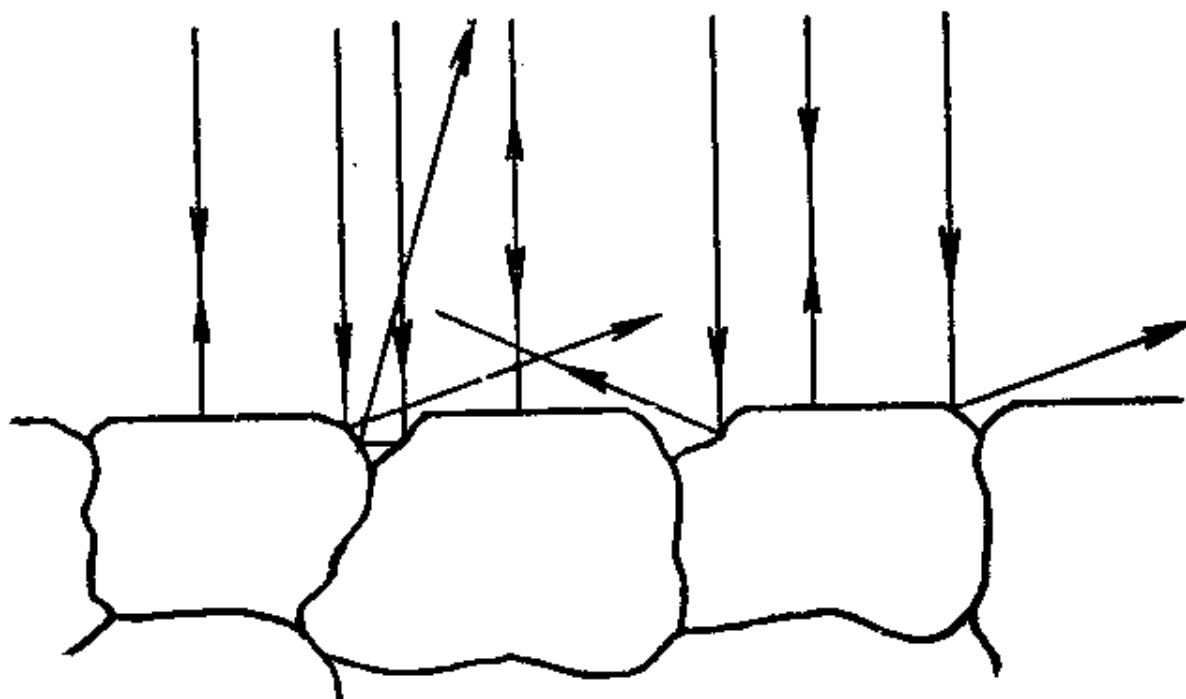


Рис.5 Ход лучей в металлографическом микроскопе при отражении от протравленной поверхности

На рис.5 (схема выявления микроструктуры) показано:

1. недостаточное травление не удалило слоя деформированного металла, образовавшегося на поверхности микрошлифа при полировании.

2. Легкое травление растворило только слой деформированного металла и выявило границы зерен благодаря повышенной их склонности к травлению.
3. Сильное травление подействовало на различно ориентированные зерна различно, и одни стали темнее, а другие – светлее.
4. Разная растворимость цементита (Fe_3C) и феррита ($-Fe$) в реактиве и получилось искажение размеров пластинок цементита и границ между ним и ферритом при травлении.

Исследования структур ведется на металломикроскопе.

Основное отличие металломикроскопа состоит в том, что исследование в нем ведется при отраженном свете.

После травления шлиф промывают водой, а затем спиртом и сушат.

Рассматривая протравленный шлиф под микроскопом определяют достаточно ли выявлена структура. Если структура выявлена неотчетливо, шлиф травят дополнительно.

Приборы, материалы, инструменты:

1. станок полировальный;
2. стекло;
3. металлографическая бумага;
4. реактивы для травления;
5. образцы шлифов.

Порядок выполнения работы:

1. Каждому студенту выдаётся образец из железа, малоуглеродистой стали или чугуна для изготовления микрошлифов методом механического шлифования и полирования размером: цилиндрические – 12

мм диаметром, высотой 10 мм или параллелепипед с площадью основания 12x12 мм, высотой 10 мм.

2. После изготовления микрошлифов рассмотреть их под микроскопом.

3. Выявить микроструктуру образцов химическим травлением.

Порядок оформления отчета:

1. Цель работы.

2. Кратко описать методику изготовления микрошлифов.

3. Привести зарисовку микроструктуры образцов до и после травления.

4. Кратко изложить другие способы изготовления микрошлифов и способы монтировки образцов.

1. Зарисовать оптическую схему микроскопа.

2. Порядок настройки микроскопа.

ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Цель работы: Ознакомиться с теорией кристаллизации реальных металлов и

сплавов и изучить процесс кристаллизации солей.

Кристаллизацией называется процесс образования кристаллов как из жидкой фазы (первичная кристаллизация), а также из твёрдой фазы (вторичная кристаллизация).

При затвердевании могут получаться кристаллы самой разнообразной формы и размеров. Это зависит от условий охлаждения слитка, а так же от того, с какой температурой металл попадает в изложницу, и какова была температура перегрева сплава и от ряда других факторов.

Любое фазовое состояние вещества (жидкого и твёрдого) характеризуется определённым значением свободной энергии, зависящей от температуры, что видно из рис. 6. Согласно законам термодинамики устойчивым фазовым состоянием вещества при определённых внешних условиях будет то, которое обладает наименьшей свободной энергией, поэтому при температурах ниже $T_{кр}$ устойчивым будет жидкое состояние, а при температурах ниже $T_{пл}$ – твердое. При температуре T_s обе фазы будут устойчивыми. При некотором охлаждении жидкого вещества ниже T_s начнётся процесс первичной кристаллизации, протекающий в две стадии: образование центров кристаллизации и рост кристаллов.

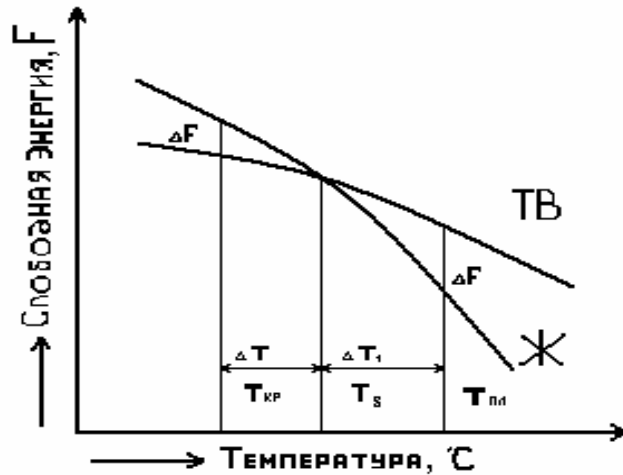


Рис. 6 График изменения свободной энергии жидкого и твёрдого состояния в зависимости от температуры

Установлено, что число центров кристаллизации, самопроизвольно зарождающихся в металле, и скорость роста кристаллов зависит от скорости охлаждения. При отсутствии переохлаждения, что соответствует температуре T_s (см. рис. 1) число центров кристаллизации и скорость роста кристаллов равны нулю и процесс кристаллизации не идет. Для того, чтобы начался процесс кристаллизации необходимо некоторое переохлаждение.

Для металлов, вследствие слабой переохлаждаемости жидкостей, на опыте удалось определить лишь восходящие ветви кривых числа центров кристаллизации и скорости роста (рис. 7).

С изменением степени переохлаждения изменяются соотношения числа центров получившихся кристаллов. Так, для двух возможных степеней переохлаждения увеличение скорости роста при увеличении степени переохлаждения меньше, чем увеличение числа центров. При кристаллизации с большими степенями переохлаждения это приводит к получению мелкозернистого кристалла. Значение скорости переохлаждения подтверждается практикой.

В технических металлах и сплавах большое влияние на размер зерна оказывают мельчайшие неметаллические взвеси, образующие при взаимодействии жидкого металла с материалом печи или изложницы, окислы

металлов, а также окислы, вводимые специально. Все эти нерастворимые включения играют роль центров кристаллизации, способствуя получению мелкозернистого кристалла.

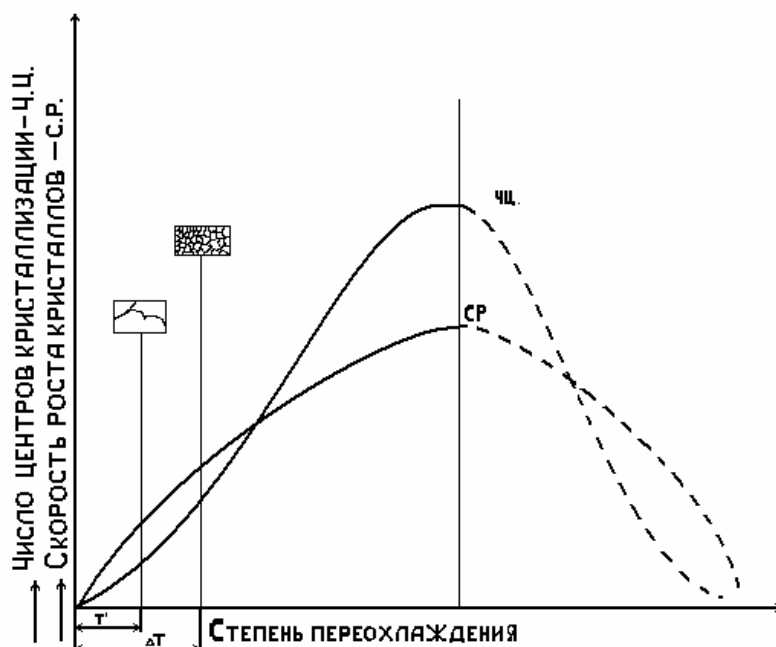


Рис. 7. Влияние степени переохлаждения на число центров кристаллизации ЧЦ и скорость роста кристаллов СР.

Процесс искусственного регулирования размеров зерна получил название модифицирование, а вещество, которое для этой цели используют — модификатор.

При затверждении стального слитка в изложнице, слиток получается неоднородным. Жидкая сталь попадает в изложницу при температуре 1540-1560⁰С и сразу же соприкасается со стенками изложницы, имеющими низкую температуру (20-80⁰С). Поэтому у стенки изложницы происходит очень быстрое охлаждение металла и образуется плотный слой мелких, различно ориентированных кристаллов. В дальнейшем скорость охлаждения стали уменьшается и рост кристаллов происходит по направлению, перпендикулярному к охлаждению поверхности изложницы. Здесь образуются вытянутые столбчатые кристаллы.

Внутренняя часть слитка охлаждается медленнее, чем наружная, отдача тепла идет в разных направлениях, поэтому во внутренней центральной зоне слитка кристаллы расположены беспорядочно, с произвольным направлением главных осей (рис. 8).

Чаще всего при кристаллизации солей образуется дендритная структура. Дендрит – древовидный кристалл.

Целью данной работы является изучение процесса кристаллизации из жидкого состояния в твердое.

Наблюдение за процессом кристаллизации ведут из раствора солей: $Pb(NO_3)_2$, $K_2Cr_2O_7$ и с помощью микроскопа изучают ее кристаллизацию, вызванную испарением растворителя капли, откуда и начинается кристаллизация.

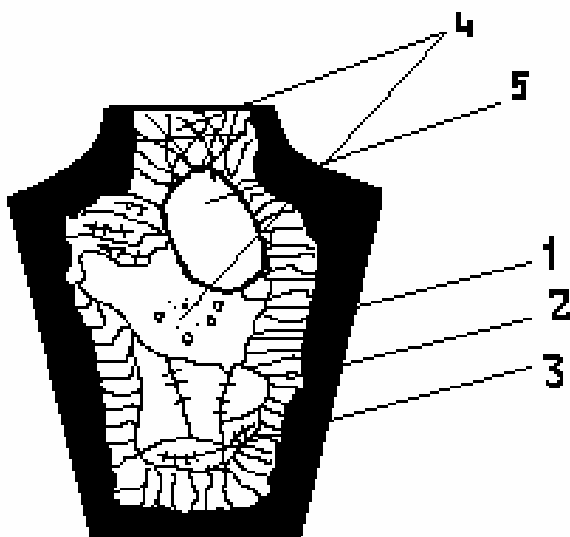


Рис. 8. Схема строения слитка:

- 1 - мелкозернистая структура; 2 - столбчатые кристаллы;
- 3 - различно ориентированные кристаллы;
- 4 - ликвационная зона; 5 – усадочная раковина.

Процесс кристаллизации растворителем соли можно условно разделить на три периода:

1. По мере испарения жидкости концентрация раствора изменяется, раствор постепенно переходит в состояние насыщения. Наибольшее испарение будет у краев

Поэтому в течение первого периода кристаллизации у краев капли образуется корка, состоящая из мелких кристаллов правильной формы, т.к. сильное переохлаждение вызывает большое число зародышей кристаллизации (А).

2. Во второй период кристаллизации растут крупные, так называемые столбчатые кристаллы (Б). Направление их нормально к краям капли. Здесь мы имеем большую скорость кристаллизации и ограниченное число зародышей.

3. В третий период кристаллизации, когда капля становится тонкой и испарение из середины идет значительно быстрее, возникают новые кристаллы, беспорядочно ориентированные и имеющие ясно выраженную форму дендритов (В), рис 9.

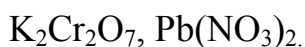
Процесс кристаллизации соли весьма аналогичен процессу затвердения металлического слитка. На этой аналогии затвердения соли и металлического слитка основана данная работа.



Рис. 9. Строение затвердевающей капли раствора соли $Pb(NO_3)_2 \times 50$

ПРАКТИКА РАБОТЫ

Группе студентов (4-5 человек) выдаются растворы солей:



Студенты наносят каплю насыщенного раствора какой-либо соли на стекло и с помощью микроскопа изучают ее, внимательно следя за всеми периодами кристаллизации до полного охлаждения капли. Этот процесс повторяют 2-3 раза.

По окончании затвердевания каждой капли студенты зарисовывают их структуру.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теорию кристаллизации реального слитка, влияние степени переохлаждения на кристаллизацию.
2. Изучить процесс кристаллизации растворов солей из жидкого состояния.

ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТЫ

1. биологический микроскоп МБС – 9
2. стекло
3. растворы солей $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, \text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

ОТЧЕТ

1. Привести и дать объяснения кривым скорости кристаллизации и числа зародышей от степени переохлаждения (для случая кристаллизации металлов).
2. Зарисовать строение слитка и схему дендрита.

3. Привести рисунок структуры из наиболее удачно затвердевших капель соли, дать пояснения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем особенности металлической связи и причины ее специфического влияния на свойства металлов?

2. Определение понятий: элементарная кристаллическая ячейка, координационное число и плотность упаковки.

3. Каковы основные типы кристаллических решеток в металлах?

4. Виды и сущность несовершенства кристаллического строения.

5. Строение краевых дислокаций. Причины их возникновения.

6. Природа диффузии в кристаллических телах.

7. Как изменяется свободная энергия при кристаллизации?

8. Что такое переохлаждение? Скорость роста и зарождения кристаллов.

9. Как влияет переохлаждение на зернистую структуру металлов?

10. Что такое модификаторы 1 и 11 рода? Их роль в технике.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сплавы железа с углеродом, содержащие до 2 % углерода, называются сталями. Под равновесным состоянием сплава понимается состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве полностью закончились в соответствии с диаграммой состояния (рис.10). Такое состояние наступает только при медленном охлаждении.

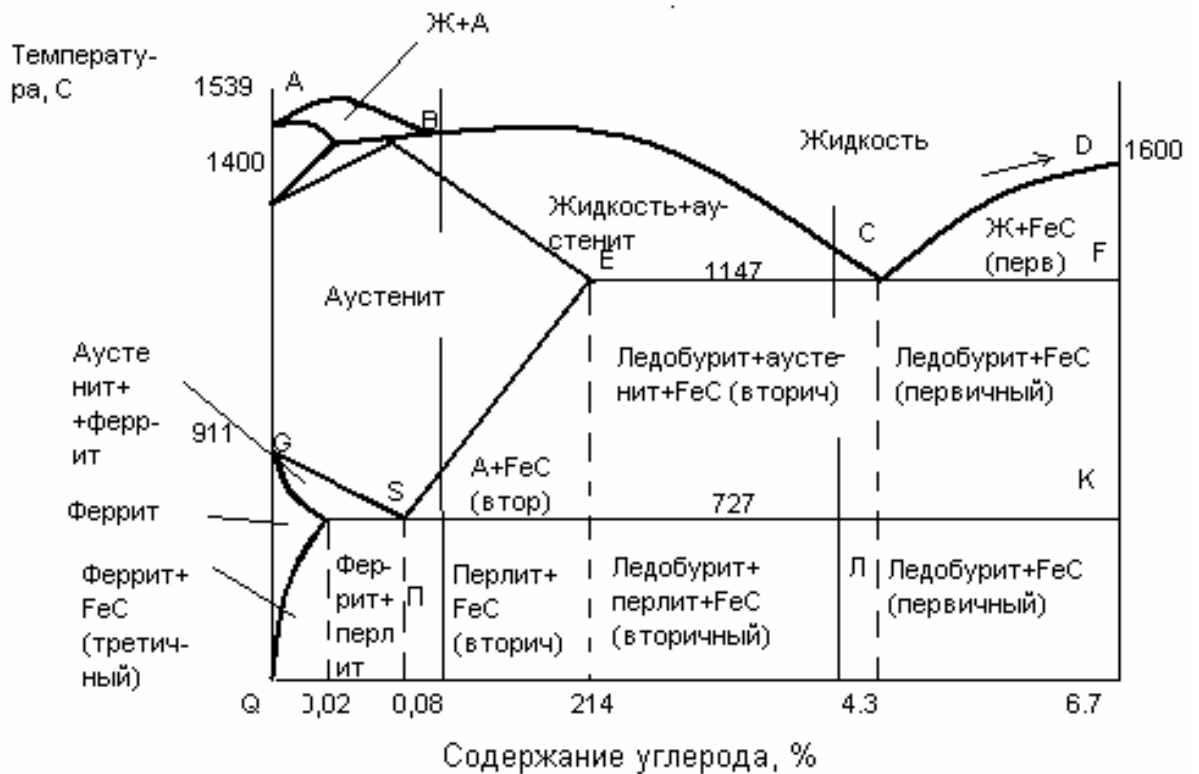


Рис.10 Структурные составляющие системы железо-углерод следующие:

1. **Феррит** (α) – твёрдый раствор (внедрения) углерода в решётке α -железа, максимальная растворимость углерода в α -железе равна около 0,006 % при 0° и около 0,02 % при 723°. Кристаллическая решётка феррита – объёмноцентрированный куб. Феррит магнитен и весьма пластичен, обладает малой твёрдостью (НВ 70-80) и встречается в структуре доэвтектоидных сталей в виде отдельных зёрен, имеющих светлую окраску (фиг. 11) (здесь и далее фигуры см. в Атласе макро- и микроструктур металлов и сплавов Н.Ф. Болховитинова).
2. **Цементит** (Fe C) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа). Содержит 6,67 % углерода, обладает высокой твёрдостью (НВ 800), малой пластичностью. Встречается в виде сетки или отдельных включений в структуре заэвтектоидных сталей или белых чугунов. Имеет, как и феррит, светлый вид, но не имеет формы зёрен, как у феррита (фиг.13, 14).
3. **Перлит** – механическая смесь (эвтектоид) феррита и цементита. Содержит 0,80 % углерода и образуется при 727° из аустенита. Если цементит расположен в виде мелких зёрен в Феррите, то имеем зернистый перлит, если в виде пластин – пластинчатый перлит (фиг. 15, 16).
4. **Аустенит** (γ) – твёрдый раствор (внедрения) углерода в γ -железе. Максимальная растворимость углерода в аустените при 1130° равна 2.0 %. Кристаллическая решётка аустенита – гранецентрированный куб, причём атом углерода помещается в центре куба. Аустенит немагнитен, вязок. Зёрна аустенита окрашены в светлый цвет, но в отличие от зёрен феррита имеют характерные двойники (фиг. 12).

Стали с содержанием до 0,8 % углерода называются **доэвтектоидными**. Их структура состоит из феррита и перлита. С увеличением содержания углерода количество феррита в доэвтектоидных сталях уменьшается, а перлита – увеличивается (рис. 19-21). При содержании в стали 0,80 % С количество перлита равно 100%.

Сталь с содержанием 0,8 % углерода является *эвтектоидной* и имеет структуру перлита. В зависимости от формы частиц цементита перлит бывает пластичным и зернистым.

Стали, содержащие более 0,80 % С, называются *заэвтектоидными*. Структура заэвтектоидных сталей при комнатной температуре состоит из перлита и вторичного цементита, причём цементит может располагаться в виде сетки, зёрен или игл.

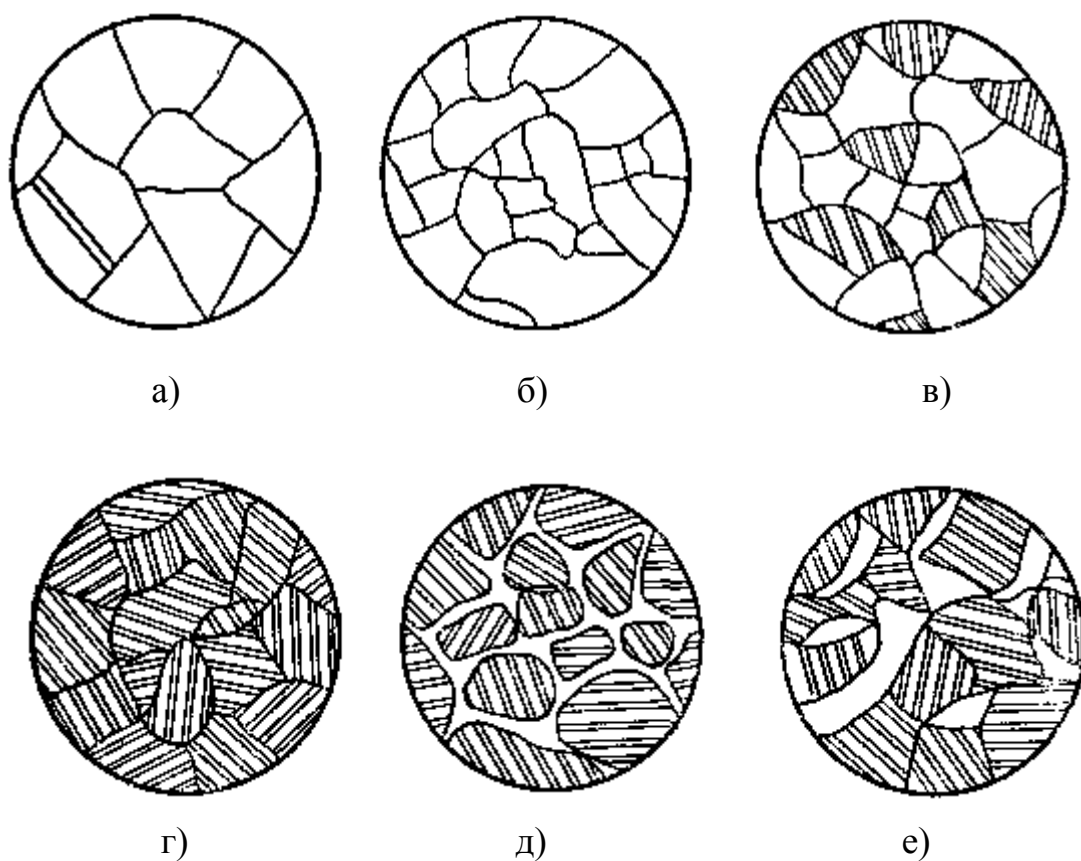


Рис. 11

Используя правило отрезков и диаграмму железо-цементит, можно, зная соотношение площадей, занятых перлитом и ферритом, определить содержание углерода в стали, помня, что перлит содержит 0,80 % углерода. Например, пусть имеем микрошлиф, на котором площади, занятые перлитом и ферритом, составляют соответственно по 50 %, отсюда находим содержание углерода в стали:

$$C = (0,8 * 50) / 100 = 0,04 \%$$

Данный образец изготовлен из стали с содержанием 0,4 %.

2. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Практическое ознакомление с методикой металлографического анализа сталей в равновесном состоянии.

3. ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТ

1. Набор микрошлифов.
2. Микроскоп металлографический МИМ-7.
3. Атлас микроструктур.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Рассмотреть под микроскопом, изучить и зарисовать микроструктуры образцов из отожжённой стали с различным содержанием углерода.

Нумерация образцов:

- 100 – аустенит;
- 101 – феррит;
- 102 – сталь с 0,15 % углерода;
- 103 – сталь с 0,3 % углерода;
- 102 – сталь с 0,45 % углерода;
- 102 – сталь с 0,6 % углерода;
- 102 – сталь с 0,8 % углерода;
- 102 – сталь с 1,2 % углерода.

При изучении структуры образцов сравнивать с фотографиями Атласа микроструктур (фиг. 11, 12, 13, 14, 16, 19, 20, 21).

2. Для любой из сталей (с произвольно выбранным содержанием углерода), пользуясь правилом фаз, построить кривую охлаждения, дать её анализ.

5. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЁТА

1. Цель работы.
2. Дать характеристику составляющих структур.
3. Описать и зарисовать структуры образцов.
4. Нарисовать кривую охлаждения стали и дать её анализ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём различие между эвтектическим и эвтектоидным превращениями?
2. Дайте определение основных фаз системы железо-цементит: феррит, аустенит, цементит, перлит.
3. В чём различие между техническим железом, сталью, чугуном по составу, строению и свойствам?
4. Классификация сталей. Их различие по составу, строению, свойствам.
5. Как влияет повышение содержания углерода на механические свойства сталей?
6. Принцип классификации стали по назначению.
7. В чём различие между сталью обычного и повышенного качества, маркировка?
8. Маркировка, назначение и особенности автоматных сталей.
9. Маркировка, назначение и особенности сталей для фасонного литья.
10. Маркировка, назначение и особенности инструментальных углеродистых сталей.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

Сплавы железа с углеродом, содержащие от 2 до 6,67 % углерода, называются чугунами. Основные физические, механические свойства чугуна зависят от количества и состояния находящегося в нем углерода. В чугунах углерод может находиться в виде цементита (белый чугун) и в виде графита (серый, ковкий, высокопрочный чугун).

Белый чугун в зависимости от содержания углерода делится на доэвтектический (от 2 до 4,3% C), эвтектический (4,3% C) и заэвтектический (более 4,3 % до 6,67 %). Белый чугун образуется из жидкой фазы при быстром охлаждении и соответствующем влиянии других элементов, входящих в состав чугуна.

Все белые чугуны обладают высокой твердостью, хрупкостью, трудно обрабатываются, как конструкционный материал практически не применяются (применяются в виде тонкого износостойкого слоя).

Доэвтектический чугун имеет в своей структуре перлит, вторичный цементит и ледебурит (фиг. 35а, 39а. Здесь и далее фиг.см. в Атласе макрои микроструктур металлов и сплавов К.Ф.Болховитинова).

Эвтектический белый чугун состоит из эвтектики-ледебурита (фиг.18)

Ледебурит – эвтектика состоящая из перлита и цементита.

Заэвтектический белый чугун состоит из ледебурита и цементита (первичного и вторичного).

Белые чугуны именуются так по виду излома. Основное их применение – производство стали и получение ковких чугунов.

Серые чугуны. Основная часть углерода в них находится в свободном состоянии в виде лепестков графита (рис. 12.а). Процесс выделения углерода в свободном состоянии в виде графита носит название процесса графитизации и происходит в процессе кристаллизации при охлаждении, а также непосредственно в процессе охлаждения.

Соответствующее влияние на процесс графитизации оказывают постоянные примеси в чугуне. Графитизации чугуна способствуют элементы: Si, Al, Ni и Cu, поэтому в практически применяемых серых чугунах всегда содержится от 1,5 до 3,5 % Si. По степени графитизации различают несколько видов серых чугунов: перлитный, перлитно-ферритный и ферритный чугун.

Таблица 1 Серые чугуны маркируются по ГОСТ 1412-70 по механическим свойствам.

Марка	Предел прочности, кгс/мм		Относительное удлинение, %	Назначение
	при растяжении	при изгибе		
Серые чугуны (графит пластинчатой формы) с металлической основой.				
	<u>ферритной</u>			
СЧ 12-28	12	28	1	Детали неответственного назначения (крышки)
СЧ 15-32	15	32	1	

Серые чугуны обладают достаточно высокими механическими свойствами, легко обрабатываются, обладают высокими литейными свойствами. Качество серого чугуна зависит от количества, формы и величины выделившегося графита, от состояния металлической основы. Меньшая прочность чугуна по сравнению со сталью объясняется тем, что

серый чугун представляет собой сталь, пронизанную мельчайшими трещинками, заполненными графитом. Поэтому серые чугуны используют для менее ответственного назначения и при отсутствии ударных нагрузок.

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
	<u>ферритно- перлитной</u>			
СЧ 18-36	18	36	1	Станины станков и механизмов, поршни, цилиндры
СЧ 21-40	21	40	1	
	<u>перлитной</u>			
СЧ 24-44	24	44	1	Детали, работающие наизнос: тормозные барабаны, шестерни, цилиндры
СЧ 28-48	28	48	1	
СЧ 32-52	32	52	1	

Ковкие чугуны так условно названы чугуны благодаря их высокой прочности и значительно более высокой вязкости по сравнению с серыми чугунами. Таблица 2 Ковкие чугуны маркируются по ГОСТ 1215-59.

Марка	Предел прочности, кгс/мм		Относительное удлинение	Назначение
	при растяжении	при изгибе		
Ковкие чугуны (графит хлопьевидной формы)с металлической основой.				
		<u>ферритной</u>		
КЧ 35-10	35		10	фланцы, муфты
КЧ 37-12	37		12	

Структура ковких чугунов до травления содержит хлопьевидные участки графита (рис. 12.б). Такое состояние углерода менее разобщает металлическую массу и делает ее более прочной и вязкой.

Ковкий чугун получают из белого доэвтектического чугуна путем ступенчатого отжига при 1000 и 750 , при этом происходит распад цементита и свободный углерод выделяется в виде хлопьев графита.

Продолжение табл. 2

	<u>ферритно-перлитной</u>			
КЧ 45-6	45		6	задний мост автомобиля, ступицы

Высокопрочные чугуны получают при выплавке серого чугуна с присадкой небольшого количества магния, цезия или теллура (модификатора).

Таблица 3 Высокопрочные чугуны маркируются по ГОСТ 7293-70.

Марка	Предел прочности, кгс/мм		Относительное удлинение %	Назначение
	при растяжении	при изгибе		
Высокопрочные (магниевые) чугуны (графит шаровидной формы) с металлической основой.				
	<u>ферритной</u>			
ВЧ 45-5	45	-	5	Траверы прессов, фланцы, цилиндры, шестерни
	<u>перлитной</u>			
ВЧ 50-2	50	-	2	Цилиндры, поршни

Наиболее целесообразно вводить магний вместе с высокопроцентным ферросилицием.

Структура высокопрочного чугуна до травления состоит из металлической основы и включений шаровидного графита (рис. 12.в).

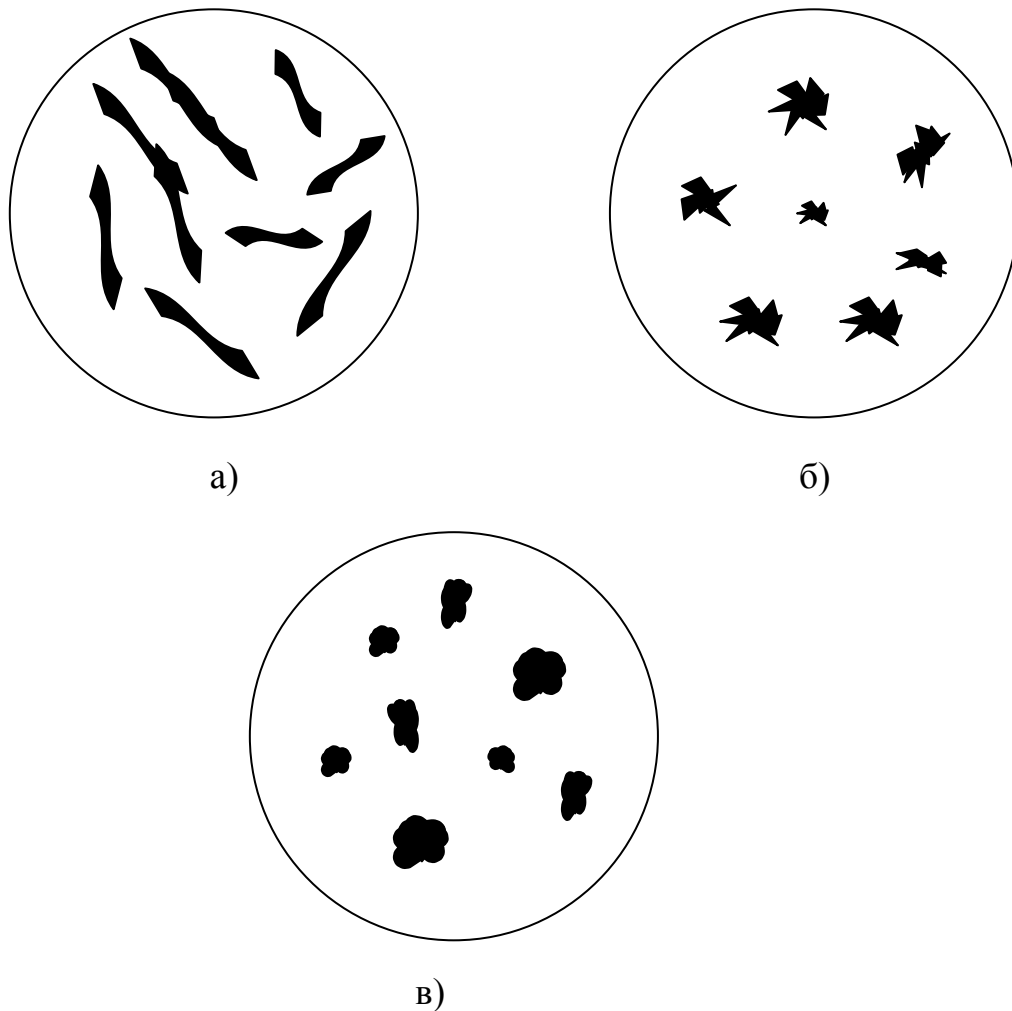


Рис. 12

Сочетание высокой прочности и пластичности этих чугунов позволяет изготавливать из них ответственные изделия, в том числе коленчатый вал двигателя М-21,СМД-14.

Металлографический анализ чугунов производится по ГОСТ 3443-57 для серого, ковкого и высокопрочного чугунов до травления по форме и размеру графита и для всех чугунов после травления- по металлической основе.

Серые, ковкие и высокопрочные чугуны после травления металлической основы могут быть ферритными, ферритно-перлитными и перлитными. Перлитные чугуны обладают высокой износостойкостью и применяются как антифрикционный металл, ферритно-перлитные чугуны применяются для изготовления корпусных деталей.

При неполном распаде цементита в процессе графитизации в структуре чугуна присутствует графит, перлит, цементит(так называемые половинчатые чугуны). Присутствие цементита ухудшает обрабатываемость резанием чугуна.

2.ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Практическое ознакомление с методикой металлографического анализа чугунов.

3.ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТ.

1. Набор микрошлифов.
2. Микроскоп металлографический МИМ-7
3. Атлас микроструктур.

4.ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Рассмотреть под микроскопом, изучить и зарисовать микроструктуры образцов чугуна по форме графита(образцы не травленные):
 - 202- серый чугун
 - 203- ковкий чугун
 - 204- высокопрочный чугун (магниевого)
2. рассмотреть под микроскопом, изучить и зарисовать микроструктуру после травления:
 - 201- белый чугун
 - 205- половинчатый чугун

5.СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Цель работы;
2. Описать структуру различных видов чугунов, нарисовать кривую охлаждения белого чугуна с произвольным содержанием углерода, используя правило фаз;
3. Описать и зарисовать рассмотренные структуры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как построена эвтектика и эвтектоид в сером и белых чугунах?
2. Классификация и маркировка чугунов?
3. В чем сущность модифицирования чугуна?
4. Каковы сравнительные механические свойства серого, ковкого и высокопрочного чугунов?
5. В чем различие в строении ковкого и модифицированного чугунов?
6. Что такое ледебурит?
7. Классификация белых чугунов: их различие по строению и свойствам?
8. В чем различие между белыми и серыми чугунами?
9. Что такое половинчатый чугун?
- 10.Классификация чугунов по форме графита и строению металлической основы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУР ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомить студентов с микроструктурами и маркировкой цветных сплавов.

Все металлы и их сплавы, за исключением железа и его сплавов, относятся к цветным.

Сплавы на основе меди и алюминия и титана составляют основную группу применяемых в машиностроении цветных сплавов. Эти сплавы разнообразны и в большинстве случаев имеют сложный состав.

Основными структурными составляющими медных и алюминиевых сплавов являются твердые растворы, механические смеси, химические или интерметаллические соединения.

Структура цветных сплавов по сравнению со структурой сталей отличается большим размером зерен, поэтому микроанализ их производится при увеличении в 100, 200 раз. Структурные составляющие многих цветных сплавов под микроскопом имеют одинаковый вид, что затрудняет микроанализ и требует предварительных данных об их составе и термообработке.

Алюминиевые сплавы

Малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость, высокие показатели удельной /относительной/ прочности алюминиевых сплавов обеспечивают их широкое применение во всех областях техники в качестве конструкционного материала.

Все алюминиевые сплавы в зависимости от технологии изготовления из них полуфабрикатов и деталей делятся на две группы: деформируемые и литейные.

I. Деформируемые (дуралюмин и кованные) - сплавы алюминия с медью, магнием и другими элементами (железом, марганцем, кремнием). К этим сплавам, в основном, предъявляются два требования: высокая прочность и способность поддаваться пластической деформации. Деформируемые сплавы

алюминия готовят в виде листов, лент, профилей, прутков, труб, проволоки и в виде поковок. Наиболее распространенным является дуралюмин, который после термообработки (закалка-старение) дает высокую прочность. Для повышения коррозионной стойкости, изделия из дуралюмина подвергают плакированию. Микроструктура отожженного дуралюмина содержит светлые зерна твердого раствора и темные включения Mg_2Si , $CuAl_2$, $FeAl_3$. После закалки структура содержит только зерна α -твердого раствора. При старении по границам зерен выделяются мелкие фазы $CuAl_2$, $CuMgAl_2$, чем и объясняется резкое повышение свойств дуралюмина после термообработки.

Марки деформируемых сплавов: Д1, Д2, Д6, АК2, АК4.

2. **Литейные (силумины)** - сплавы алюминия с кремнием (до 14% Si) применяют для фасонного литья. Требования к ним следующие: хорошая жидкотекучесть, малая усадка, высокая прочность, хорошая обрабатываемость. Высокая прочность силуминов достигается после модифицирования натрием и термообработки (закалка + искусственное старение). Добавка меди повышает механические свойства и обрабатываемость.

Микроструктура силуминов содержит светлые пятна твердого раствора и эвтектику из твердого раствора и кремния.

Марки литейных сплавов: АЛ2, АЛ4, АЛ17В, АЛ8, В300 и т.д.

Медные сплавы

Чистая медь применяется в качестве электропроводящего, теплопроводящего и уплотнительного материала. Марки М1, М2. В промышленности широкое применение нашли сплавы меди: латуни и бронзы

1. **Латунь** - сплав меди с цинком. Техническое применение имеют сплавы, содержащие до 45% цинка. При содержании цинка до 39% будет однофазная латунь (пластинчатая), она может применяться для производства тонких листов и проволоки. Структура однофазной латуни после отжига состоит из характерных зерен твердого раствора с двойниками. Различная окраска зерен

объясняется анизотропией свойств. Если цинка в латуни содержится более 39%, то это будет двухфазная латунь (хрупкая), может применяться для прокатки в горячем состоянии. Структура двухфазных латуней состоит из светлых зерен твердого раствора α , окруженного твердым раствором β . Применяют также специальные латуни, содержащие и другие элементы: алюминий, свинец, олово и т.д. Марки латуней -Л70, Л92, Л62, ЛС59-1 и т.д.

2. **Бронзы** – сплав меди со всеми элементами кроме цинка с Al, Be, Sn, Pb, P, Fe, Mn, Si. В зависимости от элемента, введенного в медный сплав, бронзы бывают алюминиевые, оловянистые, свинцовые, бериллиевые, кремнистые.

Бронзы обладают высокой коррозионной устойчивостью к хорошей обрабатываемостью резанием. Многие из них имеют хорошие литейные свойства и высокие антифрикционные свойства.

Большое разнообразие бронз и различное влияние добавок и видов обработки на структуру бронзы значительно затрудняет их металлографический анализ.

Микроструктура конкретной бронзы определяется диаграммой состояния и термообработкой. При малом содержании элементов получаются однофазные бронзы, имеющие структуру однородного твердого раствора.

При количестве элементов, превышающем необходимое для образования твердого раствора, получаются двухфазные бронзы, имеющие структуру из твердого раствора и эвтектоида.

Марки бронз - Бр.ОФ10-1, Бр.АЖМц10-3-15, БрКМц3-1, Бр.Б2.

Титан и его сплавы

Титан обладает низкой плотностью, высокими прочностью и коррозионной стойкостью. Охрупчивается водородом, чувствителен к содержанию примесей, из - за которых резко теряет пластические свойства.

Преимущественное применение титан получил в авиа- и ракетостроении, морском судостроении. Технический титан технологичный металл. Из него изготавливают различные полуфабрикаты. Он хорошо деформируется и сваривается. $\sigma_{\text{в}} = 600 \dots 700$ МПа. Марки ВТ1-0, ВТ1-00. Обладает полиморфным превращением. $\alpha \leftrightarrow \beta$.

Подобно классификации легированных сталей, титановые сплавы классифицируют по структуре, которую они получают после охлаждения на воздухе (нормализация) и соответственно с этим сплав разделяют на α -сплавы; $\alpha+\beta$ -сплавы и β -сплавы.

Современные промышленные α -сплавы сравнительно малопластичны, не охрупчиваются при термической обработке. К сплавам этого класса относится чистый титан и сплавы титана с алюминием; β -сплавы наиболее пластичны, но наименее прочны: при нагреве не испытывают фазовых превращений. Сплавы $\alpha+\beta$ более прочны, чем однофазные, хорошо куются и штампуются, поддаются термической обработке, охрупчиваются лишь при известных условиях термической обработки (появление β -фазы). При закалке титановых сплавов образуется мартенситная структура игольчатого строения. Легирующие элементы Al, O, N, C в титановом сплаве расширяют α - область (α - стабилизаторы), а V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zr, Nb, Mo, Sn - β - область (β - стабилизаторы). Титановые сплавы разделяют на α , β , $\alpha+\beta$ сплавы. α - сплавы сравнительно мало пластичны и неохрупчиваются при ТО. β - сплавы наиболее пластичны, но наименее прочны, не испытывают полиморфных превращений, $\alpha+\beta$ сплавы - более прочные, чем однофазные, хорошо деформируются, обрабатываются ТО (закалка и старение, азотирование) и слабо охрупчиваются. Механические свойства промышленных титановых сплавов приведены в таблице.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Металлографический микроскоп.
2. Коллекция шлифов.
3. Атлас микроструктур.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Изучить маркировку цветных сплавов. Расшифровать обозначение каждого сплава коллекции.
2. Установить шлиф на предметный столик микроскопа и настроить микроскоп.

3. Зарисовать видимую под микроскопом микроструктур и указать стрелками структурные составляющие.
4. Расшифровать предложенные преподавателем марки цветных сплавов.
6. Оформить отчет и предъявить преподавателю.

Механические свойства промышленных титановых сплавов и содержание легирующих элементов в них. Таблица.

Марка	Тип сплава	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	a_n , кДж/м ²	Al, %	Mo, %	Mn, %	V, %
BT4	α	780-880	675-780	15-22	20-30	-	4.5-6	-	0.8-2	-
OT4	α	675-835	540-635	15-40	25-55	350-650	3.5-5	-	0.8-2	
BT6	$\alpha+\beta$	880-980	780-880	8-13	30-45	400-800	5.5-7	-	-	5.5-7
BT8	$\alpha+\beta$	1030-1150	930-1075	9-15	30-55	300-600	6-7.3	2.8-4	-	0.3%Cr

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Что называется бронзой?
2. Как классифицируются и маркируются бронзы?
3. Где применяются бронзы?
4. Что называется латунью?
5. Как классифицируется и маркируются латуни?
6. Каково предельное содержание цинка в латуни?
7. Как изменяются механические свойства латуни с повышением содержания цинка?
8. Где применяются латуни?
9. Какие типы сплавов характерны для титановых сплавов?
10. Где применяются титановые сплавы?
12. Что называется модифицированием, как оно проводится и какова его сущность?
13. Как влияет модифицирование на структуру и свойства силумина?

II.МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ

Цель работы:

1. определение опытным путём твёрдости металлов различными методами.
2. установление зависимости между твёрдостью металлов, определённой различными способами.

Содержание работы.

1. изучение устройства и работы твердомеров
2. определение величины твёрдости металлических сплавов и других материалов при помощи твердомеров различных систем.
3. приобретение навыков производства испытаний

Твёрдость – это свойство металла сопротивляться проникновению в него другого более твёрдого тела определённой формы и размеров.

Наиболее широко применяется следующие способы измерения твёрдости:

1. вдавливание стального шарика \метод Бринелля\
2. вдавливание алмазного конуса или стального шарика \ метод Роквелла\
3. вдавливанием четырехгранной пирамиды \метод Виккерса\

I. Измерение твёрдости вдавливанием стального шарика.

Твёрдость по методу Бринелля определяют путём вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10,5 или 2,5 мм в испытываемую плоскую поверхность под действием заданной нагрузки в течение определенного времени.

Выбор диаметра шарика, нагрузки и времени выдержки под нагрузкой производится в зависимости от рода и толщины испытуемого материала или образца. В таблице 1 приведены установленные ГОСТом нормы испытаний по Бриннелю.

Число твёрдости по Бриннелю определяется как отношение нагрузки к сферической поверхности отпечатка и обозначается буквой НВ.

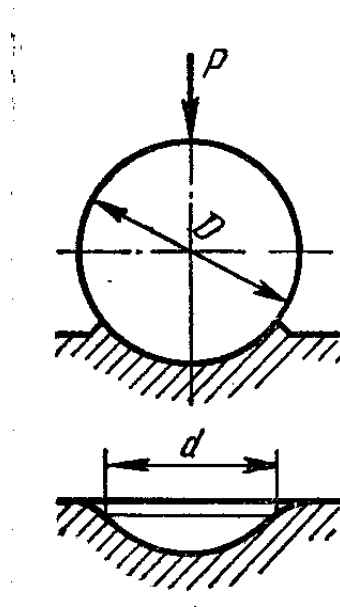


Рис. 13

Число твёрдости по Бриннелю определяется по формуле

$$H_{\text{в}} = \frac{P}{F} \text{ (кг / мм}^2\text{)} \quad \backslash 1 \backslash$$

где P – нагрузка на шарик, а F - площадь отпечатка \сегмента\.

Поверхность шарового сегмента

$$F = \pi d h \quad \backslash 2 \backslash$$

где d – диаметр шарика, а h – глубина отпечатка в мм.

Но проще измерить диаметр отпечатка d, тогда

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad \backslash 3 \backslash$$

подставляя значение h в формулу \2\ получим:

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

$$H_B = \frac{2p}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

а подставляя в формулу (1) получим :

чем твёрже металл, тем меньше диаметр отпечатка.

Диаметр отпечатка измеряется при помощи специальной лупы имеющей шкалу с ценой деления в 0,1 мм.

Во избежания сложных вычислений числа твёрдости для каждого отпечатка на практике пользуется готовыми таблицами, в которых приведены числа твёрдости в зависимости от диаметра отпечатков и нагрузки (смотри таблицу 2).

Для определения твердости по Бриннелю пользуются твердомером типа ТШ (фиг. 8). В верхней части станины имеется шпиндель 6, в который вставляется наконечник с шариком. Столик 1 служит для установки на нем испытуемого образца

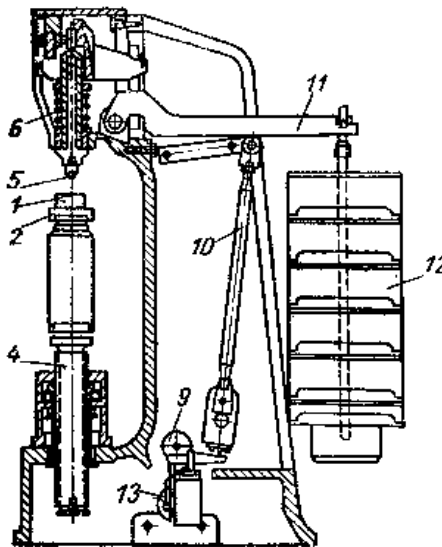


Рис. 14 Внешний вид прибора

Таблица 1

Выбор диаметра шарика и нагрузки в зависимости от твёрдости и
толщины испытываемого образца

Материал	Интервал твёрдости в числах Бриннеля	Мнимая толщина испыт. Образца в мм	Соотношение между нагрузкой и диаметром шарика	Диаметр шарика в мм	Нагрузка Р в кг	Выдержка под нагрузкой в сек.
Черные металлы	140-450	6-3	$P=30D^2$	10	3000	10
		4-2		5	750	
		<2		2.5	187.5	
Черные металлы	140	>6	$P=10$	10	1000	10
		6-3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
Цветные металлы	130	6-3	$P=30D^2$	10	3000	30
		4-2		5	750	
		<2		2.5	187.5	
То же	35-130	9-5	$P=1D^2$	10	2000	30
		6-3		5	200	
		<3		2.5	62.5	
То же	8-35	>6	$P=2.5$	10	250	60
		4-3		5	62.5	
		<3		2.5	15.6	

Перевод диаметра отпечатка в единицы микротвердости

Диаметр отпечатка	Число твёрдости при нагрузке а кг			Диаметр отпечатка	Число твёрдости при нагрузке в кг		
	30D ²	10D ²	2.5D ²		30D ²	10D ²	2.5D ²
1	2	3	4	5	6	7	8
3.00	415	-	34,6	4.55	174	58,1	14.5
3.05	401	-	33,4	4.60	170	56,8	14.2
3.10	388	129	32,3	4.65	167	55,5	13.9
3.15	375	125	31,3	4.70	163	54,3	13.6
3.20	363	121	30,3	4.75	159	53,0	13.3
3.25	352	117	29,3	4.80	156	51,9	13.0
3.30	341	114	28,4	4.85	152	50,7	12.7
3.35	331	110	27,6	4.90	149	49,6	12.4
3.40	321	107	26,7	4.95	146	48,6	12.2
3.45	311	104	25,9	5.00	143	47,5	11.9
3.50	302	101	25,2	5.05	140	46,5	11.6
3.55	293	97,7	24,5	5.10	137	45,5	11.4
3.60	285	95,0	23,7	5.15	134	44,6	11.2
3.65	277	92,3	23,1	5.20	131	43,7	10.9
3.70	269	89,7	22,4	5.25	128	42,8	10.7
3.75	262	87,2	21,8	5.30	126	41,9	10.5
3.80	255	84,9	21,2	5.35	123	41,0	10.3
3.85	248	82,6	20,7	5.40	121	40,2	10.1
3.90	241	80,4	20,1	5.45	118	39,4	9.86
3.95	235	78,3	19,6	5.50	116	38,6	9.66
4.00	229	76,3	19,1	5.55	114	37,9	9.46
4.05	223	74,3	18,6	5.60	111	37,1	9.27

Продолжение табл. 2

4.10	217	72.4	18.1	5.65	109	36.4	9.10
4.15	212	7.06	17.6	5.70	107	35.7	8.93
4.20	207	68.8	17.2	5.75	105	35.0	8.76
4.25	201	67.1	16.8	5.80	103	34.3	8.59
4.30	197	65.5	16.4	5.85	101	33.7	8.43
4.35	192	63.9	16.0	5.90	99.2	33.1	8.26
4.40	187	62.4	15.6	5.95	97.3	32.4	8.11
4.45	183	60.9	15.2	6.00	95.5	31.8	7.96
4.50	179	59.5	14.9				

ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТЫ

1. Автоматический рычажный пресс Бринелля
2. Образцы стали для измерения твердости
3. Микроскоп Типа МПБ-2 для измерения диаметра отпечатка

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

1. Ознакомится с данным руководством
2. Получить образцы для испытаний
3. По таблице 2 определить режим испытаний

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1 Изучить метод определения твердости по Роквеллу, и область его применения;
- 1.2 Изучить устройство твердомера и приобрести навыки пользования твердомером;
- 1.3 Определить твердости заданных образцов по шкале А,В,С;
- 1.4 Составить отчет.

2. ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТЫ

Твердомер ТК-2, образцы из стали для замера твердости, сменные наконечники, отвертка.

3. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

3.1 Твердостью называется способность одного тела сопротивляться проникновению (внедрению) в него другого более прочного тела.

Твердость характеризует сопротивление металла пластической деформации. По твердости можно судить о многих свойствах материала, например, о сопротивляемости истиранию. о режущих свойствах, о способности обрабатываться резанием и т.д. Кроме того, для сплавов, образующих шейку

при испытании на растяжение имеется зависимость между твердостью и пределом прочности на растяжение.

Определение твердости по методу Роквелла основано на вдавливании в испытуемый материал стального закаленного шарика диаметром 1,59 мм (1/16) или алмазного конуса с углом при вершине 120° и последующем измерении глубины отпечатка. Вдавливание производится последовательными нагрузками: предварительной нагрузкой, равной 100Н, и основной, зависящей от твердости и испытуемого материала.

Твердость по Роквеллу определяется по формуле:

$$HR = (K - (h_1 - h)) / C$$

где K - постоянная величина, равная для алмазного конуса 0,2;
для стального шарика 0,26;

h_1 - глубина проникновения шарика (конуса), полученная после снятия основной нагрузки, мм;

h - глубина проникновения шарика (конуса)

c - цена деления индикатора, равна 0,002 мм.

Значение твердости на приборе Роквелла снимают непосредственно со шкалы индикатора, градуировка которой является величиной безразмерной. Прибор имеет три шкалы В, С и А.

Шкала В (красная) предназначена для испытания твердых материалов, имеющих твердость по Бринелю до 2300 МН/м. Для вдавливания применяется стальной шарик; основная нагрузка 1000 Н, твердость обозначается HRВ.

Шкала С (чёрная) предназначена для испытания твёрдых материалов,

Имеющих твёрдость по Бринелю от 2300-7000 МН/м. Для вдавливания применяется алмазный конус; основная нагрузка 1500 Н, твердость обозначается HRC.

Шкала А (чёрная) предназначена для испытания очень твердых материалов $HV > 7000 \text{ MN/m}^2$ или тонких слоёв. Для вдавливания применяется тот же алмазный конус; основная нагрузка 600 Н; твёрдость обозначается HRA.

Метод Роквелла является более совершенным, чем метод Бринеля, и благодаря высокой производительности и точности получил широкое применение в промышленности. Пользуясь специальными таблицами числа твёрдости по Роквеллу можно перевести в числа твёрдости по Бринелю.

4. УСЛОВИЯ И ПРОЦЕСС ИСПЫТАНИЯ

Выше было сказано, что для испытания применяются стальной шарик диаметром 1,59 или алмазный конус с углом при вершине 120° .

Поверхность испытуемого образца должна быть плоской. Если испытанию подвергается изделия с изогнутыми поверхностями, то радиус кривизны последних должен быть снят и установлен призматический. На испытуемой и опорной поверхности образца не должно быть окалины, трещин и выбоин, а также грязи или смазки. Для удаления указанных дефектов образец зачищают наждачной бумагой, напильником или мелкозернистым наждачным кругом, при этом температура образца не должна быть выше 100°C . Опорная поверхность образца должна обеспечивать плотное и устойчивое прилегание его к опорному столику. В зависимости от испытуемого металла испытание производится по соответствующей шкале согласно таблице 1.

Таблица 1

Примерная твердость по Бринеллю (МН/м)	Обозначения шкалы	Вид наконечника	Нагрузка (Н)	Обозначения твердости по	Допускаемые предельные изменения
600-2300	В	Стальной шарик	1000	HRB	25-100
2300-7000	С	Алмазный конус	1500	HRC	20-67
Свыше 7000	А	Алмазный конус	600	HRA	Свыше70

Шкала А и С совмещены. На приборе отчет твердости берем непосредственно со шкалы. Толщина испытуемого образца должна быть не менее десятикратной глубины внедрения, чтобы на опорной поверхности не появлялась выпуклость или другие признаки действия нагрузки. В противном случае испытание считается недействительным..

Если по приложению предварительной нагрузки указатель отклонится более, чем на 5 делений от вертикального положения, испытание считается недействительным.

Расстояние центра отпечатка от края образца или от центра другого отпечатка при испытании по шкале А и С должно быть не менее 2,5 мм, по шкале В – не менее 4мм. За число твердости принимается результат каждого испытания, причём на каждом образце должно быть произведено не менее 3 испытаний и вычислено среднее арифметическое.

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

- 5.1 Выбрать необходимый стол (плоский или призматический).
- 5.2 Выбрать шкалу испытаний, для чего необходимо помнить, что мягкие стали и сплавы испытывают по шкале В, термически обработанные - по шкале С, металлокерамические сплавы – по шкале А. Следует помнить, что при твёрдости материала до 50 HRC нужно пользоваться конусом из металлокерамического сплава, а не алмазным.
- 5.3 Пользуясь таблицей, выбрать шкалу и режим испытания.
- 5.4 С помощью флажка 10 установить необходимую выдержку. Испытания по нормальному циклу - выдержка 4 сек, по ускоренному - 2 сек. Испытания по ускоренному циклу производят при неответственных замерах твердости.
- 5.5 Включить прибор в сеть с помощью вилки.
- 5.6 Установить на опорный стол испытуемый образец, и вращая маховик 4, поднимать его к наконечнику 6 до тех пор, пока малая стрелка индикатора не станет против красной точки, а большая стрелка не должна отклоняться более, чем на 5 делений от вертикали, в противном случае всё необходимо повторить на новом месте.
- 5.7 Вращением барабана 3 установить ноль шкалы против большой стрелки.

ВНИМАНИЕ! Независимо от выбранной шкалы испытаний установка на ноль по шкале С.

- 5.8 Включить электродвигатель выключателем 11.
- 5.9 Плавным нажатием на клавишу 2 включить в работу привод нагружения. После окончания испытания (когда стрелка индикатора остановится), не снимая предварительной нагрузки,

произвести отчёт твердости по соответствующей шкале индикатора.

5.10 Выключить электродвигатель с помощью выключателя 11.

5.11 Плавно вращать маховичок 4 против часовой стрелки, отвести испытуемый образец от индикатора.

Данные трехкратных испытаний каждого образца занести в протокол испытаний (см. табл.2)

Таблица 2

Шкала	Нагрузка(Н)	Наконечник	Твердость				Твёрдость по Бринеллю (перевод)
			1	2	3	средняя	
A	600	Алмазный конус	81	82	80	81	6820

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Зарисовать внешний вид прибора с обозначением рукояток.
3. Условия выбора режима испытания.
4. Порядок проведения испытания.

ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТЫ

1. Автоматический рычажный пресс Бринелля
2. Образцы стали для измерения твердости
3. Микроскоп Типа МПБ-2 для измерения диаметра отпечатка

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под твердостью материалов?
2. Объясните принцип измерения твердости по методу Роквелла.
3. Настроить твердомер Роквелла для определения твердости на незакаленном образце из стали 45.
4. Настроить твердомер Роквелла для определения на закаленном образце из стали 50.
5. Настроить твердомер Роквелла для определения твердости на образце после цементации и закалки из стали 20.
6. Выбрать наконечник и нагрузку при определении твердости по шкале С.
7. Выбрать наконечник и нагрузку при определении твердости по шкале В.
8. Выбрать наконечник и нагрузку при определении твердости по шкале А.
9. Порядок проведения испытаний на твердомере Роквелла.
10. Как настроить твердомер на режим ускоренного испытания?
11. Какое практическое значение имеет определение твердости материалов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ЗАКАЛКА СТАЛИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Цель работы: оценить действие различных охлаждающих сред на превращение аустенита при закалке путем контроля твердости.

Охлаждение при закалке должно обеспечить получение структуры мартенсита в пределах заданного сечения изделия и не должно вызывать закалочных дефектов: трещин, короблений, остаточных напряжений в поверхностных слоях и т.д. При закалке для переохлаждения аустенита до температуры мартенситного превращения требуется быстрое охлаждение, но не всем интервале температур, в котором аустенит менее всего устойчив. Выше 650°C скорость превращения аустенита мала, и поэтому сталь при закалке можно охлаждать в этом интервале медленно, но не настолько, чтобы началось образование Ф+П. Интервал 650°-400°C должен быть пройден очень быстро.

В момент погружения изделия в закалочную среду вокруг него образуется пленка перегретого пара; охлаждение происходит через слой этой паровой рубашки, т.е. медленно (пленочное кипение). При определенной температуре паровая рубашка разрывается, жидкость начинает кипеть на поверхности детали, охлаждение происходит быстро (пузырьковое кипение). Третий этап (конвективного теплообмена) начинается, когда жидкость кипеть уже не может. Закалочная среда тем эффективнее, чем шире интервал второго этапа.

Если интенсивность охлаждения воды в середине второго этапа принять за единицу, то для минерального масла она будет равна 0,3; для 10%-ного раствора NaCl в воде – 3; для 10%-ного раствора NaOH в воде – 2,5.

При закалке углеродистой и некоторых низколегированных сталей в качестве охлаждающей среды применяют воду и водные растворы (8-12%-е) NaCl и NaOH. Вода, как охлаждающая среда имеет недостаток. Высокая скорость охлаждения в области температур мартенситного превращения приводит к образованию закалочных дефектов. Растворы NaCl и NaOH наиболее равномерной охлаждающей способностью; кроме этого щелочная среда не вызывает последующей коррозии остальных деталей. Масло, как закалочная среда имеет преимущество: небольшую скорость охлаждения в интервале мартенситного превращения, что уменьшает возникновение закалочных дефектов. Недостатком является повышенная воспламеняемость.

Структура закаленной стали – мартенсит – получается при резком охлаждении аустенита при закалке. Рассматривая диаграммы изотермического превращения углеродистой и легированной стали, нетрудно убедиться, что линия начала превращения у легированной стали смещена относительно вправо от оси ординат по сравнению с углеродистой сталью. Следовательно, устойчивость аустенита легированной стали, характеризующаяся расстоянием от оси ординат до точки К перегиба линии начала перлитного и промежуточного превращения, значительно выше, чем у углеродистой стали.

Если на диаграмме изотермического превращения изобразить скорость охлаждения при закалке в различных средах, они будут иметь вид кривых V_1 , V_2 , V_3 . Чем выше скорость охлаждения, тем круче идет кривая. По диаграмме, имеющей кривые скоростей охлаждения, можно судить о структурных превращениях, протекающих в детали из данной стали при закалке в определенной охлаждающей среде. Пусть V_1 - скорость охлаждения в воде, V_2 - в масле, V_3 - на спокойном воздухе.

Рассмотрим превращение в стали при закалке. Углеродистая сталь имеет малую устойчивость аустенита. При охлаждении ее в воде кривая скорости охлаждения не пересекает линию начала мартенситного превращения. Аустенитная структура сохраняется полностью до начала

мартенситного превращения и структура после окончания охлаждения – мартенсит закалки.

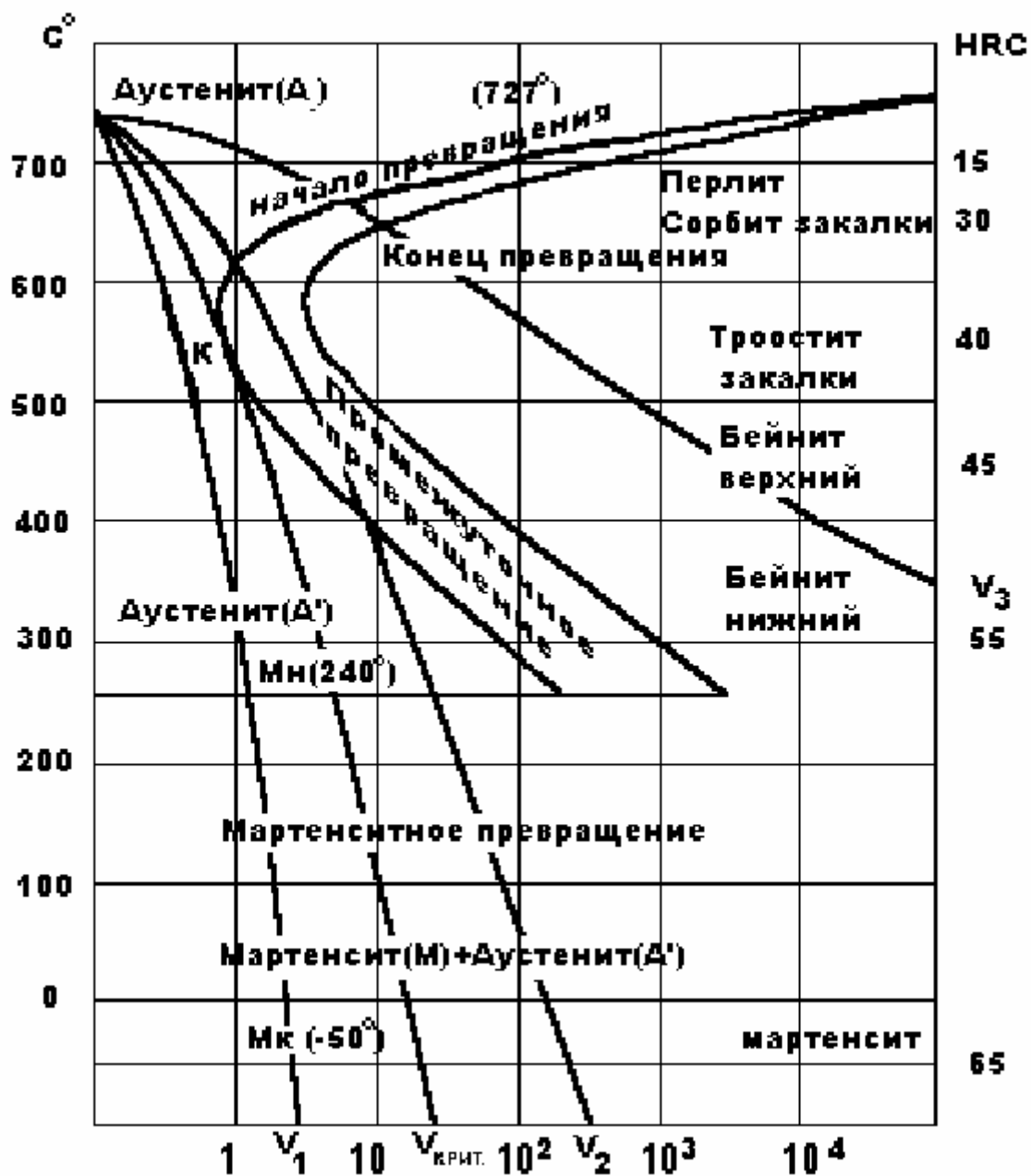


Рис. 15 – Диаграмма изотермического превращения аустенита для стали с содержанием 0,8% С.

При охлаждении ее в масле оказывается, что кривая скорости охлаждения пересекает линию начала превращения в области трооститного превращения, но не уходит за линию конца превращения, а при дальнейшем превращении пересекает линии начала и конца мартенситного превращения.

Следовательно, часть переохлажденного аустенита переходит в троостит закалки, а часть сохраняется до области мартенситного превращения, и структура стали после окончания охлаждения состоит из троостита закалки и мартенсита закалки. Это приводит к понижению твердости и деталь идет в брак.

Если же мы будем охлаждать деталь из этой стали на воздухе, то окажется, что кривая скорости охлаждения пересекает линии начала и конца превращения в области перлитного и сорбитного превращения; структура стали после охлаждения состоит из перлита и сорбита закалки.

Таким образом, для получения структуры мартенсита закалки мы должны так подобрать охлаждающую среду, чтобы кривая скорости охлаждения не пересекала линии перлитного превращения.

Предельно низкая скорость охлаждения, кривая которой не пересекает линии перлитного превращения, а касается ее в точке К, называется критической скоростью закалки. Для каждой стали критическая скорость закалки есть величина постоянная, но отличная от критической скорости закалки другой стали, и она зависит от наименьшей устойчивости, т.е. от расстояния от оси ординат до точки К в месте изгиба кривой начала превращения. Критическая скорость закалки – наименьшая скорость охлаждения, достаточная для переохлаждения аустенита до начала мартенситного превращения, и, следовательно, для получения структуры мартенсита закалки. При выборе охлаждающей среды для закалки определенной марки стали подбирают среду, дающую скорость охлаждения несколько выше критической для осуществления закалки стали на полную глубину, определяемую прокаливаемостью стали. Излишне высокая скорость охлаждения нежелательна, так как она сопровождается образованием высоких остаточных напряжений и приводит к короблению детали и даже к образованию трещин.

Если выбранная скорость ниже критической, то это приводит к понижению твердости из-за образования троосто-мартенситной структуры, что является нежелательным.

Оборудование и принадлежности:

1. Электрическая муфельная печь МП-2У.
2. Образцы из стали 50.
3. Твердомер Роквелла.
4. Охлаждающие баки с закалочными средами.

Порядок выполнения работы:

1. Произвести закалку образцов с температуры 820 градусов в воду, масло, 10%-ный раствор в воде NaCl и на воздухе.
2. Определить твердость образцов после каждого вида обработки.
3. Объяснить полученные результаты, заполнить таблицу
4. Составить отчет.

Таблица №4

Таблица зависимости свойств стали от охлаждающей среды

Охлаждающая среда	Твердость до закалки, НВ	Твердость после закалки, НС	Структура
вода			
масло			
воздух			
расплав солей			

Вопросы для самопроверки:

1. Какие среды применяют для закалки углеродистых, легированных сталей?
2. Как влияет охлаждающая среда на твердость стали?
3. Какая структура получается в результате закалки углеродистой стали в воде, масле, расплавах солей, на воздухе?

МИКРОАНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы:

1. Изучение структуры термически обработанных углеродистых сталей (доэвтектоидной и заэвтектоидной)
2. Установление зависимости между режимом термообработки, структурой и механическими свойствами стали.

Все превращения в сплавах, происходящие по диаграмме состояния железо-углерод, протекают при медленном охлаждении; они успевают полностью завершиться при температурах, указанных на диаграмме, вследствие чего получаются равновесные структуры. Скорость охлаждения при термообработке имеет большое значение!

Аустенит при быстром непрерывном охлаждении распадается с образованием следующих структур: сорбита, троостита и мартенсита.

При скоростях охлаждения до 50* в секунду распавшийся аустенит образует структуру сорбит, представляющую собой смесь феррита, цементита, но более мелко дисперсную, чем перлит. Сорбит, по сравнению с перлитом, обладает большей вязкостью и лучшими упругими свойствами. Твердость сорбита $H_v=250-350$.

Структура сорбита встречается в конструкционных сталях после закалки с охлаждением в масле и после закалки и после высокого отпуска (фиг. 40)

При скоростях охлаждения до 80-100* в секунду образуется троостит, представляющий собой смесь феррита и цементита очень высокой степени дисперсности. Твердость троостита $H_v=350-500$. Структуру троостита могут иметь конструкционные стали, закаленные с охлаждением в масле и закаленные и опущенные при температуре 350-450*

Строение троостита почти не выявляется в микроскоп из-за значительной измельченности частиц цементита и феррита. При изготовлении микрошлифа троостит, как высокодисперсная двухфазная структура, обнаруживает травимостью по сравнению с другими структурами стали.

По этому при микроанализе троостит выявляется в виде темных образований (фиг 41). Исследование с помощью электронного микроскопа отчетливо установило пластинчатое строение троостита закалки (рис.16).

Рис.16

При скоростях охлаждения $150-180^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ образуется мартенсит, представляющий собой перенасыщенный твердый раствор углерода в α железе. Мартенситная структура типична для закаленных сталей и характеризуется игольчатым строением, большой хрупкостью и твердостью $H_v=500-600$ (фиг. 43 а,б,) структура мартенсита встречается в конструкционных и легированных после закалки в масле и воде и последующего низкого отпуска.

Структура стали, получаемая после термообработки, не только от скорости охлаждения но и от температуры нагрева.

При нагреве доэвтектоидной стали до температур выше точка A_{c3} и последующим быстрым охлаждением со скоростью, превышающей

критическую, структура будет состоять из одного мартенсита. Такая сталь будет обладать высокой твердостью.

При нагреве доэвтектидной стали до температуры выше точки $A_{с3}$ и последующим охлаждением с той же скоростью, в структуре стали наряду с мартенситом будет присутствовать часть феррита и закалка будет неполной.

Заэвтектидная сталь нагретая до температуры выше $A_{с3}$ и охлажденная с большой скоростью будет состоять из мартенсита, избыточного цементита и некоторого количества остаточного аустенита.

Присутствие избыточного цементита в структуре закаленной стали превышает ее твердость и износостойчивость; только важно, чтобы он находился не в виде цементной сетки, которая придает хрупкость стали, а в виде зернистого цементита.

Нагрев заэвтектидной стали до температуры выше $A_{сt}$ при охлаждении с той же скоростью приведет к образованию структуры из крупнокристаллического мартенсита и значительного количества остаточного аустенита.

Структура, получаемая в стали при распаде переохлажденного аустенита при температурах критической точки в изотермических условиях, характеризуется диаграммой изотермического превращения аустенита (с-образная диаграмма фиг. 44)

Низкий отпуск закаленной стали, производимый с нагревом до 200-250* не вызывает заметных изменений в структуре стали, наблюдаемой в микроскопе. Образуется структура отпущенного мартенсита; отпущенный мартенсит похож на мартенсит закалки. Характерным является только то, что если в мартенсите после закалки иглы пластин светлые, то в отпущенном мартенсите они темные (фиг. 45 б).

Изменение цвета мартенсита связано с изменениями, происходящими в мартенсите при низкотемпературном отпуске.

При нагреве стали со структурой мартенсита до 200* происходит выделение из перенасыщенного твердого раствора углерода в α -железе

мельчайших частичек цементита, но ещё связанных с исходной фазой (α -раствором). При этом уменьшается степень тетрагональности мартенсита.

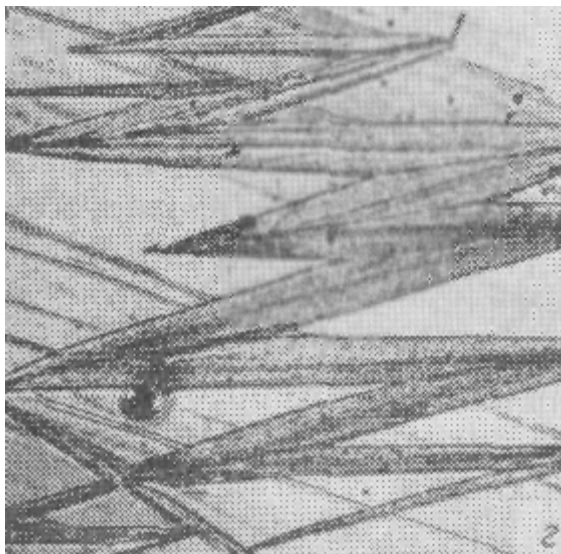


Рис.17 Игольчатый мартенсит

Микроструктура троостита отпуска образуется после отпуска при 300-400* стали, закаленной на мартенсит. Характерные для троостита отпуска является сильное потемнение при травлении.

Микроструктура сорбита отпуска образуется после отпуска при 500-600* стали, закаленной на мартенсит.

Кристаллики карбидов в троостите и сорбите отпуска имеют зернистую форму.(фиг 46, а и б)

Изучение структуры проводится путём просмотра под микроскопом коллекции шлифов термически обработанных углеродистых сталей. Условия образования структурных составляющих определяют по диаграмме состояния Fe-C и C – образной кривой изотермического аустенита.

Обучающийся, получив комплект шлифов, просматривает их под микроскопом, изучает структуру каждого шлифа и зарисовывает её в бланк отчета по лабораторной работе(см приложение 6), причем рисунки должны быть близки к оригиналу рассматриваемой структуры.

Основание при зарисовки структур должно заключаться в том чтобы уловить характерные особенности и передать их на рисунке.

В наших условиях твердость металлов определяется прибором Роквелла следовательно, необходимо эту твердость перевести по таблице перевода твердости по Бриннелю.

***ИЗУЧЕНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ И ОСОБЫХ МИКРОСТРУКТУР
СТАЛЕЙ***

Цель работы: ознакомить студентов с микроструктурами неравновесных (термически обработанных) сталей и сталей, полученных в результате полного циклического отжига, перегрева, обработки давлением, цементации.

Все превращения в сплавах, соответствующие диаграмме состояния железо-цементит, протекает при медленном охлаждении, поэтому они успевают полностью завершиться при температурах, указанных на диаграмме, и, вследствие этого, получают равновесные структуры.

Если на отжиге нагреть изделие значительно выше линии Ас₃, то зерна аустенита могут вырасти до крупных размеров. После охлаждения получится грубая крупнозернистая масса. Сталь с такой же структурой обладает пониженной пластичностью. Иногда ферритные выпадения имеют вид игл. Такая структура называется видманштеттной.

Студент должен разобраться в теоретических основах термической обработки как правильно надо выполнять термическую обработку, что происходит с аустенитом при быстром и медленном его охлаждении.

Необходимо отчетливо представлять такие структуры, как сорбит, троостит, мартенсит, чем они отличаются друг от друга, какими свойствами обладают и как их можно получить .

Необходимо помнить, что полный отжиг применяют для доэвтектоидной стали, а неполный отжига цементит получается в виде зерен, такой отжиг называют сфероидизацией. Получению зернистого цементита способствует предшествующая отжигу горячая пластическая деформация, при которой цементитная сетка дробится. Сталь с зернистым цементитом лучше обрабатывается режущим инструментом и приобретает хорошую структуру после закалки. Если после проведенного неполного отжига цементит остается пластичным, применяют так называемый циклический или

маятниковый отжиг. В этом случае после нагрева выше A_{c1} , изделие охлаждают примерно до температуры 680°C , затем вновь нагревают до $740\text{--}750^{\circ}\text{C}$ и опять охлаждают до 680°C , повторяя циклы нагрев-охлаждение несколько раз. В результате перлит получается зернистым, и сталь будет пластичной.

Обратить внимание на строчечную структуру стали. Знать, что такая структура образуется при обработке металлов давлением /прокатка, ковка/. После такой обработки получаются волокна, вытянутые вдоль направления деформации. Некоторые механические свойства поперек волокна оказываются ниже, чем вдоль /прочность, ударная вязкость, сопротивление текучести/, что обусловлено наличием неметаллических включений /нитриды, оксиды, сульфиды/, которые, располагаясь вдоль направления прокатки, создают очаги концентрации напряжений. Это явление носит название анизотропии механических свойств. Для устранения строчечности применяют диффузионный отжиг, который состоит в длительном нагреве стали при высоких температурах / $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ /.

Необходимо изучить процесс химико-термической обработки – цементации. Знать что цементации подвергают низкоуглеродистые стали с целью получения твердого и износостойкого поверхностного слоя и вязкой сердцевины. Цементацией добиваются выгодного распределения углерода по поверхности. После цементации проводят закалку с низким отпуском.

В процессе выполнения лабораторной работы необходимо изучить микроструктуру следующей коллекции шлифов:

1. сталь отожженная
2. сталь нормализованная
3. сталь, закаленная на мартенсит
4. сталь, закаленная и отпущенная на троостит.
5. Сталь, закаленная и отпущенная на сорбит
6. Сталь, отожженная на пластинчатый перлит

7. Сталь, отожженная /циклический отжиг/ на зернистый перлит
8. Сталь перегретая /видманштеттова структура/
9. Сталь со строчечной структурой
10. Сталь, подвергнутая химико-термической обработке – цементации

При изучении микроструктур необходимо:

1. Обратить внимание на разницу в величине зерен у стали отожженной и нормализованной, и отразить на рисунках.
2. Обратить внимание на различие по структуре и свойствам у стали, закаленной на 400 и 600⁰С.
3. Выяснить от чего зависит пластинчатая и зернистая форма перлита и какое это имеет значение.
4. Запомнить, что сталь с видманштеттовой структурой имеет крупные зерна, причем они напоминают по форме различные геометрические фигуры. Когда сталь имеет строчечную структуру, зерна вытянуты в линии.
5. Цементированную сталь изобразить в прямоугольнике, показав все зоны от середины к краю, для этого после настройки микроскопа на шлиф надо медленно передвигать, чтобы увидеть все зоны и зафиксировать их.

Оборудование и принадлежности:

1. металлографический микроскоп
2. коллекция шлифов

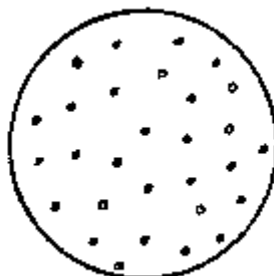
порядок выполнения работы:

1. установить шлиф на предметный столик микроскопа и настроить микроскоп.

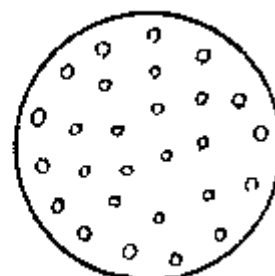
2. Зарисовать видимую под микроскопом микроструктуру, указать стрелками различные структурные составляющие (фазы).
3. Сталь закаленную, отпущенную на 400°C и 600°C , зарисовать условно следующим образом.



закаленная на
мартенсит



отпущенная на
троостит



отпущенная на
сорбит

Вопросы для самопроверки:

1. в чем отличие структур после отжига и нормализации у стали 40 ?
2. в результате, какой термической операции получается структура мартенсита? Что называется мартенситом?
3. В результате, какой термической операции образуется троостит? Что называется трооститом?
4. В результате, какой термической обработки образуется структура сорбита? Что называется сорбитом?
5. В чем отличие структур мартенсита закалки от мартенсита отпуска, сорбита закалки от сорбита отпуска?
6. С какой целью производят циклический отжиг?
7. Что называется перегревом, и какова структура перегретой стали?
8. Как получается строчечная структура?
9. Цель и назначение цементации

***ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И
ТЕМПЕРАТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И
СВОЙСТВА МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ***

Цель работы: 1. Изучить влияние пластической деформации на структуру и свойства (твердость) малоуглеродистой стали.

2. Изучить влияние температуры рекристаллизации на структуру и свойства (твердость) холоднодеформированной малоуглеродистой стали.

Основными механическими свойствами являются прочность, пластичность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор при проектировании обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность машин и конструкций при минимальной массе.

Очень важное значение имеет пластичность, определяющая возможность изготовления изделий различными способами обработки давлением, основанным на пластическом деформировании металла. Материалы с повышенной пластичностью менее чувствительны к концентраторам напряжений и другим факторам охрупчивания.

Процесс пластической деформации является основой обработки металлов. Пластическая деформация, каким бы способом она не производилась (растяжением, сжатием, изгибом, прокаткой, волочением и т.д.) вызывает искажение кристаллической решетки, изменяет форму зерен и, образуя структуру, приводит к изменению всех свойств металлов и сплавов.

Характеристики прочности (твердость, предел прочности) с увеличением степени пластической деформации растут; характеристики пластичности и вязкости (относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость) падают.

В процессе пластической деформации изменяются многие физические свойства: уменьшается удельный вес, сопротивляемость коррозии, магнитная проницаемость и т.д.

Упрочнение металлов и сплавов, полученной в процессе пластической деформации, называется **нагартовкой** или **наклепом**.

Пластически деформированный металл по сравнению с недеформированным будет находиться в равновесном, термодинамически неустойчивом состоянии. Поэтому даже при комнатных температурах в нагартованном материале протекают самопроизвольные процессы, приводящие деформированный металл в более устойчивое состояние, например, процессы старения.

При повышенных температурах эти процессы протекают быстрее. При незначительном нагревании исчезают упругие искажения кристаллической решетки, что вызывает некоторое снижение прочности и повышение пластичности нагартованного материала. Структура при этом не изменяется.

Частичное восстановление механических свойств (на 20-30%) за счет снятия упругих искажений кристаллической решетки без заметного изменения структуры называется **отдыхом** или **возвратом**.

При более высоких температурах, определенных для каждого материала, начинается процесс образования новых зерен, взамен волокнистой структуры. При этом происходит полное разупрочнение деформированного материала. Механические и физические свойства приобретают прежние значения. Этот процесс называется **рекристаллизацией**.

Температура рекристаллизации зависит от природы основного металла, наличия и количества легирующих элементов, степени предшествующей деформации. Чем больше степень деформации, тем сильнее измельчается структура, тем меньше ее устойчивость, тем большее ее стремление принять устойчивое состояние. Следовательно, большая степень деформации облегчает процесс рекристаллизации. При большей степени деформации для

чистых металлов минимальная температура рекристаллизации $T_{рек} = 0,4T_{пл}$.

Для сплавов $T_{рек} = /0,6 - 0,8/T_{пл}$, где $T_{пл}$ - абсолютная температура плавления.

Процессы рекристаллизации подчиняются общим законам кристаллизации, т.е. протекают путем возникновения новых зародышей (центров кристаллизации) и последующего их роста.

Процесс рекристаллизации связан с большой подвижностью атомов и требует для своего развития перемещения атомов от одного зерна к другому.

Та стадия рекристаллизации, при которой все деформированные зерна заменяются новыми стабильными, называется **рекристаллизацией обработки**. При более высоких температурах начинается собирательная рекристаллизация, которая заключается в росте крупных зерен за счет поглощения мелких, термодинамически менее устойчивых зерен. Температура рекристаллизации имеет огромное практическое значение.

Чтобы пластическая деформация создавала в материале упрочнение /наклеп/, она должна осуществляться при температурах ниже температуры рекристаллизации. Такая обработка называется **холодной**.

Если же обработка давлением осуществляется при температурах выше температуры рекристаллизации, то возникающее при деформации упрочнение будет сниматься процессом рекристаллизации и материал разупрочняется. Такая обработка давлением называется **горячей**.

В результате горячей обработки давлением наклепа не возникает. Температуру горячей обработки давлением выбирают значительно выше температуры рекристаллизации, т.к. при практически применяемых скоростях деформации процесс рекристаллизации при низких температурах за короткое время не успевает устранять упрочнение, полученное в процессе обработки давлением.

Величина зерна после рекристаллизации зависит от температуры рекристаллизационного отжига и степени предшествующей пластической деформации.

Чем выше температура рекристаллизационного отжига, тем больше величина зерна. При определенной степени деформации, после рекристаллизационного отжига, можно получить крупное зерно. Степень деформации, при которой получают крупное зерно процесса рекристаллизации называется **критической степенью деформации**. Для большинства металлов и сплавов она составляет от 3 до 15%.

Критической степени деформации следует избегать, т.к. она после рекристаллизационного отжига, применяется для снятия наклепа, дает крупнозернистую структуру, обладающую пониженной ударной вязкостью.

Оборудование и принадлежности:

1. Электрические муфельные печи.
2. Образцы из малоуглеродистой стали.
3. Микрошлифы, изготовленные из той же стали, что и образцы до пластической деформации, после холодной пластической деформации на степень 50-70% и после рекристаллизационного отжига при 500 и 700° в течение 45 мин.
4. Твердомер ТК-2.
5. Твердомер ТШ-2.
6. Микроскоп металлографический.

Порядок выполнения работы:

1. Провести холодную пластическую деформацию на приборе Бринелля путем вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10 мм с нагрузкой 187, 250, 500, 1000 и 2000 кг на одном образце и с нагрузкой 2000 кг на четырех образцах стали 10.
2. Измерить твердость пластически деформированного на различную степень образца и исходной структуры. Замер твердости производить с нагрузкой 100 кг на приборе Роквелла в центре каждого сферического опечатка и на недеформированной поверхности.

3. После пластической деформации с нагрузкой 2000 кг произвести отжиг образцов. Для этого заложить по одному образцу в печи, предварительно нагретые до 400, 550, 650, 750°C на 45 мин. После выдержки измерить твердость в центре сферического опечатка на приборе Роквелла.

4. Результаты замера твердости образцов после пластической деформации и после проведения отжига записать в таблицу.

5. По данным таблицы построить график влияния холодной деформации на твердость малоуглеродистой стали и график влияния температуры нагрева на твердость пластически деформированной малоуглеродистой стали.

6. Зарисовать структуру стали 10 до пластической деформации, после холодной пластической деформации и после рекристаллизационного отжига.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется пластической деформацией?
2. Как изменяются характеристики прочности с изменением степени пластической деформации?
3. Что называется наклепом, возвратом, отдыхом, рекристаллизацией?
4. Как влияет температура отжига на процесс кристаллизации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Цель работы – ознакомиться с методикой лазерного термоупрочнения сталей, изучить особенности термоупрочнения сталей лазерным излучением. Освоить методику измерения микротвердости.

Технологические операции лазерной обработки основаны на использовании, главным образом, теплового воздействия лазерного излучения с твердыми телами /металлами и неметаллами/ включают несколько стадий: поглощение излучения и передачу энергии тепловым колебанием решетки твердого тела, нагревание материала без разрушения, включая плавление, разрушение материала путем выброса и испарения расплава, остывания после окончания воздействия излучения.

Энергия лазерного излучения в технологии машиностроения нашла наибольшее применение для решения следующих задач: лазерное поверхностное упрочнение, лазерное прошивание отверстий и лазерная резка как металлических, так и неметаллических материалов.

Лазерный метод упрочнения заключается в высокоскоростном нагреве металла под действием лазерного излучения до температуры, при которой происходит аустенизация, т.е. углерод присутствует в виде твердого раствора карбида железа в γ -Fe. Последующее быстрое охлаждение приводит к переходу к мартенситной структуре, при которой карбид сохраняется в растворе в α -Fe. Эта фаза характеризуется повышенной твердостью.

Требуемое быстрое охлаждение и толщины упрочнения легко достигается при импульсивном воздействии и при нагреве быстро сканируемым расфокусированным лазерным лучом. Интенсивность падающего излучения и скорость сканирования выбираются с учетом прогрева на требуемую глубину упрочнения (обычно $< 0,5$ мм). После удаления источника нагрева происходит естественное охлаждение, вследствие отвода тепла в глубь материала. При нагреве температура поверхности может возрастать со скоростью $\approx 10^4$ град/с. Охлаждение

происходит со скоростью $5 \cdot 10^3 - 10^4$ град/с. Особенности термического цикла лазерной закалки является отсутствие выдержки при постоянной температуре, и различная степень аустенизации в различных объемах зоны лазерного воздействия.

Термическую обработку больших участков производят практически только CO₂-лазерами непрерывного действия или импульсными лазерами с энергией в импульсе не менее 8 Дж.

Лазерное упрочнение имеет ряд преимуществ по сравнению с обычной технологией:

1. Поступление тепла в небольших количествах, сопровождающееся минимальными искажениями.
2. Возможность применения технологии и тонким образцам или образцам малого диаметре.
3. Возможность обработки внутренних поверхностей. Простота регулирования площади нагрева.
4. Простота получения узких упрочненных зон.
5. Упрочнение происходит без загрязнения окружающей срезы.
6. Быстрый температурный цикл сводит окисление к минимуму.
7. Возможность применения к сложным профилям, например, зубьям шестерен.

Принципиальная оптическая схема процесса лазерной термической обработки материалов приведена на рис. 18. Луч 2 от лазерного излучения 1 падает на поворотное зеркало 3 и, отразившись под прямым углом, фокусируется оптической системой 4 на обрабатываемом образце 5, размещенном на рабочем столе 6, перемещающемся в системе координат X-Y с необходимой скоростью. Соосно с лучом лазера в зону обработки через сопло-насадку 7 подается аргон или азот при давлении $0,5 : 1,0 \cdot 10^5$ Нм². Размер светового пятна /зоны обработки/ регулируется смещением фокальной плоскости фокусирующей оптической системы относительно

поверхности обрабатываемого образца детали /т.е. дефокусировкой на величину ΔF . Обработка производится, как правило, в расходящемся пучке.

Схема расположения зон обработки при линейном упрочнении представлена на рис. .

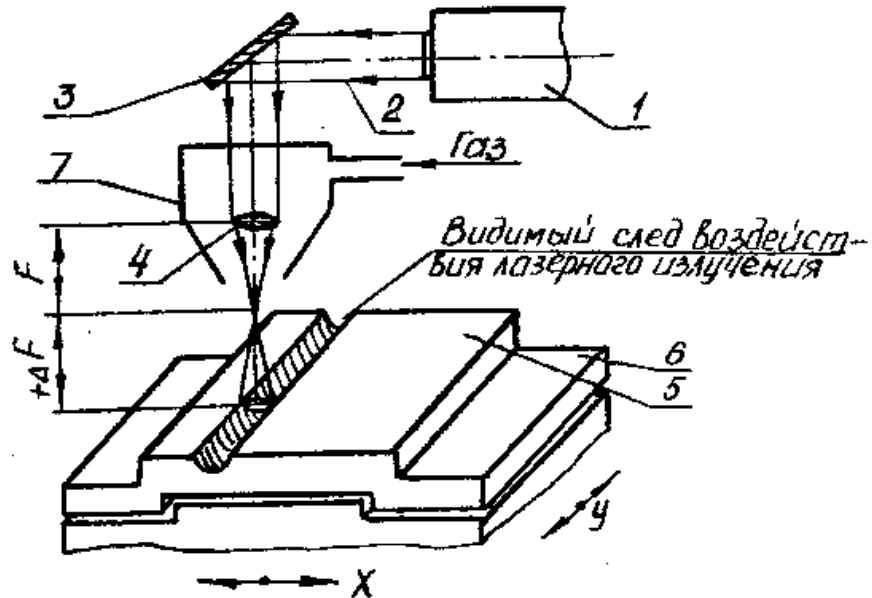


Рис. 18

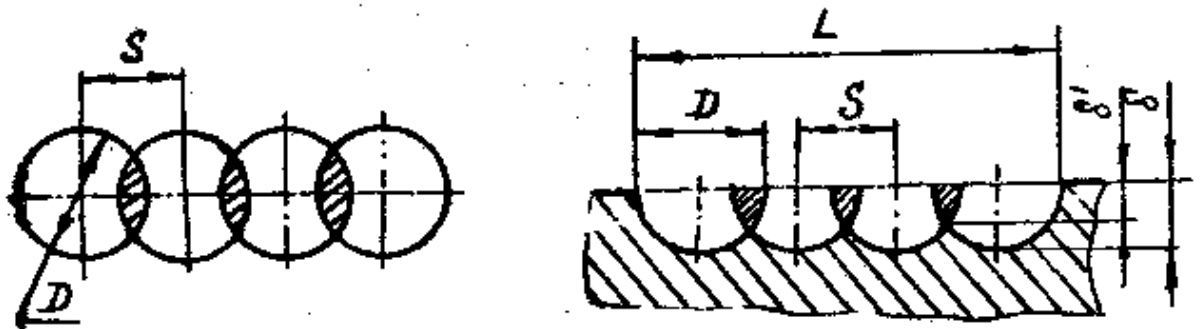


Рис.19

При наработке сталей как на воздухе, так и в защитной среде (аргон, азот), наблюдается увеличение твердости и глубины зоны закалки с ростом мощности лазерного излучения в пятне нагреве вплоть до критических значений, при которых происходит изменение оплавления поверхности материала.

Микротвердомер ПМТ-3 представляет собой прибор, предназначенный для измерения микротвердости металлов, сплавов, стекла, абразивов, керамики и минералов вдавливанием алмазных наконечников.

УСТРОЙСТВО И РАБОТА МИКРОТВЕРДОМЕРА

Оптическая схема

Принцип действия микротвердомера основан на вдавливании алмазного наконечника (пирамиды) в исследуемый материал под определенной нагрузкой и измерении линейной величины диагонали полученного отпечатка. Число микротвердости определяется делением нормальной нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику, на условную площадь боковой поверхности полученного отпечатка:

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

Оптическая схема микроскопа показана на рис. 20.

Осветительное устройство позволяет рассматривать исследуемый предмет как в светлом поле, так и в темном поле.

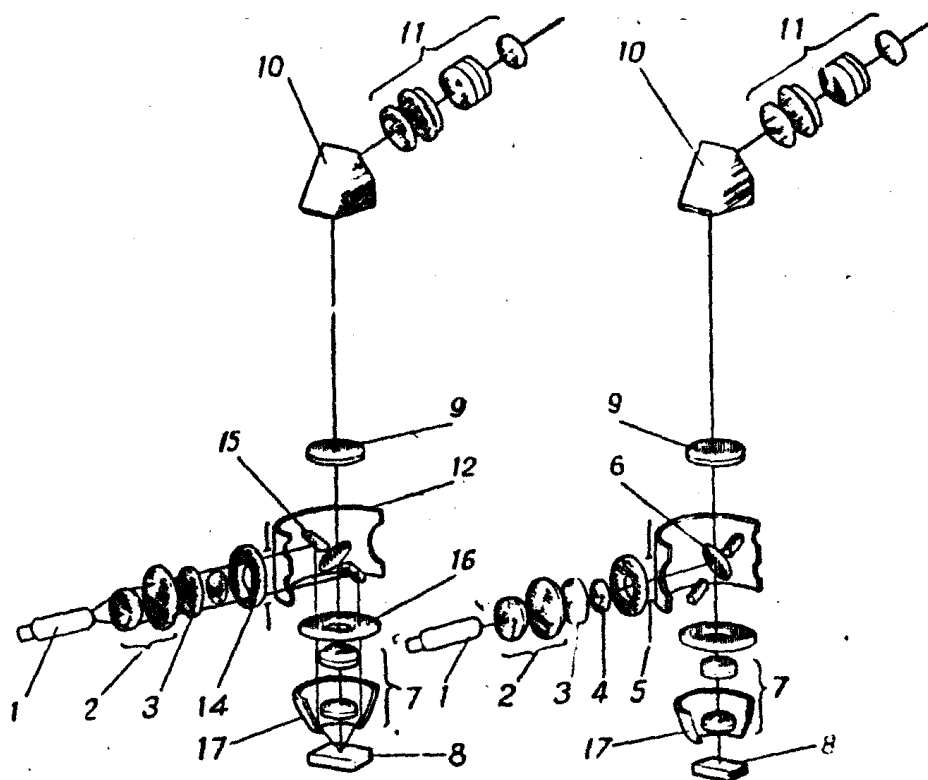


Рис. 20 Оптическая схема микроскопа

При исследовании предметов в светлом поле луч от источника света через конденсор 2, светофильтр 3, коллективную линзу 4 и ирисовую диафрагму 5 падает на отражательную пластинку 6. Далее луч проходит в объектив 7, попадает на исследуемый предмет 8, отражается от него, снова попадает в объектив 7 и, пройдя отражательную пластинку 6, ахроматическую линзу 9 и призму 10, образует изображение предмета в фокальной плоскости окулярного микрометра.

Освещенность предмета при наблюдении в светлом поле регулируется изменением диаметра диафрагмы 5.

Призма 10 отклоняет луч на 45° , что создает удобства при работе на приборе.

Переход к работе в темном поле осуществляется поворотом держателя 12 отражательной пластинки и зеркала при помощи рукоятки 13 (рис.).

При работе в темном поле луч проходит светофильтр 3 (см. рис. 1 слева), кольцевую диафрагму 11 и попадает на отражательное зеркало 15. Далее, пройдя кольцевую диафрагму 16, луч отражается от параболического зеркала 17, попадает на исследуемый предмет 8, отражается от него и проходит тот же путь, что и при наблюдении в светлом поле.

Конструкция микротвердомера ПМТЗ

Основными частями микротвердомера являются штатив с предметным столиком и головка с механизмом нагружения.

Штатив состоит из основания 18 (рис.) и колонки 19, имеющей снаружи ленточную резьбу для перемещения в вертикальном направлении кронштейна 20 с тубусом при помощи гайки 21. Кронштейн закрепляется на колонке при помощи разрезной втулки винтом 22 (рис. 3), который при работе должен быть зажат.

В кронштейне размещены механизмы грубого и микрометрического движения тубуса микротвердомера. Вращая барашки 23 (см. рис. 21)

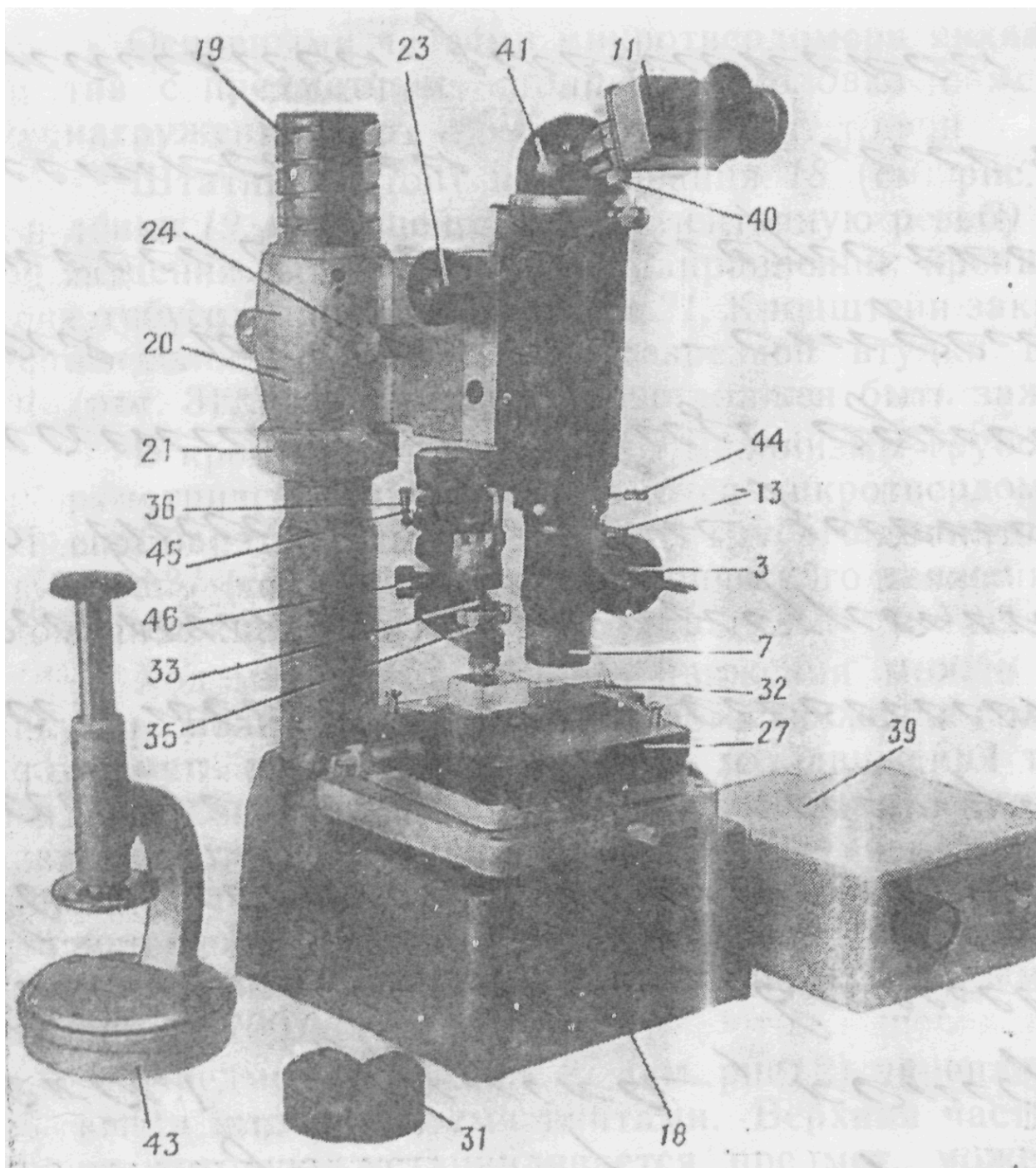


Рис.21 ПМТ - 3

грубого движения и барашек 24 (см. рис. 21) микрометрического движения, можно перемещать тубус вверх и вниз.

Ход механизма грубого движения можно регулировать. Если один барашек грубого движения немного развернуть относительно другого, ход движения тубуса будет тяжелее или легче в зависимости от того, в какую

сторону развернуты барашки. Кроме того, механизм грубого движения можно застопорить при помощи рукоятки 25 (см. рис.). На барашке 26 имеется шкала, одно деление которой соответствует 0,002 мм подъема при опускания тубуса.

Предметный столик 27 (см. рис. 2) укреплен на основании штатива тремя винтами. Верхняя часть столика, на которую устанавливается предмет, может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью винтов 28 (рис.) и 29. Отпустив стопорный винт 30, можно за рукоятку поворачивать столик от упора до упора.

Призма 31 (см. рис. 2) примеряется при исследовании поверхностей цилиндрических предметов и на пластинку 32 с помощью пластилина можно поместить предмет любой конфигурации.

Механизм нагружения состоит из штока 33, укрепленного на двух пружинах, расположенных внутри корпуса механизма. В держатель 34 (см. рис. 3) вставляется алмазный наконечник, а на утолщенную часть штока кладется гиря 35 (см. рис. 2) из разновеса. Для получения отпечатка шток опускают плавным вращением рукоятки 36 арретира против часовой стрелки.

Осветитель 37 (рис.). укреплен на тубусе микроскопа и служит для освещения исследуемого предмета. При повороте рукоятки 13 (рис.) от упора-до упора осветитель позволяет рассматривать предмет как в светлом, так и в темном поле. Равномерное освещение достигается перемещением и разворотом патрона с лампой 38 (см. рис. 3).

При установке патрона с лампой необходимо соблюдать осторожность, так как сдвиг осветителя вызовет разъюстировку прибора.

Светофильтры 3 (рис.) осветителя предназначены для повышения контрастности исследуемого предмета.

Лампа осветителя питается от сети через блок питания 39.

Винтовой окулярный микрометр 11 закрепляется на трубке насадки винтом 40.

Работа на приборе:

1. Закрепите при помощи прессика 43 испытуемый предмет пластилином на пластинке 32 так, чтобы его исследуемая поверхность расположилась параллельно рабочей плоскости столика, на которой устанавливается пластинка с испытуемым предметом. Поверхность испытуемого предмета должна быть плоской, чистой, с шероховатостью не грубее 9-го класса разряда «а», т. е. среднее арифметическое отклонение профиля - (Ra) не должно быть более 0,32 мкм.

При измерении микротвердости изделий с криволинейной поверхностью, когда размер отпечатка на один-два порядка меньше радиуса кривизны испытуемого изделия, числа микротвердости имеют относительное значение.

При подготовке поверхности испытуемого изделия необходимо принять меры, исключающие возможность изменения твердости испытуемой поверхности вследствие нагрева или наклепа в результате, механической обработки.

На рабочей поверхности алмазного наконечника и поверхности испытуемого изделия не должно быть смазки.

2. Поместите на утолщенную часть штока груз.

3 При положении столика, показанном на рис. 3. выберете место на предмете для нанесения отпечатка. Расстояние от центра отпечатка до края предмета или между центрами соседних отпечатков должно быть не менее трех длин диагоналей отпечатка, минимальная. толщина предмета или слоя должна превышать глубину отпечатка не менее чем в 10 раз. При исследовании отдельных структурных составляющих металлических сплавов действуют те же правила. Границей предмета служит граница исследуемого зерна.

4. Плавно поверните предметный столик против часовой стрелки до упора, как показано на рис. , не допуская толчков при подведении к упору. Закрепите столик в этом положении винтом 30 (см. рис. 21).

5. Медленным поворотом рукоятки 36 (см. рис. 21) против часовой стрелки опустите шток так, чтобы алмаз коснулся поверхности исследуемого предмета. Рукоятку поворачивать приблизительно на 180° в течение 10—15 секунд. После выдержки в течение 5 секунд под нагрузкой поверните рукоятку в исходное положение.

6. Отожмите винт 30 (см. рис. 21) и поверните предметный столик в прежнее положение до упора, как показано на рис. . Чтобы избежать удара об упор и смещения предмета с установленного положения, столик нужно поворачивать очень осторожно.

7. Измерьте диагональ отпечатка при помощи окулярного микрометра. Винтами 28 и 29 столика и вращением барабанчика окулярного микрометра подведите центр перекрестия к одному краю диагонали отпечатка (рис. 22, слева) и произведите отсчет по шкалам окулярного микрометра.

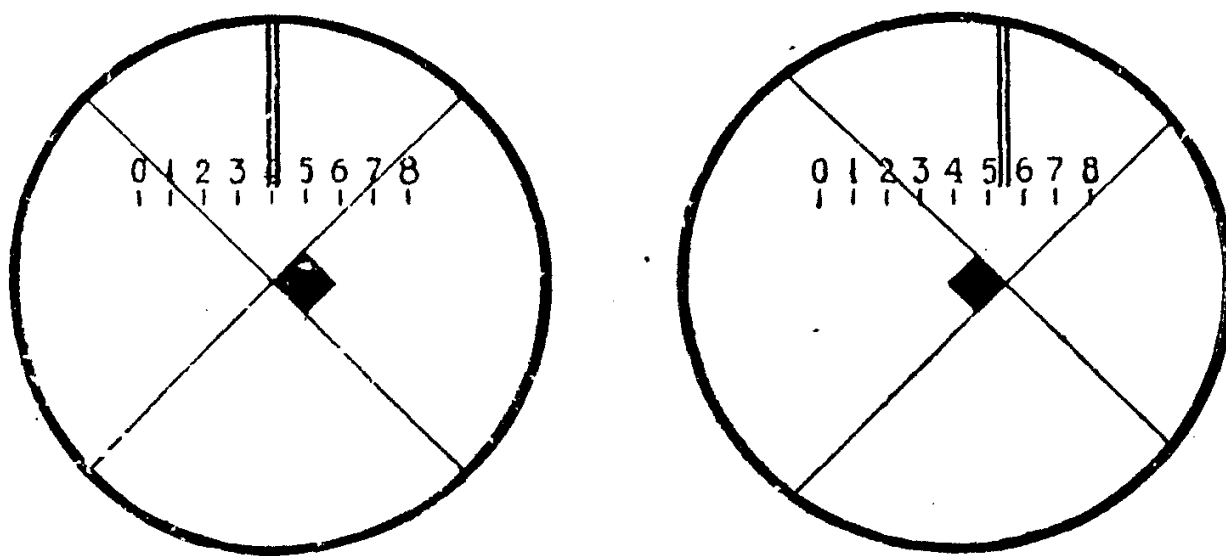


Рис. 22

Затем вращением барабанчика окулярного микрометра в ту же сторону (перемещением центра перекрестия по диагонали отпечатка) совместите центр перекрестия со вторым краем диагонали (рис. 22, справа) и снова производите отсчет по шкалам окулярного микрометра.

Разность отсчетов, умноженная на действительное значение цены деления барабанчика, даст истинную величину диагонали отпечатка.

Число микротвердости можно подсчитать по формуле

$$HV = \frac{1854P}{d^2}$$

где P — нормальная нагрузка, приложенная к алмаз-ному наконечнику, Н (кгс) ; d -среднее арифметическое длин обеих диагоналей квадратного отпечатка, мм.

ВНИМАНИЕ! Проверку работоспособности прибора производят по 2 — 3 отпечаткам на кристалле поваренной соли (NaCl)

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Микротвердомер ПМТЗ для испытания на микротвердость.
2. Лазерная технологическая установке "КВАНТ-15", имеющая следующие технические характеристики:

скорость упрочнения 60:350 мм/ мин ;

энергия излучения в импульсе не менее 8 Дж ;

длительность импульса 0,6 - 4 мкс;

диаметр зоны обработки - 0,5:1,3 мм;

частота повторения импульсов до 35 Гц;

глубина термоупрочнения до 1 мм.

Образца стали 45, 40х, У9 для лазерного термоупрочнения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Измерить твердость исходных образцов по методике, изложенной в лабораторной работе 1* 10.
2. Совместно с преподавателем или представителем обслуживающего персонала лазерной технологической установки произвести термоупрочнение образцов при различных режимах лазерного излучения /меняя размер светового пятна, частоту повторения импульса, скорость перемещения образце/.

**ПОМНИТЕ! ЛАЗЕРНАЯ УСТАНОВКА ЯВЛЯЕТСЯ
ИСТОЧНИКОМ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ!
САМОСТЯТЕШНАЯ РАБОТА НА УСТАНОВКЕ БЕЗ
СПЕЦИАЛЬНОГО ДОПУСКА ЗАПРЕЩЕНА.**

3. Измерить твердость образцов в зоне лазерного воздействия.
4. Результаты всех видов измерений занести в таблицу журнала.
5. Проанализировать влияние лазерной обработки на изменение .
поверхностной твердости сталей.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Каков механизм лазерного упрочнения сталей?
2. Каковы особенности лазерной закалки сталей?
3. Назовите основные преимущества лазерного упрочнения.
4. Что влияет на увеличение твердости в глубины **зоны** закалки сталей?
5. Для решения каких технологических задач в машиностроении используется лазерное излучение

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Металловедение. - М.: Машиностроение. 1980.
2. Гринберг Б.Г., Иващенко Т.М. Лабораторный практикум по металловедению и термической обработке .- М.:Высшая школа,1968.
3. Б.В. Кнорозов, Л.Ф.Усова, А.В.Третьяков и др. “Технология металлов”, изд. ”Металлургия”. 1974 г.
4. 2.Ф.И. Масленников. ”Лабораторный практикум по металловедению”. Машгиз, 1961 г.
5. 3.Б.Г. Гринберг, Т.М.Иващенко “Лабораторный практикум по металловедению и термической обработке “. Изд. Высшая школа, 1968 г.
6. Блантер М.Е. Металловедение и термическая обработка металлов. Машгиз, 1963г. (основной)
7. Гуляев А.П. Металловедение. Оборонгиз, 1963г.
8. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка. «Металлургия»,
9. 1964г.
- 10.Гринберг Г.И. Лабораторный практикум по металловедению.
- 11.В.В. Кнорозов, Л.Ф.Усова, А.В.Третьяков и др. «Технология металлов», изд. «Металлургия», 1974.
- 12.В.Г.Гринберг, Т.М.Иващенко. Лабораторный практикум по металловедению и термической обработке, изд. «Высшая школа», 1968.
- 13.Ф.И.Масленников. Лабораторный практикум по металловедению.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3	СТР.
<i>I. СТРОЕНИЕ И СТРУКТУРА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ</i>		
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА ПРИГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФОВ	5	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	20	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ	27	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ	32	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУР ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ	39	СТР.
<i>II. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ</i>		
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ	44	СТР.
Лабораторная работа №7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА	50	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 ЗАКАЛКА СТАЛИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ	57	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 МИКРОАНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ СТАЛЕЙ	63	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10 ИЗУЧЕНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ И ОСОБЫХ МИКРОСТРУКТУР СТАЛЕЙ	68	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	72	СТР.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 <i>УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ</i>	77	СТР.
ЛИТЕРАТУРА	88	СТР.