

М В С С О Р С Ф С Р

Куйбышевский Ордена Трудового Красного Знамени
Авиационный институт им. академика С.П.Королёва

Кафедра "Технология металлов и авиаматериаловедение"

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.

Методические указания к лабораторным
работам.

Выпуск I.

г. Куйбышев

1986 г.

- I. Лабораторная работа №1
"Макроструктурный метод исследования металлов
и сплавов"-----
2. Лабораторная работа №2
"Микроструктурный метод исследования металлов
и сплавов".-----
3. Лабораторная работа №3
"Определение величины зерна в металлах и сплавах".
4. Лабораторная работа №4
"Испытание металлов на твердость.-----

характер разрушения изделия, которое может быть хрупким, вязким и усталостным.

Хрупкий излом имеет кристаллический вид, происходит без заметной пластической деформации и отличается характерным блеском. При разрушении металла зерна не искажаются, а их форма и размеры хорошо видны в изломе. Хрупкие изломы подразделяются на междокристаллические (разрушение происходит по границам зёрен) и внутрикристаллические (транскристаллические), когда разрушение наблюдается внутри зёрен путём скалывания по определённым плоскостям). Различают крупно- и мелкокристаллические изломы: В перегретых крупнозернистых (например, низколегированных) сталях междокристаллитный излом иногда называют "каменевидным". Крупнозернистый транскристаллитный излом называют "нафталинистым", так как его блеск напоминает блеск чешуек нафталина. Этот вид брака наблюдается у быстрорежущих сталей, указывая на повышенную хрупкость.

Вязкий излом (матовый) — имеет волокнистое строение, а форма и размеры зёрен в изломе значительно искажены пластической деформацией, предшествующей разрушению.

Смешанный излом — когда на поверхности разрушения наблюдаются участки как волокнистого, так и кристаллического строения.

Усталостный излом — происходит в результате возникновения и дальнейшего развития трещины в металле под действием знакопеременных нагрузок. Он всегда состоит из блестящей притёртой зоны в очаге разрушения и зоны долома (с вязким или хрупким разрушением в зависимости от строения и свойств металла).

В некоторых случаях только в изломе можно обнаружить дефекты, способствующие разрушению изделия. Примером является образование в сталях легированных хромом, флокенов / белых пятен/. Флокены возникают по причине поглощения расплавом стали водорода, который при быстром её охлаждении до 200°C и ниже скапливается в отдельных участках (микроразрыв, на стыках зёрен) и вызывает значительные внутренние напряжения, приводящие к появлению очень тонких (нитевидных) трещин овальной или круглой формы.

Из-за резкого снижения вязкости стали флокены являются опасными пороками.

Изучение изломов является обязательным и важным способом расследования причин поломок машин (аварий).

1.1.2. Анализ макрошлифов

Макрошлиф - это специальный образец, вырезанный в определенном месте детали (заготовки) и имеющий плоскую шлифованную поверхность, которая в зависимости от цели исследования протравливается специальным реактивом.

Шлифовальный и протравленный образец, вырезанный в поперечном направлении из заготовки, носит название темплет.

Шлифование поверхности макрошлифа сначала производится на наждачном круге, а затем на наждачной бумаге разной зернистости. При каждом переходе к более тонкой бумаге макрошлиф необходимо поворачивать на 90°. Грубые дефекты, как правило, обнаруживаются и без травления. Более мелкие дефекты выявляются кратковременным (длительностью до 1 мин.) поверхностным травлением в холодном реактиве, или же глубоким травлением в реактиве, нагретом до температуры 60-90°C в течение 15-40 мин и более. Глубокое травление применяется главным образом, для макроанализа слитков и проката. Преимущество реактивов поверхностного травления состоит в их меньшей агрессивности и простоте обращения с ними. Перед травлением отшлифованную поверхность необходимо хорошо протереть фильтровальной бумагой для удаления абразивного материала, металлической пыли и других загрязнений. После травления макрошлифы промывают водой, чтобы смыть избыток реактива, и сушат. Строение металла (сплава), изучаемое с помощью макроанализа, называется макроструктурой.

Макроанализ шлифов позволяет установить :

- 1) Дефекты нарушающие сплошность металла - усадочную раковину и рихлость, газовые пузыри, трещины, пустоты и качество сварки в сварных узлах.
- 2) Химическую неоднородность сплава - ликвацию, например в сталях, особенно склонных к ликвации углерода и вредных примесей (сера и фосфора), от распределения которых по сечению слитка зависят свойства металла; макроанализ даёт лишь качественную оценку химической неоднородности.
- 3) Расположение и форму зёрен (дендритов, то есть кристаллов древовидной формы) в литом металле.
- 4) Направление волокна в поковках и штамповках. Волокна возникают под действием обработки металлов давлением и представляют собой деформированные первичные кристаллы (дендриты), вытянутые в направлении деформации. Волокнистое строение характеризуется резко выраженной анизотропией, т.е. различием свойств

(например механических), по величине вдоль волокон и поперёк них. Так, ударная вязкость стали в 3-4 раза выше поперек волокна, чем вдоль него. Поэтому характер расположения волокна оказывает большое влияние на эксплуатационную стойкость изделий, работающих в условиях динамических нагрузок при высоком напряжённом состоянии (коленчатые валы, шестерни, клапаны, шатуны). Желательным является расположение волокна параллельно контуру изделий. Это достигается правильным выбором способа обработки. Если волокна перерезаны контуром детали, она будет значительно ослабленной.

б) Неоднородность сплава и структуры, созданную термической и химико-термической обработкой. Можно, например, определить глубину и характер цементированного, азотированного, обезуглероженного слоя и так далее.

Макроанализ — это метод быстрого предварительного исследования. Поэтому он находит широкое применение в промышленности.

1.1.3. Макроанализ стали

1. Определение химической неоднородности (ликвации) по сечению ковального стального образца — производится реактивами поверхностного травления макрошлифа.

а) Выявление ликвации серы и фосфора.

Характер распределения серы в сечении заготовки, или серы и фосфора суммарно, определяется способом снятия отпечатка на бромосеребрянную бумагу, по методу Баумана.

Для этого на поверхность хорошо отшлифованного и протертого от загрязнений макрошлифа на 3 мин помещают эмульсионной стороной листок бромосеребрянной бумаги, предварительно смоченной в течение 5-10 мин в 5%-ном водном растворе серной кислоты. Избыток раствора с фотобумаги убирает фильтровальной бумагой. Для удаления пузырьков воздуха из-под фотобумаги, её слегка приглаживают рукой (без смещения), иначе останутся белые участки. По истечении выдержки фотобумагу снимают, полученный на ней отпечаток промывают водой, фиксируют в течение 5 мин в 10%-ном растворе гипосульфита, снова промывают и просушивают. Сера в стали присутствует в виде сульфидов (FeS , MnS). Во время контакта фотобумаги с макрошлифом между сульфидами, серной кислотой и бромистым серебром, входящим в состав фотоэмульсии, происходят химические реакции:



Они показывают, что в местах скопления сульфидов интенсивно выделяется сероводород, под действием которого на фотобумаге появляются темные участки сернистого серебра.

Наличие темных включений указывает форму и характер распределения сульфидов по сечению макрошлифа.

Фосфор в местах залегания даёт на бромсеребрянной фотобумаге окрашивание жёлтого цвета. Но отличить такие места затруднительно.

б) Выявление ликвации углерода и фосфора - производится в реактиве Гейна - 10-15% -ном водном растворе двойной медноаммиачной соли соляной кислоты ($\text{CuCe}_2 \cdot \text{NH}_4\text{Cl}$). При травлении в течение 1-2х минут железо переходит в раствор с поверхности зачищенного образца, а на его место осаждается медь. Места, обогащенные углеродом, фосфором и частично серой оказываются менее зачищенными медью и травятся сильнее. После смывания кусочком ваты осадка меди они будут выглядеть темнее участков с меньшим содержанием этих элементов. Но при содержании в стали углерода более 0,6 % осадок меди с макрошлифа полностью смывается.

2. Определение макроструктуры отливок.

Строение литой стали выявляют глубоким травлением темплета в 15% водном растворе персульфата аммония - $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ с температурой 80-90° в течение 3-5 минут для углеродистой стали и несколько больше - для легированной стали.

Травление выявляет поверхностный слой мелких равноосных кристаллов, к ним примыкает слой вытянутых (столбчатых) кристаллов, а ближе к центру располагаются укрупненные, но беспорядочно ориентированные равноосные кристаллы. В центре слитка можно увидеть усачную раковину.

3. Выявление волокнистой структуры поковок и штамповок -

проводится глубоким травлением стальных деталей, чаще всего, в реактиве Кельяна (70 см³ - серной кислоты, 500 см³ - соляной кислоты 180 см³ - воды.). Травление проводят в кипящей водяной бане при температуре 95°C с выдержкой от 20 мин до 2-х часов. Примеры волокнистой макроструктуры приведены на рис. 1.

4. Для выявления пор в литых и сварных образцах их травят в 8%-ном водном растворе CuCe_2 в течение 4-5 мин.

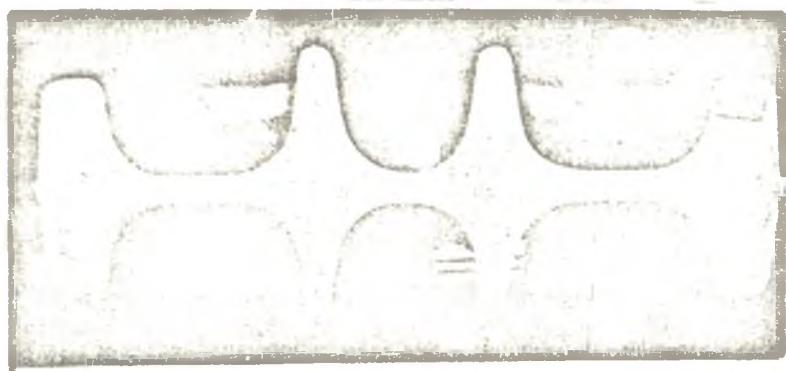


Рис. I Образцы волокнистой макроструктуры.

1.1.4. Макроанализ цветных сплавов.

1. Выявление макроструктуры бронзовой отливки производится в 30-40% растворе азотной кислоты в течение 5-10 мин. Так как реактив довольно концентрированный, темплет из него вынимают щипцами и тут же промывают водой и рассматривают типичную структуру литого металла. Работа ведётся в вытяжном шкафу.
2. Волокнистое строение прессовки из алюминиевых сплавов выявляют в 10-15% водном растворе едкого натра. При травлении на поверхности заготовки образуется темная плёнка. Для её удаления макрошлиф промывают водой и погружают на 1-2 мин. в 50%-ный раствор азотной кислоты и вновь промывают водой. Работа ведётся в вытяжном шкафу.
3. Структура литых жаропрочных сплавов на никелевой основе - вытравливается в течение 4-5 мин в холодном реактиве, состоящем из $100 \text{ см}^3 - \text{HCl}$, $5 \text{ см}^3 - \text{H}_2\text{SO}_4$, $20 \text{ г} - \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $80 \text{ см}^3 - \text{H}_2\text{O}$

1.2. Контрольный минимум знаний, необходимых для выполнения работы.

1. Сущность макроструктурного анализа.
2. Задачи макроанализа.
3. Разновидности изломов и их характерные особенности.
4. Приготовление макрошлифов, реактивы для травления.
5. Порядок выполнения работы.

2. Практическая часть работы.

2.1. Задачи работы.

1. Владение теоретическими знаниями по макроструктурному анализу.
2. Освоение методики проведения макроанализа.
3. Практическое изучение макроструктуры стали и цветных металлов.

2.2. Содержание отчёта.

1. Основные понятия о макроанализе металлов и сплавов.
2. Описание способов макроанализа.
3. Результаты экспериментальной части.
4. Выводы по работе.

2.3. Порядок выполнения работы.

1. Знакомление с теорией и краткое изложение основных положений в отчёте.
2. Владение методикой шлифования и травления макрошлифов.
3. Практическое проведение макроанализа стальных образцов.

- а). выявление ликвации серы и фосфора,
- б) выявление ликвации углерода и фосфора
- в) изучение волокнистого строения.
- 4. Практическое проведение макроанализа бронзовой отливки.
- 5. Оформление отчёта - производится по схеме:
 - а) описание метода макроанализа
 - б) приложение фотоотпечатка, или зарисовка макроструктур.
 - в) объяснение полученных результатов.

2.4. Материальное оснащение.

- 1. Методическая разработка.
- 2. Макрошлифы из стали и цветных металлов.
- 3. Химические реактивы для травления
- 4. Фотобумага, фильтровальная бумага, наждачная бумага.
- 5. Шипцы лабораторные.
- 6. Фотографии макроструктур.

Литература.

- 1. А.П.Гуляев " Материаловедение", М., "Металлургия", 1977 г. с.50-54.
- 2. Д.А.Геллер, А.Г. Рахштадт " Материаловедение" (методы анализа) М., "Металлургия", 1976 г., с.9-23., М., "Металлургия", 1983 г., с. 12-21.

№2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.

Цель работы. Изучение теории метода микроструктурного анализа; овладение приёмами приготовления микрошлифов, работы на металлографическом микроскопе МММ-7 и проведения микроанализа простейших объектов.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ.

I.1.1. Физические основы метода микроструктурного анализа

Микроструктурный метод исследования металлов и сплавов (микроанализ) заключается в изучении внутреннего строения и пороков металла при больших увеличениях оптического или электронного микроскопов.

Строение металлов, изучаемое в процессе микроанализа называется микроструктурой. Между микроструктурой и свойствами металлов и сплавов существует качественная и количественная зависимость. В связи с этим данный метод является основным в металловедении.

Применение различного излучения, а поэтому различных конструкций микроскопов, требует специальной подготовки объектов и особых методов расшифровки наблюдаемых изображений.

Оптическая микроскопия основана на использовании белого света, оптических линз, призм и позволяет получать увеличение металлографических микроскопов МММ-7, МММ-8 до 2000-3000 раз при полезном (истинном) увеличении до 1500 раз. Полезное увеличение базируется на разрешающей способности оптического микроскопа: это минимальная величина объекта (детали микроструктуры), которая различима ^{помощью} с микроскопа, и не превышает 0,2 мкм (200 нм). Использование больших увеличений не выявляет новых, более мелких деталей структуры. Меняется только масштаб изображения, так как разрешающая способность, определяемая волновой природой света при этом не меняется. При изучении и фотографировании микроструктуры металлов и сплавов на металлографических микроскопах используется ~~отражение~~ белого света от непрозрачного объекта - микрошлифа (биологический микроскоп рассматривает прозрачные тела в проходящем свете).

Микрошлиф - это образец, часть поверхности которого является плоской и специально подготовленной.

Разрешающая способность электронных микроскопов значительно выше, чем оптических.

Электронная микроскопия основана на использовании электронных лучей с очень малой длиной волны ($0,04-0,12 \cdot 10^{-11}$ нм). Это даёт возможность различать детали изучаемого объекта размером до $0,2-0,5$ нм. Наибольшее распространение нашли просвечивающие электронные микроскопы, когда поток электронов проходит через изучаемый объект, представляющий собой тонкую фольгу, или реплику (отпечаток, слепок, или тонкая плёнка из полимеров), прозрачные для электронных лучей и точно копирующие поверхность объекта. Изображение является результатом неодинакового рассеивания электронов на объекте. Электронный микроскоп обеспечивает максимальное увеличение до $100000-200000$ раз и позволяет подробно изучать тонкую структуру (субструктуру) металла, а также дефекты кристаллической структуры.

В последние годы для оценки металлургического качества металла и закономерностей процессов разрушения широко применяют методы изучения изломов с помощью небольших увеличений светового микроскопа (фрактографии) и микрофрактографии - изучения тонкой структуры изломов при увеличении до 50000 раз и выше на растровых электронных микроскопах. Изображение в них создается благодаря вторичной эмиссии электронов, излучаемых поверхностью, на которую падает непрерывно перемещающийся поток первичных электронов. Следовательно, растровый микроскоп позволяет изучать непосредственно поверхность металла, однако разрешающая способность его, меньше чем у просвечивающих ($25+30$ нм).

1.1.2. Определение микроструктуры металлов и сплавов методами оптической микроскопии.

В настоящей работе рассматривается анализ металлов и сплавов с использованием оптического микроскопа МММ-7. Микроструктурный анализ позволяет определить:

- 1) размер и ориентацию зерен чистых металлов и однофазных сплавов, являющихся обычно твердым раствором;
- 2) отдельные структурные составляющие многофазных сплавов, соотношение их количеств, взаимное расположение, форму и пр.

Микроанализ используется:

1. Для определения способа предшествующей обработки сплавов и характерных изменений структуры металлов в зависимости от метода термической, химико-термической, термомеханической обработки, пластической деформации, литья:

- 2) для оценки природы металлургических дефектов, вида неметаллических включений, степени обезуглероживания поверхности металла и т.д.;
- 3) для замера глубины диффузионного слоя и пор; размера трещин, величины неметаллических включений; определения количества углерода в железо-углеродистых сплавах по соотношению площадей, занятых каждой фазой и пр.

1.1.3. Устройство металлографического микроскопа МММ-7.

Впервые для исследования строения металла микроскоп был применён в 1831 году Чарлом Петровичем Аносовым, изучавшим булатную сталь, а позднее, в 1861 году - англичанином Г.Сорби, изучавшим метеоритное железо.

По устройству различают вертикальные оптические микроскопы (МММ-7) и горизонтальные (МММ-8). МММ-7 - металлографический инструментальный микроскоп, обеспечивает увеличение от 60 до 1440 раз при визуальном наблюдении шлифа и от 70-до 1350 раз при фотографировании.

Металлографический микроскоп МММ-7 состоит из:

- 1) оптической системы с фотографической аппаратурой;
- 2) осветительного устройства;
- 3) механической системы.

В оптическую систему входят объектив, окуляр, зеркала, призмы. Как объектив, так и окуляр, представляют собой сложную систему линз, размещённых в одной оправе.

Объектив, обращённый к рассматриваемому объекту, даёт его обратное, увеличенное, действительное изображение.

Окуляр, обращённый к глазу наблюдателя, даёт мнимое увеличенное изображение, полученное объективом, но не может повысить разрешающей способности микроскопа. Его выбирают таким образом, чтобы чётко были видны детали структуры, увеличенные объективом. Увеличения окуляров и объективов указываются на их металлической оправе и в таблице увеличений, приложенной к микроскопу.

Для фотографирования используют фотоокуляры. Общее увеличение микроскопа (N_m) равно произведению увеличений объектива ($N_{об}$) и окуляра ($N_{ок}$)

$$N_m = N_{об} \cdot N_{ок} = \frac{250 \cdot l}{f_{об} \cdot f_{ок}} ;$$

где f_o и f_m - фокусные расстояния объектива и окуляра.
250 мм - расстояние наилучшего зрения глаза;

l - оптическая длина тубуса, т.е. расстояние между фокусами объектива и окуляра.

Полезное увеличение микроскопа (M) зависит от увеличения объектива, т.е. увеличения, при котором выявляются детали рассматриваемого объекта:

$$M = \frac{d_1}{d},$$

d_1 - разрешающее расстояние человеческого глаза $d_1 = 0,2 \text{ мм}$,

d - разрешающее расстояние оптической системы.

Величина, обратная минимальному разрешающему расстоянию между двумя точками, называется разрешающей способностью. Чем меньше d , тем больше разрешающая способность оптической системы микроскопа, которая зависит только от числовой апертуры объектива

$$A = n \cdot \sin d,$$

где n - показатель преломления среды между объективом и предметом;

d - половина угла входящего в объектив пучка светового потока;

A - важная характеристика объектива, указываемая на его оправе.

У лучших объективов $d_{max} = 70^\circ$, а $\sin d = 0,94$.

Для сухих объективов, работающих в воздушной среде $n = 1$.

Разрешающее расстояние d определяется в условиях дифракции света, как

$$d = \frac{\lambda}{A}$$

где λ - длина волны белого света, $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ или $\sim 0,55 \text{ мкм}$. Апертурная диафрагма, регулируя световой поток, повышает контрастность изображения и глубину резкости.

Для уменьшения разрешающего расстояния используют иммерсионные объективы. Для этого пространство между объективом и объектом заполняют прозрачным жидким маслом - иммерсионной, обладающей большим показателем преломления $n = 1,51$. Тогда

$$d_{min} = \frac{0,55}{2 \cdot 1,51 \cdot 0,94} \approx 0,2 \text{ мкм}$$

Следовательно, разрешающая способность микроскопа ограничена прежде всего, длиной волны белого света.

2. Осветительная система - состоит из источника (низковольтная электролампа с напряжением 17 в) понижающего трансформатора ТР-17, питающего лампу и регулирующего яркость **накала** лампы; коллектора (собирающей линзы), серии линз (важнейшими являются анализатор, вращением которого изменяют яркость изображения и окраску отдельных элементов структуры и поляризатор), диафрагм (апертурная, полевая), светофильтров (цветных, матовых или дымчатых стеклянных пластин). Светофильтры отбирают лучи требуемой длины (т.е. определенного цвета) и позволяют установить нужную интенсивность освещения, изменяя, тем самым контрастность изображения. При визуальном наблюдении во избежание утомления глаза, рекомендуется применять желто-зеленые светофильтры. С помощью полевой диафрагмы регулируют поле зрения при просмотре шлифов и их фотографировании. Для фотографирования окулярный тубус с окуляром выдвигается из **тела** микроскопа. При этом зеркало, подающее лучи в окуляр, также сдвигается в сторону, а лучи поступают через фотоокуляр (их три), перенося изображение на матовое стекло фотокамеры, **или** на фотопластину, вставленную вместо матового стекла. Включение и выключение света при фотографировании обеспечивается фотозатвором.

Микроскоп МИМ-7 позволяет не только фотографировать микроструктуру шлифов, но и изучать её в темном поле, при косом освещении, в поляризованном свете.

Косое освещение усиливает оптический контраст при микроисследовании путём смещения апертурной диафрагмы, в результате чего образуются тени от рельефа поверхности шлифа.

В светлом поле из-за большого количества прямого света, отражённого плоским полем шлифа, мелкие рельефные частицы можно не увидеть. При темнопольном освещении плоская поверхность шлифа выглядит тёмной, а рельефные участки выделяются в виде ярких точек.

В поляризованном свете (МИМ-7 снабжён вставными анализаторами и поляризатором) отдельные структурные составляющие могут приобретать новую окраску. Например, частицы закиси меди из голубых становятся рубиновыми.

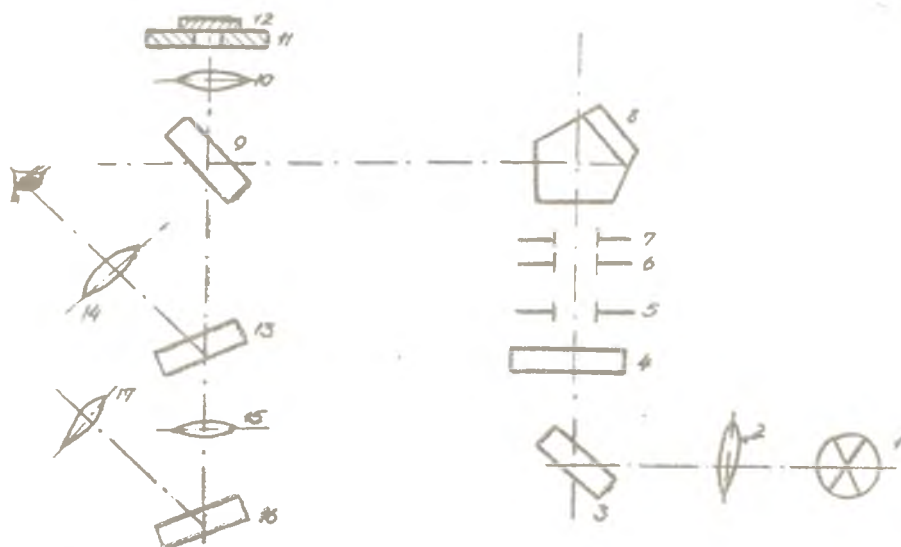


Рис. 1 Оптическая схема микроскопа МИМ-7.

3. Механическая система – включает штатив с горизонтально расположенным макрокопическим винтом грубой наводки, вертикально расположенным микрокопическим винтом тонкой наводки на фокус; предметный столик, на котором устанавливается микрошлиф исследуемой поверхностью вниз. С целью просмотра микроструктуры в разных участках шлифа без изменения фокусного расстояния, предметный столик с помощью 2-х винтов может перемещаться в горизонтальном направлении, относительно неподвижного объектива, на 15 мм. Грубая наводка осуществляется вертикальным перемещением предметного столика со шлифом, относительно неподвижного объектива, путём вращения макроинта до появления в поле зрения яркого светлого пятна. Чтобы при этом не прилагать больших усилий, перед вращением следует отпустить стопор макроинта. В процессе такой наводки макроинт перемещает объектив по отношению к неподвижному предметному столику.

Действие микроскопа основано на отражении белого света от специально подготовленной поверхности микрошлифа (рис. 1): от источника света (I) через коллектор (2), отражающее зеркало (3) и светофильтры (4), апертурную диафрагму (5), фотозатвор (6), полевую диафрагму (7) и поворотную призму (8) лучи попадают на плоскопараллельную пластину (9). Часть светового потока проходит через неё, а часть лучей отражается вверх от пластины и через объектив (10) и отверстие в предметном столике (11) попадает на шлиф (12), плоскость которого расположена перпендикулярно оптической оси микроскопа. Отражённые от шлифа (12) лучи вновь проходят через объектив (10), плоскопараллельную пластину (9) и, отразившись от зеркала (13), через окуляр (14) попадают в глаз наблюдателя, или через фотосюкляр – в фотокамеру.

1.4. Правила работы на МИМ-7.

1. Не допускается резкое движение при фокусировке микроскопа и смене оптики.
2. Исследованию подлежат только хорошо промытые и тщательно просушенные микрошлифы.
3. Не допускается работа с химическими реактивами и наждачной бумагой рядом с микроскопом.
4. Для сохранения качественного шлифа не рекомендуется исследуемую поверхность трогать руками и многократно перемещать по предмет-

ному столику, во избежание окисления шлифа и образования на нем рисок.

5. Бережное обращение с оптикой и правильное её использование достигается только при рациональной комбинации объективов и окуляров.
6. После просмотра микрошлифов микроскоп необходимо выключать для сохранения осветительной системы.
7. Для получения большей информации о микрошлифе его просматривают первоначально нетравленным, а потом - после травления.
8. Микроанализ различных участков шлифа проводят сначала при небольших увеличениях микроскопа для выявления общей картины, а затем, в зависимости от строения структуры и целей исследования, - при больших увеличениях.
9. Для определения увеличения микроскопа необходимо знать увеличение окуляра и фокусное расстояние и апертуру объектива (A), найти их в таблице увеличений, а затем в перекрестии этих значений - взять увеличение микроскопа. Например, увеличение окуляра - $\times 10$, фокусное расстояние (F) объектива - 8,16; $A = 0,37$, тогда увеличение микроскопа равно $\times 240$ (записывают " $\times 240$ ", или "увеличение 240").

Таблица увеличений объективов и окуляров микроскопа МИМ-7.

объективы	окуляры								
	при визуальном наблюдении				при фотографировании				
	$7\times$	$10\times$	$15\times$	$20\times$	$7\times$	$10\times$	$15\times$		
$F=23,17$ $A=0,17$	60	90	130	170	70	120	180		
$F=13,89$ $A=0,30$	100	140	200	300	115	200	270		
$F=8,16$ $A=0,37$	170	240	360	500	200	340	450		
$F=6,16$ $A=0,63$		320	500	650		440	600		
$F=3,77$ $A=1,23$	500	720	1080	1440	575	1000	1350		

1.1.5. Порядок приготовления микрошлифов.

1. Образец небольших размеров (1 см х 1 см; или $\sqrt{}$ 1 см²) вырезается из детали без разогрева , во избежание изменений исходной структуры.
2. Плоская поверхность образца получается на абразивных кругах (для твёрдых материалов) или напильником (мягкие и хрупкие материалы).
3. Шлифование плоской поверхности образца выполняется вручную на абразивной бумаге разной зернистости или на шлифовальном круге, когда шлифовальная бумага закрепляется на вращающемся диске.
4. При ручном шлифовании бумага, начиная с крупнозернистой и до мелкозернистой, накладывается на толстое стекло, а образец по ней перемещают поступательно (вперед и назад) без вращательных движений.
5. При каждом переходе к более мелкозернистой бумаге очищают от частичек абразива фильтровальной бумагой и поворачивают на 90° с целью полного удаления следов предыдущей обработки (рисок, царапин).
6. Полирование шлифованного образца производится на полировальном станке. Вращающийся диск, обтянутый сукном , или фетром, смачивается периодически суспензией-взвесью тонкого абразива в воде (окись алюминия - белая, окись хрома - зелёная и т.д.) Цель полирования - получение зеркальной поверхности микрошлифа, т.е., без рисок.

Правила полирования :

- а) Шлиф должен быть строго перпендикулярен поверхности круга, чтобы не заваливать края шлифа;
- б) Во избежание несчастных случаев усилие прижима образца к кругу должно быть минимальным;
- в) отвлекаться при полировании строго запрещается,
- г) если образец вырвется из рук, тотчас необходимо выключить полировальный станок. Лишь после полной остановки станка начинать искать шлиф , а затем и продолжить работу;
- д) отполированный шлиф хорошо промыть водой и тщательно просушить фильтровальной бумагой путём прикладывания её к шлифу (во избежание рисок).

I.I.6. Микроисследование нетравленных шлифов.

Микроисследование основано на различии отдельных структурных составляющих по цвету. Микроанализ позволяет :

1. Определить степень загрязнения металла неметаллическими включениями : выявляется форма, количество и расположение оксидов, сульфидов, нитридов, силикатов. Неметаллические включения — это часто сложные соединения металлов (Fe , Si , Mn , Ca , Zn) с неметаллами (S , O , N , P , C), которые ухудшают механические свойства (пластичность, усталостную и динамическую прочность), физические свойства, нарушая сплошность металла и образуя полости. Их размер колеблется от 0,0001 до 1 мм. Они образуются в результате металлургических реакций, или путём попадания в металл с шихтой, шлаком , футеровкой.
2. Рассмотреть форму и размеры тёмных включений свободно выделившегося графита в серых, ковких и высокопрочных чугунах.
3. В медных сплавах — кристаллики свинца тёмного цвета и т.д.

I.I.7. Травление микрошлифов.

Несравненно большую информацию даёт микроисследование с применением травления, т.е. кратковременного воздействия химического реактива на зеркальную поверхность шлифа. Травители — растворы кислот, щелочей и солей , в воде или спирте. В результате сложного действия травителей выявляется микроструктура образца.

1. Химическое травление — производится погружением образца в реактив на вполне определённое время в каждом конкретном случае. Признаком травления служит потускнение зеркальной поверхности до матовой. Сильное потемнение шлифа свидетельствует о перетравливании.

Выявление структуры при химическом травлении происходит за счёт избирательного растворения поверхности металла. Чем сильнее растравлена поверхность, тем больше она рассеивает свет и под микроскопом кажется более тёмной. Поэтому травимость границ зёрен, где сосредоточены многие примеси, а кристаллическая решётка искажена очень сильно, усиливается, и под микроскопом они кажутся более темными, чем зёрна одной фазы. Но кристаллы одной фазы тоже могут иметь разные оттенки, так как при одном химическом составе, они отличаются друг от друга кристаллографической ориентировкой. Световой поток, направленный через объек-

тив на микрошлиф, различно отражается от разных зёрен.

2. В многофазных сплавах структурные составляющие (однородные области, видимые под микроскопом) и фазы, из которых они состоят травятся по-разному, так как отличаются друг от друга значениями электрохимического потенциала. Следовательно, многофазные сплавы подвергаются не только простому химическому действию реактивов (чем больше растравливается составляющая, тем кажется темнее), но и электрохимическому травлению соседних элементов структуры. Зёрна различных фаз, их границы вследствие различных значений электрохимического потенциала, образуют микроскопические гальванические пары. Микроаноды с более низким электрохимическим потенциалом растворяются сильнее по отношению к микрокатодам. В результате различной глубины растравливания на поверхности шлифа появляется микрорельеф. Световые лучи, отражаясь от рельефной поверхности образца под разными углами, создают своеобразную свето-теневую картину.

3. Кроме разведания поверхности, большое значение имеет для выявления структуры, образование окисных плёнок разной толщины в разных участках шлифа и отложение окрашенных продуктов травления на поверхности особенно в многофазных сплавах, выделяя отдельные составляющие.

I.I.8. Микроскопический анализ сталей и чугунов.

Микроисследование нетравлённых шлифов стали.

На общем светлом фоне нетравленного шлифа стали просматриваются тёмные серые точки и линии с чётко очерченными границами — неметаллические включения, являющиеся концентраторами напряжений. Изучение формы, количества и расположения этих включений позволяет установить причины выхода из строя деталей, или оценить преимущества различных вариантов металлургических процессов. Например, вытянутые по направлению деформации включения, свидетельствуют об их относительно высокой пластичности. Включения, раздробленные на отдельные частицы и расположенные в виде прерывистых цепочек в большинстве случаев являются малопластинчатыми. Сравнивая изучаемый шлиф со шкалой бальности на неметаллические включения дают заключение о качестве стали. (это особенно важно для шарикоподшипниковых сталей).

Микроисследование нетравленных шлифов чугунов.

Вид чугуна устанавливается по форме свободновыделившегося графита: серый, ковкий, высокопрочный.

а) Относительно невысокие свойства серого чугуна объясняются пластинчатой (чешуйчатой) формой графитовых включений. разной протяжённости и толщины, которые играют роль трещин.

Серые чугуны на сжатие работают лучше, чем на растяжение, так как при сжимающих нагрузках надрезающее действие удлиненных графитных чешуек оказывается слабо. Из серых чугунов отливают поршневые кольца, изложницы, корпусные детали.

б) Ковкий чугун находит широкое применение в машиностроении, как хороший конструкционный материал, так как включения графита в нём имеют хлопьевидную (гнездообразную) форму, близкую к округлой. Поэтому он более пластичен, имеет повышенную прочность, хорошо обрабатывается резанием, обладает повышенными антифрикционными свойствами (но не куётся). Из ковкого чугуна изготавливают клапаны, фланцы, ступицы, тормозные колодки, коленчатые валы.

в) Высокопрочный чугун отличается шаровидной формой графита, которая в меньшей степени, чем пластинчатая и хлопьевидная ослабляет металлическую основу. По механическим свойствам он превосходит серый и ковкий чугуны и идёт на изготовление коленчатых валов автомобилей и тракторов, тормозных дисков, картеров и т.д.

Микроисследование шлифов травленной стали.

а) Для травления шлифов углеродистой стали и чугунов чаще всего применяют 4% -ный раствор азотной кислоты в спирте, в который на 6-15 сек опускают зеркальную поверхность образца. Поверхность шлифа становится матовой. Её промывают проточной водой и просушивают фильтровальной бумагой. После этого под микроскопом чётко выявляются зёрна различного окрашенных структурных составляющих, отличающихся химическим составом, строением и свойствами: тёмные зёрна - перлит (содержит 0,8% углерода), светлые зёрна - феррит (содержит до 0,023% углерода ... поэтому менее твёрд).

- б) Нержавеющие стали травят в реактиве, состоящем из 1 части NH_3 и 3 частей HCl , его используют через 24 часа после приготовления.
- в) жаропрочные сплавы выявляют травлением в реактиве :
 $20 \text{ см}^3 - \text{HCl}$; 4 части - $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$; $20 \text{ см}^3 - \text{H}_2\text{O}$.

1.2. Контролируемый минимум знаний, необходимый для выполнения работы.

1. Сущность микроскопического метода исследования металлов и сплавов.
2. Задачи микроструктурного анализа.
3. Устройство оптического микроскопа МИМ-7 и приёмы работы на нём.
4. Схема хода лучей в металломикроскопе МИМ-7.
5. Приготовление микрошлифов.
6. Травление микрошлифов и химические реактивы.
7. Порядок выполнения работы.

II. Практическая часть работы.

2.1. Задачи работы.

1. Ослаждение теоретическими знаниями по микроструктурному анализу металлов и сплавов.
2. Освоение методики проведения микроанализа.
3. Практическое изучение микроструктуры стали и чугунов.
4. Изучение устройства микроскопа МИМ-7.

2.2. Материальное оснащение.

1. Методическая разработка,
2. Микрошлифы сталей и чугунов.
3. Химические реактивы для травления.
4. Наждачная и фильтровальная бумага.
5. Полировальный станок, покрытый сукном, эмульсия для смазывания сукна.
6. Альбом микроструктур.
7. Микроскопы МИМ-7.
8. Оптическая схема металломикроскопа МИМ-7.

2.3. Содержание отчёта.

1. Основные понятия о микроанализе металлов и сплавов.

2. Описание методов микроскопического анализа сталей и чугунов.
3. Оптическая схема металломикроскопа МММ-7.
4. Описание порядка приготовления шлифов, их микроструктура.
5. Выводы по работе.

2.4. Порядок выполнения работы.

1. **Ознакомление** с теорией и краткое изложение основных её положений в отчёте.
2. Описание порядка приготовления микрошлифов.
3. Овладение методикой шлифования, полирования и травления микрошлифов.
4. Зарисовка схемы хода лучей в металломикроскопе МММ-7.
5. Практическое проведение микроанализа:
 - а) исследование микрошлифов нетравленной и травленной углеродистой стали, описание травителя и зарисовка микроструктуры с указанием увеличения микроскопа.
 - б) исследование нетравленных шлифов серого, ковкого и высокопрочного чугунов с зарисовкой микроструктуры с указанием увеличения микроскопа.

Л и т е р а т у р а

1. А.П.Гуляев "Материаловедение", М., Металлургия, 1977 г., стр. 50-54.
2. Ю.А.Геллер, А.Г. Рэхштадт "Материаловедение", (методы анализа) М., Металлургия, 1975 г. стр. 9-23, М., "Металлургия", 1980 г., стр. 70-80.

№3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРНА В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ.

Цель работы : Ознакомление с теорией и практическое освоение методик определения величины зерна в металлах и сплавах.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

1.1. Основные положения методов определения величины зерна и других элементов структуры.

При исследовании металлов и сплавов часто необходимо знать величину какого либо элемента структуры, например, размер зерна или частиц второй фазы, расстояние между ними, глубину цементированного или азотированного слоя и т.п. Наиболее важной структурной характеристикой является размер зерна, от которого зависят механические свойства изделий, поведение материала в различных процессах обработки давлением, термической и механической обработки. Известно, что с уменьшением размера зерна увеличивается предел текучести однородных сплавов. При одинаковой твёрдости и прочности ударная вязкость мелкозернистой стали значительно превосходит ударную вязкость крупнозернистой стали.

Определение размера зерна производится по ГОСТ 5639-65 "Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна". Для определения размера зерна наблюдаемую микроструктуру сравнивают со стандартными шкалами или подсчитывают число зёрен, приходящихся на единицу площади поверхности шлифа, или определяют линейный размер зерен. По ГОСТ 5639-65 величину зерна оценивают баллами (номерами). Между номером зерна N и количеством зёрен n_0 , помещающихся на 1 мм^2 шлифа, принята следующая зависимость $n_0 = 2^{N-3}$

Средняя площадь сечения зерна F_{cp} и число зёрен n_0 , приходящихся на 1 мм^2 шлифа, связаны обратной пропорциональной зависимостью $F_{cp} = \frac{10^6}{n_0} (\text{мм})^2$,

а средний линейный размер (диаметр) зерна с площадью следующей зависимостью $d_{cp} = \sqrt{F_{cp}} (\text{мм})$

С увеличением номера величина зерна уменьшается. Количественные характеристики зернистости приведены в табл. 1.

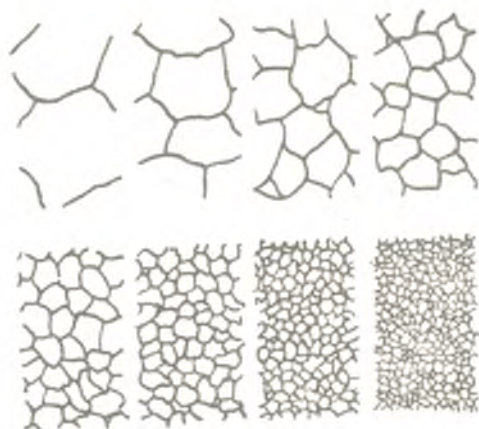


Рис 1. Шкала бальности зерна $\times 100$

Таблица № I

№ зерна	Площадь зерна F мкм ²			Число зёрен (среднее)		Средний диаметр	
	наименьшая	средняя	наибольш.	n_1 мм ²	n_2 мм ²	по расчёту	условный
1	2	3	4	5	6	7	8
1	40000	64000	80000	16	64	250	222
2	20000	32000	40000	32	179	177	167
3	10000	16000	20000	64	512	125	111
4	5000	8000	10000	128	1446	88	78,8
5	2500	4000	5000	256	4096	60	55,3
6	1200	2000	2500	512	11417	41	39,1
7	600	1000	1200	1024	32768	31	26,7
8	300	500	600	2048	92160	22	19,6

Метод визуальной оценки величины зерна (ГОСТ 5639-65) основан на сравнении видимых под микроскопом зёрен с эталонной шкалой. Шкала ГОСТ (рис. I) представляет схематизированную сетку, ограничивающую зёрна среднего размера (по площади данного номера). Размер зерна по этому методу оценивают соответствующим баллом (номером) при увеличении микроскопа 100 раз. Этот приближённый метод оценки размера зерна находит широкое применение в практике благодаря простоте и скорости эксперимента. Для определения величины зерна по этому способу следует:

- поставить объектив и окуляр, обеспечивающие увеличение 100х;
- просмотреть структуру во многих полях зрения и выбрать наиболее характерные участки шлифа;
- определить к какому номеру эталонной шкалы больше всего подходит наблюдаемый размер зерна;
- по принятому баллу, пользуясь табл. I, дать количественные характеристики зернистости.

Если в микроструктуре наблюдается явная разноразмерность, то величину зерна оценивают двумя номерами, первый из которых означает преобладающую величину зерна. Если зёрна преобладающей величины занимают более 90% площади шлифа, то указывается только один номер зерна.

Методы определения величины зерна по числу зёрен, приходящихся на единицу площади шлифа, основаны на подсчёте числа

зёрен n , заключенных в определённой площади квадрата матового стекла фотокамеры микроскопа. Для удобства подсчёта увеличение выбирают таким, чтобы в очерченную площадь на матовом стекле попало примерно от 30 до 50 зёрен. Зная число зёрен n в этом квадрате, можно рассчитать число зёрен n_0 , приходящихся на единицу площади шлифа, и среднюю площадь зерна F_{cp} . Для этого необходимо следующее:

- 1) Определить увеличение на матовом стекле M . Оно зависит от сочетаний увеличений объектива и фотоокуляра и даётся в паспорте микроскопа или определяется с помощью объект-микрометра и рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{l}{0,01 \cdot z}$$

где l — величина изображения объект-микрометра на матовом стекле, измеренная линейкой или штанген-циркулем в мм.

z — число измеренных делений шкалы объект-микрометра.

- 2) Подсчитать на матовом стекле число зёрен p , попавших целиком внутрь очерченного квадрата, и число зёрен q , пересечённых сторонами квадрата. Если считать, что стороны квадрата делят зёрна в среднем пополам, а от каждого углового зерна в квадрат попадает 1/4 часть, то общее число зёрен в квадрате будет равно:

$$n = p + 0,5q + 1$$

Необходимо подсчитать число зёрен в нескольких полях с тем, чтобы общее количество подсчитанных зёрен было не менее 100. Для дальнейших расчётов берется среднее значение n_{cp} числа зёрен в квадрате. Указанная методика определения n называется способом Джеффриса.

По способу Салтыкova подсчитывается число узловых точек N (число стыков 3-х зёрен) в пределах очерченного квадрата и определяется n по формуле

$$n = \sqrt{N/2}$$

Для определения n_{cp} в этом случае общее количество подсчитанных узлов следует взять не менее 50, в одном поле зрения не более 15.

- 3) Измерить линейкой сторону и вычислить площадь S_{cp} квадрата на матовом стекле. Затем следует определить действительную площадь квадрата на шлифе

$$S_A = \frac{S_{cp}}{M^2} \text{ (мм}^2\text{)}.$$

4) Рассчитать количественные характеристики зернистости

$$n_o = \frac{n_{c2}}{S_A}, \quad F_{cp} = \frac{10^6}{n_o} = \frac{S_A}{n_{cp}} \cdot 10^6 \text{ (мкм}^2\text{)}, \quad d'_{cp} = \sqrt{F_{cp}}.$$

Определение линейных размеров зерна производится с помощью окуляр-микрометра, т.е. окуляра, в который вставлена пластинка с линейкой или квадратной сеткой. Имеются также окуляр-микрометры, в которых измерение осуществляется при помощи микровинта.

Перед измерением размера зерна необходимо сначала определить цену деления окуляр-микрометра при выбранном увеличении объектива. Для этого на предметный столик микроскопа устанавливается объект-микрометр, представляющий собой стеклянную пластинку, на которую нанесена шкала длиной в 1 мм, разделённая на 100 равных частей. После наведения на фокус в поле зрения микроскопа видны шкалы объект-микрометра и окуляр-микрометра.

Совместив обе шкалы винтом предметного столика, определяют сколько делений шкалы объект-микрометра (А об) совмещается с числом делений шкалы окуляр-микрометра (А ок). Тогда цена деления окуляр-микрометра будет равна:

$$U_{ок} = \frac{А_{об} \cdot U_{об}}{А_{ок}} = \frac{А_{об}}{А_{ок}} \cdot 0,01 \text{ (мм)}$$

Для получения достоверных значений $U_{ок}$ операция повторяется несколько раз. При этом штрихи обеих шкал должны быть параллельными, что достигается поворотом окуляра. Резкость изображения шкалы окуляр-микрометра достигается перемещением оправы глазной линзы.

Для определения среднего размера зерна на предметный столик микроскопа устанавливают микрошлиф и настраивают на резкость так, чтобы было видно границы зерен и линейку окуляр-микрометра. Подсчитывают число пересечений границами зёрен линейки на определённом числе делений окуляр-микрометра в данном поле зрения. Аналогично проводят измерения в других полях зрения так, чтобы общее количество пересечений (зёрен) было не менее 100. Такие промеры делаются в перпендикулярных направлениях. Затем, разделив общее число делений окуляр-микрометра (К) на общее число пересечений (m) и, учитывая цену деления окуляр-микрометра ($U_{ок}$) находят средний условный диаметр зерна

$$d_{ср.усл} = \frac{K}{m} \cdot U_{ок}.$$

Далее по табл. 1 переходят к среднему расчётному диаметру зерна $d_{ср}$ и определяют другие количественные характеристики зернистости.

тости .

Для определения линейных размеров отдельных микрообъектов структуры необходимо :

- 1) На предметный столик микроскопа установить шлиф и настроить микроскоп на резкость.
- 2) Перемещая предметный столик совместить измеряемый микрообъект со шкалой окуляр-микрометра в выбранном поле зрения,
- 3) Измерить объект, т.е. сосчитать сколько делений (К) шкалы окуляр-микрометра занимает объект, повторив измерения 3-4 раза.
- 4). Определить величину измеряемого объекта по формуле

$$l = K \cdot \mu_{ок}$$

I.2. Контролируемый минимум знаний, необходимый для выполнения работы.

1. Количественные характеристики, используемые для оценки величины зерна и зависимости между ними.
2. Методы оценки величины зерна.
3. Определение общего увеличения микроскопа и увеличения на матовом стекле фотоокуляра.
4. Что представляет собой окуляр, фотоокуляр, окуляр-микрометр, объект и объект-микрометр ?
5. Определение цены деления окуляр-микрометра.
6. Определение линейных размеров элементов структуры .

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ.

2.1. Задачи работы.

1. Овладение теоретическими знаниями о характеристиках зернистости.
2. Практическое освоение некоторых методик определения величины зерна или других элементов структуры на оптическом металлографическом микроскопе.

2.2. Материальное оснащение.

1. Методическая разработка.
2. Металлографические микроскопы.
3. Окуляр-микрометры и объект-микрометры.
4. Набор образцов (шлифов) для определения размеров зерна и других элементов структуры - по I образцу на 2-3 студента.

5. Шкалы баллов (номеров) зерна.

2.3. Содержание отчёта.

1. Основные сведения о характеристиках величины зерна и зависимостях между ними.
2. Описание методики визуальной оценки бальности зерна и других используемых в работе, методик оценки величины зерна.
3. Описание методики определения цены деления окуляр-микрометра
4. Результаты определения № зерна методом визуальной оценки на данном образце и количественных характеристик зернистости сведены в таблицу следующей формы.

№ образца	№ зерна	Число зёрен		Средняя площадь зерна, F_{cp} мм ²	Средний диаметр зерна, мкм	
		в 1 мм ² n_1	в 1 мм ² n_2		расчётн.	условный
---	---	---	---	---	---	---

5. Результаты определения величины зерна на данном шлифе по числу зёрен, приходящихся на единицу площади шлифа (способ Джеффриса).

№ образ.	№ поля зрения	P	q	n	n_{cp}	M	n_1	F_{cp}	№ зерна по ГОСТ
---	1	---	---	---	---	---	---	---	---
---	2	---	---	---	---	---	---	---	---
---	3	---	---	---	---	---	---	---	---

6. Результаты определения среднего диаметра зерна и по нему номера зерна.

№ образ.	Расчёт цены деления	№ поля зрения	Число делений окуляр микро метра	Число пере сечений	Расчёт среднего условн. ϕ зерна $d_{ср.}$	Средний расчётн. ϕ зерна $d_{ср.}$	№ зерна по ГОСТ
---	---	1	---	---	---	---	---
---	---	2	---	---	---	---	---
---	---	3	---	---	---	---	---

7. Сравнение результатов определения количественных характеристик зернистости.
8. Результаты определения линейных размеров отдельных элементов структуры.

При 2-х часовой работе пункты 5,7,8 опускаются.

2.4. Порядок выполнения работы :

1. Ознакомиться с теорией, изложить основные положения в отчёте
2. Получить образцы, окуляр-микрометр и объект-микрометр.
3. Подобрать объектив и окуляр на увеличение 100 и произвести настройку микроскопа на фокус.
4. Определить номер зерна на выданном шлифе путём сравнения изображения с эталонной шкалой, по табл. I определить другие характеристики зернистости.
5. Подобрать увеличение микроскопа для определения величины зерна по числу зёрен, приходящихся на единицу площади шлифа, произвести настройку микроскопа.
6. Подсчитать число зёрен в выбранном квадрате на матовом стекле в нескольких полях зрения и рассчитать количественные характеристики зернистости данного образца.
7. Определить цену деления окуляр-микрометра для определения линейных размеров зерна и отдельных элементов структуры.
8. Произвести измерения и рассчитать средний условный диаметр зерна, а затем по табл. I другие количественные характеристики зернистости, включая номер зерна.

Произвести измерение и определить величину линейного размера заданного элемента структуры.

9. Сопоставить результаты определения зернистости различными способами.

При 2-х часовой лабораторной работе пункты 5,6 опускаются.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ю.А.Геллер и А.Г. Рахштадт. Материаловедение М., Металлургия. 1983 г.
2. А.П.Гуляев. Металловедение. М., Металлургия, 1977 г.

4. ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА ТВЁРДОСТЬ

Цель работы: Ознакомление с методами и приборами определения твёрдости металлов и практическое освоение самостоятельного проведения испытаний на твёрдость по Бринеллю и Роквеллу.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ.

1.1. Основные сведения о твёрдости и способах её определения.

Под твёрдостью понимается свойство поверхностного слоя материала оказывать сопротивление упругой и пластической деформации или разрушению при местных контактных воздействиях со стороны более твёрдого и не получающего остаточной деформации тела (индентора) определённой формы и размеров.

По широте применения испытания на твёрдость, особенно при комнатной температуре, конкурируют с наиболее распространёнными испытаниями на статическое растяжение. Это объясняется тем, что все методы оценки твёрдости позволяют относительно просто, быстро и почти без разрушения испытываемого материала определить его характеристику, с помощью которой специалист может произвести оценку целого комплекса свойств материала или детали. Испытание на твёрдость широко используется в производстве, где оно оказалось пригодным для входного, промежуточного и конечного контроля.

Существует много методов по измерению твёрдости, которые отличаются друг от друга по форме применяемого индентора, условиями при ^{лож}жения нагрузки и её величине, по способу расчёта чисел твёрдости. Наиболее распространены методы определения твёрдости, в которых используется статическое вдавливание индентора нормально поверхностью образца. Это методы определения твёрдости по Бринеллю и Роквеллу.

При определении твёрдости этими методами измеряют суммарное сопротивление металла внедрению в него индентора, усредняющее твёрдость всех измеряемых структурных составляющих. Неизбежные различия в структуре разных участков образца приводят к разбросу значений твёрдости, который тем больше, чем меньше размер отпечатка.

1.1.1. Испытание на твёрдость по Бринеллю.

Испытание на твёрдость по Бринеллю производится вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определённого диаметра под воздействием заданной нагрузки в течение определённого времени. В результате вдавливания шарика на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Отношение нагрузки P к поверхности полученного отпечатка F даёт число твёрдости, обозначаемое HB

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2},$$

где D — диаметр вдавливаемого шарика, мм.

d — диаметр отпечатка, мм.

Чтобы не прибегать к длительным вычислениям твёрдости по приведённой выше формуле, на практике пользуются специальной таблицей, которая даёт перевод диаметра отпечатка в число твёрдости HB. В заводской практике часто для характеристики твёрдости по Бринеллю пользуются только диаметром отпечатка (d , мм) без перевода в число твёрдости.

Условия испытания, т.е. диаметр шарика, нагрузку, выдержку под нагрузкой назначают в зависимости от твёрдости материала и толщины испытываемого образца (по ГОСТ 9012-59). Данные по выбору условий испытания приведены в таблице 1.

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

Таблица I.

Материал	Интервал твердости в числах Бринелля	Минимальная толщина испытываемого образца в мм.	Соотношение между нагрузкой Р и диаметром шарика	Диаметр шарика в мм	Нагрузка Р в кгс	Выдержка под нагрузкой в сек.
Чёрные металлы	140-450	от 6 до 3	$P=30D^2$	10,0	3000	10
		от 4 до 2		5,0	750	
		менее 2		2,5	187,5	
То же	140	более 6	$P=10D^2$	10,0	1000	10
		от 6 до 3		5,0	250	
		менее 3		2,5	62,5	
Цветные металлы	130	от 6 до 3	$P=30D^2$	10,0	3000	30
		от 4 до 2		5,0	750	
		менее 2		2,5	187,5	
То же	35-130	от 9 до 3	$P=10D^2$	10,0	1000	30
		от 6 до 3		5,0	250	
		менее 3		2,5	62,5	
То же	8-35	более 6	$P=2,5D^2$	10,0	250	60
		от 6 до 3		5,0	62,5	
		менее 3		2,5	15,6	

В общем случае при испытании мягких металлов нагрузка меньше, а с уменьшением толщины материала применяют шарик меньшего диаметра (5, 2,5 мм) и меньшую нагрузку. Толщина испытуемого образца должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка.

Условия испытания записывают следующим образом: например, HB10 (3000) 30 обозначает, что испытание проводили шариком диаметром 10 мм, под нагрузкой 3000 кгс, с выдержкой 30 сек.

Перед испытанием поверхность образца, в которую будет вдавлиаться шарик, обрабатывают напильником или на шкурке, чтобы она была ровной, гладкой, не содержала окалин и других дефектов.

Порядок выполнения испытания на приборе Бринелль.

1. Установить на подвеску грузы, соответствующие выбранной для испытания нагрузке.
2. Вставить в шпиндель прибора наконечник с шариком и укрепить.
3. На столик прибора поместить испытываемый образец. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика.
4. Вращением рукоятки по часовой стрелке поднять столик и прижать образец к шарiku так, чтобы указатель на приборе встал против риски.
5. Включить электродвигатель.
6. После сигнала звонком, вращением рукоятки против часовой стрелки опустить столик и снять с него образец с полученным отпечатком.
7. Измерить полученный отпечаток.
8. Определить твердость.

Полученный при испытании отпечаток измеряют лупой или микроскопом в двух взаимноперпендикулярных направлениях, диаметр отпечатка определяется как среднее арифметическое из двух измерений.

Для получения более достоверной характеристики твердости данного материала необходимо провести еще два повторных испытания на твердость того же образца и определить средний результат. Все результаты записать в протокол испытания.

Протокол испытания на твердость по Бринеллю.

Толщина и материал образца

Тип прибора

РР	Условия испытания (Д, Р)	Диаметр отпечатка, мм	Твёрдость НВ
1			
2			
3			
Среднее значение НВ			

1.1.2. Испытание на твёрдость по Роквеллу

Испытание на твёрдость по Роквеллу производят вдавливанием в испытываемый образец (деталь) алмазного конуса (конус может быть и из твёрдого сплава) с углом 120° или стального закалённого шарика диаметром 1,588 мм. Шарик и конус вдавливают в испытываемый образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок — предварительной P_0 и основной P_1 . Общая нагрузка P будет равна сумме предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок : $P = P_0 + P_1$. Предварительная нагрузка P_0 во всех случаях равна 10 кг , а основная P_1 и общая нагрузки составляют при вдавливании стального шарика (шкала В) : $P_1 = 90$ кг , $P = 100$ кг при вдавливании алмазного конуса (шкала С) $P_1 = 140$ кг , $P = 150$ кг при вдавливании алмазного конуса (шкала А) $P_1 = 50$ кг , $P = 60$ кг.

Число твёрдости по Роквеллу — число отвлечённое и выражается в условных единицах. За единицу твёрдости принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Число твёрдости по Роквеллу определяется по формулам : при измерении по шкале В: $HRB = 130 - \ell$ при измерении по шкалам С и А : $HRA = 100 - \ell$. Величина ℓ определяется по формуле

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

где h_0 — глубина внедрения наконечника в испытываемый материал под действием предварительной нагрузки;

h — глубина внедрения наконечника в испытываемый материал под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основ-

ной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки.

В зависимости от того, применяют шарик или алмазный конус и от нагрузки, при которой проводят испытание (т.е. по какой шкале В, С или А), число твёрдости обозначают H R В, HRC, HRA.

Определение твёрдости на приборе типа Роквелла имеет широкое применение, т.к. этот прибор даёт возможность испытывать мягкие, твёрдые, а также тонкие материалы. Стпечатки от конуса или шарика очень малы, и поэтому можно испытывать готовые детали без их порчи; испытание легко выполнимо и занимает мало времени (порядка минуты); не требуется никаких измерений и число твердости читается прямо на шкале. Значения твёрдости по Риквеллу могут быть переведены в значения твёрдости по Бринеллю (при необходимости и по Виккерсу).

Нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твёрдости испытуемого металла. Данные для выбора наконечника и нагрузки приведены в таблице:

Таблица
Выбор нагрузки и наконечника для испытаний

Примерная твёрдость по НВ Бринеллю	Шкала	Наконечник	На- гру- жк	Обозна- чение твёр- дости	Допу- ске ме пре- дель шкалы	Приме- ры мате- риалов
60-230	В	Стальной шарик	100	HRB	25-100	Сталь отож- жённая
230-700	С	Алмазный конус	150	HRC	20-67	Сталь зака- лённая
400-700	А	То же	60	HRA	70-85	Твёрдые сплавы

Для измерения твёрдости необходимо подготовить образец. Поверхности образца, как испытываемая, так и опорная, должны быть плоскими, параллельными друг другу и не должны иметь таких дефектов, как окарины, забоины, грязь, различные покрытия. Все дефекты поверхности образца должны быть удалены мелкозернистым наждачным кругом, напильником или наждачной бумагой. При обработке поверхности не допускать нагрева выше 100-150°C.

Перед испытанием на твёрдость по Роквеллу необходимо произвести контроль прибора (ТН-2) с целью определения точности его показаний. Контроль прибора производят при помощи контрольных брусков, твёрдость которых заранее известна.

Порядок проведения испытаний на приборе Роквелла.

1. В зависимости от твёрдости испытываемого образца выбрать наконечник и нагрузку.
2. В шпиндель прибора закрепить оправку с алмазным (или из твёрдого сплава) конусом или шариком и установить необходимую нагрузку.
Обозначение шкалы записать в протокол испытания.
3. Подготовить образец и установить на стол прибора.
4. Вращением маховика стол прибора с образцом поднимать до тех пор, пока малая стрелка индикатора не станет против красной точки. При этом большая стрелка не должна быть отклонена от нуля шкалы С больше чем на ± 5 делений. Если отклонение больше, то стол опустить и испытание провести вновь в другом месте образца.
5. Вращением барабана установить нуль шкалы С (чёрного цвета) против конца большой стрелки индикатора.
6. Плавным нажатием на клавишу включить в работу привод механизма нагружения.
7. После окончания цикла нагружения произвести отсчёт по шкале индикатора: HRC — по шкале чёрного цвета; HRB — по шкале красного цвета.
Полученный результат твёрдости записать в протокол испытания.
8. Вращением маховика против часовой стрелки опустить стол, образец передвинуть и повторить испытание в другом месте образца. На каждом образце должно быть проведено не менее трёх испытаний.
9. Расстояние центра отпечатка от края образца или от центра другого отпечатка должно быть не менее 3 мм. После смены наконечника первые два испытания в расчет не принимаются.
9. Числа твердости по Роквеллу перевести на числа твердости по Бринеллю и записать в протокол испытания.

Протокол испытания на твёрдость по Роквеллу

№	Шкала	Твёрдость HRC и HRB					Среднее значение	Твёрдость по Бринеллю (перевод)
		1	2	3	4	5		
1	HRC							
2	HRB							

1.2. Контролируемый минимум знаний, необходимых для выполнения работы.

1. Определение понятия твёрдости,
2. Методы определения твёрдости.
3. Подготовка образцов для испытания на твёрдость.
4. Выбор условия испытания на твёрдость по Бринеллю и по Роквеллу.
5. Порядок проведения испытания на твёрдость по Бринеллю.
6. То же по Роквеллу.
7. Перевод твёрдости по Роквеллу в твёрдость по Бринеллю.
8. Практическое значение испытания металлов и сплавов на твёрдость.

2. Практическая часть работы.

2.1. Задачи работы.

1. Ознакомление с методами и приборами определения твёрдости металлов.
2. Освоение самостоятельного проведения испытания на твёрдость по Бринеллю и Роквеллу.
3. Определение твёрдости ряда сталей и сплавов в различных состояниях.

2.2. Материальное оснащение

1. Методическая разработка
2. Приборы для испытания на твёрдость типа ТП-2М, ТК-2.
3. Образцы стали и сплавов.
4. Таблицы для перевода твёрдости.

2.3. Содержание отчёта

1. Определение понятия твёрдости металлов.
2. Описание методов проведения испытания на твёрдость по Бринеллю и по Роквеллу.
3. Обоснование выбора условий испытания на твёрдость по Бринеллю

и по Роквеллу для выданных на испытания образцов.

4. Заполненные протоколы испытания на твёрдость по Бринеллю и по Роквеллу.

2.4. Порядок выполнения .

1. Ознакомиться с понятием твёрдости металлов и сплавов, изложить основные положения в отчёте.
2. Ознакомиться с приборами по испытанию на твёрдость по Бринеллю и по Роквеллу (ТН-2М, ТК-2) и приёмами работы на этих приборах, изложить в отчёте.
3. Практически освоить самостоятельное проведение испытаний на твёрдость по Бринеллю и Роквеллу.
4. Подготовить для испытания выданные образцы стали и сплавов.
5. Выбрать условия испытания выданных образцов, обоснование выбора изложить в отчёте.
6. Провести испытания образцов на твёрдость, заполнить протоколы испытаний в отчёте.

Методические указания к лабораторным работам

разработали: доцент, к.т.н, Морозов Н.П, №3

доцент, к.т.н, Крюков В.И №4

ст.преподаватель Уварова В.С № I,2

Подписано в печать 27.6.86г. Фрмат 60х84 I/I6.

Заказ № 418. Тираж 60. Бесплатно.

г. Куйбышев. КуАМ, ул. Ульяновская, 18. Отдел оперативной печати.