



«Материаловедение и обработка материалов»

Лабораторная работа №5

2016

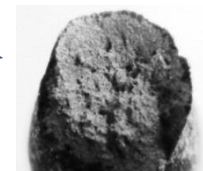
Лабораторная работа №5

МАКРО- И МИКРОСТРУКТУРТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы - ознакомиться с задачами макро- и микроструктурного анализа, изучить основные методы выявления макро- и микроструктуры металлов и сплавов, научиться делать выводы относительно оценки их качества и причин возникновения дефектов и разрушений.

Приборы и материалы:

1. Детали с различными дефектами поверхности.
2. Изломы деталей после разрушения при эксплуатации.
3. Образцы для выявления ликвации серы.
4. Набор наждачной бумаги.
5. Фильтровальная бумага.
6. Засвеченная фотобумага.
7. Травитель.





Приборы и материалы:

8. Стальные образцы для приготовления микрошлифов.

9. Алмазные пасты.

10. Станки для приготовления шлифов.

11. Оптический микроскоп.



Теоретические сведения

Макроструктура – это строение материала, изучаемое невооруженным глазом или при небольшом оптическом увеличении (до 30 раз). Исследование макроструктуры называют макроскопическим анализом (**макроанализом**).

Макроанализ позволяет изучить большую часть или всю поверхность изделия и получить информацию о его общем состоянии после эксплуатации или различных видов обработки



Излом валика

По результатам макроанализа выбирают участки для более детальных микроструктурных исследований при больших увеличениях.

Макроскопический анализ широко используется на производстве для контроля технологических процессов изготовления и обработки продукции. **Этот метод дает лишь качественные, но не количественные оценки.**

Основные задачи макроструктурного анализа

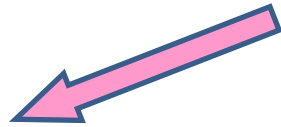
1. **Выявление поверхностных дефектов**, которые образовались в процессе изготовления или эксплуатации детали.
2. **Выявление внутренних дефектов** (трещины, поры, рыхлоты, газовые пузыри).
3. Исследование **строения металла после первичной кристаллизации** (слитка, отливки, сварного соединения).
4. Изучение **химической неоднородности** распределения элементов.
5. Особенности **строения материала после обработки давлением**.
6. Изучение **неоднородности макроструктуры** после **поверхностного упрочнения** (глубины упрочненного слоя после поверхностной закалки, ХТО, нанесения покрытий).
7. Исследование **вида излома** для выявления характера и причин разрушения изделия.

Макроструктуру изучают непосредственно на поверхности детали или заготовки, на изломах и на специально приготовленных образцах – макрошлифах или темплатах.

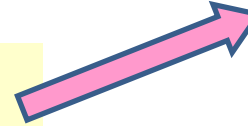
ДЕФФЕКТЫ ПРИ НАРУШЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ



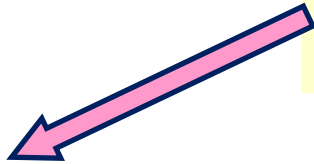
Закалочная
трещина



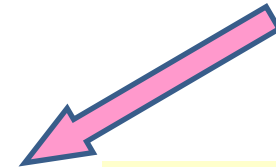
Шлифовочные
трещины



Закатанные при ОМД
волосовины



Трещина в
сварном шве



Нарушение технологических режимов
изготовления деталей снижает их надежность

ДЕФЕКТЫ, ВЫЯВЛЕННЫЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ



Деформация
сдвигом и смятие
пальца звена
гусеницы



Скручивание
шлицевого
валика



Смятие зубьев
шестерни

ДЕФЕКТЫ, ВЫЯВЛЕННЫЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

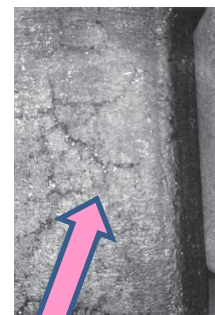


**Износ зубьев
шестерни**

**Интенсивный
натир при трении**



**Выкрашивание зубьев
шестерни и обоймы
подшипника**



**Сетка разгара на поверхности
кокиля**

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Излом – поверхность в месте разрушения изделия. Строение излома позволяет судить о характере и причине разрушения, наличии или отсутствии при этом пластической деформации, условиях нагружения, а также качественно оценить форму и размер зерен. В зависимости от свойств материала и вида разрушения **изломы бывают хрупкие, вязкие, смешанные и усталостные.**

Хрупкое разрушение

Разрушение происходит отрывом под действием нормальных напряжений, **при очень малой пластической деформации ($\psi < 1,5\%$)** и малых затратах энергии (**≤ 5 Дж**).



Излом кристаллический блестящий

Излом ровный, без сколов. Поверхность его состоит из недеформированных микросколов - фасеток, которые хорошо отражают свет, поэтому **излом блестящий.**

Охрупчивание металла вызывают концентраторы напряжений, агрессивная среда, высокие скорости нагружения, перегрев при горячей обработке металла, насыщение вредными примесями (газы, сера, фосфор), низкая температура эксплуатации.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

По виду кристаллического излома можно качественно оценить величину зерна, которой соответствует размер фасеток. Различают крупнокристаллический и мелкокристаллический изломы.

При наличии в изломе крупных зерен диаметром около 1 мм его называют **камневидным** и он свидетельствует о перегреве металла.



Камневидный излом — результат длительного пребывания металла при температурах порядка 1300°C. Это нарушение режимов технологии горячей обработки. При этом резко снижается ударная вязкость, происходит охрупчивание металла.

Наличие крупного зерна (**перегрев металла**) — **брак исправимый**. Необходима повторная обработка с соблюдением технологии. При нагреве под линию солидуса происходит дальнейшее укрупнение зерна с окислением и оплавлением границ зёрен. **Это пережѐг металла - неисправимый брак.**

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ОПАСНО

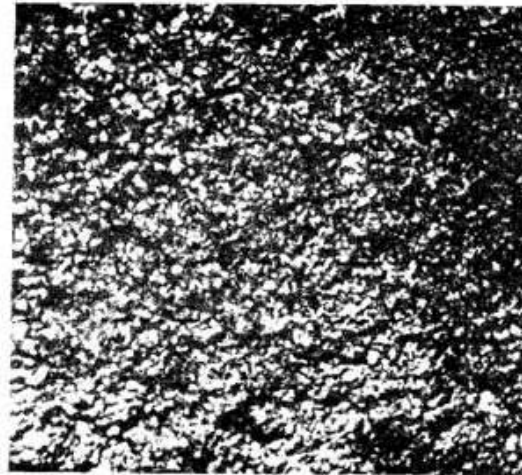
Оно происходит внезапно, мгновенно ($\sim 0,4$ и больше от скорости звука в металле). Предотвратить его нельзя, но возможно не допустить, и прежде всего, за счет правильного выбора материала и режимов его обработки



Хрупким разрушениям (при напряжениях ниже предела текучести) подвержены валы, шестерни, оси, подшипники качения, трубопроводы, мостовые балки и др.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Мелкокристаллический излом



Размер зерна
порядка 30 – 50 мкм.

Фасетки в изломах очень мелкие, свет на них равномерно рассеивается. Такие изломы называются **фарфоровидными**

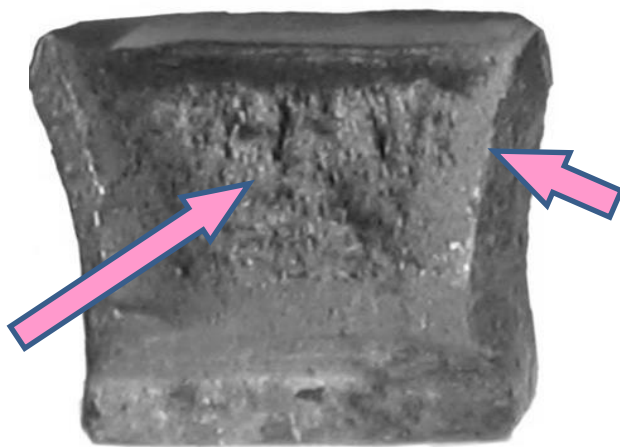
Такие изломы имеют закаленные стали с высокой твердостью, а также поверхностные слои после химико-термической обработки или поверхностной закалки.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Вязкий излом

Излом образуется при разрушении, которому предшествует и его сопровождает значительная пластическая деформация

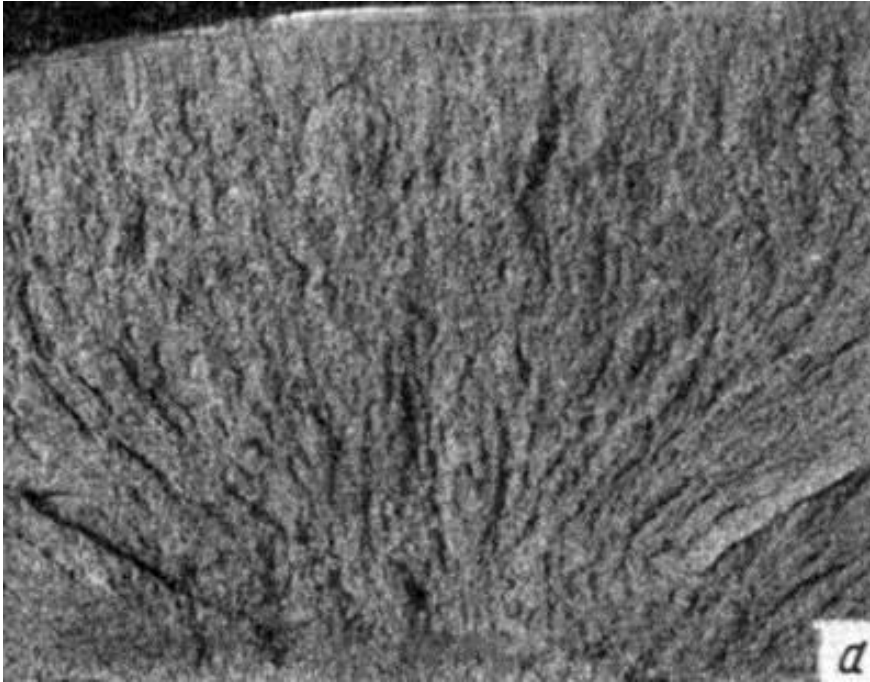
Под влиянием большой деформации ($\psi > 15\%$) на поверхности излома образуются мелкие уступы - волокна. Вязкий излом называют **ВОЛОКНИСТЫМ**.



Отдельные фасетки не отражают света, и поэтому **излом матовый**. Вязкий излом имеет боковые сколы, они тем больше, чем пластичнее материал.

Вязкий излом характерен для разрушений, требующих больших затрат свободной энергии ($> 20 \text{ Дж}$).

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ



Как правило, **матовый волокнистый излом** является результатом разрушений деталей из низко- и среднеуглеродистых сталей, не имеющих достаточного запаса прочности.

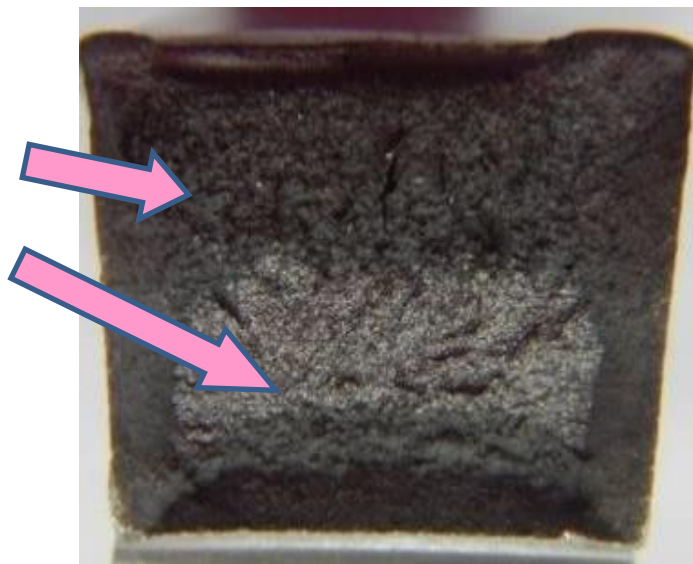
Один и тот же материал в зависимости от условий испытаний (в частности от температуры), концентраторов напряжений, вида и качества обработки, напряженного состояния может разрушаться как хрупко, так и вязко.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Смешанный излом

Большинство деталей подвержены вязко-хрупкому или хрупко-вязкому разрушениям, для которых **характерен смешанный излом**.

Излом имеет участки как хрупкого, так и вязкого разрушения. Пластическая деформация не превышает 15%.



Хрупко-вязкое разрушение типично для деталей, подвергавшихся поверхностной закалке или химико – термической обработке.

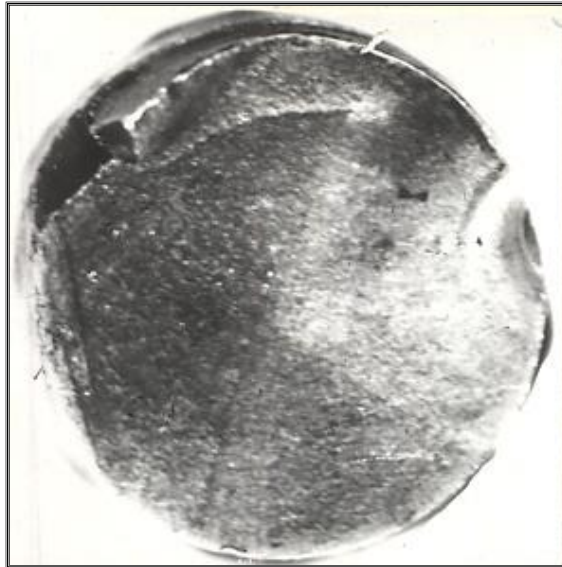
Вязко-хрупкое разрушение имеет место при несквозной закалке деталей (не по всему сечению).

Соотношение хрупкой и вязкой составляющих изломов характеризует склонность материала к хрупкому разрушению и является критерием его надежности.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Детали, разрушающиеся при циклических нагрузках, имеют **усталостный излом**.

Усталостное разрушение начинается с появления в поверхностном слое изделия **субмикроскопической трещины** в местах концентрации напряжений возле дефектов.



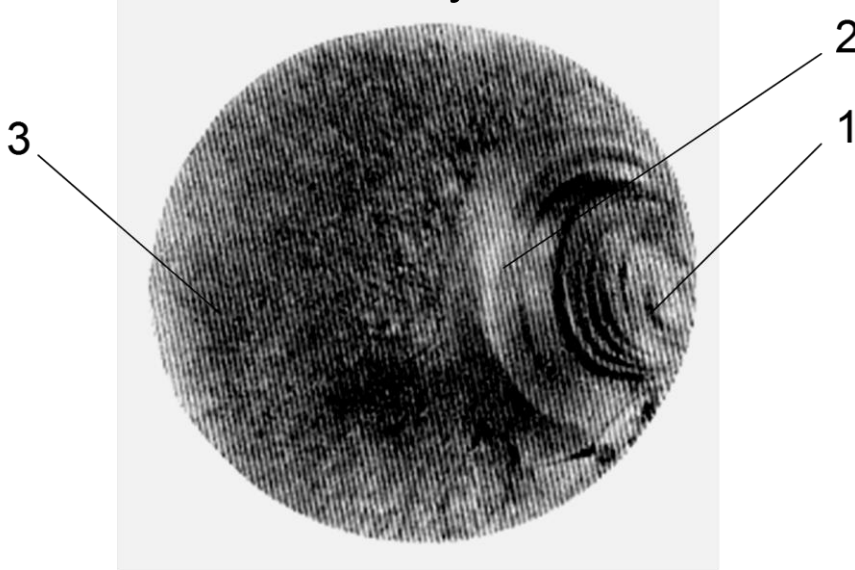
Дефекты могут быть конструктивного (надрез, отверстие), технологического (раковина, шлаковое включение) или монтажного (риска, перекос, забоина) происхождения.

Трещина в процессе эксплуатации детали постепенно развивается, достигая критической длины, и когда действующие напряжения в оставшемся сечении превысят временное сопротивление разрушению (предел прочности), **произойдет мгновенное разрушение - долом**.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Для **усталостных изломов** характерно наличие нескольких зон, отличающихся по своему строению:

- Очаг (источник) возникновения микротрещины.
- Зона усталостного разрушения - участок постепенного развития микротрещины с заглаженной поверхностью с так называемыми усталостными полосами - следами скачкообразного перемещения усталостной трещины по сечению изделия.
- Зона мгновенного долома, которая у хрупких материалов имеет кристаллическое, а у вязких – волокнистое строение.

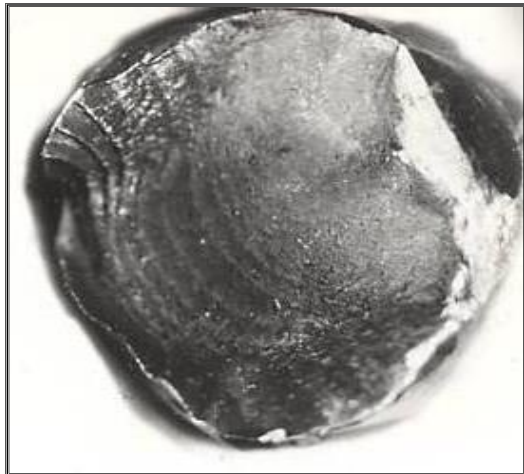


Усталостный излом оси :
1 – очаг разрушения;
2 – зона постепенного развития трещины;
3 – долом;

ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Величина и расположение зоны долома зависит от величины действующих напряжений и количества их концентраторов.

При высоких значениях действующих напряжений величина **долома** занимает большую часть излома.

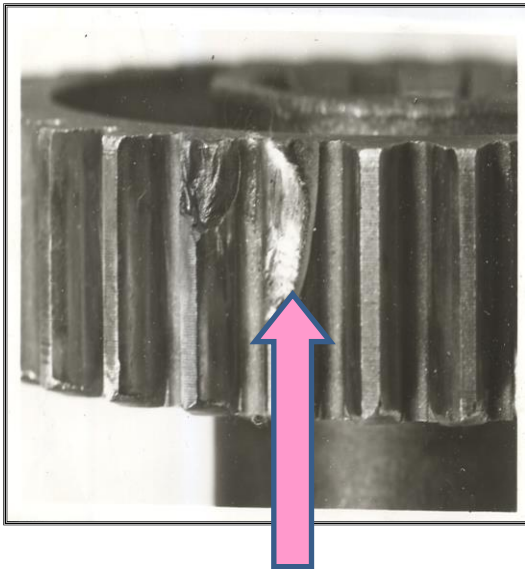


Уменьшение напряжений расширяет зону развития усталостной трещины и сокращает зону долома.

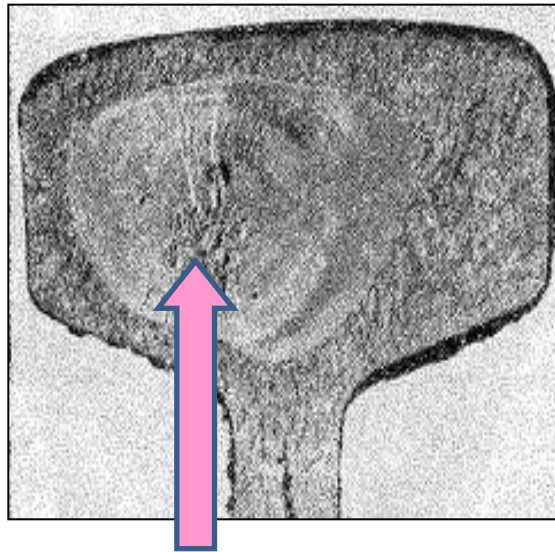
ИЗУЧЕНИЕ ИЗЛОМОВ

Более 80% разрушений изделий – это усталостные разрушения

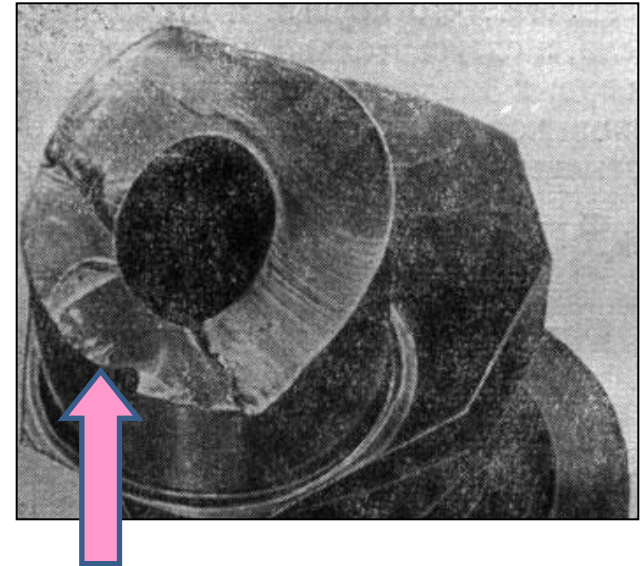
От усталости разрушаются валы, шестерни, оси, зубчатые колеса, пружины, рессоры, сварные соединения, рельсы.



Зубчатое колесо



Рельс



Шатунная шейка
коленвала

Оценка вида излома деталей, которые разрушились в процессе эксплуатации, позволяет выявить причину разрушения.

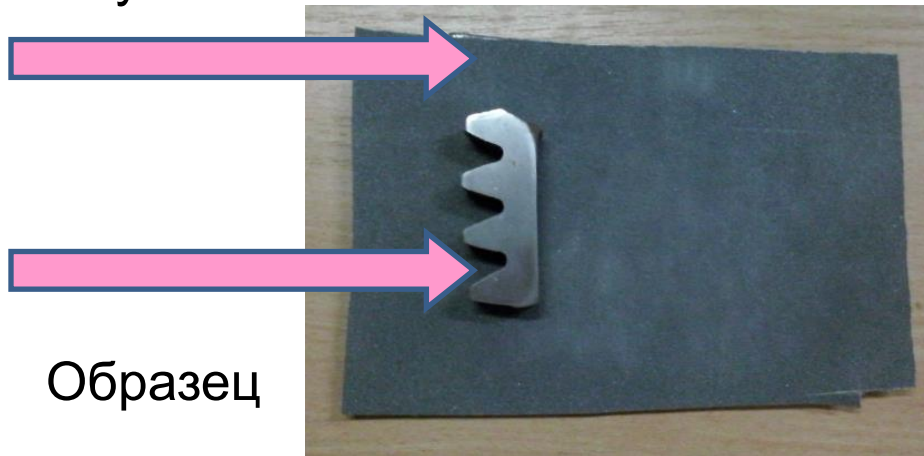
ИЗУЧЕНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ МЕТОДОМ ТРАВЛЕНИЯ

Внутреннюю структуру материалов изучают на специально подготовленных образцах – **макрошлифах**.

Макрошлифы, изготовленные в поперечном сечении изделия, называют **темплетом**.

Образцы заторцовывают на точильном круге (для получения ровной поверхности) и шлифуют. После шлифования образцы подвергают травлению.

Наждачная
бумага



Образец

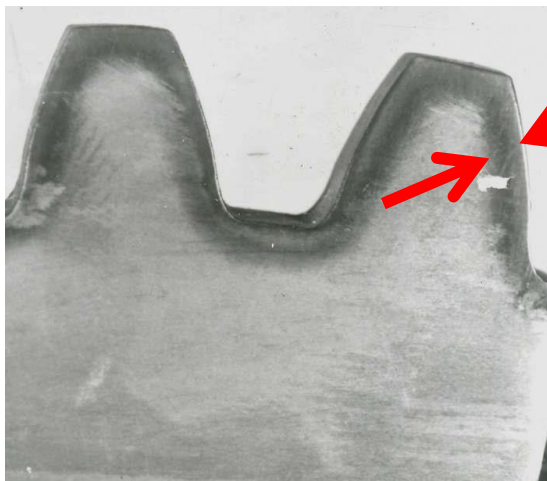
Такой метод исследования называют **методом травления**.

В зависимости от цели исследования и химического состава материала используют разные травители.

МЕТОД ТРАВЛЕНИЯ

Макроанализ позволяет судить о соблюдении технологии обработки и производить контроль качества изделий.

После поверхностной закалки и химико - термической обработки изменяется структура, поэтому поверхность и сердцевина изделия травятся по разному.



~1,5 -2 мм

Цементованный слой
(насыщенный углеродом)
на поверхности зубьев
шестерни.

~3-4 мм

Поверхностный слой кулачка
распредвала, закалённый
высокой частоты. токами



МЕТОД ТРАВЛЕНИЯ

Методом травления можно выявить расположение волокон после горячей пластической деформации.

Волокнистая структура приводит к анизотропии (различию) механических свойств металлов.



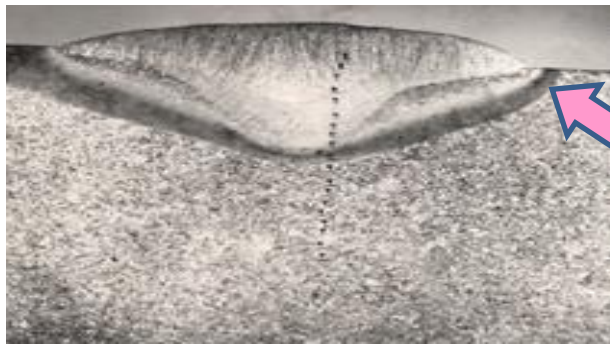
Вдоль волокна пластичность и ударная вязкость выше, чем поперек волокна. Направление волокна в изделии позволяет оценить правильность технологии его изготовления.

Изготавливать детали (ковкой, штамповкой) надо таким образом, чтобы волокно повторяло контур детали, а действующие на неё усилия были перпендикулярны волокну.



МЕТОД ТРАВЛЕНИЯ

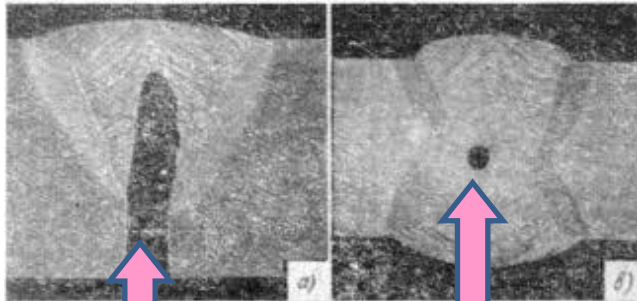
На макрошлифах сварных соединений выявляют наплавленный металл, зону термического влияния и наличие внутренних дефектов (непровары, поры, шлаковые включения).



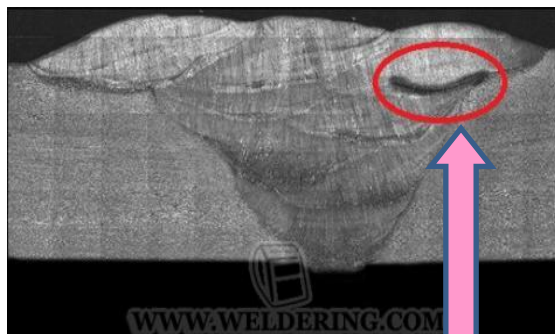
Зона
термического
влияния



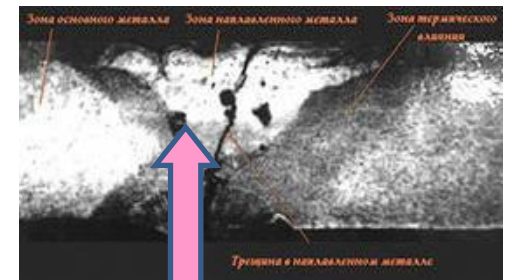
Наплавленный металл



Шлаковое включение и
пора



Непровар



Нитриды

ЛИКВАЦИЯ

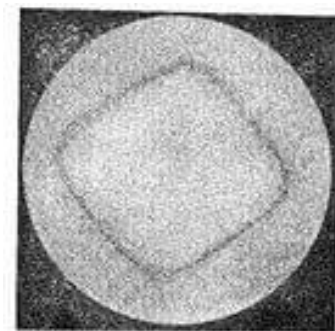
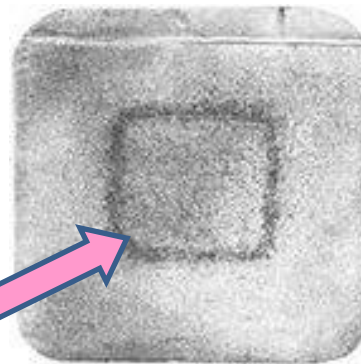
Ликвация — это неоднородность химического состава твердого сплава (слитка, отливки) по сечению.

Зональная
ликвация

Наибольшей склонностью к зональной ликвации обладают сера, фосфор и углерод.

Чем крупнее отливка, тем медленнее она охлаждается и тем больше развивается зональная ликвация. При этом ухудшается качество слитка и снижаются его механические свойства, что зачастую приводит к отбраковке.

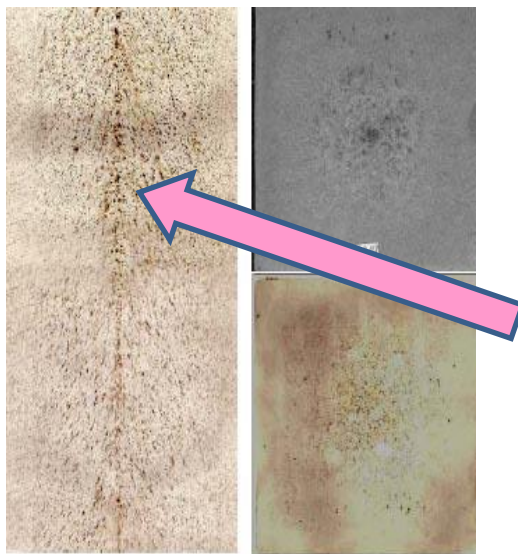
После обработки слитка давлением (ковка, штамповка) ликвация сохраняется в виде ликвационного квадрата.



ЛИКВАЦИЯ

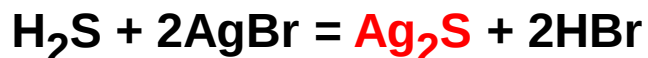
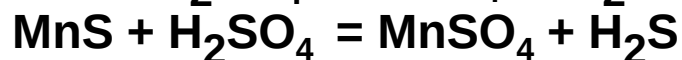
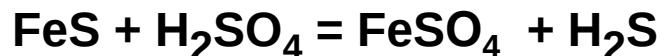
Ликвация углерода, серы, фосфора определяется методом отпечатка. В этом случае изучают не непосредственно макроструктуру шлифа, а ее отпечаток, полученный на фотобумаге.

На подготовленную поверхность макрошлифа накладывают засвеченную **бромсодержащую фотобумагу**, которую предварительно пропитывают **5% водным раствором H_2SO_4** .



На отпечатке образуются коричневые пятна, соответствующие местам расположения сернистых включений.

При получении отпечатка происходят реакции:



Имеет коричневый цвет

Теоретические сведения

Микроструктура – это строение металла, которое изучают при большом увеличении с помощью микроскопов.

Метод исследования микроструктуры называют микроструктурным анализом (**микро-анализом**).



Оптический
микроскоп

Для проведения микроанализа используют **оптические микроскопы**, которые обеспечивают увеличение от 50 до 1500 раз и электронные микроскопы с большим увеличением.

Микроанализ позволяет выявить:

- форму и размеры зёрен,
- форму, количество и расположение структурных составляющих,
- микродефекты и неметаллические включения.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

Металлографический микроскоп представляет собой систему линз, позволяющих получить увеличенное изображение структуры. Основные характеристики микроскопа - разрешаемое расстояние, полезное и действительное увеличение.

Разрешаемое расстояние микроскопа - наименьшее расстояние между двумя точками, на котором они видны раздельно, т.е. тот наименьший размер элемента структуры, который можно увидеть с помощью данного прибора.

разрешаемое расстояние

α - апертурный угол.

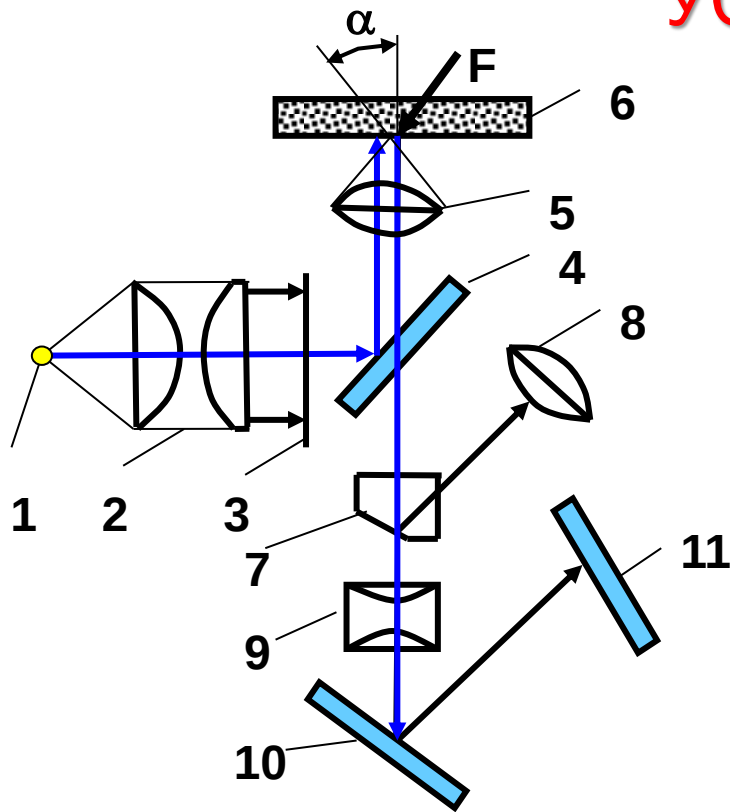
$$d = 0,5\lambda / n \cdot \sin \alpha$$

λ - длина волны излучения, в котором ведется наблюдение;

n - показатель преломления среды между объектом и объективом;

Величина, обратная d - это разрешающая способность микроскопа.

УСТРОЙСТВО ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА



Принципиальная схема оптического микроскопа МИМ-7: 1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – диафрагма; 4 – полупрозрачная пластина; 5 – объектив; 6 – объект (микрошлиф); 7 – призма; 8 – окуляр; 9 – фотоокуляр; 10 – зеркало; 11 – фотопластина; F - фокус объектива; α - апертурный угол



Объектив

Предметный столик



Окуляр



Микрометрический винт

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

Значение d оценивают, подставив в формулу (1) следующие значения: $\lambda = 4 \cdot 10^{-4}$ мм (длина волны видимого света); $n = 1$ для воздушной среды; максимальный угол $\alpha = 90^\circ$. Отсюда $d \sim 0,5\lambda = 2 \cdot 10^{-4}$ мм.

Объект становится видимым для человеческого глаза, если его увеличенный размер не менее 0,2 мм, поэтому полезное увеличение микроскопа определяют из соотношения:

Полезное
увеличение
микроскопа

Разрешаемое расстояние
глаза человека



V

пол

=

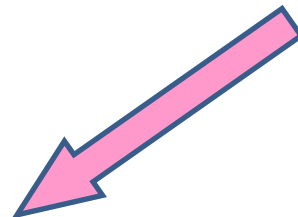
0,2

d

=

0,2⁽¹⁾

$2 \cdot 10^{-4}$



Разрешаемое расстояние
микроскопа

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

Действительное увеличение микроскопа равно произведению увеличений окуляра и объектива.

Действительное
увеличение
микроскопа

Увеличение
окуляра

Увеличение
объектива

V

действит

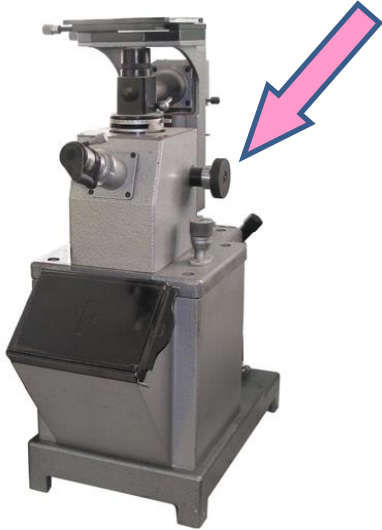
=

V

окуляра

V

объектива



Металлографические микроскопы позволяют получить увеличение порядка 1500.

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

При металлографическом исследовании образец подготавливают **последовательным шлифованием** на наждачной бумаге различной зернистости, начиная с грубой и заканчивая самой мелкой. В результате такой обработки поверхность образца покрывается мелкими рисками.

Следующая операция – **полирование**. Она производится на специальных станках с использованием в качестве «абразива» порошков окиси хрома, окиси алюминия либо алмазных паст.

Полирование



После полирования поверхность образца становится зеркальной.

Для выявления структуры производится травление полированных объектов. Травителями служат спиртовые или водные растворы различных солей, щелочей и кислот. Наиболее часто в качестве травителя используют 4% водный раствор серной кислоты.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МИКРОШЛИФА

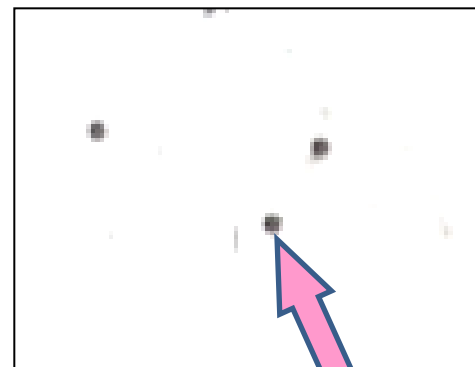
Шлифование на
шлифовальном круге



Полирование шлифа на полировальном
станке



Образец после
шлифования на
шлифовальном
круге



Неметалличес-
кие включения



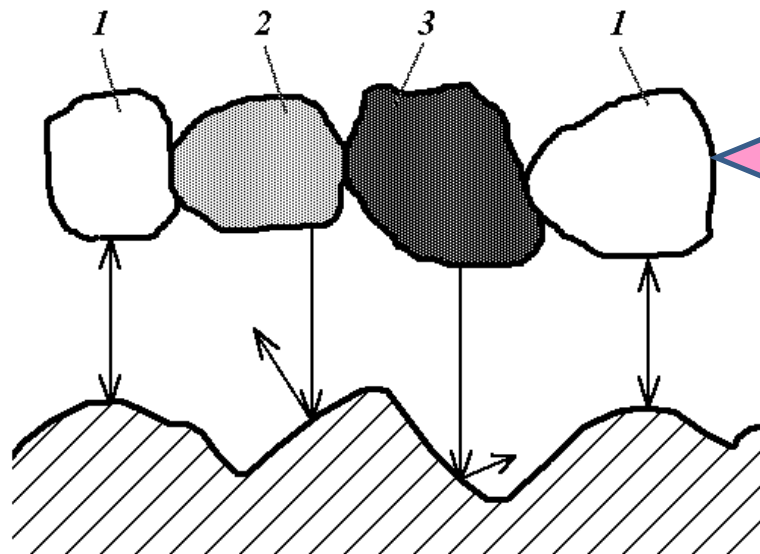
Полированный
образец



ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

В результате действия травителей на поверхности образца появляется рельеф, соответствующий внутреннему строению материала, который изучают с помощью микроскопа. Изготовленный таким образом объект называется **металлографическим шлифом**.

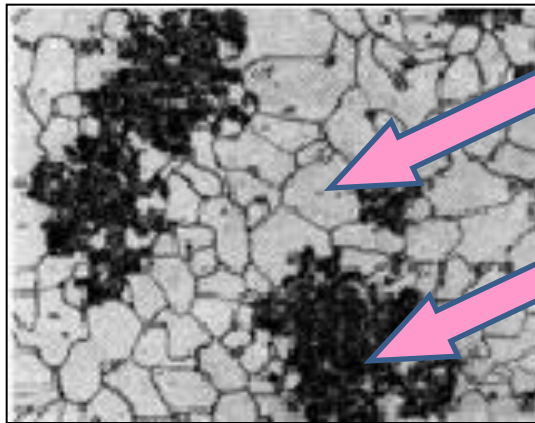
Из-за разной степени травления границ зёрен, тела зерна и структурных составляющих на поверхности микрошлифа образуется рельеф в виде впадин и выступов.



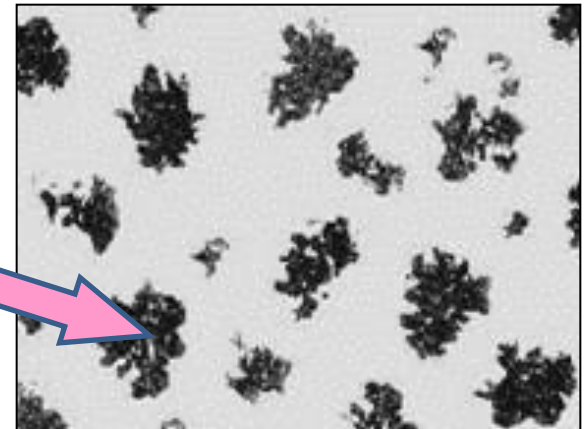
Формирование изображения структуры многофазного сплава.

Неровности поверхности по-разному рассеивают отражающиеся световые лучи. На границах зёрен, которые травятся интенсивно, образуются впадины, сильно рассеивающие лучи. Поэтому границы выглядят, как тёмные линии.

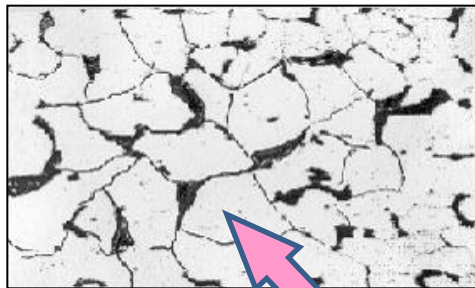
ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ



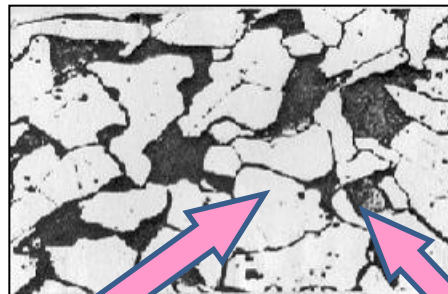
Образец ковкого чугуна
полированный травлённый



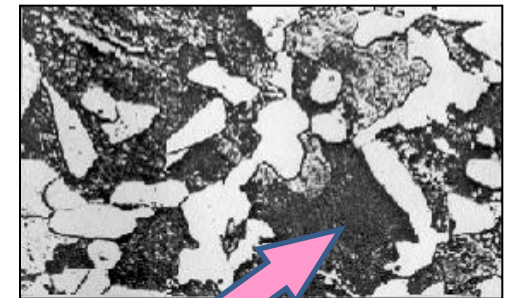
Образец ковкого чугуна
полированный нетравлённый



Образец стали 20
полированный
травлённый



Образец стали 40
полированный
травлённый



Образец стали 60
полированный
травлённый

Феррит

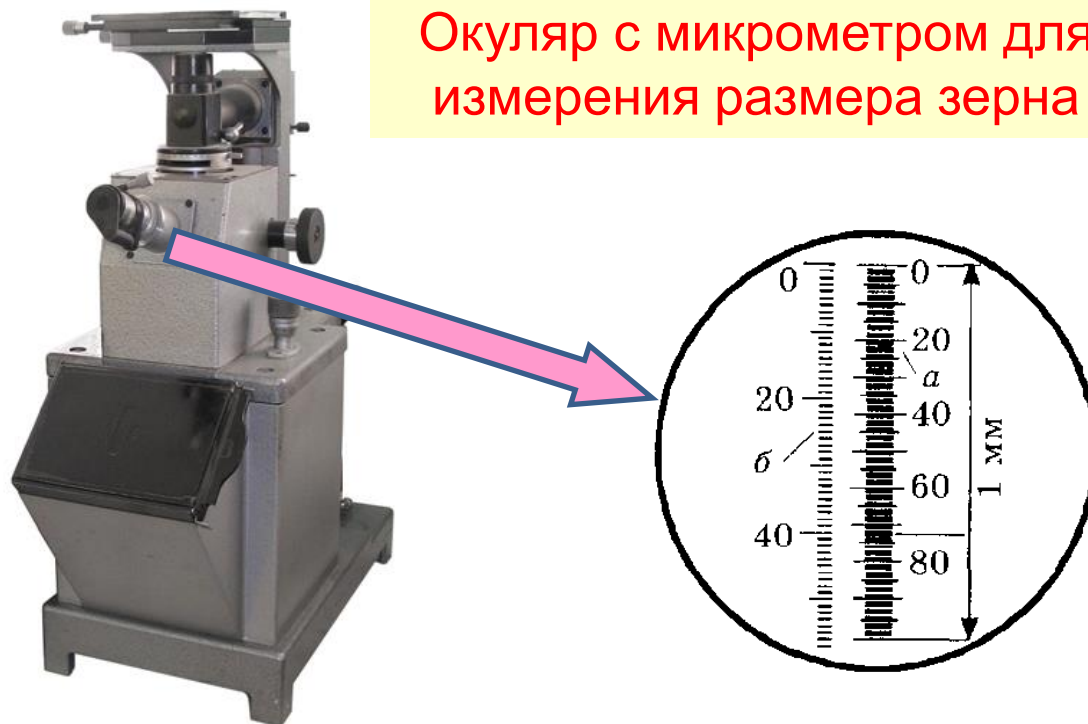
Перлит

Феррит

Графит

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ

Микроструктурный анализ позволяет получать количественные оценки: размер зерна, процентное соотношение фаз и структурных составляющих.

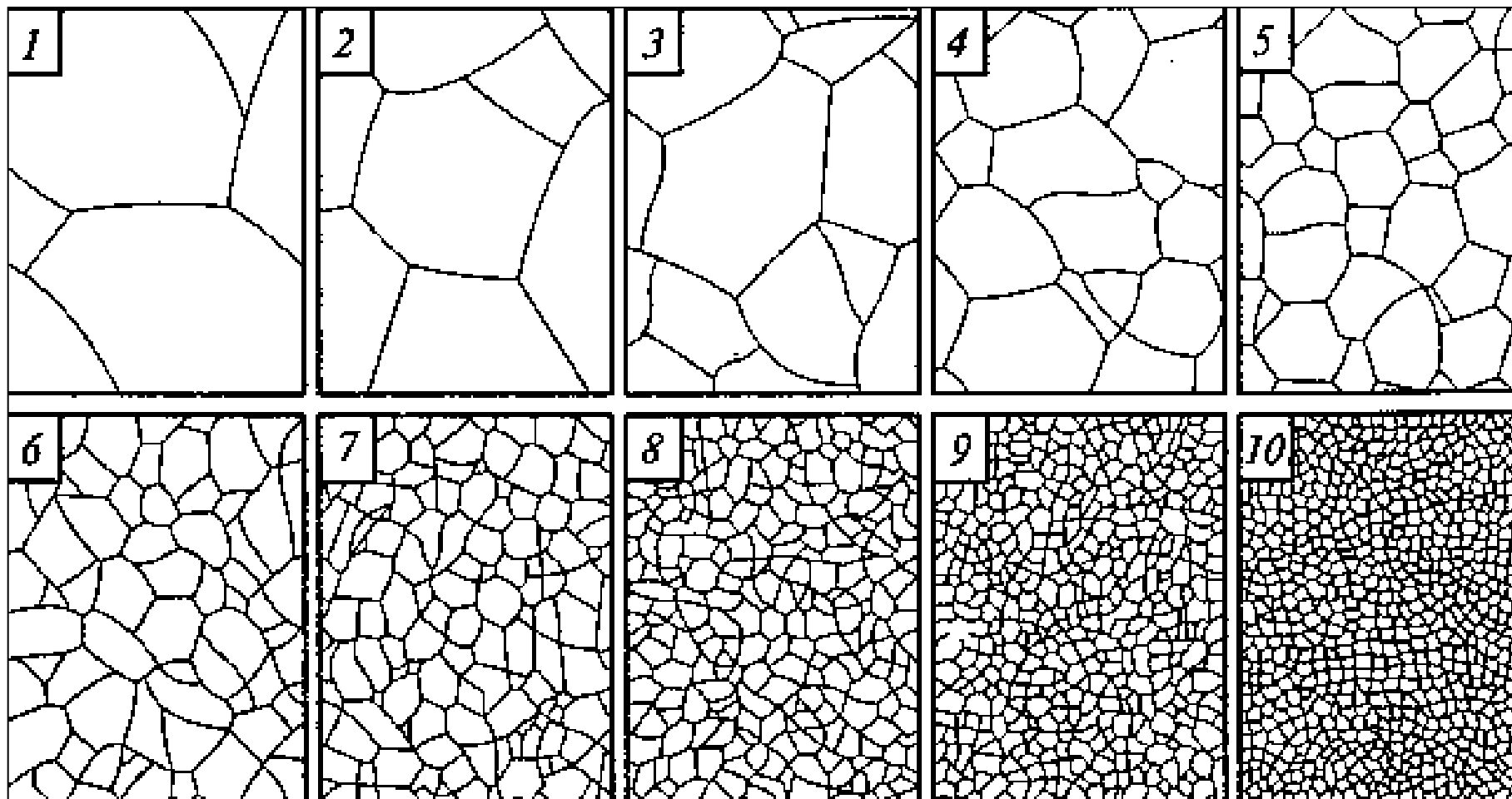


Окуляр с микрометром для измерения размера зерна

Величину зерна определяют по ГОСТ 5639–82 сравнением микроструктуры стали при увеличении в 100 раз с эталонными шкалами.

Для определения размера зёрен используют специальные шкалы. Размер зерна определяется баллами: чем выше балл, тем меньше зерно.

ГОСТ 5639–82. Методы выявления и определения величины зерна



Шкалы для определения размера зерна: $\times 100$, цифрами
указаны номера баллов

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Произвести осмотр дефектов поверхности деталей, классифицировать их и дать краткое описание.
- 2) Изучить изломы и дать им оценку. Сфотографировать и описать их.
- 3) Приготовить макрошлифы: образцы шлифовать, протравить, промыть и просушить.
- 4) Сфотографировать протравленные макрошлифы и описать макроструктуры.
- 5) Изучить ликвацию по полученному сернистому отпечатку.
- 6) Результаты исследований внести в протокол.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

7) Приготовить микрошлиф на образце, выданном преподавателем (прошлифовать на тонкой бумаге, отполировать, протравить).

8) Ознакомиться с устройством металлографического микроскопа.

9) Рассмотреть под микроскопом и сфотографировать вид поверхности микрошлифа после шлифования, полирования и травления.

ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчёт о работе должен включать:

- 1) Цель работы.
- 2) Краткое изложение ее содержания.
- 3) Описание изломов с их полной характеристикой.
- 4) Описание макроструктур, полученных методом травления.
- 5) Сернистый отпечаток с указанием вида ликвации.

3) Рисунки или фото поверхности микрошлифа после шлифования, полирования, травления при оптическом увеличении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что такое макроструктура?
- 2) Какими методами изучают макроструктуру?
- 3) Какие сведения о металле получают, используя метод травления?
- 4) Как исследуют ликвацию серы и фосфора?
- 5) Какие сведения получают, изучая вид излома?
- 6) Какой вид имеет излом при хрупком разрушении и каковы его особенности?
- 7) Какой вид имеет излом при вязком разрушении и его характерные признаки?
- 8) Какие особенности усталостного разрушения, когда оно имеет место, какой вид усталостного излома?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 9) Что такое микроструктурный анализ?
- 10) Как готовят металлографический шлиф?
- 11) Что такое разрешающая способность микроскопа?
- 12) Принцип действия оптического микроскопа.
- 13) Как определить разрешаемое расстояние микроскопа ?
- 14) Как определить полезное и действительные увеличения микроскопа?
- 15) Как оценить размер зерна?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить оборудование и материалы, которые применяют для приготовления микрошлифов.

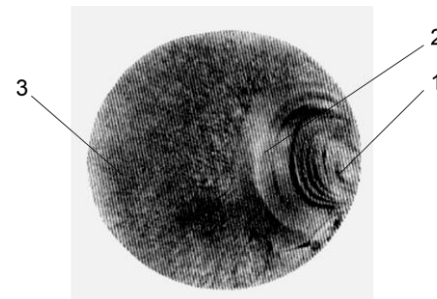
2) Ознакомиться с травителями для идентификации различных фаз и структурных составляющих.

3) Изучить металлографические микроскопы, которые используют для изучения микроструктуры.

4) Ознакомиться с приёмами, используемыми для возможности получения максимального увеличения в металлографическом микроскопе.

Протокол лабораторной работы №1 Изучение макро- и микроструктуры металлов и сплавов.

Изучение изломов (метод изломов)



Изучение макрошлифов(метод травления)



Микроструктура металлов и сплавов

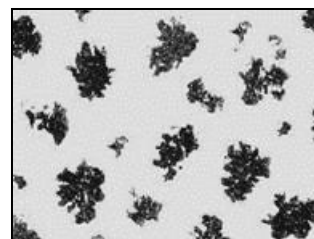


Оптический микроскоп
 МИМ-7

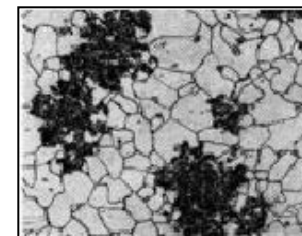
Выполнил ст. гр.



Шлифованный
 образец



Полированный
 образец (ковкий
 чугун)



Образец после травления
 (ковкий чугун)

Принял: