**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по курсу «Материаловедение»
для студентов направлений

15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»

очной и заочной формы обучения

Энгельс 2025

Цель работы: ознакомиться с методами металлографического анализа – макроскопическим и микроскопическим.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Металловедение – наука о строении и свойствах металлов и сплавов. По изменению строения (структуры) изучают превращения, происходящие в сплавах при изменении их химического состава и условия обработки.

Исследования металлической детали даже невооруженным глазом (макроанализ) позволяет часто ответить на вопрос о том, как была изготовлена деталь (например, литьем или, кроме того, обработкой давлением). Макроанализ может установить, имеются ли в металле такие серьезные дефекты, как трещины, пустоты и раковины, как распределены вредные примеси по сечению детали и т.д.

Исследование металлических сплавов при больших увеличениях с помощью микроскопа обнаруживает новые детали их строения. Наблюдаемая структура называется микроструктурой.

Изучение микроструктуры (микроанализ) позволяет качественно судить о многих физических и механических свойствах сплавов. Микроанализ широко используется для исследования и технического контроля металлов и сплавов в заводских лабораториях.

Макроанализ

Макроскопический анализ заключается в определении строения металла невооруженным глазом или через лупу. Макростроение можно изучать на поверхности отливок и поковок, в изломе детали или на макрошлифах, т. е. после предварительной шлифовки и химического травления поверхности различными реактивами. Чаще всего для сталей и чугунов применяют реактив состава: 85 г $CuCl_2$ и 53 г NH_4Cl на 1000 мл воды.

По виду излома детали определяют характер разрушения - вязкое или хрупкое. При хрупком разрушении излом имеет зернистое строение и можно оценить размер зерна металла.

На макрошлифах изучают строение литых деталей, неоднородность строения детали, полученных обработкой давлением (например, волокнистость), структурную и химическую неоднородность детали, созданную термической (например, поверхностной закалкой) или химикотермической обработкой (например, цементацией, т.е. науглероживанием на определенную глубину стальных деталей). Широко используют этот метод на практике для контроля качества сварного шва.

Часто макроанализ является неокончательным, а предварительным видом исследования, после чего деталь подвергается дальнейшему более подробному микроскопическому исследованию.

Микроанализ

Оптические микроскопы позволяют исследовать структуры при увеличениях от 50 до 2000 раз. Еще большие увеличения (до 500000 раз) достигается при помощи электронных микроскопов. Выбор увеличения, решается в зависимости от структуры сплавов. Во многих случаях нет необходимости применять большие увеличения. Обычно производят микроанализ сначала при небольшом увеличении (100-200 раз), а затем, если необходимо, при больших увеличениях.

Основные задачи микроанализа:

– определение структуры сплавов в условиях равновесия;

– определение неравновесных структур;

– определение характера обработки металла (литое состояние или после обработки давлением, вид термообработки);

– определение глубины обезуглероживания стальной детали, глубины насыщения детали углеродом (при цементации), азотом (при азотировании) и т.д.;

– количественная металлография (размеры зерен, количество структурных составляющих).

Приготовление микрошлифа

Изучение структуры металлов в оптическом микроскопе возможно лишь при отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена для микроанализа. Такой образец называется микрошлифом.

Образец вырезают в форме цилиндра или куба диаметром и высотой 12 – 15 мм. Если при нагреве возможно изменение структуры металла, обработку резанием производят с охлаждением. Мелкие образцы, типа проволоки или тонкой ленты, закрепляют в специальные зажимы или заливают в металлические кольца легкоплавким сплавом, серой, пластмассой.

Изготовление микрошлифов состоит из операций: грубая и тонкая шлифовка, полировка, травление поверхности. Грубая шлифовка производится на абразивном круге. Тонкую шлифовку ведут вручную на шлифовальной бумаге 25 (с размером абразивных частиц 320-200 мкм), положенной на ровную поверхность (например, на стеклянную пластину). Образец перемещают с легким прижатием к бумаге перпендикулярно рискам предыдущей обработки пока не исчезнут эти риски. После этого шлифуют

на менее грубой бумаге 16; 10; 6. Заканчивают шлифовку на микронной бумаге М 28 или М 20, образец промывают водой и подвергают полировке.

Полирование производится на вращающемся диске, обтянутом сукном или фетром. Диск смачивают полировальной жидкостью, состоящей из воды и порошка твердых частиц окиси хрома Cr_2O_3 или окиси алюминия $A1_2O_3$ (10-15 г порошка на 1 л воды.). Можно пользоваться и пастой ГОИ, в составе которой находится окись хрома. Полирование заканчивается после того, как шлиф приобретает зеркальную поверхность.

Кроме механического применяют электролитическое полирование, которое заключается в анодном растворении выступов на шлифованной поверхности в электролитической ванне. Катодом служат пластины из свинца или нержавеющей стали.

После полирования с целью выявления микроструктуры проводится травление микрошлифа, для чего используют различные реактивы, в зависимости от состава используемого сплава. Для травления углеродистых сталей и чугунов обычно используют 3 – 5% раствор азотной кислоты в спирте. Полированную поверхность смачивают реактивом и выдерживают до получения матовой поверхности (10 – 30 с), затем промывают в воде и высушивают фильтровальной бумагой или горячим воздухом. Структурные составляющие сплавов растворяются в неодинаковой степени, поэтому возникает рельеф, который и наблюдается в микроскоп в виде светлых и темных зерен. Структура, травящаяся сильнее, рассеивает больше света и кажется поэтому более темной.

Полезное увеличение и разрешающая способность микроскопа

Имеются различные конструкции металлографических микроскопов. Так, в вертикальных микроскопах может быть нижнее или верхнее расположение шлифа по отношению к объективу. На рисунке показан схематично ход лучей в вертикальных микроскопах МИМ 6, МИМ 7, МИМ 8. В ряде других микроскопов шлиф располагается внизу, т.е. рисунок нужно перевернуть на 180°.

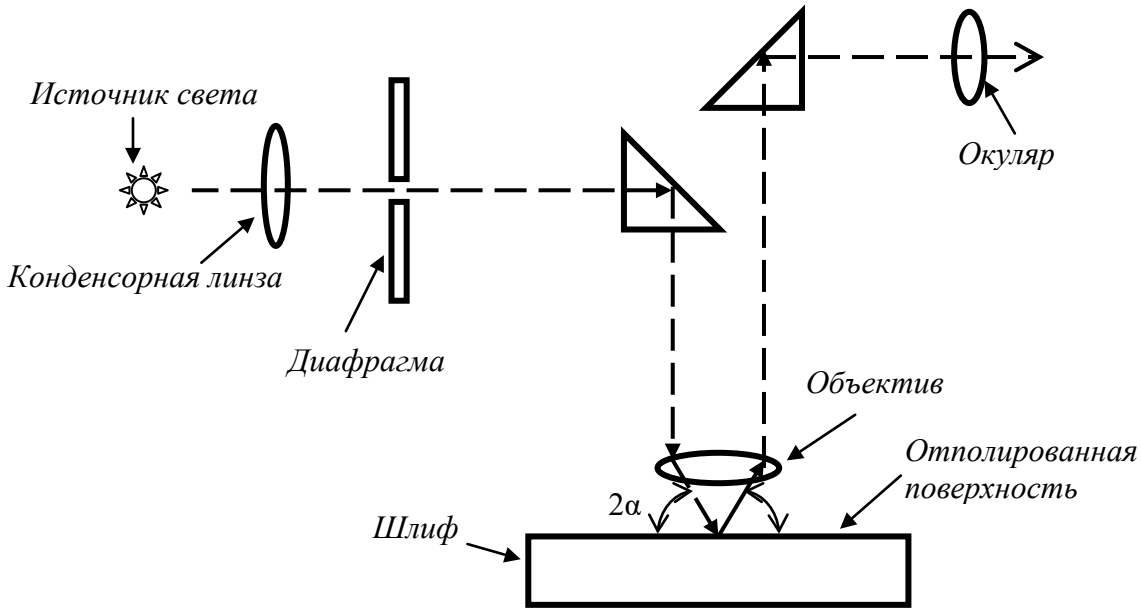
Важнейшей деталью микроскопа является объектив. Основными характеристиками объектива являются: числовая апертура, увеличение. фокусное расстояние, отверстный угол объектива 2α.

Числовая апертура:

$$A = n \sin\alpha,$$

где n - показатель среды, разделяющей объектив и шлиф (коэффициент преломления); α - половина отверстного угла объектива, т.е. угла расхождения крайних лучей, исходящих от объектива.

Практически отверстный угол бывает не более 144°. Следовательно в воздушной среде A_{max} = 1·sin72° = 0,95. Объективы маркируются двумя числами - собственным увеличением и числовой апертурой: 40 х 0,65; 21 х 40; 9 х 0,20.



Ход лучей в вертикальном металлографическом микроскопе (схема)

Увеличение окуляра меньше, чем объектива, и подбирается так, чтобы можно было достаточно четко рассмотреть изображение, создаваемое объективом. Обычно окуляры увеличивают от 5 до 20 раз.

Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличений объектива и окуляра. Однако не всегда оно бывает полезным. Можно добиться увеличения оптического микроскопа более 4000 раз, но полезное увеличение почти в 3 раза меньше. Полезное увеличение микроскопа находится в пределах 500-1000 апертур объектива.

Например, если взять объектив 40 х 0,65, то полезное увеличение для него будет в пределах (500 ÷ 1000)·0,65= 325 – 650. Поэтому такой объектив должен комплектоваться с окуляром, имеющим увеличение 10х или 15х. При окулярах 5х или 7х не используется разрешающая способность микроскопа, т.к. общее увеличение достигается только 200 и 280. При окуляре 20х увеличение микроскопа становится 800, но новые детали структуры (по сравнению с окулярами 10х и 15х) не выявляются. Кроме того, ухудшается четкость изображения. Так что главное не увеличение микроскопа, а разрешающая способность.

Разрешающая способность микроскопа (d) – это возможность видеть предметы с размерами не меньше определенной величины, а это зависит от числовой апертуры объектива и длины волны света, применяемого для освещения объекта:

$$d = \lambda/A$$

В наиболее яркой для глаза части спектра (желтого цвета) λ = 0,589 мкм. При апертуре A = 0,40 разрешающая способность d = 0,589/0,40 = 1,45 мкм. При апертуре A = 0,95 d = 0,62 мкм.

Разрешающая способность электронных микроскопов достигает 0,2 - 1 нм, т.е. $(2 - 5)\cdot 10^{-4}$ мкм. Это объясняется тем, что длина волны электронов в 100 – 150 тысяч раз меньше световых волн.

ЗАДАНИЕ К СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА

1. Изучить и кратко описать сущность и назначение макро– и микроанализа металлов.
2. Зарисовать схему хода лучей в металломикроскопе.
3. Кратко описать технологию приготовления микрошлифа.
4. Определить общее и полезное увеличение, а также разрешающую способность микроскопа с объективом 21 х 0,40 и окуляром 5х. Какие окуляры нужно использовать с данным объективом?

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какое различие между макро- и микроанализом?
2. Какие задачи решает макроанализ?
3. Какие задачи решает микроанализ?
4. Из каких операций состоит технология приготовления микрошлифа?
5. Для чего производят травление микрошлифа?
6. Как подсчитать общее увеличение микроскопа?
7. Как подсчитать полезное увеличение микроскопа?
8. Как определить разрешающую способность микроскопа?
9. Что больше – полное или полезное увеличение микроскопа?
10. Почему увеличение и разрешающая способность электронного микроскопа больше, чем у оптического микроскопа?

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Образцы изломов, макрошлифов и микрошлифов металлов.
2. Фотографии микроструктур.
3. Металлографические микроскопы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М., Материаловедение. / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. 528 с.

2. Геллер Ю.А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи: уч. пос. для вузов / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт - 6-е изд., перераб. и доп.- М.: Металлургия, 1989. 456 с.

3. Баранова Л.В. Металлографическое травление металлов и сплавов: справочник / Л.В. Баранова, Э.Л. Дёмина – М.: Металлургия, 1986. 256 с.

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по курсу «Материаловедение»

Составили: ЗЕМЧЕНКОВ Владимир Степанович
МАХУХОВ Николай Георгиевич

Рецензент А. М. Долгих

Редактор Н. Н. Крылова

Подписано в печать 10.09.02 Формат 60x84 1/16
Бум. тип. Усл. - печ. л. 0,46(0,5) Уч.-изд. л. 0,4
Тираж 100 экз. Заказ 112 Бесплатно

Саратовский государственный технический университет
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Копи принтер СГТУ, 410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77