

№ 2728

# Материаловедение

Лабораторный практикум

**№ 2728**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

Кафедра металловедения цветных металлов

# Материаловедение

Лабораторный практикум

Рекомендовано редакционно-издательским  
советом университета



Москва 2016

УДК 620.22  
М34

Рецензент  
канд. техн. наук *Т.А. Базлова*

Авторы: С.В. Медведева, О.И. Мамзурина, М.С. Кищик, О.А. Яковцева

**Материаловедение** : лаб. практикум / С.В. Медведева [и др.]. –  
М34 М. : Изд. Дом МИСиС, 2016. – 103 с.

Лабораторный практикум содержит 5 лабораторных работ по основным темам курса «Материаловедение», в результате выполнения которых студенты получают навыки практической работы на металлографическом микроскопе, твердомерах, разрывной испытательной машине, а также научатся проводить термическую обработку сталей, готовить образцы для металлографического анализа и т.д.

Практикум позволяет полностью обеспечить студентов необходимым минимумом информации для выполнения всех лабораторных работ, предусмотренных учебной программой курса.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлениям 22.03.02(150400), 20.03.01 (280101, 280202, 280700).

**УДК 620.22**

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1. Техника микроструктурного анализа. Количественная металлография .....	4
Лабораторная работа 2. Методы исследования свойств сплавов.....	21
Лабораторная работа 3. Типичные микроструктуры сплавов двойных систем, отожженных углеродистых сталей и чугунов .....	35
Лабораторная работа 4. Термическая обработка сталей.....	59
Лабораторная работа 5. Микроструктура промышленных цветных сплавов .....	70

## Лабораторная работа 1

### ТЕХНИКА МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МЕТАЛЛОГРАФИЯ

(4 часа)

Цели работы:

- обоснование выбора метода исследования структуры;
- получение навыков приготовления микрошлифов;
- освоение работы на световом оптическом микроскопе;
- определение методами количественной металлографии параметры структуры.

#### 1.1. Теоретическое введение

Наиболее простой метод изучения структуры – *макроанализ*, который включает в себя изучение структуры невооруженным глазом или при увеличениях лупы до 30 крат. Объект исследования – темплет – вырезанная из слитка поперечная пластина, в которой одну из сторон среза подвергают шлифовке, полировке и травлению в соответствующих кислотах или щелочах. Зерна, выросшие из разных центров и произвольно рассеянные срезом, после травления приобретают разный оттенок, между ними вытравливаются границы, что позволяет отличить их одно от другого, определить их форму и размер.

К макроскопическому анализу относятся также исследования изломов, которые возникают в результате каких-либо разрушений, либо полученных специально, для выяснения особенностей зеренного строения слитков или деталей.

Макроскопический метод недостаточен для изучения структуры, полученной после специальной обработки металлов, в результате которой зерна измельчаются до размеров 0,5...15 мкм (*микроструктурная структура*). Поэтому более широко используют *микроструктурный анализ* с использованием металлографических микроскопов, которые позволяют проводить исследования микрошлифов с увеличениями от 50 до 2000 крат. Разрешающая способность глаза ограничена. Она характеризуется *разрешаемым расстоянием*, т.е. тем минимальным расстоянием между двумя соседними частицами, при котором они еще видны раздельно. Разрешаемое расстояние для невооруженного глаза составляет около 0,2 мм. Чтобы увеличить раз-

решающую способность (т.е. уменьшить разрешаемое расстояние), используют микроскоп.

*Разрешаемое расстояние* микроскопа определяется соотношением

$$\mu_{\min} = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}, \quad (1.1)$$

где  $\lambda$  – длина волны света, идущего от объекта исследования в объектив;  $n$  – показатель преломления среды, находящейся между объектом и объективом;  $\alpha$  – угловая апертура, равная половине угла раскрытия входящего в объектив пучка лучей, дающих изображение. Произведение  $n \sin \alpha = A$  называется *числовой апертурой объектива*. Эта важнейшая характеристика объектива выгравирована на его оправе.

Из соотношения (1.1) видно, что для увеличения разрешающей способности следует увеличить числовую апертуру объектива  $A$ . У лучших (короткофокусных) объективов максимальный апертурный угол  $\alpha$  около  $70^\circ$  и  $\sin \alpha$  около 0,94. В большинстве исследований применяют сухие объективы, работающие в воздушной среде ( $n = 1$ ). Для уменьшения разрешаемого расстояния используют иммерсионные объективы ( $n \geq 1$ ). Пространство между объективом и объектом заполняют прозрачной жидкостью (иммерсией) с большим показателем преломления. Обычно в качестве иммерсии используют каплю кедрового масла ( $n = 1,51$ ). Если для видимого белого света принять  $\lambda = 0,55$  мкм, то минимальное разрешаемое расстояние светового микроскопа

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

Таким образом, максимальное полезное увеличение и разрешающая способность светового микроскопа ограничены, прежде всего, длиной волны света.

Общее увеличение микроскопа

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{об}} N_{\text{ок}},$$

где  $N_{\text{об}}$  и  $N_{\text{ок}}$  – увеличение объектива и окуляра соответственно.

Объектив дает увеличенное промежуточное изображение объекта, которое рассматривается в окуляр, как в лупу. Окуляр увеличивает промежуточное изображение объекта и не может повысить разре-

шающей способности микроскопа. Основное увеличение (до 100 крат) дает объектив; окуляры увеличивают изображение, сформированное объективом, еще в 7–25 раз. Собственное увеличение окуляра выгравировано на его оправе (например,  $10^{\times}$ ).

Начинающим обучение работе на микроскопе рекомендуется проводить микроанализ с использованием слабого объектива, чтобы вначале оценить общий характер структуры на большой площади. После просмотра структуры при малых увеличениях микроскопа выбирают объектив с такой разрешающей способностью, которая позволяет увидеть необходимые самые мелкие детали структуры.

Еще более тонкий метод изучения структуры *электронно-микроскопический анализ*. Для большинства задач, решаемых в материаловедении с помощью электронных микроскопов, достаточно иметь разрешаемое расстояние 1...2 нм. Максимальное полезное увеличение электронного микроскопа как отношение разрешаемого расстояния глаза (0,2 мм) к разрешаемому расстоянию микроскопа, составляет  $10^6$  крат, наиболее часто используют в большинстве задач  $10^4$ ... $10^5$  крат. Для формирования изображения используют поток электронов, имеющих длину волны от 0,004 до 0,0009 нм.

При взаимодействии быстрых электронов с веществом происходят разнообразные процессы, которые используют для анализа строения и состава этих веществ в микрообъемах.

Большинство материалов при толщине менее 0,1 мкм прозрачны для электронов и являются объектами для исследования в *просвечивающем электронном микроскопе* (ПЭМ). Такие образцы из металлических сплавов (их называют *фольги*) чаще всего получают электролитической полировкой (анодным растворением) заготовки в виде диска диаметром 3 мм и толщиной 0,1...0,2 мм. В момент появления отверстия в центре диска при его электрополировке, края этого отверстия приобретают толщину около 0,1 мкм, необходимую для просвечивания электронами. Другими объектами исследования в ПЭМ являются реплики – это не сам образец, а слепок с его поверхности.

*Рентгеноструктурный анализ* основан на получении и анализе дифракционной картины, возникающей в результате интерференции рентгеновских лучей, рассеянных электронами атомов облучаемого объекта.

В реальном кристалле падающие рентгеновские лучи рассеиваются множеством параллельных атомных плоскостей, вглубь которых проникают рентгеновские лучи. Поэтому для определения на-

правления дифрагированного пучка рассеянных лучей необходимо учесть разность фаз пучков, рассеянных последовательно параллельных плоскостей. Разность хода двух пучков (рис. 1.1) равна сумме двух отрезков, обозначенных  $BC$  и  $CD$ . Так как  $BC = CD = d \sin \theta$ , где  $d$  – расстояние между двумя соседними плоскостями, а  $\theta$  – угол между продолжением первичного пучка и дифрагированным лучом, то разность хода равна  $2d \sin \theta$ . Для возникновения интерференции рассеянных пучков с усилением (дифрагированные пучки совпадают по фазе) разность хода должна быть кратна длине волны, т.е. равняться  $n\lambda$ , где  $n$  – целое число:

$$2d \sin \theta = n\lambda. \quad (1.2)$$

Уравнение дифракции рентгеновских лучей (1.2) называют *условием дифракции Вульфа–Брэгга*. Уравнение Вульфа–Брэгга лежит в основе многих методов рентгеноструктурного анализа материалов. Действительно, зная длину волны источника монохроматического рентгеновского излучения  $\lambda$  и определив экспериментально  $\theta$ , равный  $2\theta$ , можно вычислить межплоскостное расстояние  $d$ , а затем определить периоды решетки исследуемого вещества.

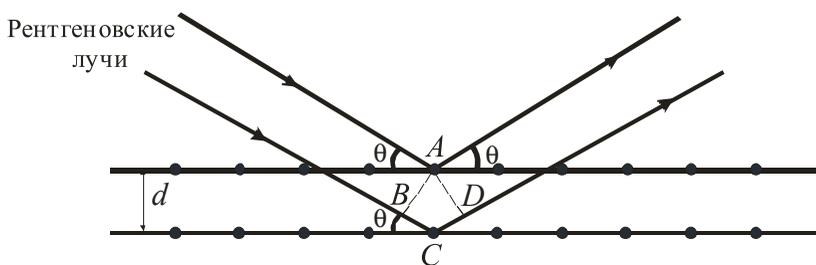


Рис. 1.1. Схема к выводу формулы Вульфа–Брэгга

Отраженные лучи регистрируют либо на фотопленке, либо с помощью специальных счетчиков, установленных на рентгеновском дифрактометре (приборе для измерения интенсивности и направления рентгеновского излучения, дифрагированного на кристаллическом объекте).

Рентгеноструктурным анализом определяют тип кристаллической структуры вещества, периоды решетки, нарушения кристаллического строения, внутренние напряжения и др.

*Рентгеноспектральный анализ*, используя различия в характеристических излучениях разных элементов, позволяет определять химический состав веществ. Кроме этих назначений, рентгеновские лучи позволяют, просвечивая детали, выявлять внутренние пороки, пустоты, раковины, поры, трещины и т.п., вызванные недостатками технологии получения этих деталей – это называется *рентгеновской дефектоскопией*.

## **Устройство металлографического микроскопа ЕС МЕТАМ РВ**

В металлографии микроанализу подвергаются непрозрачные для световых лучей объекты – микрошлифы, которые рассматривают в микроскоп в отраженном свете. *Микрошлифом* называется образец, часть поверхности которого является плоской и отполированной.

Металлографические микроскопы по конструктивному выполнению делятся на вертикальные и горизонтальные. Общим для них является верхнее расположение предметного столика; расположение же основных узлов – различное.

Вертикальный металлографический микроскоп ЕС МЕТАМ РВ дает увеличение от 50 до 1000 крат. В этом микроскопе (рис. 1.2) свет лампы 1 проходит через коллектор (собирающую линзу) 2, теплофильтр 3, светофильтр 4, осветительную линзу 5, ирисовую диафрагму 6, попадает на полупрозрачный плоскопараллельный отражатель 7. Часть светового потока проходит через него и рассеивается в микроскопе, а часть лучей отражается вверх от отражателя, проходит через объектив 8 и через отверстие в предметном столике 9, попадает на шлиф 10.

Плоскость шлифа должна быть перпендикулярна главной оптической оси микроскопа. Чтобы проще выполнить это условие, в современных металлографических микроскопах шлиф устанавливают над объективом (см. рис. 1.2). Для этого шлиф 10 ставят полированной поверхностью вниз на предметный столик 9, расположенный над объективом 8. Отраженные от шлифа лучи проходят через объектив 8, полупрозрачный отражатель 7, попадают на зеркало 16 и сводятся линзой 15 в фокальную плоскость окуляра 11. С помощью призмы 13 изменяется направление оптической оси микроскопа. Призмный блок 12 бинокулярной насадки разделяет пучок лучей.

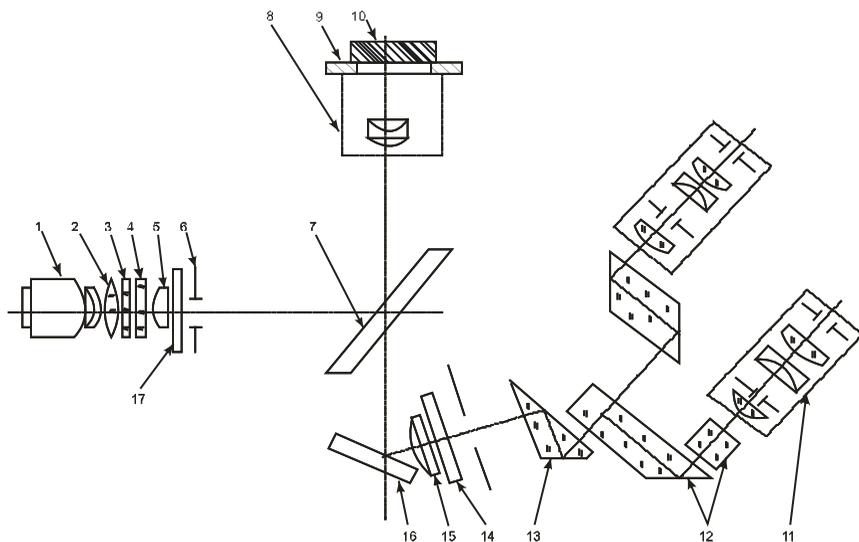


Рис. 1.2. Оптическая схема микроскопа ЕС МЕТАМ РВ:  
 1 – лампа; 2 – коллектор; 3 – теплофильтр; 4 – светофильтр;  
 5 – осветительная линза; 6 – диафрагма; 7 – полупрозрачный  
 отражатель; 8 – объектив; 9 – предметный столик; 10 – плоскость  
 шлифа; 11 – фокальная плоскость окуляра; 12 – блок призм;  
 13 – призма; 14 – поляризатор; 15 – линза; 16 – зеркало;  
 17 – анализатор

Конструкция микроскопа ЕС МЕТАМ РВ предусматривает расположение на одном штативе тубуса, в котором с помощью револьверной головки крепятся четыре разных объектива. Смену объектива осуществляют вращением револьверной головки. Фокусное расстояние  $F$  и числовая апертура  $A$  каждого объектива указаны на его корпусе.

В комплект микроскопа входят пять сменных окуляров –  $6,3^x$ ;  $10^x$ ;  $12,5^x$ ;  $16^x$  и  $20^x$ , которые вставляют в бинокулярную насадку.

Наводку на резкость (фокусировку) осуществляют сначала с помощью рукоятки грубого перемещения тубуса (макрвинта), а затем тубус перемещают с помощью рукоятки тонкой (микрометрической) фокусировки. При этом предметный столик неподвижен.

Рукоятки грубой и тонкой фокусировки расположены на одной оси и выведены с двух сторон штатива.

Для рассмотрения разных участков шлифа предметный столик вместе со шлифом перемещают в горизонтальной плоскости относительно неподвижного объектива в двух взаимно перпендикулярных