

№ 2405

# **Металловедение**

Основы микроструктурного анализа

Лабораторный практикум

**№ 2405**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«МИСиС»

Кафедра металловедения цветных металлов

# Металловедение

## Основы микроструктурного анализа

Лабораторный практикум

Допущено учебно-методическим объединением по образованию в области металлургии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 150400 – Металлургия



Москва 2015

УДК 669.017:620.18

М54

Рецензент

д-р техн. наук, проф. *В.С. Панов*

А в т о р ы : И.И. Новиков, В.К. Портной, А.В. Михайловская,  
А.В. Поздняков, О.А. Яковцева

**Металловедение** : основы микроструктурного анализа : лаб.  
М54 практикум / И.И. Новиков [и др.]. – М. : Изд. Дом МИСиС,  
2015. – 90 с.

ISBN 978-5-87623-773-6

Представлены лабораторные работы по технике микроструктурного анализа, особенностям формирования структуры сплавов в равновесном и неравновесном состояниях, анализу микроструктуры углеродистых сталей и чугунов.

Содержание практикума соответствует программе дисциплин «Материаловедение», «Современные проблемы металлургии и материаловедения».

Для студентов бакалавриата и магистратуры, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия».

УДК 669.017:620.18

ISBN 978-5-87623-773-6

© Коллектив авторов, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	4
Лабораторная работа 1. Техника микроструктурного анализа .....	6
Лабораторная работа 2. Количественная металлография .....	24
Лабораторная работа 3. Типичные микроструктуры сплавов двойных систем эвтектического типа .....	44
Лабораторная работа 4. Неравновесная кристаллизация в сплавах систем разного типа .....	58
Лабораторная работа 5. Микроструктуры отожженных углеродистых сталей .....	67
Лабораторная работа 6. Микроструктуры чугунов .....	76
Приложение .....	87

## Предисловие

Лабораторный практикум «Металлография» (3-е изд.) был написан проф. И.И. Новиковым в 1984 г. С тех пор изменились номенклатуры выпускаемых промышленностью сплавов на разной основе; соответствующие ГОСТы; конструкции как рабочих, так и исследовательских микроскопов. Фотография, без которой немислимо изображение структуры металла, из бромосеребряной стала цифровой. Появление компьютерной техники вложило в руки любого исследователя возможности количественного анализа структуры, с одной стороны, и обеспечило широкую доступность баз данных по структурам сплавов на разных основах и по диаграммам состояния, с другой. Авторы данного практикума при его написании считали своей задачей учесть перечисленные изменения, но при этом максимально сохранить безупречные тексты нашего учителя проф. И.И. Новикова.

Лабораторный практикум предназначен для студентов бакалавриата и магистратуры, обучающихся по направлению 150400 «Металлургия» с профилем «Металловедение цветных и драгоценных металлов», изучающих курсы «Материаловедение», «Промышленные сплавы цветных и черных металлов», «Термическая обработка» и др. Значительная часть работ практикума в полном или сокращенном объеме может быть использована студентами профилей «Технология литейных процессов», «Функциональные материалы и покрытия», «Металлургия цветных, редких и благородных металлов» «Трубное производство», «Обработка металлов и сплавов давлением» при изучении ими курса «Материаловедение».

На лабораторных занятиях по металлографии студент должен получить навыки приготовления шлифов и работы на металлографических микроскопах, приобрести умение предсказывать тип микроструктуры, определять структурные и фазовые составляющие по диаграммам состояния двойных и тройных систем, в том числе после неравновесной кристаллизации, выявлять структурные составляющие и схематично изображать микроструктуры промышленных сплавов, определять количественные параметры их микроструктуры со статистической обработкой результатов измерений.

Все работы выполняются и оформляются индивидуально. В отчетах по отдельным работам по указанию преподавателя обобщаются результаты количественного металлографического анализа нескольких студентов или всей учебной подгруппы.

При изучении шлифов под микроскопом, а также при оформлении отчета о работе следует использовать имеющиеся на кафедре учебные электронные атласы микроструктур сплавов.

Студент допускается к лабораторному занятию после представления конспекта теоретического введения и прохождения контроля знаний.

Содержание отчета должно соответствовать требованиям, изложенным в описании к каждой работе. Отчет должен быть аккуратно оформлен. Сокращения слов, кроме общепринятых, не допускаются. В лабораторной работе 2 «Количественная металлография» приведены довольно подробные сведения по статистической обработке экспериментальных данных, необходимых для выполнения этой и многих других работ лабораторного практикума. Систематическое и многократное использование методов статистической обработки результатов количественной металлографии должно способствовать выработке у будущих металлургов-исследователей навыков их применения.

# Лабораторная работа 1

## ТЕХНИКА МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

(2 часа)

### 1.1. Цель работы

Цель работы – получение навыков приготовления микрошлифов, работы на металлографическом микроскопе и микрофотографирования.

### 1.2. Теоретическое введение

#### Устройство металлографического микроскопа

**Разрешающая способность и увеличение микроскопа.** Глаз, как и другие оптические приборы, имеет предел восприятия мелких объектов. Этот предел обусловлен строением сетчатой оболочки глаза – ретины. Чувствительные элементы ретины – окончания зрительных нервов – имеют определенный размер. Если изображение предмета на ретине укладывается на одном чувствительном элементе, мы видим его как точку. На расстоянии 250 мм, называемом расстоянием ясного зрения, мы различаем раздельно две точки, если они находятся на расстоянии 0,2 мм. Эта величина является *разрешаемым расстоянием глаза*. Невооруженным глазом объекты меньше 0,2 мм мы увидеть не можем без использования оптических приборов. Чтобы рассматривать детали изображения, меньшие разрешаемого расстояния глаза, используют лупу, микроскоп и др. Величина разрешаемого расстояния оптических приборов связана с тем, что во всех таких приборах на краях диафрагм, оправ и т.п. происходит дифракция света. Вследствие этого каждая точка предмета изображается не как точка, а в виде кружка концентрических колец переменной интенсивности. Две такие точки еще видны раздельно на расстоянии, при котором главный интерференционный максимум одной точки изображения совпадает только с первым побочным максимумом соседней точки. Таким образом, *разрешаемое расстояние микроскопа* определяется волновой природой света:

$$\mu = \frac{\lambda}{2A} = \lambda / (2 \cdot n \cdot \sin\alpha), \quad (1.1)$$

где  $\lambda$  – длина волны света, идущего от объекта исследования в объектив;

$n$  – показатель преломления среды, находящейся между объектом и объективом микроскопом;

$\alpha$  – половина угла раскрытия входящего в объектив пучка лучей, дающих изображение.

Произведение  $A = n \cdot \sin\alpha$  называют числовой апертурой объектива. Эта важнейшая характеристика объектива выгравирована на его оправе.

Разрешаемое расстояние имеют все оптические приборы: фото-, кино- и телекамеры, бинокли, микроскопы, зрительные трубы, телескопы и др. Для характеристики приборов обычно используют обратную величину разрешаемого расстояния – *разрешающую способность*  $1/\mu$ . Чтобы увеличить разрешающую способность глаза для рассматривания мелких предметов, используют микроскоп. Для исследования строения металлов микроскоп был впервые применен в 1831 г. П.П. Аносовым, изучавшим булатную сталь, а позднее, в 1863 г., англичанином Г. Сорби, изучавшим метеоритное железо.

У лучших объективов максимальный угол  $\alpha \approx 70^\circ$ , поэтому  $\sin\alpha \approx 0,94$ . В большинстве металлографических исследований применяют сухие объективы, работающие в воздушной среде ( $n = 1$ ). Для уменьшения разрешаемого расстояния используют иммерсионные объективы. Пространство между объектом и объективом заполняют прозрачной жидкостью (иммерсией) с большим показателем преломления. Обычно используют каплю глицерина ( $n = 1,47$ ) или кедрового масла ( $n = 1,51$ ).

Если для желто-зеленой составляющей видимого белого света принять  $\lambda = 0,55$  мкм (спектральная составляющая для наилучшего зрения человека), то минимальное разрешаемое расстояние светового микроскопа:  $\mu_{\min} = 0,55 / (2 \cdot 1,51 \cdot 0,94) \approx 0,2$  мкм. Отсюда следует, что разрешаемое расстояние микроскопа в 1000 раз меньше разрешаемого расстояния глаза, иными словами, микроскоп в этих условиях увеличивает изображение  $\sim$  в 1000 раз. Кроме того, этот расчет показывает, что разрешающая способность светового микроскопа ограничена, прежде всего, длиной волны света.

Всякий микроскоп состоит из источника света с устройствами управления светом, предметного стола для перемещения объекта,



объектива и окуляра, смонтированных в общем корпусе. Объектив дает увеличенное промежуточное изображение объекта, которое рассматривается в окуляре, как в лупу. Окуляр увеличивает промежуточное изображение объекта, доводя суммарное разрешаемое расстояние микроскопа до величины, соответствующей формуле (1.1). Общее *увеличение микроскопа* примерно равно произведению увеличений объектива и окуляра. Точное значение увеличений, учитывающее длину хода лучей от объектива к окуляру (так называемая длина тубуса), для разных сочетаний объективов и окуляров приведено в паспорте соответствующего прибора. На металлографических микроскопах, используя более коротковолновую часть светового спектра, например, уменьшая длину волны с помощью светофильтров, можно добиться максимального увеличения светового микроскопа до 1500 крат.

Начинающие исследователи делают обычную ошибку, стремясь рассматривать структуру сразу же при большом увеличении. Следует иметь в виду, что чем больше увеличение объектива, тем меньший участок виден в поле зрения микроскопа. Поэтому рекомендуется начинать с использования слабого объектива, чтобы в начале исследования оценить общий характер структуры металла на большой площади. Если же начинать микроанализ сразу с использованием сильного объектива, то многие важные особенности структуры металла могут быть не замечены. Кроме того, чем больше увеличение объектива, тем меньше глубина резкости, характеризующая величину вертикального смещения поверхности шлифа, которое может быть произведено без потери фокусировки. Глубина резкости пропорциональна  $1/A^2$ . Поэтому для шлифов, поверхность которых имеет глубокий рельеф, следует выбирать, по крайней мере для первоначального рассмотрения, объектив с малой числовой апертурой.

После общего просмотра структуры при малых увеличениях микроскопа выбирают объектив с такой разрешающей способностью, чтобы увидеть все необходимые самые мелкие детали структуры. Окуляр выбирают так, чтобы четко были видны детали структуры, увеличенные объективом. При недостаточном увеличении окуляра самые мелкие детали промежуточного изображения, созданного объективом, не будут увидены в микроскоп и, следовательно, разрешающая способность объектива полностью не будет использована. При слишком большом увеличении окуляра новые детали структуры не выявятся, в то же время контуры уже выявленных деталей окажутся размытыми, а поле зрения станет более узким.