

**И. Н. Сербин<sup>1</sup>, Г. А. Трапашко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>г. Минск, БГУИР

<sup>2</sup>г. Минск, ОАО «Планар»

## **ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ И МЕТАЛЛОГРАФИЯ**

**Введение.** Во время развития технологий по-прежнему остается востребованность контроля и исследования материалов, для чего необходим специальный инструмент для материаловедения. Таковым инструментом можно назвать оптический микроскоп. Микроскопы нашли применение в космическом материаловедении, нанотехнологиях, кристаллографии, металлургии, керамике, биоматериалах. Остановимся на одном из направлений материаловедения металлургия или металлография. Сейчас можно выделить два типа пользователей (исследователей), т. е. которые предпочитают изучать образцы с помощью окуляров и те кто рассматривает образец на экране монитора с применением специализированного программного обеспечения.

Существует два основных типа оптических микроскопа, это прямой и инвертированный микроскоп. В первом случае образец должен иметь две параллельные плоскости и его толщина может быть ограничена конструктивными особенностями самого микроскопа. В отличие от инвертированных микроскопов, где плоская поверхность только та, что прилегает к предметному столу, а его размеры, как и масса образца ограничены техническими возможностями микроскопа. В остальном все оптические микроскопы имеют общие конструктивные особенности, а именно оптическая система микроскопа.

Микроскопы могут оснащаться дополнительными осветителями, потому как известно микроскоп может работать как в отражённом свете, для непрозрачных материалов металлы, пластики и др., так и в проходящем, что позволит исследовать жидкость, такие микроскопы получили широкое применение в медицине, химии, биологии.

Для металлографии используют инвертированные микроскопы. Для подготовки образцов потребуется меньше количество времени, достаточно сделать шлиф одной поверхности для начала исследований.

Конструктивные особенности инвертированных микроскопов МИ-1, Микро200 (ОАО «Оптоэлектронные системы»), МикроМет (Альтами), GX51 (OLIMPUS), которые позволяют производить различные виды исследований, в приведенных микроскопах реализованы методы светлого и теплого поля, цветных светофильтров.

**Метод светлого и темного поля.** Метод светлого поля является наиболее простым способом освещения объекта. Он состоит в том, что поверхность образца освещается всем конусом света, исходящим из оптической системы объектива, который затем вторично проходит через объектив (рисунок 1, а); после этого изображение попадает в окуляр и/или на регистрирующее устройство (монитор ПК, фотоаппарат). Основными лучами, формирующими изображение, являются центральные лучи конуса света. При этом плоскости образца, перпендикулярные оси объектива, освещены. На углублениях и наклонных участках образца свет рассеивается, и они выглядят темными [2].

Принцип освещения по методу темного поля состоит в том, что поверхность образца освещается наклонными лучами света. Центральные лучи для этой цели блокируются специальной диафрагмой. При этом свет направляется в пространство между корпусом объектива и собственно оптической системой (рисунок 1, б), отражается от параболического зеркала и попадает на образец. Свет, отраженный поверхностью образца, проходит через оптическую систему объектива и далее в окуляр или видеокамеру. При этом освещены только неплоскостные участки образца.

В определенном смысле изображения в темном и светлом поле «взаимно обратны». Пример приведен на рисунке 2. В светлом поле темными являются границы зерен, в темном поле «светятся» границы зерен, а также фаза (мартенсит) внутри зерна.

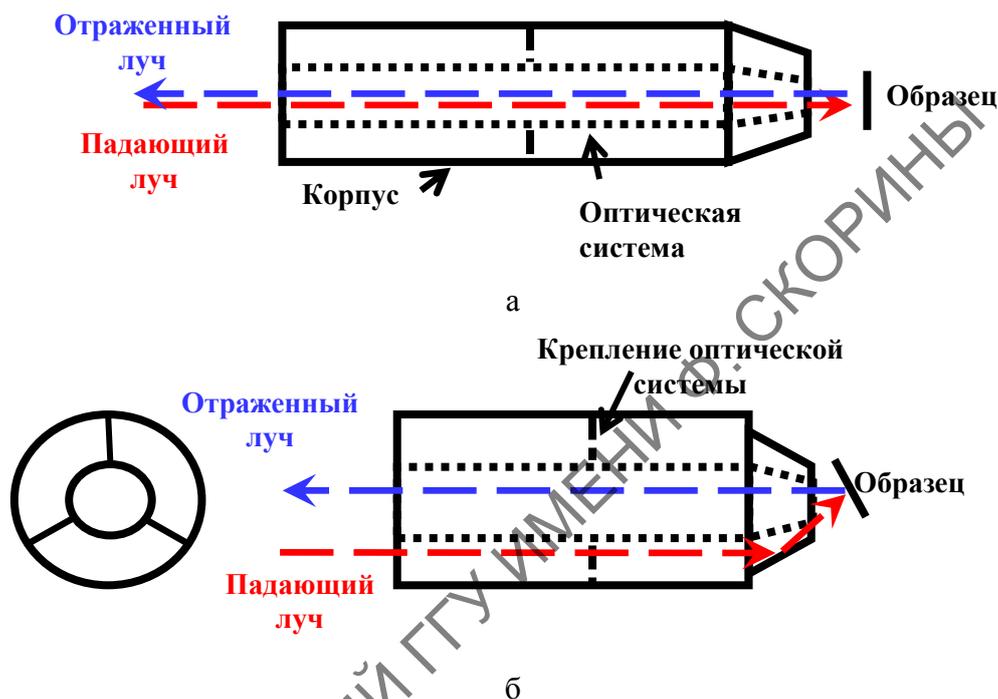


Рисунок 1 – Схема прохождения лучей света через объектив в режиме светлого (а) темного (б) поля

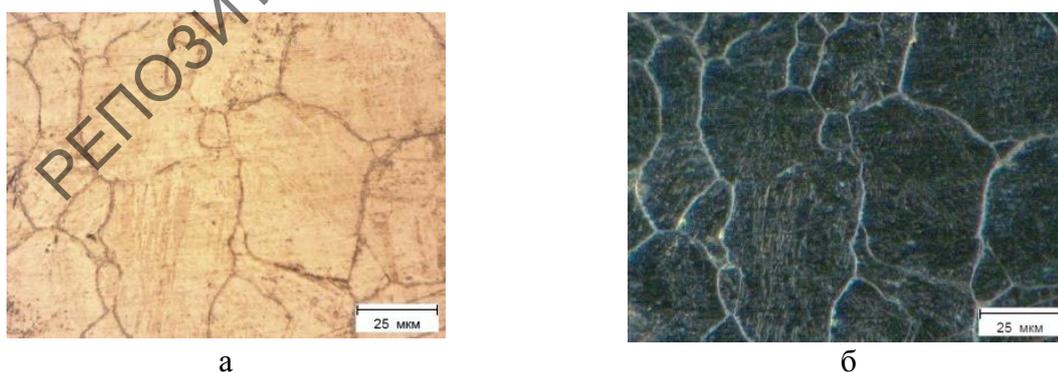


Рисунок 2 – Зерновая структура закаленной стали ШХ15 после травления на зерно: а – светлое поле, б – темное поле (изображение получено на микроскопе МИ-1 (ОАО «Оптоэлектронные системы»))

На рисунке 3 показан фрагмент фотошаблона на кремниевой пластине. В светлом поле все участки самой пластины кремния – светлые, узор микросхемы – темный. В темном поле изображение обратное, кроме того, определенные участки схемы проявили свой собственный цвет – зеленый и желтый.

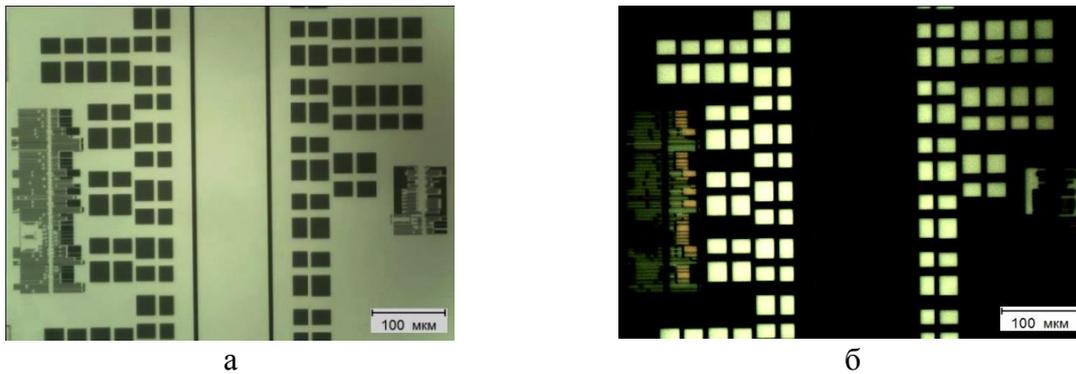


Рисунок 3 – Фрагмент шаблона для микросхемы: а – светлое поле, б – темное поле (изображение получено на микроскопе Микро200 (ОАО "Оптоэлектронные системы"))

### Цветные светофильтры.

Одним из способов исследования является использование синего и зеленого светофильтров. Светофильтры в металлографических микроскопах предназначены для устранения хроматической аберрации, которая приводит к снижению чёткости изображения, появлению на нём артефактов: цветных контуров, полос, пятен. Охроматизованные объективы данного недостатка лишены. Поэтому цветные фильтры в микроскопах с такими объективами имеют иное назначение [3]:

– синий (фиолетовый) фильтр предназначен для повышения разрешающей способности. Минимальное угловое расстояние между точками определяется:

$$\sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

где  $\theta$  – угловое разрешение (минимальное угловое расстояние),  $\lambda$  – длина волны падающего света,  $D$  – диаметр входного зрачка оптической системы. [4]

Поэтому чем меньше длина волны падающего света, тем выше разрешение. Использование синего фильтра также целесообразно для повышения контрастности изображения и улучшения передачи цветовых оттенков, например, образцов с ярко окрашенными структурными элементами.

– при использовании зеленого фильтра изображение становится монохромным, также несколько снижается разрешающая способность. Назначение зеленого фильтра – снижение утомляемости глаз оператора при длительной работе с микроскопом.

Результаты применения цветных фильтров показаны на рисунке 4 для бронзы БРАЖ10-1, элементы структуры которой окрасились при металлографическом травлении в различные цвета. Возможно совместное применение цветных фильтров и апертурной диафрагмы.

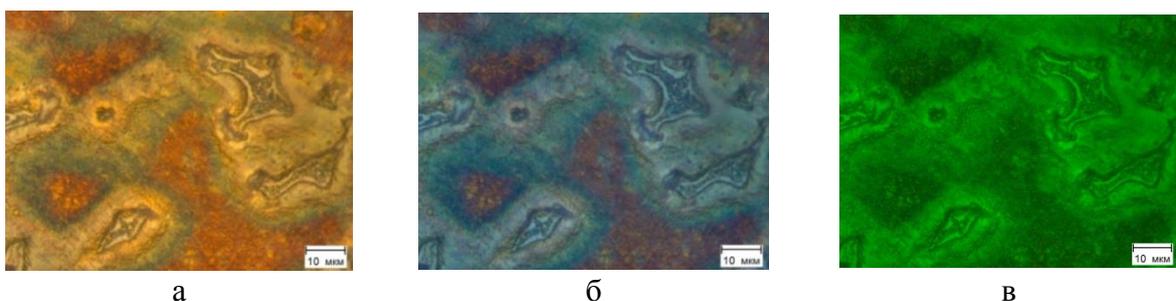


Рисунок 4 – Структура бронзы БРАЖ10-1: а – без фильтра, светлопольное освещение, б – синий фильтр, в – зеленый фильтр; изображения не радартированы (изображение получено на микроскопе МИ-1 (ОАО «Оптоэлектронные системы»))

**Заключение.** Приведен обзор некоторых видов изучения структур материалов методами контрастирования (метод светлого и темного поля и метод наложения светофильтров). К таким методам также относятся: использование полевой и апертурной диафрагмы, косо́го освещения, поляризованного света (поляризационный контраст), дифференциально-интерференционный контраст (DIC), данные методы реализованы микроскопы в микроскопе МИ-МП ОАО «Оптоэлектронные системы», GX53 (OLIMPUS), некоторые производители оснащают микроскопы автоматизированными функциями, что позволяет сканировать образец и получать 3D изображение. Все эти методы и функции способны превратить обычный микроскоп в руках опытного специалиста в мощное оружие исследователя.

### Список использованных источников

1 Анисович, А. Г. Искусство металлографии: использование методов оптического контрастирования / А. Г. Анисович // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2016. – № 1 – С. 36–42.

2 Анисович, А. Г. Практика металлографического исследования материалов. / А. Г. Анисович, И. Н. Румянцева. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 221 с.

3 Микроскоп МИ-1. Иллюстрированное приложение пользователя / ред. С. С. Кураченко. – Минск : Оптоэлектронные системы, 2018. – С. 20–24.

4 Бегунов, Б. Н. Геометрическая оптика / Б. Н. Бегунов. – 2-е, изд., перераб. – Москва : МГУ, 1966. – 212 с.