



УДК 669
DOI: 10.21122/1683-6065-2018-92-3-76-81

Поступила 19.06.2018
Received 19.06.2018

РЕЗКОСТЬ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕТАЛЛОГРАФИИ

А. Г. АНИСОВИЧ, Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы резкости изображений структуры материалов при металлографических исследованиях. Иллюстрируется использование понятия глубины резкости для получения изображений структуры различных объектов – изломов, шлифов, оптически прозрачных материалов. Рассматриваются ошибки наведения на резкость для металлических шлифов; продемонстрировано, что в случае наклонного расположения шлифа зона резкого изображения представляет собой полосу с параллельными границами, образованную нечетко видимой структурой. Представлены особенности фокусировки для неплоскостных образцов и реплик. Отмечается, что незакономерное расположение участков не резко видимой структуры на изображении является следствием внешнего воздействия. Показаны возможности варьирования резкостью для количественного анализа зерна аустенита, а также визуализации дендритной структуры.

Ключевые слова. Металлография, резкость изображений, глубина резкости, фокусировка, излом, шлиф, реплика.

Для цитирования. Анисович, А. Г. Резкость изображений в металлографии / А.Г.Анисович // Литье и металлургия. 2018. Т. 92. № 3. С. 76–81. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-92-3-76-81.

THE SHARPNESS OF THE IMAGES IN METALLOGRAPHY

A. G. ANISOVICH, State Scientific Institution «Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus, 10, Kuprevich str. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

The article presents the issues of sharpness of images of the structure of materials in metallographic studies. The use of the concept of depth of field to obtain images of the structure of various objects – fractures, microsection polished specimen, optically transparent materials is illustrated. The errors of focusing on the sharpness for metal specimens are considered; it is shown that in the case of inclined arrangement of the specimen, the zone of sharp image is a strip with parallel boundaries formed by a fuzzy visible structure. Particularities of focusing out-of-flatness samples and replicas are shown. It is noted that the location of the areas of the non-sharply visible structure in the image is the result of external influence. The possibilities of varying sharpness for the quantitative analysis of austenite grain, as well as the visualization of dendritic structures are demonstrated.

Keywords. Metallography, sharpness of images, depth of field, focusing, fracture, polished specimen, replica.

For citation. Anisovich A. G. The sharpness of the images in metallography. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 92, no. 3, pp. 76–81. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-92-3-76-81.

Резкость изображения – это четкость границы между соседними участками изображения с различной оптической плотностью. Она измеряется быстротой изменения оптической плотности в направлении,

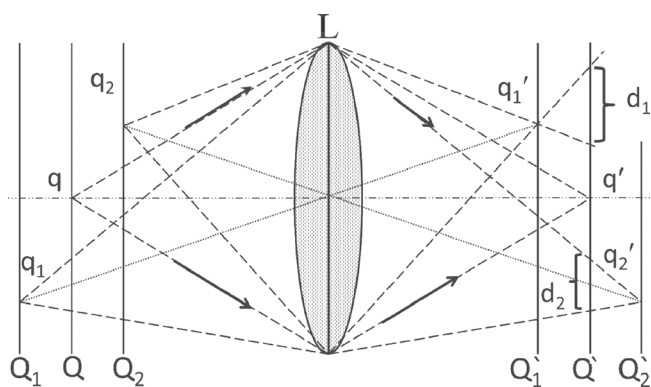


Рис. 1. Схема формирования изображения; L – линза; Q – плоскость наведения; Q' – плоскость фокусировки

перпендикулярном границе участка изображения [1].

Наряду с резкостью используется понятие «глубина резкости». Глубина резкости (глубина изображаемого пространства) – это наибольшее расстояние, измеренное вдоль оптической оси, между точками в пространстве, изображаемыми оптической системой достаточно резко [1]. Оптическая система будет давать резкое изображение точек q , q_1 , q_2 в точках q' , q'_1 , q'_2 соответственно (рис. 1). Если наблюдение производится выше точки q'_1 , то наблюдатель увидит не точку, а круг диаметром d_1 . Если наблюдение производится ниже плоскости фокусировки, соответственно будет наблюдаться круг диаметром d_2 .

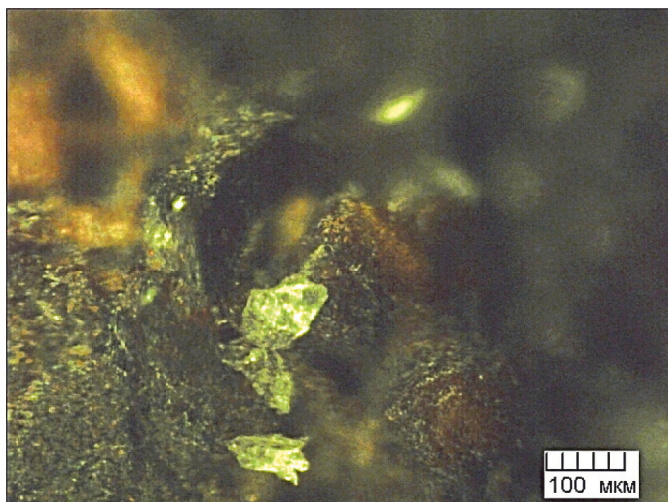


Рис. 2. Излом детали сельхозтехники; почвенная коррозия

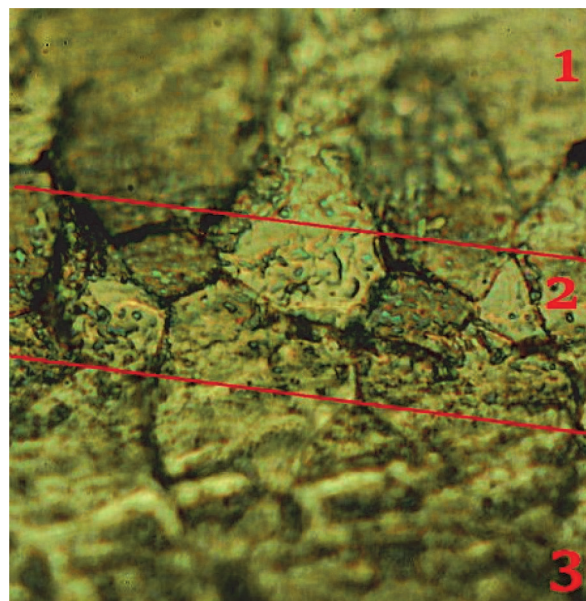


Рис. 3. Изменение резкости на образце с плоской поверхностью (шлиф)

В металлографии наиболее важным результатом фотографирования является информативность изображения, т. е. получение максимального количества деталей структуры материала для последующего анализа. Нечеткое изображение появляется или в результате неправильной установки образца, или в случае исходно неровной исследуемой поверхности. В последнем случае и важна глубина резкости. На рис. 2 показан излом стали, сфотографированный на металлографическом микроскопе. В резкости находятся детали структуры в верхней точке образца. Все нерезкое располагается ниже фокуса.

В целях повышения глубины резкости материаловедение использует стерео- или растровые микроскопы. Достоинства и недостатки их применения в сравнении с металлографическими микроскопами рассмотрены в [3].

Классическим металлографическим образцом является шлиф, плоскость которого должна быть расположена строго перпендикулярно оси объектива. На рис. 3 показан участок структуры на шлифе, расположенном наклонно относительно оси объектива. При неправильной установке образца на поверхности будет виден участок структуры «в резкости», а по обе стороны от него будут располагаться участки размытого изображения «еще не в резкости» (ниже фокуса) и «уже не в резкости» (выше фокуса). Участок между двумя красными линиями находится в фокусе. Из элементарных соображений следует, что четкий участок структуры будет полосой с параллельными границами; его ширина определяется глубиной резкости объектива.

При правильной установке образца наличие нечетких участков структуры может являться следствием обработки материала. Это может быть, например, формирование неровной поверхности под воздействием высокоинтенсивных воздействий (рис. 4, а). Фокусировка выполнена на участок образца, отмеченный штриховкой. Остальные участки поверхности находятся выше и ниже отмеченного участка. Нарушение резкости изображения встречается при использовании реплик (рис. 4, б) за счет неровной поверхности детали (стрелка 1), с которой снимают слепок, а также несплошности материала самой реплики (стрелка 2). Возможно также искривление поверхности шлифа под влиянием внутренних напряжений.

Классические металлографические микроскопы имеют небольшую глубину резкости. Это связано с объектом исследования – плоскими полированными поверхностями металлов (шлифами). Глубина резкости здесь, в первом приближении, не важна. Гораздо важнее создать хорошо отражающую плоскую поверхность, на которой после металлографического травления будут видны все особенности структуры при правильной фокусировке.

В связи с этим уместно разделить металлографические объекты (шлифы) на две принципиально различные категории:

1. Шлифы, имеющие ровную поверхность с микроскопической точки зрения. Это значит, что истирание поверхности в процессе шлифовки и полировки происходит равномерно за счет того, что все фазы материала имеют примерно одинаковые характеристики износа.

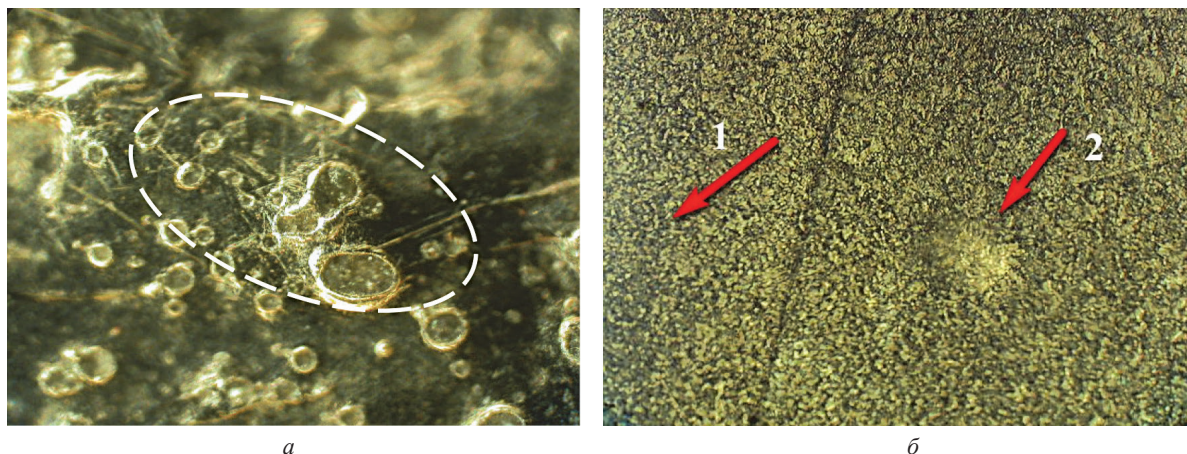


Рис. 4. Нечеткость изображения структуры образцов: *а* – сталь после обработки высокотемпературной плазмой, темнопольное освещение; *б* – реплика структуры стальной трубы

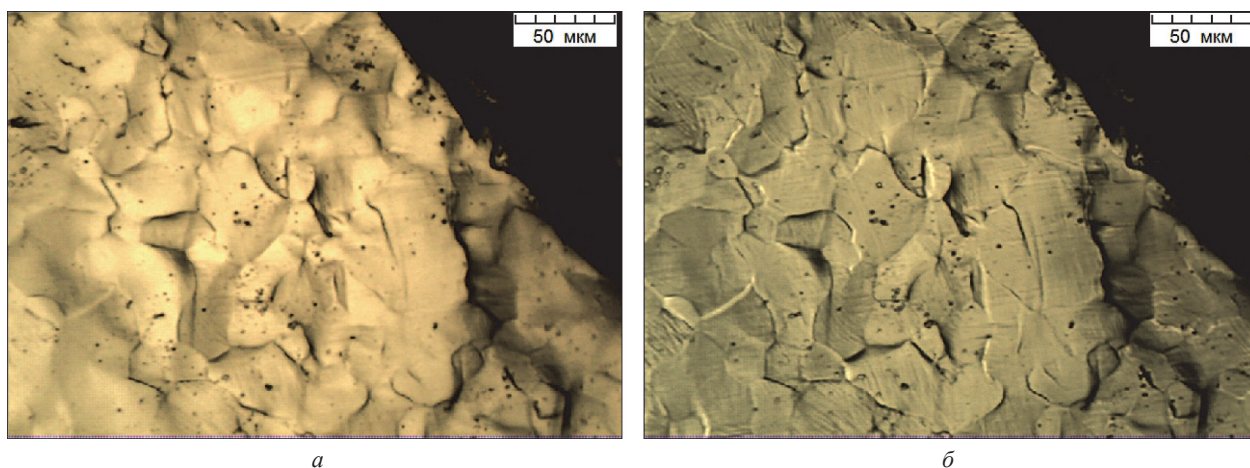


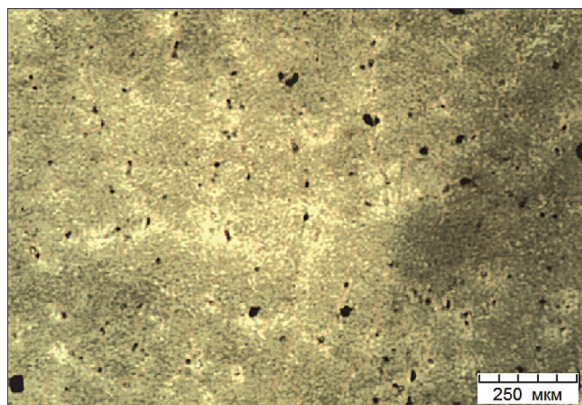
Рис. 5. Структура поверхности шлифа ферритной стали вблизи внедрения индентора твердомера Бринелля: *а*, *б* – размер зрачка апертурной диафрагмы 6 и 1 соответственно

2. Шлифы, имеющие неровную поверхность за счет того, что в материале присутствуют мягкие и твердые фазы. Мягкая фаза в процессе пробоподготовки истирается более интенсивно. В результате наиболее твердые фазы выступают над поверхностью, а наиболее мягкие – утоплены внутрь. Сюда же можно отнести поверхности, приобретающие рельеф в результате внешнего воздействия.

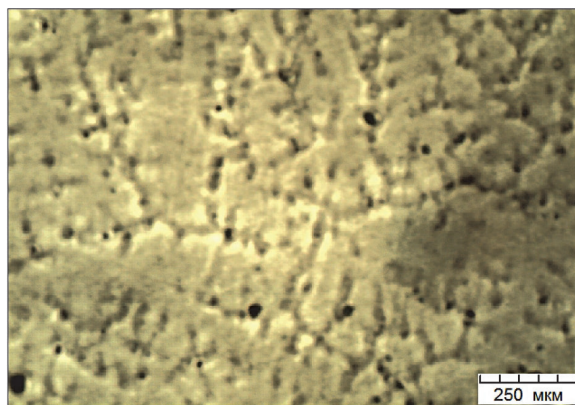
Для объектов второй категории вопрос глубины резкости имеет большое значение, поскольку глубины резкости металлографического микроскопа не хватает для получения изображения со всеми деталями структуры. Поэтому для получения информативного изображения можно использовать: диафрагмирование [2] и изменение наведения на резкость с получением нескольких кадров, содержащих различные детали структуры.

Использование апертурной диафрагмы показано на рис. 5. Изображение получено со шлифа после внедрения индентора твердомера Бринелля. В зоне влияния отпечатка материал деформирован сжатием и поверхность металла является неровной. Не в резкости находится левый нижний край изображения. Изменение зрачка апертурной диафрагмы позволяет повысить глубину резкости и визуализировать максимальное количество деталей структуры. В частности, становятся видимыми границы зерен, а также линии скольжения.

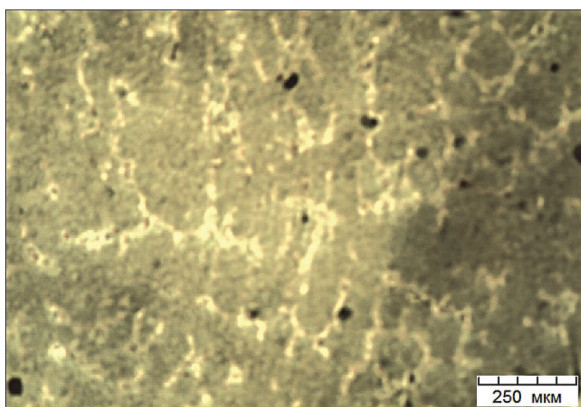
Пример изменения видимой структуры при различном наведении на резкость показан на рис. 6 для литой стали ДИ23. Если резкость наведена на плоскостные участки дендритов, то границы дендритов видны плохо (рис. 6, *а*). В целом формируется «общая картина структуры». При нахождении объектива выше фокуса видны нерастворившиеся фазы и рельеф междендритного пространства за счет рассеяния света (рис. 6, *б*); ниже фокуса – проявляется светлая фаза в междендритном пространстве (рис. 6, *в*). Положение апертурной диафрагмы для всех трех кадров одинаковое. Приведенный пример дает только качественную картину структуры. Количественный анализ такой структуры затруднен. На изображении



a

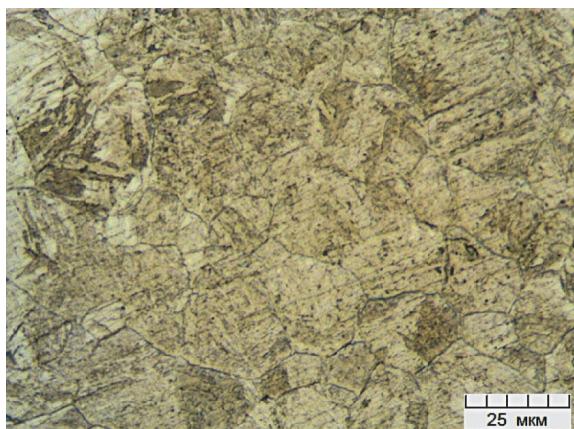


б

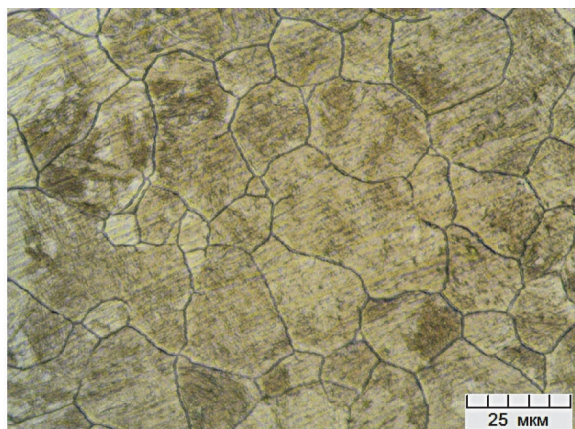


в

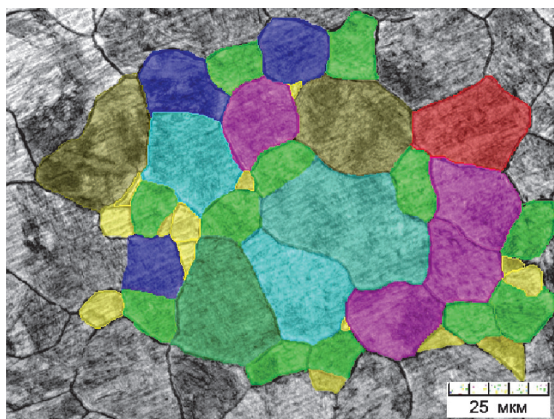
Рис. 6. Структура литой стали: *a* – наведение резкости на матрицу; *б* – выше фокуса; *в* – ниже фокуса



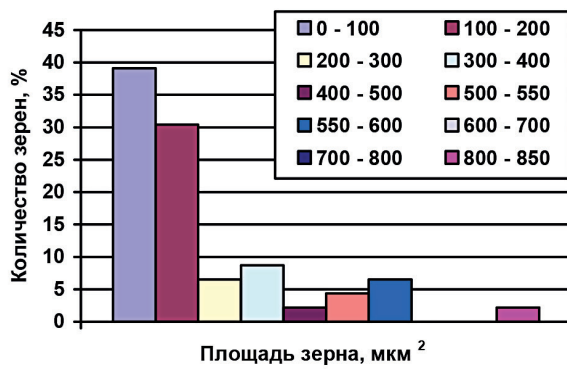
a



б



в



г

Рис. 7. Структура стали ШХ15: *a* – резкость наведена на мартенсит; *б* – на границы зерен; *в* – маска количественного анализа структуры; *г* – распределение зерен по размерам

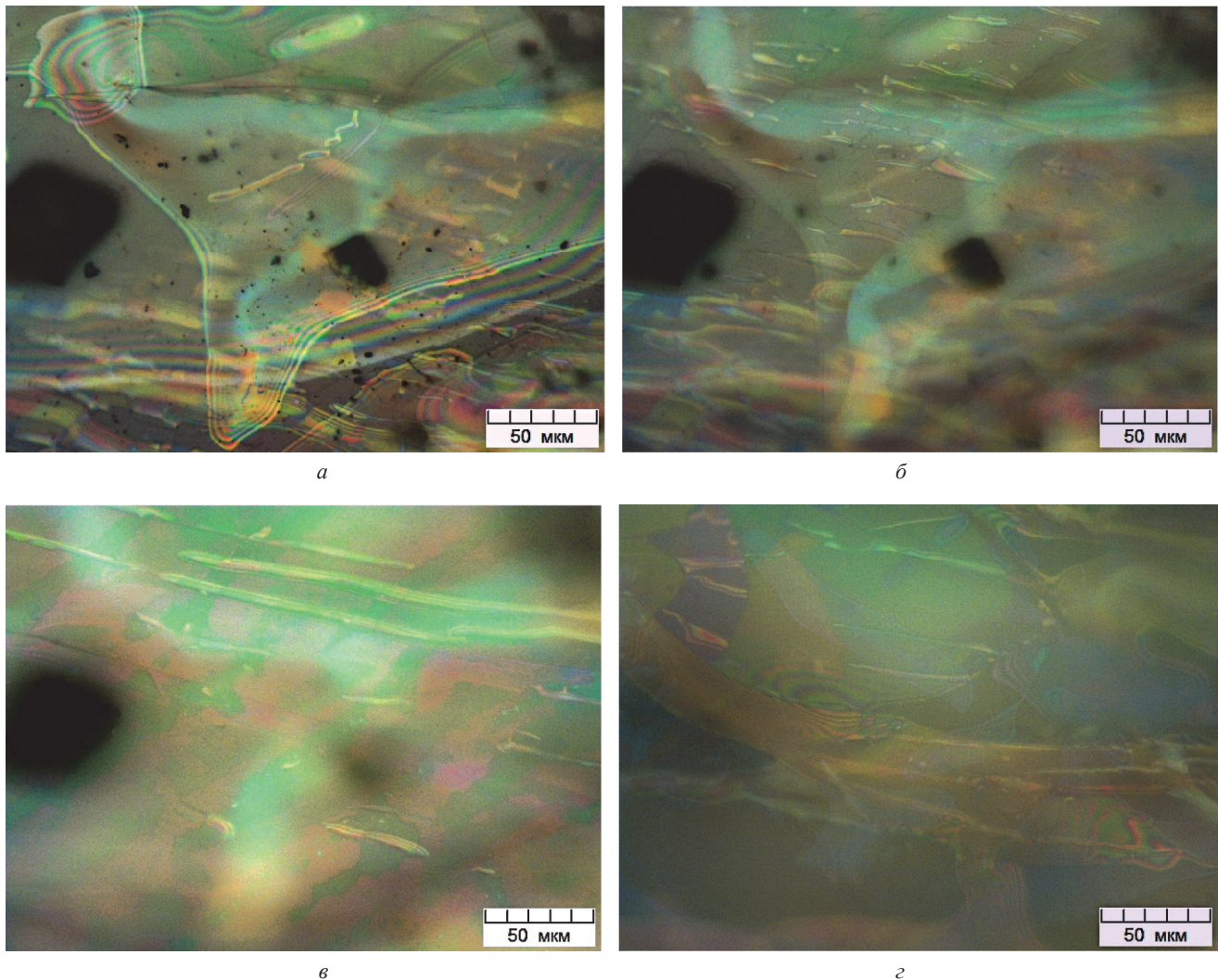


Рис. 8. Изменение структуры литевой слюды по мере приближения объектива к поверхности образца

присутствуют, несомненно, дендриты разных порядков, но определить конкретный порядок каждого из них невозможно, а сравнение размеров дендритов различных порядков некорректно.

На рис. 7 показана структура образца стали после закалки и отпуска, на котором было проведено специальное травление на зерно. На рис. 7, *а* резкость наводилась на мартенсит, на 7, *б* – на границы зерен. При такой фокусировке не происходит существенного изменения масштаба структуры, поэтому возможно определение количественных параметров зеренной структуры. Маска распределения зерен по размерам представлена на рис. 7, *в*, результат количественного анализа – на рис. 7, *г*.

В качестве примера возможностей металлографического микроскопа можно привести слюду [4]. Это материал слоистый с большой степенью оптической прозрачности. Поэтому есть возможность получения изображения не только поверхности, но и подповерхностных слоев. При фокусировке на поверхность видна пыль на поверхности (рис. 8, *а*). При приближении объектива к поверхности образца частицы пыли постепенно выходят из резкости (рис. 8, *б*, *в*). При максимальном приближении объектива к поверхности видны только внутренние слои материала (рис. 8, *г*).

ЛИТЕРАТУРА

1. Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 1600 с.
2. Анисович А. Г. Искусство металлографии: использование методов оптического контрастирования // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз. тэхн. навук. 2016. № 1. С. 36–42.
3. Анисович А. Г. Выбор исследовательского оборудования для анализа структуры промышленных сплавов // Литье и металлургия. 2012. № 2. С. 146–151.
4. Слюда под микроскопом // Искусство металлографии [Электронный ресурс]. 2018. Режим доступа: <http://structure.by>. Дата доступа: 17.06.2018.

REFERENCES

1. *Sovetskij jenciklopedicheskij slovar'* [Soviet Encyclopedic Dictionary]. Moscow, Sovetskaja jenciklopedija Publ., 1983, 1600 p.
2. **Anisovich A. G.** Iskusstvo metallografii: ispol'zovanie metodov opticheskogo kontrastirovanija [The art of metallography: the use of optical contrast techniques]. *Vesci NAN Belarusi. Ser. fiz.-techn. nauk = Proceedings of National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical series*, 2016, no. 1, pp. 36–42.
3. **Anisovich A. G.** Vybor issledovatel'skogo oborudovanija dlja analiza struktury promyshlennyh splavov [The choice of research equipment for the analysis of the structure of industrial alloys]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 2, pp. 146–151.
4. <http://structure.by>