



The question of the metallographic researches of unconnected objects using dark-field illumination is considered.

А. Г. АНИСОВИЧ, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

УДК 669.21

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕМНОПОЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕСВЯЗАННЫХ ОБЪЕКТОВ

В современной отечественной литературе методические вопросы металлографических исследований рассматриваются недостаточно. Имеющаяся по данному направлению литература относится в основном к 60-м годам прошлого века [1, 2], когда анализ в темном поле и поляризованном свете применялся преимущественно в минералогии и кристаллографии. К настоящему моменту издан ряд монографий, посвященных исследованию структуры материалов, но они в большей степени рассматривают технические особенности оборудования [3–5]. Исследователю же, как правило, требуется знать, как он может получить информацию о структуре того или иного материала. Представляется необходимым ознакомление специалистов различных областей с возможностями металлографического оборудования с использованием конкретных примеров на разнообразных материалах. Некоторые вопросы применения различных способов освещения образца при металлографических исследованиях в отраженном свете изложены в [6, 7]. В данной статье рассмотрен вопрос о металлографических исследованиях несвязанных объектов с помощью темнопольного освещения.

Термин «несвязанные объекты» определен в литературе для обработки изображений средствами компьютерного анализа [5]. Принцип базируется на том, что для таких объектов не имеет значения расположение одних структурных элементов относительно других, рассматривается только факт их наличия, количество, размеры, распределение в пространстве. В качестве примера в [5] приведены гистологические и гранулометрические препараты. Для связанных объектов имеет значение их расположение относительно друг друга, а также изменение их расположения в пределах образца. Связанные объекты – это структуры металлографических

шлифов – многофазные сплавы, однофазные материалы, имеющие зеренное строение и т. д., биологические объекты (например, срезы тканей). Поэтому, уточняя термин для материаловедения, можно сказать, что несвязанные объекты представляют собой набор объектов в поле зрения микроскопа, каждый из которых может рассматриваться как отдельный. Пример несвязанных объектов в материаловедении – порошки и гранулы. Преимуществом при анализе таких объектов обладают микроскопы, у которых объективы «смотрят вниз». При этом исследуемые объекты можно поместить на предметное стекло. Такие объекты, как правило, не являются плоскими, и для их анализа требуется применение темнопольного метода освещения.

При наблюдении по методу темного поля в отраженном свете объекты освещают через специальную кольцевую систему, расположенную вокруг объектива и называемую эпи-конденсором [4]. Фактически принцип темного поля заключается в блокировке центрального пучка лучей специальной диафрагмой. При этом поверхность образца освещается полым конусом света. При светловом освещении на поверхности образца видно светлое пятно (рис. 1, а). При темнопольном освещении центр затемнен (рис. 1, б).

Схема хода лучей при светловом и темнопольном способах освещения приведена на рис. 2. В светлом поле поверхность, ориентированная перпендикулярно оси объектива, будет освещена, а наклонная плоскость – нет (рис. 2, а). При темнопольном методе освещения лучи, отраженные от поверхности, расположенной нормально к оси объектива, совсем не попадают в объектив (рис. 2, в), и такая поверхность смотрится темной. Свет от наклонной поверхности попадет в объектив. Таким обра-

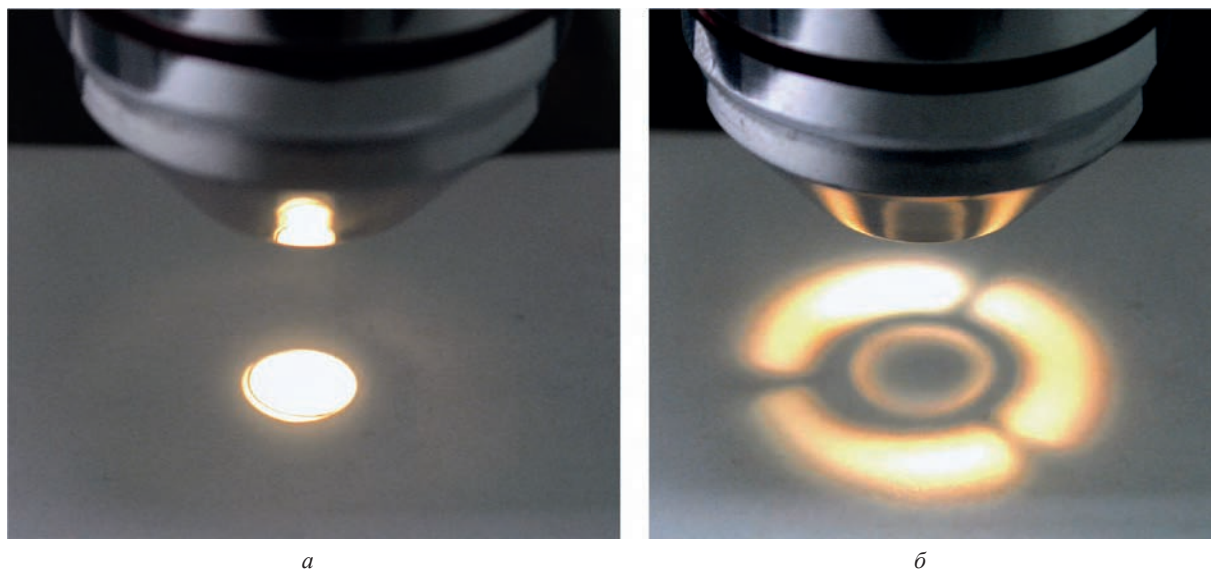


Рис. 1. Освещение объекта при использовании светлого (а) и темного (б) полей

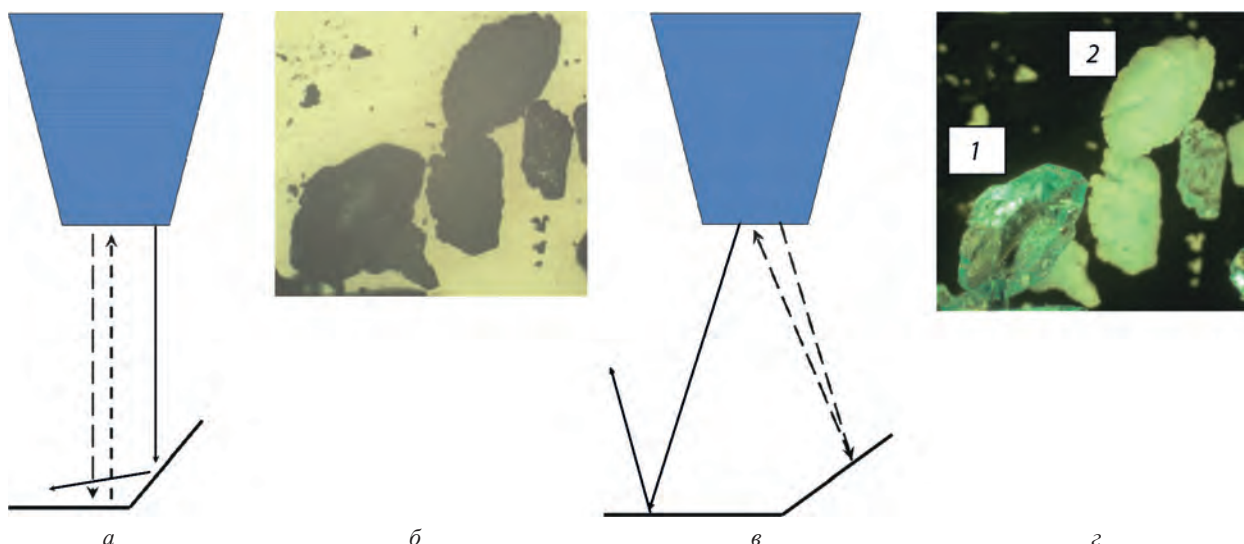


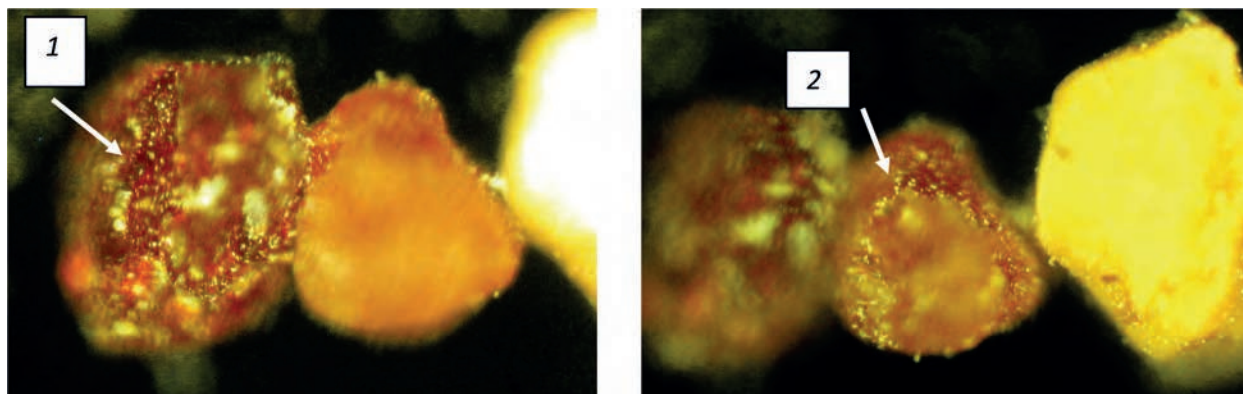
Рис. 2. Схема хода лучей и вид кристаллов медного купороса при использовании светлого (а, б) и темного (в, г) полей: 1 – гидратированные; 2 – дегидратированные кристаллы

зом, изображение при темном поле зрения будет обратным (негативным) изображению при светлом поле зрения. Так, светлопольное изображение не дает полного представления о характере кристаллов медного купороса (рис. 2, б). На рис. 2, г в темном поле возможно различить гидратированные и дегидратированные кристаллы.

Относительно окраски следует заметить, что окрашивание объекта определяется в том числе и характеристиками используемого источника света. При благоприятных условиях (природа материала, освещение, увеличение, форма поверхности) материалы могут быть узнаваемы. Например, порошок диоксида титана имеет характерный желто-оранжевый цвет в темном поле (рис. 3, а, б). Наводка на резкость в темном поле осуществлялась на частицы 1 и 2. В светлом поле (рис. 3, в) цвет не проявляется.

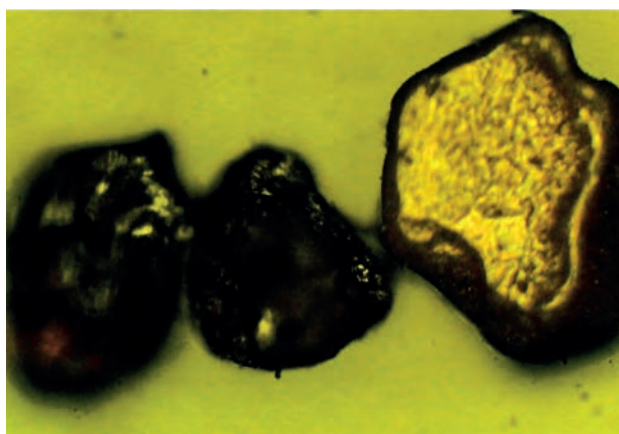
На рис. 4 показаны возможности наблюдения прозрачных кристаллов химических веществ в темном поле. Кристалл лимонной кислоты (рис. 4, а) не имеет характерного цвета, поэтому его видимый цвет определяется регистрирующим оборудованием (в данном случае видеокамера) и характеристиками лампы-осветителя. При использовании цифрового фотоаппарата цвет может измениться [6]. В темном поле видна не только форма кристаллов бихромата калия, но и проявляется их натуральный цвет. На поверхности кристалла можно наблюдать фигуры роста (рис. 4, б, стрелка).

На рис. 5 показаны возможности исследования изменения абразивного порошка. При использовании светлопольного изображения отдельные частицы порошка неразличимы. В темном поле можно наблюдать все детали и провести количественный анализ частиц.



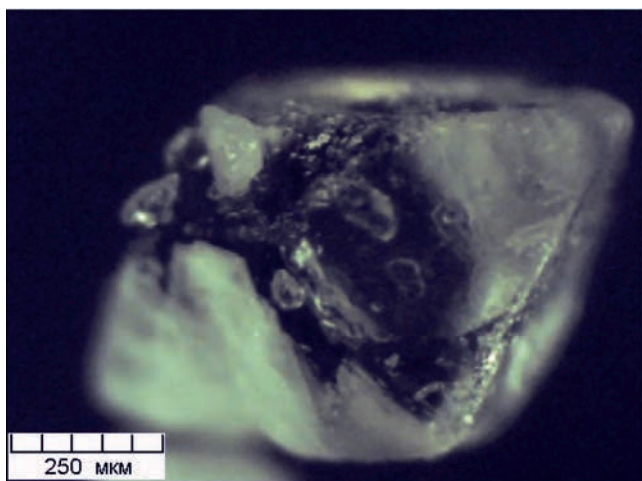
a

б

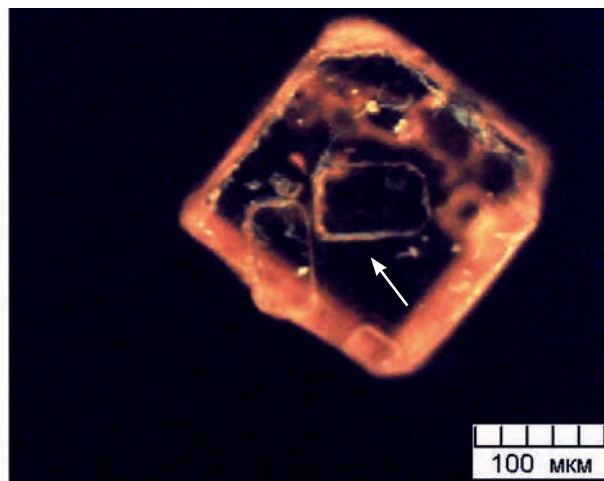


в

Рис. 3. Частицы диоксида титана: *a, б* – темное поле; *в* – светлое поле



a

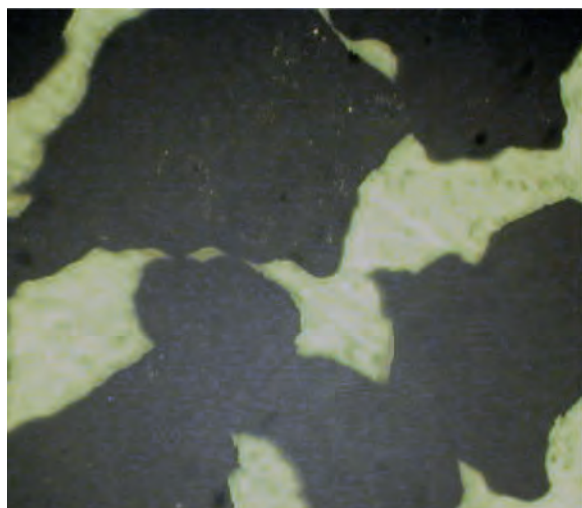


б

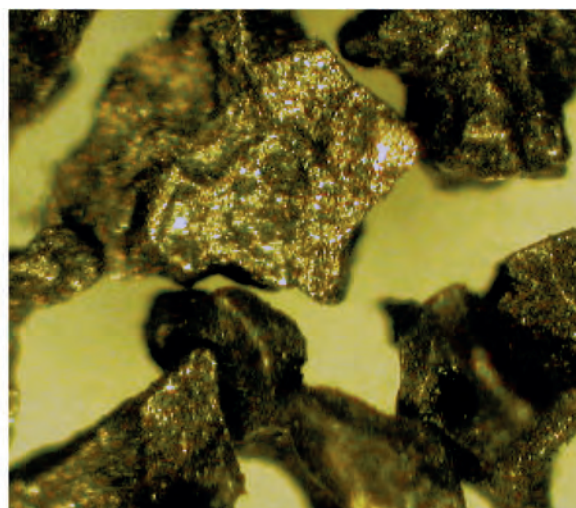
Рис. 4. Кристаллы лимонной кислоты (*a*) и бихромата калия (*б*); темное поле

Несвязанные объекты являются наиболее удобными при количественном анализе в программах обработки изображений, так как требуют минимальных затрат времени на операцию «обнаружение объектов». Программы обработки изображений анализируют объекты в соответствии с их яркостью. Поэтому наилучшими с этой точки зрения являются объекты, разделенные или обособленные в пространстве (и на плоскости, поскольку металлографически мы имеем дело с поверхностью или двумерной проекцией). На рис. 6, *a* по-

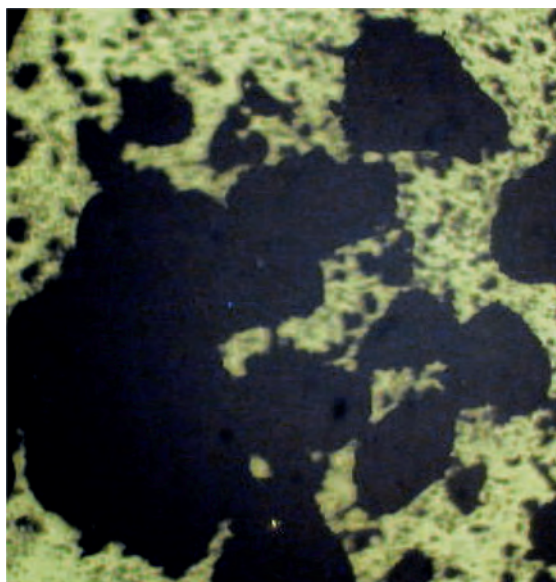
казаны мелкие равноосные кристаллы алмазного порошка. В данном случае частицы порошка не имеют плоской поверхности и рассеивают свет (т. е. являются равномерно темными). Поэтому для анализа достаточно светлопольного освещения. Обнаружение таких объектов в программе обработки изображений возможно практически автоматически, так как объекты и подложка (предметное стекло) существенно различаются по яркости. В принципе это изображение можно считать бинаризованным, которое не требует дополнительного ре-



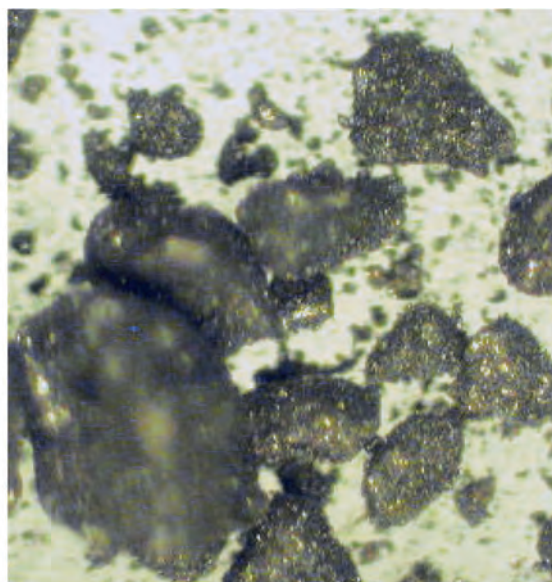
a



б



в



г

Рис. 5. Порошок абразивный: исходное состояние (*a, б*); после испытаний (*в, г*); *a, в* – светлопольное освещение; *б, г* – темнопольное освещение

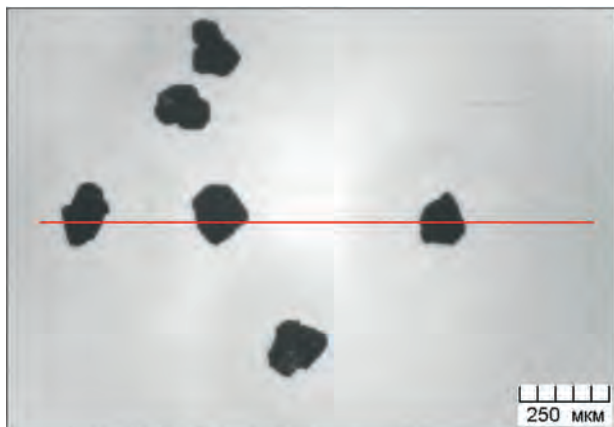
дактирования для количественной обработки. Здесь изображение преобразовано в «monochrome 8 bit». На рис. 6, *б* приведена кривая изменения яркости вдоль выбранного направления (красная линия) для объектов, данных на рис.6, *а*. Минимумы яркости приходятся на участки пересечения линии с кристаллами. Маска после проведения операции «обнаружение объектов» показана на рис. 6, *в*; объекты, попадающие в определенный размерный интервал, окрашиваются определенным цветом. После этого возможно построение количественных зависимостей (рис. 6, *г*). Здесь приведены площадь объектов и средний размер (сумма длины и ширины объекта, деленная на два).

На рис. 7 приведен пример алмазного порошка, у которого частицы имеют грани, отражающие свет. Грани, отмеченные стрелкой, имеют яркость, сопоставимую с яркостью предметного стекла.

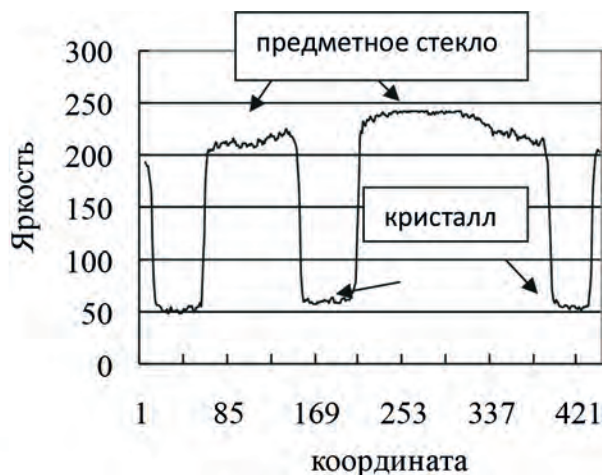
Эти грани не будут учтены как части изображения данных кристаллов и изображение придется корректировать вручную. Поэтому здесь удобнее воспользоваться темнопольным изображением.

Пример обработки темнопольного изображения показан на рис. 8. Поверхность гранул не имеет плоских участков и в темном поле полностью освещена (рис.8, *а*). На рис. 8, *б* представлено это же изображение в «оттенках серого», которое соответствующей регулировкой яркости и контрастности можно перевести в практически бинаризованное, удобное для анализа.

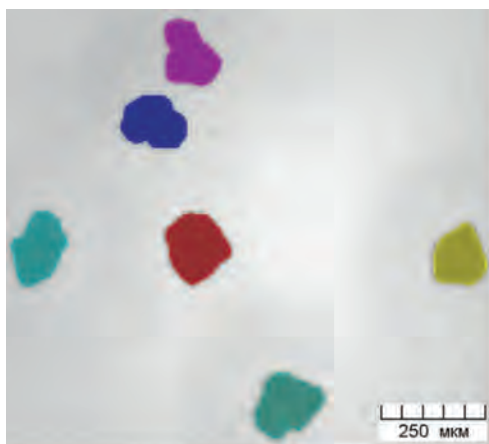
При анализе крупных гранул алюминия (рис. 9) для количественного анализа изображение уже приходится редактировать, так как поверхность гранул сферическая и ни в светлом, ни в темном поле не получается равномерно освещенных объектов. На рис. 9, *в* показана маска, сформированная на



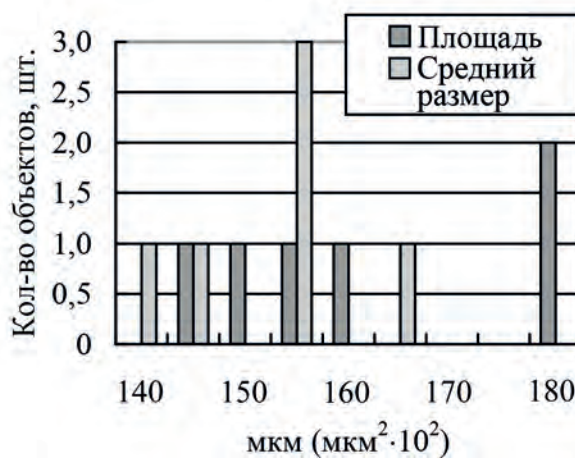
a



б

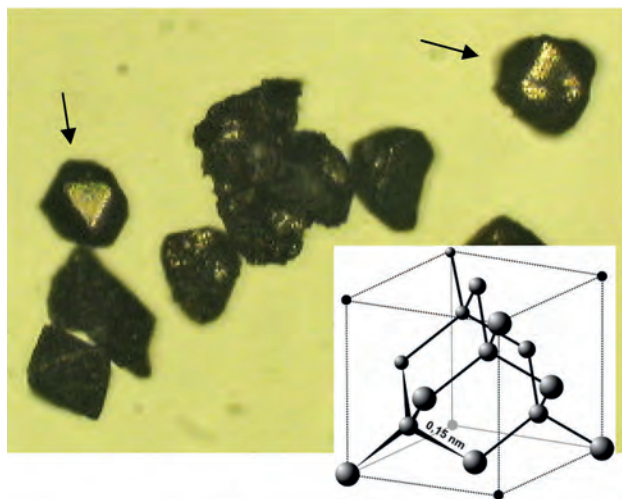


в

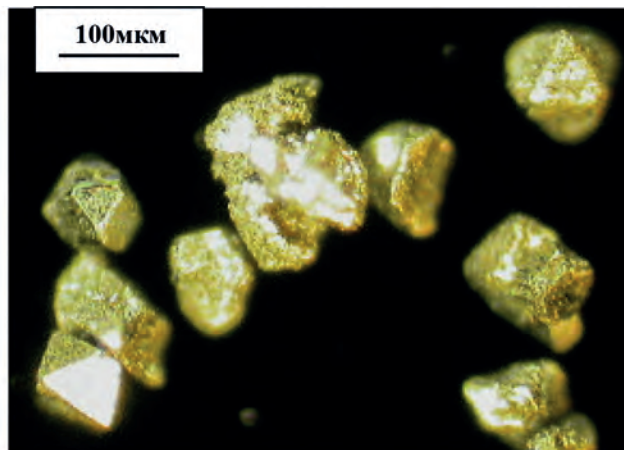


г

Рис. 6. Мелкие кристаллы алмаза в светлом поле (*a*), распределение яркости вдоль выбранного направления (*б*), маска исследуемых объектов (*в*) и результаты количественного анализа (*г*)



a



б

Рис. 7. Алмазный порошок: *a* – светлое поле; *б* – темное поле. x200

этапе «обнаружение объектов» без корректировки вручную. Из рисунка видно, что центральная часть гранулы, имеющая максимальную яркость в светлом поле, не выделена, и каждая гранула опознана программой обработки изображений как кольцо.

Кривая распределения яркости (соответственно горизонтальному маркеру на рис. 9, б) отражает как яркость предметного стекла, так и неравномерное распределение освещенности в пределах каждой гранулы.

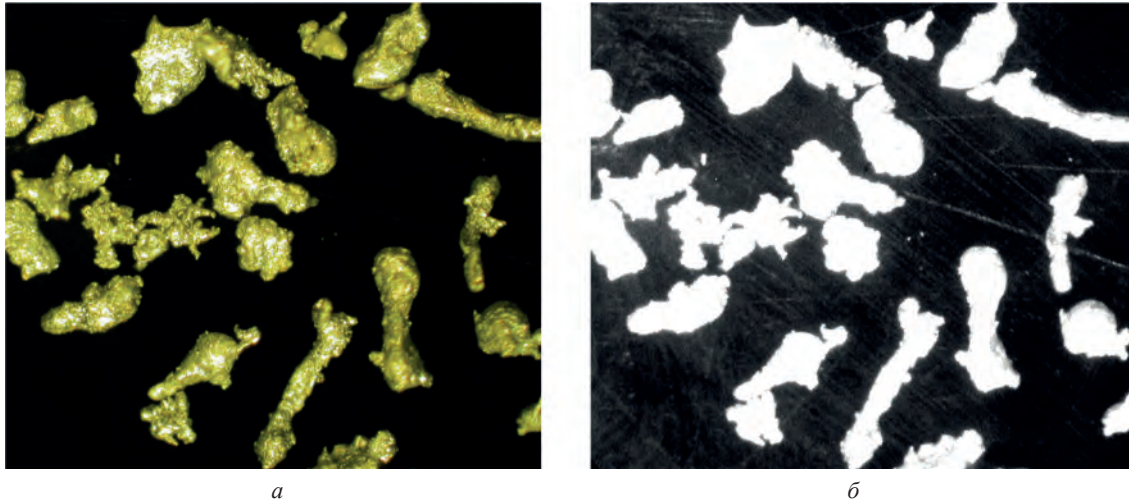


Рис. 8. Пример несвязанных объектов: гранулы алюминия в темном поле (а); изображение в «оттенках серого» (б)

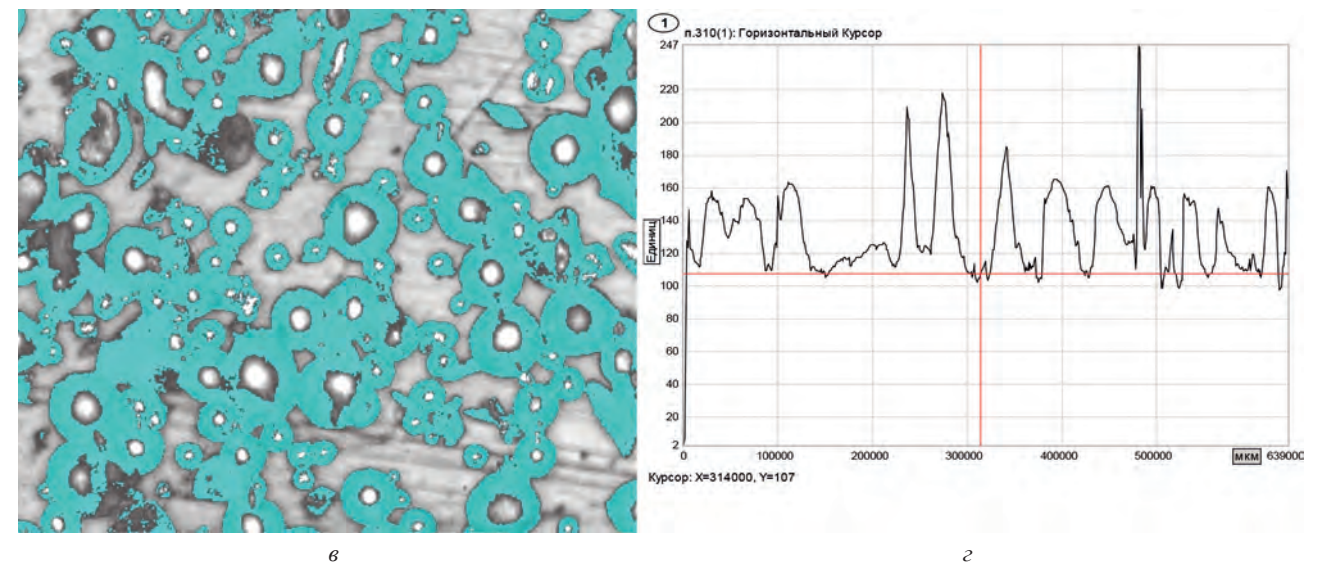
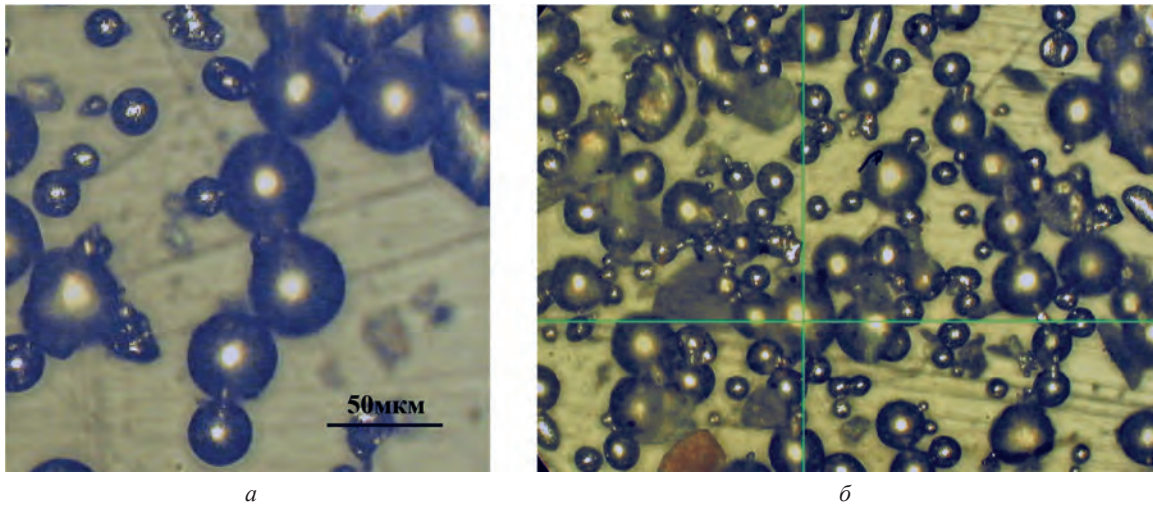
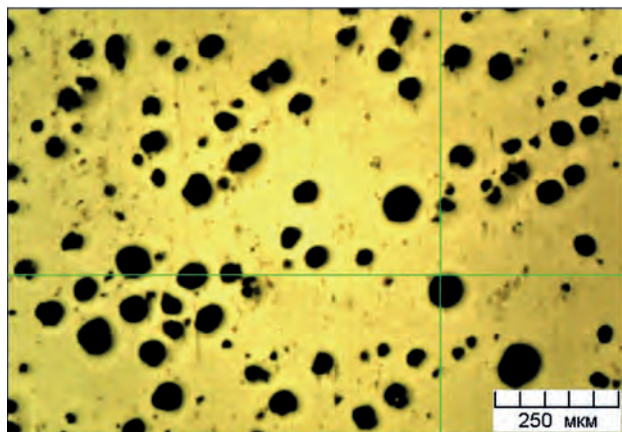


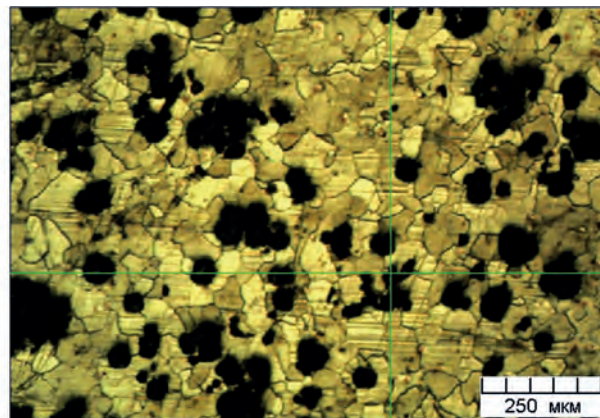
Рис. 9. Гранулы алюминия при различных увеличениях в светлом поле (а, б), маска изображения (в) и кривая распределения яркости (з)

Деление объектов, несвязанные и связанные, в металлографии до некоторой степени условно. Включения графита в сером чугуна на шлифе без травления возможно рассматривать как несвязанные объекты (рис. 10, а). После травления –

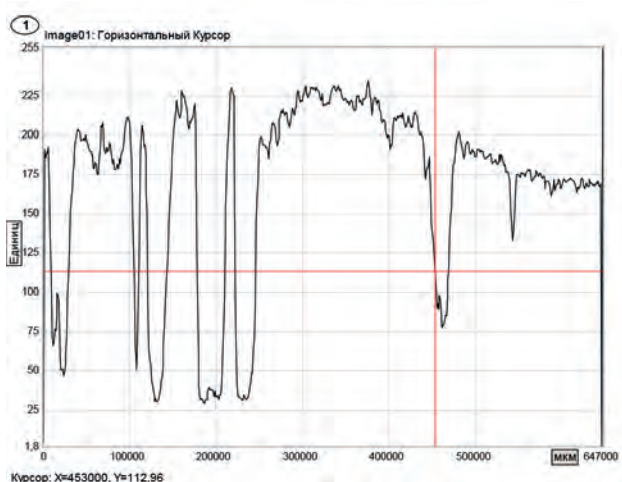
только как связанные (рис. 10, б). На рис. 10, в, г приведены кривые распределения яркости вдоль горизонтального направления, отмеченного курсором на рис. 10, а, б. Графики наглядно демонстрируют разницу в распределении яркости по



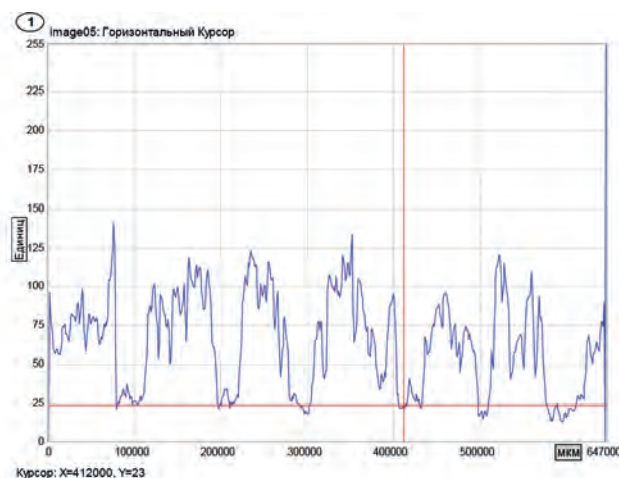
а



б



в



г

Рис. 10. Структура ферритного чугуна с шаровидным графитом: а – шлиф не травлен; б – после травления; в, г – кривые распределения яркости

полю шлифа. При отсутствии травления разница яркости между матрицей и включениями графита составляет порядка 200 ед., для протравленного образца – 100 ед., т. е. в рассматриваемом случае травление снижает разницу в яркости примерно в 2 раза за счет выявления границ зерен и растрыва поверхности зерна. Минимальная яркость по-прежнему соответствует включениям графита. Помимо этого, существенно изменился интервал ко-

лебаний фона (участки, принадлежащие матрице сплава) за счет вклада вытравившихся границ. Соответственно анализ структуры в автоматическом режиме затруднен, так как границы также опознаются компьютерной программой как отдельные объекты. При этом изображение необходимо корректировать вручную. Темнопольное изображение не дает преимуществ при анализе такой структуры.

Литература

1. Зайцева Л. П. Цветная металлография в видимых и ультрафиолетовых лучах / Л. П. Зайцева, Т. Г. Порохова. М.: Металлургия, 1964.
2. Червяков А. Н. Металлографическое определение включений в стали / А. Н. Червяков, С. А. Киселева, А. Г. Рыльникова. М.: Гос. науч.-техн. изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1962.
3. Кларк Э. Р. Микроскопические методы исследования материалов / Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхардт. М.: Техносфера, 2007.
4. Егорова О. В. Техническая микроскопия. С микроскопом на «ты» / О. В. Егорова. М.: Техносфера, 2007.
5. Пантелеев В. Г. Компьютерная микроскопия / В. Г. Пантелеев, О. В. Егорова, Е. И. Клыкова. М.: Техносфера, 2005.
6. Анисович А. Г. Применение поляризованного света в анализе металлов и сплавов // Литье и металлургия. 2012. № 3(67) С. 147–151.
7. Анисович А. Г., Красневский С. М., Степанкова М. К. Использование темнопольного изображения для идентификации фазовых составляющих трубных сталей // Литье и металлургия. 2012. № 1(64) С. 99–103.