



The comparison of structure images (steel, cast iron, aluminum alloys) obtained with the help of scanning and metallographic microscopes has been made. The type of a microscopy to be used has been analyzed concerning the study of metallographic sections, fractures and surfaces formed by cutting tools.

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

УДК 669.21

ВЫБОР ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ СПЛАВОВ

Современное материаловедение направленно использует взаимосвязь состава, структуры и комплекса физико-механических характеристик для создания новых материалов с заданными свойствами. Главная задача материаловедения – научно обоснованное предсказание поведения применяемых в технике материалов на основании изучения их структуры.

Мероприятия по исследованию структуры любых материалов предполагают решение двух основных вопросов: как получить изображение структуры материала? как это изображение объяснить? И если первый вопрос является сугубо методическим, то ответ на второй вопрос дает ключ к пониманию реализующихся в материале процессов и задает направление дальнейших исследований и технологического применения. Трактовка изображения структуры зависит от того, информативно ли полученное изображение структуры. В связи с этим, помимо развития самих методов анализа структуры материалов, важным является выбор соответствующего исследовательского оборудования. Зачастую неправильный выбор прибора для анализа материалов ведет или к неправильной трактовке результатов, или же к отсутствию возможности любой трактовки. Особенно это проявляется применительно к сложному исследовательскому оборудованию, которое обслуживает зачастую не специалист-материаловед, а оператор, знающий прибор, но не владеющий навыками анализа материалов. Как правило, вопрос выбора исследовательского оборудования мало освещается в специальной литературе. Такие вопросы молодые специалисты постигают в процессе обучения на месте работы под руководством квалифицированных специалистов. Имеющаяся литература не рассматривает узких вопросов применимости того или иного оборудования к конкретным материал-

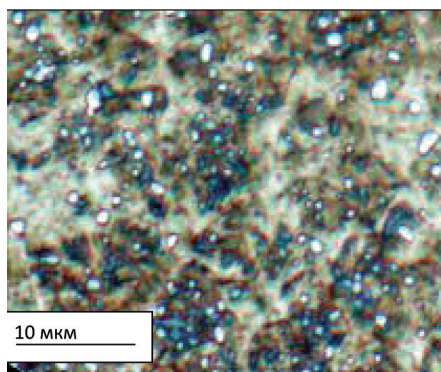
ведческим задачам. Нет публикаций, в которых было бы проведено сравнение и описание фотографий структуры материалов, полученных с помощью принципиально различных микроскопов, в частности, металлографических и растровых.

Растровый электронный микроскоп привлекателен для большинства исследователей и технологов в силу большого увеличения (десятки тысяч крат); возможности локального определения химического состава; большой глубины резкости; отсутствия процесса изготовления шлифа; требуется только отрезать образец под размер в соответствии с требованиями к конкретному прибору.

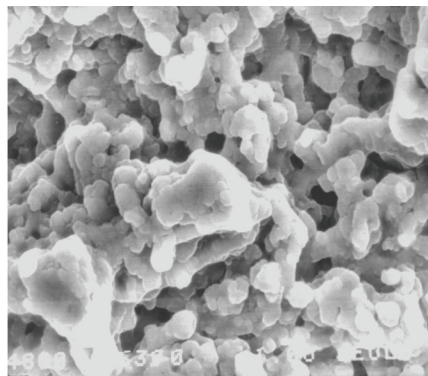
Тем не менее, опыт убеждает, что перечисленные достоинства растрового микроскопа являются одновременно и злейшими врагами того, кто не является квалифицированным исследователем-практиком. Ошибочно полагают, что чем больше увеличение, тем больше информации будет получено и тем качественнее будет произведен анализ. Следует отметить также, что обычно действуют по принципу: как можно меньше работы по подготовке образца и максимум информации. Беда в том, что это не удастся практически никому и исследование надо начинать с самого начала и уже другими средствами.

В данной статье предпринимается попытка в некоторой степени восполнить этот пробел и провести сравнение применения металлографического и растрового электронного микроскопов для исследования металлических сплавов, применяемых в промышленности. Анализ проводили с использованием металлографического микроскопа МИКРО-200 и растрового сканирующего электронного микроскопа Philips SEM 515.

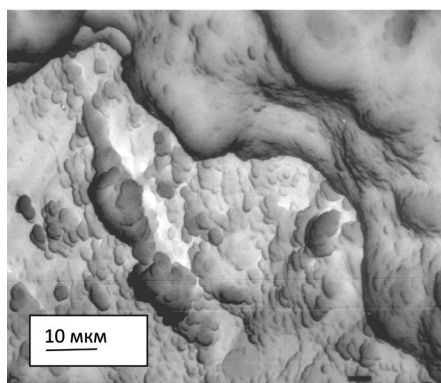
На рис. 1 показана микроструктура (рис.1, а) и изломы (рис. 1, б, в) подшипниковой стали ШХ15. Микроструктурный анализ дает возможность оце-



a



б



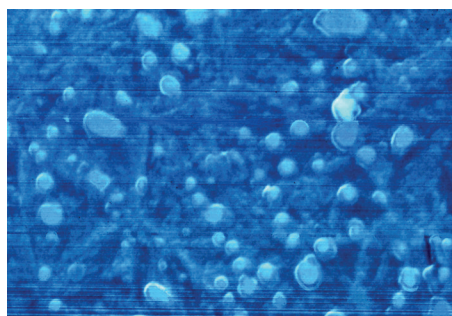
в

Рис. 1. Микроструктура (*a*) и микрофотографии изломов (*б, в*) образцов подшипниковой стали с различными усилиями разрушения: *б* – высокое; *в* – низкое

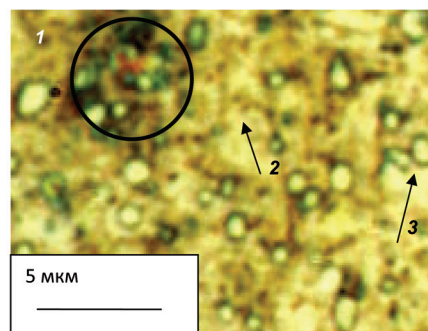
нить характер распределения карбидов в матрице сплава, однородность структуры, наличие карбидной или ферритной сетки и т. д. Провести подобный анализ по картине излома невозможно. Невозможно получить информацию и о состоянии карбидной фазы – однородности распределения карбидов в матрице сплава, их однородности по размерам, наличия или отсутствия карбидной сетки или локальных скоплений. Нет также информации о наличии неметаллических включений, что является одним из важнейших вопросов качества таких сталей [1]. Вместе с тем, растровые микрофотографии прекрасно иллюстрируют качество металла по характеру излома [2], но отвечают только на вопрос: да или нет, хорошо или плохо? Причину неудовлетворительного качества стали растровая микроскопия в данном случае не называет

и назвать не может. Этому препятствует большая глубина резкости, которая показывает слишком много деталей, за которыми выделить главное практически невозможно.

На рис. 2 показаны фотографии структуры стали ШХ15, выполненные со шлифа после травления на микроструктуру с использованием металлографического (увеличение при фотографировании 3000) и растрового микроскопов. Снимки приведены к одинаковому масштабу. При использовании растрового микроскопа хорошо различимы только карбидная фаза (рис. 2, *a*), а также матрица со структурой скрытоигольчатого мартенсита. Микроструктура в данном случае максимально информативна (рис. 2, *б*). Стрелками показаны участки неоднородности по составу 1, граница аустенитного зерна 2, карбиды 3.



a



б

Рис. 2. Микроструктура стали ШХ15: растровый электронный микроскоп (*a*), металлографический микроскоп (*б*)

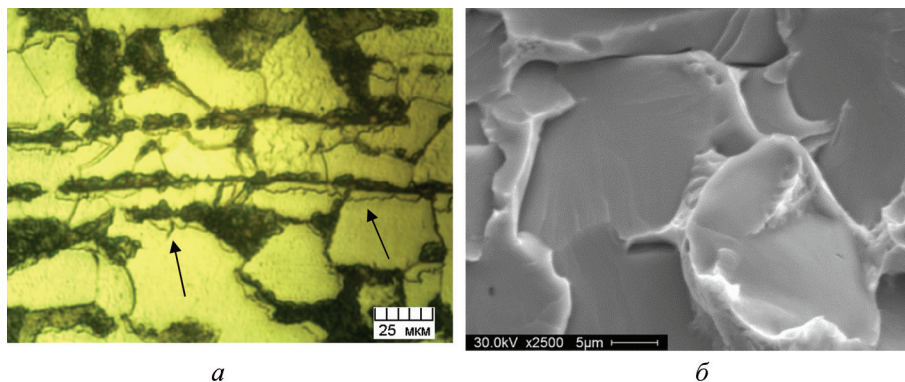


Рис. 3. Микроструктура углеродистой стали (а) и фрактограмма излома (б)

С точки зрения анализа структуры на предмет соответствия или же несоответствия ГОСТ, а также анализа карбидной неоднородности и структуры в целом растровый электронный микроскоп в данном случае не может быть использован.

Характерным примером является исследование выделения цементита по границам перлитной фазы, что существенно снижает ударную вязкость углеродистой стали [3].

На фотографии микроструктуры (рис. 3, а) хорошо заметны полосы цементита вдоль вытянутых колоний перлита (отмечено стрелками). В стали с высоким уровнем свойств такие эффекты отсутствуют. В данном случае металлографический анализ однозначно и надежно фиксирует структуру и объясняет связь со свойствами. Микрофотография, полученная с помощью растрового электронного микроскопа, такой возможности не дает (рис. 3, б). Фрактограмма излома характеризуется достаточно гладкими поверхностями с ручейковым узором и хорошо обозначенными границами зерен, что свидетельствует о хрупком межзеренном разрушении, проходящим путем скола по границам зерен. Но вид излома не говорит о конкретных особенностях структуры, являющихся причиной пониженных свойств. Различить феррит, перлит и цементит на изломе в данном случае невозможно. Поэтому сведения о характере излома образ-

цов, обладающих различными свойствами, подтверждают только результат испытаний, но не называют структурную причину, ответственную за снижение свойств. В связи с этим микроструктурный анализ альтернативы не имеет. При микроструктурном анализе существенное значение имеет способ освещения. Полосы цементита первоначально были обнаружены при использовании освещения по методу «темного поля» [3].

Пример успешного применения растрового микроскопа для анализа структуры проволоки для металлокорда приведен на рис. 4. Поскольку качество проволоки напрямую связывается с межпластиночным расстоянием в перлите, то растровая микроскопия является наиболее результативной методикой исследования, особенно учитывая дисперсность структуры эвтектоида.

При высоком разрешении пластинки перлитной структуры в стали (ст. 70, 80) различаются достаточно хорошо, причем в черно-белой цветовой гамме. Черно-белое изображение сканирующего электронного микроскопа дает возможность получать практически сразу бинаризованное изображение (двух цветов – черного и белого), что позволяет проводить разработку программного обеспечения для автоматического контроля качества проволоки в заводских условиях [4]. Поскольку компьютерный анализ изображений основывается на яркости

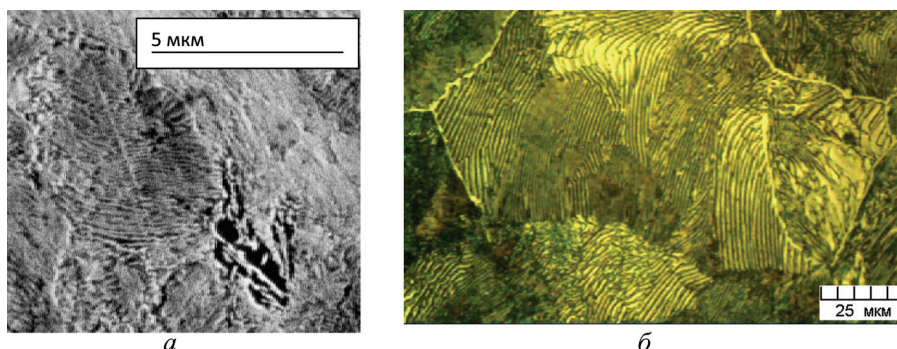


Рис. 4. Структура пластинчатого перлита в высокоуглеродистой стали: а – растровый микроскоп; б – металлографический микроскоп

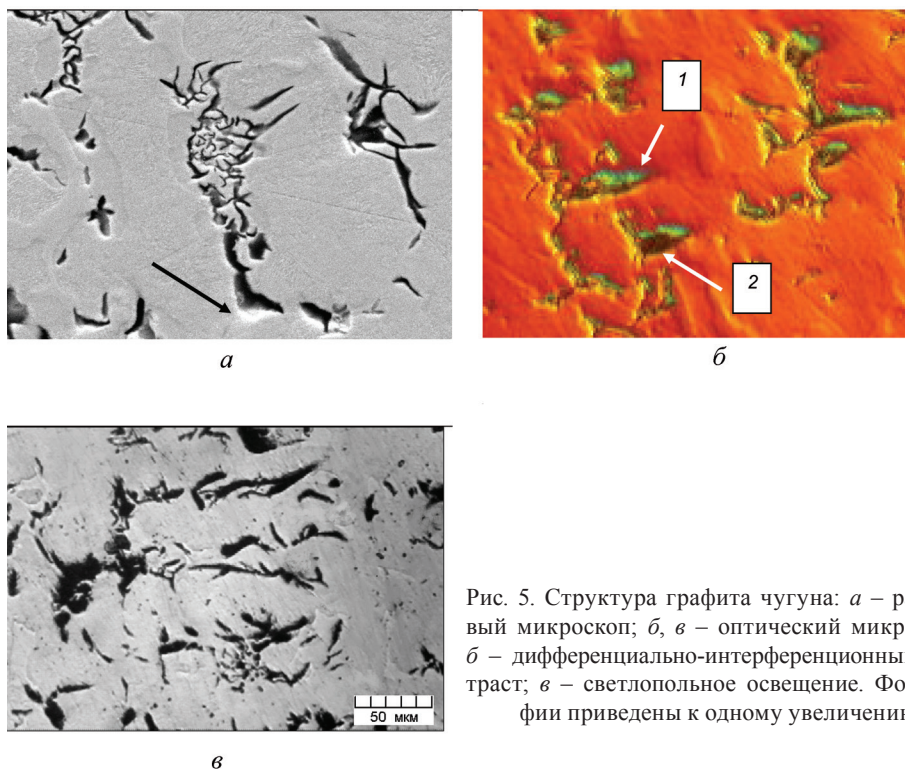


Рис. 5. Структура графита чугуна: *а* – растровый микроскоп; *б, в* – оптический микроскоп; *б* – дифференциально-интерференционный контраст; *в* – светлопольное освещение. Фотографии приведены к одному увеличению

различных фаз, изображение структуры, полученное металлографически (рис. 4, *б*), трудно использовать для автоматического контроля эвтектоида в силу богатства оттенков серого цвета.

Растровый и металлографический микроскопы предоставляют практически равные возможности в плане исследования графита в чугуне на поверхности шлифа (рис. 5). Изображение графита, видимое в растровом микроскопе, имеет свои особенности. Поскольку графит является наименее твердой фазой, матрица около нее выполировывается. В этом месте включение графита имеет белый ободок (стрелка, рис. 5, *а*). Сходный эффект наблюдается при использовании освещения монохроматическим поляризованным светом с помощью призмы Номарского [5]. Участки, расположенные около включений графита (лежащие ниже основной плоскости шлифа), имеют желтую или зеленую

окраску в зависимости от глубины (стрелка 1, рис. 5, *б*). Включение графита имеет черный цвет (стрелка 2, рис. 5, *б*). Микроструктура (рис. 5, *в*) дает черно-белое изображение, которое также удобно использовать в компьютерном анализе изображений [4].

На рис. 6 показана поверхность алюминиевого сплава после отрезки на станке, полученная с использованием металлографического и растрового микроскопов.

На микроструктурном изображении (рис. 6, *а*) видны трещины и несплошности структуры, напоминающие флокены в стали, что позволяет сразу сделать заключение о плохом качестве металла. В растровый микроскоп на поверхности видны как следы обработки резцом, так и дефекты поверхности (участки 1 и 2): участок 1 при повышенном увеличении выглядит похожим на включение по-

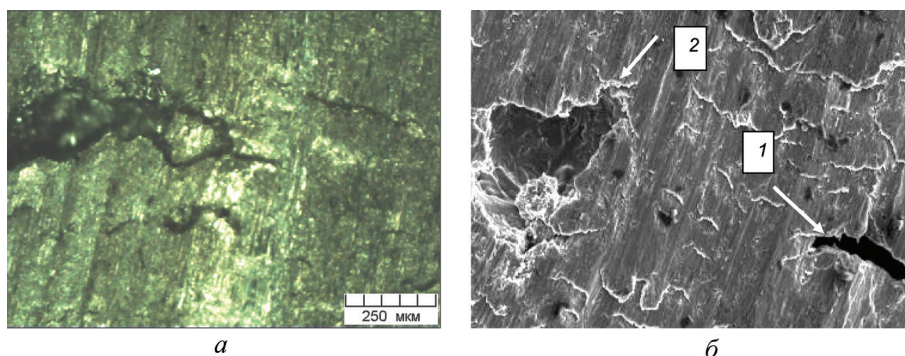


Рис. 6. Поверхность образца алюминиевого сплава; *а* – металлографический микроскоп в темном поле; *б* – сканирующий электронный микроскоп

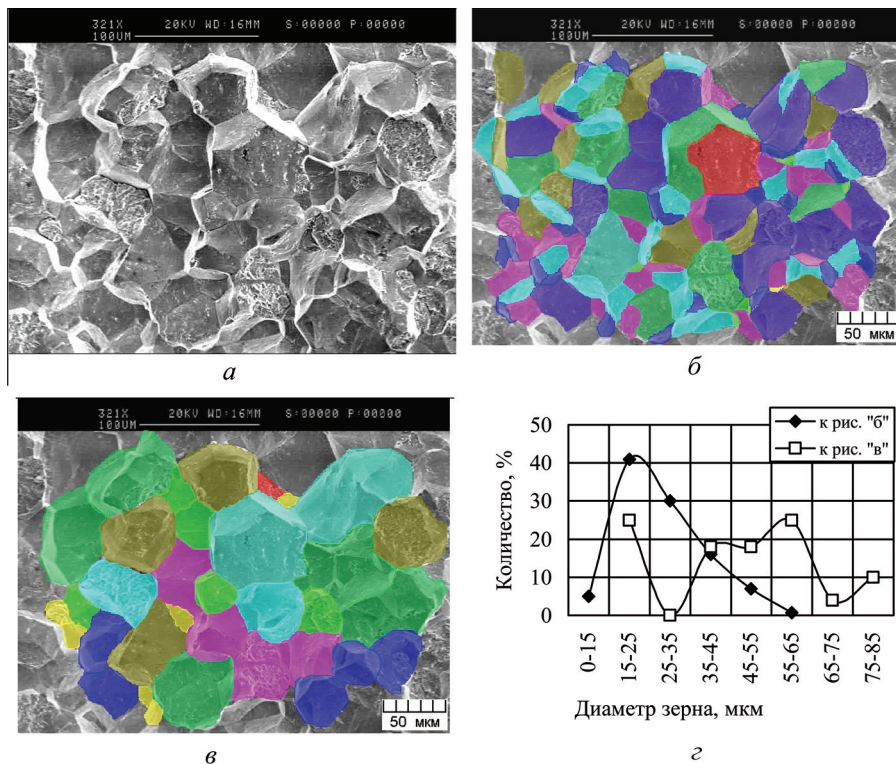


Рис. 7. Структура излома (а), различные варианты идентификации предполагаемого зерна в программе IMAGE-SP (б, в) и соответствующие им распределения зерен по размерам (з)

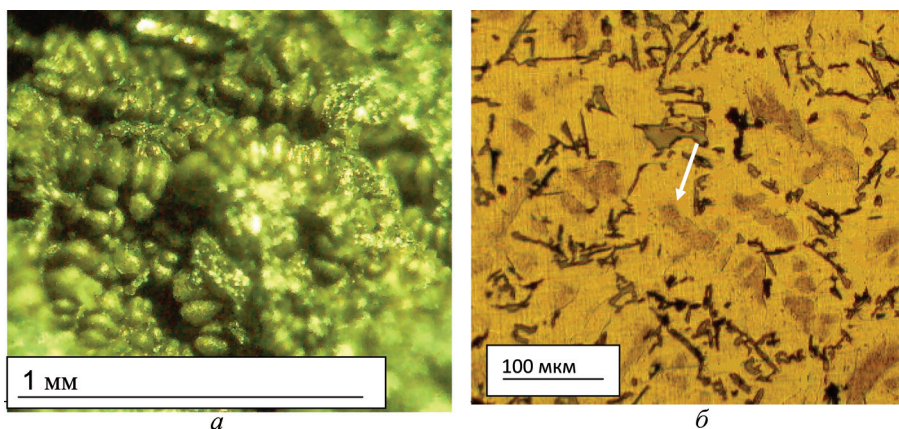


Рис. 8. Дендриты в отливке силумина, полученной литьем в землю: а – фотография поверхности, полученная с помощью микроскопа МБС; б – микроструктура

сторонней примеси, участок 2 – как несплошность материала. Как электронная, так и микрофотография показывают наличие пор, трещин, включений посторонних фаз, возможно нерастворимых.

На рис. 7, а показана структура интеркристаллитного излома стали, полученного с помощью растрового электронного микроскопа. Поскольку излом произошел преимущественно по границам зерен, есть большой соблазн попытаться определить размер зерна по картине разрушения. Трудность состоит в невозможности определить, какая фасетка скола какому зерну принадлежит, поскольку зерна представляют собой неправильные многогранники. Поэтому возможны различные вари-

анты обработки изображения. На рис. 7, б, в показаны варианты выбора «зерна». Соответствующие распределения зерен по размерам представлены на рис. 7, з. Они существенно различны. Для варианта выделения объектов на рис. 7, б микроструктура однородна, преобладают зерна размером 15–25 мкм. Распределение, соответствующее рис. 7, в, демонстрирует неоднородность размеров зерен: максимумы распределения соответствуют 15–25 и 55–65 мкм. Растровое изображение можно в данном случае применить для ответа на вопрос: крупнее или мельче? И это будет только качественный анализ. Можно провести количественный анализ, построив гистограмму распределения фасеток ско-

ла по размерам, но это не является надежным. Для этого следует иметь доказательства применимости такого метода оценки размера зерна, построенные на принципах стереометрической металлографии.

На рис. 8, а показан излом доэвтектоидного силумина, полученный с использованием стереомикроскопа. Стереомикроскоп дает изображения литой дендритной структуры, которая неудовлетворительно сказывается на механических свойствах,

в частности, образец показал низкий предел прочности и нулевую пластичность. Микроструктура отливки неоднородна, присутствуют зоны различной травимости (отличающиеся составом) и дисперсности. На фотографии микроструктуры (рис. 8, б) видны эвтектический кремний и сечение дендрита (отмечено стрелкой). В данном случае объемное и плоское изображения дополняют друг друга.

Литература

1. Спектор А. Г., Зельберт Б. М., Киселева С. А. Структура и свойства подшипниковых сталей. М.: Metallurgia, 1980.
2. Алифанов А. В., Анисович А. Г., Гагасов А. М. Проблема качества подшипников как следствие металлургического брака // Литье и металлургия. 2008. № 1. С. 136–141.
3. Анисович А. Г., Красневский С. М., Степанкова М. К. Использование темнопольного изображения для идентификации фазовых составляющих трубных сталей // Литье и металлургия. 2012. № 1. С. 99–103.
4. Сачек О. А. Метод и алгоритмы для компьютерного анализа изображений структур промышленных железоуглеродистых сплавов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2011.
5. Егорова О. В. Техническая микроскопия. С микроскопом на «ты». М.: Техносфера, 2007.