



The possibility of determination of oxygen concentration in cast copper in program «IMAGE SP» is considered. It is shown the satisfactory compliance with results, received under state standard specification 13938.13-93. The advantages of computer methods of analysis are demonstrated.

А. Г. АНИСОВИЧ, И. Н. РУМЯНЦЕВА,
П. Н. МИСУНО, Физико-технический институт НАН Беларуси

УДК 669.3'787:681.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В МЕДИ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Требования к металлографии в настоящее время не ограничиваются только рамками металловедения – получения изображения структуры и ее качественного описания. Современная металлография – комплекс качественных и количественных методов анализа структуры, предполагающих использование не только современного металлографического оборудования, но и средств математической обработки экспериментальных данных.

Результаты металлографических исследований зависят, в первую очередь, от умения исследователя детально проанализировать структуру металла, возможности учесть все структурные эффекты, непосредственно влияющие на комплекс физико-механических свойств данного материала или изделия, а также установить артефакты, внесенные в процессе изготовления образца. В связи с этим огромную роль играет оснащение металлографических микроскопов средствами компьютерной техники, позволяющих производить подробный, детальный анализ микроструктуры.

Применение специальных методов и методик в настоящее время в Беларуси затрудняется отсутствием средств для обновления материально-технической базы исследований как в научно-исследовательских институтах, так и в заводских лабораториях и поэтому отсутствием иногда у металлургов сведений о возможностях металлографических комплексов по получению и обработке данных.

В связи с этим полезно рассмотреть возможности современных методов исследования с тем, чтобы привлечь внимание к необходимости более широкого применения специального оборудования. Следует учесть также, что в современном металловедении ушел в прошлое способ фоторегистрации изображений в черно-белой цветовой гамме. Компьютерная регистрация изображений дает возможность

выделить специфические эффекты структур, в том числе по их контрасту и цвету, а также воспользоваться широким спектром возможностей, предоставляемых программами по обработке изображений, для повышения точности и достоверности результатов металлографического анализа, повышения производительности труда оператора.

Данная статья ставит целью акцентировать внимание металлургов на возможностях, предоставляемых современными программами по обработке изображений применительно к количественному определению примесей. Рассмотрен метод определения концентрации кислорода в литой меди с помощью программы обработки изображений «Image SP» [1]. Проведено сравнение с результатами, полученными при использовании ГОСТ 13938.13-93 и литературными данными.

Совершенствование методов определения примесей, присутствующих в металлах, всегда актуально, так как примеси часто оказывают большое влияние на уровень физико-механических свойств готовых изделий. Поэтому содержание их в металлах жестко ограничено соответствующими ГОСТ, а также определяется техническими требованиями к той или иной продукции. Одним из методов анализа, распространенных в металлографических лабораториях, является определение содержания кислорода в меди. Для медного литья это один из важнейших показателей качества. В частности, при низком содержании кислорода (0,001%) может происходить насыщение расплава меди водородом, что приведет к браку изделий из-за газовой пористости.

Кислород растворим в жидкой меди, но при кристаллизации образуется эвтектика $\alpha(\text{Cu}) + \text{Cu}_2\text{O}$. Ввиду того что эвтектическая точка на диаграмме состояния Cu–O располагается в области больших

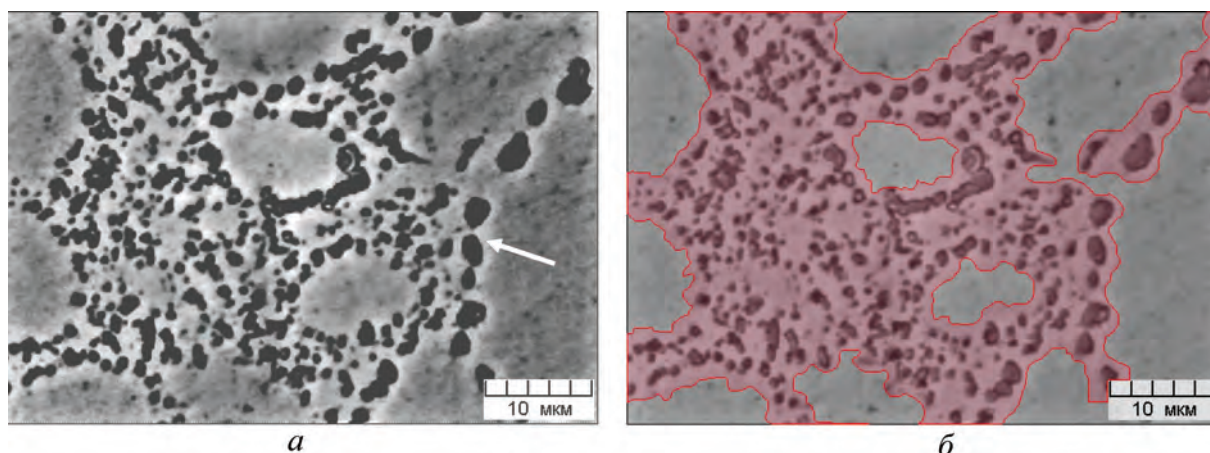


Рис. 1. Микроструктура образца (а); «маска» после количественной обработки (б)

содержаний меди (0,39 мас.% O₂), основой эвтектики является медь, в которой находятся включения закиси меди. В литой меди эвтектика имеет точное строение и располагается по границам зерен. Наличие эвтектической структуры дает возможность точного определения концентрации кислорода металлографическим методом. Так как точное количество кислорода в эвтектике известно, процентное содержание кислорода в меди можно найти из соотношения:

$$X = \frac{0,39F}{100\%}, \quad (1)$$

где F – доля площади поля зрения шлифа, занимаемая эвтектикой, % [2].

Металлографические анализы, связанные с определением площадей структурных составляющих, предполагают использование операции планиметрирования [3]. Определение кислорода металлографическим методом по соотношению площадей, занимаемых медью и кислородной эвтектикой, описано в [4]. Метод является очень точным, так как медь не дает твердых растворов с закисью меди, что подтверждается измерениями теплопроводности [4].

При фотографировании структуры по методам прошлых лет (на фотопластинки с последующей печатью изображений на фотобумагу) определение площадей, занимаемых фазами, было затруднительно в силу высокой трудоемкости как получения изображения структуры, так и операции планиметрирования. Помимо этого, всегда важен вопрос ошибки измерения при выполнении методик такого рода, что требует тщательной настройки планиметра. Поэтому содержание кислорода в меди рассчитывали методом сравнения с эталонными структурами по ГОСТ 13938.13-93.

В настоящее время существование программ обработки изображений делает доступным опре-

деление площади структурных составляющих с высокой точностью и малой трудоемкостью. Тем не менее, учитывая отсутствие ГОСТ на методики компьютерного анализа структуры металлов и сплавов, целесообразно провести сравнение результатов полученным компьютерным анализом и с использованием стандартной методики.

Пример определения площади, занимаемой эвтектикой, приведен на рис. 1. На рисунке показаны микрофотографии структуры и соответствующей ей «маски» при большом увеличении. Маска представляет собой цветное изображение выделенных объектов, подлежащих количественному анализу (участок, отмеченный красным цветом на рис. 1, б). Операция коррекции яркости изображения позволяет выделить границу, разделяющую дендрит меди и медь, входящую в эвтектику. На рис. 1, а такая граница отмечена стрелкой. В соответствии с этим на рис. 1, б проведена граница «маски».

Точность измерения в программе обработки изображений выверена по стандартному объект-микрометру. При этом при правильной калибровке изображения шкалы объект-микрометра и изображения калибровочной линейки программы «Image SP» совпадают (рис. 2).

Для анализа были выбраны образцы, визуально отличающиеся количеством кислородной эвтектики (№ 1 и 2). Структура образцов приведена

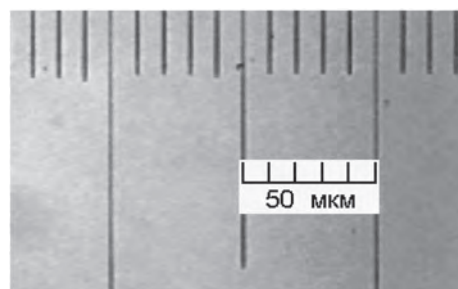


Рис. 2. Фрагмент стандартного объект-микрометра и калибровочной линейки программы «Image SP»

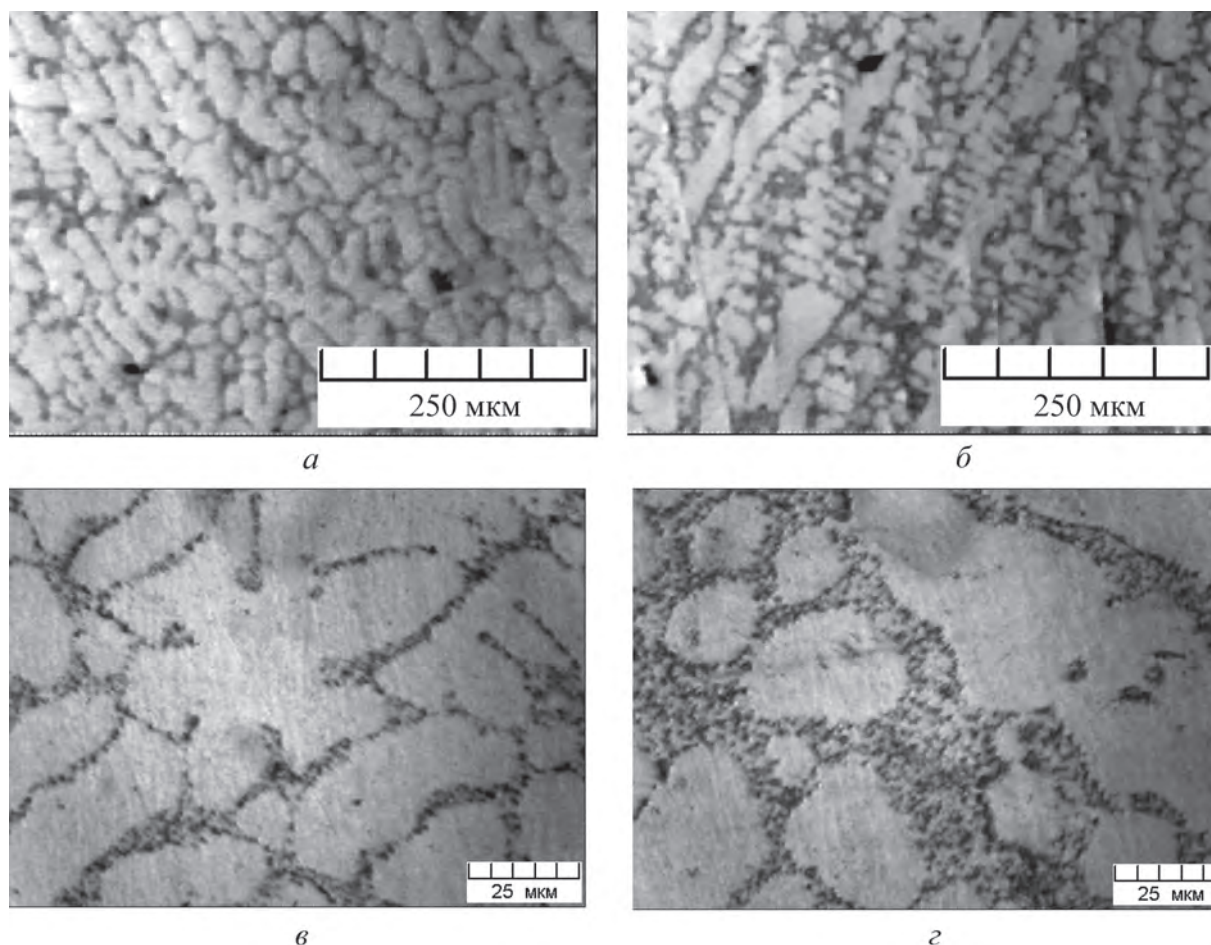


Рис. 3. Микроструктура образцов № 1 (а, б) и № 2 (в, г) при различных увеличениях

на рис. 3. Для всех образцов определяли площади кадра и площади, занимаемые участками эвтектики. Для каждого образца было исследовано не менее пяти независимых кадров. Для расчета концентрации кислорода использовали формулу (1).

Сравнение результатов при использовании методики по ГОСТ 13938.13–93 и с помощью компьютерного анализа изображений приведено в табл. 1. Также в программе обработки изображений были проанализированы структуры литой меди, приведенные в [4] и структура по ГОСТ 13938.13-93 (чертеж № 11). Как видно из таблицы, методы показывают хорошее совпадение результатов. При этом возможно определить содержание кислорода более точно, так как в ГОСТ 13938.13-93 представлены структуры, отвечающие достаточно большому шагу по концентрациям. В частности, чертеж № 11 – 0,09% O₂, чертеж № 12 – 0,15% O₂. Поэтому цифра 0,12% O₂ может быть принята как приблизительная. Уточненное содержание кислорода с помощью компьютерной программы составляет 0,106%.

Такой уровень точности дает возможность определять содержание меди в различных участках отливки с неоднородной структурой с доста-

точной степенью точности. На рис. 5 представлена структура в различных, наиболее характерных участках цилиндрической медной отливки. Фотографирование структуры и определение концентрации кислорода проводилось в соответствии со схемой рис. 6.

Таблица 1. Сравнение методов анализа

Номер образца	Содержание кислорода, мас.%		
	химический анализ	ГОСТ 13938.13-93	компьютерный метод
1	–	0,090	0,079
2	–	0,120	0,106
Структура по ГОСТ 13938.13-93, чертеж № 11	–	0,090	0,088
Структура рис. 4, а	0,170	–	0,168
Структура рис. 4, б	0,040	–	0,043

В табл. 2 приведено изменение концентрации кислорода в различных участках на краю и в центре образца. В пользу компьютерного метода анализа следует отметить также следующее. В настоящее время разработаны разнообразные способы литья, позволяющие получать структуры различной морфологии и дисперсности. Поэтому бывает затруднительно анализировать структуру при сравнении с эталонными шкалами при увеличении 200

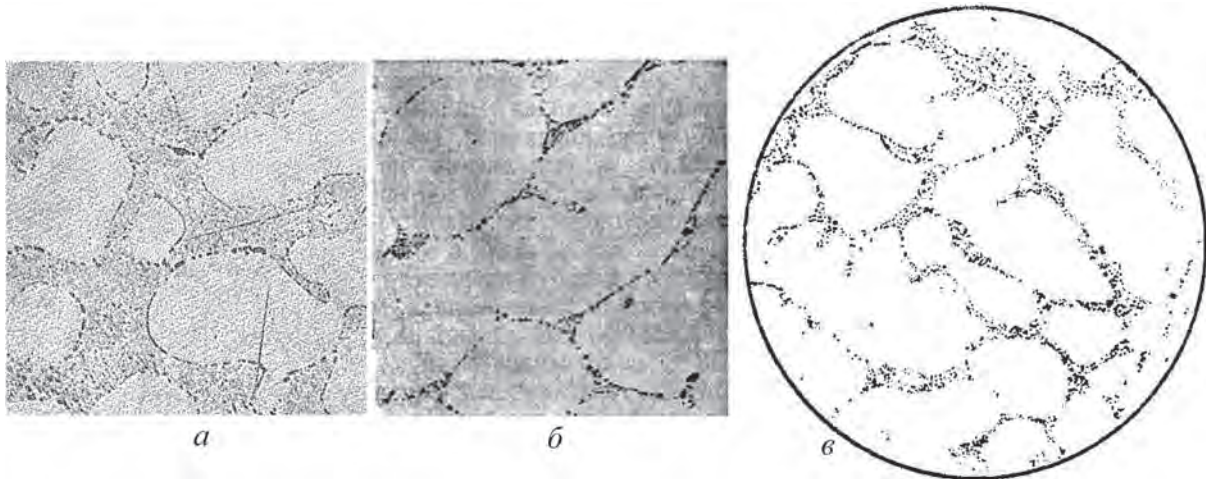


Рис. 4. Микроструктура литой меди [4]: а – 0,17% O₂ [4]; б – 0,04; в – 0,09% O₂ (ГОСТ 13938.13-93, чертеж № 11). ×200. ×0,75

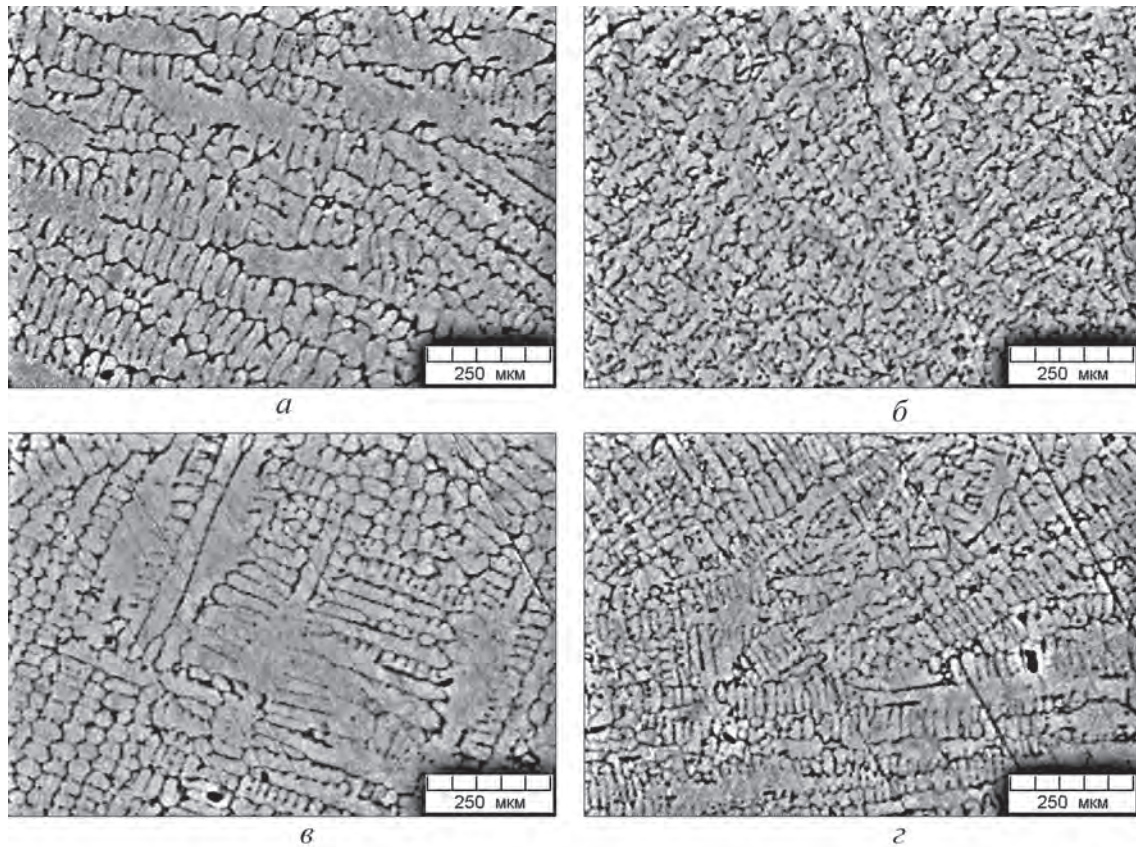


Рис. 5. Микроструктура образца литой меди: край отливки (а, в), центр отливки (б, г)

в силу несоответствия масштабного фактора. Программа обработки изображений дает возможность определения концентрации кислорода при наибо-

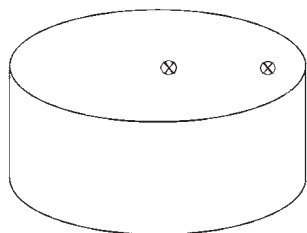


Рис. 6. Схема расположения участков определения кислорода в медной отливке

лее подходящем увеличении. При этом необходимо подбирать количество независимых кадров для обеспечения статистически верного результата.

Т а б л и ц а 2. Содержание кислорода в образцах меди. Определение в программе «Image SP»

Содержание кислорода, %						
Край 1	Край 2	Центр 1	Центр 2	Среднее, край	Среднее, центр	Среднее по образцу
0,056	0,052	0,102	0,066	0,054	0,084	0,069

Литература

1. Компьютерные методы анализа изображений. Методика количественного определения содержания кислорода в меди. Мн.: ФТИ, 2004.
2. М а л ь ц е в М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М.: Metallurgia, 1970.
3. ГОСТ 25086 – 87. Цветные металлы. Методы анализ. Общие требования.
4. Ш и м е л ь А. Металлография технических медных сплавов. М.; Л.; Свердловск: Гос. науч.-техн. изд-во по черной и цветной металлургии, 1933.