

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Мартюшев Н.В.

ГФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30), e-mail: martjushev@tpu.ru

Представлен краткий анализ существующих программ для компьютерной обработки фотографий микроструктур. Приведены описания программного комплекса, разработанного автором. Данный программный продукт предназначен для количественного металлографического анализа цифровых фотографий микроструктуры материалов. Он позволяет производить расчет объемной доли и среднего размера частиц структуры по нескольким сотням секущих (зависит от разрешения фотографии) в одном поле зрения. Кроме того, в программу встроен специальный модуль, позволяющий производить оценку степени отклонения формы различных частиц и включений от сферической. В статье приведены основные алгоритмы, использованные при написании программного продукта, и формулы, по которым программа ведет расчет параметров микроструктуры. Показано, что достоверность расчетов, получаемых таким способом, во многом зависит от качества подготовки микроструктуры.

Ключевые слова: микроструктура, автоматический анализ структур, обработка изображений.

SOFTWARE FOR THE AUTOMATIC METALGRAPHIC ANALYSIS

Martyushev N.V.

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30), e-mail: martjushev@tpu.ru

The short analysis of existing programs for computer processing of photos of microstructures is presented. Descriptions of a program complex developed by the author are resulted. This software product is intended for the quantitative metalgraphic analysis of materials microstructure digital photos. It allows to settle an invoice a volume fraction and the average size of structure particles by several hundred secants (depends on photo permission) in one field of vision. Besides, the special module is built in the program, allowing to make an assessment of form deviation degree for various particles and inclusions from the spherical. The main algorithms used at writing of software product, and a formula are given in article on which program conducts calculation of microstructure parameters. It is shown that reliability of calculations received in such a way in many respects depends on quality of microstructure preparation.

Key words: microstructure, the automatic analysis of structures, processing of images.

Количественная оценка параметров структуры материалов является одной из задач в исследовательских работах по определению влияния технологических факторов и различных видов обработки материалов. Такая оценка может быть проведена как для видимой плоскостной микроструктуры, так и для пространственного строения [4; 6]. Одной из задач данной работы было проведение количественной оценки параметров включений легкоплавкой фазы. Наибольшей трудоемкостью в оценках структуры является первичный замер геометрических параметров структурных составляющих. Проведение таких исследований «вручную» требует большого количества времени, и появляется субъективная погрешность исследователя. Ранее существовало дорогостоящее оборудование, такое, например, как металлографические комплексы EPIQUANT или «Квантимак» для автоматического структурного анализа. С развитием цифровой техники

появилась возможность проводить исследование с гораздо большей производительностью и меньшими затратами на оборудование. Так, авторы работы [2] предлагают использовать универсальные компьютерные программы по обработке изображений Adobe PhotoShop и Corel Photo Paint. Однако недостатком этого метода является наличие нескольких программ и умение работать с ними, а также возможность получения только одного параметра – объемной доли. Определять средний размер частиц структуры, дисперсию и коэффициент корреляции данные программы не могут. Существуют разработанные программные комплексы для проведения количественного анализа микроструктур фирм SIAMS и Carl Zeiss, но эти продукты дорогостоящи, сложны для изучения и в них часто отсутствуют специальные модули для специфического анализа включений контрастной фазы, например определения среднего размера частиц включений, отклонения частиц от круглой формы и т.п.

Автором была разработана компьютерная программа для обработки изображений и количественной оценки параметров микроструктуры «Система КОИ» [5]. Написание программы велось на языке с++ с применением программного пакета Borland C++Builder. Разработанная программа (рис. 1) служит для расчета объемной доли и среднего размера частиц структуры и позволяет производить расчет по нескольким сотням секущих (зависит от разрешения фотографии) в одном поле зрения [6].

Алгоритм работы программы заключается в следующем: в цифровом виде исследуемое изображение представляется в виде большого количества точек – пикселей, расположенных последовательно в виде горизонтальных цепочек. Непосредственно файл содержит коды цветов пикселей, а их координаты получаются автоматически. Программа извлекает коды цветов, сравнивает с заданными пользователем значениями и, в зависимости от результата, добавляет к банку данных белой либо черной фазы. Так собирается информация о количестве черной и белой фазы, процент серой фазы вычисляется как остаток.

Одной из возможностей, реализованных в разработанной программе, является построение с её помощью гистограммы по длине частиц для различных исследуемых фаз. Это позволяет провести более полные исследования распределения включений в исследуемых образцах по форме и размерам в зависимости от скоростей охлаждения. Для построения гистограммы по искомой фазе программа сканирует изображение в горизонтальном направлении в выделенной пользователем области, производя линейный поиск цепочек пикселей, попадающих в интервал цветов, заданный настройками уровня яркости фазы. Найдя такие участки, измеряется их длина в пикселях. Сканирование изображения ведется в большое число раз (порядка нескольких сотен). После первичной обработки изображения программой производится математический расчет полученных

данных. Находится максимальное значение, и весь интервал размеров частиц делится на десять равных отрезков. Далее вычисляется количество линейных участков, попавших в каждый из размерных диапазонов. По полученным данным строится гистограмма, расчет данных для нее производится по методике, изложенной в работе [7]. Гистограмма белой или черной фазы получается путем линейного поиска одноцветных цепочек пикселей, с вычислением их длины и последующей сортировкой по размерам. Общее количество точек для белой и черной фазы (порядка нескольких десятков тысяч точек) сортируется и суммируется [3].

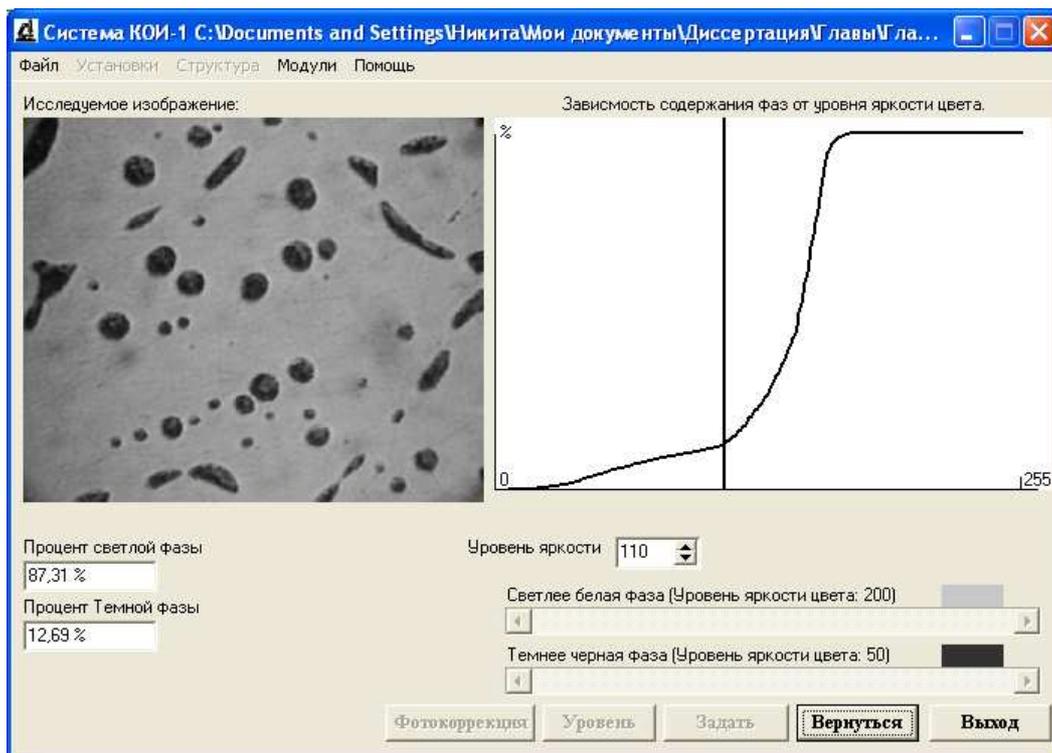


Рис. 1. Интерфейс программы «Система КОИ».

Расчет необходимых параметров микроструктуры производится с использованием полученных статистических данных с фотографии по следующим формулам.

- Реконструированное число частиц пространственной структуры [6]

$$N_i = i^2 \cdot \left(\frac{n_i}{2 \cdot i - 1} - \frac{n_{i+1}}{2 \cdot i + 1} \right), \quad (1)$$

где n_i – видимое число однотонных рядов пикселей; i – размерная группа.

- Средний размер частиц [1]

$$d_{cp} = \frac{\sum_i n_i \cdot l_i}{\sum_i n_i}, \quad (2)$$

где n_i – число частиц в i -м размерном интервале; l_i – средний размер частиц в i -й размерной группе.

- Среднеквадратичное отклонение среднего диаметра [1]

$$\sigma_D^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{cp} - D_i)^2 \cdot N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}, \quad (3)$$

где N_i – число частиц в i -м размерном интервале; D_{cp} – средний диаметр частиц; D_i – диаметр частиц в i -й размерной группе.

- Коэффициент вариации (разнозернистости структуры) [4]

$$K_p = \frac{\sigma_D}{D_{cp}}, \quad (4)$$

где D_{cp} – средний диаметр частиц; σ_D – среднеквадратичное отклонение среднего диаметра.

Для оценки параметров формы включений по фотографии микроструктуры материалов был создан дополнительный модуль к описанной выше программе. Он позволяет оценивать среднее отклонение формы частиц от сферической. Эта задача особенно важна при оценке механических свойств материалов, когда от формы низкопрочных включений зависит прочность изделия в целом.

Оценка параметров формы включений свинца проводилась по коэффициенту сферичности [7]. Так как включения в подавляющем большинстве представляют собой подобие простейших геометрических фигур (эллипс, трапеция, прямоугольник) с рваными краями, для определения коэффициент сферичности пользовались центром тяжести фигуры. Из центра тяжести проводили две окружности: вписанную максимального диаметра и описанную минимального диаметра, их отношение и давало искомый коэффициент. Этот коэффициент не дает полного представления о морфологии свинцовых включений и неровности границ, но вместе с тем уже позволяет говорить об их округлости или степени вытянутости. Проведение такого анализа значительно проще и быстрее фрактального анализа.

Для сокращения времени на подобные расчеты была разработана компьютерная программа. В её основу были положены математические выкладки по определению центра масс фигур неправильной формы из [1]. Как уже отмечалось ранее, в цифровом виде

изображение состоит из точек – пикселей. Абстрагируясь от реальности, можно представить каждый пиксель за квадрат, причем размеры этого квадрата мы можем вычислить, зная физический размер фотографии и её разрешение (либо коэффициент преобразования в пикселях на миллиметр). Вся фигура включения будет состоять из небольших квадратов с одинаковой площадью. Тогда центр масс фигуры вычисляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{x_1 \cdot S_1 + x_2 \cdot S_2 + \dots + x_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \cdot S}{S \cdot n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \\ y_c &= \frac{y_1 \cdot S_1 + y_2 \cdot S_2 + \dots + y_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n) \cdot S}{S \cdot n} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \end{aligned} \quad (5)$$

где x_c – координата центра масс по оси x; y_c – координата центра масс по оси y; S_1, S_2, \dots, S_n – площадь квадрата (пикселя) 1, 2, ..., n; $x_1, x_2, \dots, x_n; y_1, y_2, \dots, y_n$ – координата квадрата (пикселя) 1, 2, ..., n по оси x и y соответственно.

Максимальный диаметр вписанной и минимальный диаметр описанной окружностей определялся по самому дальнему пикселю от центра тяжести, входящему в фигуру, и самому ближнему, не входящему.

Оценка достоверности работы проводилась на эталонных фигурах, полученных из работы [1]. Оценка подтвердила высокую точность работы программы. Было определено, что погрешность измерений зависит от разрешения фотографии и размеров исследуемого объекта. Чем на большее количество квадратов разбивается считаемая фигура, тем точнее результаты. Для используемого оборудования ZEISS AXIO Observer.A1m и фотокамеры ZEISS AXIO CAM с разрешением 7 Мрх погрешность определения коэффициента сферичности на реальных фотографиях микроструктуры свинцовистых бронз, снятых при увеличении в 200 раз, составила ~1,3%. Чтобы не снижать достигнутую точность расчетов, использовалось такое увеличение, при котором исследуемое включение занимает не менее 0,5% площади всей фотографии. Выделение свинцовых включений при подготовке фотографии к расчетам на программе производилось с использованием программного продукта PhotoShop CS3.

Список литературы

1. Воронков И.М. Курс теоретической механики. – М. : Наука, 1966. – 596 с.
2. Костылева Л.В., Санталова Е.А., Ильинский В.А. Определение объемной доли дендритных ветвей с использованием компьютерных программ // Заводская лаборатория. – 2003. – № 11. – С. 33-36.

3. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов // Обработка металлов. – 2003. – № 3. – С. 32-34.
4. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М. : Metallurgia, 1976. – 270 с.
5. Штремель М.А. Прочность сплавов. – М. : МИСИС, 1997. – 527 с.
6. Штремель М.А. Лабораторный практикум по специальному курсу прочность сплавов. – М., 1969. – 78 с.
7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610217. Система компьютерной обработки изображений (Система КОИ) / Ю.П. Егоров, Н.В. Мартюшев. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.01.2004.

Рецензенты

Колубаев Александр Викторович, д.ф.-м.н., профессор, зав. лаб. физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН, ИФПМ СО РА, г. Томск.

Сизова Ольга Владимировна, д.т.н, профессор, в.н.с. ИФПМ СО РАН, г. Томск.