

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ

И.В. Семенков, аспирант ИФВТ ТПУ

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

E-mail: martjushev@tpu.ru

Введение

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 [1, 2]. 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 [3] 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 так же 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.

Кафедрой МТМ была разработана компьютерная программа для обработки изображений и количественной оценки параметров микроструктуры “Система КОИ” [4]. Написание программы велось на языке с++ с применением программного пакета Borland C++Builder. Разработанная программа 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 [5-6].

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 [8].

Расчет необходимых параметров микроструктуры производится, используя полученные статистические данные с фотографии по следующим формулам:

- Реконструированное число частиц пространственной структуры [9-10]

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

,где n_i - видимое число однотонных рядов пикселей; i - размерная группа

- Средний размер частиц

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

,где n_i - число частиц в i -м размерном интервале; l_i - средний размер частиц в i -ой размерной группе

- Среднеквадратичное отклонение среднего диаметра [11]

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

,где N_i - число частиц в i -м размерном интервале; D_{cp} - средний диаметр частиц; D_i - диаметр частиц в i -ой 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. Так как включения в большинстве представляют собой подобие геометрических фигур (эллипс, трапеция) с рваными краями, для определения коэффициента сферичности пользовались центром тяжести фигуры. Из центра тяжести проводили две окружности: вписанную максимального и описанную минимального диаметров, 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 [4]. 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. Вся фигура включения будет состоять из небольших квадратов с одинаковой площадью. Максимальный диаметр вписанной и минимальный диаметр описанной окружностей определялся по самому дальнему пикселю от центра тяжести, входящему в фигуру и самому ближнему, не входящему.

Заключение

Оценка достоверности работы проводилась на эталонных фигурах полученных из работы [2]. 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.

Результаты исследования представленные в настоящей работе выполнены при поддержке гранты Президента РФ МК-6661.2013.8.

Список литературы:

1. Дубовик В.А., Пашков Е.Н. Нестационарное движение неуравновешенного ротора с жидкостным автобалансирующим устройством при скачкообразном

изменении угловой скорости // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5. С. 123-126.

2. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на структуру и свойства бронз, содержащих свинец // Металлургия машиностроения. 2010. № 4. С. 32-36.

3. Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р., Мартюшев Н.В. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // В мире научных открытий. 2010. № 6-3. С. 61-65.

4. Yakovlev A.N., Kostikov K.S., Martyushev N.V., Shepotenko N.A., Falkovich Y.V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with russian and international companies in the domain of material science and physics of high energy systems // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 11-3. С. 256.

5. Дубовик В.А., Пашков Е.Н. Стационарное вращение неуравновешенного ротора с жидкостным автобалансирующим устройством при действии сил внешнего трения // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 4. С. 145-146.

6. Мартюшев Н.В. Влияние условий кристаллизации на свойства отливок из бронзы брос 10-10 // Литейное производство. 2011. № 6. С. 11-13.

7. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р. Уравнения движения ротора с многокамерным жидкостным автобалансирующим устройством // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 5-2. С. 80-83.

8. Мартюшев Н.В., Синогина Е.С., Шереметьева У.М. Система мотивации студентов высших учебных заведений к выполнению научной работы // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2013. № 1 (129). С. 48-52.

9. Мартюшев Н.В. Параметры дендритной структуры медных сплавов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. Т. 54. № 11-3. С. 229-232.

10. Пашков Е.Н., Зиякаев Г.Р., Кузнецов И.В. Дифференциальные уравнения процессов гидроимпульсного силового механизма бурильных машин // Приволжский научный вестник. 2013. № 4 (20). С. 32-36.

11. Пашков Е.Н., Саруев Л.А., Зиякаев Г.Р. Математическое моделирование гидроимпульсного механизма бурильных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) -2011. -№ 5 -С. 26-31.

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НА УРАВНОВЕШИВАНИЕ В ЖИДКОСТНЫХ АВТОБАЛАНСИРАХ

В.В. Урниш, студент ИФВТ ТПУ

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

E-mail: epashkov@tpu.ru

Введение

Особенностью балансировки жидкостью является то, что при произвольном расположении ротора балансировочное вещество испытывает не только действие