

охлаждения видно, что предварительный нагрев литейной формы до высоких температур 500...800 °С позволяет выявить площадку кристаллизации и тем самым определить температуру кристаллизации материала.

#### Литература

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.

2. Мартюшев Н.В., Семенов И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.

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

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

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

6. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2003. – № 3. – С. 32.

## ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Семенов И.В.

Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т 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 [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 [1] 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 доро-

гостоящи, 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” [2]. 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 [3].

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 разме-

рам 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 [4]. 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 [5].

Расчет необходимых параметров микроструктуры производится, используя полученные статистические данные 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

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

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

- среднеквадратичное отклонение среднего диаметра [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  $i$ -ой размерной группе;

- коэффициент вариации (разнозернистости структуры) [4]

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

где  $D_{cp}$  – средний диаметр частиц;  $\sigma_d$  – 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 ровными 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 та-

кое 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.

### Литература

1. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления // Литейное производство. – 2008. – № 8. – С. 24-26.
2. Мартюшев Н.В., Семенов И.В. Структура и свойства бронзовых отливок при различных

скоростях охлаждения // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-1.

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

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

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

6. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2003. – № 3. – С. 32.

## МАРКШЕЙДЕРИЯ

Сергеева Ю.С., Рыбалка С.А.

Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр-т Ленина, 30  
E-mail: sers-s@mail.ru

### Введение

Геодезия – одна из наук о Земле, точная наука о фигуре, гравитационном поле, параметрах вращения Земли и их изменениях во времени. В технологическом аспекте геодезия обеспечивает координатными системами отсчета и координатными основами различные сферы человеческой деятельности. Метод геодезии опирается на широкий спектр достижений математики и физики, обеспечивающих изучение геометрических, кинематических и динамических свойств Земли в целом и отдельных ее участков [1]. Одним из важных разделов геодезии является маркшейдерия.

Маркшейдерия – раздел горной науки, изучающей на основе натурных измерений и последующих геометрических построений и расчетов структуру, формы и размеры месторождений полезных ископаемых, расположение горных выработок, процессы деформации горных пород и земной поверхности в связи с горными работами и их влияние на горные выработки, здания, сооружения и природные объекты [1].

Целью изучения маркшейдерии является: приобретение необходимых навыков по определению пространственно-геометрического положения объектов и осуществлению необходимых геодезических и маркшейдерских измерений, обработке и интерпретированию их результатов на различных этапах строительства и эксплуатации открытых и подземных объектов.

Задачей изучения является: ознакомиться с основными видами маркшейдерских работ и приемами и методами их производства при строительстве и производстве открытых и подземных горных работ.

Одними из важнейших для горной технологии задач являются: рациональное использование богатств недр, уменьшение потерь полезных ископаемых, комплексное использование полезных ископаемых при добыче и переработке, а также последующее использование проведенных при разработке месторождений горных выработок.

В связи с этим основными задачами маркшейдерской службы являются:

- маркшейдерско-геодезическое обеспечение работ при разведке, проектировании, строительстве, реконструкции горных предприятий и контроль за правильным проведением горных выработок, разработкой месторождений полезных ископаемых открытым, подземным, подводным и скважинным методами;
- сбор, хранение и оперативная обработка многочисленной исходной информации с применением компьютерной технологии, множительной и копировальной техники, с оценкой точности получаемых результатов, выявлением закономерностей изменения различных показателей и отражением их на горной графической документации;
- выполнение с участием геологической службы работ, связанных с геометризацией месторождений полезных ископаемых и составление прогнозов горно-геологических условий для планирования развития и эффективного ведения горных работ, нормирования технологических процессов горного производства.

### Виды измерений и их характеристика

В настоящее время существует множество видов измерений, различаемых физическим характером измеряемой величины и факторами, опреде-