

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ОБРАБОТКИ СНИМКОВ МИКРОСТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ, ПРЕДЛАГАЕМАЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПО КОЛИЧЕСТВУ ВТОРОЙ ФАЗЫ

*В.В. Ганн, Т.П. Черняева, А.И. Стукалов, В.М. Грицина, Н.И. Рагулина*

*Научно-технический комплекс «Ядерный топливный цикл», Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: chernyaeva@kipt.kharkov.ua; fax: (0572)-35-27-54, телефон (0572)-35-60-26*

Розроблена комплексна комп'ютерна програма, що може бути використана при визначенні характеристик другої фази в матеріалі напівфабрикатів і виробів із цирконієвих сплавів, виробництво яких освоюється в Україні.

Разработана комплексная компьютерная программа, которая может быть использована при определении характеристик второй фазы в материале полуфабрикатов и изделий из циркониевых сплавов, производство которых осваивается в Украине.

The complex computer program, which can be used for quantitative evaluation of second phase in the material of zirconium alloys semifinished items and items, which production is developed in Ukraine, is proposed.

### Введение

Оценка качества материалов по количеству шлаковых и неметаллических включений относится к одной из самых важных практических задач при решении общих проблем качества и надежности продукции реакторостроения. Анализ качества может быть выполнен лишь в том случае, если оно оценивается количественно. В настоящее время фирмы по обеспечению материаловедческих лабораторий аналитическими приборами предлагают компьютерные системы анализа и обработки изображений. Как правило, речь идет о полностью автоматизированных системах анализа [1,2].

В России разработана промышленная система анализа изображений SIAMS 600™, имеющая стандартный набор методик контроля качества материалов и специализированных методик решения материаловедческих задач, в том числе и компьютерный анализ неметаллических включений. Наш опыт работы в области реакторного материаловедения свидетельствует о преимуществах использования в ряде случаев компьютерных программ, сочетающих ручную оцифровку изображений с автоматической обработкой данных.

Цель настоящей работы - разработка комплексной компьютерной программы определения характеристик второй фазы в соответствии с требованиями точности, простоты выполнения и возможности постановки на персональные компьютеры.

Одной из задач является восстановление истинной функции распределения выделений по размерам, исходя из функции распределения выделений по видимым на снимке размерам.

Для этого рассмотрим модель материала, содержащего случайно распределённые по объёму сферические включения одинакового радиуса  $R$  (рис.1). Включение, центр которого находится на расстоянии  $y$  от поверхности шлифа, образует на поверхность шлифа круговое сечение радиуса,  $r = \sqrt{R^2 - y^2}$ , причём расстояния  $y$  распределены равномерно  $dW/dy=C$ . Переходя от распределения по  $y$  к распределению по радиусам сечений  $r$  по формуле  $y = \sqrt{R^2 - r^2}$ , получим  $\frac{dW}{dr} =$

$$\frac{Cr}{\sqrt{R^2 - r^2}} \cdot \text{Используя условие нормировки} \\ \int_0^R dW = 1, \text{ получим } C=1.$$

Таким образом, функция распределения видимых сечений включений по их радиусам для нашего модельного материала имеет вид:

$$f(r, R) = \frac{r\theta(R, r)}{R\sqrt{R^2 - r^2}}, \quad (1)$$

где  $\theta(R, r)=1$  при  $R \geq r$  и  $\theta(R, r)=0$  при  $R < r$ .

### Программа

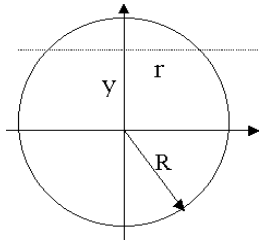


Рис. 1. Взаимное расположение включения (сфера) и поверхности шлифа (пунктир)

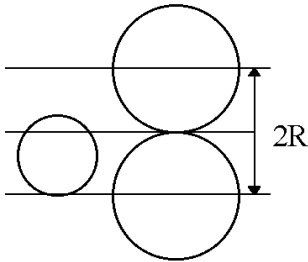


Рис. 2. Область видимых включений

Затем рассмотрим модель материала, содержащего случайно распределённые по объёму сферические включения разных размеров, с заданной функцией распределения размеров включений по их радиусам  $F(R)$ . Условие нормировки для  $F(R)$  выберем

в виде:  $\int_0^{\infty} F(R)dR = N$ , где  $N$  - концентрация включений в объёме материала.

На поверхность шлифа выйдут только те включения радиуса  $R$ , центры которых находились в материале на расстоянии не более  $\pm R$  от поверхности шлифа (рис.2); остальные будут невидимыми. Таким образом, видимая плотность включений будет

$$n = \int_0^{\infty} F(R)2RdR. \quad (2)$$

Используя (1), можно записать выражение для функции распределения видимых сечений включений по их радиусам:

$$\Phi(r) = 2 \int_0^{\infty} f(r, R)F(R)RdR = 2 \int_0^{\infty} \frac{F(R)rdR}{r \sqrt{R^2 - r^2}}. \quad (3)$$

Из (2) следует условие нормировки

$$\int_0^{\infty} \Phi(r)dr = n. \quad (4)$$

Все видимые средние находятся с использованием функции  $\Phi(r)$ , например, средний видимый радиус

$$\langle r \rangle = \frac{\int_0^{\infty} r\Phi(r)dr}{n}.$$

Все истинные средние находятся с использованием функции  $F(R)$ , например, средний истинный

$$\langle R \rangle = \frac{\int_0^{\infty} RF(R)dR}{N}.$$

Здесь  $\langle \dots \rangle$  означает усреднение.

Процедура восстановления истинной функции распределения  $F(R)$  по заданной (измеренной) функции распределения видимых сечений включений по их радиусам  $\Phi(r)$  заключается в решении интегрального уравнения (3) относительно функции  $F(R)$ . Искомое решение имеет вид:

$$F(R) = -\frac{1}{\pi R} \int_R^{\infty} \frac{\Phi'(r)dr}{R \sqrt{r^2 - R^2}}. \quad (5)$$

Используя решение (5), можно найти все интересные нас средние истинные значения, например, объёмную долю включений

$$C = \frac{4}{3} \pi \langle R^3 \rangle N = \frac{4}{3} \pi \int_0^{\infty} R^3 F(R)dR = \quad (6)$$

$$= \pi N \int_0^{\infty} r^2 \Phi(r)dr = \pi \langle r^2 \rangle n$$

и истинную концентрацию включений

$$N = \int_0^{\infty} F(R)dR = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\Phi(r)dr}{r} = \frac{n}{\pi} \left\langle \frac{1}{r} \right\rangle, \quad (7)$$

средний радиус включений  $\langle R \rangle = \frac{n}{\langle 2N \rangle}$ .

Уравнения 6 и 7 соответствуют рабочим формулам определения количества микрочастиц в объёме по плоскостной структуре, предложенным С.А.Салтыковым [3].

Выражение (5) позволяет построить гистограмму распределения включений по их истинным радиусам  $F(R)$ , если известна гистограмма распределения видимых сечений включений по их радиусам  $\Phi(r)$ .

Исходя из вышеизложенного, мы предлагаем следующую методику обработки снимков микроструктуры (рис.3).

Данная методика предполагает:

- измерение размеров выделений с помощью программы графической обработки изображений;
- получение файла видимых размеров выделений на выбранной площади;
- статистическую обработку файла, получение средних значений диаметра, квадрата диаметра видимых выделений, определения видимой плотности выделений на поверхности шлифа;
- построение гистограммы распределения видимых размеров выделений;
- восстановление распределения выделений по истинным размерам для выделений сферической формы;



Рис.3. Блок-схема программ

- построение гистограммы распределения истинных размеров выделений;
- определение истинной концентрации, средних размеров и объёмной доли второй фазы для выделений любой формы;
- нахождение параметров текстуры для выделений неферрической формы.

Для тестирования предложенной методики была проведена параметризация четырех эталонных снимков с разной концентрацией, размером и объёмной доли пикселей (черных) и построены гистограммы их распределения по размерам (рис.4\*). Параметры черных пикселей на снимках 1-4 (см. рис.4) представлены в таблице.

**Параметры черных пикселей на снимках 1-4**

Номер снимка	Плотность черных пикселей, 1/см <sup>2</sup>	Средний размер черных пикселей, мкм	Объёмная доля, приходящаяся на черные пиксели, %
1	2,86·10 <sup>5</sup>	1,265	0,7255
2	4,762·10 <sup>6</sup>	1,419	5,756
3	1,519·10 <sup>6</sup>	2,265	5,134
4	2,544·10 <sup>6</sup>	1,486	3,224

Полученный программный продукт соответствует обрабатываемым изображениям микроструктуры.

Программа предлагается для оцифровки снимков микроструктуры и определения характеристик второй фазы в циркониевых полуфабрикатах и изделиях.

### Литература

1. Д.В. Козицкий, В.У. Новиков, В.С. Иванова. Компьютерная методика мультифракционного анализа структуры материалов // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 1998, т.64, №11, с.33-36.
2. Р.М. Кадушников, И.Г. Каменин, В.М. Алиевский, С.Е. Черных, С.В. Сомина. Метод топологической реконструкции и количественной оценки размеров зерен. Исследование структуры и свойств // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 1997, т.63, №4, с.30-34.
3. С.А. Салтыков. *Стереометрическая металлография*. М.: «Металлургия», 1970, с.1-376.

\* Рисунок дан в Приложении.

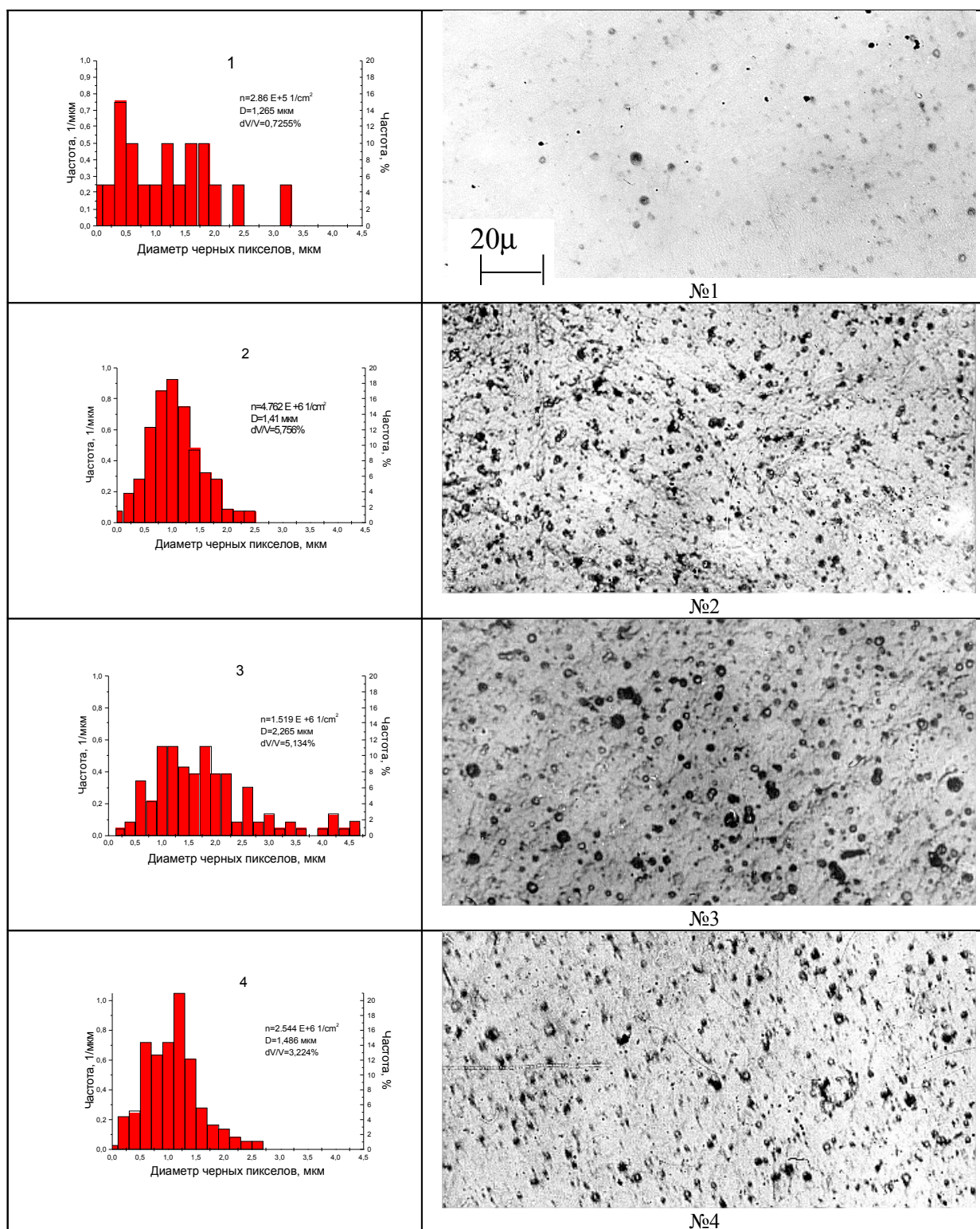


Рис. 4. Микроструктура и распределение черных пикселей по размерам в образцах 1-4