

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ В КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ

**В.А. Ким, д.т.н., проф., КнАГТУ (Россия), Ш.А. Каримов, к.н.д., доц., ТашГТУ,  
Г.Т.Пардаева, ст. пр., Мамиров Ш.Ш. магистр, ТашГТУ**

*В статье показано статистическая оценка количественных структурных показателей, определенных с помощью компьютерной металлографии. Статистическая обработка предусматривала построение гистограмм распределения, расчет математического ожидания и среднеквадратического отклонения, а также анализ точности определения количественных показателей микроструктуры.*

*Мақолада структура кўрсаткичларини сонли статистик баҳолашни компьютер ёрдамида амалга ошириши кўриб чиқилган. Статистик ишлов бериши тақсимотни гистограммасини, математик мўлжаллаш ҳисобини ва ўрта арифметик чекланишни, ҳамда микраструктура кўрсаткичларини ҳисоблашни аниқлигини эътиборга олган.*

Развитие структуры материала подчиняется законам термодинамики, и определяется стремлением структурной организации к такому состоянию, при котором свободная энергия стремится к минимуму. В приложении к замкнутым границам раздела поликристаллического материала это условие представляется как [2]

$$\delta F = \sum_{i=N} (S \cdot \gamma - V \cdot \mu)_i \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $\delta F$  -приращение свободной энергии структурного состояния;  $S$  и  $V$  - площадь поверхности и объем  $i$ -го микроструктурного образования;  $\gamma$  и  $\mu$  - удельная поверхностная энергия и химический потенциал;  $N$  - общее количество микрообъектов в заданном объеме.

Условие (1) в дифференциальной форме принимает вид

$$d(SF)=0 \quad (2)$$

Площадь поверхности микрообъекта можно представить фрактальным соотношением [3]

$$S \propto \Delta^D \quad (3)$$

где  $\Delta$  - средний диаметальный размер структурного объекта;  $D$  - фрактальная размерность.

Из (2) с учетом (3) вытекает соотношение, соответствующее условию развития наиболее вероятной структуры

Полученная зависимость является количественным показателем организации

$$Q_c = \sum_{i=N} \left( \frac{D}{3} \cdot \frac{S}{V} \right)_i \propto \frac{\mu}{\gamma}$$

микроструктуры ( $Q_c$ ), соответствующим минимуму приращения свободной энергии, который определяется соотношением химического потенциала к удельной поверхностной энергии.

Металлографический шлиф представляет срез объемной структуры материала в некоторой плоскости сечения, поэтому показатель  $Q_c$ , в приложении к плоскостному отображению структуры принимает вид

$$Q_c = \sum_{i=N} \left( \frac{D_r}{2} \cdot \frac{P_3}{S_3} \right)_i$$

где  $D_r$  - фрактальная размерность границы раздела;  $P_3$  и  $S_3$  - периметр и площадь

микрообъекта в плоскости металлографического шлифа.

Плотность границ раздела представляет отношение

$$q = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Тогда (5) окончательно примет вид

$$Q_c = \sum_{i=N} \left( \frac{D_r}{2} \cdot q \right)_i \quad (7)$$

При наличии фрактальной взаимосвязи между различными масштабными уровнями структуры показатель  $Q_c$  применим и для анализа как микро-, так и мезоструктуры.

Пластическая деформация материала приводит к повышению плотности дефектов кристаллического строения и, как следствие этого, увеличению химического потенциала  $\mu$ . Минимальная величина приращения свободной энергии в этом случае обеспечивается за счет увеличения поверхностной энергии границ раздела. Удельная поверхностная энергия определяется типом кристаллической решетки и характером атомарной связи и незначительно изменяется с повышением химического потенциала. Поэтому баланс между внутренней и поверхностной энергией структурного образования обеспечивается за счет роста площади границы раздела или повышения ее развитости. Количественно это проявляется в увеличении фрактальной размерности  $D_r$  и плотности  $q$  границ раздела. Следовательно, количественный показатель организации структуры  $Q_c$  характеризует внутреннюю энергию и плотность дефектов кристаллического строения. Любые структурные процессы, приводящие к повышению химического потенциала и плотности дефектов кристаллического строения, приводят к росту показателя  $Q_c$ .

Современные компьютерные средства обработки изображений позволяют определять по фотографиям мезо- и микроструктур все необходимые количественные характеристики для расчета показателя  $Q_c$ .

Цель настоящей работы - статистическая оценка количественных структурных показателей, определенных с помощью компьютерной металлографии. Объектом исследования являлись микроструктуры стали 25Г2С и титанового сплава ВТ 1-0. Шлифы были приготовлены по общепринятой технологии [1]. Статистический анализ проводился по 25 цифровым фотографиям микроструктур, для которого исходные количественные характеристики определялись с помощью программы Image.Pro.Plus.5.1. Компьютерная обработка фотографий микроструктур включала корректировку изображения, калибровку или приведение в соответствие кратность, увеличения и шкалы измерения, выделение границ зерен и раздела фаз. На рис.1 и 2 для примера представлены фотографии исходных микроструктур и их преобразованный вид, на основании которых производилось определение количественных показателей микроструктуры и вычисление комплексной характеристики  $Q_c$  по формулам (6) и (7).

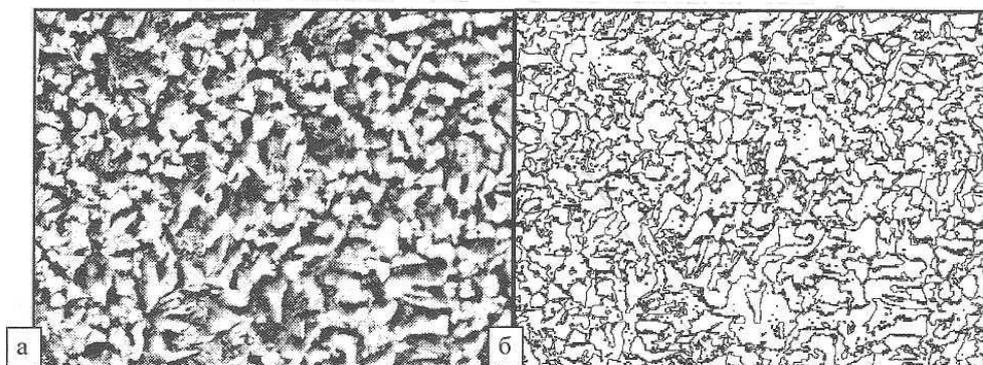


Рис.1. Микроструктура стали 25Г2С до (а) и после (б) компьютерной обработки изображения

(x400)

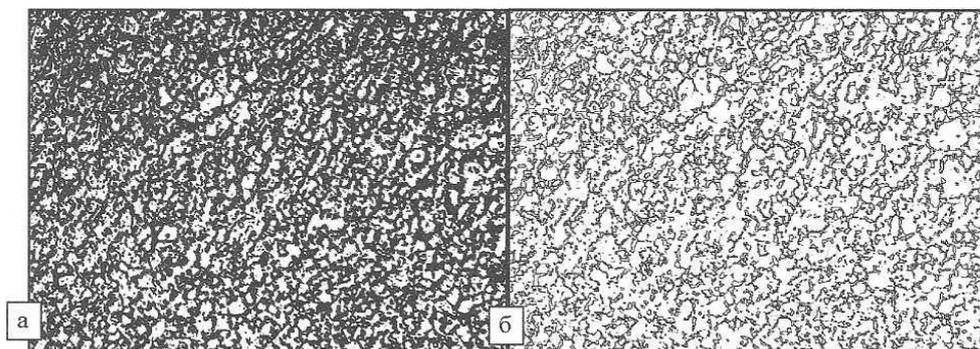


Рис. 2. Микроструктура стали VT1-0 до (а) и после (б) компьютерной обработки изображения (x400)

Статистическая обработка предусматривала построение гистограмм распределения, расчет математического ожидания и среднеквадратического отклонения, а также анализ точности определения количественных показателей микроструктуры.

#### Литература:

1. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах /Р.Р.Балаханов, А.В.Болеста, М.П.Бондарь и др.; отв.ред. В.Е.Панин.- Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006.- 520 с.
2. Кристиан Д. Теория превращения в металлах и сплавах. – М.: Мир, 1978. 806 с.
3. Ким В.А., Петров В.В., Бутин А.В., Белова И.В., Шпилева А.А. Количественный структурно-энергетический анализ термической обработки конструкционной стали/МИТОМ, №4 (658). 2010. с. 24-26.