Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Б. К. Барахтин, Р. Г. Зворыгин, Геометрические модели бейнито-мартенситных фаз по данным мультифрактального анализа изображений структур сталей, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 100–103

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu282>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.84.234.179

26 апреля 2023 г., 18:02:34

В заключении отметим, что систематическое исследование влияния термоциклической предыстории на физико-механическое поведение металлов позволит разработать научно-обоснованные методы технологии производства материалов данного класса с повышенными эксплуатационными характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Пробл. прочности. 1983. № 11. С. 23- 26.
2. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1983. №3. С. 84-88
3. Андронов И.Н., Кузьмин С.Л., Лихачев В.А. // Металлофизика. 1984. Т. 6, № 3. С. 44–47.
4. Андронов И.Н., Лихачев В.А. // Пробл. прочности. 1987. № 2. С. 50 – 54
5. Андронов И.Н., Лихачев В.А. // Известия вузов. Цветная металлургия. 1986. № 2. С. 97 – 102.
6. Андронов И.Н., Богданов Н.П., Северова Н.А. Закономерности поведения никелида титана в условиях производства механической работы // Современные вопросы физики материалов. Материалы XXXII семинара “Актуальные проблемы прочности”, посвященного памяти В.А.Лихачева. 12-14 ноября 1996. С. – Петербург: Дом ученых им. М. Горького РАН, 1997. С. 178 -182.

УДК 669.14

Б.К. Барахтин, Р.Г. Зворыгин

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ БЕЙНИТО-МАРТЕНСИТНЫХ ФАЗ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ СТРУКТУР СТАЛЕЙ

Описана методика компьютерной обработки и мультифрактального анализа изображений структур сталей. Приведены модели бейнито-мартенситных фаз в виде регулярных фракталов.

Известно, что в зависимости от химического состава и условий технологической обработки стальных листов в их поперечных сечениях реально возникновение нежелательной анизотропии внутреннего строения и свойств [1]. В толстых (более 50мм) листах одной партии проката можно обнаружить набор структур из феррито-перлитных или бейнито-мартенситных фаз. Объемное содержание и морфология фаз определяются кинетикой превращений как итог конкурентной борьбы движущих термодинамических сил с сопротивлением упругопластической аккомодации. В результате в стальном прокате формируется сложная и неоднородная структура, для аттестации которой традиционные геометрические параметры (длина, ширина) не поддаются надежному определению и мало эффективны. Между тем, наличие упорядоченности в расположении фаз указывает на реализацию процессов структурообразования в условиях самоорганизации, характерных для неравновесных физических сред с нелинейными свойствами.

В последние годы в материаловедении для анализа сложных и неравновесных структур используется метод мультифрактальной параметризации [2]. Мультифракталы, как информационные элементы, характеризуют процессы структурных перестроений, происходящих под действием внешних условий. Выходные данные мультифрактального анализа, получаемые из спектра обобщенных размерностей Реньи, имеют вполне определенный физический смысл. Например, D_0 – пространственная размерность однородного (базового) фрактала; D_1 – информационная размерность, характеризующая скорость роста количества информации; величина $\Delta q = D_1 - D_q$, указывает на предел нарушения симметрии при самоорганизации двумерных множеств. Однако без рассмотрения всего спектра размерностей использование только значений этих величин недостаточно для простого и доступного представления изменений, происходящих в структуре реального материала.

Цель настоящей работы состояла в построении наглядных геометрических моделей структур распространенных сталей, дополняющих результаты мультифрактального анализа. Актуальность поставленной задачи дополняется тем обстоятельством, что диапазон изменения значений мультифрактальных параметров невелик.

Выбор методики исследования. Эксперименты выполнены с образцами феррито-перлитной (09Г2ФБ) и бейнито-мартенситной (10ХН2МД) сталей, произведенных в промышленных условиях по штатному циклу термомеханической обработки (ТМО) с закалкой и отпуском. Металлографические пробы отбирались из срединных и приповерхностных слоев листов толщиной 10 -50 мм.

Выявление и документирование внутреннего строения металла выполнено с помощью светового микроскопа «Неофот». Все полутоновые изображения структур, полученные при

увеличениях $\times 500$ и 1000 , с помощью сканера оцифровывались в 256-и уровнях градаций серого цвета и транслировались в ПК ЭВМ.

В основе метода мультифрактальной параметризации лежит теория самоподобных множеств [3]. Они могут быть созданы путем информационных преобразований исходных (полутоновых) изображений структур в их черно-белые (бинарные) отображения. Эта процедура осуществлялась специализированными программными средствами «Фотошоп-7», «Видео Тест» [4] и «Фрактал» [5], которые позволяли выполнять обработку экспериментальных данных с построением необходимых гистограмм и графиков. После преобразования на черном поле бинарного изображения матрицы белым цветом обозначались геометрические фигуры, параметры которых (контуры, размеры, относительные доли) подлежали анализу (рис.1).

Р и с. 1. Пример полутонового изображения (а) и его бинарного отображения (б).

Существует принципиальное различие в природе формирования полутоновых и бинарных изображений структур. На экране микроскопа полутоновое изображение строится с помощью сигналов переменной амплитуды. Так, контуры объектов строения реального материала определяются условиями пробоподготовки (полировки и травления образца) и имеют физическое обоснование. На экране компьютера вид бинарных картин определяется порогом преобразования и зависит от количества единичных импульсов (нулей и единиц) постоянной амплитуды. Таким образом, бинаризованное изображение следует рассматривать как дискретную аппроксимацию характеристических функций объекта или статистически-геометрической моделью структуры. При удачном выборе порога преобразования операция бинаризации не вносит существенных искажений в статистические массивы данных и сохраняет масштабное соответствие в геометрических параметрах анализируемых объектов. Поэтому при визуальном совпадении изображений считается, что результаты измерений на черно-белых отображениях характеризуют наблюдаемые объекты реальных структур [6].

На каждом из металлографических изображений и бинарных картин содержалось не менее 800 объектов, что является представительным статистическим массивом.

Компьютерный анализ изображений осуществлялся в пределах аналитической рамки площадью 256×256 пикс, которая размещалась оператором на случайно выбранных участках изображений микрошлифов. Специально проведенное тестирование программы «Фрактал», выполненное с помощью модельного изображения ковра Серпинского ($D_0=1.7925$), показало следующее [7]. При точности вычисления мультифрактальных параметров $\sim 0.003\%$ произвольное назначение местоположения аналитической рамки в кадре полутонового (исходного) изображения увеличивает разброс в значениях размерностей до 0.1% , а Δq до 10% . С одной стороны, полученные оценки подчеркивают роль случайных флуктуаций в эволюции структур, но с другой, — усложняют трактовку экспериментальных данных. Учитывая это, в качестве первого опыта для достижения поставленной цели были выбраны значения пространственных размерностей D_0 , которые пропорциональны геометрическому рельефу (шероховатости) "белых" фигур на бинарном изображении.

Для установления соответствия между результатами обработки изображений структур по описанной процедуре и механизмом фазовых превращений в сталях была произведена мультифрактальная аттестация стандартных картин (шкал) с мартенситными объектами, приведенными в ГОСТ 8233. Оказалось, что для стандартизованных структур мартенситного вида значения размерностей D_0 практически одинаковы для всех шкал (рис.2).

Р и с. 2. Значения пространственных размерностей D_0 для структур мартенситного вида в зависимости от номеров шкал ГОСТ 8233.

Приведенный пример говорит о том, что изображения мартенситных структур, указанные в ГОСТ 8233, соответствуют одному (сдвиговому) механизму фазового превращения в стали.

В проведенной работе конечным этапом являлось построение геометрических моделей в виде однородных фракталов, у которых пространственная размерность соответствовала размерностям статистических массивов на бинарных отображениях изображений реальных структур. Значения размерностей D_0 , использованных при построениях, приведены в таблице.

Для построения геометрических моделей фаз используется алгоритм построения регулярного фрактала [8], поскольку его единственной характеристикой является величина размерности D_0 .

Т а б л и ц а

Значения размерностей D_0 для структур сталей и однородных фракталов

Структура	D_0 по результатам фрактального анализа	D_0 регулярного фрактала
Феррито-перлитная	>1.943	1.9443
Бейнито-мартенситная	1.926 ± 0.002	1.9271
Мартенситная по ГОСТ 8233	<1.936	1.9359

Размерность регулярного фрактала определяется следующим соотношением:

$$D_0 = -\frac{\ln N}{\ln r}, \quad (1)$$

где D_0 – фрактальная размерность, N – число звеньев в генераторе, r – масштабный множитель.

Построение фрактала с известным значением D_0 начинается с выбора инициатора (затравки, поля белого цвета) (рис.3, а) и генератора – объекта, который будет повторяться последовательными итерациями в n поколениях (рис.3, б). Вид генератора определяется величиной масштабного множителя r , задающего размер звеньев генератора, и числом этих звеньев N :

$$N = r^{-D_0}. \quad (2)$$

Р и с. 3. Пример построения регулярного фрактала: а – инициатор, б – генератор, в – регулярный фрактал (ковер Серпинского с $D_0=1,7925$).

В нашем примере для модели фрактала с размерностью $D_0=1,7925$ (размерность ковра Серпинского) в качестве инициатора и генератора выбраны квадраты. Базовое поле (инициатор) состоит из 256×256 пикс. Масштабный множитель $r=1/4$ и $N=12$. Полученный геометрический образ показан на рисунке 3, в.

Приведенный алгоритм построения использован для построения регулярных фракталов, характеризующих феррито-

перлитные и бейнито-мартенситные структуры сталей (рис.4).

Р и с. 4. Геометрические модели для структур сталей: а - 09Г2ФБ; б - 10ХН2МД, в - мартенсит ГОСТ 8233.

При сравнении полей регулярных фракталов заметна «повышенная» дробность геометрических моделей, характеризующих феррито-перлитные структуры. Можно предположить, «дробление» обусловлено разным вкладом нескольких механизмов (сдвигового и диффузионного) в процесс фазового превращения в сталях.

Таким образом, метод мультифрактального анализа позволил осуществить статистический переход от изображений хаотических структур к их упорядоченным геометрическим образам.

Построенные модели наглядно показали, что в $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении возрастание роли диффузионных процессов сопровождается увеличением дробности в строении образующихся фаз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Barakhtin B.K., Semicheva T.G., Vysotsky V.M. Morphology of interface boundaries and low-carbon cold resistant steel strength at variation of cooling conditions during thermomechanical treatment // Eurastrencold-2002. Труды I Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. Якутск: ИПС СО РАН, 2002. Т.2. С. 3-10.
2. Встовский Г.В., Колмаков А.Г., Бунин И.Ж. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. Москва-Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 116 с.
3. Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 126 с.
4. Барахтин Б.К. Новые возможности материалографии // Вопросы материаловедения. 1995. № 1. С.154-156.
5. Барахтин Б.К., Чашиников В.Ф. Программа ЭВМ для мультифрактального анализа изображений структур металлов и сплавов // Вопросы материаловедения. 2001. № 4(28). С. 5-8.
6. Чернявский К.С. Стереология в материаловедении. М.:Металлургия, 1977. 280 с.
7. Барахтин Б.К., Зворыгин Р.Г. Условия получения надежных результатов при мультифрактальном анализе изображений изломов и структур материалов // Цифровая микроскопия. Материалы школы-семинара. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. С. 59-64.
8. Газале М. Гномон. От фараонов до фракталов. Москва - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. 272 с.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента России (гр. № НШ-1505.2003.8).

УДК 621. 785. 5

М. К. Валюженич, А. Л. Кривченко, П. А. Никульшин

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ТИТАНА ПУТЕМ СИНТЕЗА ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Изучены возможности получения боридных покрытий на основе титана ВТ9 и ОТ4. Используя рентгеноструктурный анализ и другие физико-механические методы исследования, были выявлены возможности и закономерности образования тугоплавких соединений.

В последнее время в промышленную технологию создания упрочняющих и защитных покрытий успешно внедряются импульсные детонационные методы обработки поверхности, которые позволяют получать покрытия, избегая при этом непосредственного нагрева обрабатываемого изделия.

Формирование тугоплавких покрытий на металлах и сплавах требуют в большинстве случаев наличия высоких температур (выше 1000К), необходимых либо для образования самого соединения, либо для создания прочной связи между покрытием и основой. Это обстоятельство в значительной степени тормозит создания покрытия из тугоплавких соединений, так как нагрев до высоких температур приводит к нежелательным физико-химическим и структурным изменениям основы изделия.

Перспективным направлением создания покрытий из тугоплавких соединений является метод взрывоплазменного напыления, который основан на воздействии мощных импульсных потоков низкотемпературной плазмы на обрабатываемую поверхность и распыляемый порошок.

Целью настоящей работы явилось изучение возможностей взаимодействия материала подложки с активным элементом газового потока. В качестве основы служили образцы из титановых сплавов ВТ9 и ОТ4, а активным элементом служил порошкообразный бор. Выбор такой системы основан на физико-механических свойствах возможных продуктов реакции, а также термодинамических характеристик данных элементов.

В общем случае, при взаимодействии высокотемпературного газового потока с поверхностью титановых образцов в присутствии порошка бора, образуется монолитное покрытие.

На рис. 1 показана рентгенограмма с поверхности покрытия исследуемых образцов.