



The possibility of using of fractale analysis of the metals structure, forming in terms of impulse influences, is examined in the article.

Р. Л. ТОФПЕНЕЦ, БНТУ, А. Г. АНИСОВИЧ, ФТИ НАН Беларуси

УДК 530.1

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПИСАНИЯ СТРУКТУР СПЛАВОВ ПОСЛЕ ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Серьезные успехи в различных областях науки и техники являются результатом применения новых подходов к рассматриваемым явлениям, новых идей и методов.

Так, в настоящее время для описания эволюции структуры при пластической деформации используется физико-математическая модель, основанная на положениях термодинамики необратимых процессов. При этом разрабатывается синергетическое описание самоорганизации структуры на различных этапах пластической деформации [1–3]. По определению, самоорганизующимися процессами называются процессы, при которых возникают более сложные и более совершенные структуры [4]. Эволюция структуры при пластической деформации контролируется минимумом производства энтропии; самоорганизующиеся в точках бифуркации структуры относятся к диссипативным. Формирование таких структур требует высокого притока энергии и протекает вдали от термодинамического равновесия, что характерно для фрактальных естественных структур. Следовательно, диссипативные структуры могут обладать свойствами фрактальности [5]. Фрактальность границ обуславливается через фрактальную размерность поверхности и подтверждена периметром границ, формирующихся при термической и термомеханической обработке металлов.

Проведенные авторами исследования показали, что синергетическая модель самоорганизации структур может быть использована для случая приложения циклических и импульсных воздействий [6]. Анализ экспериментальных данных позволил установить специфические особенности формирования микро- и субструктуры [7, 8]:

- высокая концентрация точечных дефектов;
- формирование структуры в условиях одновременного действия «тепловой» и «деформационной» компоненты воздействия;
- возможность возникновения в металле «активированных состояний» (атом-вакансионные

состояния), которые являются дополнительными источниками дислокаций и вакансий в кристаллах;

- формирование структуры в двух структурных подсистемах на разных масштабных уровнях: микро- и субструктурном.

Результатом реализации этих особенностей является формирование фрагментированной структуры, представляющей собой совокупность объемных образований с высокодеформированными границами и достаточно большими углами разориентировки, образующимися при участии трансляционных, изгибных и ротационных деформаций, вакансий, дислокаций, диспланаций и дисклинаций. Образующиеся разориентированные «фрагменты» по мере их роста проявляются при микроструктурном анализе как вновь образованные зерна. Именно эта субструктура, формирующаяся внутри первичного зерна, является определяющей свойства.

Формирование при импульсных воздействиях диссипативных структур позволяет использовать в качестве инструмента для их описания теорию фракталов. Подтверждением тому является и определение фрактала, данное Мандельбротом [9]: «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому».

Традиционно микроструктурный анализ металлов и сплавов проводят на основе анализа размеров структурных составляющих и их объемной доли с использованием методов стереометрической металлографии. Однако при наличии даже двух фаз они могут иметь различную морфологию, что требует для микроструктурного анализа дополнительных параметров [5]. В металлах и сплавах присутствуют дефекты трех измерений: точечные, линейные (дислокации), дисперсные частицы, поры и т.д. Каждый из них контролирует тот или иной вид упрочнения при его взаимодействии с движущимися дислокациями. Объемная энергия микроструктуры определяется произведением плотности

дефекта и его энергии, которая управляет реакциями восстановления, рекристаллизации, ростом частиц и т.п., т.е. играет определенную роль в термопластической обработке металлов и сплавов. Недостаток описания микроструктур на основе плотностей дефектов связан с тем, что для большинства микроструктур этот показатель не определяет поведения материала под нагрузкой. Кроме того, в процессе эволюции системы происходит и эволюция самого дефекта, сопровождающаяся изменением евклидовой размерности и энергии дефекта. По современным представлениям, невозможно установить однозначную связь плотности дефектов с комплексом физико-механических свойств.

Границы рекристаллизованных зерен являются почти планарной структурой; такая структура является нефрактальной и позволяет использовать известные зависимости между величиной зерна и плотностью дислокаций и уравнение Холла–Петча. При импульсных воздействиях определяющей свойства сплава является субструктура, формирующаяся во второй структурной подсистеме (внутри первичного зерна) – фрагментированная структура. Границы фрагментов фрактальны и обусловлены фрактальной размерностью.

При изучении фрактальных структур, формирующихся в сплавах, подвергавшихся импульсному воздействию, использовали бериллиевую бронзу БрБ2 после закалки и магнитно-импульсной обработки [10].

В соответствии с принципом фрактального анализа микроструктур материалов любое множество элементов структуры обязательно содержит высокопорядоченную структуру, которая может рассматриваться как мультифрактал, составленный из конечного числа самоподобных структур.

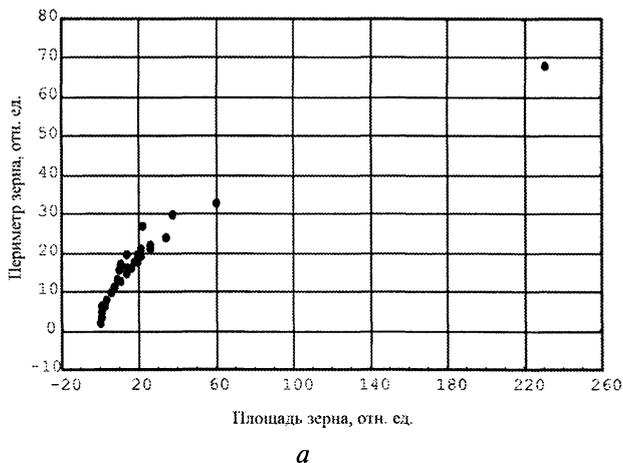
Результаты применения теории подобия при импульсных воздействиях показали, что подобие ограничивается только подобием длин l , т.е. имеет место геометрическое подобие:

$$l_1 = \lambda l_2,$$

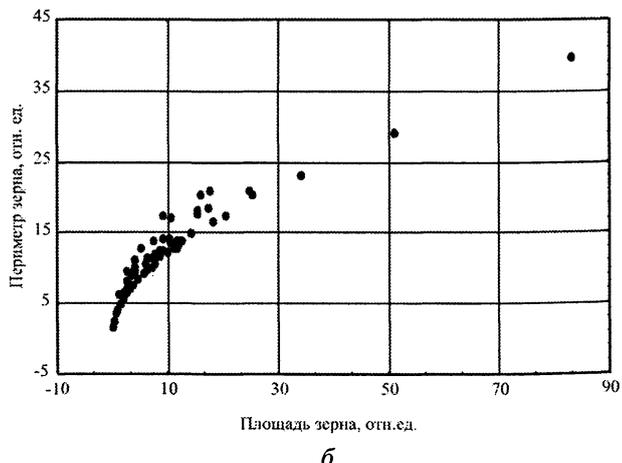
где λ – коэффициент подобия; l_1 – длина модели; l_2 – длина оригинала.

Фрактальную размерность определяли с помощью отношения периметра границ зерен (фрагментов) к их площади с использованием компьютерной обработки изображений.

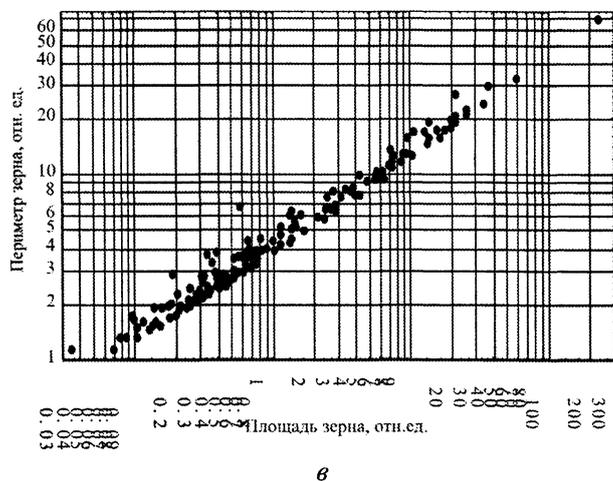
Зависимости периметра границ зерен (фрагментов) от площади в линейных и логарифмических координатах приведены на рисунке.



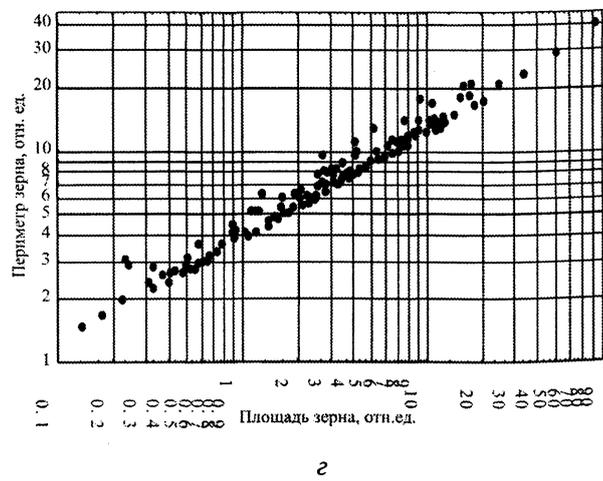
а



б



в



г

Зависимость периметра зерна от его площади в линейных (а, б) и логарифмических координатах (в, г) бронзы БрБ2 после закалки (а, в), закалки и импульсного воздействия (б, г)

В логарифмических координатах зависимость линейная. Тангенс угла наклона отвечает фрактальной размерности и равен 1,86 (для закаленного состояния) и 2,02 после импульсной обработки. Величина фрактальной размерности характеризует не только количественные параметры элементов структуры, но и физические свойства границ этих элементов.

Определение связи между заданными свойствами и фрактальной размерностью является сложной задачей. Однако установлена взаимосвязь фрактальной размерности структуры и долговечности сплавов [5].

Направлением дальнейшего исследования структурообразования в сплавах цветных металлов при импульсных воздействиях является установление непосредственной связи «структура—свойство» металла посредством определения фрактальной размерности как нового структурно-физического свойства. Реализация такого направления позволит разработать методы фрактального анализа микроструктуры для расчета параметров, однозначно определяющих свойства металлов и сплавов в условиях импульсных энергетических воздействий. Результаты возможно использовать для определения комплекса физико-механических свойств металлических материалов исходя из величины фрактальной размерности структуры.

Литература

1. Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.
2. Иванова В.С. Синергетика, прочность и разрушение металлических материалов. М.: Наука, 1992.
3. Поляков А.А. К вопросу о синергетике, деформации, износе и энтропии металлических материалов // Металловедение и термическая обработка металлов. 1994. №3. С. 18–21.
4. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
5. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С.Иванова, А.С.Баланкин, И.Ж.Бунин, А.А.Оксогоев, М.: Наука, 1992.
6. Анисович А.Г., Тофпенев Р.Л. Синергетический подход к описанию структурных эффектов при термических циклических воздействиях // Инж.-физ. журн. 2002. Т. 75. № 1. С. 15–20.
7. Специфика структурообразования в алюминиевых сплавах при термоциклировании / Р.Л.Тофпенев, А.Г.Анисович // Металлы. 200. № 2. С. 73–78.
8. Тофпенев Р.Л., Анисович А.Г. Аналогия процессов структурообразования в металлах при импульсных воздействиях // Прогрессивные методы получения и обработки конструкционных материалов и покрытий, повышающих долговечность деталей машин: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Волгоград, 1998. С. 179–180.
9. Фракталы в физике / Под ред. Л.Пьетронеро, Э.Тозатти. М.: Мир, 1988.
10. Здор Г.Н., Анисович А.Г., Шиманович В.Д. и др. Трансформация структуры и свойств бериллиевой бронзы под воздействием высокочастотного магнитного поля // Металлы. 2003. № 4. С. 100–105.