

УДК 004.942:539.24:539.422

А.И. Михалев, В.Г. Горб

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ НА РОСТ 3D ПЕРКОЛЯЦИОННОГО КЛАСТЕРА

Введение

В последнее время идеи фрактальной геометрии находят все большее применение при количественной оценке параметров реальных кристаллов, которые зачастую имеют очень сильные отклонения от правильной формы евклидовых многогранников. В частности, это относится к дендритам - своеобразным (пористым кристаллам, обладающим свойством самоподобия). Удобной мерой, характеризующей отклонение степени заполнения дендритом пространства от таковой для идеального кристалла, является его фрактальная размерность [3].

Одним из наиболее важных и ценных приложений фрактальной геометрии в металлографии, является возможность количественного определения механических свойств образцов, используя фрактальную размерность D_f . Другими словами аппарат фрактальной геометрии позволяет создать математические модели, связывающие количественные фрактальные характеристики и механические свойств (например, твердость, вязкость и т.д), где твердость - свойство поверхности слоя материала оказывать сопротивление внедрению другого тела, т.е. упругой и пластической деформации или разрушению. При этом пластическая деформация и явление разрушения являются диссипативными процессами, которые протекают вдали от термодинамического равновесия и сопровождаются проявлением неустойчивости системы в виде деформируемого металла в критических точках.

Говоря о фрактальной структуре поверхностей, ограничимся рассмотрением открытых шероховатых поверхностей. При этом шероховатость поверхности может рассматриваться как одна из центральных характеристик различных материалов. Закрытые поверхности с фрактальной структурой представляют интерес главным образом как различного рода адсорбенты.

Обработка профиля поверхностей

В случае открытых поверхностей можно определять фрактальные размерности путем измерения профиля поверхности. Если поверхность является изотропной, то для нахождения фрактальной размерности достаточно определить профиль по одному сечению поверхности. В тоже время в случае анизотропных поверхностей одного сечения оказывается недостаточно.

Существуют несколько способов обработки профиля поверхности. При этом можно найти корреляционную высоту h_f через соотношение:

$$R_s(z) = \langle h_f(x)h_f(x+z) \rangle, \quad (1)$$

где $x, (x+z)$ — расположенные на одной линии координаты в плоскости поверхности; угловые скобки означают усреднение по различным участкам поверхности.

Можно определить структурную функцию, характеризующая рельеф поверхности как:

$$S_s(z) = \langle [h_f(x) - h_f(x+z)]^2 \rangle. \quad (2)$$

В свою очередь, корреляционная функция высот, и структурная функция, характеризующая рельеф поверхности, в случае фрактальных поверхностей определяются степенной зависимостью от z : $S_s(z) \propto R_s(z) \propto z^{4-2d_f}$, где D_f — фрактальная размерность контура сечения поверхности. Это соотношение и служит основой для определения фрактальной размерности рельефа поверхности [4].

Математически теория перколяции имеет дело с эффектами распределения соединенных ячеек в случайной системе.

Основной вопрос перколяции состоит в определении наличия перехода из связного (long-range connectivity) состояния в состояние с отсутствием дальней связности (или наоборот). Такой переход в системе наблюдается при достижении некоторой обобщенной критической плотности - порога перколяции [1].

Построение перколяционных поверхностей

Случайные узлы перколяционного кластера - это точки (в нашем случае центры разрушения), хаотически распределенные в пространстве. Проведем вокруг каждого узла сферы или окружности одинакового радиуса r . Требуется найти наименьшее значение $r = r_c$,

при котором возникает связность, где каждый последующий узел лежит внутри сферы, построенный на предыдущем.

В комбинации с определенными характеристиками системы величина x_c (критическое число, при котором образуется непрерывная цепочка из поврежденных узлов) образует инварианты, независимые от типа решетки. В свою очередь перколяционный радиус r_c может зависеть только от концентрации узлов N и размерности пропорционален $N^{-1/3}$. В тоже время для задачи определения случайных узлов инвариантом является параметр B_c :

$$B_c = \frac{4}{3} \pi N r_c^3 (d = 3) \quad (3)$$

где N - концентрация узлов (центров разрушения), r_c - перколяционный радиус. Безразмерный параметр B_c имеет смысл среднего числа связей на один узел. Задача об определении r_c и B_c называется задачей сфер для $d = 3$ и задачей окружностей для $d = 2$.

Проводилось математическое моделирование возникновения и роста перколяционного кластера, когда узлы 3D решетки блокировались с помощью генератора случайных чисел. При этом закон распределения по размерам центров разрушения и их роста задавался соотношением $N(d) = d^{-\alpha}$ [3] (рис.1). В соответствии, с которым можно осуществлять влияние на рост перколяционных кластеров.

В свою очередь другой важной геометрической характеристикой пористого кластера, является корреляционная длина:

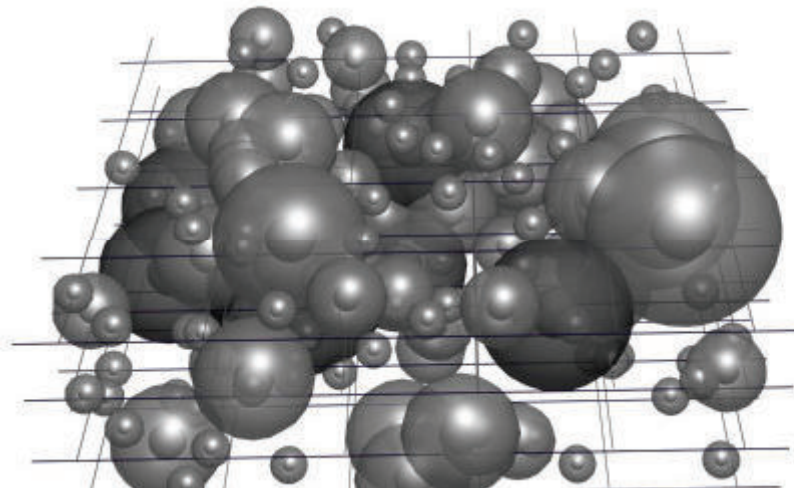
$$l \sim r(P_c - p)^{\nu} \quad (4)$$

где r - размер элементов (полиэдры, шары, эллипсоиды), ν - критическая экспонента ($\nu \in \text{Exp}$), p - отношение числа проводящих элементов к не проводящим, P_c - порог перколяции.

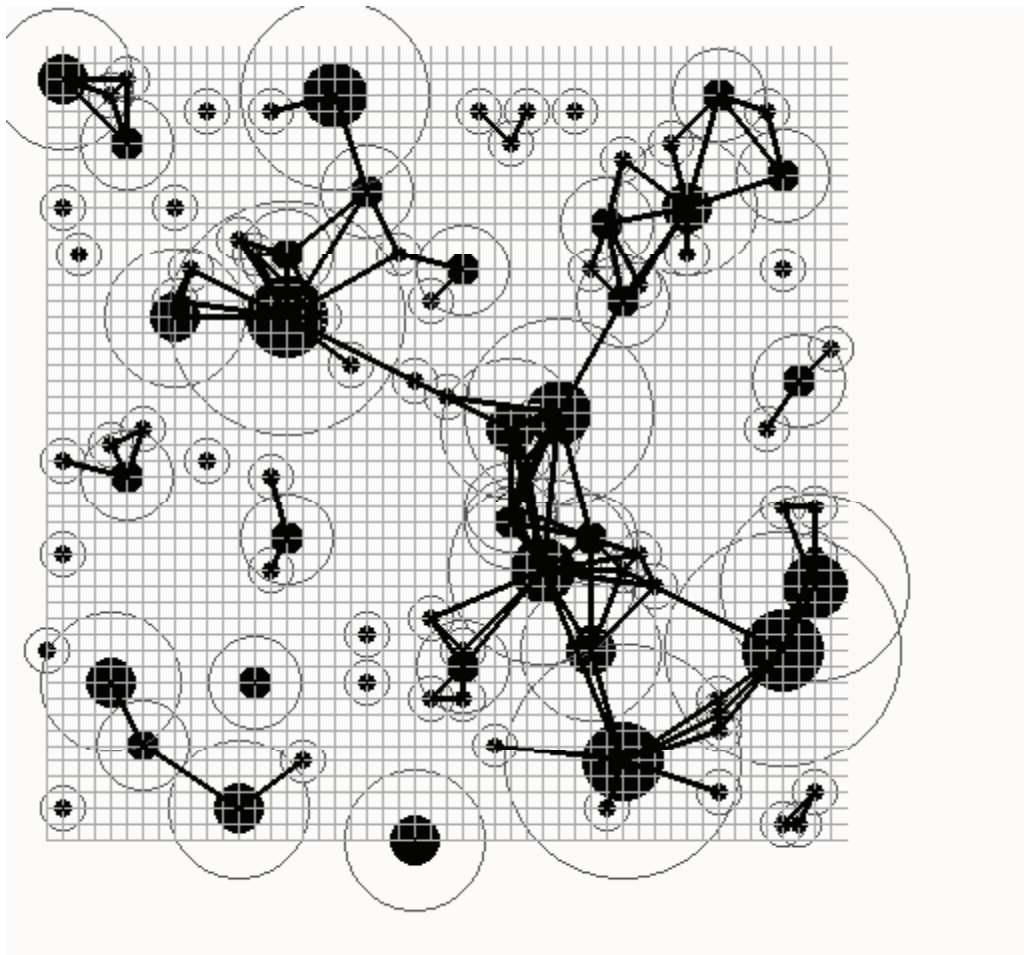
Корреляционная длина l тесно связана с важным для кластера параметром - массой:

$$m \sim l^f \quad (5)$$

где m - масса кластера, f - критический показатель ($f \in \text{Exp}$), которая для случая $p=P_c$ всегда меньше евклидовой размерности D_E . Более того разность $(D_E - f)$ - это дефицит размерности или соразмерность Хаусдорфа, являющаяся связывающим звеном между теорией фракталов и перколяционными кластерами [2].



А



Б

Рисунок 1 - Объемный перколяционный кластер центров разрушения (А), вид перколяционного шлифа каскада центров разрушения (Б).

На рис. 1, приведен перколяционный трехмерный кластер. Сферы радиуса R на рис. 1, показывают области влияния центров разрушения [3].

Возникновение диссипативных зон и зон пластического течения - единая предыстория процесса разрушения в квазистатическом и динамическом диапазонах долговечности дает возможность построения характеристик процесса разрушения в единых координатах. В свою очередь процесс разрушения можно контролировать соотношениями, в которые входят параметры нагружения и энергетические параметры кристаллической решетки, с одной стороны, и временной фактор - с другой. Знание физических механизмов процесса разрушения позволяет систематизировать данные в различных временных диапазонах [3].

Вывод

Предлагаются методы количественного описания структуры материала с помощью фрактальных характеристик и критических экспонент процесса перколяции. Установлены общие закономерности формирования каскада центров разрушения. Показано, что каскад центров разрушения на конечной стадии является перколяционным кластером и в этом случае возникает связность в системе центров разрушения. Построены соотношения характеризующие влияние динамики разрушения на рост 3D перколяционных кластеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михалев А.И., Помулев В.В., Горб В.Г. “Перколяционная 3D модель структурообразований металлов”, (Міжвузівська науково – технічна конференція молодих вчених та студентів. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. Вип..1-2 (22-26) 2007).
2. Михалев А.И., Помулев В.В., Горб В.Г., Пройдак Ю.С. “Моделювання динаміки формування 3D металоструктур на базі перколяційних кластерів” // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (50). – Дніпропетровськ. 2007. – С.102-108.
3. Е.К. Бонюшкин, Н.И. Завада, С.А. Новиков, А.Я. Учаев. Явление коррелированного поведения системы центров разрушения как показатель универсальности процесса динамического разрушения. Описание научного открытия. - 2000. 71 - с. № 5–2382, диплом № 153.
4. Михалев А.И., Деревянко А.И., Помулев В.В. Фрактальное оценивание зернистости металлоструктур // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (10) – Днепропетровск. 2000. с. 104-112.

Получено 20.03.2008 г.