

05,12

Фрактальный анализ структуры пористых материалов

© В.В. Поляков, С.В. Кучерявский

Алтайский государственный университет, Барнаул
E-mail: polyakov@phys.dcn-asu.ru

Поступило в Редакцию 7 марта 2001 г.

С помощью фрактального анализа исследована структура пористых материалов на основе меди и железа с пористостью от 5 до 45%. Установлена зависимость фрактальной размерности границ порового пространства от величины пористости. Выявлена корреляция между топологическими особенностями структуры и фрактальной размерностью границ раздела.

Пористые материалы представляют своеобразный класс неупорядоченных сред, особенности которых затрудняют применение традиционных методов описания структуры [1]. Для исследования таких материалов оказалось эффективным привлечение аппарата фрактальной геометрии, позволяющего адекватно описать параметры строения и связать их с физико-механическими характеристиками [2,3]. Целью данной работы является исследование структуры порового пространства на примере пористого железа и меди.

Образцы для исследований изготавливались путем прессования металлических порошков со средним размером частиц $25 \mu\text{m}$ (Cu) и $80 \mu\text{m}$ (Fe) до заданной пористости и последующего спекания в вакууме при температуре 1300 К (Fe) и 1100 К (Cu). Условия спекания были выбраны такими, чтобы обеспечить образование металлической связи между границами порошка в твердой фазе до начала плавления. Пористость P образцов задавалась в интервале от 5 до 45%, что обеспечивало различные топологические картины структуры. Именно при пористости до $\sim 10\%$ поровое пространство формировалось из изолированных кластеров, представленных отдельными внутризеренными и межзеренными порами. При значениях $P \sim 10\text{--}15\%$, соответствующих перколяционному переходу, из межзеренных пор образовывался "бесконечный" поровый кластер. Дальнейшее увеличение пористости приводило к тому, что при $P \sim 30\%$ и выше металлический каркас и межзеренное

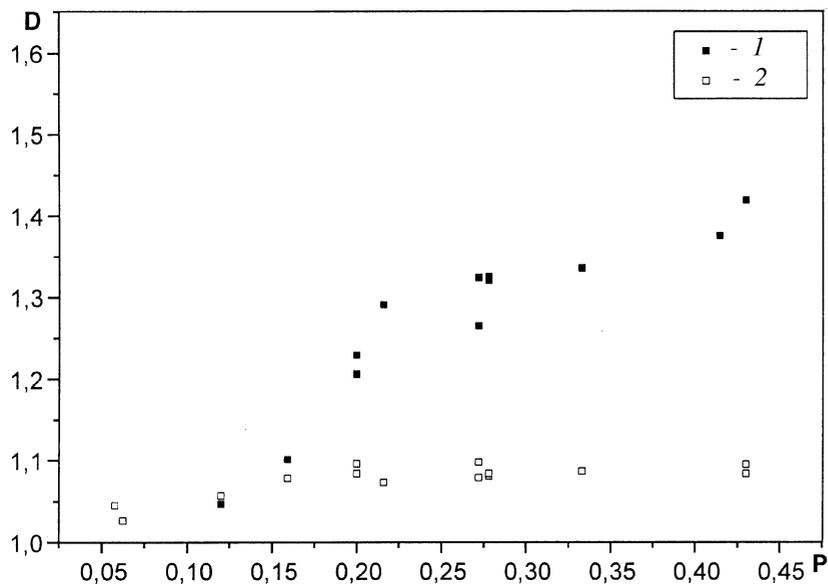


Рис. 1. Зависимость фрактальной размерности границ межзеренных (1) и внутризеренных (2) пор от пористости для железа.

поровое пространство были представлены геометрически равноправными взаимопроникающими кластерами. При этом объем изолированных внутризеренных пор практически не менялся, их относительный вклад в общую пористость с ростом P уменьшался.

Для фрактального анализа структуры использовался метод островов среза [4]. Этот метод позволял перейти от сложной объемной структуры поровой поверхности к плоскостной системе самоподобных линий, которые образуются при пересечении образцов горизонтальной плоскостью шлифа. Изображения шлифов передавались с оптического микроскопа с помощью согласующего устройства непосредственно в компьютер. Фрактальная размерность границ раздела D вычислялась по специально разработанной программе путем оценки соотношений между периметром L границ раздела и покрываемой ими площадью S .

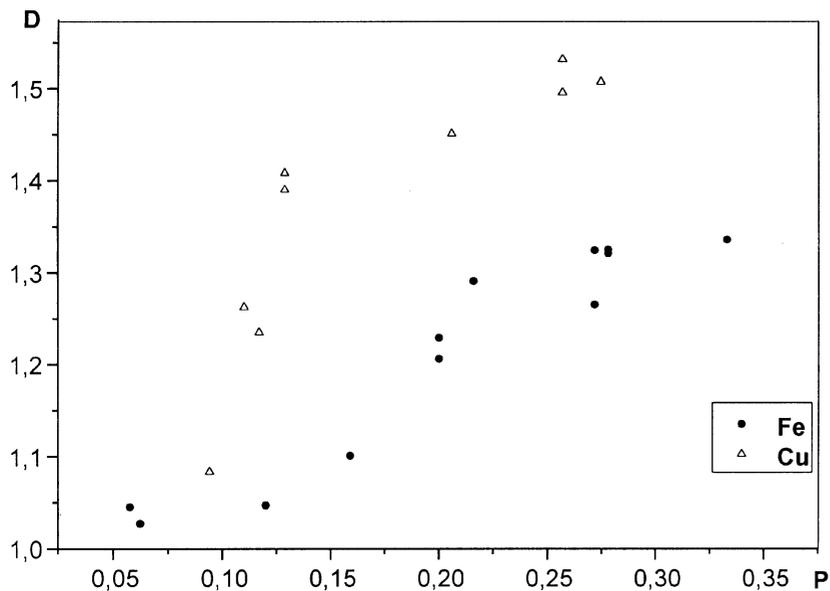


Рис. 2. Зависимость фрактальной размерности границ порового пространства от пористости для железа и меди.

Эти соотношения представлялись в виде

$$L(\delta) = \delta^{1-D}[S(\delta)]^{D/2},$$

где δ — линейный размер эталонной ячейки, с помощью которой проводили измерения. Для железных образцов фрактальная размерность вычислялась как для всего порового пространства, так и отдельно для межзеренных и внутризеренных пор. Для меди значения D находились сразу для всего порового пространства.

На рис. 1 представлены зависимости фрактальных размерностей межзеренных и внутризеренных пор железных образцов от пористости. Как видно из рис. 1, значения D внутризеренных пор близки к единице во всем исследуемом интервале пористостей. Это позволяет сделать вывод о "гладкости" их границ, сформировавшихся в процессе получения частиц исходного порошка.

Зависимость фрактальной размерности межзеренных пор от величины P имела более сложный вид. Как следует из рис. 1, при значениях P , меньших порога перколяции, размерность межзеренных пор была близка к единице. В промежутке от 10 до 20% наблюдался скачок фрактальной размерности. Это свидетельствует о существенном усложнении границ раздела в образцах, что обусловлено образованием "бесконечного" порового кластера из отдельных межзеренных пор. При высоких пористостях ($\sim 30\%$ и более), соответствующих геометрическому равноправию порового и металлического кластеров, фрактальная размерность почти не изменяется с увеличением P .

На рис. 2 представлены фрактальные размерности границ всего порового пространства в сопоставлении для железа и меди. Как видно из рис. 2, зависимости для обоих металлов имеют один и тот же вид. Экспериментальные точки для меди лежат выше, чем в случае железных образцов с той же пористостью. Это связано с несколько иной структурой порового пространства, образуемого при спекании мелкодисперсного медного порошка. Для меди характерно сочетание множества малых пор с крупными порами. Эта структура ближе к идеальным самоподобным объектам, таким как губка Менджера [5], что и приводит к увеличению значений D .

Таким образом, проведенные исследования показали, что фрактальная размерность границ порового пространства существенно зависит от величины пористости и топологических особенностей структуры пористых материалов. Полученные результаты могут быть использованы для описания их строения и для интерпретации зависимостей физико-механических свойств от структуры.

Список литературы

- [1] Поляков В.В., Головин А.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 11. С. 54–57.
- [2] Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 260 с.
- [3] Мосолов А.Б., Динариев О.Ю. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 2. С. 233–238.
- [4] Иванов В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994. 383 с.
- [5] Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. N.Y.: Freeman, 1983. 480 p.