

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ В КЕРАМИКЕ $ZrO_2$ - $MgO$ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Ю.А. ЗЕНКИНА<sup>1</sup>, А.С. БУЯКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [yaz10@tpu.ru](mailto:yaz10@tpu.ru)

Пористые керамические материалы находят широкое применение в различных областях техники [1]. Функциональное назначение и эксплуатационные характеристики таких материалов существенным образом определяются их поровым строением и состоянием микроструктуры внутрипортовой поверхности. Для адекватного описания морфологии материала необходима оценка таких параметров, как шероховатость поверхности, средний размер зерна, пор и др.

Фрактальный подход основывается на применении единого численного параметра, фрактальной размерности, описывающего структуру в комплексе и представляющего собой меру самоподобия исследуемого объекта.

В работе исследована зависимость фрактальной размерности ( $D$ ) от длительности спекания и состава пористого керамического композита  $ZrO_2(MgO) - MgO$ .

Для определения фрактальной размерности использовался метод вертикальных сечений, который подразумевает принцип покрытия кривой профиля геометрическими метриками. В результате обработки растровых снимков получается набор профилей (вертикальных сечений), описывающих рельеф поверхности с точностью, определяемой величиной измерительного масштаба  $\epsilon$ , рисунок 1а.

Одним из вариантов метода вертикальных сечений является измерение отношения длины профиля к длине его проекции на плоскость параллельную средней плоскости поверхности разрушения. Под масштабом подразумевается величина шага, которая определяет длину линии вертикального сечения [2].

Для определения зависимости в логарифмических координатах необходимо построить обратную  $s$  – образную кривую  $\ln(l(\epsilon)) = D(\ln(\epsilon))$ , рисунок 1б. Линейный участок кривой аппроксимируется по методу наименьших квадратов, где тангенс угла наклона аппроксимирующей линейной функции определяет значение фрактальной размерности в виде  $D = 1 + |\alpha|$ .

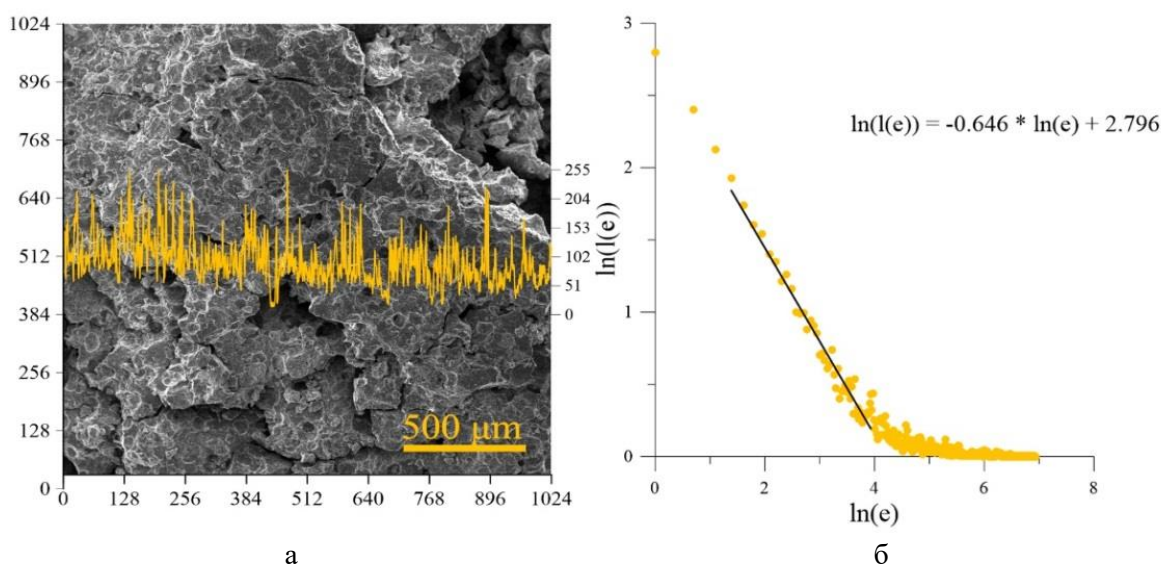


Рисунок 1 - Определение фрактальной размерности: а) снимок поверхности  $MgO$ ; б) зависимость  $\ln(l(\epsilon))$  от  $\ln(\epsilon)$

Исследование поверхности образца проводился с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ) “Tescan, Vega 3 . При кратности увеличения от 150 до 2000 и ускоряющем напряжении 20 кВ с помощью детектора вторичных электронов, поскольку интенсивность эмиссии вторичных электронов с поверхности образца в большей степени зависит от топографии поверхности [3].

В таблице 1 представлены значения фрактальной размерности в зависимости от состава и длительности спекания при температуре 1600 °С. Увеличение фрактальной размерности наблюдается при спекании образцов в интервале от 10 до 180 минут, последующее спекание с выдержкой до 300 минут приводит к снижению D без существенных изменений при дальнейшем спекании. Увеличение фрактальной размерности происходит вместе с увеличением содержания MgO в составе образцов, что может объясняться появлением большего количества трещин и фрагментов зерен.

Таблица 1 - Значения фрактальной размерности

|                        | 10 мин | 60 мин | 180 мин | 300 мин | 600 мин |
|------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 100 % ZrO <sub>2</sub> | 1,0466 | 1,0817 | 1,3062  | 1,1972  | 1,2153  |
| 75% ZrO <sub>2</sub>   | 1,0477 | 1,1024 | 1,4766  | 1,2376  | 1,1608  |
| 50% ZrO <sub>2</sub>   | 1,0423 | 1,1198 | 1,4803  | 1,2589  | 1,2508  |
| 25% ZrO <sub>2</sub>   | 1,0525 | 1,1282 | 1,3654  | 1,3524  | 1,2721  |
| 100 % MgO              | 1,0507 | 1,1179 | 1,4851  | 1,3737  | 1,2929  |

Поведение величины фрактальной размерности, в зависимости от длительности спекания, отражает стадии твердофазного спекания: увеличение D происходит во время стадий зарождения межзеренных связей и последующего развития объемной усадки, на третьей стадии спекания фрактальная размерность остается постоянной.

Фрактальная размерность является чувствительной к микроструктуре поверхности, в том числе к характеру распространения трещин, так как оценивается по снимкам поверхности, полученным при различных увеличениях. Таким образом, можно говорить о том, что величина фрактальной размерности отражает степень развитости рельефа, включая характер распространения трещин.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования (соглашение RFMEFI58417X0026) на аналитическом оборудовании Томского регионального центра коллективного пользования.*

#### Список литературы

1. Калинович Д.Ф., Кузнецова Л.И., Денисенко Э.Т. Диоксид циркония: свойства и применение // Порошковая металлургия. 1987. - №1. - С. 98-102.
2. Ивонин И.В., Новиков В.А. Определение фрактальной размерности поверхности эпитаксиального n-GaAs в локальном пределе, Физика и техника полупроводников, 2009, том 43, вып. 1, - 40 с.
3. Суворов Э.В. Методы исследования реальной структуры и состава материалов: Учебно-методический комплекс дисциплины. - М.: Изд. Дом МИСиС, 2010. - 146 с.