

СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Е.С. ОРЛОВА¹, И.Н. СЕВОСТЬЯНОВА², Т.Ю. САБЛИНА²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: Orles24@mail.ru

Керамика на основе диоксида циркония, в отличие от других керамик, обладает уникальным механизмом увеличения вязкости, когда тетрагональная фаза превращается в полях внутренних напряжений в моноклинную, обуславливая сочетание высоких значений прочности и вязкости разрушения материала [1]. Литературные данные свидетельствуют о том, что наличие пористости препятствует подобному превращению [2, 3]. При получении высокопористой керамики на основе диоксида циркония, способной испытывать мартенситное превращение, основная проблема заключается в том, что, как правило, не удается получить керамику одновременно с большой пористостью и необходимым размером зерна тетрагональной фазы, при котором может реализоваться механизм мартенситного превращения под нагрузкой. Керамику в широком диапазоне размера зерна и пористости можно получить высокотемпературным спеканием с введением порообразующих добавок.

Цель настоящей работы – исследование влияния размера зерна и пористости на фазовый состав и прочностные свойства керамики на основе стабилизированного иттрием диоксида циркония.

Для получения пористых образцов использовали смеси исходного порошка $ZrO_2-5.5\text{вес.}\%Y_2O_3$ марки ЦрОИ-5.5 в состоянии поставки и органического порообразователя – картофельного крахмала с размером частиц до 50 мкм. После смешивания порошков с порообразователем проводили их прессование в виде цилиндрических образцов диаметром 9 мм и высотой 12 мм на гидравлическом прессе в стальной пресс-форме. Для получения керамики отличающейся по величине среднего размера зерна, спекание образцов на воздухе осуществляли при температурах 1500 и 1600 °С с изотермической выдержкой в течение 1, 3, 5 часов.

В зависимости от температуры и времени выдержки при спекании средний размер зерна керамики изменялся от 0,5 мкм, рисунок 1(а), (1500°С, 1 час) до 1,55 мкм, рисунок 1(б), (1600 °С, 5 часов).

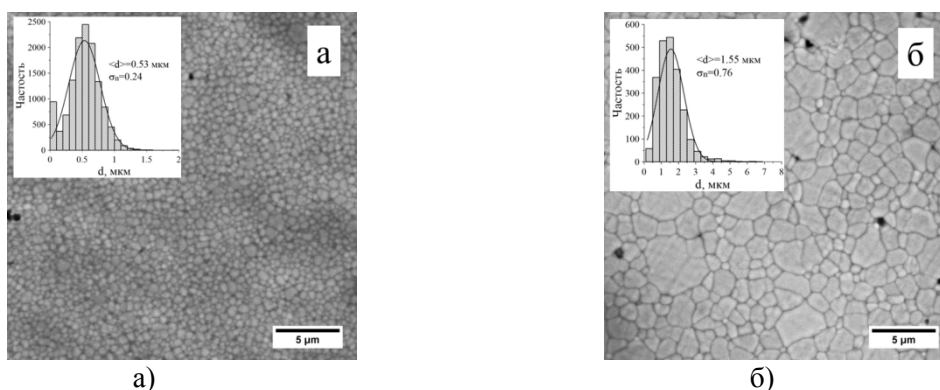


Рисунок 1 – РЭМ изображение зеренной структуры керамики: а) спекание при температуре 1500 °С, 1 час; б) спекание при температуре 1600 °С, 5 часов

Пористость образцов после спекания изменялась от 2 до 40%, в зависимости от количества введенного порообразователя, температуры и времени спекания. При этом средний размер пор увеличивался с 19 до 38.5 мкм.

На основании рентгенофазового анализа установлено, что после спекания образцы находились в двухфазном - кубическом и тетрагональном или трехфазном - кубическом, тетрагональном и моноклинном состоянии. При этом содержание кубической фазы во всех образцах составляло 18 – 20%. На рентгенограммах исходных образцов с пористостью до 13 % наблюдаются дифракционные максимумы только кубической и тетрагональной фаз. Моноклинная фаза в образцах с количеством порового пространства от 23 до 29 % появляется в образцах со средним размером зерна 1.1 мкм и выше. В образцах с пористостью 40 % моноклинная фаза появляется в образцах с размером зерна 0.89 мкм. После испытаний образцов на осевое сжатие на изломе всех исследованных образцов наблюдается появление или увеличение моноклинной фазы, свидетельствующее о мартенситном тетрагонально – моноклинном превращении под нагрузкой. При увеличении размера зерна керамики, количество моноклинной фазы на поверхности разрушения увеличивается.

При испытании плотных образцов на осевое сжатие предел прочности при сжатии увеличивается с ростом среднего размера зерна диоксида циркония. Возможной причиной увеличения предела прочности при сжатии плотных образцов может являться увеличение вязкости разрушения. С увеличением пористости предел прочности при сжатии образцов керамики снижается, при этом значение предела прочности при сжатии практически не зависит от размера зерна керамики.

Проведенный анализ кривых «напряжение – деформация» показал, что с увеличением пористости, независимо от размера зерна, меняется характер разрушения образцов. Образцы с пористостью 3 и 5 % показывают типично хрупкое разрушение из упругой области. В образцах с 13 % пористости на кривой перед разрушением наблюдается небольшой участок (зона), на котором напряжение перестает увеличиваться с ростом деформации. На данном участке происходит образование макротрещин параллельных оси сжатия. При этом формирующиеся фрагменты сохраняют способность выдерживать приложенную нагрузку. С увеличением пористости зона накопления повреждений в виде трещин, при которых не происходит катастрофического разрушения материала, увеличивается, то есть с увеличением пористости повышается способность керамики к накоплению повреждений без ухудшения прочности.

Таким образом, в результате проделанной работы были получены и исследованы образцы керамики ZrO_2 -5.5вес. Y_2O_3 , размер зерна в которых изменялся от 0.53 до 1.55 мкм, а объем порового пространства от 0 до 40%. Установлено, что при увеличении объема порового пространства более 13 % наблюдается появление моноклинной фазы. При этом с ростом размера зерна ее количество увеличивается. Показано, что в пористой керамике возможно трансформационное тетрагонально – моноклинное превращение, связанное с механическими напряжениями, которое, однако, не влияет на макропрочность материала.

Работа выполнена в рамках ПФНИ ГАН на 2013-2020 годы, направление III.23.

Список литературы

1. A. G. Evans and R. M. Cannon Toughening of brittle solids by martensitic transformations // Acta metall. 1986. Vol. 34, No. 5, pp. 761-800.
2. Asit Kumar Gain, Ho-Yeon Song, Byong-Taek Lee Microstructure and mechanical properties of porous yttria stabilized zirconia ceramic using poly methyl methacrylate powder Scripta Materialia 504 [12] (2006) 2081-2085.
3. Abdur-Rasheed Alao, Ling Yin Assessment of Elasticity, Plasticity and Resistance to Machining-induced Damage of Porous Pre-sintered Zirconia Using Nanoindentation Techniques Journal of Materials Science & Technology 32 (2016) 402–410.