

## Секция 1 – Проблемы надежности материалов

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ  $Al_2O_3$  С СЕГМЕНТИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ***М. П. СЕНАТОРОВ<sup>1</sup>, М. В. ГРИГОРЬЕВ<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Томский политехнический университет<sup>2</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАНE-mail: [mps4@tpu.ru](mailto:mps4@tpu.ru)

В литературе известен подход к увеличению вязкости разрушения хрупких материалов, претерпевающих внезапное разрушение из-за трещин, распространяющихся с высокой скоростью, а именно, использование сегментированных, а не монолитных структур [1]. Сегменты (блоки) могут быть скреплены вместе фазой связующего, или в силу особой геометрии и расположения сегментов. Целенаправленно создавая слабые границы раздела между сегментами, можно заставить двигаться распространяющуюся трещину по намеченному пути – по границе с соседним сегментом (рисунок 1, а). В результате можно получать керамические материалы, способные под нагрузкой рассеивать прикладываемую энергию, без катастрофического разрушения [1]. Исследование [2] также показало, что при фиксированных значениях объема порового пространства керамика с сегментированной структурой имеет заметно более высокие значения предела прочности при сжатии по сравнению с керамикой того же состава, но с унимодальной пористостью.

Сегментированная структура керамики формируется при введении порообразователей во время спекания. Благодаря т. н. эффекту «зонального обособления», происходит разделение спекаемого образца на области, значительно превышающие средний размер частиц спекаемого материала. В результате получается структура, состоящая из сегментов, разделенных протяженными поровыми каналами и достаточно крупными порами.

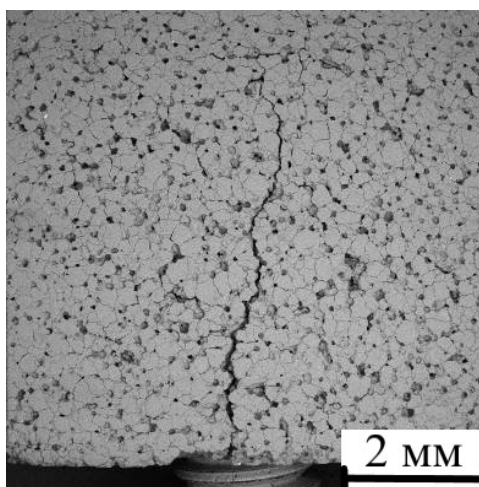


Рисунок 1 – Распространение трещины на торцевой полированной поверхности образца  $Al_2O_3$ , после испытаний на сжатие ( $\sigma \leq 0,3 \times \sigma_{сж}$ )

Данное исследование направлено на дальнейшее изучение механических свойств сегментированной керамики. Для экспериментов были использованы образцы керамики ВК95 на основе  $Al_2O_3$  с температурами спекания 1200, 1300, 1400, 1500 и 1600°C и содержанием порообразователя (СВМПЭ) 10, 15%, 20%, 25%. По фотографиям с РЭМ были проведен подсчет размеров структурных элементов: зерен, пор, блоков и поровых каналов.

Средние размеры блоков, крупных и мелких пор составили порядка 220, 123 и 2,4 мкм соответственно и в целом не изменяется ни с ростом температуры спекания, ни с ростом концентрации СВМПЭ. Ширина поровых каналов с ростом температуры

уменьшается, что более заметно для малых значений СВМПЭ. Средний размер зерна возрастает с увеличением температуры спекания от 2 до 2,5 мкм в затем при температуре 1600°C, резко увеличивается до 4,1 мкм.

Проведены механические испытания на одноосное статическое сжатие для цилиндрических образцов и на трехточечный изгиб для образцов в виде балок с постоянной скоростью деформирования (0,1 мм/мин), по результатам которых были рассчитаны предел прочности на сжатие и изгиб и построены их зависимости от температуры, рисунок 2 а, и пористости, рисунок 2 б.

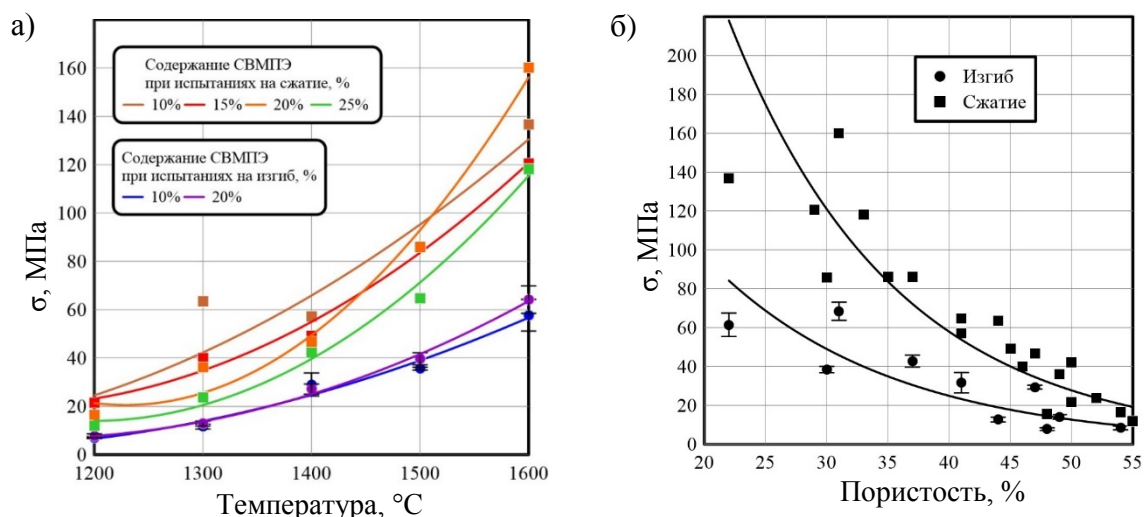


Рисунок 2 – Зависимости предела прочности на сжатие и изгиб а) от температуры спекания; б) от пористости

Графики показывают, что механические свойства керамики закономерно возрастают с увеличением температуры спекания и уменьшаются с ростом пористости. Был отмечен переход от хрупкого разрушения к квазипластичному у образцов с добавлением СВМПЭ и температур 1200-1400 °С. Любопытно, что при испытаниях на изгиб образцы при достижении предела прочности даже после падения напряжения визуально выглядели целыми. Это может говорить о том, что разрушение сегментированной керамики не является катастрофическим и после достижения предела прочности керамика может сохранять свою целостность.

Показано, что сегментированная поровая структура керамики оказывает существенное влияние на характер повреждения материала при сжатии, обуславливая переход от хрупкого разрушения к квазипластичному, вследствие формирования многочисленных очагов разрушения, а формирование иерархической деформационной структуры в объеме керамики приводит к эффекту понижения масштаба процессов разрушения от макроскопического, в случае унимодальной керамики, до мезомасштабного разрушения, сравнимого с размерами, сформировавшихся при спекании блоков.

#### Список литературы

1. Improvement of sound absorption and flexural compliance of porous alumina-mullite ceramics by engineering the microstructure and segmentation into topologically interlocked blocks / M. Carlesso, R. Giacomelli, T. Krause et al. // Journal of the European Ceramic Society –2013. – Vol. 33, № 13,14. – P. 2549–2558.
2. Григорьев, М. В., Савченко, Н. Л., Буякова, С. П., Кульков, С. Н. Неупругое поведение при сжатии керамики с иерархической поровой структурой // Письма в ЖТФ. – 2017. – Т. 43. – № 15. – С. 79–86.