

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ АЛЮМОЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

*О.Ю. ЗАДОРЖНАЯ, Т.А. ХАБАС*

Томский политехнический университет

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

## EFFECT OF DIFFERENT FACTORS ON THE WEAR RESISTANCE OF ZIRCONIA TOUGHENED ALUMINA

*O.YU. ZADOROZHNYAYA, T.A. HABAS*

Tomsk Polytechnic University

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

*Annotation. In the present study, the microstructure and wear resistance of advanced alumina ceramics and zirconia-toughened alumina (ZTA) composites containing 0 to 40 mas. % partially stabilized zirconia using 3 % mol. yttria (3Y-PSZ) has been investigated. The effect of zirconia powder content, surface area of ceramic powders on the erosion wear was determined.*

**Введение.** Для изготовления износостойких деталей в настоящее время широко используется керамика на основе оксидов алюминия и циркония [1]. Такая керамика имеет растущий потенциал для использования в качестве износо- и коррозионностойкого материала различных рабочих частей оборудования для добычи, переработки, транспортировки, в системах трубопроводов горнодобывающей и нефтегазовой промышленности, так она как обладает высокими механическими свойствами: твердостью, химической инертностью, износостойкостью, а также допускает возможность работы в сложных температурных условиях.

Оксид алюминия обладает широким спектром свойств для конструкционных и трибологических применений: сочетанием высокой твердости, термостойкости, химической инертности, с одной, и коммерческой доступности, с другой стороны [2, 3]. Использование метастабильных частиц диоксида циркония как упрочняющих включений в алюмооксидной керамике повышает трещиностойкость керамики благодаря контролируемой трансформации в моноклинную фазу. Помимо t-m-преобразования, инициирующего основной механизм — трансформационного упрочнения, на свойства керамики влияют и другие механизмы, например, образования микротрещин, экранирования и блокирования распространяющихся трещин. Упрочненная частицами диоксида циркония алюмооксидная керамика (ZTA) имеет повышенную износостойкость [4].

Целью работы было установить влияние на основные физико-механические свойства и эрозионный износ алюмооксидной и алюмоциркониевой керамики таких факторов, как содержание диоксида циркония в составе ZTA-керамики (в диапазоне от 0 до 40 мас. %  $ZrO_2$ ) и дисперсность керамических шихт; провести испытания образцов керамических деталей на стойкость к эрозионному износу методом пескоструйной обработки (обдув сжатым воздухом с частицами абразива под давлением 0,6 МПа в течение 600 с); проанализировать микроструктуру образцов керамики в процессе износа.

При изготовлении образцов керамики для проведения испытаний использовались порошки глинозема фирмы Almatiss GmbH различной дисперсности

и стабилизированного иттрием диоксида циркония фирмы Stanford Materials Corporation. Шифр А1-А3 присвоен составам с содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  более 98 мас. %, различающимся значениями удельной поверхности порошка шихты. ZTA1 - ZTA4 – составы на основе  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$  с содержанием  $\text{ZrO}_2$  более 3 мас.%, более 10 мас.%, более 15 мас.% и более 20 мас.%, соответственно).

Установлено, что увеличение содержания диоксида циркония в составе алюмоциркониевой шихты в диапазоне от 0 до 40 мас.% приводит к повышению значений прочности при статическом изгибе и трещиностойкости в 2 раза, при этом стойкость к эрозионному износу возрастает в 4,4 раза (рис. 1). Вероятнее всего это объясняется t-m-преобразования диоксида циркония, а также более мелкозернистой структурой алюмоциркониевой керамики с содержанием диоксида циркония более 20 мас.%, когда в структуре керамики происходит формирование непрерывного кластера частиц диоксида циркония, частицы диоксида циркония снижают рост зерен оксида алюминия при спекании. На рис. 2 и 3 приведены фото микроструктуры поверхности керамики  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$  с содержанием  $\text{ZrO}_2$  более 3 мас. % и более 20 мас. %, соответственно.



Рисунок 1 - Эрозионный износ образцов керамики различных составов

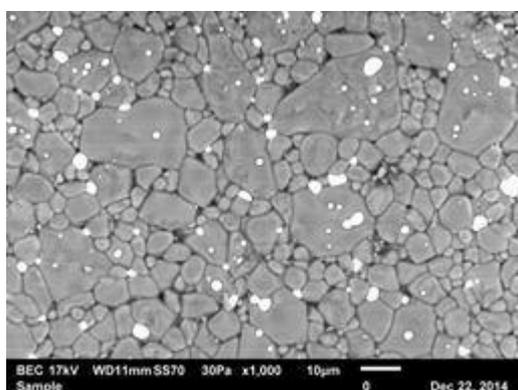


Рисунок 2 - Керамика ZTA-1 (более 3 % мас.  $\text{ZrO}_2$ )

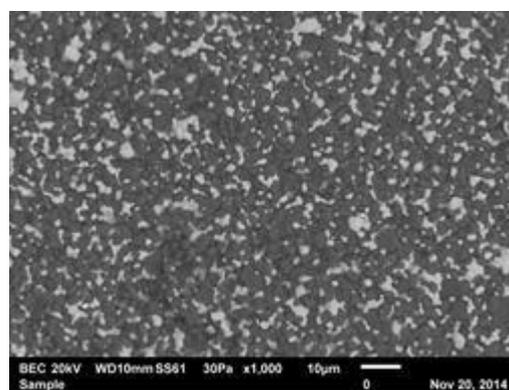


Рисунок 3 - Керамика ZTA-4 (более 20 % мас.  $\text{ZrO}_2$ )

Удельная поверхность порошка шихты оказывает существенное влияние на стойкость керамики к износу, причем для алюмоциркониевой керамики кривая зависимости, приведенная на рис. 4, более пологая, чем для алюмооксидной.

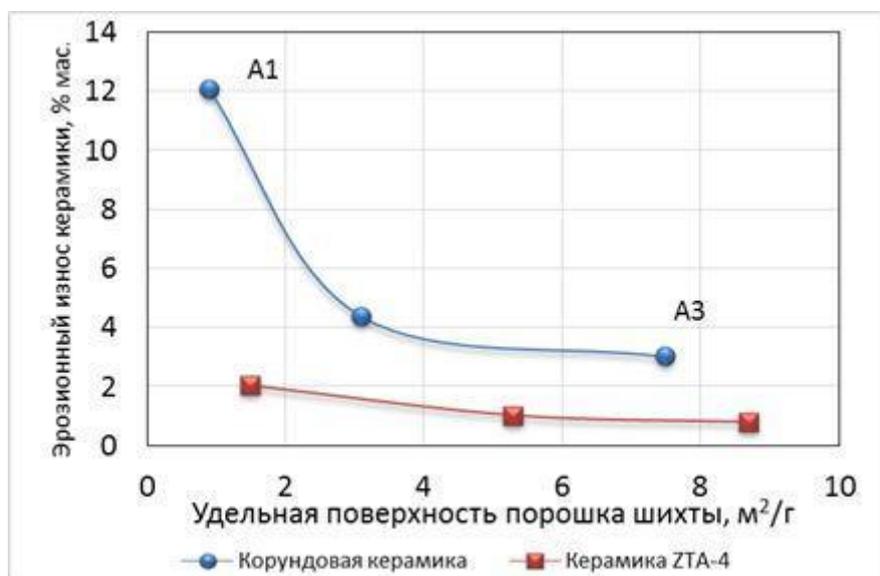


Рисунок 4 - Зависимость эрозионного износа керамики от удельной поверхности шихт

Для алюмооксидной керамики снижение удельной поверхности шихты с 7,5 м<sup>2</sup>/г до 0,9 м<sup>2</sup>/г привело к увеличению износа керамических образцов в 4 раза, в то время как для алюмоциркониевой керамики состава ZTA-4 при уменьшении удельной поверхности шихт с 9,7 до 1,3 м<sup>2</sup>/г износ образцов увеличился в 2,55 раза. Это можно объяснить большей чувствительностью керамики на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> к действию абразива, инициирующему на поверхности образцов сеть быстро распространяющихся по зернам трещин, а также выкрашивание зерен, что способствует катастрофическому износу материала. В алюмоциркониевой керамике зерна диоксида циркония частично или полностью блокируют распространение трещин посредством различных механизмов упрочнения, и размер зерна оксида алюминия не имеет определяющего значения.

Микрофотографии поверхности образцов керамики составов ZTA-2, ZTA-3 ZTA-4 после износа приведены на рис. 5-7.

При возникновении трещин, образующихся при столкновении абразивных частиц с поверхностью керамики, по мере углубления трещин происходит отделение частиц материала от поверхности. Из рисунков видно, что образец алюмоциркониевой керамики с самым низким содержанием ZrO<sub>2</sub> (рис. 5) имеет более рыхлую и пористую структуру, с пустотами по границам зерен, а образец с самым высоким содержанием диоксида циркония (рис. 7) – более плотную, что свидетельствует о большей стойкости образцов с повышенным содержанием ZrO<sub>2</sub> к эрозионному износу.

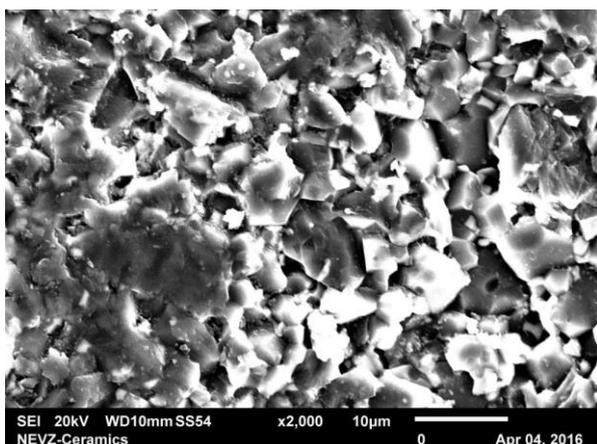


Рисунок 5 - Поверхность образца керамики ZTA-2 после испытаний на износ (0,6 МПа, 600 с)

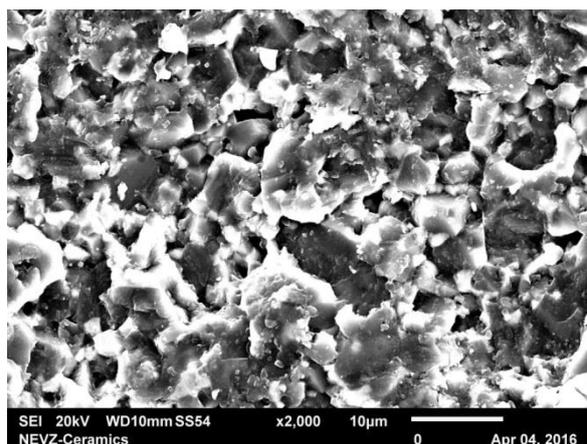


Рисунок 6 - Поверхность образца керамики ZTA-3 после испытаний на износ (0,6 МПа, 600 с)

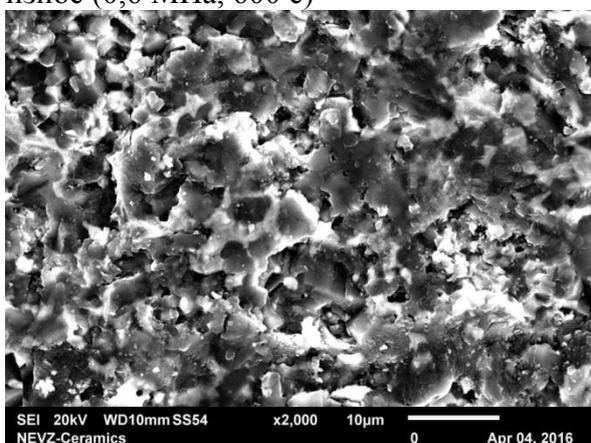


Рисунок 7 - Поверхность образца керамики ZTA-4 после испытаний на износ (0,6 МПа, 600 с)

Таким образом, в работе установлено, что свойства алюмоциркониевой керамики существенно повышаются при увеличении содержания диоксида циркония, а также при увеличении удельной поверхности керамических шихт. Стойкость к эрозионному износу возрастает в 4 раза при увеличении содержания диоксида циркония от 0 до 30 % мас. Увеличение удельной поверхности шихты с  $0,9 \text{ м}^2/\text{г}$  до  $7,5 \text{ м}^2/\text{г}$  для алюмооксидной керамики привело к снижению износа керамических образцов в 4 раза, в то время как для алюмоциркониевой керамики состава ZTA-4 при увеличении удельной поверхности с  $1,3$  до  $9,7 \text{ м}^2/\text{г}$  износ образцов снизился только в 2,55 раза.

Анализ микроструктуры поверхности образцов после воздействия эрозионного износа в течение 600 с показал, что образцы с повышенным содержанием диоксида циркония имеют меньше микроструктурных дефектов и пустот на границах зерен.

#### Список литературы

1. Eugene Medvedovski. Wear-resistant engineering ceramics. // Wear. – 2001. - 249. - P. 821–828.

2. М.С. Болдин, Н.В. Сахаров, С.В. Шотин и др. Композиционные керамики на основе оксида алюминия, полученные методом электроимпульсного плазменного спекания, для трибологических применений. // Физика твердого тела. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. - 2012. - № 6 (1). – С. 32-37.
3. L. Zych, R. Lach, K. Haberko, P. Rutkowski, B. Trybalska, J. Piekarczyk. The effect of nanometric zirconia particle additives on microstructure and mechanical properties of dense alumina. // Processing and Application of Ceramics. – 2009. - 3 [3]. - P. 131–135.
4. Гаршин А.П., Гропянов В.М., Зайцев Г.П., Семенов С.С. Машиностроительная керамика. – СПб: Изд-во СпбТУ, 1997. – 726 с.

### ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ С ПРОНИЦАЕМЫМИ ТОНКИМИ ПОРАМИ МЕТОДОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ

*К.С. КАМЫШНАЯ<sup>1</sup>, Т.А. ХАБАС<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Томский политехнический университет

E-mail: ksenia@tpu.ru

### DEVELOPING OF POROUS CERAMICS ON THE BASE OF ZIRCONIA OXIDE WITH THIN AND PERMEABLE PORES BY CRYSTALLISATION OF ORGANIC ADDITIVE METHOD

*K.S. KAMYSHNAYA, T.A. KHABAS*

<sup>1</sup> Tomsk Polytechnic University

E-mail: ksenia@tpu.ru

*Annotation.* In this paper porous ceramics on the base of ZrO<sub>2</sub> nanopowders and micropowders has been developed by freeze-casting method. An zirconia/urea slurry was frozen in mold and dehydrated in CaCl<sub>2</sub> at room temperature. This simple process enabled the formation of porous ceramics with highly aligned pores as a replica of the urea crystals. The samples showed higher porosity of 47,9%. In addition these materials could be used as membrane for air cleaning.

**Введение.** Пористая керамика широко используется с 1950-х годов и в настоящее время имеет широкий спектр применения в различных областях [1,2]. Наибольший спрос имеет керамика на основе тугоплавких оксидов и в частности керамика на основе ZrO<sub>2</sub>. Керамика на основе данного оксида имеет высокие физико-химические свойства (прочность, химическая стойкость, трещиностойкость и т.д.). Керамика из диоксида циркония может использоваться, в частности, в качестве мембран для очистки воздуха от опасных для организма частиц (менее 5 мкм). Существует большое разнообразие способов получения пористой керамики, но все они имеют существенный недостаток – невозможность регулирования морфологии пор. Решить данную проблему возможно применением метода кристаллизации органической добавки в суспензии за счет изменения температуры [3,4]. Данный способ позволяет не только регулировать морфологию пор в образце, но и не загрязняет образец примесями от выгорающей добавки. Цель данной работы заключалась в разработке метода получения пористой керамики на основе