

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ И АЛЮМИНИЯ

*ВАН ИФАНЬ, ВАН ДАКУНЬ*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
E-mail: [msv@tpu.ru](mailto:msv@tpu.ru)

### Введение

Керамика на основе диоксида циркония является весьма перспективным конструкционным и функциональным материалом [1,2]. Наиболее распространенными методами получения прочной циркониевой керамики являются методы порошковой технологии [3,4].

Целью работы являлось исследование закономерностей консолидирования керамики на основе диоксида циркония с различным содержанием оксидов алюминия и иттрия и изучение физико-механических свойств спеченной керамики.

### Эксперимент

В качестве исходных компонентов использовались промышленный нанокристаллические оксидные порошки (НП)  $Al_2O_3 - ZrO_2 - Y_2O_3$ , полученные методом плазмохимического синтеза.

Порошки обрабатывали в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL» Обработанные порошки пластифицировали водным раствором карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) из расчета: 5 мас. % КМЦ – 95 % порошка. Пластифицированные порошки формовали методом статического одноосного прессования, прессовки спекали в высокотемпературной печи сопротивления при температуре 1700°C.

С помощью прибора Nano Indenter G 200 определяли модуль упругости  $E_{IT}$ , твердость  $H_{IT}$  и прочность  $\sigma_b$  спеченной керамики по методике «Scratch Testing». Суть метода заключается в нанесении на исследуемую поверхность царапины заданной длины (200 мкм) под действием линейно возрастающей нагрузки (от 0 до 4 г), последующем определении глубины и ширины профиля. Прочность образцов рассчитывалась по формулам:

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s \sin \alpha} \quad \text{и} \quad A_s = \frac{a^2}{2\sqrt{3} \sin \alpha} + \frac{ah}{\cos \alpha},$$

где  $F_n$  – нормальная нагрузка,  $A_s$  – проекционная площадь отпечатка от пирамиды Берковича,  $a$  и  $h$  – ширина и глубина профиля царапины на дистанции 200 мкм соответственно,  $\alpha$  - угол, для пирамиды Берковича равный 65°.

Трещиностойкость спеченных образцов определяли с помощью метода отпечатков, её значения рассчитывали по формулам:

$$K_{Ic} = 0.16 HV \cdot a^{1/2} \cdot (c/a)^{-3/2} \quad [\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}],$$

$$HV = 1.8544 \cdot (p/d^2).$$

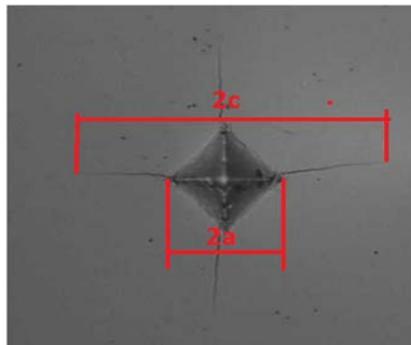


Рисунок 1 - Отпечаток индентора Виккерса на полированной поверхности образца диоксида циркония

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики спеченных образцов, определенных по методике наноиндентирования.

Таблица 1 - Физико-механические свойства спеченной керамики

Состав, мас. %	$E_{IT}$ , ГПа	$H_{IT}$ , ГПа	$\sigma_b$ , МПа	$K_{IC}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>
76,1% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 21,8% ZrO <sub>2</sub> – 2,1% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	356,0	18,5	71	5,6
31,7% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 62,2% ZrO <sub>2</sub> – 6,1% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	329,2	22,1	193	5,2
16,6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 76% ZrO <sub>2</sub> – 7,4% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	439,2	24,3	274	9,47
92,9% ZrO <sub>2</sub> – 7,1% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	230,8	14,9	93	11,59

Видно, что значения модуля нормальной упругости твердости керамики на основе корунда в целом соответствуют табличным (19-21 ГПа), в то время, как разброс значений прочности, определенной по методике царапания значителен. В целом, следует отметить, что методика скрэч-тестирования требует весьма качественную подготовку поверхности образцов. При этом они должны иметь минимальную остаточную пористость.

#### Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Из образцов керамической системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZrO<sub>2</sub> – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> исследованных составов повышенную плотность после спекания имел образец заэвтектического состава 76,1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 21,8% ZrO<sub>2</sub> – 2,1% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

2. Наибольшую плотность имел образец № 4 состава 92,9% ZrO<sub>2</sub> – 7,1% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Данный состав соответствует частично-стабилизированному диоксиду циркония.

3. Из исследованных составов керамической системы Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZrO<sub>2</sub> – Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> наиболее высокий уровень физико-механических свойств имела композиция заэвтектического состава 16,6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 76% ZrO<sub>2</sub> – 7,4% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В данной композиции одновременно реализованы два механизма упрочнения: трансформационное упрочнение за счет *t-m* – перехода в ZrO<sub>2</sub> (перехода тетрагональной модификации в моноклинную) [5] и дисперсное упрочнение высокомолекулярными частицами  $\alpha$ - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 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. Шевченко А.В., Рубан Ф.К., Дудник Е.В. Высокотехнологичная керамика на основе диоксида циркония // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 9. – С. 2 – 8.
3. Балкевич В. Л. Техническая керамика: Учеб. пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
4. Матренин С.В, Слосман А.И. // Техническая керамика: Учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 80 с.
5. M. Dehestani, E. Adolfsson. Phase stability and mechanical properties of zirconia and zirconia composites // Appl. Ceram. Technol. 2013. V. 10, № 1. P. 129-141.