

Таблица 1 – Результаты наноиндентирования

Состав	$E_{IT}$ , ГПа	$H_{IT}$ , МПа	$\sigma$ , МПа
$ZrO_2 - 5\% Y_2O_3$	226,4	12894	480,7
$ZrO_2 - 5\% Y_2O_3$ (обр. в плазме)	227,5	12012	644,5
80% $Al_2O_3 - 19\% ZrO_2 - 1\% Y_2O_3$	277,9	14387	592,3
76% $ZrO_2 - 19\% Al_2O_3 - 1\% Y_2O_3$	226,9	12867	621,4

### Заключение

Показано, что методика наноиндентирования и скрэч-тестинга является эффективным средством оценки физико-механических характеристик спеченных керамических материалов, обладающим высокой степенью достоверности результатов.

Дополнительная обработка спеченной частично-стабилизированной циркониевой керамики состава  $ZrO_2 - 5\% Y_2O_3$  в азотсодержащей плазме тлеющего разряда приводит к существенному повышению ее прочности. Эффект упрочнения керамики можно объяснить образованием в процессе обработки оксинитридных фаз типа  $Zr(ON)_x$ , который могут являться барьером для распространения закритических трещин.

Оптимальным сочетанием жесткости, твердости и прочности ( $E_{IT}=277,9$  ГПа,  $H_{IT}=14387$  МПа,  $\sigma=592,3$  МПа) обладает керамическая композиция доэвтектического состава 80%  $Al_2O_3 - 19\% ZrO_2 - 1\% Y_2O_3$ , уровень свойств которой превосходит характеристики промышленной режущей микролитовой керамики ЦМ-332.

### Список литературы

1. Шевченко, А.В. Высокотехнологичная керамика на основе диоксида циркония / А.В. Шевченко, А.К. Рубан, Е.В. Дудник // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000, №9. – С. 2-8.
2. Федосов С.А., Пешек Л. Определение механических свойств материалов микроиндентированием: современные зарубежные методики. – Физический факультет МГУ, Москва, 2004 – 100 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ

*ЛИ КУНЬ С.В. МАТРЕНИН*

Томский политехнический университет,  
E-mail: msv@tpu.ru

### Введение

Среди современных функциональных и конструкционных материалов керамика занимает значительную долю, которая обусловлена широким диапазоном ее физических и химических свойств. Глинозем керамика устойчива в условиях высокой температуры, коррозионно-стойкие материалы. Он также является экологически чистыми материалами. Глинозем керамика обладает высокой прочностью, высокой твердостью, высокой износостойкостью превосходными механическими свойствами. Эти свойства, которые он может быть применен ко всем видам обработки механических деталей, металлического покрытия.

В то же время у керамика из оксида алюминия высокой хрупкости, низкое сопротивление трещины свойств распространения материала.

### Эксперимент

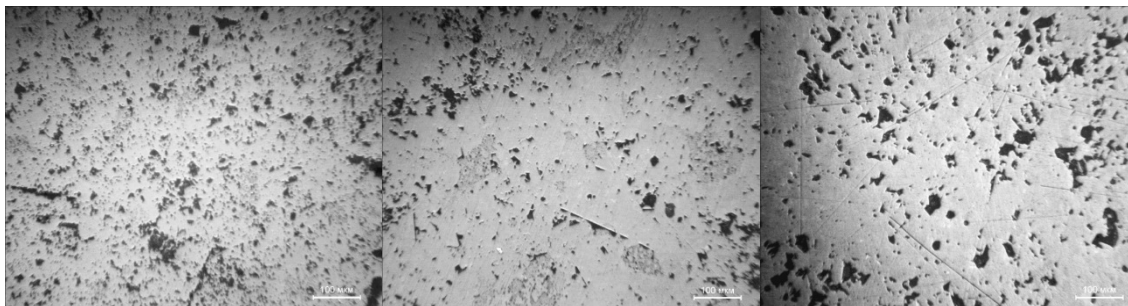
Использовали промышленный нанокристаллический оксидный порошок (НП)  $Al_2O_3$ , полученный методом плазмохимического синтеза марки УДПО ВТУ 4-25-90. Размер сфер

варьируется в пределах 100-1000 нм, размер кристаллитов, образующих сферу – 50-100 нм.

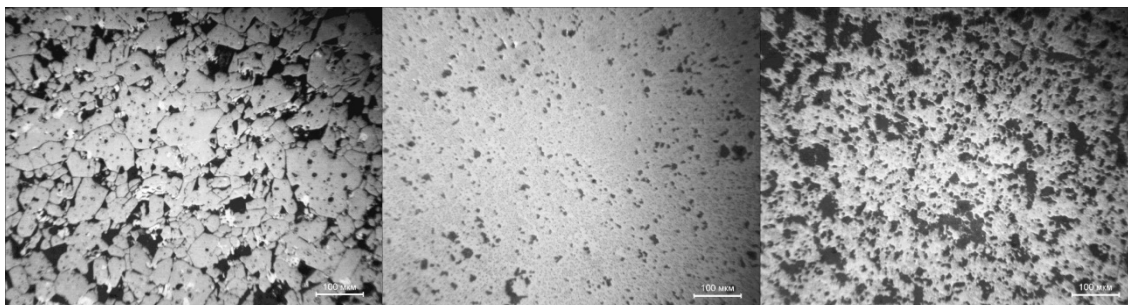
Таблица 1 – Составы порошковых смесей

№	Содержание, мас. %
1	99,6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,4% MgO
2	98,6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,4% MgO – 1% TiO <sub>2</sub>
3	97,6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,4% MgO – 2% TiO <sub>2</sub>
4	95,6% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,4% MgO – 4% TiO <sub>2</sub>
5	94,6 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,4% MgO – 5% SiO <sub>2</sub>
6	89,6 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,4% MgO – 10% SiO <sub>2</sub>

Идентифицирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G 200. В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды.



Образец № 1, № 2, № 3



Образец № 4, № 5, № 6

Рисунок 1 - Структуры образцов после спекания

Видно, что наименьшую пористость имели спеченные образцы № 2 и № 5 (составы 98,6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,4% MgO – 1% TiO<sub>2</sub> и 94,6 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,4% MgO – 5% SiO<sub>2</sub>). Эти данные коррелируют результатами определения плотности, твердости и прочности спеченных образцов (таблица 6,7). Обращает внимание структура образца № 4 (состав 95,6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,4% MgO – 4% TiO<sub>2</sub>), представленная крупными зернами (~100 мкм. Рост зерен при спекании керамики данного состава обусловлен добавкой 4% TiO<sub>2</sub>, которая резко интенсифицирует рекристаллизационные процессы.

#### Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено положительное влияние добавления MgO и TiO<sub>2</sub> в количестве не более 1 мас. % на спекаемость и физико-механические характеристики корундовой

керамики. Введение в порошки корунда добавок субмикронного порошка  $\text{TiO}_2$  приводит при последующем спекании к образованию твёрдого раствора вычитания  $\text{TiO}_2$  в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , решётка которого имеет повышенную диффузионную способность и активирует процесс спекания.

2. Обращает внимание структура образца состава 95,6%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,4%  $\text{MgO}$  – 4%  $\text{TiO}_2$ , представленная крупными зёрнами (~100 мкм). Рост зёрен при спекании керамики данного состава обусловлен добавкой 4%  $\text{TiO}_2$ , которая резко интенсифицирует рекристаллизационные процессы.

3. Добавление 5 % по массе  $\text{SiO}_2$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3$  реализует механизм жидкофазного спекания керамики, что приводит к повышению ее плотности и прочности до 480 МПа (табличное значение прочности при изгибе высокоплотной корундовой керамики не превышает 400 МПа). Данный состав соответствует муллито-корундовой керамике.

#### Список литературы

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.–75 с.
2. Briegleb F., Geuther A. – *Libigs Ann.*, 1962, 123,238.
3. Mellor I.W. A Comprehensive treatise on inorganic and theretical chemistry, 1928. – P.111
4. Андреева Т.В. и др. / Теплофизика высоких температур. – 1964. – С. 308.
5. Химия и физика нитридов / Под ред. Падерно Ю.Б. – К.: Наукова думка. – 1968. – С. 168
6. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1988.
7. Механический синтез в неорганической химии / Под ред. Е. Г. Аввакумова. Новосибирск: Наука, 1991.

### ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ $\text{ZrO}_2$ – $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{ZrW}_2\text{O}_8$ НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ЕЕ ОСНОВЕ

*ЛИ ЧАН<sup>1</sup>, Е.С.ДЕДОВА<sup>1,2</sup>*

Научный руководитель: доцент, к.т.н. Дедова Е.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт физики прочисти и материаловедения СОРАН  
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: lee106377@gmail.com

#### Введение

Вольфрамат циркония является уникальным материалом, обладающий отрицательным значением коэффициента теплового расширения (КТР) от -273 до 770 °С ( $\alpha = -9 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ ). Основное применение данный материал находит в технологии получения композиционных материалов с заданным КТР. Известно, что конечные свойства композиционных материалов в значительной мере определяются структурой и свойствами исходных порошков. Одним из способов активации порошковых систем является механическая обработка. На сегодняшний день недостаточно данных о влиянии механической обработки на порошки с добавлением вольфрамата циркония и формировании свойств композитов. Целью работы являлось определение влияния механической обработки порошковой смеси  $\text{ZrO}_2$  –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $\text{ZrW}_2\text{O}_8$  на свойства керамики на ее основе.