

3, б. Таким образом, механоактивация приводит к равномерному распределению компонентов смеси.

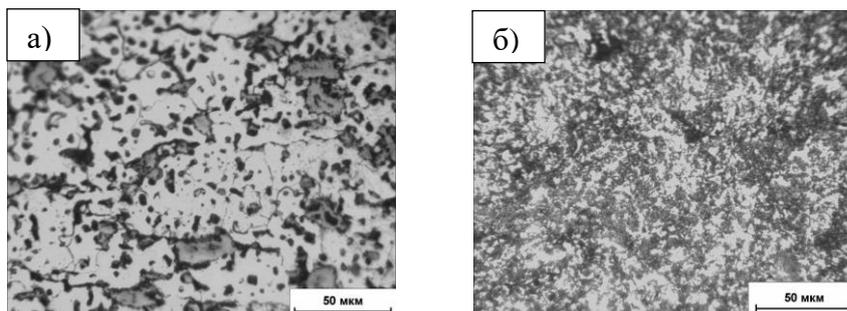


Рисунок 3 – Микроструктура образцов: а) без активации; б) с активацией в течение 20 минут

Анализ микротвердости показал, что образец без активации имеет микротвердость с 670 МПа. Механоактивация в течение 1-10 минут способствует увеличению микротвердости до 1000 МПа. При 20 минутах микротвердость уменьшается до 510 МПа.

**Заключение.** В ходе исследования было установлено, что механоактивация влияет на пористость, микротвердость и микроструктуру образцов. Вероятно, это связано с получением более однородной структуры, образованием в порошковой смеси конгломератов и их дальнейшим ростом с увеличением времени активации.

#### **Список литературы**

1. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии. В 2-х т. Т.1. Производство металлических порошков: учебник для вузов / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий.- М: МИСИС, 2001. - 368 с.
2. Mucs G. Mechanical activation of power station fly ash by grinding // Journal of Silicate Based and Composite Materials. – 2016/2. – Vol. 68. – P. 56–61.

### **СИНТЕЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОКСИКАРБОНИТРИДНЫХ ФАЗ ЦИРКОНИЯ**

*З.Н. ЮСУПОВА, С.В. МАТРЕНИН*  
Томский политехнический университет  
E-mail: [ziliya-usss@mail.ru](mailto:ziliya-usss@mail.ru)

Несмотря на многообразие методов синтеза оксидов, нитридов и карбидов циркония и консолидирования керамики на их основе, разрабатываемых в настоящее время, научный и практический интерес представляет твердофазный синтез в процессе компактирования соответствующих смесей в инертной атмосфере.

Анализ научно-технической литературы показывает, что варианты активированного спекания с применением добавок, в том числе, нанодисперсных порошков, разработаны недостаточно.

Для тугоплавких ионноковалентных оксикарбонитридов переходных металлов активированное спекание является актуальной проблемой, так как тугоплавких соединений осуществляется по диффузионному механизму. Для ее решения необходимо исследование закономерностей и механизмов консолидирования оксикарбонитридных керамических материалов и поиск соответствующих активирующих добавок и методов активирования.

Цель работы: исследование структуры и физико-механических свойств циркониевой керамики, полученной прессованием и спеканием, прессованием с горячим спеканием.

Исследование проводилось на порошках ZrN, ZrC, ZrO<sub>2</sub>.

В ходе исследования использовали методы определения насыпной плотности, метод анализа гранулометрического состава порошка, формование, спекание, наноиндентирование и изучение микроструктуры.

Измерив массу порошков, была посчитана насыпная плотность каждого порошка.

ZrO<sub>2</sub>:  $\rho_{\text{нас}} = 0.311 \text{ г/см}^3$ , ZrN:  $\rho_{\text{нас}} = 1.799 \text{ г/см}^3$ , ZrC:  $\rho_{\text{нас}} = 1.112 \text{ г/см}^3$

Гранулометрический анализ проводился с помощью Вибропривода ВП–С/220. Использовался набор сит размерами 40, 50, 56, 63, 90, 112, 140 мкм. Время просева-10 минут, частота - 70 Гц.

По результатам ситового анализа пришли к выводу, что в порошке ZrO<sub>2</sub> преобладают частицы крупных размеров более 140 мкм, в порошке ZrC преобладают порошки средних размеров 112-140 мкм, в порошке ZrN преобладают частицы мелкие, размером менее 40 мкм. Для дальнейшего исследования более мелких частиц порошка ZrN был проведен гранулометрический анализ методом секущих, по его результатам пришли к выводу, что в порошке ZrN размеры самых мелких частиц составляют 24-32 мкм.

Для активации порошков было проведено смешивание порошков в планетарной мельнице в течении 10 минут, частота составляла 20 Гц.

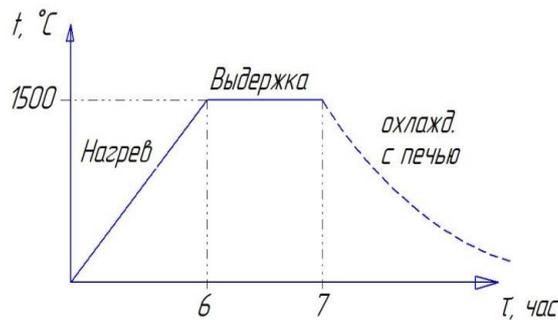
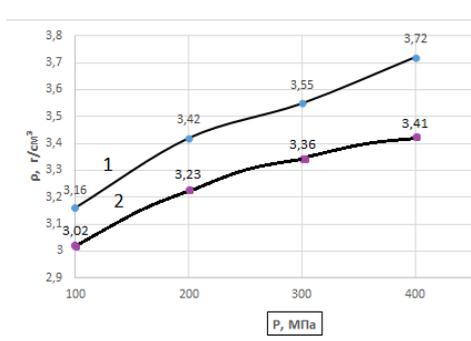


Рисунок 1 - Режим вакуумного спекания прессовок ZrO<sub>2</sub>- ZrN, 33% ZrO<sub>2</sub> -33% ZrC -34% ZrN

а)



б)

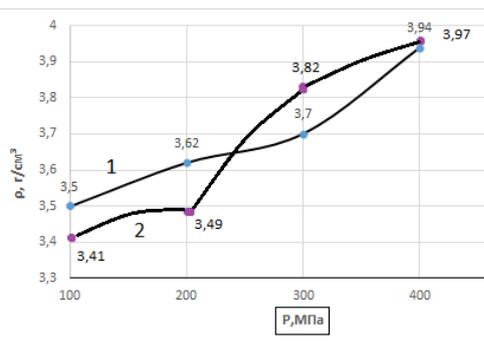


Рисунок 2 – Плотность прессовок до (1) и после(2) спекания: а) 33%ZrO<sub>2</sub> - 33%ZrC - 34%ZrN;б) 50 %ZrO<sub>2</sub> – 50 %ZrN

Анализ рисунка 1 а показывает, что плотность после прессования уменьшилась при давлении 100,200,300,400 МПа для образца первого состава, а на рисунке 1 б видим, что плотность при 100,200 МПа уменьшилась, а при 300,400 МПа –увеличилась.

Предположительно, произошло уменьшение плотности из-за того, что произошли фазовые переходы и химическое взаимодействие компонентов.

Таблица 1 - Режим горячего прессования

Состав порошка	Давление прессования, МПа	Время изотермической выдержки, мин	Температура спекания, °С
33% ZrO <sub>2</sub> – 33% ZrN – 34% ZrC	40	20	2000
50% ZrO <sub>2</sub> – 50% ZrN	40	20	1700

После горячего прессования было проведено наноиндентирование каждого образца. Определен модуль Юнга, нанотвердость и плотность образцов. Проанализировав результаты плотности образцов после горячего и холодного прессования, можно сказать, что плотность образцов после горячего прессования в два раза выше.

1. Вакуумное спекание не дает высоких физико-механических свойств, после спекания уменьшилась плотность образцов

2. Горячее прессование в инертной атмосфере является эффективным методом консолидирования керамики на основе оксикарбонитридных фаз циркония. Характеристики спечённых образцов: ( $E_{IT}= 418902$  МПа,  $H_{IT}= 21975$  МПа) для 50% ZrO<sub>2</sub> -50% ZrN

( $E_{IT}= 304452$  МПа,  $H_{IT}= 10769$  МПа) для 33% ZrO<sub>2</sub> - 33% ZrC - 34% ZrN

$\rho$  (50% ZrO<sub>2</sub> -50% ZrN )=6,2 г/см<sup>3</sup>,  $\rho$  (33% ZrO<sub>2</sub> - 33% ZrC - 34% ZrN )=6,13 г/см<sup>3</sup>

3. Гранулометрический анализ показал, что наименьшие частицы порошка имеют размеры 24-32 мкм.

#### Список литературы

1. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В. Процессы порошковой металлургии ,композиционные материалы. В 2-х т. Том 2. Формование и спекание: Учебник для вузов. М.: МИСИС, 2002. - 320 с.
2. Никифоров В.С. Коротов М.Г., Казанцева К.А. , Свойства моноклинного оксида циркония. Журнал – ,2016 – 45с.
3. Зимичев А.М. , Е.П. Соловьева волокно диоксида циркония для высокотемпературного применения .Изд. Авиационные материалы и технологии, – 2014, – 61с.

## ВЛИЯНИЯ СТАРЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ В МАРТЕНСИТНОМ СОСТОЯНИИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ CoNiAl С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

Э.И. ЯНУШОНИТЕ, А.С.ЕФТИФЕЕВА, Е.Ю. ПАНЧЕНКО

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: yanushonite98@mail.ru

Одним из перспективных сплавов Гейслера является ферромагнитный сплав CoNiAl. Этот материал имеет низкую стоимость, демонстрирует хорошие коррозионные свойства, испытывает термоупругое B2-L1<sub>0</sub> мартенситное превращение (МП) и магнитоиндуцированную деформацию до 3,3 % [1]. МП способствует наведению эффекта памяти формы (ЭПФ) и сверхэластичности. Сплав CoNiAl, обладающий такими эффектами, может найти практическое применение в авиакосмической промышленности и микросистемной технике в качестве актуаторов и демпферов.