

4. Паршев С.Н., Полозенко Н.Ю. Микротвердость материалов: Методические указания к лабораторной работе. – Волгоград: Волг ГТУ, 2004. – 15 с.
5. Мощенок В.И. Наноиндентирование и нанотвердость материалов // Автомобильный транспорт. 2008. Т. 22. С. 151–154.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДОВ ТИТАНА ЦИРКОНИЯ

*ЛИ ЦЗЕ<sup>1,2</sup>, С.В. МАТРЕНИН<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Шеньянский политехнический университет<sup>1</sup>, г.Шеньян, Китай

E-mail: [cze2@tpu.ru](mailto:cze2@tpu.ru)

Современная техника требует материалов с высоким уровнем эксплуатационных характеристик, в том числе стойкостью к агрессивным средам и износу, а также широким диапазоном рабочих температур. Армирующие компоненты керамики в виде волокон, тканей и вискероов позволили перейти к новому классу материалов — керамическим композитам (ККМ). Большим преимуществом керамических композитов является то, что механизмы их разрушения под нагрузкой отличаются от механизмов разрушения монолитных материалов, что привело к их растущему интересу и широкому спектру применения [1]. В матрицу добавляют армирующие ингредиенты для улучшения прочностных свойств материала и снижения хрупкости керамики. Работа посвящена исследованию свойств композиционной керамики на основе карбонитридов титана и циркония.

Целью работы является разработка полифункциональных керамических материалов нового поколения. В результате выполнения работы будут получены многокомпонентные керамические материалы и исследованы их физико-механические свойства.

В ходе выполнения работы методом горячего прессования было изготовлено 6 образцов композитной керамики различного состава, которые показаны на рисунке 1.

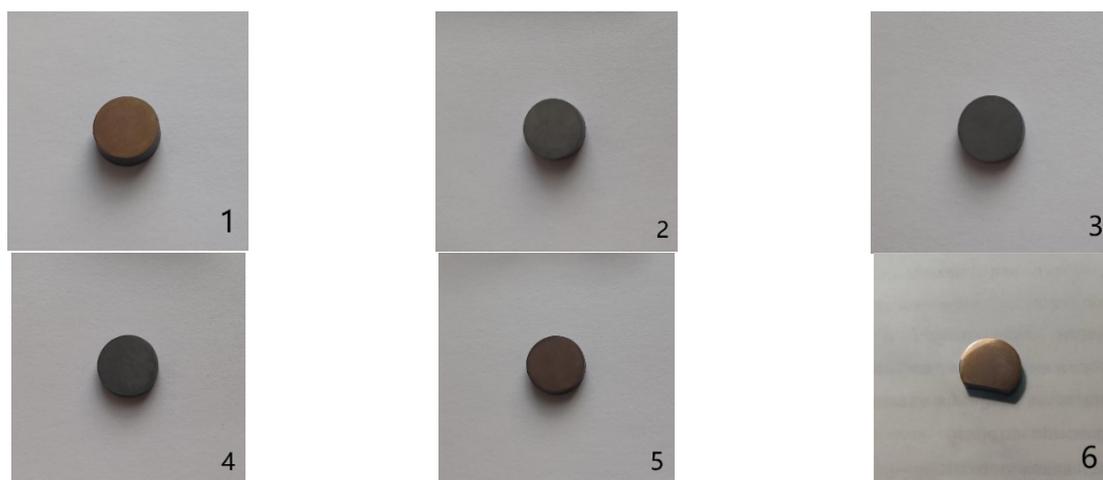


Рисунок 1 – Керамические образцы, полученные методом горячего прессования:

1 – 100% TiN, 2 – 100% TiC, 3 – 20% TiN - 80% TiC,  
4 – 50% TiN - 50% TiC, 5 – 80% TiN - 20% TiC, 6 – 50% ZrN - 50% ZrC

Затем изготавливали микрошлифы поверхности керамических образцов с использованием алмазных паст с различной дисперсностью алмазных частиц.

Далее проводили индентирование полированных поверхностей в соответствии со стандартом ISO 14577 с применением прибора Nano Indenter G200, в качестве индентора использовали пирамиду Берковича. Усилие индентирования составляло 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет отображать кривые нагружения на мониторе в режиме реального времени и автоматически рассчитывать модуль упругости  $E_{IT}$ , твердость индентирования  $H_{IT}$  и твердость по Мартенсу  $HM$  [2]. Полученные результаты представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Данные индентирования для керамических образцов

№	Состав, мас. %	Нагрузка, $F_{max}$	Глубина отпечатка $h_{max}$	Модуль упругости, $E_{IT}$	Твердость индентирования, $H_{IT}$	Твердость по Мартенсу, $HM$
		мН	нм	МПа	МПа	МПа
1	100% TiN	500.6	1360.3	416142	14623	10180
2	100% TiC	500.2	879.2	684669	49220	24297
3	80% TiC - 20% TiN	500.1	1010.1	604912	31269	18419
4	50% TiC - 50% TiN	500.6	818.7	961668	53617	28031
5	20% TiC -- 80% TiN	500.6	929.5	759598	37612	21762
6	50% ZrC - 50% ZrN	500.5	1575.1	304452	10769	18264

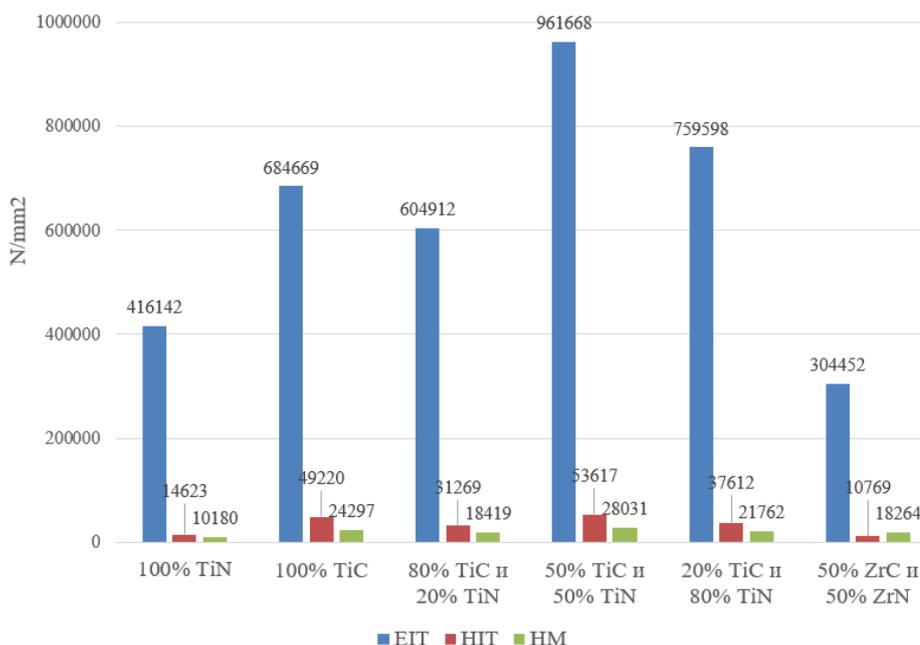


Рисунок 2 – Сравнение  $E_{IT}$ ,  $H_{IT}$ ,  $HM$  различных керамических образцов

По результатам экспериментов можно сформулировать следующие выводы:

1. В ходе эксперимента изучались физические и технологические свойства порошков карбидов и нитридов титана и циркония.
2. Исследованы физико-механические свойства керамических образцов после горячего прессования: плотность, модуль упругости, твердость индентирования, твердость по Мартенсу.
3. Среди всех образцов горячепрессованной керамики образец керамики состава 50%TiC - 50% TiN имеет самые высокие значения  $E_{IT}$ ,  $H_{IT}$  и  $HM$ .

**Список литературы**

1. Alymov M.I. Poroshkovaya metallurgiya nanokristallicheskih materialov [Powder metallurgy of nanocrystalline materials]. Moscow, Nauka Publ., 2007. 169 p.
2. Головин Ю. И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикроробъектах, тонких приповерхностных слоях и пленках (обзор) //Физика твердого тела – 2008 – том 50 – вып. 12.

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ  $MgAl_2O_4$ , АКТИВИРОВАННАЯ ИОНАМИ ДИСПРОЗИЯ ПЕРЕМЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ**

*ЛИНЬ ЧАОЛУ<sup>1</sup>, Д. Т. ВАЛИЕВ<sup>2</sup>*

Шеньянский политехнический университет<sup>1</sup>, г.Шеньян, Китай;

Национальный исследовательский Томский политехнический университет<sup>2</sup>, г.Томск

E-mail: [chaolu1@tpu.ru](mailto:chaolu1@tpu.ru)

Алюмомагниева шпинель ( $MgAl_2O_4$ ) представляет собой кубическую кристаллическую структуру, в которой ионы  $Mg^{2+}$  занимают 8 тетраэдрических ( $T_d$ ) позиций, а ионы  $Al^{3+}$  занимают 16 октаэдрических ( $O_h$ ) позиций в кристаллической ячейке [1].  $Dy^{3+}$  является отличной легирующей добавкой для люминесцентных материалов для получения длительного свечения [2]. Однако до сих пор очень мало исследований по керамике алюмомагниева шпинели, легированной  $Dy^{3+}$ . Цель работы заключается в исследовании влияния ионов диспрозия переменной концентрации на структурные и люминесцентные свойства керамических образцов  $MgAl_2O_4:Dy^{3+}$ .

Порошок шпинели, используемый в данной работе, представляет собой коммерчески доступный нанопорошок шпинели  $MgAl_2O_4$  (Baikowski Malakoff Inc., США, чистота выше 99,999%, средний размер частиц 200 нм). Порошок оксида диспрозия для легирования (чистота 99,999 %, средний размер частиц 50 нм, Неваторг, Россия). Порошок образцов был приготовлен путем смешивания порошка оксида диспрозия с порошком шпинели. Затем порошок был спечен методом спарк-плазменного спекания (СПС) на установке спекания SPS 515S (Syntex Inc., Япония) с получением керамических образцов. Условия СПС были следующими: температура спекания  $T=1400^\circ C$ , вакуум  $P=10^{-3}$  Па, давление 72 МПа, скорость нагрева  $5^\circ C/мин$ . В данной работе было приготовлено пять образцов с концентрацией легирования 0,1, 0,5, 1, 2,5, 7,5 и 10 вес. %. Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводился с использованием дифрактометра XRD-7000S Shimadzu (Японии). Для возбуждения импульсной катодолюминесценции образцов использовался сильноточный ускоритель электронов ГИН-600 ( $t_{1/2-10}$  нс, средняя энергия электронов 250 кэВ, плотность энергии возбуждения  $\sim 23$  мДж/см<sup>2</sup>) и записали спектр излучения образцов.

На рисунке 1 представлены рентгенограммы керамических образцов, с переменным содержанием диспрозии. Все положения рефлексов соответствуют стандартным данным согласно PDF № 04-007-2712, PDF № 04-007-8739 и PDF № 04-010-3648 (PDF4-2009). Основной фазой керамики образца является фаза шпинели, другие фазы ( $DyAlO_3$  и  $Dy_4Al_2O_9$ ) появляются при концентрации легирования 1 вес. %. Образование фазы  $DyAlO_3$  и  $Dy_4Al_2O_9$  свидетельствует о том, что ионы  $Dy^{3+}$  занимают преимущественно узлы Mg решетки шпинели. По мере увеличения концентрации легирования все большее количество Dy замещает места Mg, и решетка шпинели разрушается, образуя новую фазу.

На рисунке 2а показан спектр излучения образца керамики  $MgAl_2O_4: 0,1 - 7,5$  вес. %  $Dy_2O_3$ . В спектре излучения можно выделить четыре полосы излучения, расположенных на