

**A.A. Shevchenok<sup>1,2</sup>, D.I. Soroka<sup>2</sup>, T.M. Ulyanova<sup>3</sup>,  
V.S. Urbanovich<sup>4</sup>, S.M. Baraishuk<sup>1</sup>, V.N. Bolodon<sup>1</sup>, V.K. Dolgiy<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Agrarian Technical University,

<sup>2</sup>Institute of Powder Metallurgy of NAS of Belarus,

<sup>3</sup>Institute of General and Inorganic Chemistry of NAS of Belarus,

<sup>4</sup>Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus  
Minsk, Belarus

## **INFLUENCE OF POWDERS DISPERSION AND PRODUCTION MODES ON WEAR RESISTANCE OF CERAMICS BASED ON ALUMINUM AND ZIRCONIUM OXIDES**

***Abstract.** The intensity of wear of ceramics based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub>, obtained from micro- and nanosized powders in different technological modes, has been investigated. Ceramics based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> had the highest wear resistance. The use of nanosized powders, as well as impulse pressing followed by sintering, significantly reduced the wear of ceramic materials.*

Износостойкая и эрозионностойкая керамика является основным материалом для изготовления конструктивных деталей, работающих в условиях вибраций, коррозионных и эрозионных факторов. При воздействии таких комплексных нагрузок на хрупкий материал главными параметрами, определяющими механизм износа, согласно модели распространения горизонтальной трещины, являются твердость и вязкость керамики, причем наиболее износостойким считается материал, в котором осуществлено оптимальное сочетание этих факторов. При этом размеры микроструктурных объектов, в частности размер зерна керамики, предопределяют выбор материала с наибольшей эрозионной стойкостью. Размером зерна керамики возможно эффективно управлять путем измельчения исходных компонентов, а также составом и способом введения добавок модифицирующих оксидов, позволяющих наследственно зафиксировать ультрадисперсное зерно в материале и регулировать его рост при спекании. В связи с этим целью данной работы является исследование износостойкости материалов, полученных из микро- и наноразмерных порошков оксидов алюминия и циркония в зависимости от технологических режимов изготовления.

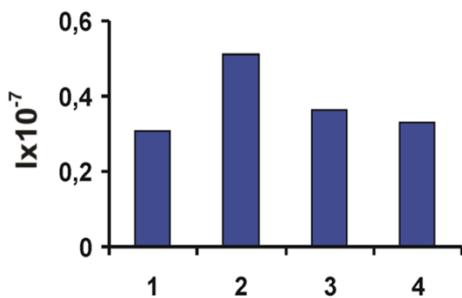
Эксперименты проводили на машине трения, в которой реализуется схема «плоскость - диск». Испытания проводились при скорости вращения 880 мин<sup>-1</sup> и нагрузке 50 Н. Интенсивность изнашивания определяли по формуле [1]:

$$\text{где } I_h - \text{интенсивно } I_h = \frac{\Delta V}{A_T L_T} = \frac{A_T * h}{A_T * L_T} = \frac{H}{L_T} = \frac{b^2}{8 * r * L_T};$$

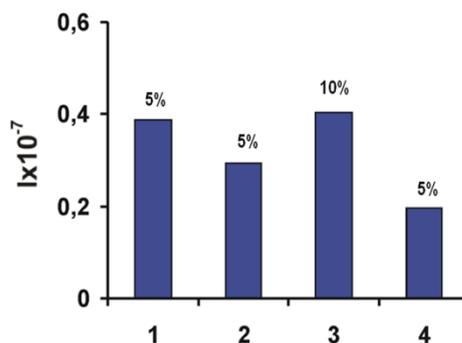
$A_T$  - площадь поверхности трения;  
 $L_T$  - путь трения;  
 $b$  - длина лунки;  
 $r$  - радиус истираемого диска

В качестве исходных материалов использовали промышленные микронные порошки  $Al_2O_3$  марки М1,  $ZrO_2$  и  $Y_2O_3$ . Композиции различных составов получали смешиванием в планетарной шаровой мельнице САНД исходных промышленных порошков, взятых в соответствующих весовых соотношениях. Часть экспериментов проведена на образцах, полученных из синтезированных темплатным методом в ИОНХ НАН Беларуси наноразмерных порошков  $ZrO_2$  (5масс. %  $Y_2O_3$ ) и композиции 80%  $ZrO_2$ (5масс. %  $Y_2O_3$ )-20%  $Al_2O_3$ . Образцы прессовали методами традиционного статического, импульсного прессования, последующее спекание проводили на воздухе в интервале температур 1400-1700°C [3-5]. Кроме того часть образцов получена спеканием при высоких давлениях (4 ГПа) и температурах (800-1500°C). Результаты экспериментальных исследований представлены на рис.1-4.

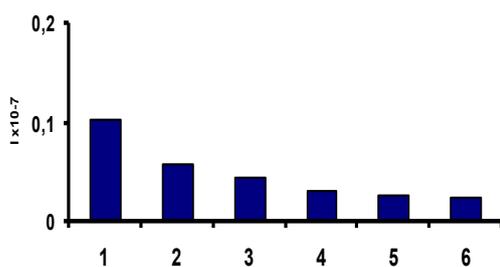
Исследования изменения интенсивности изнашивания образцов из нанопорошка  $ZrO_2$  (5масс.%  $Y_2O_3$ ) в зависимости от температуры спекания при давлении 4ГПа показали, что с увеличением температуры спекания износ керамики увеличивается, что, по-видимому, связано с фазовыми превращениями в  $ZrO_2$  (рис. 1). При температуре 800°C наблюдается наименьший износ. Интенсивность изнашивания керамики  $ZrO_2$  ( $Y_2O_3$ ) зависит от метода изготовления и типа используемых порошков (рис.3). Увеличение содержания стабилизирующей добавки  $Y_2O_3$  с 5 до 10масс.% (рис.2, образцы 1,3) в промышленные микронные порошки при одинаковых условиях получения не приводит к существенным изменениям интенсивности изнашивания.



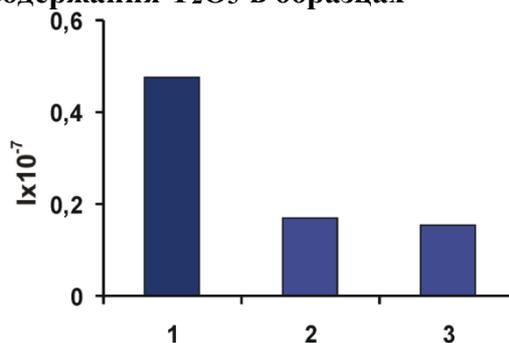
**Рис.1.** Изменение интенсивности изнашивания образцов керамики из наноструктурного порошка  $ZrO_2$  (5масс. %  $Y_2O_3$ ), полученных при давлении 4 ГПа, в зависимости от температуры спекания: 1 – 800°C; 2 – 1000°C; 3 – 1200°C; 4 – 1500°C



**Рис.2.** Изменение интенсивности изнашивания образцов керамики из спрессованных традиционным методом промышленных порошков состава  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ : (1,3)-(1700°C, 1ч), (2)-(1580°C, 2ч) и наноструктурного порошка (4)-(1580°C, 2ч) в зависимости от режимов изготовления и процентного содержания  $Y_2O_3$  в образцах



**Рис.3.** Изменение интенсивности изнашивания экспериментальных образцов в зависимости от дисперсности исходных порошков  $Al_2O_3$  (спекание 1600 °C, 1ч): 1- исходный порошок ( $d \sim 1$  мкм); 2- помол 4 ч ( $d \sim 0,6$  мкм); 3 - помол 7 ч ( $d \sim 0,25$  мкм); 4 – нанопорошок (плазмохимический синтез ( $d \sim 0,1$  мкм)); 5 - нанопорошок (взрыв проволоки  $d \sim 0,05$  мкм); 6 – образец из порошка 5, импульс. пресс.



**Рис. 4.** Изменение интенсивности изнашивания образцов композитов состава  $80\%ZrO_2(5\text{масс.}\% Y_2O_3)+20\%Al_2O_3$  из промышленных порошков(1,2) и наноструктурного порошка(3) в зависимости от режимов изготовления и типа используемых порошков: 1-стат. пресс.+1580°C, 2ч; 2,3-импульсное пресс. +1580°C, 2ч.

Увеличение температуры спекания с 1580°C (рис. 2, обр.2) до 1700 °C (рис. 2, обр.3) приводит к увеличению износа, что, вероятно, связано с существенным ростом размера зерна получаемой керамики  $ZrO_2$  (10масс.%  $Y_2O_3$ ). Наименьший износ наблюдается на образцах из

нанопорошков состава  $ZrO_2$  (5мас.% $Y_2O_3$ ), спеченных при температуре 1580°C, 2 ч. (рис.2, обр. 4). Легирующие добавки к микронным порошкам на основе  $Al_2O_3$  приводили к уменьшению интенсивности изнашивания, причем наименьший износ наблюдался на образцах (спекание 1580°C, 2 ч) с легирующей добавкой MgO. Изменение дисперсности исходных порошков  $Al_2O_3$  с 1 мкм до 100-50 нм более чем в 2 раза уменьшало интенсивность изнашивания экспериментальных образцов.

На рис. 4 представлены результаты изменения интенсивности изнашивания композита состава 80%  $ZrO_2$ (5мас.%  $Y_2O_3$ )+20%  $Al_2O_3$  в зависимости от режимов изготовления и типа используемых порошков. Наибольший износ наблюдается на образце, полученном из промышленных порошков традиционным прессованием (рис. 4, обр.1). На образцах, полученных импульсным прессованием (рис.4, обр. 2,3), наблюдается существенное уменьшение (на 40-50%) интенсивности изнашивания композита по сравнению со статическим прессованием (рис. 4, обр.1). Причем износ композита из наноразмерных порошков был наименьшим (рис.4, обр.3).

Таким образом, проведенные исследования показывают, что тип используемых исходных порошков, их дисперсность и режимы изготовления керамических образцов существенно влияют на износ. Среди исследованных материалов наибольшей износостойкостью обладает керамика на основе  $Al_2O_3$ . Использование в качестве исходных материалов наноразмерных порошков, а также импульсного прессования с последующим спеканием существенно уменьшает износ керамических материалов. Это обусловлено в последнем случае более высокими физико-механическими свойствами экспериментальных образцов на основе  $ZrO_2$  (микротвердостью до 12-14 ГПа и трещиностойкостью более 6-8 МПа·м<sup>1/2</sup>), чем в случае использования промышленных порошков и традиционных методов прессования и спекания.

### **Список использованных источников**

1. В.В.Савич, Л.Н.Дьячкова, Н.А.Шипица и др. Спеченные порошковые материалы: методы и приборы контроля свойств исходных порошков, исследования структуры и эксплуатационных характеристик изделий из них. Мн: «Геопринт», 2008, С.318.
2. B. Ivkovic, D. Jesic. Machinability of steels and austempered ductile irons – ranking test on tribometer pin on disk. // World Tribology Congress (8-12 September, London, 1997) p.610.

3. Витязь П.А., Крутько Н.П., Ульянова Т.М., Шевченко А. А., Овсеенко Л.В., Кашаед Е.А. Роль наноструктурных модификаторов при получении композиционной корундовой керамики. // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серія хімічных навук. 2019. Т. 55, № 4. С. 400-414.
4. Шевченко А.А., Долгий В.К., Барайшук С.М., Ульянова Т.М., Кашаед Е.А. Влияние фазового состава наноструктурных добавок на структуру и свойства керамики на основе оксида алюминия. / Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные технологии и материалы: Нанобудущее 2020», Севастополь, 14-16 октября 2020г, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», с. 175-179.
5. Ulyanova T.M., Vitiaz P.A., Krutko N.P., Ovseenko L.V., Shevchenok A.A., Titova L.V., Luchenok A.R Composite ceramics based on nanostructured refractory oxide whiskers / Advances in Materials 2014.-3(5).-33-37.

УДК 544.236.4

**А.А. Шестаков<sup>1</sup>, А.Е. Брестер<sup>1</sup>, Н.И. Лапекин<sup>1</sup>,  
Н.С. Лазаренко<sup>1</sup>, К.В. Вишнеvский<sup>2</sup>, А.Г. Баннов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

### **ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ВЯЗКОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ DER-331**

*Аннотация.* В данной работе проводилось исследование технологических характеристик системы эпоксидная смола/технический углерод (ТУ) в зависимости от концентрации наполнителя. Были проанализированы реологические характеристики системы эпоксидная смола DER-331/ТУ. В качестве полимерной матрицы использовалась эпоксидная смола DER-331 на основе бисфенола А.

**A.A. Shestakov<sup>1</sup>, A.E. Brester<sup>1</sup>, N.I. Lapekin<sup>1</sup>  
N.S. Lazarenko<sup>1</sup>, K.V. Vishnevsky<sup>2</sup>, A.G. Bannov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technological University, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus