

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ
ДВОЙНЫХ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ ZrB_2 -SiC-TaB₂**

В.В. ШИМАКОВ^{1,2}, А.С. БУЯКОВ^{1,2}, С.П. БУЯКОВА^{1,2}

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: vvshmakov@ispms.ru

В последние годы среди исследователей все чаще звучит мнение о приближении к пределу эксплуатационных свойств композиционных материалов, полученных традиционным способом механического смешивания компонентов [1]. Другими словами, формирование композитов путем введения новых фаз не позволяет получить качественный прирост эксплуатационных характеристик материалов.

В то же время многообещающим является подход, основанный на приложении методов структурного дизайна и проектирования морфологии композиционных материалов, позволяющим управлять структурой, что зачастую приводит к кратному увеличению механических свойств. Так в работе [2] авторами было показано, что управлением структурой композита WC-Co, без введения новых фаз, удалось добиться увеличения ударной вязкости путем рекомбинации макроструктурных элементов композита и направленного формирования морфологии.

Одними из наиболее интересных материалов для применений принципов и подходов структурного дизайна являются бориды, карбиды и нитриды металлов IV и V групп периодической системы химических элементов относятся к классу керамик, температура эксплуатации изделий из которых способна превышать 2000 °C [3]. Благодаря низкому удельному весу, стойкости к окислению, а также высокой износостойкости, такие керамики и композиты находят применение в качестве материалов для изготовления термобарьерных элементов космических летательных аппаратов, высокоэнергетических установок и объектов атомной промышленности [4].

Керамические композиты на основе диборида циркония также находят применение в качестве материалов способных работать в условиях трения и абразивного изнашивания. Исследования показывают, что система ZrB_2 -SiC обладает уникальными трибологическими свойствами вследствие формирования поверхностного слоя оксида бора и боросиликатного стекла, что в свою очередь приводит к снижению коэффициента трения [5]. Однако, в ряде практических применений стойкость к абразивному изнашиванию представляет куда больший интерес, по сравнению с определением коэффициента трения, хотя такого рода испытания являются менее частым предметом интереса исследователей.

В то же время, применение керамических материалов ограничено их высокой хрупкостью и низкой толерантностью к развитию трещин при ударных и динамических нагрузках, в том числе тепловых нагрузках. Ранее [6] было показано, что формирование двойной композиционной структуры, где в качестве матрицы выступает система ZrB_2 -SiC, а включения представлены системой TaB₂-SiC, позволяет кратно увеличить вязкость разрушения материала и создать условия для реализации процесса высокотемпературного самозалечивания эксплуатационных дефектов.

Целью настоящей работы явилось исследование стойкости к абразивному изнашиванию системы ZrB_2 -SiC-TaB₂ со структурой типа «композит в композите». В качестве контрольного образца выступал композит того же состава, но с гомогенным распределением компонентов.

Исходные порошки ZrB_2 , SiC, и TaB₂ подвергали высокоэнергетической механической активации в среде аргона. После чего методом распылительной сушки получали сферические гранулы системы TaB₂-SiC. После высушивания керамические гранулы отжигали в вакууме при температуре 1600 °C для удаления органической связки.

Для равномерного распределения гранул и матрицы смешивание компонентов производили в магнитной мешалке ММ-5М1.

Спекание керамических композитов осуществляли в установке горячего прессования при температуре 1800 °С и выдержке в течение 20 минут.

Испытания образцов на абразивный износ проводили согласно стандарту ASTM G65-04. Подготовленные образцы закрепляли в установке абразивного износа и ориентировали таким образом, чтобы резиновый ролик касался образца ровно по центру. На образец действовала нагрузка равная 13,61 кг при пройденном расстоянии 4309 м. Во время испытания песок, фракцией 200-300 мкм, попадал в место контакта ролика и образца со скоростью истечения 370±5 г/мин. По завершении испытания, а также на дистанции 1000, 2000, 3000 метров, образцы взвешивали на лабораторных весах с точностью 0,0001 г.

Микроструктура образцов после испытания стойкости к абразивному изнашиванию представлена на рисунке 1.

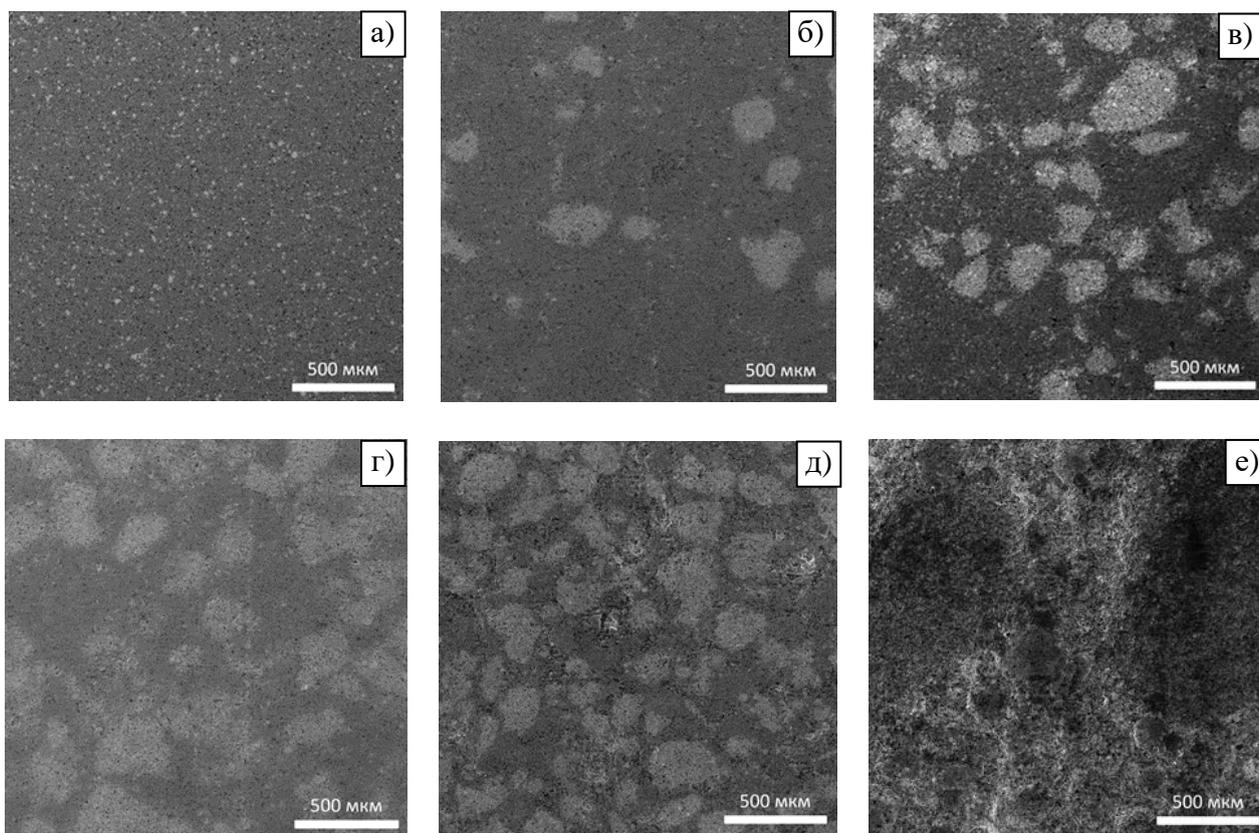


Рисунок 1 – Микроструктура композитов после абразивного изнашивания HC (а), DC10 (б), и DC20 (в), DC30 (г), DC40 (д) и DC50 (е)

Образцы HC, DC10 и DC20 после испытания на абразивный износ не имеют выраженных следов износа, поверхность выглядит полированной. Микроструктура образцов DC10 и DC20 свидетельствует о наличии следов износа преимущественно в матрице образцов, что объясняется наличием менее твердого ZrB_2 . На поверхности DC30 наблюдаются более выраженные следы износа, чем на образцах DC10 и DC20.

Поверхность образцов DC40 и DC50 изношена сильнее остальных. На некоторых участках образцов глубина износа составляет более 100 мкм. По-видимому, это связано с уменьшением мягкой матрицы на поверхности образцов, вследствие чего износ происходит более интенсивно, вырывая включения. На рисунке 2 показана зависимость потери объема от пройденного расстояния.

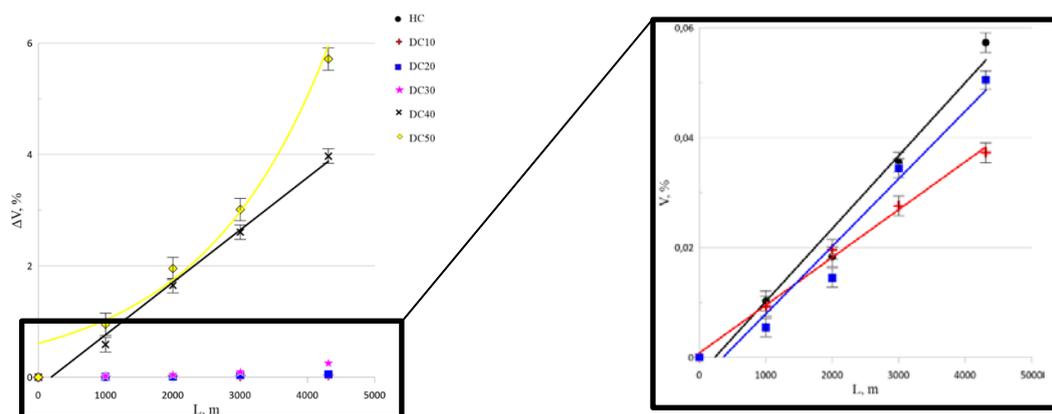


Рисунок 2 – Зависимости потери объема от пройденного расстояния

Наименьшую потерю объема демонстрируют образцы DC10, DC20 и HC, потеря объема которых, после 4309 метров пути составила 0,037 %, 0,05 % и 0,057 % соответственно. Увеличение интенсивности износа с увеличением объемного содержания включений, связано с уменьшением объема более мягкой матрицы, при котором износ происходит по границе матрица/включения с последующим вырыванием включений с поверхности образцов.

Показано, что увеличение содержания композиционных включений в матрице до 30 об. % приводит к кратному снижению стойкости к абразивному изнашиванию, а потеря объема увеличивается в геометрической прогрессии и при величине пути 4309 м достигает 0,24 %. Введение в композиционную матрицу 40 и 50 об. % композиционных включений приводит к катастрофическому снижению стойкости к абразивному изнашиванию, потеря объема при котором достигает 4 и 6 % соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0009.

Список литературы

1. Watts J., Hilmas G., Fahrenholtz W. G. Mechanical characterization of ZrB₂-SiC composites with varying SiC particle sizes // Journal of the American Ceramic Society. – 2011. – Vol. 94, №. 12. – P. 4410-4418.
2. Ke Z. et al. Microstructure and mechanical properties of dual-grain structured WC-Co cemented carbides // Ceramics International. – 2019. – Vol. 45. – №. 17. – P. 21528-21533.
3. Debnath D., Chakraborty S., Mallick A.R., Gupta R.K., Das P.K. Mechanical, tribological and thermal properties of hot pressed ZrB₂-SiC composite with SiC of different morphology // Advances in Applied Ceramics. – 2015. – Vol. 114, №. 1. – P. 45-54.
4. Venkateswaran T., Basu B., Raju G., Kim D.Y. Densification and properties of transition metal borides based cermets via spark plasma sintering // Journal of the European Ceramic Society. – 2006. – Vol. 26, №. 13 – P. 2431-2440.
5. Monteverde F., Bellosi A., Guicciardi S. Processing and properties of zirconium diboride-based composites // Journal of the European Ceramic Society. – 2002. – V. 22, №. 3. – P. 279-288.
6. Buyakov A., Shmakov V., Buyakova S. Dual composite architectonics: Fracture toughness and self-healing of ZrB₂-SiC-TaB₂ based UHTC // Ceramics International. – 2023. – V. 49, №. 9. – P. 13648-13656.