

УДК 666.3-492.2

АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС ДВОЙНЫХ КОМПОЗИТОВ ZrB_2-TaB_2-SiC

В.В. Шмаков^{1,2}, А.С. Буяков²

Научный руководитель: профессор, д.т.н., С.П. Буякова^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

E-mail: vvs82@tpu.ru

ABRASIVE WEAR OF ZrB_2-TaB_2-SiC DOUBLE COMPOSITES

V.V. Shmakov^{1,2}, A.S. Buyakov²

Scientific Supervisor: Prof. Dr., S.P. Buyakova^{1,2}

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii str., 2/4, 634055

E-mail: vvs82@tpu.ru

Abstract. The work is devoted to the study of the abrasive wear of ceramic materials of the ZrB_2-TaB_2-SiC system, which has a dual composite structure, of the "composite in composite" type, where the matrix is represented by ZrB_2-SiC , and the inclusions by TaB_2-SiC . The studied ceramics were obtained by hot pressing with different ratios of the matrix and inclusions from 90/10 to 50/50. Sample with a homogeneous distribution of components served as a control. It has been found that the increase in content is included in the catastrophic drop in wear resistance. The volume loss of DC10, DC20 and HC samples was shown to be 0.037%, 0.05% and 0.057%, respectively. At the same time, the consumption of DC40 and DC50 while passing the same distance lost 3.97% and 5.71% of the initial volume, respectively.

Введение. Диборид циркония и композиты на его основе являются одними из самых привлекательных материалов из класса высокотемпературных керамик. Помимо высокой температуры плавления ($>3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) и относительно низкой плотности ($\sim 6,09\text{ г/см}^3$), ZrB_2 обладает высокой твердостью и стойкостью к окислению [1, 2]. Комбинация этих свойств позволяет рассматривать керамику на основе ZrB_2 в качестве тепловой защиты плазменных электродов, ядерных реакторов и др. [3, 4]. Кроме того, дибориды переходных металлов используют в качестве режущего инструмента и деталей машин, работающих в условиях абразивного износа [5, 6]. В качестве износостойкой керамики наиболее распространено применение плотных оксидов алюминия, диоксида циркония и карбида кремния [7]. Однако, авторы работы указывают, что полученные композиты системы $SiC-Al_2O_3-(SiO_2)$ имеют максимальную температуру эксплуатации не более $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, что сильно уступает композитам на основе системы ZrB_2-SiC , которые способны работать при температуре выше $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8]. Фактором, существенно ограничивающим применения керамик в целом, является их низкая вязкость разрушения. При этом при повышенных температурах в керамиках может быть реализован эффект самозалечивания дефектов и самовосстановление свойств. Приложение принципов структурного дизайна и организации двойной керамической структуры позволит спроектировать материал, который будет адекватно реагировать на внешние воздействия [9]. Ранее [10] было показано, что формирование двойной композиционной

структуры позволяет кратно увеличить вязкость разрушения материала и создать условия для реализации процесса высокотемпературного самозалечивания эксплуатационных дефектов. Данная работа посвящена исследованию абразивного износа системы ZrB_2 - SiC - TaB_2 со структурой типа «композит в композите».

Экспериментальная часть. Порошки ZrB_2 , SiC и TaB_2 были подвергнуты высокоэнергетической механической активации в планетарном смесителе типа АГО-2 в течение 3 мин при частоте вращения барабанов 1820 об/мин. Матрица исследуемых керамик была представлена ZrB_2 и SiC , в качестве включений выступали композиционные гранулы на основе TaB_2 и SiC . Дисперсные гранулы сферической формы получали методом лиофильной сушки. В качестве контрольного образца исследован композит аналогичного фазового состава с гомогенным распределением компонентов в объеме материала. Исследуемые керамики были получены методом горячего прессования в среде аргона при температуре 1750 °С, с выдержкой в течение 20 минут. Гомогенный композит обозначен НС, двойные композиты обозначены DCX, где X отражает количество включений в составе (об. %). Испытания на абразивный износ производили согласно стандарту ASTM G65-04. В процессе испытания на образец действовала нагрузка равная 13,61 кг при пройденном расстоянии 4309 м. Во время испытания силикатный песок, фракцией 200-300 мкм, попадал в место контакта ролика и образца со скоростью потока 370 ± 5 г/мин. Оценка изменения объема исследуемых образцов в процессе испытания осуществлялась с учетом износа контактного ролика.

Результаты. На рисунке 1 (а) показана зависимость потери объема всех исследуемых образцов от пройденного расстояния. Поскольку образцы двойных композитов с соотношением матрицы и включений 60/40 и 50/50 изнашиваются заметно более интенсивно, эти образцы отсутствуют на рисунке 1 (б). Наименьшей потерей объема характеризуются образцы с соотношением матрицы и включений DC10, DC20 и НС.

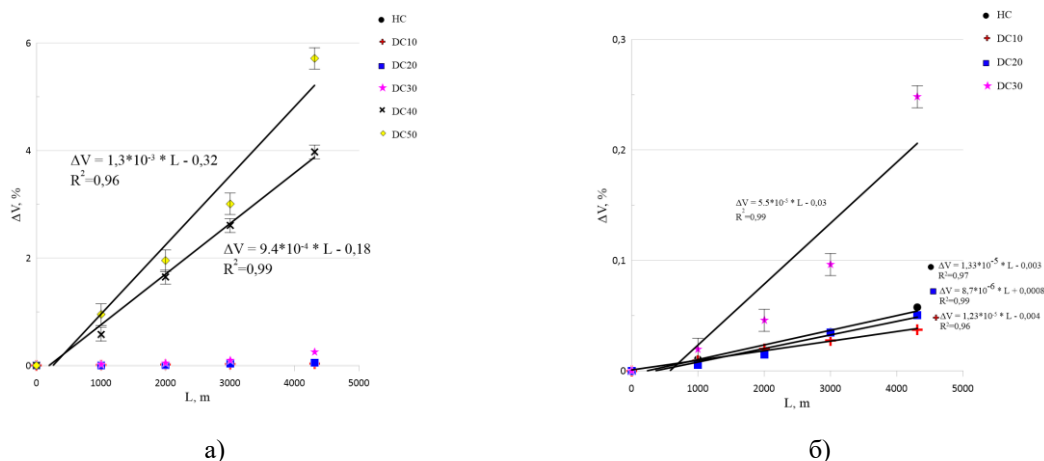


Рис. 1. Зависимость потери объема исследуемых образцов от пройденного расстояния

а) – все образцы; б) – без 60/40 и 50/50

На рисунке 2 показана поверхность износа образцов. Видно, что образец НС не имеет следов вырывания зерен с поверхности. Образцы DC10 и DC20 демонстрируют незначительные следы износа с вырыванием некоторых зерен с поверхности. Образец DC30 заметно более изношен, чем предыдущие. На его поверхности явно выраженный след износа. На поверхности образцов DC40 и DC50 после износа наблюдается рельеф в месте контакта образцов с резиновым роликом.

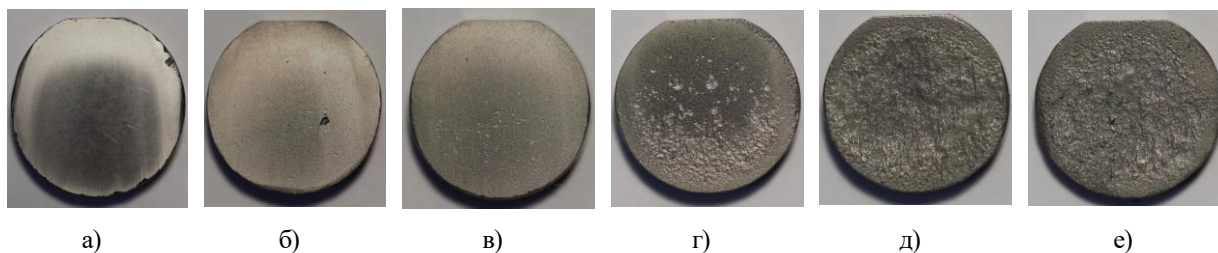


Рис. 2. Поверхность износа образцов: а – гомогенный; б – 90/10; в – 80/20; г – 70/30; д – 60/40; е – 50/50

Закключение. Показано, что увеличение объемного содержания включений в двойных композиционных материалах системы ZrB_2 -SiC-TaB₂ приводит к катастрофическому снижению износостойкости композитов. 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. Образцы DC40 и DC50 при прохождении того же пути теряют 3,97 % и 5,71 % объема соответственно. Увеличение интенсивности износа с увеличением объемного содержания включений, связано со слабыми границами раздела матрица/включения, где при взаимодействии с абразивными частицами, происходит вырывание зерен включений.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fahrenholtz W.G., Hilmas G.E., Talmy I., Zaykoski J.A. Refractory diborides of zirconium and hafnium // Journal of the American Ceramic Society. – 2007. – Vol. 90., №. 5. – P. 1347-1364.
2. Sciti D., Guicciardi S., Bellosi A. Properties of a pressureless-sintered ZrB_2 -MoSi₂ ceramic composite // Journal of the American Ceramic Society. – 2006. – Vol. 89., №. 7. – P. 2320-2322.
3. Wang C.A., Wang M.F. Thermal shock behavior of ZrB_2 -SiC ceramics with different quenching media // Frontiers of Materials Science. – 2013. – Vol. 7., №. 2. – P. 184-189.
4. Levine S.R., Opila E.J., Halbig M.C., Kiser J.D., Singh M., Salem J.A. Evaluation of ultra-high temperature ceramics for aeropropulsion use // Journal of the European Ceramic Society. – 2002. – Vol. 22., №. 14-15. – P. 2757-2767.
5. Venkateswaran T., Basu B., Raju G.B., 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.
6. Xiao G.Q., Fu Y.L., Zhang Z.W., Hou A.D. Mechanism and microstructural evolution of combustion synthesis of ZrB_2 -Al₂O₃ composite powders // Ceramics International. – 2015. – Vol. 41., №. 4. – P. 5790-5797.
7. Medvedovski E. Wear-resistant engineering ceramics // Wear. – 2001. – T. 249., №.9. – C. 821-828.
8. Debnath D., Chakraborty S., Mallick A. R., Gupta R. K., Das P. K. Mechanical, tribological and thermal properties of hot pressed ZrB_2 -SiC composite with SiC of different morphology // Advances in Applied Ceramics. – 2015. – Vol. 114., №.1. – P. 45-54.
9. Launey M.E., Ritchie R.O. On the fracture toughness of advanced materials // Advanced Materials. – 2009. – Vol. 21., №.20. – P. 2103-2110.
10. Buyakov A., Shmakov V., Buyakova S. Dual composite architectonics: Fracture toughness and self-healing of ZrB_2 -SiC-TaB₂ based UHTC // Ceramics International. – 2022.