

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ДВОЙНОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ СТРУКТУРОЙ

М.Р.СУХОВА¹, В.В.ШМАКОВ^{1,2}, А.С.БУЯКОВ^{1,2}, С.П.БУЯКОВА^{1,2}

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: mrs5@tpu.ru

Керамические материалы обладают рядом уникальных свойств, таких как низкий удельный вес, высокая твердость, высокая температура плавления, высокое сопротивление абразивному и абляционному износу. Комбинация этих свойств позволяет использовать высокотемпературную керамику, к которой относятся карбиды, бориды и нитриды переходных металлов IV и V групп, в качестве термобарьерных материалов для высокоэнергетических установок, работающих в условиях высоких температур. Вместе с тем, недостатком керамических материалов является их высокая хрупкость и, как следствие, низкая надежность при эксплуатации в условиях динамических, в том числе термических, нагрузок [1].

Известно, что некоторые свойства композиционных керамических материалов являются структурно зависимыми, то есть определяются не только свойствами отдельных компонентов, но и внутренней структурой материала. В последние годы исследователями активно развиваются направления структурного дизайна композиционных материалов, сконцентрированные на улучшении функциональных характеристик материалов известных компонентных и фазовых составов. Одним из таких подходов является формирование двойной композиционной структуры.

Эксплуатационные дефекты в керамических материалах способны привести к потере прочности и разрушению всей конструкции. Устранение дефектов, вызванных механическим износом, или воздействием ударных и динамических нагрузок может быть реализовано за счет способности некоторых материалов к проявлению механизма самовосстановления. Известно, что в кислородсодержащей среде при высоких температурах, в материалах на основе ZrB_2 и SiC , образуется боросиликатное стекло, заполняющее дефекты [2].

Целью настоящей работы является исследование влияния структурного фактора на эксплуатационные характеристики композитов на основе диборида циркония, карбида кремния и диборида тантала, структура которых представлена по типу «композит в композите».

В работе исследованы композиционные керамические материалы системы ZrB_2 - SiC - TaB_2 , где матрица была представлена ZrB_2 - SiC в соотношении 80-20 об. %, а включения TaB_2 - SiC , соотношение которых составляло 80 и 20 об. % соответственно. Всего было получено 6 составов: пять из них с двойной композиционной структурой, с содержанием включений 10, 20, 30, 40 и 50 об. % и контрольный состав с гомогенным распределением ZrB_2 и SiC . Образцы были получены методом горячего прессования при температуре 1800 °C в течение 45 минут. Структура образцов исследована с помощью растрового электронного микроскопа TESCAN VEGA 3, рисунок 1. Микротвердость по Виккерсу определена с помощью микротвердомера ПМТ 3-М по ГОСТ 9450-76 (СТ СЭВ 1195-78) [3], рисунок 1.

В результате проведенных исследований обнаружено, что у образцов с двойной композиционной структурой происходит увеличение микротвердости на 32-43% по сравнению с образцом с гомогенным распределением компонентов. Для исследования критического коэффициента интенсивности напряжений проводились испытания на трехточечный изгиб по стандарту ASTM C1421 [4]. Было обнаружено, что у образцов с двойной композиционной структурой происходит увеличение вязкости разрушения на 22-60% по сравнению с образцом с гомогенным распределением компонентов, таблица 1.

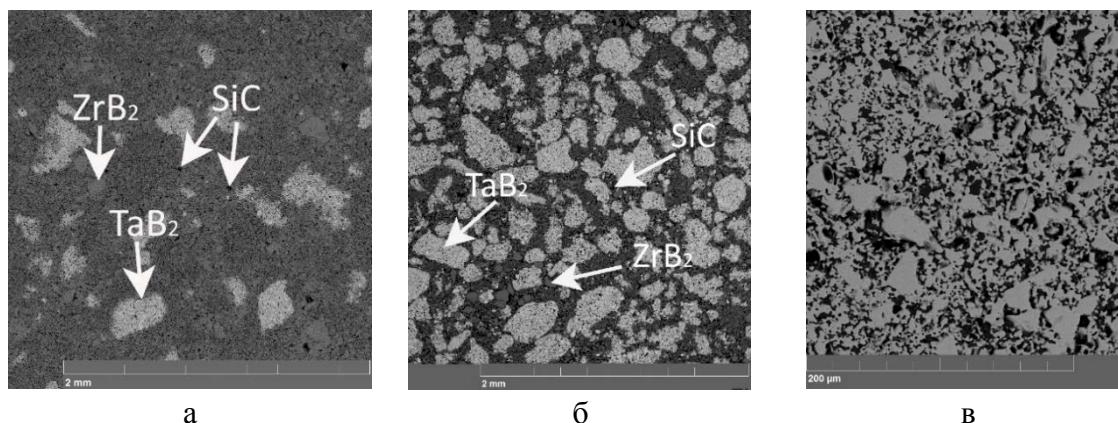


Рисунок 1 – Снимки микроструктуры образцов:
а) композит $\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 90/10, б) композит $\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 50/50, в) композит $\text{ZrB}_2\text{-20\%SiC}$ с гомогенным распределением компонентов

Таблица 1 – Значения микротвердости и вязкости разрушения исследуемых материалов

Образец	Среднее значение микротвердости, ГПа	K_{IC} , $\text{МПа}\cdot\text{м}^{-1/2}$
$\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 90/10	$23,82\pm 2,33$	$4,16\pm 0,08$
$\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 80/20	$23,79\pm 5,07$	$4,67\pm 0,08$
$\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 70/30	$23,72\pm 6,00$	$7,57\pm 0,17$
$\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 60/40	$23,03\pm 4,04$	$8,08\pm 0,28$
$\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 50/50	$19,96\pm 4,09$	$8,2\pm 0,08$
Контрольный состав $\text{ZrB}_2\text{-20\%SiC}$	$13,43\pm 2,24$	$3,22\pm 0,16$

Для исследования кинетики самозалечивания образцов на образцах делали пропилы. Условием для эффективного самовосстановления была высокая температура. Образцы нагревались в воздушной печи до температур 1000 °C, 1200 °C, 1400 °C и 1500 °C, со скоростью нагрева 200 °C·час⁻¹ в час без изотермической выдержки, с последующим охлаждением вместе с печью. На рисунке 2 представлен процесс самовосстановления дефектов на примере образца с составом $\text{ZrB}_2\text{-SiC-TaB}_2$ 90/10.

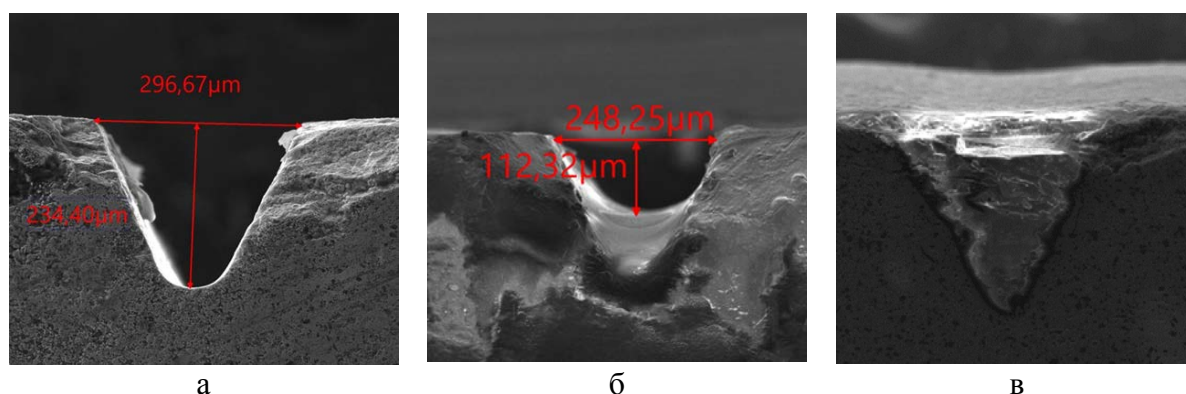


Рисунок 2 – Процесс самовосстановления дефекта на образце с составом 90/10:
а) изображение дефекта при комнатной температуре, б) при 1400 °C, в) при 1500 °C

На рисунке 3 представлены зависимости процесса самозалечивания дефектов в образцах: изменение глубины дефекта от температуры и изменение массы от температуры соответственно.

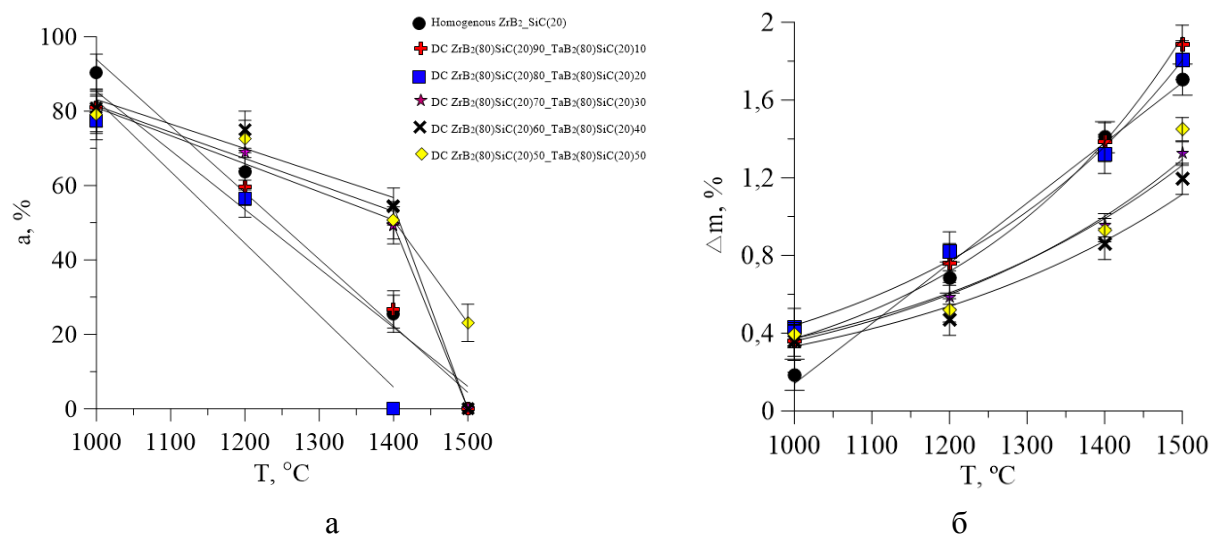


Рисунок 3 – Графики зависимости процесса самозалечивания дефектов в образцах: а) изменение глубины дефекта от температуры, б) изменение массы от температуры

Таким образом, в результате было обнаружено, что все исследуемые материалы демонстрируют устойчивую тенденцию к самозалечиванию. Наименьший прирост массы произошел у образца с составом 60/40. Наибольшая эффективность отклика исследуемых керамик на эксплуатацию в окислительной среде соответствует составу 80/20. Увеличение вязкости разрушения наблюдается у всех образцов с двойной композиционной структурой относительно образца с гомогенным распределением компонентов в матрице. Наибольшая устойчивость к распространению трещины наблюдается у образцов с большим содержанием включений (составы 60/40 и 50/50).

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

Список литературы

1. Панова И. М. Особенности конструирования изделий из керамических материалов // Известия вузов // Машиностроение. – 2013. – №4. – С. 46.
2. Симоненко Е.П. Ультравысокотемпературные керамические материалы: современные проблемы и тенденции // Москва. – 2020. – С. 324.
3. ГОСТ 9450-76 (СТ СЭВ 1195-78) Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.
4. ASTM C1421, Standard Test Methods for Determination of Fracture Toughness of Advanced Ceramics at Ambient Temperature.