

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА С
БИНЕПРЕРЫВНОЙ СТРУКТУРОЙ**

М.Д. КОРМАШОВА¹, А.С. БУЯКОВ², В.Ф. ВОЙЦИК², Ю.А. МИРОВОЙ², С.П. БУЯКОВА²

Томский политехнический университет, Томск

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

E-mail: kormashova0310@gmail.com

В настоящее время керамические материалы на основе карбидов и боридов переходных металлов широко применяются в качестве теплоизоляционных материалов в аэрокосмических транспортных аппаратах, деталей ракетных двигателей, элементов печей, защитных покрытий и т.д. Существенным ограничением широкого применения данных материалов является их хрупкость. Керамики обладают низкой вязкостью разрушения, то есть способностью сопротивляться образованию и распространению трещин. В связи с этим, одним из главных направлений в исследовании керамических материалов является повышение их трещиностойкости, что позволит увеличить область применения и длительность их работы.

Диборид циркония (ZrB_2) обладает относительно низкой плотностью, высокими механическими свойствами в результате сильной ковалентной связи и химической инертностью. ZrB_2 легируют карбидом кремния (SiC), с целью увеличения его прочности при высоких температурах и износостойкости [1-2]. Дисилицид молибдена ($MoSi_2$) добавляют в качестве спекающего средства, обеспечивающего уплотнение керамики на основе ZrB_2 . Также, добавки $MoSi_2$ улучшают стойкость к окислению, способствуя образованию боросиликатного стекла. Образование боросиликатных соединений также способствует самовосстановлению дефектов в керамических композитах. Наконец, $MoSi_2$ придает пластичность ZrB_2 за счет пластической деформации при температуре выше 900 °С [3-4]. Таким образом, керамический композит системы ZrB_2 -SiC- $MoSi_2$ является перспективным материалом для различных высокотемпературных применений ввиду высокой механической прочности, стойкости к окислению при повышенных температурах и способности к самозалечиванию дефектов.

Одной из возможностей обеспечения превосходных механических, электрических, тепловых и других свойств является проектирование структуры материалов. В данной работе проводилось исследование двойных композиционных структур, обусловленное целью увеличения вязкости разрушения и плотности керамических материалов с сохранением их прочности и твердости. Двойной композит представляет собой гибридный керамический композиционный материал в виде частиц, состоящий из гранул, содержащих одну пропорцию составляющих компонентов, распределенных в непрерывной взаимосвязанной матрице, содержащей составляющие, смешанные в различной пропорции. То есть отдельно матрица и включения уже представляют собой простые композиционные материалы.

Целью работы является создание керамических композитов с взаимопроникающей кластерной структурой, изучение их микроструктуры и механических свойств.

В ходе работы было создано два двойных композита с различным соотношением матрицы (ZrB_2 – 82,6 об.%, SiC – 17,4 об.%) и включений (ZrB_2 – 80,5 об.%, $MoSi_2$ – 19,5 об.%) : 60/40 и 50/50 об. %. В качестве контрольного образца выступал композит того же состава, но с гомогенным распределением частиц.

Исходные порошки были подвергнуты высокоэнергетической механической активации в планетарном смесителе типа АГО-2 в течение 3 мин. Гранулы были получены методом распылительной сушки и затем спечены при температуре 1600 °С. Образцы получены методом горячего прессования при температуре 1900 °С (нагрузка – 40 МПа, 20 мин). Морфология образцов исследована с помощью растровой электронной микроскопии. Вязкость разрушения измерена методом V-образного надреза при 3-х точечном изгибе.

Средний размер гранул составил $157,31 \pm 84,96$ мкм, твердость по Виккерсу – 13 ГПа. Твердость матрицы в композите выше и равна 17 ГПа, что объяснимо отсутствием в ней MoSi_2 . Изучение микроструктуры образцов показало, что гранулы имеют форму близкую к сферической и равномерно распределены в объеме композита (рисунок 1). Согласно рентгеноструктурному анализу, ZrB_2 , SiC и MoSi_2 в исследуемых образцах представлены гексагональной кристаллической структурой.

Относительная пористость двойных композитов ниже, чем у контрольного образца, что свидетельствует о получении более плотных керамических материалов при создании двойных композиционных структур.

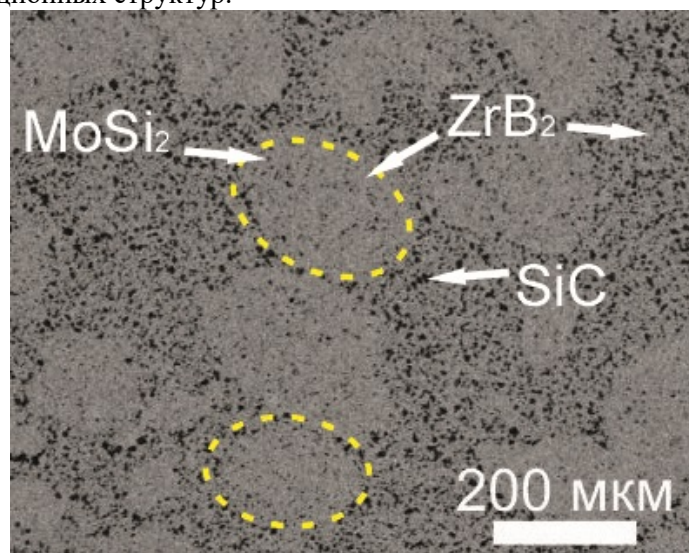


Рисунок 1 – Микроструктура двойного композита (соотношение матрицы и включений 60/40)

Вязкость разрушения двойного композита с соотношением матрицы и включений 60/40 равна $3,54 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$, данный результат на 19,62 % выше, чем у контрольного образца. Это доказывает, что создание непрерывной структуры в композите позволяет увеличить трещиностойкость керамических материалов без особого снижения их твердости.

Список литературы

1. Zhu S. et al. Pressureless sintering of carbon-coated zirconium diboride powders // *Materials Science and Engineering: A*. – 2007. – Т. 459. – №. 1-2. – С. 167-171.
2. Zimmermann J. W. et al. Thermophysical properties of ZrB_2 and ZrB_2 - SiC ceramics // *Journal of the American Ceramic Society*. – 2008. – Т. 91. – №. 5. – С. 1405-1411.
3. Monteverde F. et al. Escape from the strength-to-toughness paradox: Bulk ceramics through dual composite architectures // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2018. – Т. 38. – №. 8. – С. 2961-2970.
4. Srinivasan S. R., Schwarz R. B., Embury J. D. Ductile-to-brittle transition in MoSi_2 // *MRS Online Proceedings Library Archive*. – 1992. – Т. 288.