

Введение Для успешного развития современной техники необходимо создание новых материалов, способных работать в экстремальных условиях и обладающих сложным комплексом физико-технических свойств: тугоплавкостью, жаростойкостью, высокими характеристиками упругости и твердости, стойкостью к агрессивным средам. Наиболее перспективными материалами в этом отношении являются композиционные материалы на основе ковалентных соединений в системе Si-B-C-N, а также соединений переходных металлов IV-VI группы с бором, углеродом, азотом. Керамика на их основе завоевывает все большее признание за счет сочетания уникальных электрофизических и механических свойств, обладая при этом высокой химической и термической устойчивостью. Ряд интересных температурных и механических свойств боридов, например - общая для всех них высокая температура плавления и высокая твердость, уже исследованы и успешно эксплуатируются в таких областях как износостойкие изделия. Тем не менее, общий интерес к боридам существенно возрос одновременно с растущими фундаментальными знаниями о технической керамике. Исследование материалов с исключительными механическими, химическими, электрическими и температурными свойствами выявило, что соединения бора являются прекрасными кандидатами для использования в высокотехнологичных областях, наряду с хорошо известными оксидными керамическими материалами, а также нитридом кремния, карбидом кремния и твердыми сплавами. В тройной системе B₄C-SiC-TiB₂ возможно создание керамических материалов различного назначения, свойства которых можно регулировать через параметры структуры и технологии.

Экспериментальная часть Характеристика веществ и материалов, использованных при проведении исследований, приведены в таблице 1. Выбор соотношения компонентов осуществлялся на основании расчетной поверхности ликвидуса в трёхкомпонентной диаграмме состояния SiC-B₄C-TiB₂. Для исследования выбрано 4 состава (табл. 2): - состав I - эвтектический состав; - состав II эквиобъемный состав; - состав III - состав, лежащий на середине линии, соединяющей тройную эвтектику системы SiC-B₄C-TiB₂ и двойную эвтектику системы B₄C-TiB₂; - состав IV - состав, лежащий на середине линии, соединяющей тройную эвтектику системы SiC-B₄C-TiB₂ и двойную эвтектику системы SiC-B₄C. Таблица 1 - Характеристика основных исходных веществ

Наименование материала	Химич. формула	Марка, ГОСТ, ТУ	Производитель
Карбид кремния	SiC	FCP 15 RTP	Saint-Gobain, Норвегия
Карбид бора	B ₄ C	ТУ 6-09-668-76	ООО «Реактив», г. Донецк, Украина
Диборид титана	TiB ₂	ТУ 6-09-03-7-75	ООО «Реактив», г. Донецк, Украина

Отработка режимов спекания композитов

Компоненты в выбранных соотношениях вместе с временной технологической связкой (парафин, в количестве 2% от массы компонентов) измельчались в вибромельнице в среде бензине в течении 80 часов. Измельченные порошки высушивались в вакуумном сушильном шкафу и гранулировались протиркой

через сито № 0125. Из пресс-порошка одноосным прессованием при давлении 1т/см² получали образцы цилиндрической формы (Ø20мм и высотой 10мм).

Таблица 2 - Соотношение компонентов выбранных составов № состава SiC B₄C TiB₂ SiC B₄C TiB₂ Мольные % Массовые % I 37,40 44,70 17,70 28,80 47,30 23,70 II 54,40 28,10 17,50 44,10 31,30 24,60 III 18,00 60,00 22,00 12,98 59,54 27,49 IV 53,00 22,00 23,00 43,04 24,59 32,37

Образцы дополнительно гидростатически обжимались при давлении 10т/см². Подготовленные образцы спекались: - методом свободного спекания в печи сопротивления в среде аргона; - методом горячего прессования. Для составов II, III, IV наблюдается активная рекристаллизация материала при спекании. Состав I, в силу, очевидно, эвтектического состава, имеет размер фаз в среднем в 3 раза меньше, чем другие составы. Однако, этот состав, также имеет высокую пористость в спеченном состоянии. Разница в микроструктуре материалов, спеченных при 2050 и 2100°С невелика. При T_{сп}=2150°С все составы сильно оплавилась и полностью потеряли первоначальную форму. Получение плотноспеченных материалов на основе системы SiC-B₄C-TiB₂ свободным спеканием затруднено узкой температурной зоной спекания, близкой к температуре появления эвтектического расплава и высокой склонностью материала к рекристаллизации. При понижении температуры спекания материалы имеют высокую остаточную пористость. Для получения плотноспеченных материалов на основе системы SiC-B₄C-TiB₂ необходим тщательный подбор концентрации активаторов спекания (углерод, бор) и режимов механоактивации исходных порошков. Горячее прессование проводилось при температуре 2100-2125°С при давлении 35МПа, со скоростью подъема температуры 400°/час. Для горячего прессования проводился отдельный совместный помол компонентов без использования временной технологической связки. Материалы, полученные горячим прессованием, показали наибольшую плотность после спекания и дальнейшие измерения механических свойств проводились на образцах, приготовленных методом горячего прессования. Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод о том, что наилучшими физико-механическими свойствами обладают материалы состава I, II и IV. Методика определения прочности керамических композитов при высоких температурах Испытания по определению высокотемпературной прочности проводились на модифицированной установке по измерению крипа, позволяющей испытывать образцы на изгиб при температурах до 1300°С в воздушной атмосфере. Образцы укладывались в установку при комнатной температуре, затем производился нагрев до заданной температуры испытаний со скоростью 600°/час, изотермическая выдержка 5-10 мин (для гарантированного равномерного прогрева образца и всей системы) и подавалась нагрузка на образец. Затем производилась замена образца на следующий и подогрев его до температуры испытаний. Высокотемпературная прочность материалов Получены результаты

проведенных испытаний по определению высокотемпературной прочности материалов системы SiC-B₄C-TiB₂. В диапазоне температур 1000-1200°C образцы всех исследованных составов демонстрируют экстремум прочности на изгиб. Данный интервал температур составляет 0,6-0,7 от температуры тройной эвтектики, что соотносится с данными полученными при исследовании высокотемпературной прочности в других системах. При этих температурах в материалах рассматриваемой системы проявляются механизмы пластического течения, которые вызваны увеличением пластичности межзеренных границ. Это способствует релаксации внутренних напряжений, возникающих при воздействии на материал. Данная релаксация напряжений препятствует образованию и распространению трещин в материале, именно поэтому в интервале температур 1000-1200°C наблюдается легкое увеличение прочности на изгиб. При повышении температуры свыше 1200°C наблюдается значительное снижение прочности, обусловленное термическим разупрочнением материала. Наибольшими значениями прочности в рассматриваемой системе обладает состав I, в котором компоненты находятся в эвтектическом соотношении. Максимум прочности достигается при температуре 1200°C и составляет 505 МПа. Заключение Методом “свободного” спекания (без приложения внешнего давления) проанализирована взаимосвязь между температурой спекания, плотностью и микроструктурой полученных композитов. Методом горячего прессования получены плотные материалы, причем для эвтектического состава: $\sigma_{изг}^{20^\circ\text{C}}=478$ МПа и $\sigma_{изг}^{1200^\circ\text{C}}=505$ МПа. Твердость полученного материала при комнатной температуре составляет 30 ГПа, трещиностойкость 7,2 МПа*м^{1/2}. Полученные материалы можно рекомендовать к использованию в качестве конструкционных, жаростойких и жаропрочных материалов и материалов, работающих в условиях высокого абразивного износа.