

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И МИКРОСТРУКТУРЫ КЕРАМИКИ В₄С,
ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ПОРОШКОВ СУБМИКРОННОЙ ФРАКЦИИ С НАНОДОБАВКАМИ**

М.С. Петюкевич, А.С. Братухина, А.О.Хасанов

Научный руководитель: профессор, д.т.н. О.Л. Хасанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: petukevich@tpu.ru

A new way of obtaining products of boron carbide powders with upgraded strength characteristics leading to improved performance properties by the using of submicron powders and nano-additives has been proposed in the paper. The properties of ceramics modified nanoparticles in different mass quantities have been investigated.

Карбид бора (В₄С) является наиболее предпочтительным материалом по созданию бронезащиты, сочетающим высокую твердость (третий по твердости материал после алмаза и кубического нитрида бора) с низким удельным весом (2,52 г/см³) и температурой плавления 2350°С. Керамика на основе В₄С, широко используемая до настоящего времени в технике, характеризуется крупнокристаллической структурой, хрупкостью, низкой трещиностойкостью и высокой чувствительностью к эрозионному и абразивному воздействию, что является недостатком и значительно ограничивает ее применение [1,2]. Для достижения оптимального баланса характеристик «твердость-трещиностойкость» керамики на основе карбида бора, а следовательно, для улучшения эксплуатационных свойств изделий, необходимо создание плотной керамики с минимальным размером зерна, минимальной пористостью и хорошо сформированными межзеренными границами [3]. Новым направлением получения высокоэффективных изделий из порошков карбида бора, является применение субмикронных порошков и использование нанодобавок [4].

Цель работы – получение керамических образцов призматической формы из порошков В₄С субмикронной фракции с нанодобавками, методом SPS-спекания.

В качестве шихты для изготовления керамики были выбраны смеси на основе карбида бора с различным содержанием добавок нанопорошка карбида бора (НП) (PlasmaChem GmbH, Германия). Порошок карбида бора марки М-60 был диспергирован в пневмо-циркуляционном аппарате до субмикронного размера (0,8 мкм) и принят за основу для приготовления смеси [4].

Для исследования физических свойств порошковых смесей (из субмикронного порошка с 1, 5, 10 мас.% добавкой нанопорошка) были исследованы: гранулометрический состав на лазерном анализаторе размера частиц SALD 7101; морфология частиц нанопорошка и их размеры исследованы на просвечивающем электронном микроскопе JEOL2100F; морфологические особенности частиц – на сканирующем электронном микроскопе (JEOL SEM-7500FA); удельная поверхность – методом БЭТ (на приборе «СОРБИ – М»).

Керамические образцы призматической формы размерами (35×4,5×4,5) из порошковой смеси были получены на установке SPS (модель Labox-1575 компании Sinter Land) в институте Гидродинамики СО РАН (г. Новосибирск). Механические свойства спеченных образцов исследовались методом индентирования с использованием алмазной пирамидки Виккерса на приборе ПМТ-3М. Микротвердость

керамики и ее трещиностойкость изучались при средних нагрузках $P = 1,98$ и $4,9$ Н.

Исследование нанопорошков карбида бора на просвечивающем электронном микроскопе показало, что частицы нанопорошка имеют как сферическую форму с размерами 20–40 нм так и форму пластинок толщиной 1 нм и поперечными размерами 10–100 нм, (рис. 1а, 1б).

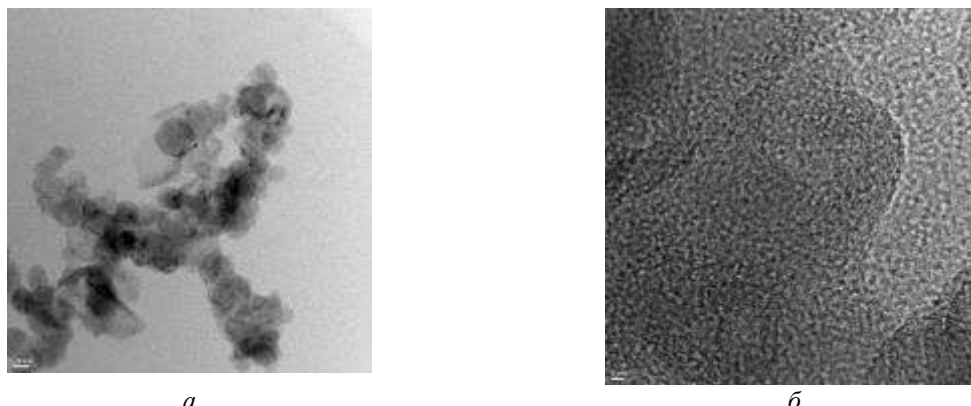


Рис.1. Электронно-микроскопическое изображение частиц нанопорошка: а- сферическая и пластинчатая форма частиц порошка, б-кристаллическая структура нанопорошка пластинчатой формы.

СЭМ-анализ порошковых смесей показывает, что частицы нанопорошка довольно равномерно распределены по поверхности субмикронных порошков карбида бора без образования скоплений (рис. 2а, 2б)).

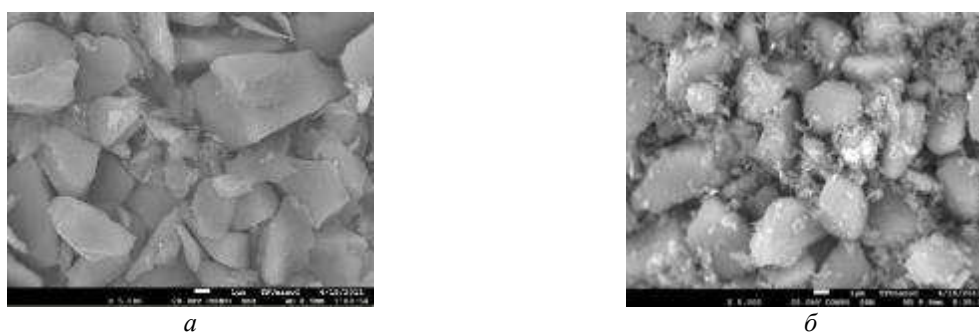


Рис.2. (а,б) СЭМ изображение исходного порошка карбида бора (а)и порошка с нанодобавками.

Результаты измерения гранулометрического состава и удельной поверхности порошковых смесей представлены в табл. 1–2.

Таблица 1. Удельная поверхность порошковых смесей

№	Образец	Масса, г	Удельная поверхность, м ² /г	Коэффициент корреляции
1	В4С 1% -01	0.5293	13.37 ± 0.0477	0.99998
2	В4С 1 % -02	0.4744	13.52 ± 0.16	0.99976
3	В4С 5%-02	0.3769	16.71 ± 0.912	0.99445
4	В4С 5%-03	0.5315	16.76 ± 0.112	0.99988
5	В4С 5%-04	0.5257	16.26 ± 0.138	0.99986
6	В4С 10%-01	0.3196	14.75 ± 0.102	0.99994
7	В4С 10%-02	0.4999	13.92 ± 0.178	0.99981
8	В4С 10%-03	0.3215	14.83 ± 0.145	0.99986
9	НП В4С Plasma -02	0.0636	61.12 ± 0.875	0.99969

Видно, что внесение нанопорошка карбида бора в исходный диспергированный порошок ведет к увеличению удельной поверхности смеси порошка.

Измерения плотности керамики с добавками 1, 5, 10 мас.%, показали ее высокие значения. По всей

вероятности, такое высокое значение плотности связано с равномерным распределением нанопорошка карбида бора по объему используемой шихты и созданием плотной мелкозернистой структуры в керамике.

Значение коэффициента трещиностойкости при этой концентрации значительно увеличивается, достигая величины $6,01 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, также увеличивается микротвердость, достигая величины 38, 23 ГПа.

Таблица 3. Физико-механические свойства образцов цилиндрической формы из карбида бора

Содержание нанодобавки, %	H_v , ГПа	K_{Ic} , МПа · м ^{1/2}	$\rho_{отн.}$	E, ГПа
1	37,27	5,22	2,47	390
5	38,23	6,01	2,52	500
10	37,11	5,66	2,50	383

Выводы:

1. Методом спекания в плазме искровых разрядов из порошка карбида бора субмикронной фракции с нанодобавками 1, 5, 10 мас.% получены высокоплотные образцы призматической формы размерами (35×4,5×4,5) с повышенными физико-механическими свойствами.
2. Проведены исследования физических свойств порошковых смесей и исследованы механические свойства керамик. Наилучшим сочетание микротвердости и трещиностойкости обладает керамика из шихты с добавкой нанопорошка 5 мас.%. Сочетание состава из субмикронных фракций с нанодобавкой 1,5,10 мас.% благоприятно для получения плотной керамики, а присутствие в шихте 5 % мас. нанодобавки активизирует процесс спекания и способствует достижению высокой плотности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кислый П.С., Кузнецова М.А. Карбид бора. – Киев: Наук.думка, 1988. – 216 с.
2. Кременчугский М.В., Г.Г Савкин, В.И. Малинов, А.И. Рачковский, Г.Ю. Сморгчов. Сверхлегкие керамические бронезащитные материалы, получаемые с применением наноструктурных механоактивированных порошков карбида бора // Российские нанотехнологии. – 2008. – Т. 3 – № 3–4. – С. 141–146.
3. Хасанов А.О. З.Г. Бикбаева., В.В. Полисадова, Валова Я. В., А.А. Качаев, Э.С. Двилис, О.Л. Хасанов. Определение оптимальных режимов изготовления высокоплотной керамики из порошка карбида бора методом спекания в плазме искрового разряда // Современные керамические материалы. Свойства. Технологии. Применение (КерамСиб-2011): Труды III Междунар. научно-практической конференции и специализированной выставки.– Новосибирск: Изд-во «Нонпарель», 2011. – С.122.
4. Белов Н.Н., Бирюков Ю.А., Росляк А.Т. Механизм измельчения частиц при получении субмикронных порошков тугоплавких соединений в пневмоциркуляционном аппарате // Доклады Академии наук 2004 – Т. 397 – № 3. – С. 337–341.