

# ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ С ВЫСОКИМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

С.Ю. Модин, Н.А. Попова, Ю.Е. Лебедева, О.Ю. Сорокин, Д.О. Лемешев

Научный руководитель – к.т.н. Д.О. Лемешев

*Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов ГИЦ РФ*

*105005, Россия, г. Москва, ул. Радио 17*

*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева*

*125047, Россия, г. Москва, пл. Миусская 9*

Керамика из карбида кремния давно занимает лидирующее место в различных отраслях промышленности: двигателестроении, машиностроении, нефтедобыче и нефтепереработке, ядерной энергетике и т.д. благодаря совокупности уникальных физико-механических характеристик SiC [1]. Для активирования процесса спекания SiC одним из способов является легирование его бором, углеродом или их комбинацией [2]. Для введения добавки бора в карбид кремния перспективен метод механической активации, представляющий большой интерес благодаря возможности «деформационного смешивания» компонентов смеси, т. е. перемешивания исходных компонентов на атомном уровне [3].

Целью настоящей работы является консолидация промышленного порошка карбида кремния ( $\alpha$ -SiC) методом искрового плазменного спекания (SPS-метод) и изучение влияния количества вводимой добавки на спекание и свойства материала.

Для консолидации порошковых смесей интерес представляет использование метода искрового плазменного спекания, представляющий собой высокоскоростной метод спекания, в котором энерговыделение идет не только по всему объему порошковой заготовки в макроскопическом масштабе, а также как метод, при котором энергия рассеивается именно в определенных участках в микроскопическом масшта-

бе, а именно в точках контакта частиц порошка между собой [4].

В качестве исходных компонентов использовали промышленный порошок  $\alpha$ -SiC ( $d_{cp} = 3,7$  мкм), измельченный до субмикронного размера ( $d_{cp} = 0,232$  мкм) и бор аморфный. Механическую активацию проводили на планетарной мельнице РМ-400 в барабанах (объем 250 мл) с мелющими телами из WC в течение 120 мин, соотношение материала и мелющих тел составило 1:10. Консолидация осуществлялась в установке для искрового плазменного спекания с дополнительным индукционным нагревом при температуре 1750 °С и давлении 60 МПа в течении 25 мин.

Максимальная плотность, равная 3,12 г/см<sup>3</sup>, достигается при введении 8 мас. % бора и не изменяется при повышении концентрации бора до 10 мас. %, свидетельствуя об образовании плотноспеченного каркаса (табл. 1). Увеличение твердости плотноспеченного материала с 30,3 до 31,9 ГПа при введении 10 мас. % бора может объясняться ростом кристаллов карбида кремния. Значения  $K_{Ic}$  при повышении содержания бора уменьшаются вследствие изменения механизма разрушения материала с интеркристаллитного на транскристаллитный тип. Создание более плотной структуры приводит к уменьшению концентраторов напряжений на границах зерен в виде микропор, что облегчает рекристаллизацию на заключительной стадии спекания. Это, в свою очередь, ведет к разрушению

**Таблица 1.** Значения плотности ( $\rho$ ), твердости (Hv) и трещиностойкости ( $K_{Ic}$ ) консолидированных образцов с различным содержанием бора

№ п/п	Система (мас. %)	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердость (Hv), ГПа	$K_{Ic}$ , МПа•м <sup>1/2</sup>
1	97 % SiC + 3 % B	2,67	15,5±1,1	6,88±0,46
2	94 % SiC + 6 % B	2,87	19,6±0,6	6,36±0,40
3	92 % SiC + 8 % B	3,12	30,3±0,6	5,93±0,40
4	90 % SiC + 10 % B	3,12	31,9±0,5	5,65±0,32

материала преимущественно по транскристаллитному механизму, т.е. когда трещина проходит сквозь зерен спеченного каркаса. При таком ме-

ханизме путь распространения трещины сокращается и материал разрушается при меньших воздействиях.

### Список литературы

1. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В. и др. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы // *Российский химический журнал*, 2010.– Т. LIV.– №1.– С. 20–24.
2. Malinge A., Coupe A., Le Petitcorps Y., Pailler R. Pressureless sintering of beta silicon carbide nanoparticles // *Journal of the European ceramic society*.– 32 (2012).– P.4393–4400.
3. Аввакумов Е.Г., Гусев А.А. Механические ме-
- тоды активации в переработке природного и техногенного сырья // *Новосибирск: Акад. Изд-во «Гео»*, 2009.– 155с.
4. Торресильяс Сан Миллан Р., Солис Пинарготе Н.В., Окунькова А.А., Перетягин П.Ю. Основы процесса искрового плазменного спекания нанопорошков. Монография // *М.: Техносфера*, 2014.– 96с.– ISBN 978-5-94836-399-8.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУХОЙ ГАЗОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Т.Р. Мустаев

Научный руководитель – ассистент В.А. Кутугин

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30*

Строительство в районах континентального и резко континентального климата подразумевает высокую степень теплоизоляции и прочности строительных материалов ввиду характерного отчётливого разделения года на холодный и тёплый сезоны, и большие перепады температур. Для достижения высокой теплоизоляции строительную конструкцию необходимо делать достаточно большой толщины, однако, это экономически невыгодно, и поэтому снижение расходов на обогрев помещения достигается за счет использования наиболее выгодного энергетически и экономически теплоизоляционного материала [1]. По технико-экономическим показателям и ряду физико-механических свойств (низкая средняя плотность, простота обработки, достаточная прочность, пожарная безопасность, теплоизоляционные свойства, звукоизоляция, высокая морозостойкость) газобетон превосходит практически все материалы, используемые в настоящее время в строительстве. Использование газобетона также ускоряет темпы строительства и уменьшает расходы в сравнении с традиционными строительными материалами и технологиями. Благодаря своим свойствам газобетон имеет широкий спектр применения: постройка несущих и ненесущих внешних стен, возведения перегородок в зданиях различного

типа, утепление существующих и вновь возводимых конструкций.

Традиционные технологии газобетона подразумевает его получение с применением заводских технологий, т.е. человек без определенных навыков и знаний не сможет получить газобетон из компонентов сырьевой смеси на строительной площадке, здесь нужно участие технологов, так как технология достаточно деликатная и требует определенный тепловой режим. На заводе можно получить газобетон различной плотности (300–600 и более кг/м<sup>3</sup>), но наибольшей проблемой является транспортировка ввиду того, что газобетон не очень крепкий и при перевозке будет разрушена большая часть материала. Поэтому минимально-допустимая плотность, производимая на заводе это 450 кг/м<sup>3</sup>.

Преимущество технологии сухой газобетонной смеси – это возможность локального применения, для заливки в опалубку, утепление перекрытий и крыш, для создания теплоизоляционных слоев, там где это нужно по месту, благодаря этому мы можем существенно повысить эффективность, получая и используя газобетон с плотностью 200 кг/м<sup>3</sup>, что в 2,25 раза легче, чем заводской, при этом коэффициент теплопроводности меньше и соответственно его нужно меньше в 2,25 раза по объему, чтобы изолиро-