

Таблица 1. Влияние добавок на свойства строительного гипса

| Состав комплексной добавки, масс. % |      |      | НГ, % | Сроки схватывания, мин. |       | Предел прочности, МПа |            | W, % | P <sub>o</sub> , % |
|-------------------------------------|------|------|-------|-------------------------|-------|-----------------------|------------|------|--------------------|
| ГП                                  | РПП  |      |       | начало                  | конец | при изгибе            | при сжатии |      |                    |
|                                     | 8031 | 4023 |       |                         |       |                       |            |      |                    |
| –                                   | –    | –    | 54    | 3                       | 6,5   | 6,1                   | 12,0       | 21,6 | 46                 |
| 0,3                                 | –    | –    | 42    | 8                       | 11    | 6,5                   | 16,4       | 15,1 | 37                 |
| 0,3                                 | 3    | –    | 40    | 12                      | 14,5  | 7,3                   | 22,3       | 11,4 | 35                 |
| 0,3                                 | 5    | –    | 38    | 13                      | 15,0  | 8,2                   | 23,8       | 8,7  | 33                 |
| 0,3                                 | 10   | –    | 36    | 14                      | 16,5  | 9,1                   | 25,3       | 5,6  | 31                 |
| 0,3                                 | –    | 3    | 38    | 11                      | 15,0  | 9,0                   | 21,0       | 12,5 | 34                 |
| 0,3                                 | –    | 5    | 36    | 12                      | 16,0  | 10,2                  | 24,1       | 10,1 | 32                 |
| 0,3                                 | –    | 10   | 35    | 13                      | 17,0  | 11,1                  | 26,4       | 6,5  | 31                 |

той пористости (P<sub>o</sub>) и водопоглощения (W) показывают, что выбранные функциональные добавки обеспечивают формирование более плотной кристаллической структуры и заметно снижают водопоглощение материала.

Водостойкость строительного гипса оценивали по величине коэффициента размягчения (K<sub>p</sub>) – отношение прочности образцов, насыщенных водой, к прочности образцов того же

состава, высушенных до постоянной массы. Исследуемые добавки увеличивают водостойкость строительного гипса до 0,45–0,54, что, однако, не позволяет отнести его к разряду водостойкого материала.

Таким образом, выбранные комбинации добавок оказывают комплексное положительное влияние на свойства строительного гипса, но не обеспечивают в полной мере его водостойкость.

### Список литературы

1. Ферронская А.В. Развитие теории и практики в области гипсовых вяжущих веществ // Развитие теории и технологий в области

силикатных и гипсовых материалов.– М., 2000.– Ч.1.– С.47–56.

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДОБАВКИ БОРА НА СПЕКАНИЕ И СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

А.В. Феоктистов, Н.А. Попова

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Колесников

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева  
125047, Россия, г. Москва, пл. Миусская 9, alvfeoktistov@gmail.com

Перспективность карбида кремния в области керамического материаловедения диктуется его высоким уровнем свойств, такими как высокая температура плавления, низким коэффициентом расширения и высокой теплопроводностью, что делает его перспективным при создании высокотемпературных материалов. Спекание карбидо-кремниевых материалов до нулевой пористости традиционно требует высоких энергозатрат. Одним из путей решения настоящей проблемы является использование добавок увеличивающих

диффузионную активность при спекании [1].

Среди добавок, образующих твердые растворы в карбиде кремния выделяются добавки акцепторного типа, которые увеличивают коэффициент диффузии – бор, галлий, алюминий и др. Проблемой акцепторных добавок является сильный приповерхностный характер их растворения [2], что обуславливает необходимость использования порошков субмикронного размера.

Для достижения меньшей рекристаллизации и получение материалов с высокими фи-

**Таблица 1.** Свойства полученных карбидокремниевых материалов

| Состав / время выдержки | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Пористость, % | Прочность, МПа |
|-------------------------|------------------------------|---------------|----------------|
| SiC–3%B+0,75%C, 6 мин   | 2,83±0,04                    | 9,1±0,4       | 158±9          |
| SiC–3%B+0,75%C, 10 мин  | 2,86±0,02                    | 5,2±0,3       | 163±2          |
| SiC–5%B+0,75%C, 6 мин   | 2,84±0,03                    | 2,9±0,1       | 175±8          |
| SiC–5%B+0,75%C, 10 мин  | 2,90±0,01                    | 0             | 193±4          |
| SiC–7%B+0,75%C, 6 мин   | 2,95±0,01                    | 0             | 197±7          |
| SiC–7%B+0,75%C, 10 мин  | 2,99±0,03                    | 0             | 228±5          |
| SiC–10%B+0,75%C, 6 мин  | 2,98±0,02                    | 0             | 201±3          |
| SiC–10%B+0,75%C, 10 мин | 3,01±0,00                    | 0             | 238±2          |

зико-механическими свойствами перспективен метод искрового плазменного спекания (ИПС), уменьшающий время обжига до нескольких минут [3].

Для спекания использовали прекурсоры твёрдых растворов бора в карбиде кремния (SiC–xВ), где  $x=3, 5, 7$  и  $10$  масс. % полученные термообработкой при температуре  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  в среде аргона в течение 1 часа. Синтезированные прекурсоры шихты измельчались в мельнице планетарного типа до размера  $d_{50}=1,05$  мкм. Величина добавки углерода для всех составов составила  $0,75$  мас. % к прекурсорам твёрдых растворов. Смешение прекурсоров твёрдых растворов с добавкой углерода проводили в мельнице планетарного типа в течение 1 часа со скоростью вращения  $200$  об/мин. ИПС проводили в среде аргона при температуре  $1850\text{ }^{\circ}\text{C}$  со скоростью нагрева  $600\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  с выдержкой при максимальной температуре  $6$  и  $10$  минут.

В настоящей работе исследовали влияние концентрации добавки бора на спекание и свойства материалов в системе SiC с добавками бора и углерода при различном времени выдержки.

Результаты по определению кажущейся плотности, открытой пористости и прочности при изгибе представлены в таблице 1.

Из представленных данных следует, что с увеличением концентрации добавки бора и уве-

личением времени выдержки при температуре обжига прочность при изгибе растёт, что связано с уменьшением открытой пористости вплоть до нулевой и увеличением средней плотности полученных материалов. Увеличение времени выдержки с  $6$  до  $10$  минут для состава, содержащего  $5$  масс. % бора позволяет снизить величину открытой пористости до нулевого значения. Для материалов с нулевой открытой пористостью была измерена микротвёрдость, которая составила для состава содержащего  $5$  масс. % бора –  $25,8\pm 0,7$  ГПа, для составов содержащих  $7$  масс. % бора при  $6$  и  $10$  минутах выдержки –  $29,1\pm 0,3$  и  $29,5\pm 0,6$  ГПа соответственно, и для состава, содержащего  $10$  масс. % бора при  $6$  и  $10$  минутах выдержки –  $26,0\pm 0,4$  и  $27,2\pm 0,2$  ГПа соответственно.

Полученные данные позволяют говорить о том, что увеличение концентрации добавки бора позволяет увеличить степень уплотнения при одинаковом времени выдержки. По результатам измерения микротвёрдости образцов, можно предположить, что при содержании бора в  $10$  масс. % по сравнению с составом, содержащим  $7$  масс. % бора либо протекает интенсивнее процесс рекристаллизации, либо это может быть объяснено наличием крупных закрытых пор в поверхностном слое материала, образовавшихся из за большей скорости уплотнения материала.

### Список литературы

1. Stobierski L., Gubernat A. // *Ceramics International*, 2003. – №29. – P.355–361.
2. Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С. и др.. *Карбид кремния: технология, свойства, применение.* – Харьков: «ИСМА», 2010. – С.532.
3. Biswas K. // *Materials Science Forum*, 2009. – №624. – P.71–89.