

**СИНТЕЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ,
ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ СИНТЕЗОМ***А.Р.НАСЫРБАЕВ, С.О.ПОГОРЕЛОВА*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
E-mail: arn1@tpu.ru

Карбид кремния является востребованным материалов во многих производственных сферах. Высокая износостойкость и твердость, наряду с высокими рабочими температурами, дают возможность использовать карбид кремния при производстве керамических изделий для работы в агрессивных средах [1,2].

В работе рассматривается возможность синтеза керамических материалов с помощью установки искрового плазменного спекания. Основным преимуществом метода является высокая скорость спекания, что позволяет получать субмикронную и нанокерамику. Спекание производилось в установке SPS 10-4 Thermal Technology со следующими параметрами: $T=1750\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p=60\text{ МПа}$, скорость нагрева составляла $100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, время выдержки 10 мин. Окружающей средой во всех экспериментах являлся вакуум.

Проводились серии экспериментов, в которых рассматривалось влияние дисперсности используемого порошка, а также влияние спекающих добавок. В работе использовались коммерческий порошок карбида кремния (F-120), а также порошок, полученный плазмодинамическим методом [3]. Спекающие порошкообразные добавки – смесь алюминия, бора и углерода. Использование спекающих добавок обусловлено улучшением процесса спекания, и, как следствие, получение керамического материала с более высокими свойствами прочности и твердости [4].

После спекания керамические образцы исследовались различными методами. Фазовый состав продуктов исследовался методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Shimadzu XRD 7000. На рисунке 1 представлены типичные дифрактограммы керамических образцов. В случае спекания из коммерческих образцов керамические образцы состоят из гексагональной $\alpha\text{-SiC}$. При спекании из порошка, полученного плазмодинамическим методом, продукт состоит из кубической фазы $\beta\text{-SiC}$. Ввиду высоких скоростей спекания процесс фазового перехода не происходит.

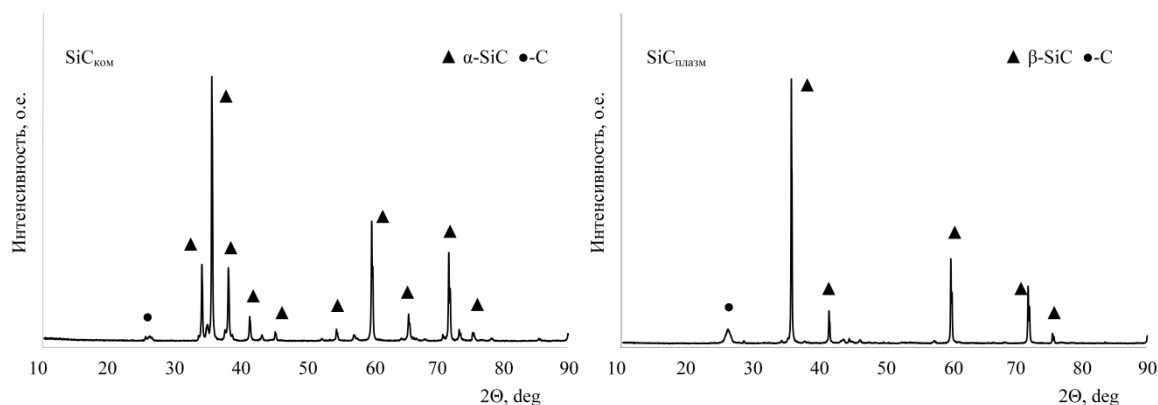


Рисунок 1 – Рентгеновские дифрактограммы полученных образцов

Были определены значения твердости и плотности для полученных образцов. Твердость по Виккерсу определялась с использованием твердометра Galileo (ISOSCAN HV2 OD). Результаты анализов твердости и плотности сведены в таблицу 1. Серии экспериментов (1-3), производившееся без спекающих добавок, показывают низкие значения твердости и плотности, что является доказательством необходимости применения добавок, которые уменьшают пористость и размер зерен. Влияние добавок заметно при исследовании микроструктуры полученных образцов, проводившейся на электронном

микроскопе Hitachi TM-3000. На рисунке 2 представлены результаты сканирующей микроскопии керамических образцов. Образец 1 (рисунок 2а) имеет большие зерна, а также высокую пористость. Наибольшие результаты по плотности и прочности показали образцы серии 6. Керамика (рисунок 2г) имеет наименьший размер зерна и низкую пористость. В результате достигаются высокие показатели твердости и плотности.

Таблица 1 – Значения плотности и твердости образцов

№	Прекурсоры	Спекающая добавка, %	ρ , % теор.*	Hcp, ГПа
1	SiC _{ком}	-	70,0	1,40±0,5
2	SiC _{ком} :SiC _{плазм} = 0,95:0,05	-	73,0	2,20±0,6
3	SiC _{плазм}	-	82,0	5,71±0,3
4	SiC _{ком}	Al(4%)+B(2%)+C(2%)	94,7	22,8±0,3
5	SiC _{ком} :SiC _{плазм} = 0,80:0,20	Al(4%)+B(2%)+C(2%)	95,0	23,4±0,3
6	SiC _{плазм}	Al(4%)+B(2%)+C(2%)	97,2	25,9±0,3

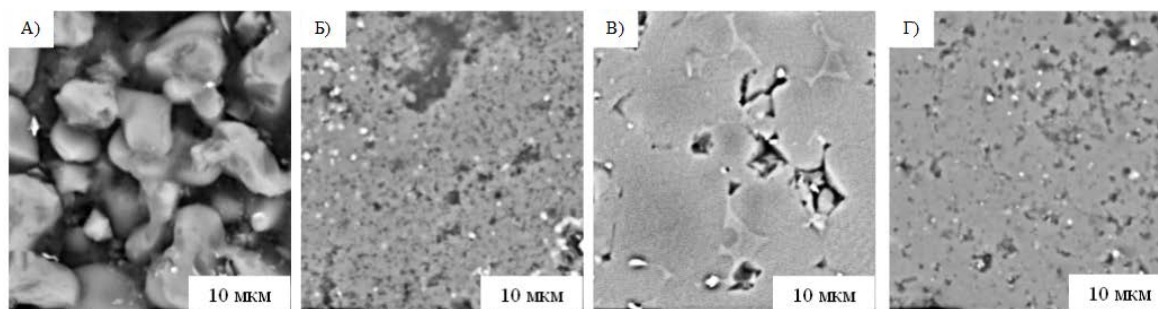


Рисунок 2 – Сканирующая электронная микроскопия образцов: а) серии 1; б) серии 3; в) серии 4; г) серии 6

Результатом работы является получение керамических образцов из карбида кремния. В ходе исследований рассмотрены возможности увеличения показателей твердости и плотности. Использование наноразмерного порошка карбида кремния, полученного плазмодинамическим синтезом, увеличивает показатели плотности и твердости. Также для улучшения процесса спекания была использована добавка из смеси порошков алюминия, бора и углерода. Внедрение добавок кратно увеличивает характеристики керамических образцов. Образец с наибольшими значениями плотности и твердости был получен в серии экспериментов с использованием порошка карбида кремния из плазмодинамического синтеза и с применением спекающих добавок Al-B-C: $\rho = 97,2\%$; Hcp = 25,9±0,3 ГПа.

Список литературы:

1. Harris G.L., ed. Properties of silicon carbide. – Iet, 1995. – №. 13.
2. Андриевский Р.А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура, свойства //Успехи химии. – 2009. – Т. 78. – №. 9. – С. 889-900.
3. Sivkov A., Nassyrbayev A., Gukov M. Dependence of the Product's Phase Composition on the Ratio of Precursors in Plasmadynamic Synthesis of Silicon Carbide //Key Engineering Materials. – 2018. – Т. 769..
4. Skarpeid H. The effect of carbon and boron carbide additions in pressure assisted sintered silicon carbide: дис. – NTNU, 2017.