

УДК 621.091.343:492.2.541.128.13

**В. С. Панов, Ж. В. Еремеева**, доктора технических наук, **Л. В. Мякишева** канд. техн. наук,  
**А. И. Лизунов, Е. В. Апостолова**

*ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС»,  
г. Москва, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ПРОЦЕСС ФОРМОВАНИЯ КАРБИДА БОРА**

*Изучен процесс прессования карбида бора различного происхождения с пластификаторами: твердыми (декстрин, каучук, полистирол, стеарат алюминия, парафин) и жидкими (полиэтиленгликоль, поливинилцетат, смесь глицерина со спиртом, бутирол, триэтаноламин, глицерин) в количестве 1-5 масс.%, а также “мокрого” прессования на относительную плотность и технологические свойства.*

*Дана количественная оценка влияния давления прессования и вида пластификатора на свойства спрессованных заготовок из карбида бора. Установлено, что наибольшая относительная плотность при прессовании наблюдается на образцах 2-3% полистирола и бутирола при давлениях 700-900 МПа. При проведении “мокрого” прессования наивысшая относительная плотность была зафиксирована с водой при давлении 800-1000 МПа, которая оказалась несколько выше, чем с добавками пластификатора. Наибольшая относительная плотность для порошка В<sub>4</sub>С соответствовала образцам полученным методом СВС, несколько ниже образцам, полученным механоактивацией.*

**Ключевые слова:** карбид бора, порошок, прессование, пластификатор, уплотнение, насыпная плотность, свойства, брикет, замер, давление, активация, СВС-порошок

В последние годы активно исследуются возможности получения карбида бора, особенно наноразмерного, что связано с его свойствами и областями применения.

Карбид бора обладает рядом чрезвычайно полезных для технического применения свойств, сочетая высокую твердость (третий по твердости после алмаза) и низкий удельный вес. Высокая износостойкость, химическая инертность, тепловые свойства позволяет успешно применять его в производствах абразивного и режущего материала, легкой брони, борированной стали, электроизоляционного материала, элементов микроэлектроники, химического машиностроения и др. Высокое эффективное сечение захвата тепловых нейтронов определяет применение карбида бора в ядерной технике: поглотителей тепловых нейтронов в ТВЭЛах, биологической защиты активной зоны атомного реактора.

Однако относительно высокая стоимость исходного сырья и сложность получения плотно-спеченных изделий из карбида бора в значительной степени ограничивает его широкое применение. Поэтому поиск методов обеспечивающих активацию процесса массопереноса при спекании для получения материалов на основе карбида бора является весьма актуальной. Получение высоких свойств карбида бора требует применение специальных режимов подготовки исходных шихтовых материалов, способов получения наиболее эффективных методов формования и адекватных процессов спекания. В силу плохой прессуемости важное место занимает операция формования. Как правило, для облегчения перемещения частиц относительно друг друга и формирующей поверхности из пресс-формы при прессовании требуется ведение пластификатора. Применение пластифицирующих добавок один из лучших способов уменьшения трения и улучшения

процесса уплотнения порошка. Ассортимент использованных пластификаторов очень разнообразен и их роль детально рассмотрена в работах [1-4].

Для получения нужных свойств и структуры нужны знания закономерностей процесса формования.

В связи с вышеизложенным, целью работы являлось комплексное изучение влияния вида и состава пластификатора с учетом технологии на свойства пресс-порошка карбида бора.

#### Методика проведения эксперимента

Исходными материала служили порошки карбида бора размером 100-150 мкм (F100), 150-250 мкм (F150), СВС-порошок 5-10 мкм, а также порошки из механоактивированной смеси СВС и F150.

Для приготовления смесей порошки карбида бора перетирали в ступке с пластификатором: декстрин, каучук, полистирол, стеарат алюминия, парафин, полиэтиленгликоль, поливинилацетат, смесь глицерина со спиртом, бутирол в количестве 1-5 %.

Механически активированную смесь (СВС-порошок + F150) получали в планетарно-центробежной мельнице «Активатор-2S» со скоростью вращения барабана 1000-1800 об./мин при отношении шары/шихта 30-45:1 в аргоне при 3-5 атм. в интервале 15-45 мин.

Определяли гранулометрический состав, удельную поверхность, насыпную плотность полученной шихты. Исследование проводили на современном оборудовании с применением новейших методик.

Гранулометрический состав определяли на анализаторе MicroSizer 201c, удельную поверхность на анализаторе NOVA 1200 c (США). Насыпную плотность определяли по ГОСТ 19440-94. Свойства полученных порошков исследовали методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе «Hitachi S-3400N».

Рентгеновский анализ проводили на дифрактометре ДРОН-2 в излучении Cu. Статическое прессование осуществлялось на гидравлическом прессе модели 2ПГ-125 при давлениях 200 – 1000 МПа. Диаметр пресс-формы 10 и 15 мм. У полученных заготовок замеряли размеры и массу после прессования для оценки плотности.

#### Результаты и их обсуждение

Проведено исследование свойств порошков карбида бора, различного размера и состава. Для формования использовался гидравлический пресс 50 т N2175 1954 г. В работе использованы порошки F100-150, F150-200, СВС – порошок, а также порошки, состоящие из механически активированной смеси СВС и F150 с составами:  $V_4C_{СВС}+1\% V_4C_3$  (нано),  $V_4C_{СВС}+5\% V_4C_3$  (нано),  $V_4C_{СВС}+20\% V_4C_3$  (нано),  $V_4C_{СВС}+50\% V_4C_3$  (нано) с размером частиц 500 нм. Для каждого порошка измерена насыпная плотность. Проведено гидростатическое взвешивание для определения пористости спечённых образцов.

В табл. 1 приведены результаты насыпной плотности порошков разного гранулометрического состава.

Таблица 1. Насыпная плотность порошков

| Порошки карбида бора |  |             |  |             |  |
|----------------------|--|-------------|--|-------------|--|
| F100                 |  | F150        |  | СВС         |  |
| Масса (m), г         | Насыпная плотность ( $\rho_a$ ), г/см <sup>3</sup> | Масса (m),г | Насыпная плотность ( $\rho_a$ ), г/см <sup>3</sup> | Масса (m),г | Насыпная плотность ( $\rho_a$ ), г/см <sup>3</sup> |
| 9,8                  | 1,854  | 10          | 1,2432   | 6,8         | 0,3180   |
| 9,8                  | 1,854  | 10          | 1,2432   | 6,8         | 0,3180   |
| 9,8                  | 1,855  | 10          | 1,2432   | 6,8         | 0,3180   |

В табл. 2 приведены результаты измерения насыпной плотности механически активированных порошков разного состава.

Таблица 2. **Насыпная плотность механически активированных порошков**

| Порошки карбида бора  |   |   |   |  |   |  |   |
|---|---|---|---|--|---|--|---|
| В <sub>4</sub> С <sub>СВС</sub> +1% В <sub>4</sub> С <sub>3</sub> |   | В <sub>4</sub> С <sub>СВС</sub> +5% В <sub>4</sub> С <sub>3</sub> |   | В <sub>4</sub> С <sub>СВС</sub> +20% В <sub>4</sub> С <sub>3</sub> |   | В <sub>4</sub> С <sub>СВС</sub> +50% В <sub>4</sub> С <sub>3</sub> |   |
| Масса (m),г   | Насыпная плотность (ρ <sub>а</sub> ), г/см <sup>3</sup> | Масса (m),г   | Насыпная плотность (ρ <sub>а</sub> ), г/см <sup>3</sup> | Масса (m),г  | Насыпная плотность (ρ <sub>а</sub> ), г/см <sup>3</sup> | Масса (m),г  | Насыпная плотность (ρ <sub>а</sub> ), г/см <sup>3</sup> |
| 7,3   | 0,4738  | 7,4   | 0,4935  | 7,4  | 0,5034  | 7,3  | 0,4738  |

Размер образцов спрессованных брикетов равнялся: 10,4-15,5 мм диаметр; высота от 1,62 до 1,85 мм в зависимости от давления прессования

На рис. 1 представлена зависимость относительной плотности от приложенного давления В<sub>4</sub>С с полистиролом

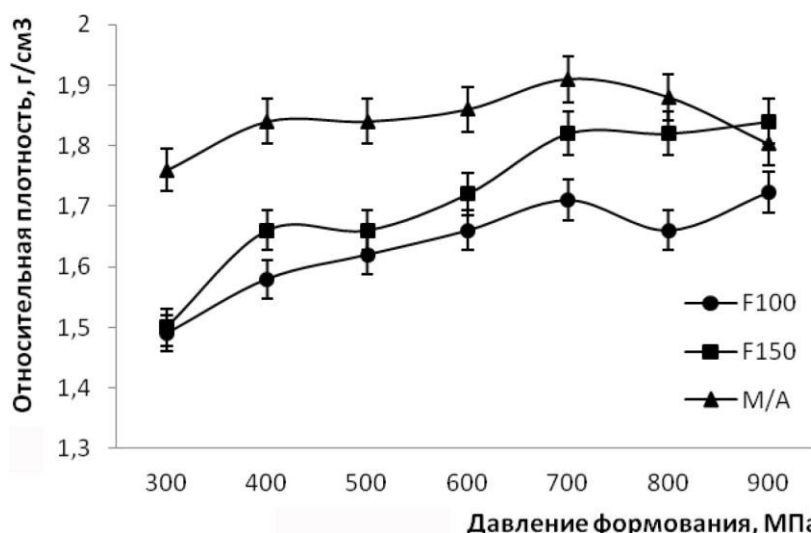


Рис. 1. Зависимость относительной плотности от приложенного давления формования, спрессованного В<sub>4</sub>С с твердым пластификатором (полистирол)

Видно, что при добавлении твердого пластификатора наибольшая плотность получается при давлении 700 МПа (1,9–1,92 г/см<sup>3</sup>).

На рис. 2 представлена зависимость относительной плотности от приложенного давления для прессовки В<sub>4</sub>С с бутиролом. Видно, что наивысшая относительная плотность при введении жидкого пластификатора (бутирол) получена при 700–900 МПа и составляет 1,85–2,1 г/см<sup>3</sup>. Без пластификатора наибольшая плотность при 400 МПа, а с пластификатором (3 масс.%) 700–900 МПа.

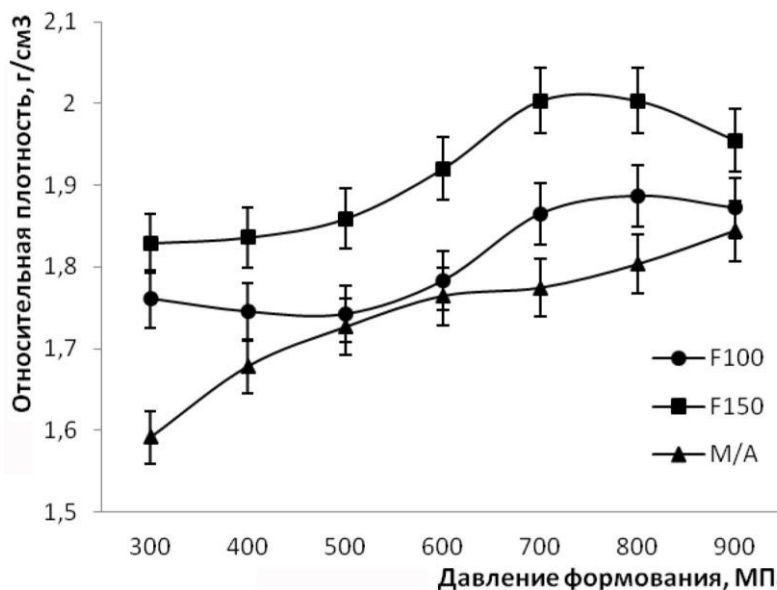


Рис. 2. Зависимость относительной плотности от приложенного давления прессования, спрессованного  $B_4C$  с жидким пластификатором (бутиролом)

Результаты исследования мокрого прессования приведены на рис. 3 и рис. 4. Зависимость плотности карбида бора с добавкой воды от давления прессования на рисунке 4, а с добавкой спирта на рис. 3. С использованием спирта при всех давлениях прессования относительная плотность составила 2,0–2,10 г/см³, с керосином -2,0 г/см³.

При проведении мокрого прессования с использованием спирта (рис. 3) плотность составляла 1,8–2,1 г/см³. При прессовании со спиртом за счет налипания порошка на пуансон и испарения спирта прессование заметно ухудшается.

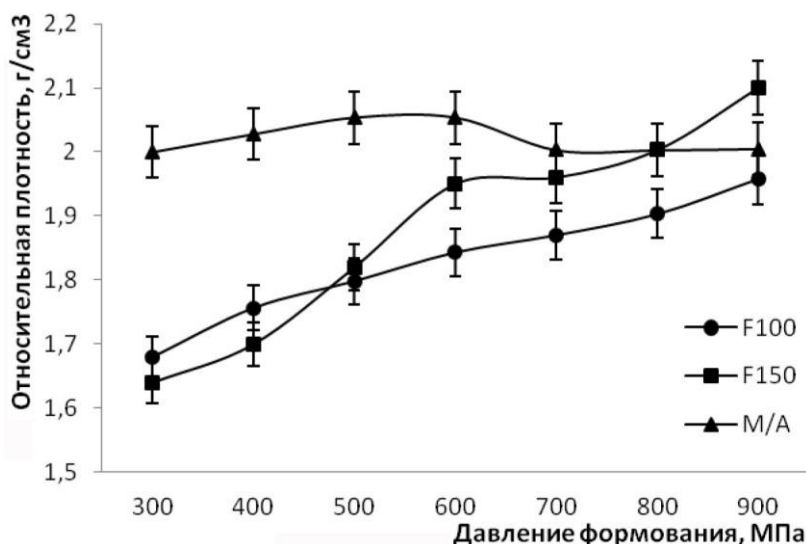


Рис. 3. Зависимость относительной плотности от приложенного давления прессования, спрессованного  $B_4C$  с добавлением спирта

Прессовки с полистиролом имели плотность 52 % при 3 масс.% и с увеличением его количества практически не меняется.

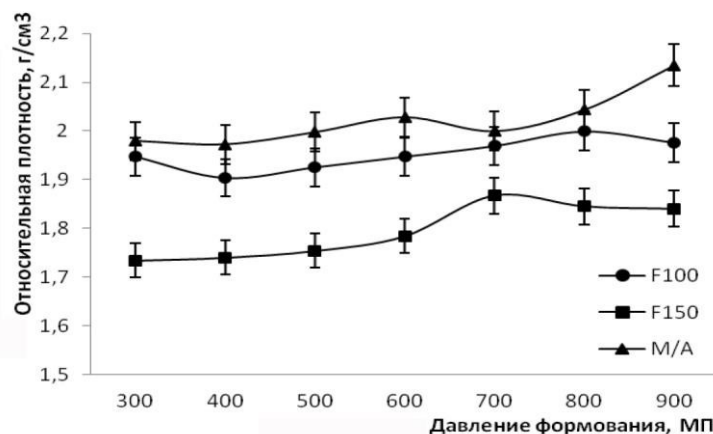


Рис. 4. Зависимость относительной плотности от приложенного давления прессования, спрессованного В<sub>4</sub>С с добавлением воды

На рис. 5 приведена зависимость плотности прессовки механоактивированного порошка карбида бора от приложенного давления для содержания В<sub>4</sub>С<sub>3</sub> 1–50%.

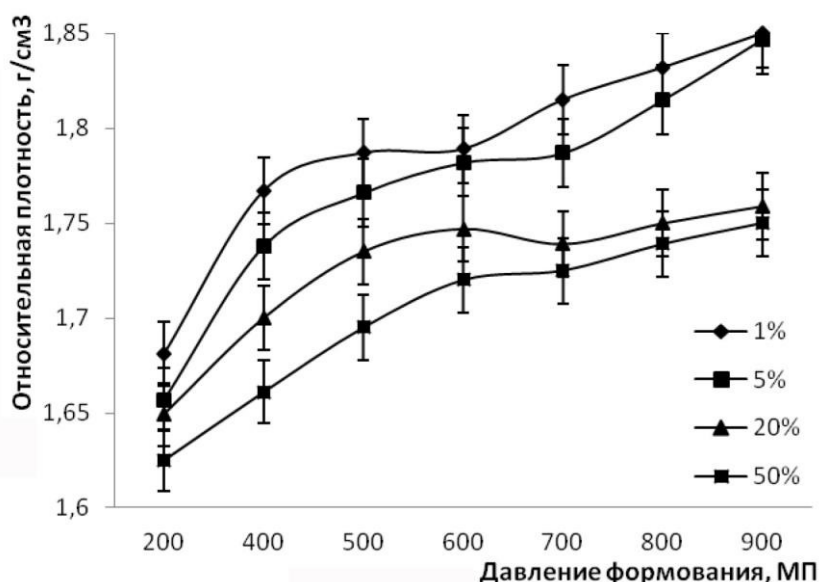


Рис. 5. Зависимость плотности прессовок из механически активированного порошка от приложенного давления

Видно, что с увеличением давления прессования относительная плотность растет. Увеличение количества порошка F150 в смеси приводит к уменьшению плотности готовых прессовок, что связано с худшим измельчением крупной фракции.

Аналогичные зависимости, приведенные выше, были получены и для других пластификаторов.

Так для полистирола максимальная плотность при 3% давление прессования 700 МПа – 1,9–1,95 г/см<sup>3</sup>; декстрин – 1,65–1,75 г/см<sup>3</sup>; каучук – 1,80 – 1,90 г/см<sup>3</sup>; стеарат алюминия 1,8–1,85 г/см<sup>3</sup>; парафина – 1,75–1,85 г/см<sup>3</sup>; бутирола – 1,95–2,10 г/см<sup>3</sup>.

Для остальных жидких пластификаторов давление составляло: полиэтиленгликоля 1,95–2,0 г/см<sup>3</sup>; поливинилацетата – 1,95–2,00 г/см<sup>3</sup>; глицерина – 1,90–2,00 г/см<sup>3</sup>; глицерина со спиртом – 1,95–2,00 г/см<sup>3</sup>; триэтанолamina – 2,00–2,15 г/см<sup>3</sup>.

Для мокрого прессования 800–1000 МПа 2,00–2,15 г/см<sup>3</sup> (вода); 2,00–2,10 г/см<sup>3</sup> (спирт), керосин – 2,00 г/см<sup>3</sup>.

Наибольшая относительная плотность для порошка В<sub>4</sub>С разного происхождения оказалась у образцов, полученных методом СВС. Немного ниже она оказалась для механоактивированных порошков.

Оценивая влияние давления прессования и вида пластификатора на плотность прессовок из карбида бора видно, что наибольшая относительная плотность без пластификатора была получена при давлении 400 МПа, а с пластификатором при введении 3–5 масс.% и давлении 700 МПа. С увеличением содержания пластификатора от 1–3 масс.% формуемость улучшается, а при больших содержаниях пластификатора ухудшается.

Показано, что прессовки с жидким пластификатором имеют большую относительную плотность по сравнению с твердыми пластификаторами. Наибольшая относительная плотность для твердых пластификаторов зафиксирована при введении полистирола.

### **Выводы**

Исследовано влияние различных пластификаторов и «мокрого» прессования на процесс формования порошка карбида бора разного происхождения.

С целью выявления вида и количества пластификатора, обеспечивающего наилучшие свойства порошка проведено комплексное сравнение свойств спрессованных образцов из карбида бора.

Установлено, что наибольшая относительная плотность при прессовании карбида бора без пластификатора получена при давлении 400 МПа. Наибольшая относительная плотность наблюдается при введении 3–5% и давлении 700 МПа.

Из исследованных пластификаторов наибольшая относительная плотность при введении в количестве 3% полистирола и бутирола при давлении 700 МПа.

Исследование «мокрого» прессования позволило на 10–15% повысить относительную плотность прессовок из карбида бора по сравнению с добавками пластификатора.

Внесено усовершенствование в технологию получения и формования порошка карбида бора.

Авторы выражают благодарность сотруднику центра НУЦ СВС Потанину Артему Юрьевичу за помощь в оформлении статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-08-00231.

*Вивчено процес пресування карбиду бору різного походження з пластифікаторами: твердими (декстрин, каучук, полістирол, стеарат алюмінію, парафін) і рідкими (поліетиленгліколь, полівінілацетат, суміш гліцерину зі спиртом, бутірол, триетаноламін, гліцерин) в кількості 1–5 мас.%, а також «мокрого» пресування на відносну густину і технологічні властивості. Дано кількісну оцінку впливу тиску пресування і виду пластифікатора на властивості спресованих заготовок з карбиду бору. Встановлено, що найбільша відносна густина при пресуванні спостерігається на зразках 2–3% полістиролу і бутірола при тисках 700–900 МПа. При проведенні «мокрого» пресування найвища відносна густина була зафіксована з водою при тиску 800–1000 МПа, яка виявилася дещо вищою, ніж з добавками пластифікатора. Найбільша відносна густина для*

порошку  $B_4C$  відповідала зразкам отриманим методом СВС, децю нижче зразкам, отриманим механоактивацією.

**Ключові слова:** карбід бору, порошок, пресування, пластифікатор, ущільнення, насипна густина, властивості, брикет, вимірювання, тиск, активація, СВС-порошок.

#### A STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PLASTICIZERS ON THE PROCESS OF FORMATION OF BORON CARBIDE

*The process of pressing of boron carbide of various origins with plasticizers: solid (dextrin, rubber, polystyrene, aluminum stearate, paraffin) and liquid polyoxyethylene glycol, polyvinylacetate, a mixture of glycerin with spirit, butyral, triethanolamine, glycerine) in an amount of 1–5 wt% and «wet» pressing on the relative density and processing characteristics was studied.*

*A quantitative assessment of the influence of the compacting pressure and type of plasticizer on the properties of compacted billets of boron carbide. It is found that the highest relative density during compaction observed on the samples of 2–3% polystyrene and butyral at pressures of 700–900 MPa. During the «wet» pressing relative density was the highest recorded water at a pressure of 800–1000 MPa, which was somewhat higher than with addition of plasticizer. During the "wet" pressing the highest relative density was recorded at a pressure of 800–1000 MPa with water, which was slightly higher than with the addition of plasticizer. The greatest relative density for  $B_4C$  powder corresponded to samples obtained by SHS, slightly below the samples obtained by mechanical activation.*

**Key words:** boron carbide, powder, pressing, a plasticizer, compaction, bulk density, properties, briquette, metering, pressure, activation, SHS powder.

#### Литература

1. Андриевский, Р.А. Микро - и наноразмерный карбид бора: синтез, структура и свойства / Р.А. Андриевский // Успехи Химии. – 2012. – 81. – № 6. – С. 549–559.
2. Сердюченко К.Ю. Формирование свойств и структуры сплавов с различными пластификаторами – М.: 2006. – 300 с.
3. Панов В. С., Суворов А. С., Спирторастворимые пластификаторы. // Изв. Вузов. Цв. Metallurgy. – 1975 – № 7. – С. 14–18.
4. Кудря М. А. Влияние пластификаторов на технологические свойства смесей. Труды ВНИИТС. – М.: ВНИИТС, 1988. – С. 42–45.

Поступила 18.05.16

УДК 539.216:621.762

**В. В. Ивженко, О. Н. Кайдаш**, кандидаты технических наук;  
**И. П. Фесенко, Г. Ф. Сарнавская**, доктор технических наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ФИЛЬЕРНОГО ПИТАТЕЛЯ УСТАНОВКИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

*Для основного материала конструкции фильерного питателя сливного устройства установки по производству базальтовых волокон наилучшим сочетанием свойств обладают материалы системы  $(SiC-8B_4C)-15TiC$  ( $\Theta^\circ = 80^\circ$ ,  $\rho = 0,07$  Ом·м,  $R_{bm} = 350$  МПа), для вставок*