

Ка- чугу-	Наименование чугуна	Количество в исходном чугуне, %		Твердость до закал-	Температура закалки, °С	Микро- структура	Твердость после за-
СЧ21-40	Перлитный	До 5%	0,6-0,7	170-241	850-900	Игольчатый мартенсит; графит мелко- пластинчатый	45-52
СЧ28-48	Модифици- рованный средней проч- ности	2-3	0,6	170-241	850-900	Игольчатый мартенсит; графит пла- стинчатый	48-54
СЧ32-52	Модифици- рованный по- вышенной прочности	Нет	0,7-0,8	197-248	830-880	"-"	50-55
		Нет					54-60
ВЧ50-1,5	Перлитный высоко- прочный с шаровидным графитом	До 20%	-	217-269	900-950	Игольчатый мартенсит; вокруг глобу- лей графит оторочка мар- тенсита и далее неболь- шая оторочка феррита	43-50

Примечание. Данные в табл. получены при закалке на высокочастотных установках с ламповым генератором глубоких отверстий диаметром 100 мм длиной 600 мм: охлаждением водой; скорость нагрева в области фазовых превращений 100-300 °С/с.

#### Список литературы:

1. Pakhomova S.A., Unchikova M.V., Fakhurtdinov R.S. Gear wheels surface engineering by deformation hardening and carburization. Materials Science Forum, 2016, vol. 870, pp. 383–391.
2. Pakhomova S.A., Ryzhov N.M., Vasilev V.R. Changes in the structure of marten site of iron nickel alloys under the action of thermal shot blast treatment. Metal Science and Heat Treatment, 2001, vol. 43, no. 11–1, pp. 438–439.
3. Bhardwaj B., Kumar R., Singh P.K. Surface Roughness (Ra) prediction model for turning of AISI 1019 steel using response surface methodologie and Box-Cox transformation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. Vol 228, Issue 2, 2014, 223-232 p

### ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ГОРЕНИЯ РАЗРЯДА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОРОШКОВОГО КАРБИДА БОРА, ПОЛУЧЕННОГО В АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Р.С. Мартынов асп., А.Я. Пак к.т.н.*

*Томский политехнический университет*

*634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. +7 906 948 12 68*

**Аннотация:** Приведены результаты экспериментальных исследований влияния продолжительности синтеза на степень кристалличности и на фазовый состав порошкового продукта, содержащего карбид бора В13С2, полученного в электрической дуге постоянного тока, инициированной в открытом воздушном пространстве.

**Abstract:** Provided the results of experimental studies targeted at identifying the synthesis influence on crystallinity and phase composition of a powder product containing boron carbide В13С2, that was gained in direct current electric arc, which was initiated in open air space.

**Ключевые слова:** порошковые материалы, карбид бора, карбиды, атмосферная плазма дугового разряда, синтез порошковых материалов.

**Keyword:** powder materials, boron carbide, carbides, atmospheric arc discharge plasma, synthesis of powder materials.

#### Введение

Одним из наиболее перспективных сверхтвердых материалов является карбид бора. Данный материал обладает рядом уникальных свойств: низкая плотность (~2,5 г/см<sup>3</sup>), высокая температура плавления (~2620-2740 °С), высокое удельное сопротивление некоторым типам излучения [1].

Существует множество методов синтеза данного материала, например, карботермическое восстановление оксида бора, плазменное распыление, кристаллизация из расплава и др. [2-5].

Одним из возможных и экономически-эффективных способов синтеза данного материала является метод, реализуемый в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока; применяемый сегодня для синтеза углеродных наноструктур [6] и карбида бора [7]. Данный метод не предполагает наличие специальной защитной среды или вакуума для проведения синтеза.

Технология процесса проведения синтеза данным методом заключается в следующем: в графитовый тигель-катод засыпается исходная смесь порошков углерода (22 мас. %) и бора (78 мас. % с небольшим содержанием оксида бора); далее, при помощи графитового электрода (анода) инициируется электродугоразрядный процесс (рис.1), при этом температура электрической дуги может достигать 12000 °С [8].

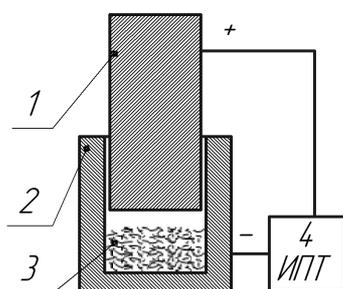


Рис. 1. 1 – графитовый анод;  
2 – графитовый тигель – катод;  
3 – синтезируемый порошок карбида бора B13C2; 4 – источник постоянного тока

Синтез представляет собой сложный физический процесс. Главным преимуществом такого метода является высокая производительность получения порошка карбида бора, а также отсутствие необходимости в использовании защитной среды или получении вакуума, поскольку в полости графитового тигля-катада при горении дугового разряда генерируется газообразный оксид углерода CO, который предотвращает окисление получаемого порошка на основе карбида бора кислородом атмосферного воздуха.

#### Результаты и обсуждение

Получаемый материал карбида бора B13C2 является продуктом воздействия атмосферной плазмы дугового разряда постоянного тока на порошковую смесь углерода и бора.

Данным методом были получены образцы порошков с различным содержанием фазы карбида бора B13C2, свободного бора B, углерода C в форме графита и оксида бора B2O3 (табл.1).

Таблица 1

Зависимость содержания фаз и степени кристалличности от времени синтеза.

№	C, %	B, %	B13C2, %	B2O3, %	t, сек	K, %
1	44,93	-	49,80	5,27	9,5	45,65
2	74,81	-	22,96	2,23	11,0	46,05
3	83,20	-	16,80	0,00	21,0	55,91

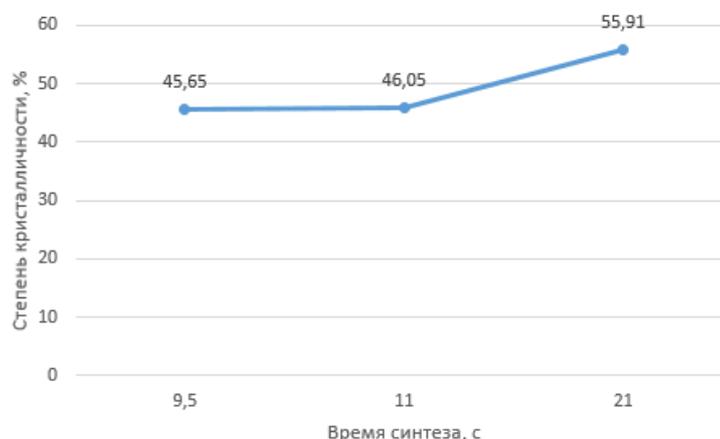


Рис. 2. Зависимость степени кристалличности от продолжительности синтеза

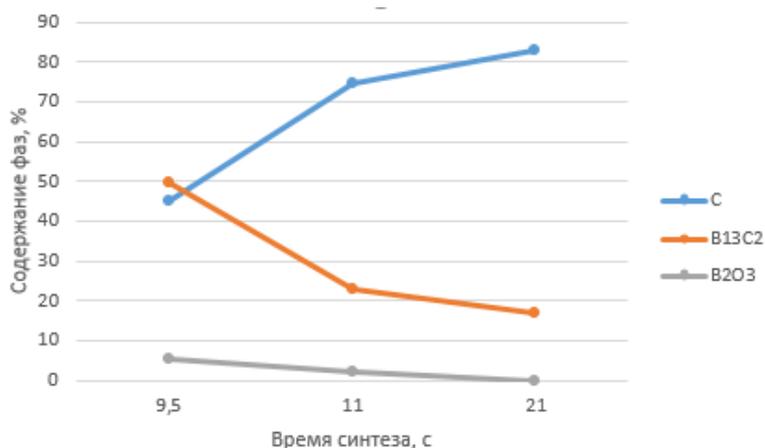


Рис. 3. Зависимость фазового состава от продолжительности синтеза

Согласно полученным зависимостям (рис.2) степень кристалличности возрастает с увеличением продолжительности синтеза; такой эффект может быть связан с ростом количества подведенной энергии, что представляется естественным. Согласно количественному рентгенофазовому анализу (рис.3) с увеличением продолжительности синтеза снижается практически до нуля доля оксида бора. Доля графита возрастает, что связано с явлением электрической эрозии [9]. Соответственно, на фоне роста эродирующей массы графита, относительная доля карбида бора становится меньше.

#### Список литературы:

1. Андриевский П.А. // Успехи химии. 2012. Т. 81. В. 6. С. 549–559.
2. Foroughi P., Cheng Z. // Ceram. Int. 2016. V. 42. N 14. P. 15189–15198.
3. Mishra A., Sahoo R.K., Singh S.K., Mishra B.K. // J. Asian Ceram. Soc. 2015.V. 3. N 4. P. 373–376.
4. Tu R., Li N., Li Q.Z., Zhang S., Zhang L.M., Goto T. // J. Eur. Ceram. Soc. 2016.V. 36. N 16. P. 3929–3937.
5. Bute A., Jagannath, Kar R., Chopade S.S., Desai S.S., Deo M.N., Pritty Rao, Chand N., Kumar S., Singh K., Patil D.S., Sinha S. // Mater. Chem. Phys. 2016.V. 182. P. 62–71.
6. Y. Su, H. Wei, T. Li, H. Geng, and Y. Zhang // Mater. Res. Bull. – 2014. – 50. – 23.
7. A.Ya. Pak and G. Ya. Mamontov // Technical Physics Letters. – 2018. – 44. – 7. 26.
8. Schur D. V. et al. Production of carbon nanostructures by arc synthesis in the liquid phase // Carbon. – 2007. – Т. 45. – №. 6. – С. 1322-1329.9
9. Arora N., Sharma N. N. Arc discharge synthesis of carbon nanotubes: Comprehensive review // Diamond and Related Materials. – 2014. – Т. 50. – С. 135-150.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

О.Г. Девойно<sup>1</sup>, д.т.н., проф., А.П. Пилипчук<sup>2</sup>, к.т.н., доцент, А.С. Лапковский<sup>1</sup>, научн. сотр.

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет,  
220013, Республика Беларусь, Минск, пр. Независимости, 65

<sup>2</sup> Военная академия Республики Беларусь  
220057, Республика Беларусь, Минск, пр. Независимости, 220

E-mail: vikmech@mail.ru

**Аннотация:** Эффективным способом исследования процесса формирования остаточных напряжений в настоящее время является математическое моделирование. В работе предложен подход к определению продольных температурных напряжений на основе использования метода переменных параметров упругости.

**Abstract:** An effective way to study the process of the formation of residual stresses at the present time is mathematical modeling. In this paper, an approach is proposed for determining the longitudinal thermal stresses during laser processing based on the use the method of variable elastic parameters.