

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ГРАФИТА ДЛЯ СИЛИЦИРОВАНИЯ

Г.Ф. Сафина, Н.П. Нонишнева, Б.Ш. Дыскина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В данной статье приведены результаты исследования пористой структуры и физико-механических свойств графита, предназначенного для пропитки расплавленным кремнием. Исследование пористой структуры графита проводили методом ртутной порометрии, основанном на свойстве ртути не смачивать твердые углеродистые тела и заполнять поры только при соответствующем гидростатическом давлении. Каждому значению давления, при этом, соответствует определенный диаметр пор. Анализ механической прочности при сжатии, кажущейся плотности, общей, открытой и закрытой пористости промышленного графита для силицирования показал неравномерность его свойств и пористой структуры. Графит для силицирования отличается высокой плотностью и микротрещиноватостью. Анализом ртутных порограмм образцов графита подтверждена неравномерность его пористой структуры. Средний диаметр пор образцов графита изменяется в широких пределах от 3 до 21 микрона. Все образцы графита отличаются большим количеством пор менее одного микрона, в которые затруднено проникновение расплавленного кремния. Из девяти исследованных образцов графита, пять образцов отличаются невысоким (2–5 %) содержанием крупных пор более 100 микрон, в четырех образцах графита количество пор более 100 микрон довольно значительное и изменяется в пределах 10–20 %. По результатам исследований, наличие крупных пор в графите также снижает эффективность пропитки и ухудшает свойства силицированных графитов. Определение физико-химических свойств пропитанного расплавленным кремнием графита показало, что несмотря на неравномерность свойств и пористости исходного графита достигнута достаточно высокая кажущаяся плотность силицированного графита, которая составляет 2,24–2,27 г/см³ и соответствует требованиям. Однако, неравномерная пористость графита привела к снижению содержания карбида кремния. Только в пяти образцах силицированного графита достигнуто содержание карбида кремния на минимальном уровне требований 22,23 %. В четырех образцах содержание карбида кремния ниже допустимого значения и составляет 20 %. Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости снижения плотности графита для силицирования и уменьшения количества пор менее 1 микрона и более 100 микрон.

Ключевые слова: графит для силицирования, метод ртутной порометрии, пористая структура, распределение пор по размерам, плотность силицированного графита, содержание карбида кремния.

Введение

Силицированные графиты – один из классов углеродных композитов, которые получают путем пропитки графитов расплавленным кремнием. Пропитанный кремнием графит имеет уникальные свойства благодаря сочетанию свойств графита и карбида кремния. Наличие графита в композите определяет его высокие антифрикционные свойства и стойкость к многократным теплосменам, а карбид кремния придает изделиям высокую жаропрочность и жаростойкость, низкую окисляемость и газопроницаемость, высокую стойкостью к воздействию агрессивных сред. Композиты из пропитанного кремнием графита эффективно работают в расплавах цветных и черных металлов, в агрессивных жидких и парогазовых средах.

Характерная особенность всех углеграфитовых материалов – наличие развитой системы пор, которая определяет их поведение в различных условиях, например, в химических реакциях с газами или жидкостями, поскольку поры обладают наибольшей поверхностью для контакта с реагентами [1–7]. В процессе пропитки графита в результате взаимодействия кремния с углеродом образуется карбид кремния, часть кремния и исходного графита остаются несвязанными.

Неорганическая химия

Соотношение компонентов может меняться в зависимости от количества пор и их размеров в исходном графите, от продолжительности пропитки кремнием и режима изменения температуры. Для силицирования имеет большое значение не только суммарный объем пор, но и распределение объема пор по эквивалентным радиусам. Чем больше размеры пор в углеродном материале, при одинаковом суммарном объеме пор, тем меньше внутренняя поверхность, на которой происходит взаимодействие кремния с углеродом, осаждается карбид кремния и тем меньше карбида кремния в составе материала. Уменьшение размеров пор при одинаковом суммарном объеме приводит к росту внутренней поверхности углеродного материала и содержания карбида кремния [8–20].

Цель работы – исследование поровой структуры графита и влияние пористости на свойства силицированных графитов.

Экспериментальная часть

В данной работе исследовали механическую прочность, кажущуюся плотность, общую и открытую пористость графита для силицирования и распределение пор в образцах цилиндрической формы диаметром 20 мм и высотой 20 мм. Порограммы снимали на ртутном порозиметре «MIKROMERITICS» «Avto Pore». Анализировали дифференциальные и интегральные кривые. Из графиков дифференциального распределения пор по размерам рассчитали средний диаметр пор (рис. 1), по интегральной кривой распределения пор по размерам – определяли количество пор различных размеров (рис. 2). Анализ дифференциальных кривых порограмм образцов представлен в табл. 1.

Из графита также были изготовлены образцы для пропитки расплавленным кремнием с целью определения влияния пористости исходного графита на свойства силицированных графитов. Результаты анализа свойств силицированных графитов представлены в табл. 2.



Рис. 1. Изменение среднего диаметра пор в образцах графита ПРОГ-2400

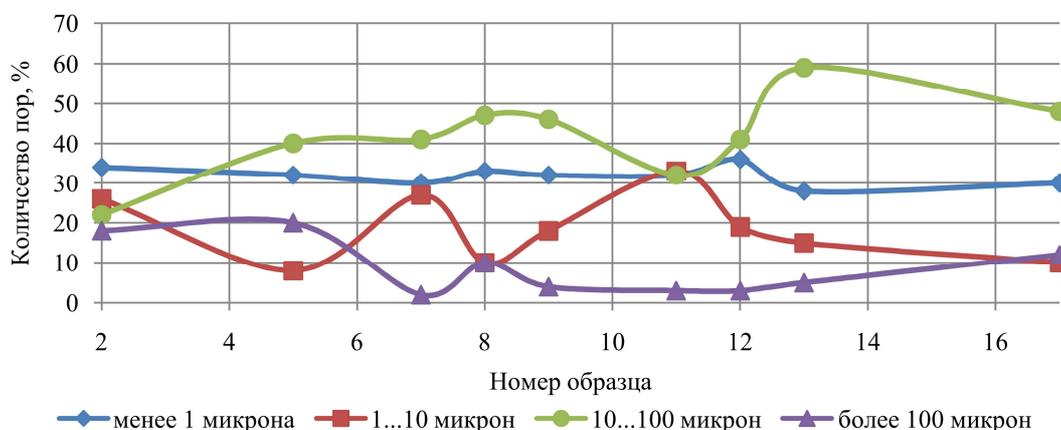


Рис. 2. Изменение количества пор разных размеров в образцах графита ПРОГ-2400

Таблица 1

Результаты анализа поровой структуры исходного графита
ПРОГ-2400 методом ртутной порометрии

Наименование показателей	Номера образцов								
	2	5	7	8	9	11	12	13	17
Механическая прочность при сжатии, МПа	32,7	41,2	25,8	33,9	30,5	32,4	31,7	29,3	33,5
Кажущаяся плотность графита, г/см ³	1,67	1,67	1,65	1,65	1,65	1,67	1,68	1,70	1,70
Общая пористость графита, %	22,7	22,7	23,6	23,6	23,6	22,7	22,2	21,3	21,3
Открытая пористость графита, %	14,7	15,0	17,1	16,6	17,6	16,6	16,6	17,7	17,3
Количество пор, %, размерами:									
менее 1 микрона	34	32	30	33	32	32	36	28	30
1...10 микрон	26	8	27	10	18	33	19	15	10
10...100 микрон, в том числе:									
10...50 микрон	22	40	41	47	46	32	41	59	48
50...100 микрон	10	20	17	23	45	25	33	32	20
Более 100 микрон	12	20	24	24	1	7	9	27	28
Средний диаметр пор, мкм	18	20	2	10	4	3	3	5	12
	3	21	6	16	11	4	9	15	20

Таблица 2

Физико-химические свойства силицированного графита

Наименование показателей	Номера образцов								
	2	5	7	8	9	11	12	13	17
Кажущаяся плотность графита, г/см ³	1,67	1,67	1,65	1,65	1,65	1,67	1,68	1,70	1,70
Кажущаяся плотность силицированного графита, г/см ³	2,27	2,26	2,24	2,27	2,24	2,27	2,25	2,24	2,24
Содержание углерода в силицированном графите, %	67	67	67	67	66	69	65	66	67
Содержание Si+SiO ₂ , силицированном графите, %	10	10	13	11	14	9	10	12	12
Содержание SiC в силицированном графите, %	22	23	20	22	20	22	23	20	20

Обсуждение результатов

Анализ физико-механических показателей графита для силицирования показывает, что при одинаковой кажущейся плотности графита механическая прочность при сжатии различная (табл. 1). При плотности графита 1,65 г/см³ мехпрочность изменяется от 25,8 МПа до 33,9 МПа. При плотности графита 1,7 г/см³ мехпрочность графита незначительно выше и изменяется в пределах от 29,3 МПа до 34,5 МПа.

Незначительное повышение мехпрочности графита при существенном повышении кажущейся плотности свидетельствует, по нашему мнению, о наличии в графите микротрещин. Широкие пределы изменения мехпрочности при одинаковой кажущейся плотности являются следствием неравномерности физико-механических свойств графита.

В свою очередь, неравномерность свойств графита является результатом неравномерности его пористой структуры.

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что средний диаметр пор образцов графита меняется в достаточно широких пределах от 3 до 21 микрона.

Анализ данных табл. 1 и рис. 2 показывает:

- все образцы имеют большое количество пор менее 1 микрона 28...36 %, в которые затруднено проникновение расплавленного кремния. Количество пор менее 1 микрона изменяется в относительно узких пределах;
- количество пор 1...10 микрон меняется в пределах от 8 до 27 %;

– количество пор 10...100 микрон меняется в пределах от 22 до 59 %. В указанной группе пор количество пор в более узком диапазоне размеров 10...50 микрон изменяется также в широких пределах от 10 до 45 %, а количество пор 50...100 микрон изменяется от 1 до 28 %;

– для пяти образцов графита (7, 9, 11, 12, 13) выявлено небольшое количество крупных пор более 100 микрон (2...5 %); в четырех образцах (2, 5, 8, 17) количество пор более 100 микрон достигает 10...20 %. Наличие большого количества пор более 100 микрон приводит к снижению плотности силицированного графита;

– по результатам исследований можно отметить, чем больше открытая пористость графита, тем большее количество пор диаметром 10...100 микрон. Чем меньше пор более 100 микрон и меньше средний диаметр пор, тем больше кажущаяся плотность образцов графита;

– анализ физико-химических свойств силицированного графита, представленных в табл. 2, показывает, что значения кажущейся плотности составляют 2,24...2,27 г/см³ и соответствует требованиям, предъявляемым к силицированному графиту.

– По результатам химического анализа, содержание кремния в образцах силицированного графита составляет 9...14 %, что также в пределах требований. Содержание карбида кремния в пяти образцах (2, 5, 8, 11, 12) высокое и составляет 22...23 %. В четырех образцах силицированного графита содержание карбида кремния низкое и составляет 20 %, что не соответствует требованиям, предъявляемым к силицированному графиту.

Заключение

Полученные результаты исследования показывают, что промышленный графит имеет неравномерную пористую структуру со средним диаметром пор 3...21 микрон, при этом характеризуется значительным содержанием пор менее 1 микрона (до 36 %) и крупных пор более 100 микрон (до 20 %), отрицательно влияющих на эффективность процесса силицирования и свойства силицированных графитов.

Результаты определения свойств силицированных графитов показали, что кажущаяся плотность всех 9 образцов соответствует требованиям и составляет 2,24...2,27 г/см³. По химическому анализу только 56 % образцов имеют высокое содержание карбида кремния 22...23 %.

Анализ физико-механических показателей и пористой структуры исходного графита показывает, что графит с кажущейся плотностью 1,65...1,70 г/см³ и неравномерной пористостью с большим количеством пор менее 1 микрона и более 100 микрон не обеспечивает получение силицированных графитов с высоким содержанием карбида кремния.

Литература

1. Чалых, Е.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий / Е.Ф. Чалых. – М.: Металлургия, 1972. – 432 с.
2. Деев, А.Н. О формировании пористой структуры углеграфитовых материалов / А.Н. Деев, Г.Н. Багров, Т.В. Лукина // Конструкционные материалы на основе графита: сб. науч. тр. № 3. – М.: Металлургия, 1967. – С. 55–63.
3. Тарабанов, А.С. О макропористой структуре углеродных материалов / А.С. Тарабанов, П.Н. Махалов, Г.М. Бутырин // Конструкционные материалы на основе графита: сб. науч. тр. № 5. – М.: Металлургия, 1970. – С. 45–51.
4. Тарабанов, А.С. Силицированный графит / А.С. Тарабанов, В.И. Костиков. – М.: Металлургия, 1977. – 207 с.
5. Изменение пористости и проницаемости углеродного материала в процессе термической обработки / В.С. Островский, И.Н. Крутова, Т.Д. Шашкова, А.П. Федосеев // Конструкционные материалы на основе графита: сб. науч. тр. № 3. – М.: Металлургия, 1967. – С. 205–208.
6. Тарабанов, А.С. Плотность и состав силицированного графита в зависимости от пористости реагирующего с кремнием углерода / А.С. Тарабанов, В.А. Поляков, В.Н. Бобковский // Разработка и исследование конструкционных углеродных материалов: сб. науч. тр. – М.: Металлургия, 1984. – С. 42–44.
7. Влияние дисперсности тонкого помола на формирование пористой структуры и свойства углеграфитовых материалов / Н.Н. Мохова, Н.П. Молоток, М.С. Оренбах, С.Д. Федосеев // Про-

изводство углеродных материалов: сб. науч. тр. – Челябинск: Южно-Уральское изд-во, 1980. – С. 3–14.

8. Чурилов, Ю.С. Исследование микропористости углеграфитовых материалов / Ю.С. Чурилов, Ю.С. Виргильев // Конструкционные материалы на основе графита: сб. науч. тр. № 4. – М.: Металлургия, 1969. – С. 156–161.

9. Железняк, А.Ю. Исследование поровой структуры углеродных материалов на ртутном порозиметре «MIKROMERITICS» «Avto Pore» / А.Ю. Железняк, Н.П. Нонишнева, А.А. Бухарова // Сб. тез. докл. 4-й Международной конференции «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология», Москва, 2005. – С. 103.

10. Бутырин, Г.М. Пористая структура искусственного графита и её классификация по удельному объёму и размерам пор / Г.М. Бутырин, М.И. Рогайлин, Е.Ф. Чалых // Химия твёрдого топлива. – 1971. – № 1. – С. 131–146.

11. Оглоблина, И.П. О применении метода ртутной порометрии к исследованию структуры углеродистых материалов / И.П. Оглоблина // Конструкционные материалы на основе графита: сб. науч. тр. № 1. – М.: Металлургия, 1964. – С. 224–236.

12. Фиалков, А.С. Углерод. Межслоевые соединения и композиты на его основе / А.С. Фиалков. – М.: Аспект Пресс, 1977. – 718 с.

13. Фиалков, А.С. Процессы и аппараты производства порошковых углеграфитовых материалов / А.С. Фиалков. – М.: Аспект Пресс, 2008. – 687 с.

14. Искусственный графит / В.С. Островский, Ю.С. Виргильев, В.И. Костиков, Н.Н. Шипков. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.

15. Бутырин, Г.М. Высокопористые углеродные материалы / Г.М. Бутырин. – М.: Химия, 1976. – 190 с.

16. Влияние технологических факторов на формирование пористой структуры в углеграфитовых материалах / А.С. Тарабанов, П.Н. Махалов, Г.А. Соккер, Ж.М. Бутырин // Конструкционные материалы на основе графита: сб. науч. тр. № 2. – М.: Металлургия, 1966. – С. 44–52.

17. Черных, В.А. Некоторые закономерности формирования пористости в искусственном графите / В.А. Черных, А.М. Сигарев, В.К. Соляков // Конструкционные материалы на основе графита: сб. науч. тр. № 2. – М.: Металлургия, 1966. – С. 35–43.

18. Нонишнева, Н.П. Влияние различных добавок на формирование пористости углеграфитовых материалов / Н.П. Нонишнева // Сб. тез. докл. 9-й Международной конференции «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология», Москва, 2014. – С. 243–246.

19. Островский, В.С. Закономерности развития пористости в углеродных материалах при термической обработке / В.С. Островский // Химия твёрдого топлива. – 1991. – № 6. – С. 118.

20. Изучение микроструктуры и пористости поликристаллических графитов для кристаллизаторов установок непрерывного литья / Т.А. Островская, Г.М. Бутырин, А.В. Харитонов, Н.Н. Шипков // Разработка и исследование конструкционных углеродных материалов: сб. науч. тр. – М.: Металлургия, 1988. – С. 101–108.

Сафина Гульнара Фанилевна – аспирант кафедры экологии и химической технологии, Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: gulya_safina_1991@mail.ru

Нонишнева Надежда Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и химической технологии, Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: narenon@gmail.com

Дыскина Бария Шакировна – доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры экологии и химической технологии, Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: arturdyskin@mail.ru

Поступила в редакцию 27 мая 2018 г.

INVESTIGATION OF THE POROUS GRAPHITE STRUCTURE FOR SILICATION

G.F. Safina, *gulya_safina_1991@mail.ru*

N.P. Nonishneva, *napenon@gmail.com*

B.Sh. Dyskina, *arturdyskin@mail.ru*

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

This article presents the results of a study of the porous structure and physicochemical properties of graphite intended for impregnation with molten silicon. The study of the porous structure of graphite has been carried out by the method of mercury porosimetry, based on the property of mercury not to moisten solid carbonaceous bodies and to fill the pores only at the corresponding hydrostatic pressure. Each pressure value corresponds to a certain pore diameter. The analysis of mechanical strength under compression, of apparent density, total, open and closed porosity of industrial graphite for siliconizing has shown unevenness of its properties and porous structure. Graphite for siliconizing is characterized by high density and microcracking. The analysis of mercury porogram of graphite samples has confirmed the unevenness of its porous structure. The average pore diameter of graphite samples widely varies from 3 to 21 micrometers. All graphite samples are distinguished by a large number of pores of less than one micrometer, into which the molten silicon penetrates with difficulty. Of the nine graphite samples studied, five samples are distinguished by a low (2–5 %) content of large pores over 100 micrometers; in four graphite samples the number of pores over 100 micrometers is quite significant and varies within 10 ... 20 %. According to the research results, the presence of large pores in graphite also reduces the efficiency of impregnation and impairs the properties of siliconized graphites. Determination of the physicochemical properties of graphite impregnated with molten silicon has shown that, despite the non-uniformity of properties and porosity of the initial graphite, sufficiently high apparent density of siliconized graphite is reached, which is 2.24–2.27 g/cm³ and meets the requirements. However, the uneven porosity of graphite leads to decreasing content of silicon carbide. Only in five samples of the siliconized graphite the silicon carbide content has been reached at the minimum level of requirements of 22.23 %. In four samples the content of silicon carbide is below the permissible value and equals 20 %. The results allow us to conclude that it is necessary to reduce the density of graphite for siliconizing and reduce the number of pores less than 1 micrometer and more than 100 micrometers.

Keywords: graphite for siliconizing, mercury porosimetry method, porous structure, pore size distribution, density of siliconized graphite, silicon carbide content.

References

1. Chalykh E.F. *Tekhnologiya i oborudovaniye elektrodnykh i elektrougol'nykh predpriyatiy* [Technology and Equipment of Electrode and Electro-coal Enterprises]. Moscow, Metallurgy Publ., 1972. 432 p.
2. Deyev A.N., Bagrov G.N., Lukina T.V. [On the Formation of the Porous Structure of Carbon-graphite Materials]. *Konstruktsionnye materialy na osnove grafita: sb. nauch. tr. № 3* [Structural Materials Based on Graphite: Sat. Sci. Tr. No. 3]. Moscow, Metallurgy Publ., 1967, pp. 55–63. (in Russ.)
3. Trabanov A.S., Makhalov P.N., Butyrin G.M. [On Macroporous Structure of Carbon Materials]. *Konstruktsionnye materialy na osnove grafita: sb. nauch. tr. № 5* [Structural Materials Based on Graphite: Sat. Sci. Tr. No. 5]. Moscow, Metallurgy, 1970, pp. 45–51. (in Russ.)
4. Tarabanov A.S., Kostikov V.I. *Silitsirovannyi grafit* [Silicified graphite]. Moscow, Metallurgy Publ, 1977. 207 p.
5. Ostrovskiy V.S., Krutova I.N., Shashkova T.D., Fedoseev A.P. [Change in the Porosity and Permeability of the Carbon Material During the Heat Treatment Process]. *Konstruktsionnye materialy na osnove grafita: sb. nauch. tr. № 3* [Structural Materials Based on Graphite: Sat. Sci. Tr. No. 3]. Moscow, Metallurgy Publ., 1967, pp. 205–208. (in Russ.)
6. Tarabanov A.S., Polyakov V.A., Bobkovskiy V.N. [The Density and Composition of the Siliconized Graphite in Dependence on Porosity of Carbon Reacting with Silicon]. *Razrabotka i issledovaniye konstruktsionnykh uglerodnykh materialov: sb. nauch. tr. № 5* [Development and Study of Structural Carbon Materials: Sat. Sci. Tr. No. 5]. Moscow, Metallurgy Publ., 1984, pp. 42–44. (in Russ.)

7. Mokhova N.N., Molotok N.P., Orenbakh M.S., Fedoseev S.D. [Influence of Dispersion of Fine Grinding on the Formation of a Porous Structure and Properties of Carbon-Graphite Materials]. *Proizvodstvo uglerodnykh materialov: sb. nauch. tr. № 6* [Production of Carbon Materials: Sat. Sci. Tr. No. 6]. Chelyabinsk, South Ural Publishing House, 1980, pp. 3–14. (in Russ.)
8. Churilov YU.S., Virgil'yev YU.S. [Investigation of the Microporosity of Carbon-Graphite Materials]. *Konstruktsionnyye materialy na osnove grafita: sb. nauch. tr. № 4* [Structural Materials Based on Graphite: Sat. Sci. Tr. No. 4]. Moscow, Metallurgy Publ., 1969, pp. 156–161. (in Russ.)
9. Zheleznyak A.YU., Nonishneva N.P., Bukharova A.A. [Investigation of the Pore Structure of Carbon Materials on a Mercury Porosimeter "MIKROMERITSIS" "Avto Rore"]. *Sb. tez. dokl. 4 Mezhdunarodnoy konferentsii «Uglerod: fundamental'nyye problemy nauki, materialovedeniye, tekhnologiya»* [Sat. Tez. Doc. 4th International Conference "Carbon: Fundamental Problems of Science, Materials Science, Technology"]. Moscow, 2005, p. 103. (in Russ.)
10. Butyrin G.M., Rogaylin M.I., Chalykh E.F. [Porous Structure of Artificial Graphite and its Classification by Specific Volume and Pore Sizes]. *Chemistry of Solid Fuel*, 1971, no. 1, pp. 131–146. (in Russ.)
11. Ogloblina I.P. [On the Application of the Method of Mercury Porosimetry to the Study of the Structure of Carbonaceous Materials]. *Konstruktsionnyye materialy na osnove grafita: sb. nauch. tr. № 1* [Structural Materials Based on Graphite: Sat. Sci. Tr. No. 1]. Moscow, Metallurgy Publ., 1964, pp. 224–236. (in Russ.)
12. Fialkov A.S. *Uglerod. Mezhsloyevyye soyedineniya i kompozity na ego osnove* [Carbon. Inter-layer Compounds and Composites Based on it]. Moscow, Aspect Press Publ., 1977. 718 p.
13. Fialkov A.S. *Protsessy i apparaty proizvodstva poroshkovykh uglegrafitovykh materialov* [Processes and Apparatus for the Production of Powdered Carbon-Graphite Materials]. Moscow, Aspect Press Publ., 2008. 687 p.
14. Ostrovskiy B.C., Virgil'yev Yu.S., Kostikov V.I., Shipkov N.N. *Iskusstvennyy grafit* [Artificial Graphite]. Moscow, Metallurgy Publ., 1986. 272 p.
15. Butyrin G.M. [Highly Porous Carbon Materials]. *Chemistry*, 1976, p. 190. (in Russ.)
16. Tarabanov A.S., Makhalov P.N., Sokker G.A., Butyrin G.M. [The Influence of Technological Factors on the Formation of a Porous Structure in Carbon-graphite Materials]. *Konstruktsionnyye materialy na osnove grafita: sb. nauch. tr. № 2* [Structural Materials Based on Graphite: Sat. Sci. Tr. No. 2]. Moscow, Metallurgy Publ., 1966, pp. 44–52. (in Russ.)
17. Chernykh V.A., Sigarev A.M., Solyakov V.K. [Some Regularities in the Formation of Porosity in Artificial Graphite]. *Konstruktsionnyye materialy na osnove grafita: sb. nauch. tr. № 2* [Structural Materials Based on Graphite: Sat. Sci. Tr. No. 2]. Moscow, Metallurgy Publ., 1966, pp. 35–43. (in Russ.)
18. Nonishneva N.P. [Influence of Various Additives on Porosity Formation of Carbon-graphite Materials]. *Sb. tez. dokl. 9 Mezhdunarodnoy konferentsii «Uglerod: fundamental'nyye problemy nauki, materialovedeniye, tekhnologiya»* [Sb. Tez. Doc. 9th International Conference "Carbon: Fundamental Problems of Science, Materials Science, Technology"]. Moscow, 2014, pp. 243–246. (in Russ.)
19. Ostrovskiy V.S. [Regularities in the Development of Porosity in Carbon Materials During Heat Treatment]. *Chemistry of Solid Fuel*, 1991, no. 6, p. 118. (in Russ.)
20. Ostrovskaya T.A., Butyrin G.M., Kharitonov A.V., Shipkov N.N. [Study of Microstructure and Porosity of Polycrystalline Graphites for Crystallizers of Continuous Casting Plants]. *Razrabotka i issledovaniye konstruktsionnykh uglerodnykh materialov: sb. nauch. tr. № 12* [Development and Research of Structural Carbon Materials: Sat. Sci. Tr. No. 12]. Moscow, Metallurgy Publ., 1988, pp. 101–108. (in Russ.)

Received 27 May 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сафина, Г.Ф. Исследование пористой структуры графита для силицирования / Г.Ф. Сафина, Н.П. Нонишнева, Б.Ш. Дыскина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия» – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 5–11. DOI: 10.14529/chem180401

FOR CITATION

Safina G.F., Nonishneva N.P., Dyskina B.Sh. Investigation of the Porous Graphite Structure for Silication. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2018, vol. 10, no. 4, pp. 5–11. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem180401