

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ГРАФИТА НА КАЧЕСТВО СОЛЯНЫХ СТЕРЖНЕЙ

Усков И.В.<sup>1</sup>, Гильманшина Т.Р.<sup>1</sup>, Беляев С.В.<sup>1</sup>, Богданова Т.А.<sup>2</sup>, Усков Д.И.<sup>1</sup>, Партико Е.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>2</sup> ООО «КиК», Красноярск, Россия

### **Аннотация**

Изучены возможности повышения качества соляного стержня на основе карбамида за счет введения в его состав скрытокристаллического графита Курейского месторождения. Показано, что введение графита, активированного в планетарной мельнице RETSCH PM 400 MA, в количестве 5–15% изменяет характер кристаллизации стержня и приводит к перераспределению раковины в мелкую, равномерно распределенную по его сечению газовую пористость за счет появления центров кристаллизации – активных частиц графита, сорбирующих на себе газы, выходящие из соляной смеси в процессе ее приготовления. Размеры пор и долю поверхности стержней, покрытой порами, оценивали по фотографиям, полученным в программе Siams Photolab на микроскопе OBSERVER.D1m фирмы Zeiss, которые затем обрабатывали при помощи программы «Расчет пористости поверхности изделий». Было показано, что при введении графита до 10 мас. % размеры пор уменьшаются с 0,19 до 0,14 мм (на поверхности стержня) и с 1,54 до 0,85 мм (внутри стержня); доля поверхности, занятая порами, при этом уменьшается с 1,27 до 0,03%. При дальнейшем увеличении содержания графита (до 15 мас. % и более) поры на поверхности и внутри стержня отсутствуют. Высокие характеристики поверхности соляного стержня обеспечиваются за счет плавной (равновесной) кристаллизации соляного расплава, что подтверждается результатами дифференциально-термического анализа. Введение графита существенно не меняет параметры кристаллизации. Результаты исследований влияния содержания графита на шероховатость соляных стержней, оцененных на профилометре TR200, показали, что наиболее оптимальным количеством графита, вводимым в состав соляного стержня, является 5% ( $R_a$  уменьшалось с 0,538 до 0,08), что ведет к снижению шероховатости отливки.

**Ключевые слова:** графит, соляной стержень, шероховатость, поры, кристаллизация.

### **Введение**

Модернизация существующих и создание новых машин и приборов потребовало разработки деталей сложной конфигурации, которым предъявляются высокие требования к точности их размеров и качеству поверхности. К таким деталям относятся разнообразные по конструкции волноводы, которые представляют собой тонкостенные детали со сложной конфигурацией каналов. Основным показателем качества волноводов является точность размеров каналов и минимальная шероховатость поверхности. Гальванопластика или гибка специальных профилей с последующей пайкой характеризуется низкой эффективностью. Одним из перспективных процессов изготовления волноводов является литье. Среди многообразия современных способов литье по выплавляемым моделям занимает особое

положение в связи с главной его особенностью – возможностью изготовления из разнообразных сплавов отливок сложной конфигурации. Литьем по выплавляемым моделям изготавливают отливки с высокой плотностью металла, шероховатостью поверхности  $Rz$  20–10 и менее. Однако значительная часть отливок (~78%) имеет точность размеров по 14–17 квалитетам СТ СЭВ 144–75. Недостаточная точность размеров отливок снижает эффективность данного способа литья и увеличивает сроки освоения [1–3].

### **Исследование влияния содержания графита на качество соляных стержней**

Решение задачи повышения точности размеров отливок волноводного класса, изготовленных по выплавляемым моделям, является актуальной задачей, решение которой способствует улучшению служебных характеристик радиоэлектронной аппаратуры. Поэтому представляется интерес разработка эффективных легкоудаляе-

мых водорастворимых соляных стержней для изготовления высококачественных отливок со сложными внутренними полостями, не требующих последующей механической обработки.

В работе [4] приведены основные требования к соляным стержням:

- должны иметь достаточную термомеханическую прочность и не разрушаться запрессовываемым в полость формы сплавом;

- должны обеспечивать получение поверхности отливки по 6–7-му классам чистоты и по 3-му классу точности.

С другой стороны, как показано в работе [5], применение легкоудаляемых стержней ограничено их нестабильными и невысокими физико-механическими свойствами: соляные стержни имеют высокую усадку и низкую прочность, высокие остаточное термические напряжения, что приводит к повышенному трещинообразованию, а также высокую гигроскопичность, что ограничивает срок их хранения и затрудняет нанесение защитных покрытий.

В настоящее время разработано достаточно большое количество составов соляных стержней и методов улучшения их качества [6–10]. Одним из направлений, позволяющих улучшать качество соляных стержней, является введение в их состав графита [11].

Поэтому цель данной работы – исследовать возможность повышения качества соляных стержней за счет введения в их состав графита. Для исследований выбран скрытокристаллический графит Курейского месторождения, режим активации которого подробно рассмотрен в работах [12–14]. Качество стержней оценивали по следующим параметрам: доля поверхности стержня, покрытая порами, шероховатость стержня. Долю поверхности стержней, покрытую порами, оценивали следующим образом: в программе SiamsPhotolab на микроскопе OBSERVER.D1m фирмы Zeiss получали фотографию макроструктуры образца; при помощи программы «Расчет пористости поверхности изделий» оценивали диаметр и количество пор, присутствующих на поверхности образца (**рис. 1, 2**); оценивали общую поверхность, занятую порами; в процентном отношении оценивали долю площади, занятой порами

от общей площади образца.

Результаты изменений вывели в виде таблицы, в которой были приведены данные по диаметру каждой измеренной поры, средний диаметр пор.

Шероховатость стержней оценивали на профилометре TR200.

Результаты исследования макро- и микроструктуры и разрез стержней с различным содержанием графита показаны на рис. 3–6.

Из представленных данных видно, что на поверхности стержня с 5% графита присутствуют поры, которые носят газовый характер. Внутри стержней также присутствуют поры, носящие газоусадочный характер.

Полученные данные можно объяснить тем, что введение графита приводит к перераспределению раковины в мелкую, равномерно распределенную по сечению стержня газовую пористость за счет появления центров кристаллизации – активных частиц графита, сорбирующих на себе газы, выходящие из соляной смеси в процессе ее приготовления.

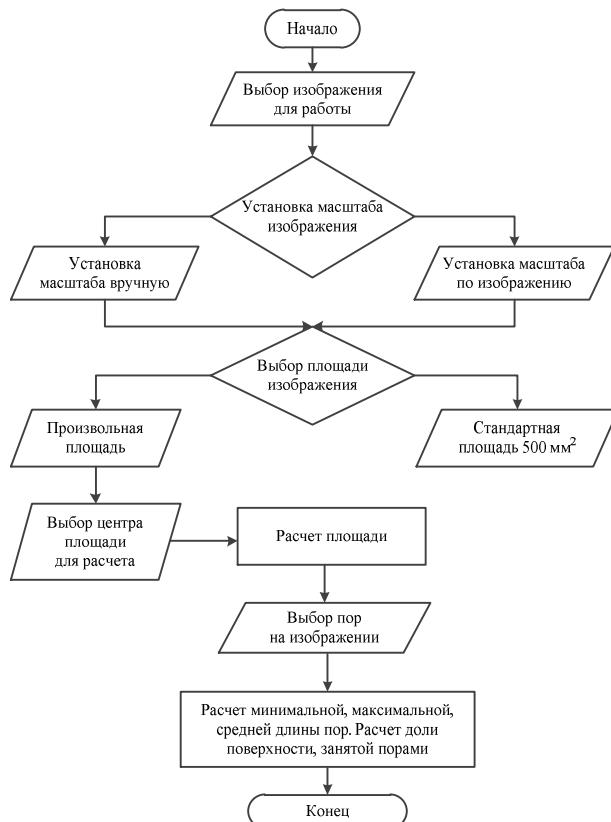


Рис. 1. Блок-схема программы

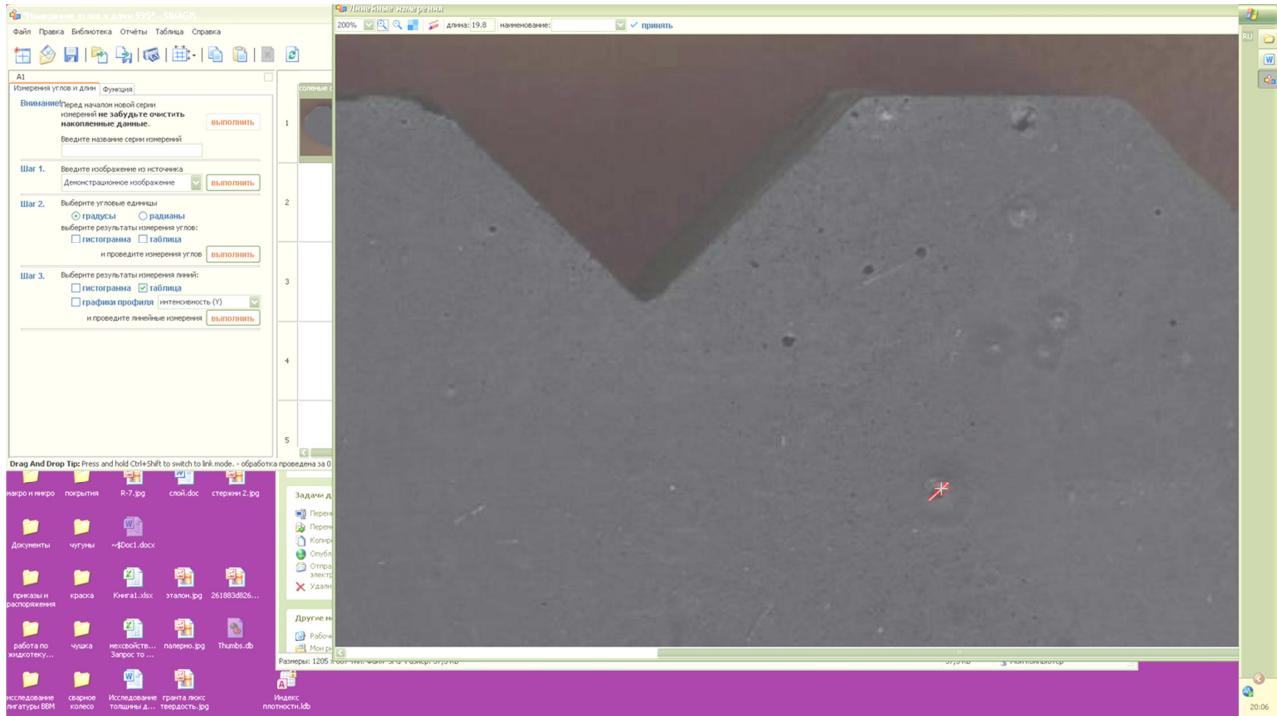


Рис. 2. Макроструктура соляного стержня с выделенной порой

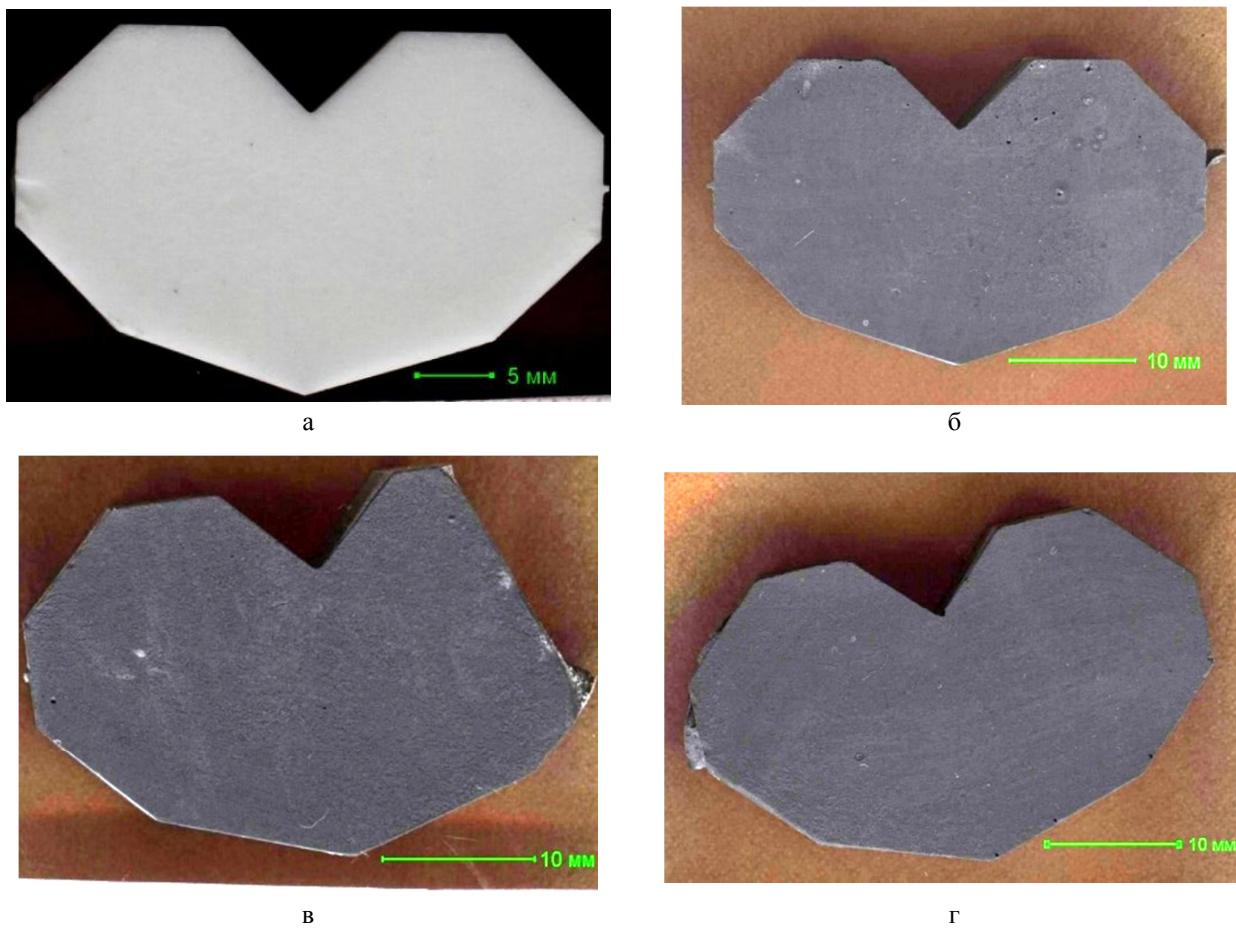


Рис. 3. Макроструктура соляных стержней с различным содержанием графита, %:  
а – без графита; б – 5; в – 10; г – 15

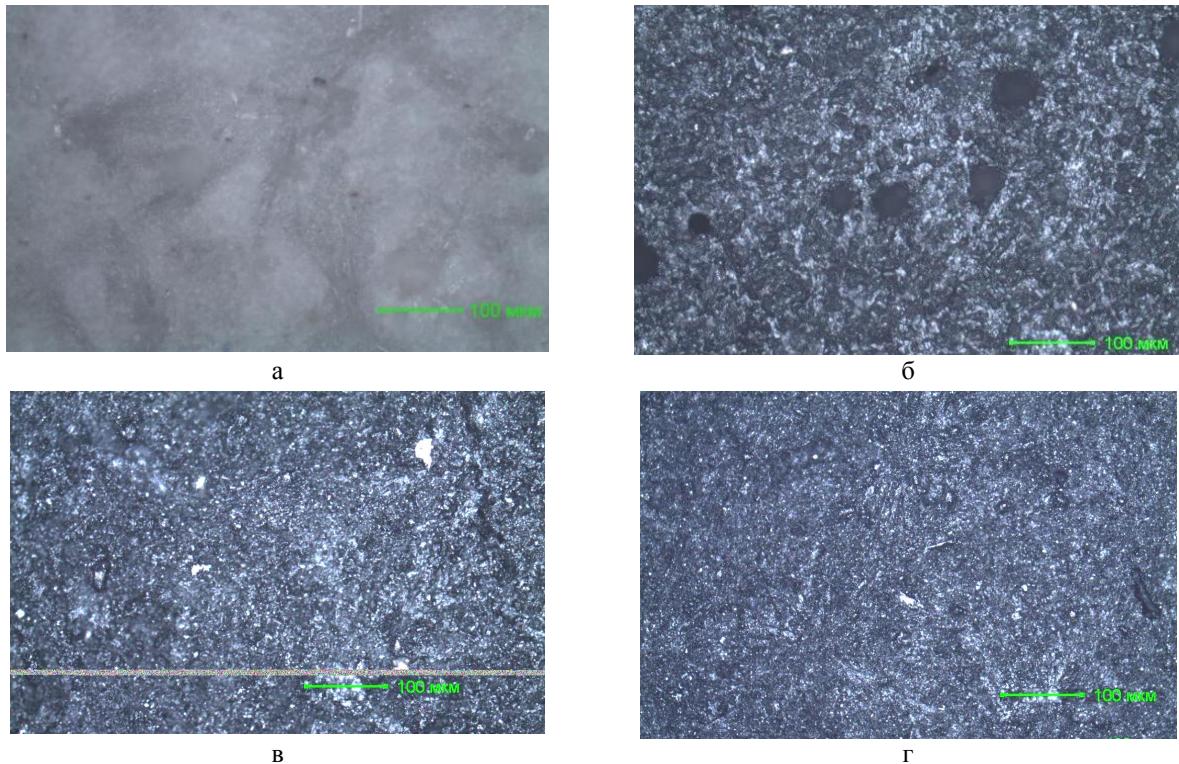


Рис. 4. Микроструктура соляных стержней с различным содержанием графита, %:  
а – без графита; б – 5; в – 10; г – 15

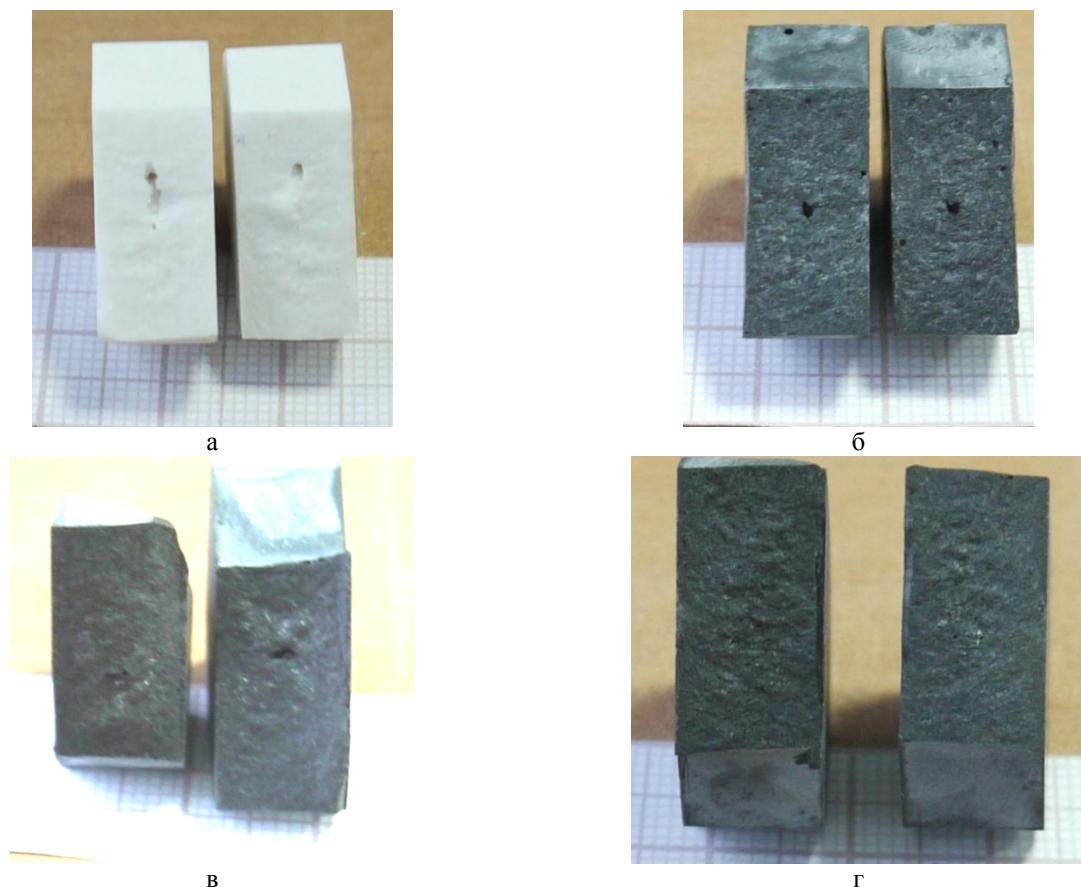


Рис. 5. Разрез соляных стержней с различным содержанием графита, %:  
а – без графита; б – 5; в – 10; г – 15

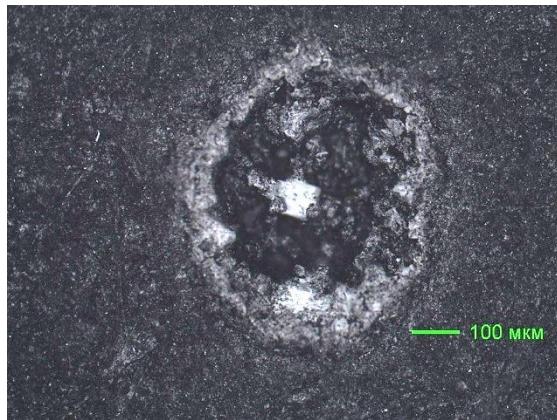
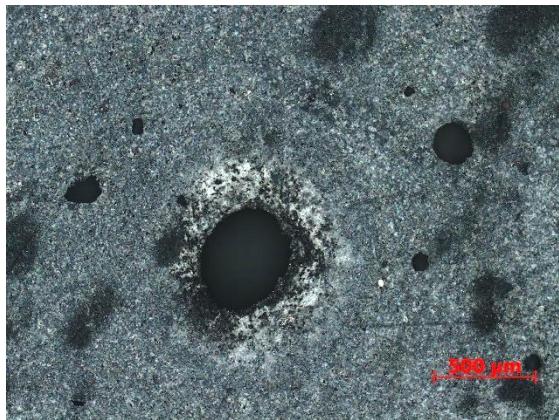


Рис. 6. Пора в объеме стержней

Повышение содержания графита приводит к увеличению центров кристаллизации и тем самым более равномерному распределению пористости по сечению стержня.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Определение пористости на поверхности и внутри стержня с различным содержанием графита

Параметр	Содержание графита, %		
	0	5	10
<b>На поверхности стержня</b>			
Число пор	53	13	9
Размеры пор, мм:			
минимальное значение	0,05	0,1	0,02
максимальное значение	0,86	0,2	0,28
среднее значение	0,19	0,15	0,14
Доля поверхности, занятая порами, %	1,27	0,10	0,03
<b>Внутри стержня</b>			
Число пор	2	8	1
Размеры пор, мм:			
минимальное значение	0,84	0,01	0,85
максимальное значение	2,23	1,18	0,85
среднее значение	1,54	0,25	0,85
Средне квадратичное отклонение, мм	0,98	0,39	0,00
Медиана, мм	2,23	0,17	0,85
Размах, мм	0,00	0,14	0,00

На поверхности соляных стержней, содержащих в своем составе 15% графита, поры отсутствуют как на поверхности стержня, так и внутри его. Поэтому расчеты пор для этих стержней не представлены.

Результаты исследований влияния содержания графита на шероховатость соляных стержней представлены на рис. 7, из которого видно, что наиболее оптимальным количеством графита, вводимым в состав соляного стержня, является 5%.

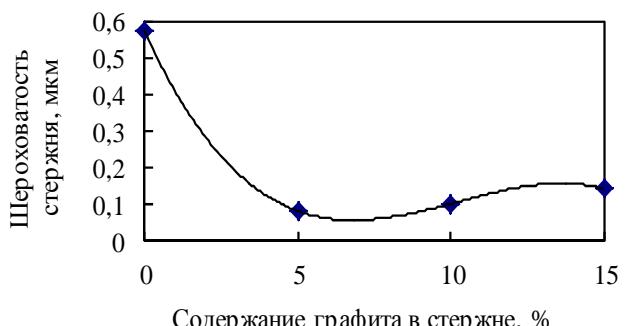


Рис. 7. Влияние содержания графита в составе соляных стержней на их шероховатость

Высокие характеристики поверхности соляного стержня обеспечиваются за счет плавной (равновесной) кристаллизации соляного расплава, что подтверждается результатами дифференциально-термического анализа.

## Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что введение активированного графита в состав соляного стержня приводит к перераспределению газовой раковины в его центре в мелкую, равномерно распределенную по всему сечению газовую пористость за счет появления активных частиц графита, сорбирующих на себе газы, выходящие из соляной смеси в процессе ее приготовления. Результаты исследований влияния содержания графита на шероховатость соляных стержней показали, что наиболее оптимальным количеством графита, вводимым в состав соляного стержня, является 5% ( $R_a$  уменьшилось с 0,538 до 0,08).

## Список литературы

- Чернышев П.А., Халикова К.К. Расчет динамики формирования размера при литье по выплавляемым моделям отливки типа волновод // Машиностроительные технологии: материалы студ. науч. конф. 2010. С. 1–6.

2. Water-soluble cores – verifying development trends / Eliška Adámková, Petr Jelínek, Jaroslav Beňo, František Mikšovský // Materiali in tehnologije. 2015. 249. 1. P. 61–67.
3. Advances in Technology of Soluble Cores for Die Castings / P. Jelínek, E. Adámková, F. Mikšovský, J. Beňo // Archives of foundry engineering. 2015. Vol. 15, iss. 2. P. 29–34.
4. Материал стержней [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hydromech.kiev.ua/2014/10/material-sterzhnej>
5. Ruddl, R.W. The solidification of castings / R.W. Ruddl. London, 1957. 162 p.
6. Охлаждаемые металлические стержни с теплозащитным покрытием / А.А. Бондарь, Ю.М. Дудзинский, К.В. Колесник, О.И. Воронова // Technology audit and production reserves. 2013. № 3/2(11). С. 9–11.
7. Свойства модельных составов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.juwelir.info/index.php/shtampovka/literopuyplavlyayemymodelyam/464-svojstva\\_model\\_nyh\\_sostavov](http://www.juwelir.info/index.php/shtampovka/literopuyplavlyayemymodelyam/464-svojstva_model_nyh_sostavov).
8. А. с. 1031631 СССР, МПК В 22 С 1/02. Смесь для изготовления водорастворимых литейных стержней / Б.А. Краев, М.Н. Чурик, В.П. Шибанов; заявитель и патентообладатель НИИЛИТавтпром. № 3407222/22-02; заявл. 17.03.82; опубл. 30.07.83, Бюл. № 28.
9. Заявка на пат. 2011105861 DE, МПК В 22 С 9/10. Стержни на солевой основе и способ их изготовления / Тиманн Дирк, Шиллер Гудрун, Кэфер Дитер [и др.] ; заявитель и патентообладатель КЕРАМТЕК ГМБХ (DE). № 2011105861/02; заявл. 20.07.09; опубл. 27.08.12, Бюл. № 24.
10. Method of manufacturing expendable salt core for casting and expendable salt core for casting [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.faqs.org/patents/app/20090205801#xzz3oUsswPra>.
11. Изготовление соляных стержней для получения прессизионных отливок / Т.Р. Гильманшина, И.В. Усков, С.В. Беляев [и др.] // Литейное производство. 2014. № 8. С. 17–20.
12. Наноструктурированные графитсодержащие изделия / Л.И. Мамина, С.В. Беляев, Т.Р. Гильманшина [и др.]. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2013. 268 с.
13. Гильманшина Т.Р. Разработка способов повышения качества литейного графита отдельными и комплексными методами активации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск: Юж.-Урал. гос. ун-т, 2004. 16 с.
14. Исследование зависимости качества природного скрытокристаллического графита от режимов подготовки / Баранов В.Н., Довженко Н.Н., Гильманшина Т.Р. [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 2(50). С. 54–59.

Материал поступил в редакцию 11.02.16.

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DOI:10.18503/1995-2732-2016-14-4-20-26

## STUDYING THE EFFECT OF GRAPHITE CONCENTRATION ON THE QUALITY OF SALT CORES

**Igor V. Uskov** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: uskov59@mail.ru

**Tatiana R. Gil'manshina** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: gtr1977@mail.ru

**Sergey V. Belyaev** – D.Sc. (Eng.), Associate Professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: 244812@mail.ru

**Tatyana A. Bogdanova** – Ph.D. (Eng.), Head of Metallurgical Department  
Kik LLC, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: bat@kandk.ru

**Daniel I. Uskov** – Assistant Professor  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Eugene G. Partyko** – Postgraduate Student  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

### Abstract

This article looks at the ways to improve the quality of carbamide-based salt cores by introducing some cryptocrystalline graphite from the Kureysk deposit. It is shown that the introduction of 5-15% graphite activated in the RETSCH PM 400 MA planetary mill changes the crystallization pattern of the core and turns the cavity into fine gas pores evenly distributed across the core section due to the occurrence of crystallization centers, i.e. active graphite particles which absorb gases produced by the salt mixture during its preparation. The size of the pores and the affected core surface were analysed by studying the photos which were produced on the Zeiss OBSERVER.D1m microscope with the help of the SiamsPhotolab program and processed with the help of a program designed to

calculate the surface porosity. It is demonstrated that the introduction of up to 10 wt. % of graphite led to the pore size reduction from 0.19 to 0.14 mm at the core surface and from 1.54 to 0.85 mm in the core; the surface area which had pores was reduced from 1.27 to 0.03%. An increased graphite concentration (up to 15 wt.% or more) would result in zero porosity either on the surface and in the core. The high performance of the salt core surface is due to a smooth, or equilibrium, crystallization of the salt melt, which is confirmed by the results of the differential thermal analysis. The introduction of graphite does not entail a substantial change to the crystallization parameters. The research carried out to determine how the graphite concentration can effect the salt core roughness, which was analysed with the help of the TR200 profilometer,

showed that 5% was the optimal graphite concentration for a salt core (with Ra decreased from 0.538 to 0.08) leading to less roughness in the resultant casting.

**Keywords:** Graphite, hydrochloric rod, roughness, pores, crystallization.

#### References

1. Chernyshev P.A., Khalikova K.K. Calculating the dynamics size formation in the investment casting. *Mashinostroitel'nye tekhnologii: studencheskaya nauch. konf* [Engineering technology: Students' Scientific Conference], 2010, pp. 1–6.
2. Adámková Eliška, Jelínek Petr, Beňo Jaroslav, Mikšovský František Water-soluble cores – verifying development trends. *Materiali in tehnologije*. 2015, no 249(1), pp. 61–67.
3. Jelínek P., Adámková E., Mikšovský F., Beňo J. Advances in Technology of Soluble Cores for Die Castings. *Archives of foundry engineering*. 2015, vol. 15, iss. 2, pp. 29–34.
4. *Material sterzhnej* [Core material]. Available at: <http://hydromech.kiev.ua/2014/10/material-sterzhnej>
5. Rudd R.W. The solidification of castings. London, 1957. 162 c.
6. Bondar' A.A., Dudzinskiy Yu.M., Kolesnik K.V., Voronova o.l. Cooled metal cores with thermal barrier coatings. *Technology audit and production reserves*, 2013, no 3/2(11), pp. 9–11.
7. *Svojstva model'nykh sostavov* [Properties of waxes]. Available at: [http://www.juwelir.info/index.php/shtampovka/litepovyplavlyayemymmo-delyam/464-svojstva\\_model\\_nyh\\_sostavov](http://www.juwelir.info/index.php/shtampovka/litepovyplavlyayemymmo-delyam/464-svojstva-model_nyh_sostavov).
8. Kraev B.A., Churik M.N., Shibanov V.P. *Smes' dlya izgotovleniya vodorastvorimykh litejnyh sterzhnej* [A wax for water-soluble cores]. A.S. SV, no. 1031631, 1983.
9. Timann Dirk, Shiller Gudrun, Kehfer Diter et al. *Sterzhni na solevoj osnove i sposob ih izgotovleniya* [Salt cores and their manufacture]. Application for Patent DE no. 2011105861, 2009.
10. Method of manufacturing expendable salt core for casting and expendable salt core for casting. Available at: <http://www.faqs.org/patents/app/20090205801#ixzz3oUsswPra>.
11. Gil'manshina T.R., Uskov I.V., Belyaev S.V. et al. Production of salt cores for precision castings. *Liteynoye proizvodstvo* [Foundry]. 2014, no 8, pp. 17–20.
12. Mamina L.I., Belyaev S.V., Gil'manshina T.R. et al. *Nanostrukturirovannyе grafitosoderzhashchie izdeliya* [Nanostructured graphite products]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2013, 268 p.
13. Gil'manshina T.R. *Razrabotka sposobov povysheniya kachestva litejnogo grafta otdeľnymi i kompleksnymi metodami aktivacii*: aftoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Developing ways to improve the quality of foundry graphite through the application of separate and combined activation methods. Extended abstract of Ph.D. dissertation]. Chelyabinsk: South Ural State University, 2004, 16 p.
14. Baranov V.N., Dovzhenko N.N., Gil'manshina T.R. et al. Studying the relationship between the quality of natural cryptocrystalline graphite and the treatment regimes. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, no. 2(50), pp. 54–59.

Received 11/02/16

---

Исследование влияния содержания графита на качество соляных стержней / Усков И.В., Гильманшина Т.Р., Беляев С.В., Богданова Т.А., Усков Д.И., Партико Е.Г. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №4. С. 20–26. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-20-26

Uskov I.V., Gil'manshina T.R., Belyaev S.V., Bogdanova T.A., Uskov D.I., Partyko E.G. Studying the effect of graphite concentration on the quality of salt cores. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2016, vol. 14, no. 4, pp. 20–26. doi:10.18503/1995-2732-2016-14-4-20-26

---