

УДК 669.017:62-405.8

## ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕДНЫХ ГАЗАРОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

КАРПОВ В.Ю.<sup>1\*</sup> *д.т.н., проф.*

ГУБЕНКО С.И.<sup>2\*</sup> *д.т.н., проф.*

КАРПОВ В.В.<sup>3\*</sup> *зав. НИЛ «Сплав»*

<sup>1\*</sup> Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 3748266, e-mail: vladkarp@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5427-2154

<sup>2\*</sup> Кафедра материаловедения, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 3748357, e-mail: sigubenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5427-1154

<sup>3\*</sup> Научно-исследовательская лаборатория «Сплав», Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 3748155, e-mail: mag.tech@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5427-1135

**Аннотация. Цель.** При кристаллизации газаров важен вопрос о взаимодействии нескольких фронтов кристаллизации в объеме одной формы. Результаты такого взаимодействия должны заметно отразиться на их структуре и соответственно на свойствах. Поскольку основное требование к изделиям из газаров – однородность поровой структуры, целью работы является изучение закономерностей формирования структуры газаров при двух аксиально расположенных холодильниках внутри одной формы. **Методика.** Материалом для изготовления образцов газаров служила медь марки М0. В качестве холодильников выступали охлаждаемые водой насадки, расположенные рядом друг с другом в одной форме. Металл расплавлялся в автоклаве при заданном давлении газа, а затем переливался в форму при необходимом для процесса давлении. Применяли методы исследования – оптическая микроскопия, измерение пористости с помощью ПК. **Результаты.** Установлено, что в местах встречи фронтов кристаллизации образуются зоны пор слияния, размеры которых значительно превышают размеры пор в газоевтектических колониях. Для стабильного протекания процесса необходимо обеспечить минимальное движение расплава, стабильный температурный градиент, постоянство или стабильность изменения во времени давления кристаллизации; свободный уход расплава и водорода от фронта кристаллизации, повышение рабочих давлений до  $P \approx 1,3 - 1,4$  МПа. **Научная новизна.** Выявлены отличия в структуре отливок при ее формировании в зависимости от ориентации холодильников. Рассмотрены способы устранения дефектной зоны в отливках. **Практическая значимость.** Использование полученных результатов позволит эффективно управлять пористой структурой изделий с двумя аксиальными фронтами кристаллизации, ликвидировать возможность образования дефектной зоны, значительно повысить качество литых изделий.

*Ключевые слова:* газар, давление насыщения, кристаллизации, расплав, пористость, поры слияния.

## ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ МІДНИХ ГАЗАРІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

КАРПОВ В.Ю.<sup>1\*</sup> *д.т.н., проф.*

ГУБЕНКО С.І.<sup>2\*</sup> *д.т.н., проф.*

КАРПОВ В.В.<sup>3\*</sup> *зав. НДЛ «Сплав»*

<sup>1\*</sup> Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, ін. Гагаріна, 4, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 3748266, e-mail: vladkarp@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5427-2154

<sup>2\*</sup> Кафедра матеріалознавства, Національна металургійна академія України, ін. Гагаріна, 4, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 3748357, e-mail: sigubenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5427-1154

<sup>3\*</sup> Науково-дослідна лабораторія «Сплав», Національна металургійна академія України, ін. Гагаріна, 4, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 3748155, e-mail: mag.tech@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5427-1135

**Анотація. Ціль.** При кристалізації газарів важливе питання про взаємодію декількох фронтів кристалізації в обсязі однієї форми. Результати такої взаємодії повинні помітно відбитися на їхній структурі й відповідно на властивостях. Оскільки основна вимога до виробів з газарів – однорідність порової структури, метою роботи є вивчення закономірностей формування структури газарів при двох аксіально розташованих холодильниках усередині однієї форми. **Методика.** Матеріалом для виготовлення зразків газарів була обрана медь марки М0. У якості холодильників виступали охолоджувані водою насадки, розташовані поруч один з одним в одній формі. Метал розплавлявся в автоклаві при заданому тиску газу, а потім переливався у форму при необхідному для процесу тиску. Застосовували методи дослідження – оптична микроскопія, вимір пористості за допомогою ПК. **Результати.** Установлено, що в місцях зустрічі фронтів кристалізації утворюються зони пор злиття, розміри яких значно перевищують розміри пор у газоевтектичних колоніях. Для стабільного протікання процесу необхідно забезпечити мінімальний рух розплаву, стабільний температурний градієнт, сталість або стабільність зміни в часі тиску кристалізації; вільний відхід розплаву й водню від фронту кристалізації, підвищення робочих тисків до  $P \approx 1,3 - 1,4$  МПа. **Наукова новизна.** Виявлені відмінності в структурі виливків при її формуванні залежно від орієнтації холодильників. Розглянуті способи усунення дефектної зони у виливках. **Практична значимість.** Використання отриманих результатів дозволить ефективно керувати пористою структурою виробів із двома аксіальними фронтами кристалізації, ліквідувати можливість утвору дефектної зони, значно підвищити якість литих виробів.

*Ключові слова:* газар, тиск насичення, кристалізації, розплав, пористість, пори злиття.

## FORMATIONS OF STRUCTURE OF COPPER GAZAR OF THE DIFFICULT FORM

KARPOV V.Yu.<sup>1\*</sup> *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*  
 GUBENKO S.I.<sup>2\*</sup> *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*  
 KARPOV V.V.<sup>3\*</sup> chief research laboratory "Alloy"

1 \* Department of materials science, National metallurgical academy of Ukraine, Gagarin Ave., 4, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, ph. +38 (056) 3748266, e-mail: vladkarp@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5427-2154

2 \* Department of materials science, National metallurgical academy of Ukraine, Gagarin Ave., 4, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, ph. +38 (056) 3748357, e-mail: sigubenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5427-1154

3 \* Research laboratory "Splav", National metallurgical academy of Ukraine, Gagarin Ave., 4, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, ph. +38 (056) 3748155, e-mail: mag.tech@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5427-1135

**Abstract. Purpose.** At crystallization of gazar the question of interaction of several fronts of crystallization in volume of one form is important. Results of such interaction have to be reflected considerably in their structure and respectively in properties. As the main requirement to products from gazar - uniformity of steam structure, the purpose of work is studying of regularities of formation of structure of gazar at two axial the located refrigerators in one form. **Technique.** As material for production of samples of gazar M0 brand copper served. The nozzles cooled by water acted as refrigerators, nearby with each other in one form. Metal melted in the autoclave with the set gas pressure, and then was poured in a form with a pressure, necessary for process. Applied research methods - optical microscopy, measurement of porosity by means of the personal computer. **Results.** It is established that in meeting places of fronts of crystallization zones of a time of merge which sizes considerably exceed the sizes of a time in the gas-eutectic colonies are formed. For stable course of process, it is necessary to provide the minimum movement of fusion, a stable temperature gradient, constancy or stability of change in crystallization pressure time; free leaving of fusion and hydrogen from the front of crystallization, increase of working pressure to  $P \approx 1,3 - 1,4$  MPa. **Scientific novelty.** Differences in structure of castings at its formation depending on orientation of refrigerators are revealed. Ways of elimination of a defective zone in castings are considered. **Practical importance.** Use of the received results will allow to operate effectively porous structure of products with two axial fronts of crystallization, to liquidate possibility of formation of a defective zone, considerably to increase quality of cast products.

**Keywords:** gazar, pressure of saturation, crystallization, fusion, porosity, merge time.

## Введение

Во всем мире ведутся научно-технические работы, связанные с разработкой и производством пористых материалов из металлов, сплавов и керамики. Пористые сплавы (ПС) со структурой газара представляют собой особый класс функциональных материалов современного машиностроения. Это связано с тем, что только они имеют в своем составе газовую фазу как полноправную структурную составляющую, определяющую большинство свойств этих материалов. Структура ПС формируется в результате газозвтектического превращения [1-3]. Поскольку газовая фаза чувствительна к такому параметру как давление внешней газовой среды, то общей пористостью и размерами пор можно управлять с помощью изменения давления в установке. Появление нового литого материала – газара с регулируемой пористостью и размером пор привлекло большой интерес исследователей. Однако первоначально получаемые отливки имели простую форму (цилиндры, кольца) с однонаправленным расположением пор [4,5]. Современное производство, как правило, требует применение изделий сложной формы. Поскольку пористая структура в газарах определяется направлением кристаллизации, была принята попытка разместить несколько однонаправленных холодильников в объеме одной литейной формы. Целью работы было изучение процесса формирования пористой структуры медных газаров при использовании аксиальной ориентации двух холодильников в форме.

## Материалы и методики исследований

Для исследований использовалась установка в виде автоклава с печью (температура печи до 1700К), в котором создавалось регулируемое давление аргона,

водорода до 10Мпа, вакуум [6]. Давление газовой фазы измерялось образцовым манометром МО 0,15; температура контролировалась вольфрам-рениевой термопарой ВР5/20. Навеска для плавки имела массу 300г. меди марки М0. Расплав выливался в специальные формы, которые были соединены с автоклавом, где создавались необходимые условия для формирования заданной структуры образцов газара. Полученные образцы разрезались для изучения их макро и микроструктуры, замера пористости.

## Результаты исследований и их обсуждение

Схема процесса кристаллизации образца газара с двумя аксиальными холодильниками представлена на рис. 1.

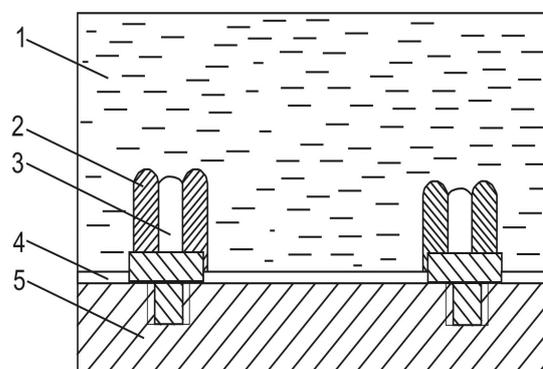


Рис. 1. Схема кристаллизации при взаимодействии двух параллельных аксиальных фронтов кристаллизации газара: 1 – расплав; 2 – металл; 3 – пор; 4 – противопригарное покрытие; 5 – холодильник кристаллизатора.

Изучение дендритной структуры отливок газаров с двумя аксиальными фронтами кристаллизации показало, что для начального периода кристаллизации каждого фронта характерно радиальное расположение столбчатых кристаллов (рис. 2а, г), затем каждый фронт кристаллизации развивается в одном направлении и направление роста дендритов в них расположено параллельно друг другу. В зависимости от параметров процесса (давление насыщения расплава –  $R_{нас.}$ , давления кристаллизации –  $R_{кр.}$ , температуры расплава и времени его выдержки перед разливкой) структура отливки заметно изменялась (рис. 2 б, в, г).

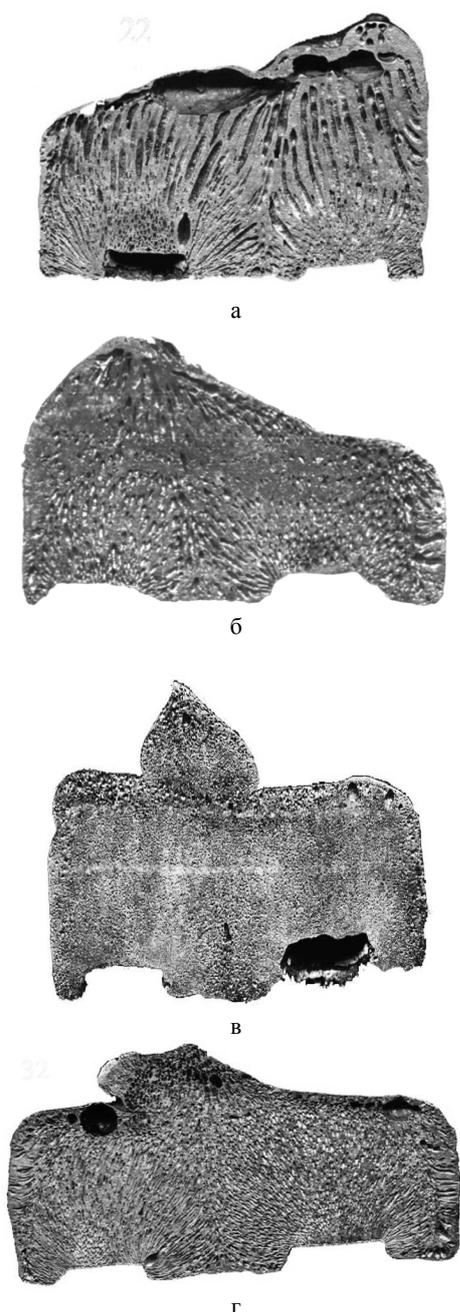


Рис.2. Виды структур отливок медных газаров полученных при различных параметрах плавки: а –  $R_{нас.} = 0,2\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,05\text{МПа}$ ; б -  $R_{нас.} = 0,25\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,1\text{МПа}$ ; в -  $R_{нас.} = 0,3\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,25\text{МПа}$ ; г -  $R_{нас.} = 0,3\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,15\text{МПа}$  / Types of structures of copper castings Gazarov obtained by melting various parameters: а -  $R_{нас.} = 0,2\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,05\text{МПа}$ ; б -  $R_{нас.} = 0,25\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,1\text{МПа}$ ; в -  $R_{нас.} = 0,3\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,25\text{МПа}$ ; г -  $R_{нас.} = 0,3\text{МПа}$ ,  $R_{кр.} = 0,15\text{МПа}$

Хорошо видно, что степень теплового контакта расплав – холодильник также оказывает заметное влияние на общую структуру отливки (рис.2 а, б), поэтому ему уделялось особое внимание при подготовке экспериментов. Для получения качественной отливки газара с несколькими центрами кристаллизации необходимо обеспечивать условия минимального размера пор в зоне их слияния. Наиболее эффективным способом уменьшения пор слияния является увеличение давления газовой фазы в момент встречи двух фронтов кристаллизации. Этим способом можно даже полностью подавить образование зоны слияния пор. Однако для этого необходимо знать момент встречи фронтов кристаллизации. Это достаточно сложно установить из-за многих факторов, которые не всегда можно контролировать. Установлено, что с повышением давления кристаллизации ( $R_{кр.}$ ) структура газаров становится более равномерной, но их пористость снижается с 45 – 55% до 30 – 40% с уменьшением диаметра пор в 1,5 – 3 раза. Однако механические свойства отливок при этом заметно возрастают в 1,5 – 2 раза [7]. Температура расплава влияла на формирование подкорковых пузырей и в целом на качество самой отливки (рис. 2 в, г). В процессе затвердевания газара при взаимодействии двух аксиальных (параллельных) фронтов кристаллизации рост газозвтектических колоний имеет следующие стадии: 1 – радиальный рост от каждого кристаллизатора, 2 – поворот растущих колоний при встрече фронтов кристаллизации на угол 30 – 60°, величина которого зависит от соотношения интенсивностей кристаллизации каждого фронта; 3 – параллельный рост колоний в пределах каждого фронта. Расплав вытесняется в область между двумя фронтами кристаллизации. Зона слияния в слитке не содержит крупных пор по сравнению с размерами пор основного газара, зависящими от соотношения давления насыщения и кристаллизации.

#### Научная новизна и практическая значимость

Различие характера пористости образцов обусловлено различными соотношениями  $R_{нас.}/R_{кр.}$ .

Чем это соотношение, тем структура газара более однородная и мелкодисперсная, диаметр пор при этом может уменьшаться с 1 до 0,05 мм.

Следует отметить, что при такой схеме кристаллизации образца газара зона встречи двух параллельно развивающихся фронтов кристаллизации, как правило, не содержит более крупных пор, чем поры, наблюдаемые в зоне каждого из них. Поэтому структура образцов газара получается достаточно однородной.

#### Выводы

Показаны возможности получения отливок сложной формы из медных газаров. В местах встречи фронтов кристаллизации образуются зоны пор слияния, размеры которых значительно превышают размеры пор в газозвтектических колониях. Уменьшению размеров пор слияния способствует повышение давления кристаллизации  $R_{кр.}$ , а также повышение давления насыщения  $R_{нас.}$ . Для стабильного протекания газозвтектического превращения и обеспечения наиболее однородной и стабильной структуры слитка медного газара при наличии двух взаимодействующих фронтов кристаллизации, необходимо обеспечить: минимальное движение расплава в ходе кристаллизации; постоянство и стабильность температурного градиента в форме с расплавом; постоянство или стабильность изменения во

времени давления кристаллизации; свободный уход расплава и водорода от фронта кристаллизации; отсутствие зон перемерзания для свободного ухода

избыточного водорода; повышение давлений до  $P \approx 1,3 - 1,4$  МПа.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Таран Ю. Н., Мазур В. И. Структура эвтектических сплавов// М.: Metallurgy. 1978. -312 с.
2. Чернега Д. Ф. Диффузия водорода в жидкой меди// Чернега Д. Ф., Ващенко К. И., Иванчук Д. Ф. Изв. Вуз. Цв. Metallurgy. 1973. №4, -С. 120-122.
3. Пористые проницаемые материалы: Справ, изд. / Под ред. Белова С.В. М. Metallurgy. 1987. 335 с.
4. Шибряев Б.Ф. Пористые проницаемые спеченные материалы// М. Metallurgy, 1982. 168 с.
5. Косторнов А.Г. Проницаемые металлические волокновые материалы// К. Техника. 1983. 183 с.
6. Андриевский Р.А. Пористые металлокерамические материалы// М. Metallurgy. 1964. 187 с.
7. Шаповалов В.И., Взаимодействие водорода с медью, магнием и алюминием при высоких температурах и давлениях// Шаповалов В.И., Сердюк Н.П. "Изв.вуз. Цветн.мет.". 1982. №1. С.69-73.
8. Шаповалов В. И. Литые пористые сплавы: производство, структура, свойства, применение // Металл и литье Украины. 1995. № 2. С. 2-10.
9. Shapovalov V. Method for manufacturing porous articles. USA. Patent N 5181549, 1993.
10. S.K.Hyun, H.Nakajima, L.V.Boyko, V.I .Shapovalov Bending properties of porous copper fabricated by unidirectional solidification. Materials Letters 58 (2004) 1082-1086.
11. Карпов В. В. Физико-механические свойства газаров // Карпов В. В., Карпов В. Ю., Шаповалов В.И. Тезисы международной конференции WOM-2007. Донецк. Май 21 -25. 2007. С.581-585.
12. Карпов В.Ю Газары - новый вид литых пористых материалов // Литье: Технологии и оборудование. №2. 2011. С.92-95.
13. Карпов В.В. Формирование отливок газаров со сложной структурой//Карпов В.В., Губенко С.И., Карпов В.Ю. Строительство, материаловедение, машиностроение, сборник научных трудов. Выпуск 64. / ПДАБА. Дн-вск. 2012. С.324-329.
14. Шаповалов В.И. Легирование водородом// Дн-вск: Журфонд, 2013. 385 с.

### REFERENCES

1. Yu. N. Taran, Masur W. I. *Struktura evtekticheskikh splavov* [Structure of the eutectic alloys]/M.: Metallurgy, 1978.-312 p. (in Russian)
2. D. F. Chernega. *Diffuziyi vodoroda v zhidkoy medi* [Diffusion of hydrogen in liquid copper]/ D. F. Chernega., Vashchenko K. I., Ivanchuk D. F. *Izv. Higher education institutions. Tsv. Metallurgy*, 1973, No. 4, - P. 120-122. (in Russian)
3. *Poristie pronitsaemie materialy* [Porous permeable materials] *Sprav, prod.* / Under the editorship of Belov S.V. M.; Metallurgy, 1987.-335 p. (in Russian)
4. Shibryaev B. F. *Poristie pronitsaemie materialy* [The porous permeable baked materials]// - M.: Metallurgy, 1982.-168 p. (in Russian)
5. Kostornov A.G. *Pronitsaemie metalicheskie voloknovie materialy* [Permeable metal filament materials]// K.: Technique , 1983.- 183 p.
6. Andrievsky R. A. . *Porictie metalokeramicheskie materialy* [Porous ceramic-metal materials] M.: Metallurgy, 1964.-187 p. (in Russian)
7. Shapovalov V. I. . *Vzaimodeictvie vodoroda c medyu, magniem i aluminiem pri vicokix temperaturax i davleniyx* [Interaction of hydrogen with copper, magnesium and aluminum at high temperatures and pressure]//Shapovalov V. I., Serdyuk N. P. *Izv. Higher education institutions. Tsv. Metallurgy*, 1982, No. 1, P.69-73.
8. Shapovalov V. I. . *Litie porictie splavy: proizvodstvo, struktura, svoystva, primeneniye* [Cast porous alloys: production, structure, properties, application]//Metal and molding of Ukraine. - 1995. - No. 2. – P. 2-10.
9. Shapovalov V. Method for manufacturing porous articles. USA. Patent N 5181549, 1993.
10. S.K.Hyun, H.Nakajima, L.V.Boyko, V.I .Shapovalov Bending properties of porous copper fabricated by unidirectional solidification. Materials Letters 58 (2004) P.1082-1086.
11. V. V Karpov *Fiziko-mexanicheskie svoystva gazarov* [Physico-mechanical properties of gazar]//Karpov V. V., Karpov V. Yu., Shapovalov V. I. Theses of the international WOM-2007 conference, Donetsk, May 21 - 25. 2007. P. 581-585.
12. V.Yu Karpov *Gazari – noviy vid litix poristix materialov* [Gazara's carps - a new type of cast porous materials]//Moulding: Technologies and equipment. No. 2. 2011. P. 92-95.
13. V. V Karpov *Formirovanie otlivok gazarov so sloznoi stukturoi* [Formation of castings of gazar with difficult structure]//Karpov V. V., Gubenko S. I., Karpov V. Yu. Construction, materials science, mechanical engineering, collection of scientific works. Release 64. / PDABA. Dn-vsk.-2012, P.324-329.
14. Shapovalov V.I. *Legirovanie vodorodom* [Alloying hydrogen]//Dn-vsk: Zhurfond, 2013. - 385 p.

Статья рекомендована к публикации в журнале «Вестник Днепропетровского государственного университета», В.И. Большаковым и в журнале «Вестник Днепропетровского государственного университета», Д.В. Лаухиним (Украина)