



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-26-28>
УДК 669.154

Поступила 21.04.2020
Received 21.04.2020

СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БРОНЗОВЫХ ОТЛИВОК, ПОЛУЧЕННЫХ НЕПРЕРЫВНЫМ И ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ЛИТЬЕМ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. А. ХАРЬКОВ, И. О. САЗОНЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. E-mail: maruko46@mail.ru, В. А. КУКАРЕКО, А. В. КУШНЕРОВ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12

Изучено влияние режимов кристаллизации (непрерывное и центробежное литье) отливок из бронзы БрА10Ж4Н4 на структуру, фазовый состав и твердость. Методами металлографического и рентгеноструктурного анализов установлено, что отливки состоят из $(\alpha + \gamma')$ -эвтектоида, α -фазы и интерметаллидов $AlCu$, Al_2Cu_3 . Матричная фаза в сплаве, закристаллизованном методом центробежного литья, вследствие ее более высокой легированности атомами Al имеет повышенное значение параметра кристаллической решетки по сравнению со случаем непрерывного литья. Твердость отливки, полученной методом центробежного литья, по сравнению с непрерывным литьем повышается, что обусловлено образованием более дисперсной структуры, а также большим твердорастворным упрочнением матричной фазы отливки.

Ключевые слова. Центробежное литье, непрерывное литье, металлографический и рентгеноструктурный анализы, дисперсная структура, бронза БрА10Ж4Н4.

Для цитирования. Марукович, Е. И. Структура и физико-механические свойства бронзовых отливок, полученных непрерывным и центробежным литьем / Е. И. Марукович, В. А. Харьков, И. О. Сазоненко, В. А. Кукареко, А. В. Кушнеров // *Литье и металлургия*. 2020. № 2. С. 26–28. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-26-28>.

STRUCTURE, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BRONZE CASTINGS OBTAINED BY CONTINUOUS AND CENTRIFUGAL CASTING

E. I. MARUKOVICH, V. A. KHARKOV, I. O. SAZONENKO, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli Str. E-mail: maruko46@mail.ru, V. A. KUKAREKO, A. V. KUSHNEROV, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 12, Akademicheskaja Str.

The influence of crystallization conditions (continuous and centrifugal casting) of small-sized BrAlFe4Ni4 bronze castings on the structure, phase composition, and hardness was studied. It was found by metallographic and X-ray diffraction methods that the castings consist of $(\alpha + \gamma')$ -eutectoid, α phase and $AlCu$, Al_2Cu_3 intermetallic compounds. The matrix phase in the alloy, crystallized by centrifugal casting, due to its higher alloying with Al atoms, has an increased value of the crystal lattice parameter, compared with the case of continuous casting. The hardness of the casting obtained by centrifugal casting increases compared with continuous casting, which is due to the formation of a more dispersed structure, as well as a large solid solution hardening of the matrix phase of the casting.

Keywords. Centrifugal casting, continuous casting, metallographic and X-ray diffraction analysis, dispersed structure, BrAlFe4Ni4 bronze.

For citation. Marukovich E. I., Kharkov V. A., Sazonenko I. O., Kukareko V. A., Kushnerov A. V. Structure, physical and mechanical properties of bronze castings obtained by continuous and centrifugal casting. *Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 2, pp. 26–28. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-26-28>.

Литейное производство – наиболее экономически целесообразный способ получения металлических изделий и заготовок для различных отраслей промышленности, в частности, для машиностроения и приборостроения. Использование литья позволяет получать заготовки и детали из различных сплавов массой от нескольких граммов до сотен тонн с разнообразной структурой и широким диапазоном эксплуатационных свойств [1]. В настоящее время известно несколько десятков видов литья, обладающих достаточно широкой универсальностью [2]. Однако недостаточно полно изучено влияние режимов кристаллизации на структурно-фазовое состояние, а также механические свойства малоразмерных отливок из цветных металлов и сплавов. В связи с этим целью данной работы явилось установление влияния режимов кристаллизации отливок из бронзы БрА10Ж4Н4 на их структурно-фазовое состояние и дюрOMETрические свойства.

Материалом для исследования выбраны образцы малоразмерных отливок из сплава БрА10Ж4Н4, полученных методом центробежной заливки и методом непрерывного литья. Отливки были получены в Институте технологии металлов НАН Беларуси. Металлографические исследования образцов проводили на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ, травление образцов осуществляли в спиртовом растворе $FeCl_3 + HCl$ [3]. Исследование структурно-фазового состояния образцов выполняли на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом излучении. Измерение твердости проводили по методу Виккерса на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор 10 кг.

Микроструктуры исследуемых образцов отливок из сплава БрА10Ж4Н4 показаны на рис. 1.

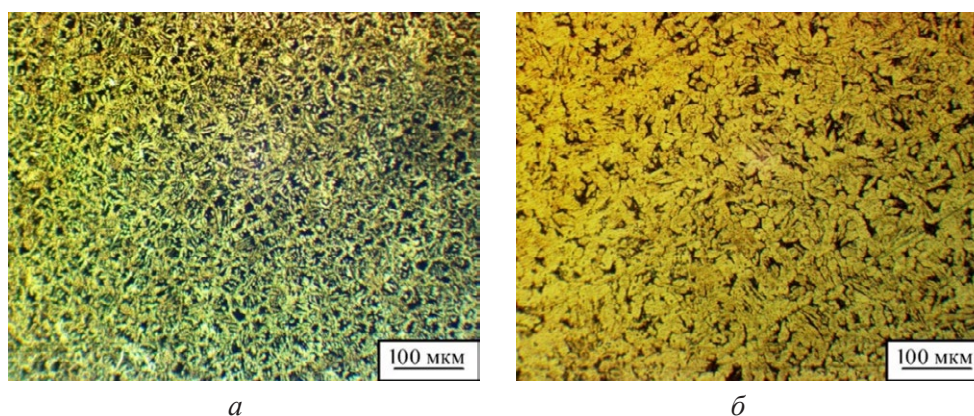


Рис. 1. Характерные микроструктуры образцов отливок из сплава БрА10Ж4Н4, полученных различными методами: *а* – центробежное литье; *б* – непрерывное литье

Из рисунка видно, что алюминиевая бронза состоит из $(\alpha + \gamma')$ -эвтектоида (темные участки) и α -фазы (светлые участки). Здесь α -фаза – твердый раствор легирующих элементов в меди, γ' – твердый раствор на базе химического соединения Al_4Cu_9 [4]. Структура отливок, полученных методом центробежного литья, более дисперсная (рис. 1, *а*) по сравнению с отливкой, полученной методом непрерывного литья (рис. 1, *б*). Указанное отличие в микроструктурах сплава БрА10Ж4Н4 связано с более высокой скоростью охлаждения при центробежном литье.

Результаты рентгеноструктурного анализа исследуемых образцов отливок из сплава БрА10Ж4Н4 приведены на рис. 2.

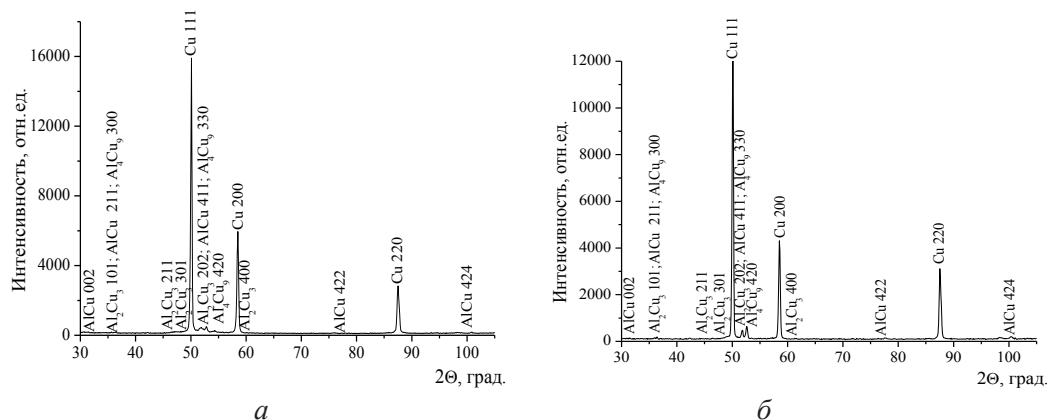


Рис. 2. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм (CoK_{α}) от поверхностных слоев отливок из сплава БрА10Ж4Н4, полученных различными методами: *а* – центробежное литье; *б* – непрерывное литье

Приведенные дифрактограммы свидетельствуют о том, что основной фазой отливок из сплава БрА10Ж4Н4 является матричный твердый раствор на основе Cu ($a = 0,3615$ нм) с параметрами кристаллической решетки: $a = 0,3659$ нм (центробежное литье) и $a = 0,3655$ нм (непрерывное литье). Повышенные по сравнению с Cu значения параметра кристаллической решетки медной матричной фазы в сплавах вызваны растворенным в ней алюминием, имеющим больший атомный радиус ($R_{Cu} = 0,0127$ нм, $R_{Al} = 0,0143$ нм [5]). Таким образом, матричная фаза в сплаве, закристаллизованном методом центробежного литья, вследствие более высокого содержания в ней алюминия имеет повышенное значение параметра кристаллической решетки по сравнению со случаем непрерывного литья. Также в фазовом составе сплава регистрируются интерметаллидные соединения AlCu и Al₂Cu₃.

Твердость отливки при центробежном литье составляет 200 HV 10, при непрерывном литье – 165 HV 10. Повышенное значение твердости отливки, полученной методом центробежного литья, обусловлено образованием более дисперсной структуры при охлаждении, а также большим твердорастворным упрочнением матричной фазы отливки по сравнению со случаем непрерывного литья.

Наблюдаемая микроструктура отливок состоит из ($\alpha + \gamma'$)-эвтектоида и α -фазы. Установлено, что при центробежном литье отливка имеет более дисперсную структуру вследствие относительно повышенной скорости ее охлаждения по сравнению со случаем непрерывного литья.

Выявлено, что отливки содержат матричную фазу на основе твердого раствора легирующих элементов в Cu и интерметаллидные фазы AlCu, AlCu₃, Al₄Cu₉. Сделано заключение, что повышенные значения параметра кристаллической решетки матричного твердого раствора обусловлены его легированностью алюминием.

Установлено, что при центробежном литье твердость отливок из сплава БрА10Н4Ж4 в 1,2 раза превышает твердость отливок, полученных непрерывным литьем. Указанное явление связано с большей дисперсностью структуры и твердорастворным упрочнением матричной фазы отливки, полученной методом центробежного литья.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Марукович, Е. И.** Литейные сплавы и технологии / Е. И. Марукович, М. И. Карпенко. Минск: Беларуская навука, 2012. 442 с.
2. **Рогов, В. А.** Материаловедение и технология конструкционных материалов. Штамповочное и литейное производство: учеб. для вузов / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. 2-е изд. М.: Изд-во Юрайт, 2019. 330 с.
3. **Беккерт, М.** Способы металлографического травления / М. Беккерт, Х. Клемм. 2-е изд. М.: Metallurgija, 1988. 400 с.
4. **Гуляев, А. П.** Металловедение / А. П. Гуляев. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Metallurgija, 1986. 544 с.
5. **Барон, Н. М.** Краткий справочник физико-химических величин / Н. М. Барон [и др.]. Л.: Химия, 1983. 232 с.

REFERENCES

1. **Marukovich E. I., Karpenko M. I.** *Litejnye splavy i tehnologii* [Foundry alloys and technology]. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2012, 442 p.
2. **Rogov V. A., Poznjak G. G.** *Materialovedenie i tehnologija konstrukcionnyh materialov. Shtampovochnoe i litejnoe proizvodstvo* [Materials science and technology of structural materials. Stamping and foundry]. Moscow, Jurajt Publ., 2019, 330 p.
3. **Bekkert M., Klemm H.** *Sposoby metallograficheskogo travlenija* [Methods of metallographic etching]. Moscow, Metallurgija Publ., 1988, 400 p.
4. **Guljaev A. P.** *Metallovedenie* [Metal science]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 544 p.
5. **Baron N. M. et al.** *Kratkij spravocnik fiziko-himicheskikh velichin* [A quick reference to physico-chemical quantities]. Leningrad, Himija Publ., 1983, 232 p. .