



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-22-25>
УДК 669.154

Поступила 21.04.2020
Received 21.04.2020

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ДЮРОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОТЛИВОК ИЗ МЕДНОГО СПЛАВА Cu–Cr–Al

Е. И. МАРУКОВИЧ, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11, e-mail: maruko46@mail.ru,

В. А. КУКАРЕКО, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12,

В. А. ХАРЬКОВ, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11,

А. В. КУШНЕРОВ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12,

И. О. САЗОНЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11,

В работе исследовано влияние термической обработки на структурно-фазовое состояние и твердость малоразмерных отливок из медного сплава Cu–Cr–Al, полученных литьем в водоохлаждаемый металлический кокиль. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что отливки состоят из матричного твердого раствора на основе меди. Повышенное значение параметра кристаллической решетки медной фазы связано с растворенными в ней атомами алюминия. После низкотемпературного (450 °С) отпуска в течение 10 ч параметр кристаллической решетки матричного твердого раствора уменьшается, что связано с образованием на поверхности отливки интерметаллида Al8Cr5.

Установлено, что после термической обработки (закалки и отпуска) твердость отливок из сплава Cu–Cr–Al увеличивается в 1,5 раза.

Ключевые слова. *Отливки, литье в кокиль, закалка, старение, отпуск, структура, фазовый состав, твердость.*

Для цитирования. *Марукович, Е. И. Влияние термической обработки на структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства малоразмерных отливок из медного сплава Cu–Cr–Al / Е. И. Марукович, В. А. Кукареко, В. А. Харьков, А. В. Кушнеров, И. О. Сазоненко // Литье и металлургия. 2020. № 2. С. 22–25. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-22-25>.*

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURAL PHASE STATE AND DUROMETRIC PROPERTIES OF SMALL-SIZED CASTINGS FROM A COPPER ALLOY Cu–Cr–Al

E. I. MARUKOVICH, Institute of Technology of Metals of the National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli Str., e-mail: maruko46@mail.ru

V. A. KUKAREKO, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 12, Akademicheskaja Str.,

V. A. KHARKOV, Institute of Technology of Metals of the National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli Str.,

A. V. KUSHNEROV, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 12, Akademicheskaja Str.,

I. O. SAZONENKO, Institute of Technology of Metals of the National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli Str.

The effect of heat treatment on the structural-phase state and hardness of small-sized castings made from the Cu-Cr-Al copper alloy obtained by casting in a water-cooled metal mold is studied. Using X-ray diffraction analysis, it was found that the castings consist of a matrix solid solution based on copper. The increased value of the crystal lattice parameter of the copper phase is associated with aluminum atoms dissolved in it. After a low-temperature (450 °C) tempering for 10 hours, the crystal lattice parameter of the matrix solid solution decreases, which is associated with the formation of the Al8Cr5 intermetallic compound on the surface of the casting.

It is established that after heat treatment (hardening and tempering), the hardness of castings from the Cu-Cr-Al alloy increases by 1.5 times.

Keywords. Castings, casting in mold, hardening, age-hardening, tempering, structure, phase state, hardness.

For citation. Marukovich E. I., Kukareko V. A., Kharkov V. A., Kushnerov A. V., Sazonenko I. O. The influence of heat treatment on the structural phase state and durometric properties of small-sized castings from a copper alloy Cu-Cr-Al. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 2, pp. 23–25. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-23-25>.

Введение

В настоящее время известно несколько десятков видов литья и их вариантов, которые пригодны как для массового, так и для штучного производства. От способа, технологии литья и химического состава расплава при кристаллизации зависит формирование структуры отливки. Для улучшения механических свойств бронз применяют финишную термическую обработку в виде закалки и старения [1–3]. Целью данной работы является установление влияния термической обработки отливки из медного сплава Cu-Cr-Al на его структурно-фазовое состояние и дюрометрические свойства.

Изготовление образцов и методики исследований

Отливки цилиндрической формы диаметром 44 мм из медного сплава Cu-Cr-Al получали литьем в металлический кокиль. Образцы, вырезанные из полученных отливок, подвергали термической обработке: закалке и старению. При закалке образцы нагревали в муфельной печи до температуры 1040–1050 °C и затем выдерживали в течение 2 ч с последующим охлаждением в воде. При отпуске (старении) закаленные образцы нагревали до температуры 450 °C и выдерживали при этой температуре в течение 4, 10, 20 и 40 ч.

Определение химического состава отливки осуществляли на приборе Epsilon 1 с программным обеспечением Epsilon 3 компании PANalytical.

Металлографические исследования отливки проводили на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ.

Исследование структурно-фазового состояния отливки из медного сплава Cu-Cr-Al проводили на дифрактометре ДРОН-3.0 в монохроматизированном кобальтовом (CoK_{α}) излучении при напряжении 28 кВ и анодном токе 14 мА. Расшифровки рентгенограмм осуществляли с помощью программного обеспечения Crystallographica Search-Match и картотеки PDF-2.

Измерение твердости проводили по методу Виккерса на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор 10 кг.

Результаты исследований и их обсуждение

Химический состав исследуемой отливки из медного сплава Cu-Cr-Al приведен ниже.

Маркировка отливки	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Cu
Cu-Cr-Al	0,731	0,557	0,404	0,007	0,164	Основа

Микроструктура исследуемой отливки из сплава Cu-Cr-Al показана на рис. 1, где хорошо видны зерна меди различного размера.

В процессе изотермической выдержки при 1040–1050 °C в течение 2 ч происходит гомогенизация химического состава отливки по сечению, а также в результате закалки в воду фиксируется пересыщенный твердый раствор алюминия и хрома в меди.

Результаты рентгеноструктурного анализа образцов отливок из медного сплава Cu-Cr-Al после закалки и отпуска приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что основной, присутствующей в сплаве фазой, является матричный твердый раствор на основе меди (PDF 4–836, Space Group: Fm-3m, $a = 0,3615$ нм) с параметром кристаллической решетки $a = 0,3617$ нм (см. таблицу). Несколько увеличенное значение параметра кристаллической решетки матричной фазы сплава Cu-Cr-Al связано с растворением атомов алюминия в меди. При этом вследствие существенного различия атомных радиусов Cu и Al ($R_{Cu} = 0,0127$ нм, $R_{Al} = 0,0143$ нм [4]) параметр кристаллической решетки твердого раствора Cu-Al

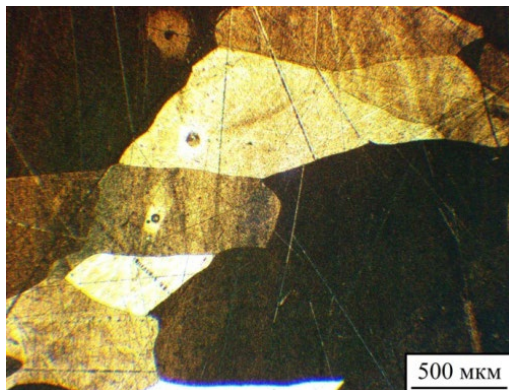


Рис. 1. Характерная микроструктура отливки Cu-Cr-Al

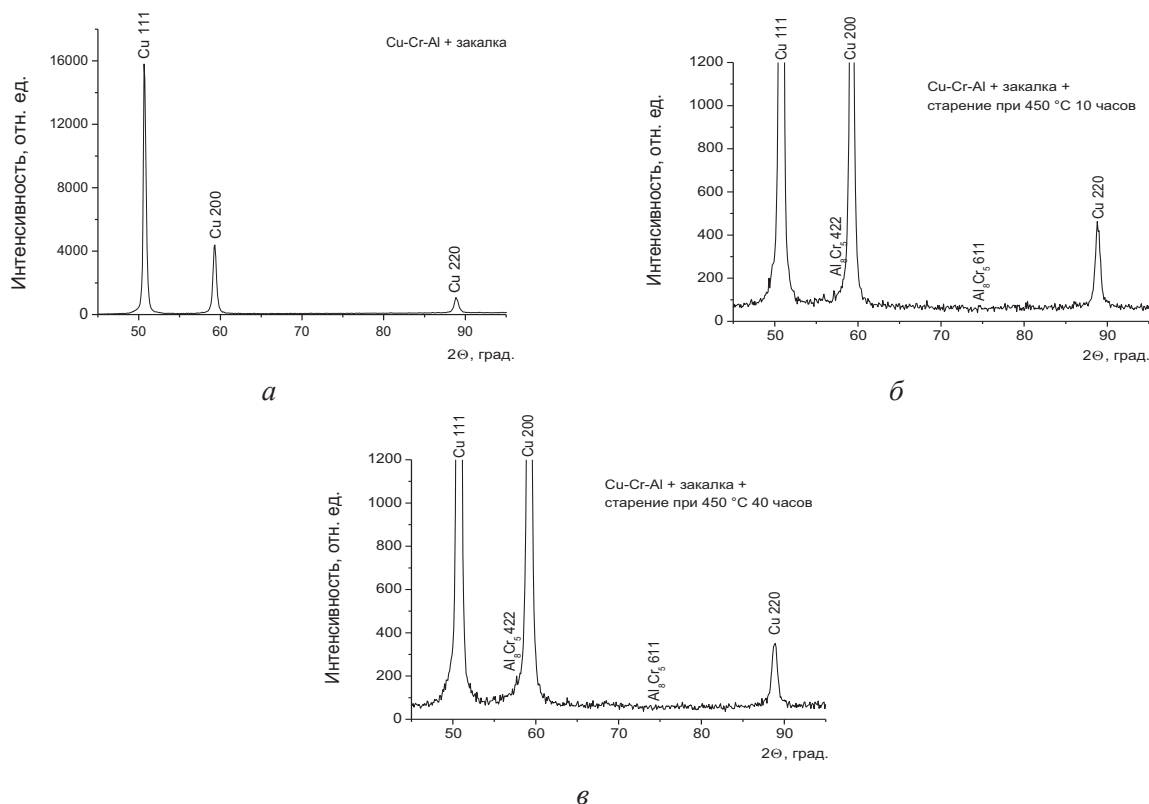


Рис. 2. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм (CoK_α) от поверхностных слоев отливки из сплава Cu-Cr-Al с различными режимами термической обработки

возрастает. Отпуск при 450 °C в течение длительного времени (20, 40 ч) приводит к уменьшению значения параметра кристаллической решетки медной фазы до $a = 0,3614$ нм. По достижению 10 ч отпуска в сплаве регистрируется образование частиц интерметаллида Al_8Cr_5 (PDF Number: 47–1466, Space Group: I-43m, $\alpha = 0,9090$ нм). Кроме того, нельзя исключить выделения при старении небольшого количества мелких частиц Cr.

В таблице приведены значения твердости и параметр кристаллической решетки матричной медной фазы отливки из сплава Cu-Cr-Al после закалки и отпуска.

Твердость (HV) и параметр кристаллической решетки (a) фазы Cu отливки из медного сплава Cu-Cr-Al

Образец	Твердость HV 10	a, нм
Cu-Cr-Al + закалка	95	0,3617
Cu-Cr-Al + закалка + старение при 450 °C 4 ч	135	0,3615
Cu-Cr-Al + закалка + старение при 450 °C 10 ч	140	0,3615
Cu-Cr-Al + закалка + старение при 450 °C 20 ч	147	0,3614
Cu-Cr-Al + закалка + старение при 450 °C 40 ч	139	0,3614

Из таблицы видно, что твердость отливки Cu-Cr-Al в исходном состоянии (после закалки) составляет 95 HV 10. Последующий отпуск отливок из сплава Cu-Cr-Al приводит к существенному повышению их твердости за счет выделения из матричного твердого раствора интерметаллидной фазы Al_8Cr_5 . После старения при 450 °С в течение 4, 10, 20 ч значения твердости возрастают до 135, 140, 147 HV 10 соответственно. Дальнейшее увеличение продолжительности старения при 450 °С до 40 ч приводит к некоторому уменьшению твердости сплава до 139 HV 10, что может быть связано с увеличением размеров частиц фазы Al_8Cr_5 .

По нашему мнению, упрочнение бронзы при старении может быть связано с граничным дисперсионным твердением сплава за счет выделения в нем мелких интерметаллидных частиц Al_8Cr_5 . При этом процесс зарождения интерметаллидных частиц может стимулироваться присутствием в сплаве дефектов кристаллической решетки (дислокаций, дефектов упаковки).

Выводы

Исследовано влияние термической обработки на структурно-фазовое состояние и твердость мало-размерной отливки из медного сплава Cu-Cr-Al, полученной литьем в водоохлаждаемый металлический кокиль.

Установлено, что основной фазой в отливке из сплава Cu-Cr-Al является матричный твердый раствор на основе меди. Повышенное значение параметра кристаллической решетки твердого раствора связано с растворенными в нем атомами алюминия. Сделано заключение, что уменьшение значения параметра кристаллической решетки после старения связано с образованием интерметаллида Al_8Cr_5 .

Показано, что термическая обработка отливок в виде закалки и отпуска приводит к повышению их твердости в 1,45–1,55 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мозберг, Р. К.** Материаловедение: учеб. пособ. 2-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 1991. 448 с.
2. **Фиргер, И. В.** Термическая обработка сплавов: справ. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. 304 с.
3. **Карева, Н. Т.** Влияние режимов термической обработки на структуру бронзы БрНХК / Н. Т. Карева, Ю. Д. Корягин // Вест. Южно-Уральского гос. ун-та. Сер. «Металлургия». Челябинск: Южно-Уральский гос. ун-т. 2018. № 2. 115 с.
4. **Барон, Н. М.** Краткий справочник физико-химических величин / Н. М. Барон [и др.]. Л.: Химия, 1983. 232 с.

REFERENCES

1. **Mozberg R. K.** *Materialovedenie* [Materials Science]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1991, 448 p.
2. **Firger I. V.** *Termicheskaja obrabotka splavov* [Heat treatment of alloys]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1982, 304 p.
3. **Kareva N. T., Korjagin Ju. D.** Vlijanie rezhimov termicheskoi obrabotki na strukturu bronzy BrNHK [The influence of heat treatment on the structure of bronze BrNHK]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Metallurgija» = Bulletin of the South Ural State University. Series «Metallurgy»*, 2018, no. 2, 115 p.
4. **Baron N. M. et al.** *Kratkij spravochnik fiziko-himicheskikh velichin* [A quick reference to physico-chemical quantities]. Leningrad, Himija Publ., 1983, 232 p.