

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ БРОНЗЫ БрНХК

Н.Т. Карева, Ю.Д. Корягин

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Никель-хром-кремнистая бронза БрНХК, используемая для изготовления контактов, относится к числу умеренно дисперсионно-твердеющих и упрочняется холодной пластической деформацией закаленного сплава с последующим старением. Однако изделия, изготавливаемые из бронзы БрНХК, часто не обладают достаточной стабильностью усилия размыкания контактов в процессе эксплуатации.

В работе приведены результаты исследования структуры бронзы БрНХК в закаленном и деформированном состояниях, а также после различных режимов старения. Установлено, что уже после закалки в твердом растворе наблюдаются частицы различной формы и размеров на основе хрома с кремнием и отличающиеся содержанием меди и никеля. Старение при 500 °С способствует увеличению размеров выделившихся крупных частиц и обогащению мелких частиц никелем. Показано, что двухступенчатое старение повышает сопротивление релаксации напряжений бронзы БрНХК как в деформированном, так и недеформированном состояниях по сравнению с одинарным старением вследствие изменения химического состава, природы и дисперсности выделившихся фаз.

Ключевые слова: сплав; кремнистая бронза БрНХК; структура; старение; выделения.

Для изготовления электрических контактов (особенно разъемных) ответственных изделий часто используется бронза БрНХК 2,5-0,7-0,6 системы Cu–Ni–Cr–Si. Данный сплав относится к умеренно дисперсионно твердеющим материалам, который дополнительно может упрочняться холодной пластической деформацией ($\epsilon = 60\%$), осуществляемой между закалкой и старением. В работе [1] показано, что необходимый комплекс свойств (твердость, прочность, повышенную релаксационную стойкость при комнатной и повышенных температурах испытания) можно получить в деформированном сплаве, используя оптимальное старение (450 °С – 2 ч). Применение дробного старения (390 °С – 1 ч + 450 °С – 1 ч) взамен указанного выше позволяет при сохранении основных свойств дополнительно улучшить релаксационную стойкость.

В настоящей работе приводятся данные исследования микроструктурных особенностей бронзы БрНХК, термически обработанной по режимам, изученным в [1].

При сканировании на электронном микроскопе (фирмы JEOL JSM – 6460 LV) образцов до и после травления (в водном растворе аммиака 1 : 1) отчетливо отмечаются участки поверхности с разной освещенностью, которая, как известно, во вторичных электронах определяется их химическим составом: тяжелые и легкие элементы дают соответственно светлый и темный фоны.

Химический состав частиц и матрицы оценивался на основании рентгеновских спектров, полученных с помощью специальной приставки – энергодисперсионного анализатора фирмы Oxford Instruments. Место съемки спектра отмечено на фото белым перекрестием.

На светлом фоне закаленного от 930 °С твердого раствора видны темные частицы округлой и пластинчатой формы, размеры которых варьируются от 3,15 мкм до 800 нм и мельче (рис. 1, а, б, в).

Согласно микрорентгеноспектральному анализу, крупные округлые частицы представляют собой соединения хрома с кремнием состава Cr₃Si, легированные небольшим количеством меди (табл. 1). Вытянутые пластинчатые выделения хрома содержат меньше, их состав ближе к Cr₂Si, но они включают и медь, и никель, причем первой существенно больше. Данные табл. 1 свидетельствуют о существенном обеднении твердого раствора хромом уже после закалки. Согласно данным микрорентгеноспектрального анализа в средний состав исследуемой бронзы по большой площади входит Si – 0,90 %; Cr – 0,91 %; Fe – 0,02 %; Ni – 3,02 %; Cu – 95,15 %.

Дополнительное старение бронзы при 500 °С – 8 ч (режим перестаривания) способствует увеличению размеров наиболее крупных частиц (до 5,13 мкм) округлых и прямоугольных (рис. 1, г–е). При этом их химический состав не претерпевает существенных изменений (см. табл. 1). Мелкие частицы обогащаются никелем до ~ Si(Cr,Ni)₃, а также медью (см. табл. 1).

Обращает на себя внимание тот факт, что после дробного старения 390 °С – 1 ч + 450 °С – 1 ч в микроструктуре бронзы чаще встречаются частицы с меньшей степенью почернения в результате большего содержания в них никеля до 11,8–12,43 % и уменьшения количества хрома (46,87–35,73 %).

После травления (рис. 2) в структуре закаленной бронзы также выявляются темные крупные выделения округлой (размером ~ 1,3 мкм), пластинчатой формы (4 × 0,6 мкм), в виде подковы

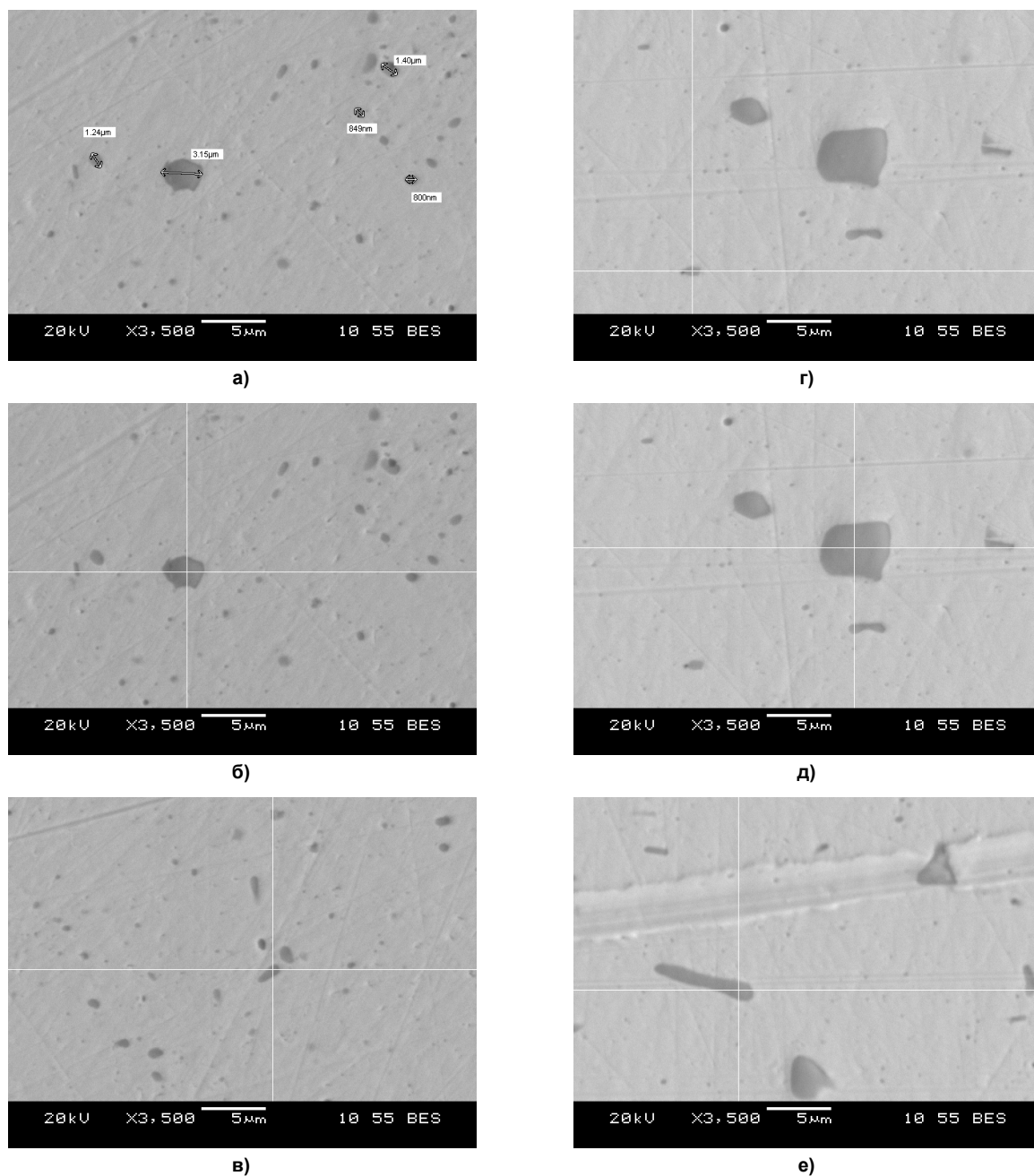


Рис. 1. Микроструктура бронзы БрНХК до травления после закалки 930 °С 30 мин, вода (а, б, в) и дополнительного перестаривания 500 °С – 8 ч (г, д, е)

Химический состав (% вес.) частиц и твердого раствора БрНХК в закаленном состоянии и после перестаривания при 500 °С – 8 ч. Нетравленные шлифы

Таблица 1

	Si	Cr	Ni	Cu
Закалка от 930 °С				
Крупная округлая частица	17,56	77,02		5,42
Пластинчатая частица	12,89	45,87	1,60	39,64
Твердый раствор	0,80	0,10	3,10	96,00
Закалка от 930 °С + перестаривание 500 °С – 8 ч				
Крупная округлая частица	17,41	78,85		3,74
Пластинчатая частица	16,4	59,28	1,34	23,22
Мелкая частица	3,69	36,55	10,42	49,35
Твердый раствор	0,87	0,32	3,55	95,26

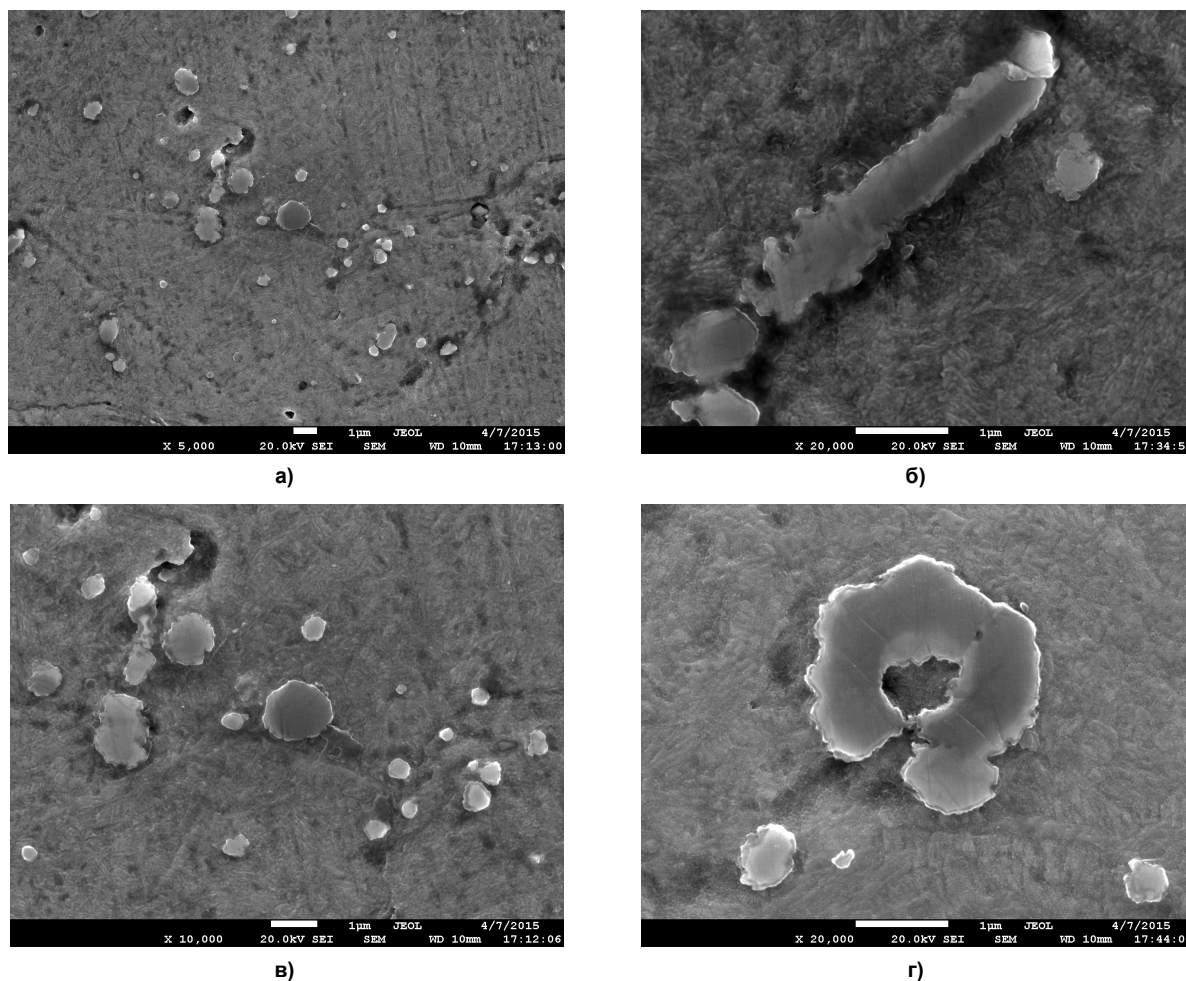


Рис. 2. Микроструктура протравленной закаленной бронзы БрНХК

Химический состав (% вес.) частиц и твердого раствора БрНХК в закаленном состоянии и после перестаривания при 500 °С – 8 ч. Травленные шлифы

Таблица 2

	Si	Cr	Ni	Cu
Закалка от 930 °С, вода				
Крупная округлая частица	13,37	55,92	1,39	29,32
Пластинчатая частица	6,70	17,34	1,98	73,98
Твердый раствор	0,61	0,28	2,8	96,31
Закалка от 930 °С + перестаривание 500 °С – 8 ч				
Крупная округлая частица	14,86	77,53	0,65	6,98
Пластинчатая частица	11,68	39,93	1,96	46,3
Мелкая частица	2,72	7,48	2,5	87,23
	5,46	17,40	0,878	76,27
Твердый раствор	0,57	0,30	3,06	96,07

(диаметром ~ 2,6 мкм), химический состав которых приведен в табл. 2.

Мелкие частицы после старения (рис. 3, табл. 2) заметно отличаются от крупных по химическому составу в сторону меньшей концентрации особенно по кремнию (2,72–5,46 против 14,86–11,68 %) и хрому (7,48–17,40 против 77,53–39,93 %).

На рис. 4 приведена карта распределения элементов в состаренной бронзе вокруг крупного пластинчатого выделения. Это выделение содержит Si, Cr и очень незначительное количество Ni. На электронном изображении вокруг этой пластины видны более мелкие выделения округлой формы (см. рис. 4). На карте в этих местах также фиксируются в основном кремний и хром.

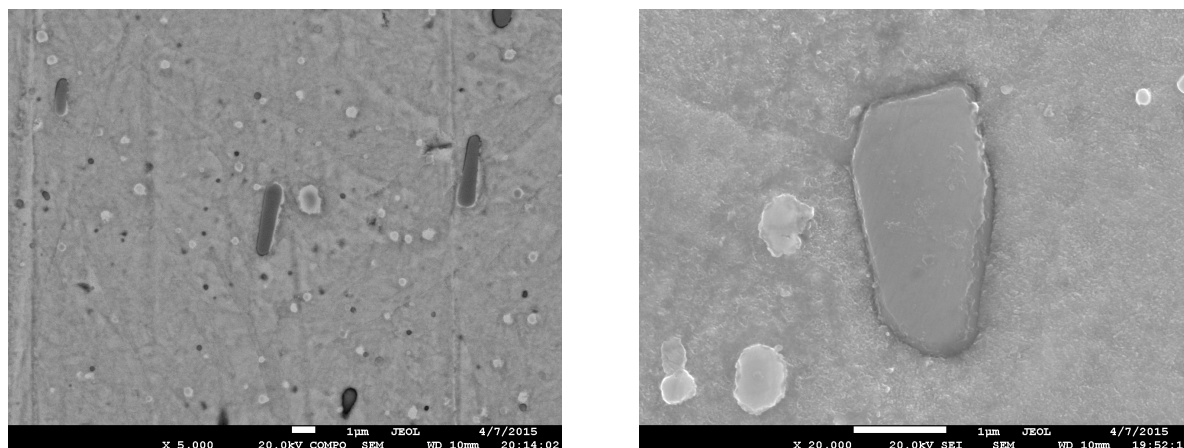


Рис. 3. Микроструктура закаленной и состаренной при 500 °С – 8 ч бронзы БрНХК после травления

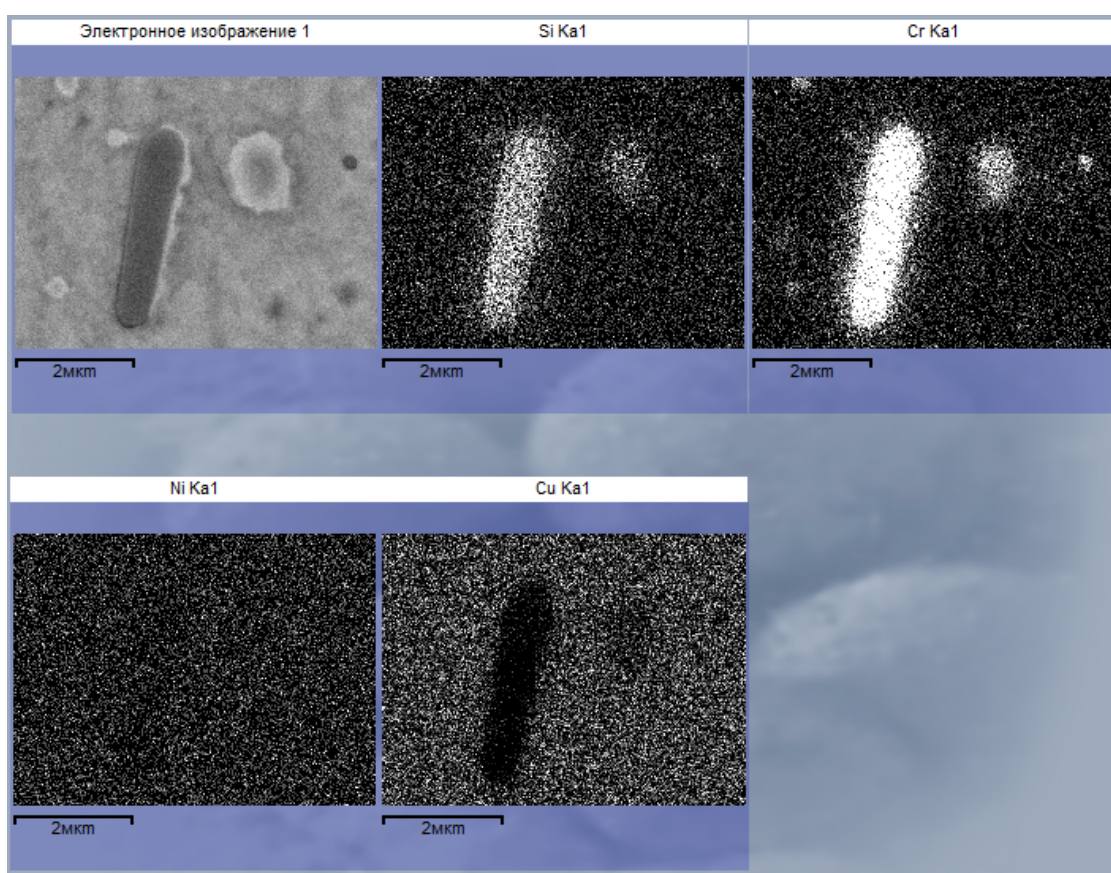


Рис. 4. Карта распределения элементов около крупных выделений с электронного изображения 1

В целом после старения самые крупные частицы практически не изменили существенно своих размеров и химического состава. Появились новые мелкие темные частицы, которые заметно отличаются от крупных ранее образовавшихся частиц: хрома меньше в два раза и более, в них появляется никель. Матрица (α -твердый раствор) дополнительно обедняется особенно хромом, никель же почти остался на прежнем уровне.

Достоверных литературных данных по фазовому составу четверной системы Cu–Ni–Cr–Si при

концентрациях, близкой к исследуемой бронзе БрНХК не имеется. В тройной системе Cu–Ni–Cr, согласно [2], при 930 °С (температура закалки) кроме α -раствора должна присутствовать фаза на основе Cr, причем она образуется уже из жидкого состояния. Вертикальные разрезы для сплавов, близких по составу к изучаемой БрНХК, указывают на переменную растворимость α -раствора, уменьшающуюся при понижении температуры за счет дополнительного выделения хромистой фазы.

С другой стороны, горизонтальный разрез при 950 °С другой 3-компонентной системы Cu–Ni–Si свидетельствует о существовании однофазной структуры α -раствора [2]. При старении в интервале 450–500 °С возможно образование фаз: Ni₃Si₂ или Ni₃Si.

В изученной бронзе состав фаз усложнен в связи с увеличением числа компонентов до 4 и наличием неравновесных промежуточных фаз, образующихся при старении.

Карева Надежда Титовна, канд. техн. наук, доцент кафедры физического металловедения и физики твердого тела, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; karevant@susu.ac.ru.

Корягин Юрий Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой физического металловедения и физики твердого тела, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; koriaginyd@susu.ac.ru.

Литература

1. Карева, Н.Т. Влияние различных режимов старения на свойства сплава БрНХК / Н.Т. Карева, Ю.Д. Корягин, Г.И. Медведева // *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. – 1985. – № 6. – С. 64–68.

2. Villars P., Prince A., Okamoto H. *Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams*. – Ohio: ASM International, 1995.

Поступила в редакцию 30 апреля 2015 г.

DOI: 10.14529/met150411

EFFECTS OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE OF BrNKhK BRONZE

N.T. Kareva, karevant@susu.ac.ru,

Yu.D. Koryagin, koriaginyd@susu.ac.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Nickel-chromium-silicon bronze BrNKhK is a moderately dispersion-hardened alloy used for contacts and hardened by cold plastic deformation of the alloy in a hardened state and with subsequent ageing. However, articles made of bronze BrNKhK often do not possess sufficient stability of the contact separating force.

The paper presents results of the research of the structure of bronze BrNKhK in a hardened and deformed state, and also after various ageing modes. It was found that immediately after hardening particles of different shapes and sizes on the basis of chromium and silicon are observed in a solid solution with different contents of copper and nickel. Ageing at 500 °C increases the size of separated coarse particles and enriches fine particles with nickel. It is shown that two-stage ageing increases stress relaxation resistance of bronze BrNKhK in both deformed and non-deformed states as compared to one-stage ageing due to changes of the chemical composition, the nature and dispersion of precipitated phases.

Keywords: alloy; silicon bronze BrNKhK; structure; ageing; precipitates.

References

1. Kareva N.T., Koryagin Yu.D., Medvedeva G.I. [Effect of Different Modes of Aging on the Properties of the BrNKhK Alloy]. *Izvestiya VUZ. Tsvetnaya metallurgiya*, 1985, no. 6, pp. 64–68. (in Russ.)
2. Villars P., Prince A., Okamoto H. *Handbook of Ternary Alloy Phase Diagrams*. Ohio, ASM International, 1995.

Received 30 April 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Карева, Н.Т. Влияние режимов термической обработки на структуру бронзы БрНХК / Н.Т. Карева, Ю.Д. Корягин // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»*. – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 84–88. DOI: 10.14529/met150411

FOR CITATION

Kareva N.T., Koryagin Yu.D. Effects of Heat Treatment on the Structure of BrNKhK Bronze. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 84–88. (in Russ.) DOI: 10.14529/met150411