

# Новые способы упрочнения хромовой бронзы

Л. Е. Бодрова, Э. Ю. Гойда, Э. А. Пастухов, Т. Ф. Григорьева, А. Б. Шубин

Исследовано повышение уровня прочности хромовой бронзы БрХ1 кратковременным воздействием на ее расплав низкочастотными колебаниями (НЧК) при 1200 – 1300 °С. Показана возможность исключения стадии высокотемпературного нагрева под закалку из технологической цепочки стандартной термообработки литого стареющего сплава БрХ1 на дисперсионное твердение использованием обработки расплава НЧК. Получены литые сплавы Cu – Cr – C с содержанием хрома, соответствующим составу бронзы БрХ1, введением в расплавы меди и бронзы порошков карбида хрома Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, хрома и графита при воздействии на расплав НЧК. Исследованы изменения структурно-чувствительных свойств (твердость, удельное электросопротивление), фазового состава, макро- и микроструктуры до и после отжига на дисперсионное твердение. Обнаружено, что упрочнение сплавов имеет дисперсно-дисперсионный характер и приводит к повышению прочности до уровня, требуемого для БрХ1. Показано, что введением в состав бронзы карбида хрома или его прямым синтезом в процессе обработки расплава НЧК можно превысить значения прочностных свойств бронзы и одновременно увеличить ее жаропрочность.

**Ключевые слова:** твердый раствор, дисперсионное твердение, карбид хрома, механоактивация расплава, низкочастотные колебания.

## Введение

Среди жаропрочных медных сплавов высокой электро- и теплопроводности наиболее широкое применение в промышленности находят сплавы Cu – Cr (хромовые бронзы). Известные способы их упрочнения — интенсивная пластическая деформация, дисперсионное твердение и их совмещение.

Например, твердость бронзы БрХ0.4 после старения закаленного сплава повышается в 3 раза (до 1250 МПа) [1], а после интенсивной пластической деформации 12 циклов равноканального углового прессования (РКУП) достигает 1480 МПа [2]. Однако нагрев до 100 – 500 °С бронзы, упрочненной РКУП, снижает ее твердость до 1370 – 850 МПа, соответственно [2]. Напротив, дисперсионное упрочнение такой бронзы при 400 – 500 °С достигает максимальных значений [3]. Таким образом, именно старение является определяющей стадией повышения жаропрочности этих сплавов.

При дисперсионном твердении состаренной бронзы происходит выделение из пересыщенного твердого раствора α-Cu дисперсных частиц хрома. При этом формируется структура естественного ком-

позита, обеспечивающая сплавам резкое возрастание твердости и электропроводности. По существующей технологии для повышения растворимости хрома в решетке меди применяют нагрев под закалку до высоких температур (например, для растворения 0,4 % Cr необходим нагрев до 1000 ± 10 °С), что приводит как к окислению поверхности полуфабрикатов, так и диффузии кислорода вглубь металла и внутреннему его окислению [3]. В связи с этим актуальны новые нестандартные подходы к повышению растворимости хрома в твердом растворе.

Цель данной работы — разработка новых экономичных решений упрочнения хромовой бронзы воздействием на ее расплав низкочастотными колебаниями (НЧК) для повышения концентрации хрома в решетке литой меди и введением в состав бронзы тугоплавкой упрочняющей фазы — карбида хрома для повышения ее жаропрочности.

## Материалы и методика эксперимента

Материалом для исследования была выбрана промышленная бронза БрХ1, содержащая 0,46 % Cr (ГОСТ 18175-78). В работе использована ориги-

нальная лабораторная установка по воздействию на расплавы продольными НЧК частотой 80 Гц и амплитудой 1 мм с эффектами бародинамического нагружения и перемешивания всего обрабатываемого объема [4, 5]. В результате обработки в расплаве интенсифицируются все диффузионные процессы, расплав гомогенизируется [5 – 7]. Разработан математический аппарат по описанию механики движения твердых частиц в жидкости под действием НЧК [5].

Условия проведения экспериментов представлены в таблице. Расплавы бронзы обрабатывали на лабораторной установке при 1150–1300 °С в течение 1–15 мин и разливали по подогретым до 200 °С графитовым изложницам от температур обработки НЧК (сплавы 1–3). Кроме того, в расплав бронзы добавляли порошки карбида хрома, графита и меди и проводили аналогичную обработку расплава НЧК. Скорость охлаждения расплава составляла около 50 град./с. Литые слитки отжигали на дисперсионное твердение при стандартных для хромовых бронз условиях (2 ч при 450 °С).

В литых и отожженных сплавах исследовали химический и фазовый состав, макро- и микроструктуру, а также структурно-чувствительные свойства. В качестве образцов сравнения использовали медь марки М1 и заводскую бронзу БрХ1. Исследования проводили на световом инвертированном микроскопе OLIMPUS GX-51 и сканирующем электронном микроскопе KARL ZEISS EVO 40 XVP. Удельное электросопротивление измеряли четырехзондовым методом на микроомметре Ф4104-М1 по ГОСТ 22201-

94. Твердость по Бринеллю (нагрузка 250 кг, диаметр шарика 5 мм) определяли по всей длине слитка 10 × 10 × 150 мм по боковым и по нижним граням.

### Результаты и их обсуждение

Результаты измерения физико-механических свойств сплавов в литом и отожженном состоянии представлены в таблице.

Макроструктура литой бронзы после различных условий обработки расплава НЧК показана на рис. 1.

При сопоставлении размеров макрозерна с твердостью и электропроводностью сплавов видно следующее. Интенсификация процессов, протекающих в расплаве при воздействии на него НЧК, за счет повышения температуры и времени воздействия механоактивации расплава НЧК приводит к повышению твердости полученных литых сплавов, значения которой коррелируют с величиной их удельного электросопротивления (550 → 610 МПа и 3,4 → 4,6 мкОм·см, соответственно). При этом увеличение температуры обработки НЧК от 1150 до 1300 °С при равном времени воздействия (5 мин) способствует росту удельного электросопротивления литой бронзы на 30%, хотя размер макрозерна не изменяется (рис. 1а, б). Дальнейшее увеличение времени обработки до 15 мин при 1300 °С вызывает измельчение макрозерна в 4 раза, что дополнительно повышает электросопротивление литого сплава лишь на 5% (рис. 1в). Такие изменения в структуре и свойствах указывают на повышение концентрации хрома в решетке меди и соответственно

Таблица

Условия проведения экспериментов, состав и физико-механические свойства сплавов Cu – Cr

№ сплава	Состав	Условия воздействия НЧК		Твердость, МПа		Удельное электросопротивление, мкОм·см		Содержание хрома, масс.%		
		T, °С	Время, мин	Литой сплав	После старения	Литой сплав	После старения	В сплаве	В Cu(Cr)	Первичные выделения
	Медь М1	—	—	354	31,8	1,9	1,8	—	—	
	БрХ1 зав.	—	—	420	1260	3,5	2,1	0,5	0,30	0,20
1	БрХ1	1150	5	550	900	3,4	2,2	0,5	0,28	0,22
2	БрХ1	1300	5	600	1220	4,4	2,2	0,5	0,44	0,06
3	БрХ1	1300	15	610	1360	4,6	2,2	0,5	0,47	0,03
4*	Cu – КХ**(0,7 %)	1315 ± 15	6	550	1120	3,71	1,8	0,6	0,33	0,27
5	Cu – Cr (0,34 %) – КХ (0,3 %)	1300	—	480	850	3,4	2,1	0,6	0,28	0,32
6	Cu – Cr (0,34 %) – КХ (0,3 %)	1300	5	668	1420	5,0	2,3	0,6	0,52	0,08
7	БрХ1 – С (0,1 %)	1300	3	605	830	4,7	2,3	0,5	0,49	0,01
8	БрХ1 – С (0,1 %) – КХ (0,15 %)	1200	1	508	1295	4,6	2,2	0,6	0,47	0,13
9	БрХ1 – С (0,1 %) – КХ (0,15 %)	1200	3	535	1300	4,9	2,3	0,6	0,51	0,09

\* — по данным [11], \*\* — карбид хрома Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>.

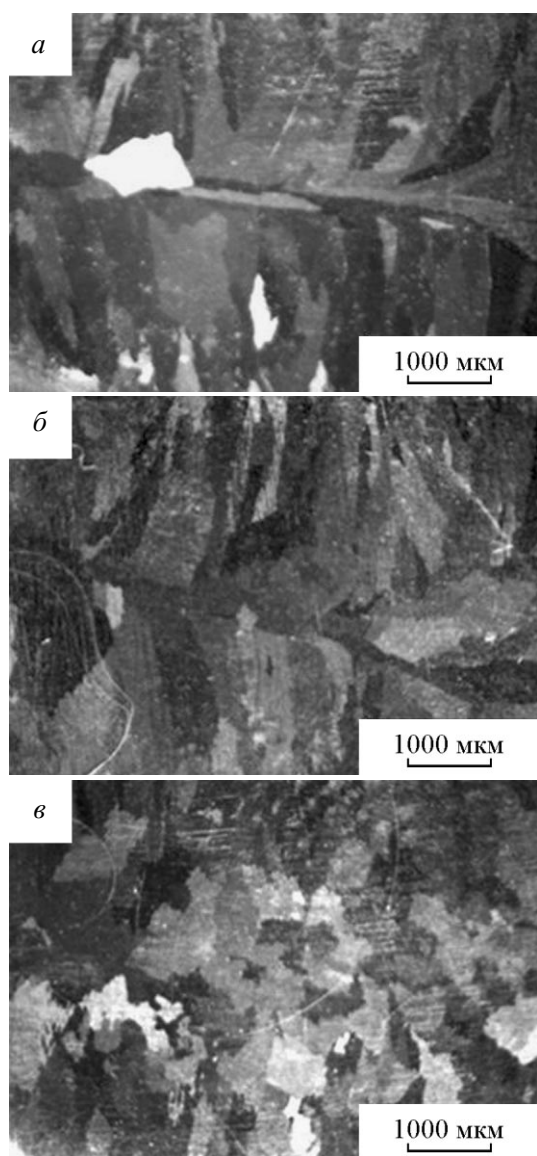


Рис. 1. Зеренная структура литых сплавов Cu – 0,5 % Cr, полученных при воздействии НЧК на расплав при: а – 1150 °С 5 мин, б – 1300 °С 5 мин, в – 1300 °С 15 мин.

искажения ее решетки за счет образования твердого раствора.

Отжиг на дисперсионное упрочнение резко повышает и твердость и электропроводность этих сплавов (таблица). При этом с ростом интенсивности механоактивации расплава НЧК твердость отожженного сплава превышает значения, свойственные упрочненной заводской бронзе, при незначительном снижении ее электропроводности.

Полученные результаты показывают возможность исключения из технологической цепочки термообработки хромовой бронзы стадии закалки

под дисперсионное твердение за счет повышения концентрации хрома в решетке литой меди воздействием на расплав бронзы НЧК. Отметим, что упрочнение бронзы в экспериментах происходит не за счет измельчения зеренной структуры, а лишь путем дисперсионного твердения. Существует, таким образом, еще и потенциал упрочнения, связанный с уменьшением размеров макрозерна.

В проведенных нами ранее исследованиях по получению литых композиционных материалов медь – карбид хрома при воздействии на систему НЧК показано [8 – 10], что в процессе замешивания карбида хрома в расплав меди происходит их химическое взаимодействие с образованием твердого раствора меди Cu(Cr). При отжиге (450 °С, 30 и 120 мин) таких сплавов происходит повышение твердости и электропроводности в 2 – 3 раза, аналогичное происходящему при старении сплавов медь – хром. В качестве примера в таблице приведены свойства одного из таких сплавов (сплав 4).

На основании результатов данных исследований в расплав бронзы одновременно были введены карбида хрома (0,3 %) и чистая медь до получения общего содержания хрома в сплаве 0,6 % (сплавы 5, 6). Твердость сплава 6, полученного обработкой расплава НЧК, после дисперсионного упрочнения достигает максимально возможного значения для бронзы Cu – 0,6 % Cr, закаленной от 1030 °С и состаренной при разных температурах [3]. Дополнительным достоинством этого сплава является его повышенная жаропрочность при температурах коагуляции частиц хрома, обусловленная присутствием термостойкой фазы Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>. Из данных таблицы видно также, что при отсутствии механоактивации расплава НЧК (сплав 5) достигается меньшая степень насыщенности хромом твердого раствора меди, что приводит к получению менее твердого сплава после твердения.

Следующие эксперименты по упрочнению бронзы проведены на основе анализа результатов, полученных в более ранних наших исследованиях по изучению синтеза тугоплавких карбидов непосредственно в расплаве меди при механоактивации его НЧК [10 – 12]. В этих работах показана возможность образования карбидов непосредственно в расплаве меди при замешивании в него частиц графита и карбидообразующего металла и механоактивации процессов НЧК. Описаны возможные механизмы карбидообразования.

В расплав бронзы с помощью НЧК замешивали порошок графита (0,1 %) с размерами частиц до 30 мкм (сплав 7). Свойства полученного сплава приведены в таблице. Анализ изменений свойств

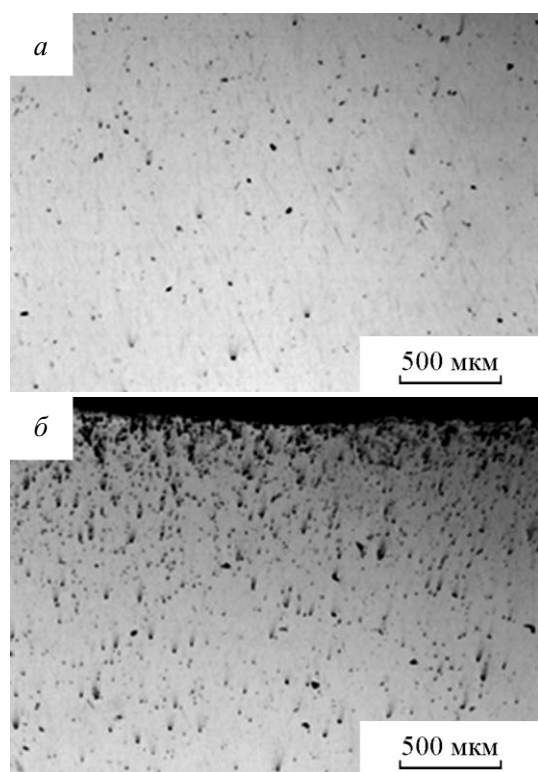


Рис. 2. Микроструктура сплава Cu – Cr – C (сплав 7): *а* – центр слитка, *б* – верх слитка.

после дисперсионного отжига (сплав 7) показывает, что значения твердости ниже твердости заводской бронзы и других приведенных сплавов. Установлено, что причиной этого является неоднородность структуры, вызванная образованием градиента концентрации карбида по высоте слитка. На рис. 2 показана микроструктура поперечного разреза слитка на разных высотах. Видно, что в верхнем слое слитка находятся крупные (10 – 30 мкм) включения образовавшихся карбидов хрома, по величине соизмеримые с наиболее крупными частицами исходного графита. Пониженная твердость остальной части слитка, таким образом, связана с обеднением основной массы сплава обеими упрочняющими фазами — хромом и карбидом хрома.

Для повышения свойств сплава бронзы с графитом в расплав бронзы добавляли то же количество графита (0,1 %) с размерами частиц  $\leq 10$  мкм и дополнительно медь и карбид хрома до получения общего содержания хрома 0,6 % (сплавы 8, 9). Из данных таблицы видно, что воздействие на расплав НЧК даже в течение 1 мин позволяет получить после дисперсионного твердения литого сплава хорошие свойства.

Стоит отметить несколько пониженную электропроводность сплавов 6 – 9, в которые добавляли

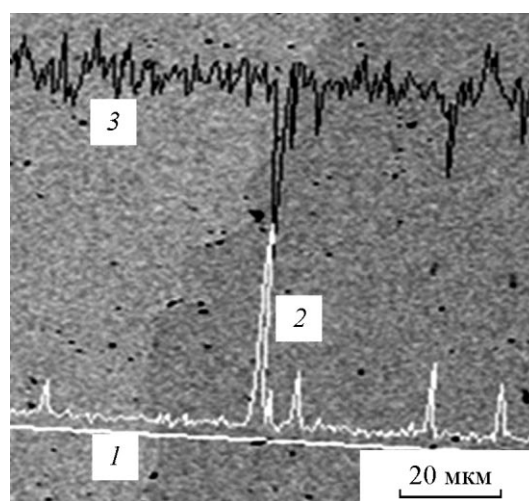


Рис. 3. Сканограммы сплава 4 по линии сканирования (1): 2 – хрома, 3 – меди.

порошок графита. По-видимому, часть графита при данных условиях проведения эксперимента все же не провзаимодействовала с хромом и осталась в виде самостоятельной фазы [10], являясь фактором повышенного электросопротивления сплава. В продолжение работ в этом направлении, нами проводятся эксперименты по созданию новых дугостойких материалов, в которых графит сохраняется в литом сплаве в виде структурных комплексов “ядро (графит) – оболочка (карбид хрома)”.

Используя зависимость удельного электросопротивления от содержания хрома в твердом растворе хромовой бронзы БрХ [1], мы провели оценку состава  $\alpha$ -меди в полученных нами литых сплавах. Результаты приведены в таблице. Для сплавов, в структуре которых сохраняется остаточный свободный графит (сплавы 7 – 8), применение такого графика некорректно и приведенные в таблице данные по составу твердого раствора сильно завышены.

Представленные результаты основаны на изменениях фазового состава и структурно-чувствительных свойств, происходящих в результате термообработки сплавов Cu – Cr. Рентгеноструктурный анализ изменения параметров  $\alpha$ -меди осложнен близостью атомных радиусов Cu и Cr (0,128 и 0,127 нм), а определение содержания Cr-фазы находится ниже порога чувствительности этого метода.

Выделяющиеся при старении сплава частицы хрома наноразмерны (например, при температурах старения 556 – 700 °С и времени старения 15 – 7800 мин их размеры находятся в пределах 5 – 25 нм) [1]. Поэтому при исследовании полученных сплавов на электронном сканирующем микроскопе анализу поддаются

только частицы довольно крупных первичных выделений хрома размерами 0,5 – 2 мкм (рис. 3).

На линии уровня содержания хрома имеются небольшие концентрационные всплески на расстояниях 10 – 20 мкм в местах нахождения темных включений, остальной хром распределен очень равномерно. Видна структурная неоднородность медной матрицы (~ 1 мкм), однако наноразмерные выделения хрома при увеличении до 10000 обнаружить не удается.

## Выводы

Показано, что для достижения уровня твердости и электропроводности заводской бронзы БрХ1, прошедшей стандартную термообработку (нагрев, выдержку 2 ч при 1000 °С, последующую закалку и далее отжиг на дисперсионное твердение при 450 °С в течение 2 ч), достаточно кратковременной обработки ее расплава продольными НЧК при 1200 – 1300 °С перед разливкой в изложницы с последующим проведением аналогичного отжига на дисперсионное твердение. Превысить значения прочностных свойств бронзы и одновременно увеличить ее жаропрочность можно введением в расплав бронзы карбида хрома или его прямым синтезом в процессе обработки расплава НЧК.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Проектов фундаментальных исследований №12-С-3-1005 и №12-М-23-2043 с использованием оборудования центра коллективного пользования “Урал-М”.*

## Литература

1. Николаев А.К., Новиков А.И., Розенберг В.М. Хромовые бронзы. М.: Металлургия, 1983, 176 с.
2. Грачева Т.А., Круглов А.В., Малыгин Н.Д., Щуров А.Ф. Структура ультрадисперсной меди и бронзы. Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Серия Физика твердого тела. Вып. 22. Научные чтения им. ак. Н.В.Белова. 18 – 19 декабря, 2003 г., 2004, № 1, с. 178 – 184.
3. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки. Справочник. М.: Машиностроение, 2004, 336 с.
4. Телицин И.И. Устройство для обработки расплава низкочастотными колебаниями. А.с. №4136144/23-02. 1987, 3 с.
5. Игнат'ев И., Пастухов Э., Бодрова Л. Метод получения сплавов низкочастотной обработкой их расплавов. Saarbrucken Deutschland: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, 170 p.
6. Попова Э.А., Бодрова Л.Е., Пастухов Э.А., Ватолин Н.А. Особенности кавитационных процессов при воздействии на жидкие среды упругих колебаний низких частот. Расплавы, 1998, № 3, с. 7 – 13.
7. Ватолин Н.А., Пастухов Э.А. Воздействие низкочастотными звуковыми колебаниями в режиме кавитации на металлические расплавы и порошки. Технология металлов, 2004, № 2, с. 2 – 6.
8. Бодрова Л.Е., Попова Э.А., Пастухов Э.А., Долматов А.В., Григорьева Т.Ф., Петрова С.А., Захаров Р.Г. Получение литых композиционных материалов Cu –  $Sn_3C_2$  при воздействии на расплавы низкочастотными колебаниями. Расплавы, 2008, № 2, с. 3 – 1.
9. Бодрова Л.Е., Попова Э.А., Пастухов Э.А., Долматов А.В., Григорьева Т.Ф., Овчинникова Л.А. Особенности литых композитов медь – карбид с высокой электропроводностью, полученных воздействием на расплав акустическими колебаниями. Минск, 19 – 21 октября, 2009. Тр. IV Международной НТК “Современные методы и технологии создания и обработки материалов”, Минск: ФТИ НАН Белоруссии, 2009, с. 196 – 198.
10. Еремина М.А., Ломаева С.Ф., Елсуков Е.П., Бодрова Л.Е., Гойда Э.Ю., Пастухов Э.А. Композиты медь-карбид хрома, полученные с использованием механоактивации исходных компонентов в твердом и жидком состоянии. Химическая физика и мезоскопия, 2013, т. 15, № 2, с. 262 – 269.
11. Бодрова Л.Е., Попова Э.А., Пастухов Э.А., Долматов А.В., Гойда Э.Ю. Синтез карбидов ниобия в медных расплавах. Металлы, 2010, № 5, с. 64 – 68.
12. Бодрова Л.Е., Гойда Э.Ю., Пастухов Э.А., Гойда Э.Ю., Шубин А.Б., Еремина М.А. О механизмах упрочнения меди карбидами ниобия. Расплавы, 2013, № 6, с. 23 – 28.

## References

1. Nikolayev A.K., Novikov A.I., Rozenberg V.M. *Khromovye bronzy* [Chromium bronzes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983, 176 p.
2. Gracheva T.A., Kругlov A.V., Malygin N.D., Shchurov A.F. *Struktura ultradispersnoy medi i bronzy* [Structure of ultradisersion copper and bronze]. *Vestnik Nizhegorodskogo un-ta im. N.I. Lobachevskogo. Ser. Fizika tverdogo tela — Lobachevsky Niznii Novgorod Univ. Bulletin. Ser. Solid state physics*, 2004, iss. 22, no. 1, pp. 178 – 184.
3. Osintsev O.E., Fedorov V.N. *Med i mednye splavy. Otechestvennyye i zarubezhnyye marki. Spravochnik* [Copper and copper alloys. Handbook]. Moscow, Mashinostroyeniye, 2004, 336 p.
4. Telitsin I.I. *Ustroystvo dlya obrabotki rasplava nizkochastotnymi kolebaniyami* [Equipment for melt treatment by low-frequency oscillations]. Russian patent no. 4136144/23-02, 1987.
5. Ignat'ev E., Pastukhov E., Bodrova L. Method to obtain alloys of low frequency processing of their melts. Saarbrucken Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, 170 p.

6. Popova E.A., Bodrova L.E., Pastukhov E.A., Vatolin N.A. Osobennosti kavitatsionnykh protsessov pri vozdeystvii na zhidkiye sredy uprugikh kolebaniy nizkikh chastot [Peculiarities of cavitation processes under effect of elastic oscillation of low frequency on liquids]. *Raspilavy — Russian metallurgy (Metally)*, 1998, no. 3, pp. 7 – 13.
7. Vatolin N.A., Pastukhov E.A. Vozdeystviye nizkochastotnymi zvukovymi kolebaniyami v rezhime kavitatsii na metallicheskiye raspilavy i poroshki [Effect of low-frequency audio oscillations in cavitation regime on metal melts and powders]. *Tekhnologiya metallor — Technology of metals*, 2004, no. 2, pp. 2 – 6.
8. Bodrova L.E., Popova E.A., Pastukhov E.A., Dolmatov A.V., Grigoryeva T.F., Petrova S.A., Zakharov R.G. Polucheniye litykh kompozitsionnykh materialov Cu-Cr3C2 pri vozdeystvii na raspilavy nizkochastotnymi kolebaniyami. *Raspilavy – Russian metallurgy (Metally)*, 2008, no. 2, pp. 3 – 1.
9. Bodrova L.E., Popova E.A., Pastukhov E.A., Dolmatov A.V., Grigoryeva T.F., Ovchinnikova L.A. Osobennosti litykh kompozitor med-karbid s vysokoy elektroprovodnostyu, poluchennykh vozdeystviyem na raspilav akusticheskimi kolebaniyami [Peculiarities of cast copper-carbon composites with high electroconductivity obtained by effect of acoustic oscillations on melt]. Proc. IV Int. conf. New methods and technologies of materials obtaining and treatment, Oct. 19 – 21 2009, Minsk, Belorus, pp. 196 – 198.
10. Yeremina M.A., Lomayeva S.F., Yelsukov Ye.P., Bodrova L.E., Goyda E.Yu., Pastukhov E.A. Kompozity med-karbid khroma, poluchennyye s ispolzovaniyem mekhanoaktivatsii iskhodnykh komponentov v tverdom i zhidkom sostoyanii [Copper – chromium carbide composites obtained by mechanic-activation of components in liquid and solid state]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical physics and mesoscopics*, 2013, vol. 15, no. 2, pp. 262 – 269.
11. Bodrova L.E., Popova E.A., Pastukhov E.A., Dolmatov A.V., Goyda E.Yu. Sintez karbidov niobiya v mednykh raspilavakh [Synthesis of niobium carbides in copper melts]. *Metally — Russian metallurgy (Metally)*, 2010, no. 5, pp. 64 – 68.
12. Bodrova L.E., Pastukhov E.A., Goyda E.Yu., Shubin A.B., Yeremina M.A. O mekhanizmax uprochneniya medi karbidami niobiya [Mechanisms of copper hardening by niobium carbides]. *Raspilavy — Russian metallurgy (Metally)*, 2013, no. 6, pp. 23 – 28.

*Статья поступила в редакцию 10.04.2014 г.*

**Бодрова Людмила Ефимовна** — Институт металлургии УрО РАН (г. Екатеринбург), кандидат химических наук, старший научный сотрудник, специалист в области разработки и исследования структуры и свойств композиционных материалов. E-mail: berseneval@mail.ru.

**Гойда Эдуард Юрьевич** — Институт металлургии УрО РАН (г. Екатеринбург), аспирант, специализируется в области получения и исследования композиционных материалов. E-mail: eddy-g0d@yandex.ru

**Пастухов Эдуард Андреевич** — Институт металлургии УрО РАН (г. Екатеринбург), член-корреспондент РАН, доктор химических наук, специалист в области физической химии металлических и ионных расплавов. E-mail: eduard.pastuhov.34@mail.ru

**Григорьева Татьяна Федоровна** — Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск), доктор химических наук, специалист в области механохимического синтеза. E-mail: grig@solid.nsc.ru.

**Шубин Алексей Борисович** — Институт металлургии УрО РАН (г. Екатеринбург), доктор химических наук, специалист в области физической химии металлических и ионных расплавов. E-mail: shun@imet.mplik.ru.

## **New methods of chromium bronze hardening**

**L. E. Bodrova, E. Yu. Goyda, E. A. Pastukhov, T. F. Grigoryeva, A. B. Shubin**

The strength increase of the CrBr1 chromium bronze was investigated by short-term impact by low-frequency oscillations (LFO) at 1200 – 1300 °C on its melt. It was defined the possibility of excluding of the stage of high temperature treatment for quenching from standard industrial heat treatment process for the cast aged alloy. Cu – Cr – C cast alloys with chromium content, which correspond to CrBr1 bronze composition, were obtained by addition of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> chromium carbide powders, chromium and graphite into copper and bronze melts during the LFO treatment. Variations of structural and sensitive properties (hardness, electrical resistivity), phase structure, macro- and microstructures were investigated before and after aging annealing. It was revealed that alloys hardening has dispersion-dispersive character and it leads to strength increase to required level for the CrBr1. It was defined that addition of chromium carbide into bronze composition or its direct synthesis during melt treatment by LFO allow to exceed values of bronze strength properties and at the same time to increase its thermal stability.

**Keywords:** solid solution, aging, melt mechanoactivation, chromium carbide, low-frequency treatment.

---

**Bodrova Lyudmila Efimovna** — Institute of metallurgy Ural Branch of RAS (Ekaterinburg), candidate of chemical sciences, senior researcher, a specialist in the development and research of the structure and properties of composite materials. E-mail: berseneval@mail.ru

**Goyda Eduard Yurievich** — Institute of metallurgy Ural Branch of RAS (Ekaterinburg), postgraduate student, E-mail: eddy-g0d@yandex.ru

**Pastukhov Eduard Andreevich** — Institute of metallurgy Ural Branch of RAS (Ekaterinburg), corresponding member of RAS, Doctor of Chemical Sciences, specialist in the field of metallic and ionic melts physical chemistry. E-mail: eduard.pastuhov.34@mail.ru

**Grigoreva Tatiana Fedorovna** — Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry Siberian Branch of RAS (Novosibirsk), Doctor of Chemical Sciences, specialist in the field of mechanochemical synthesis. E-mail: grig@solid.nsc.ru

**Shubin Alexey Borisovich** — Institute of metallurgy Ural Branch of RAS (Ekaterinburg), Doctor of Chemical Sciences, specialist in the field of metallic and ionic melts physical chemistry. E-mail: shun@imet.mplik.ru