УДК 621.762

И. А. ЛОЗИКОВ, *канд. техн. наук, доц.*
Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА МЕДНЫХ ОТХОДОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛИТЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ БРОНЗ

Аннотация

Приведены сравнительные результаты плавок экспериментальных модифицированных жаропрочных бронз с применением в качестве основы бескислородной меди и металлолома. Исследована структура и свойства литых образцов. Показана перспективность использования медных отходов для производства сплавов данного типа.

Ключевые слова:

получение, состав, структура, свойства, субмикрокристаллические модифицирующие лигатуры, хромовые бронзы.

Среди жаропрочных низколегированных медных сплавов электротехнического назначения хромовые бронзы (сплавы системы Cu-Cr) занимают особое место. Высокий комплекс физико-механических свойств: хорошая тепло – и электропроводность; удовлетворительные значения твердости, прочности и пластичности; достаточная величина температуры рекристаллизации сделали сплавы этой группы наиболее широко применяемыми для производства деталей машин и механизмов, работающих в жестких температурно-силовых условиях (электроды контактной точечной и рельефной сварки, ролики шовной сварки, коллекторов электромоторов, кристаллизаторов оборудования для непрерывного литья и т. п.). В ряде случаев эта группа материалов является единственной, обеспечивающей необходимые свойства при производстве уникальных образцов новой техники.

Основой при производстве вышеуказанных бронз, как правило, является бескислородная медь марки М0; в некоторых случаях может применяться М1 (ГОСТ 859–2001). Это объясняется высокой химической активностью хрома, что приводит к его окислению и угару при введении в расплав даже с незначительным содержанием растворенного кислорода. Раскисление медной ванны перед легированием фосфористой медью полностью данную проблему не решает. В связи с этим при цене меди М0, М1 ~ 10 000 $/т итоговая стоимость хромовых бронз достигает 40 000 $/т и более.

В то же время современные технологии позволяют изготавливать новую продукцию, используя вторсырьё. Особенно активно переработка применяется в металлургии, где постоянно нужны материалы для обеспечения производственных процессов. Процессы рециклинга бронз являются крайне важным фактором для экологической и экономической сферы. Благодаря вторичному применению металла, можно значительно меньше загрязнять природную среду, чем в случае первоначального производства этого материала, значительно снизить стоимости продукции и повысить ее конкурентоспособность.

Целью работы являлось изучение возможности замены катодной меди, как основы сплава, на медный металлолом и изучить влияние состава медных отходов на структуру и свойства литых жаропрочных бронз, полученных с применением механически сплавленных модифицирующих лигатур с высоким содержанием легирующего компонента.

Образцы экспериментальных сплавов получали методом открытой плавки в высокочастотной индукционной печи с применением графитовых тиглей марки АК-10. Заготовки для изучения свойств, структуры и химического состава получаемых бронз вырезались из отливок, заливаемых в стальной водоохлаждаемый кокиль с системой направленного отвода тепла. Лигатура, содержащая 20 % Cr и полученная по оптимальному режиму, разработанному ранее, вводилась в виде мерных прутков Ø16 для получения бронзы БрХ с химическим составом, соответствующему ГОСТ 18175–78. Контроль содержания основных элементов, вводимых в сплав, выполняли на спектрографе SPECTROMAXx. Изучение структуры и элементного состава проводился с использованием сканирующего электронного микроскопа «TescanVEGA II SBH».

Результаты исследований и их обсуждение. Плавки проводились по трем вариантам: с использованием бескислородной меди марки М0; с использованием медной высечки – остатков при производстве изделий листовой штамповкой; переплавкой собственных отходов экспериментальных сплавов. Исходный состав применяемых материалов основы приведен в табл. 1.

Табл. 1. Состав исходных материалов

Материал основы	Химический состав, %								
	Cu	Fe	Ni	Zn	Sn	Pb	P	B	Cr
М0	99,97	0,004	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001	-	-
Высечка	99,67	0,05	0,2	0,012	0,05	0,01	0,001	-	-
Отходы	98,96	0,3	0,006	0,011	0,002	0,01	0,005	следы	0,7

Одной из задач, возникшей при поведении исследований, стала необходимость хорошей защиты расплава от взаимодействия с атмосферным воздухом и удаления кислорода из основы. Для этих целей оптимальными оказались оксидно-солевые флюсы (Криолит, Криофат, Криошлак), не только защищающие жидкий металл от окисления, но и разжижающие образующиеся шлаки хромовой бронзы, что способствует более легкому их удалению.

В качестве эффективного раскислителя вместо классической фосфористой меди (Cu – 10 % P) использовался бор. Он, согласно диаграмме двойного сплава Cu – P, нерастворим в меди при комнатной температуре, не образует с ней соединений. Кроме того, избыток бора не оказывает вредного влияния на свойства сплавов, а окисел бор B_2O_3, имеющий кислый характер, взаимодействуя с закисью меди, способен образовывать шлаки, содержащие борат меди – $2Cu_2O \cdot B_2O_3$. Следственно, бор может связывать на 60 % больше кислорода, чем это представляется из стехиометрического соотношения элементов в окисле B_2O_3 и обладает модифицирующим эффектом.

На опытно-экспериментальном производстве Белорусско-Российского университета освоен выпуск раскислителя – модификатора на основе композиции Cu – 10 % B.

Исследование состава образцов, полученных по оптимальным режимам плавки (температура медной основы – 1300 °С, время легирования – 10 мин, раскислитель – бор, покровный флюс – Криолит) показало, что по содержанию большинства примесей, включая железо (некоторое повышенное содержание возникает за счет адсорбции его расплавом при литье в металлический тигель), разница между отливками не очень существенная и соответствует требованиям, предъявляемым к хромовым бронзам. При этом отливки, полученные из собственных отходов, отличаются более высоким содержанием хрома за счет его наличия в исходной основе, что вызывает предположение о возможности снижения объема применяемой лигатуры при их переплавке. Полученный состав экспериментальных образцов в зависимости от материала основы приведен в табл. 2.

Табл. 2. Состав исходных материалов

Материал основы бронзы	Химический состав бронзы, %							
	Fe	Ni	Zn	Sn	Pb	P	B	Cr
М0	0,09	0,003	0,009	0,002	0,003	следы	следы	0,843
Высечка	0,11	0,002	0,014	0,002	0,009	следы	следы	0,697
Отходы	0,13	0,005	0,010	0,002	0,009	следы	следы	0,971

Исследование микроструктуры сплавов показало, что независимо от вида исходной основы после кристаллизации они приобретают микрокристаллический тип с размером зерна 1…4 мкм (рис. 1, *а*). Хром равномерно распределен в меди, образуя *α* – твердый раствор и его самостоятельные включения отсутствуют (рис. 1, *в*). Так же в структуре отсутствуют поры и неметаллические включения.

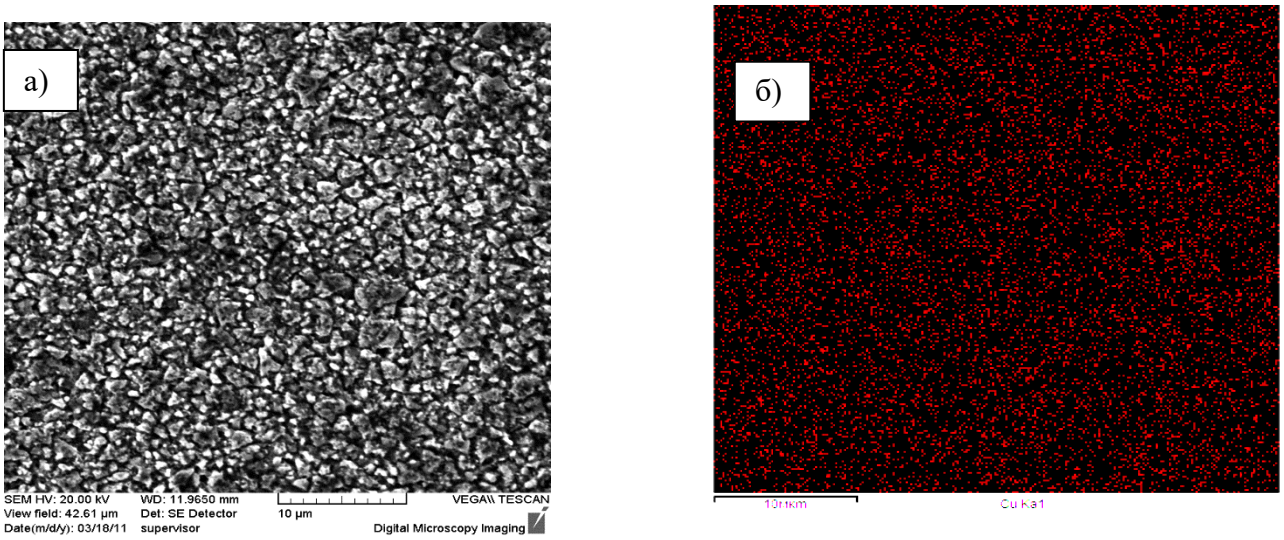
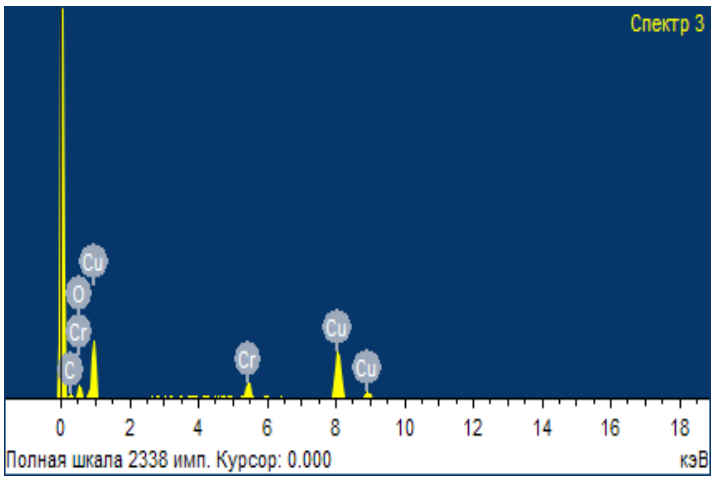
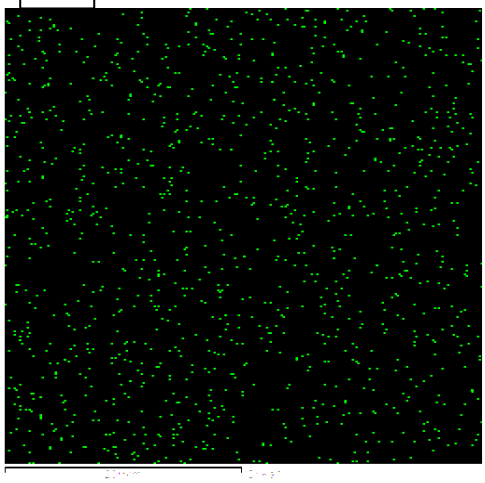


Рис. 1. Характерные результаты микрорентгеноспектрального анализа и сканирования по площади литых бронз: *а* – структура литых сплавов; *б* – распределение Cu; *в* – распределение Cr



в)



Продолжение рис. 1

Для изучения физико-механических свойств образцы подвергали термомеханической обработке по классической технологии: температура нагрева под закалку – 1000 °С с охлаждением в воде; промежуточная пластическая деформация Ɛ = 60 %, старение при температуре 510 °С в течении 4 ч и последующим охлаждением с печью.

Физико-механические свойства образцов опытных плавок приведены в табл. 3.

Табл. 3. Свойства экспериментальных сплавов

Материал основы бронзы	Физико-механические свойства			
	$б_В$, МПа	НВ, МПа	δ, %	$R \times 10^9$, Ом·м
М0	150	485	13	22,0
Высечка	140	470	12	22,0
Отходы	160	505	10	21,8

Анализ свойств, приведенных в таблице, показывает, что сплавы, полученные с применением механически синтезированной лигатуры, независимо от типа основы по твердости, прочности, электропроводности, не уступают существующим аналогам.

Исходя из результатов исследований, можно сделать вывод о том, что применение механически сплавленных модифицирующих лигатур с высоким содержанием легирующего компонента и разработанного высокоэффективного раскислителя – модификатора на основе композиции Cu – 10 % B позволяет производить материалы из медных и бронзовых отходов с микрокристаллическим типом структуры и комплексом физико-механических свойств, не уступающим бронзам, полученным из бескислородной меди.

Контакты:
Lozikoff@yandex.by (Лозиков Игорь Александрович).