



УДК 669.187.56

КАЧЕСТВО КРЕМНИЕВО-НИКЕЛЕВОЙ БРОНЗЫ КН1-3 ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ВЫПЛАВКИ ИЗ НЕКОМПАКТНЫХ ОТХОДОВ

А. В. Гнатушенко, Ф. К. Биктагиров,
А. П. Игнатов, Т. И. Грищенко

Разработана технология электрошлаковой выплавки бронзы КН1-3 из некомпактных отходов. Исследовано качество полученного металла — химический состав, структура, некоторые механические и физические свойства. Определены оптимальные параметры термической обработки, позволяющие получать бронзу с набором требуемых эксплуатационных свойств.

Technology of electroslag melting of bronze KN1-3 of non-compact wastes has been developed. The quality of produced metal was investigated: chemical composition, structure, some mechanical and physical properties. Optimum parameters of heat treatment, allowing producing bronze with required service properties, were defined.

Ключевые слова: электрошлаковая выплавка; некомпактные отходы; бронза; отливка; качество металла; химический состав; структура; механические свойства; термическая обработка

Среди большого разнообразия медных сплавов особую группу составляют дисперсионно-твердеющие, к которым относится и кремнисто-никелевая бронза КН1-3, не производимая в Украине. В то же время имеются потребности в данном сплаве ввиду хорошего сочетания его механических свойств и электропроводности.

В Институте электросварки им. Е. О. Патона освоена и реализована технология электрошлаковой выплавки из некомпактных отходов данного материала. Бронзу получали двумя способами. В первом случае, в качестве исходной шихты для переплава в электрошлаковой тигельной печи использовали стружку, образующуюся в результате механической обработки заготовок производства Кольчугинского завода цветных металлов («КольчугЦветМет», Россия). Во втором случае, бронзу КН1-3 выплавляли из шихты, состоящей из некомпактных (стружка, обрезь) отходов меди и никеля с долегированием во время плавки кремнием и марганцем непосредственно из шлакового расплава. Для этого в исходный шлак в нужном количестве добавляли компоненты, содержащие кремний и марганец, а режим плавки вели таким образом, чтобы восстановить эти элементы в металл. И в том, и в другом варианте плавки осуществляли по схеме, описанной в работах [1, 2].

По разработанной технологии путем разливки металла в чугунную изложницу (кокиль) с размерами внутреннего пространства 650×135×95 мм по-

лучены бронзовые отливки массой 75 кг (рис. 1, а), а разливкой в графитовую или стальную форму — круглые полые отливки с наружным диаметром до 400 мм и массой до 100 кг (рис. 1, б). Такие заготовки используются для изготовления зажимных токоподводящих элементов для машин контактной стыковой сварки рельсов и труб. При необходимости некоторые отливки подвергали горячей деформации на прокатном стане VH-20260 фирмы «Шкода» с целью получения заготовок (пластин) требуемых геометрических размеров для изготовления бронзовых деталей, используемых в различных установках контактной стыковой сварки (рис. 1, в).

Качество заготовок оценивали по нескольким критериям: внешний вид отливок, химический состав и структура металла, а также его основные механические и физические свойства.

Отлитые в чугунную изложницу (кокиль) бронзовые заготовки, благодаря разливке под шлаком, имели ровную и гладкую поверхность (рис. 1, а). Ввиду утепления их верхней части шлаком усадочная полость имела сравнительно небольшую протяженность — 50...60 мм, т. е. от отливки, имеющей отношение высоты к приведенному диаметру около 6, удаляется только 10 % массы, остальная часть является годной. Прокатанные пластины имели ровную поверхность, а кромки были без трещин.

Структуру бронзы электрошлаковой выплавки (ЭШВ) изучали по продольному срезу слитков и прокатанной пластины. После шлифования и травления структура литой бронзы (рис. 2) состояла из двух типов кристаллов. По краям слитка распо-

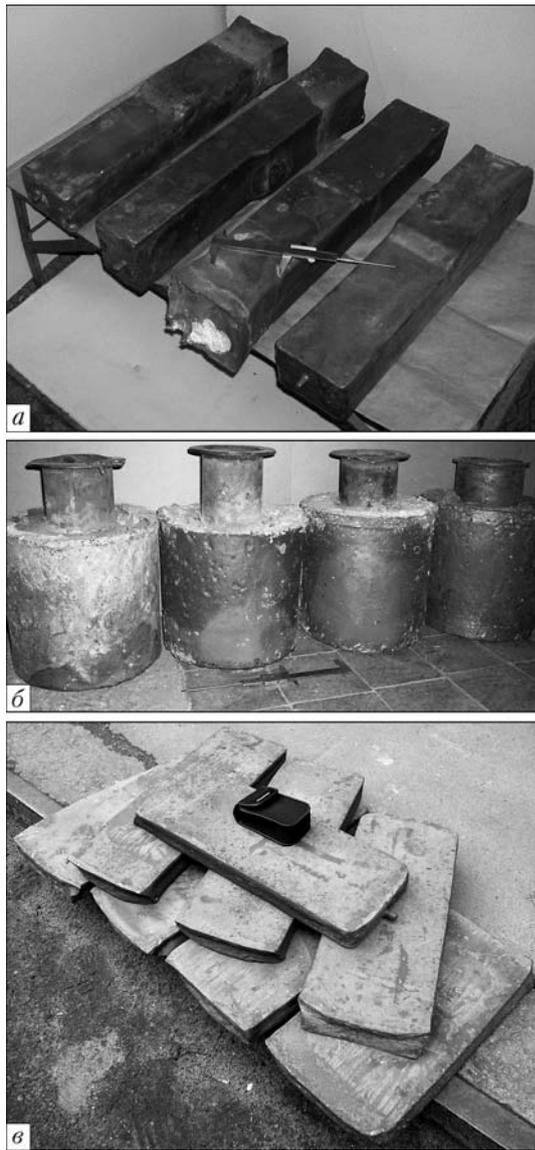


Рис. 1. Отливки (а, б) и катаные заготовки (в) из бронзы Бр.КН1-3 электрошлаковой выплавки

жена зона столбчатых кристаллов, переходящая в зону равноосных, несколько укрупненных зерен. Такое строение объясняется условиями охлаждения металла, разливаемого в кокиль. Сама структура

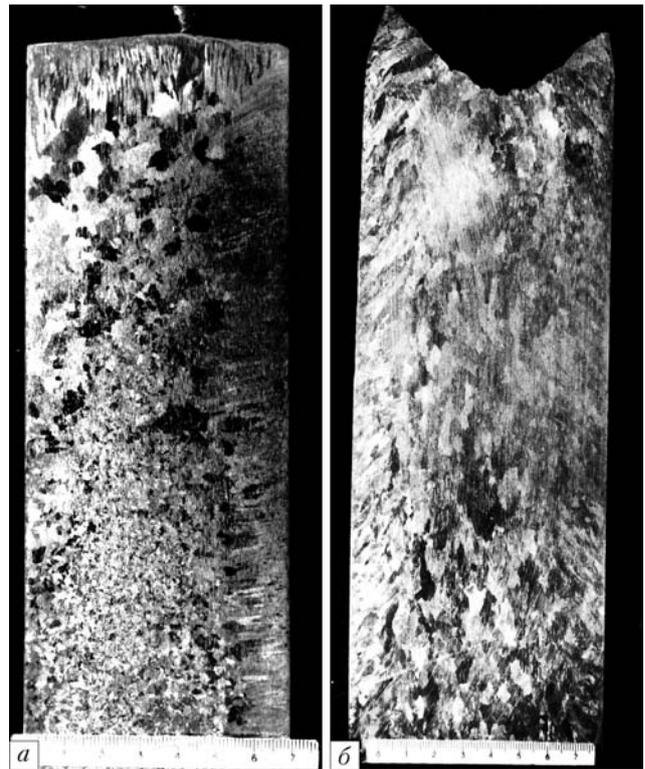


Рис. 2. Макроструктура литого (а) и катаного (б) металла

металла была плотной и однородной, без газовых пор, неметаллических включений и других макродефектов, структура катаного металла — однородная с зернами, вытянутыми в направлении деформации.

Результаты химического анализа бронзы, полученной из стружки «КольчугЦветМет» и выплавленной из отходов меди и никеля с долегированием кремнием и марганцем, приведены в табл. 1. Как видно, химический состав бронзы КН1-3 ЭШВ и в одном, и в другом случаях полностью соответствует ГОСТ 18175–78. Кроме химического состава, металл некоторых отливок анализировали на содержание газов — кислорода и водорода (табл. 2). Из представленных в этой таблице данных видно, что содержание газов в металле электрошлаковой выплавки остается примерно на одном уровне с металлом, производимым предприятием «КольчугЦвет-

Таблица 1. Химический состав бронзы электрошлаковой выплавки

Номер плавки	Массовая доля основных компонентов, %				Массовая доля примесей, %				
	Ni	Si	Mn	Cu	Al	Zn	Pb	Sn	Fe
Бронза КН1-3 ГОСТ 18175–78	2,4...3,4	0,6...1,1	0,1...0,4	Остальное	≤0,02	≤0,1	≤0,15	≤0,1	≤0,1
<i>Бронза ЭШВ из стружки «КольчугЦветМет»</i>									
2	2,60	0,75	0,35	Остальное	0,02	0,08	0,08	0,10	0,08
10	3,30	1,10	0,20	»»	0,02	0,10	0,12	0,09	0,10
14	3,25	1,10	0,40	»»	0,02	0,10	0,06	0,08	0,10
22	2,80	1,00	0,37	»»	0,01	0,07	0,10	0,10	0,10
25	2,80	0,90	0,40	»»	0,02	0,10	0,07	0,06	0,10
<i>Бронза ЭШВ из отходов меди, никеля с долегированием кремнием и марганцем</i>									
1	3,00	0,80	0,30	Остальное	0,015	0,09	0,07	0,08	0,10
4	2,50	0,80	0,25	»»	0,020	0,10	0,10	0,09	0,10



Таблица 2. Содержание газов в бронзе ЭШВ

Номер плавки	Массовая доля газов, %	
	[H]	[O]
Предельно допустимая норма для медных сплавов	Не более 0,00054	Не более 0,005
Исходный металл (бронза за «КольчугЦветМет»)	0,00025... 0,00028	0,00069... 0,0014
<i>Бронза ЭШВ из стружки «КольчугЦветМет»</i>		
2	0,00026	0,00140
10	0,00024	0,00300
14	0,00035	0,00046
22	0,00024	0,00210
15	0,00031	0,00150
<i>Бронза ЭШВ из отходов меди, никеля с долегированием кремнием и марганцем</i>		
1	0,00017	0,00062
4	0,00030	0,00150

Мет», и не превышает предельно допустимых норм для медных сплавов.

Для более полной оценки качества полученного металла его подвергали испытаниям для определения механических свойств и электропроводности. Бронзу испытывали как в литом, так и в деформированном состоянии. Для сравнения использовали бронзу производства Кольчугинского завода.

Результаты механических испытаний приведены в табл. 3, из которой следует, что свойства металла, полученного из стружки заводской бронзы и из отходов меди и никеля с долегированием, находятся на одном уровне. Кроме того, механические свойства бронзы после прокатки выше, чем у бронзы в литом состоянии. Как следует из табл. 3, литая бронза ЭШВ по механическим свойствам и электропроводности уступает заводскому металлу. Связано это с тем, что металл «КольчугЦветМет» после отливки подвергается деформационному уплотнению путем протяжки в горячем виде через калиброванное (120×90 мм) отверстие.

Многие изделия из бронзы КН1-3 в процессе эксплуатации испытывают значительные механические и тепловые нагрузки. В связи с этим они должны иметь повышенные твердость, прочность и

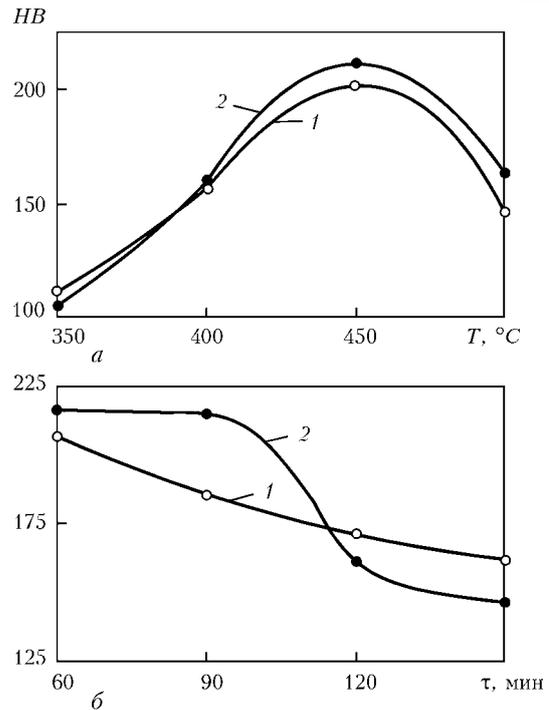


Рис. 3. Зависимость твердости бронзы КН1-3 от температуры (а) и времени отжига (б): 1 — бронза ЭШВ из стружки «КольчугЦветМет»; 2 — бронза ЭШВ из отходов меди и никеля с долегированием кремнием и марганцем

электропроводность. Бронза КН1-3 способна к дисперсионному упрочнению за счет выделения в матрице фазы Ni₂Si, образующейся в процессе распада раствора, получаемого вследствие предварительной закалки сплава. Поэтому ее свойства во многом зависят от режимов термической обработки. Нами проведены исследования влияния различных режимов термической обработки на изменение свойств бронзы ЭШВ. Для этого отливок, полученных из разных исходных материалов, вырезали одинаковые пластины для дальнейшей термической обработки. Вначале все пластины закачивали, а затем подвергали отжигу (старению), изменяя в одном случае температуру нагрева, во втором — продолжительность нагрева. Далее из этих пластин изготовили образцы для механических испытаний, по результатам которых построили соответствующие зависимости, отображающие изменение свойств бронзы ЭШВ в зависимости от режимов термической обработки (рис. 3–7). Определены оптималь-

Таблица 3. Свойства бронзы КН1-3 электрошлаковой выплавки

Состояние металла	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	HV	$\alpha_{ц}$, Дж/см ²	ρ , Ом·мм ² /см
<i>Бронза из стружки «КольчугЦветМет»</i>							
Литое	372... 380	188... 206	16... 20	35... 40	115... 124	85... 100	0,067
Деформированное	430... 455	268... 302	12... 17	32... 39	137... 148	80... 105	—
<i>Бронза ЭШВ из отходов меди, никеля с долегированием кремнием и марганцем</i>							
Литое	377... 390	170... 202	17... 20	37... 41	121... 125	70... 94	0,078
Деформированное	442... 454	282... 307	16... 20	36... 40	135... 150	83... 98	—
<i>Бронза производства «КольчугЦветМет»</i>							
»»	490... 535	380... 410	16... 18	26... 30	150... 160	58... 65	0,053

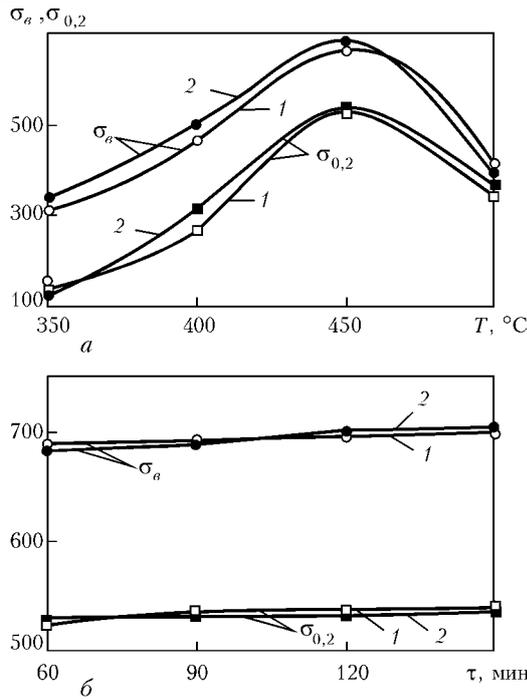


Рис. 4. Зависимость прочности бронзы КН1-3 от температуры (а) и времени отжига (б); обозн. 1, 2 см. на рис. 3

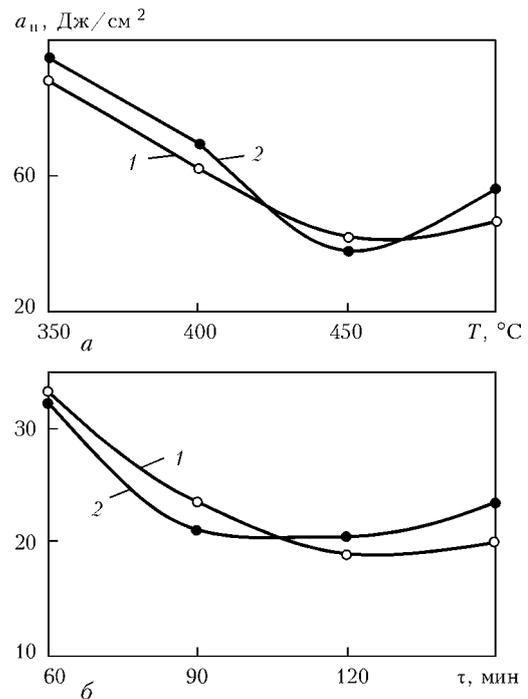


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости a_n бронзы КН1-3 от температуры (а) и времени отжига (б); обозн. 1, 2 см. на рис. 3

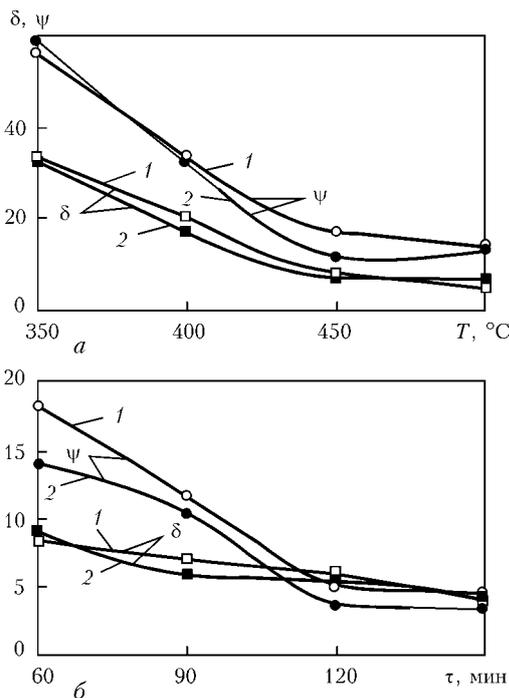


Рис. 5. Зависимость относительных удлинения и сужения бронзы КН1-3 от температуры (а) и времени отжига (б); обозн. 1, 2 см. на рис. 3

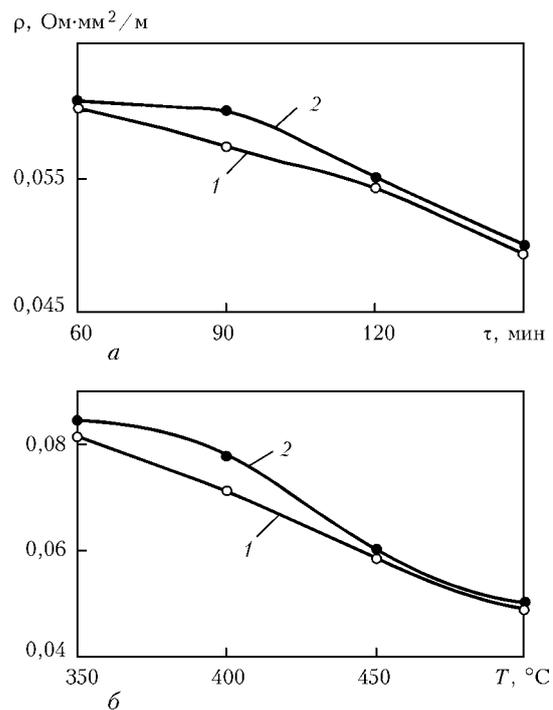


Рис. 7. Зависимость удельного электросопротивления бронзы КН1-3 от температуры (а) и времени отжига (б); обозн. 1, 2 см. на рис. 3

ные параметры термической обработки, позволяющие получать бронзу КН1-3 ЭШВ с набором требуемых эксплуатационных свойств.

Таким образом, разработанная технология ЭШВ бронзы КН1-3 из некомпактных отходов позволяет получать качественный металл, который после соответствующей термической обработки можно использовать для изготовления многих ответственных деталей, в том числе зажимных токоподводящих элементов в машинах контактной стыковой сварки.

1. Биктагиров Ф. К. Применение электрошлакового процесса с нерасходуемыми электродами для плавки, рафинирования и обработки металлов. Сообщение 2 // Современ. электрометаллургия. — 2003. — № 1. — С. 5–9.
2. Электрошлаковый переплав стружки бронзы Бр. КН 1-3 / В. А. Шаповалов, Ф. К. Биктагиров, А. В. Гнатушенко, А. П. Игнатов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Темат. зб. наук. праць. — Краматорськ, 2005. — С. 524–526.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

Поступила 27.07.2009