



Chemical composition, structure and properties of copper upon base steps of wire production technology (melting of anode copper with using of scrap and waste, electrolytical refining, producing of rod by continuous casting, manufacture of electrotechnical wire and fibres) is described.

И. П. ВОЛЧОК, Запорожский национальный технический университет,
А. М. МУХИН, ООО «Запорожский завод цветных сплавов»

УДК 669.3.017:669.02.04

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ ИЗ ЛОМА И ОТХОДОВ МЕДИ

Медь и ее сплавы относятся к числу важных конструкционных материалов, находящихся применение в качестве проводников тока и деталей машин практически во всех отраслях промышленности. Для Украины, не располагающей достаточными природными ресурсами медных руд, перспективным является производство меди и ее сплавов из вторичного сырья. Прежде всего это технически и экономически целесообразно в связи со стремительным истощением в мире медьсодержащих руд: по имеющимся данным, при существующих темпах потребления меди их хватит на 50–55 лет. Во-вторых, по сравнению с добычей, обогащением и металлургической обработкой медных руд получение меди и ее сплавов из вторичного сырья имеет ряд преимуществ: низкие капитальные вложения, меньший расход энергии, более высокую технологичность переработки, уменьшение загрязнения окружающей среды и др.

В то же время сплавы, полученные из вторичного сырья, как правило, уступают по качеству первичным вследствие меньшей стабильности химического состава по основным элементам и более высокой загрязненности вредными примесями. Существующие классификации и технологии сортировки лома и отходов цветных металлов (ДСТУ 3211-95), так же как и методы металлургического передела вторичного сырья, не всегда позволяют достичь требуемой стабильности состава и уровня физико-механических и служебных свойств сплавов, в том числе и медных. Цель настоящей работы заключалась в разработке и внедрении сквозной технологии получения электротехнической проволоки из вторичного сырья, начиная от сортировки лома и отходов меди и заканчивая скруткой проволоки в токопроводящие жилы. При этом на основных этапах технологического цикла проводилось сравнение хими-

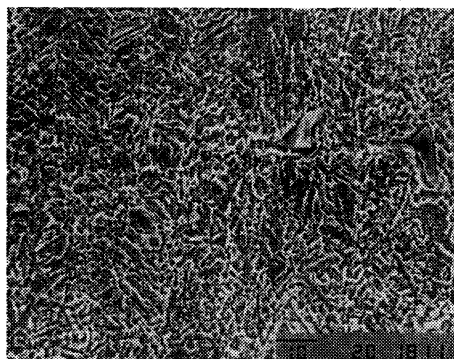
ческого состава, структуры и свойств меди, полученной из первичного (руда) и вторичного (лом и отходы) сырья, и внедрялись технологические решения, обеспечивающие необходимое качество готовой продукции. В работах [1, 2] показано, что более детальная по сравнению с ДСТУ 3211-95 сортировка лома и отходов меди позволила в процессе переплава и огневого рафинирования в 8-тонной отражательной печи получать сплавы марок М2 (99,7% Cu) и М3 (99,5% Cu) для литья анодных пластин. При этом определенные проблемы были связаны с необходимостью снижения до заданных пределов нежелательных примесей: свинца, олова, цинка и железа. Получение меди требуемой чистоты достигалось путем многократного «дразнения» (рафинирования отходами древесины) металла в печи. В целом в зависимости от качества исходной шихты, точнее от количества в ней примесей, производительность печи изменялась от 0,29 т/ч (при 0,26% Pb, 0,24% Sn, 0,75% Fe, 0,85% Zn) до 0,71 т/ч (0,035% Pb, 0,014% Sn, 0,002% Fe, 0,02% Zn), а выход годного (меди, пригодной для литья анодных пластин) – от 68,1 до 95,4% (медь с повышенным содержанием примесей использовали в качестве шихты при выплавке бронз и латуни).

После электролитического рафинирования медь, полученная из первичного и вторичного сырья, хотя и различалась по суммарному содержанию примесей (0,016 и 0,024% соответственно), но удовлетворяла требованиям ГОСТ 859-78 по химическому составу для катодной меди МОк. При этом при практически одинаковом содержании ряда примесных элементов первичная медь была сильнее загрязнена теллуrom, селеном, сурьмой и кадмием, а вторичная – свинцом, оловом, цинком и серой (табл. 1).

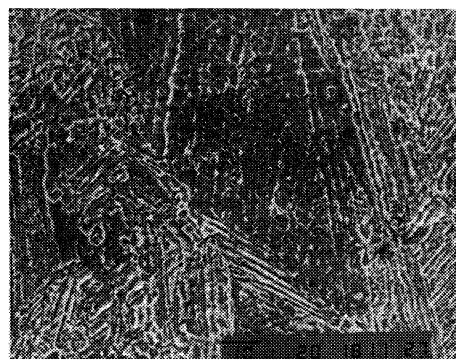
Таблица 1. Химический состав катодных пластин (средние данные по 32 плавкам)

Исходное сырье	Содержание Cu, %	Содержание примесей $P \cdot 10^5$, %							
		Pb	Sn	Zn	S	Te	Se	Sb	Cd
Первичное	99,984	70	27	0	141	210	20	49	15
Вторичное	99,976	352	151	201	283	27	4	12	0

Существенных различий в структуре первичной и вторичной меди не обнаружено (рис. 1). В обоих случаях она имела рекристаллизованное зерно. Изредка наблюдались вытянутые зерна, ориентированные перпендикулярно поверхности катодных пластин. Механические свойства и электропроводность первичной и вторичной меди были практически одинаковыми (табл. 2).



а



б

Рис. 1. Структура катодной меди, полученной из различного сырья: а — из первичного, б — из вторичного. $\times 500$

Таблица 2. Свойства катодных пластин, полученных из различного сырья

Исходное сырье	Количество определений	σ_b , МПа	δ , %	Твердость НВ	$\rho \cdot 10^5$, (Ом $\cdot$ мм ²)/м
Первичное	16	264	35	69	1850
Вторичное	16	262	38	64	1837

По-видимому, повышенное содержание одних элементов, отрицательно влияющих на свойства меди (прежде всего, свинца и серы), в той или иной степени компенсировалось пониженным содержанием других элементов (особенно сурьмы, селена и теллура), также неблагоприятно влияющих на те же свойства.

С целью анализа влияния исходного сырья на химический состав, структуру и свойства катанки были изготовлены две ее партии, полученные из первичного (медная руда) и вторичного (лом и отходы меди) сырья. Катанку диаметром 8 мм получали на установке «UPCAST» US 16E-04+4 финской фирмы Outokumpu Castform oy [2]. Установка оборудована плавильной и раздаточной печами, в которых жидкая медь выдерживается соответственно под слоем древнего угля и чешуйчатого графита и подвергается вследствие этого дальнейшему рафинированию. Сравнение данных, приведенных в табл. 2 и 3, показывает, что в результате переплава катодной меди в ней снизилось содержание примесей, причем по этому показателю составы первичной и вторичной меди стали практически одинаковыми. При этом подобно анодной меди катанка из первичного сырья характеризовалась более высоким содер-

жанием теллура, селена, сурьмы и кадмия, а катанка из вторичного сырья — более высоким содержанием свинца, олова, цинка и серы. Размеры и форма зерен катанки, полученной из первичного и вторичного сырья, были практически одинаковыми, однако во втором случае выделения вторичных фаз на границах зерен наблюдались чаще (рис. 2).

По значениям механических свойств и удельного электросопротивления (табл. 3) принципиальных различий между катанкой, полученной из различного исходного сырья, не установлено. Отмечалось лишь некоторое снижение пластичности и повышение электросопротивления металла в случае получения его из вторичного сырья, что можно объяснить отмеченными выше различиями в составе и структуре.

Литую заготовку диаметром 8 мм, полученную из первичного и вторичного сырья, перерабатывали на электротехническую проволоку диаметром 1,76 мм и далее на проволоку диаметром 0,195 мм со скруткой последней в токопроводящие жилы сечением 0,5–1,0 мм². Металлографические исследования отожженной проволоки диаметром 1,76 мм показали, что в результате интенсивной холодной пластической деформации

(волочение с обжатием 78%) и рекристаллизационной термообработки в меди сформировалась микроструктура, характеризующаяся мелким зерном (5–10 мкм), практически не унаследовавшим особенностей литой структуры, с большим количеством типичных для чистой меди двойниковых образований (рис. 3). Не было установлено каких-либо отличий в структуре металла, полученного из различного сырья.

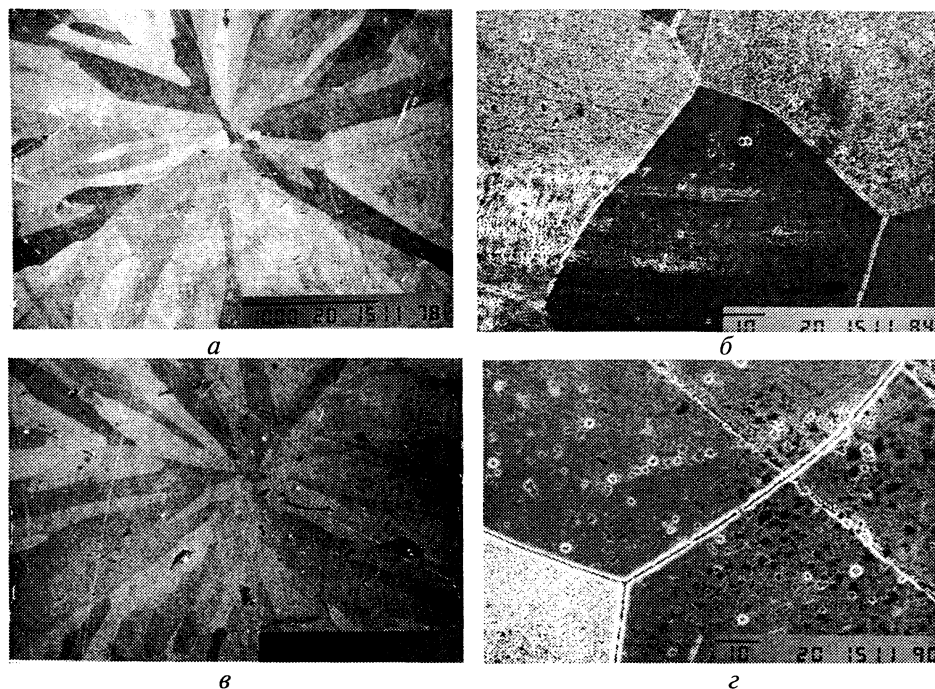


Рис. 2. Структура литой катанки из меди, полученной из различного исходного сырья: а, б – из первичного сырья; в, г – из вторичного сырья. а, в – $\times 20$; б, г – $\times 2000$

Таблица 3. Свойства катанки, полученной из первичного и вторичного сырья (средние данные по 32 определениям)

Сырье	Содержание Cu, %	σ_b , МПа	δ , %	N, скручиваний	$\rho \cdot 10^5$, (Ом $\cdot$ мм ²)/м
Первичное	99,989	180	42,5	70	1686
Вторичное	99,988	183	41,5	63	1701

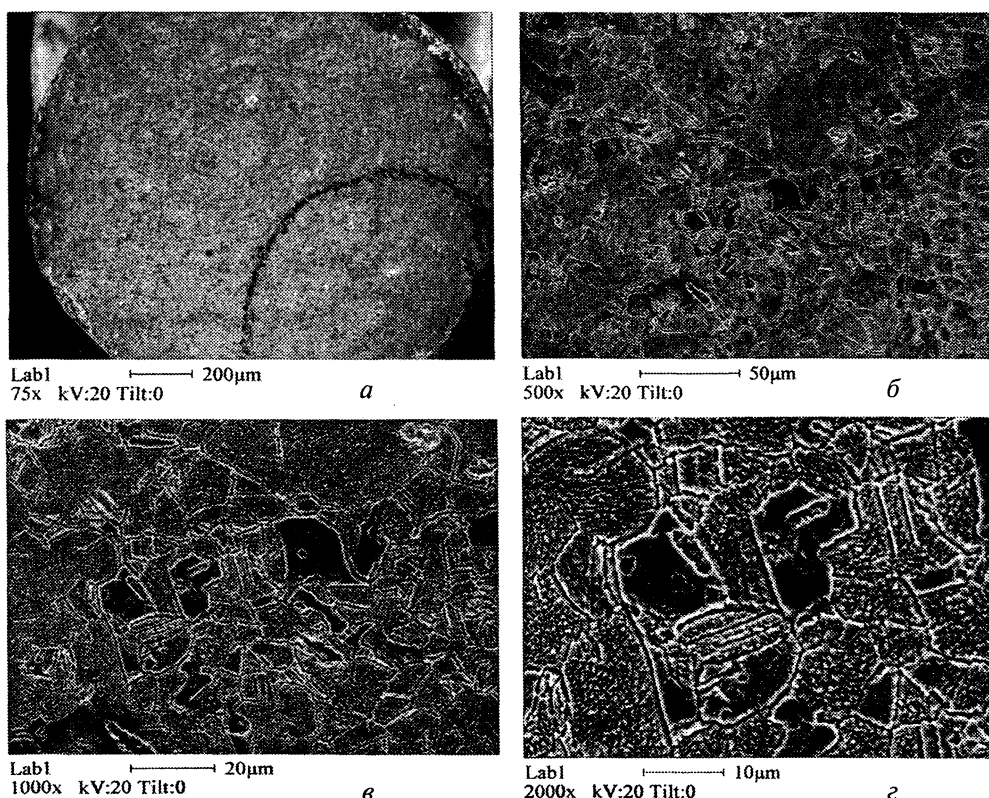


Рис. 3. Макро- и микроструктура вторичной электротехнической медной проволоки толщиной 1,76 мм после окончательной термообработки

Как следует из табл. 4 и 5, свойства медной проволоки, полученной из различного сырья, очень близки. При этом однако в случае использования вторичного сырья имеет место тенденция к некоторому снижению технологической

пластичности и большему электросопротивлению. Степень такого изменения не превышает соответственно 4–5 от. % для показателя пластичности и 0,2–0,3% — для удельного электросопротивления.

Таблица 4. Свойства медной проволоки диаметром 1,76 мм

Сырье	Количество определений	σ_k , МПа	δ , %	n	$\rho \cdot 10^5$, (Ом·мм ²)/м
Первичное	8	247	38	88	1689
Вторичное	8	250	37	92	1693

Таблица 5. Свойства токопроводящих жил

Номинальное сечение жил, мм ²	Сырье	Количество определений	Диаметр жилы, мм		Электросопротивление, Ом·м	
			факт	норма ТУ	факт	норма ТУ
0,5	Первичное	26	0,88	не более	37,05	Не более 39,0
	Вторичное	87	0,90	1,1	36,68	
0,75	Первичное	38	1,08	не более	24,50	Не более 26,0
	Вторичное	182	1,07	1,3	24,37	
1,0	Первичное	21	1,20	не более	18,60	Не более 19,5
	Вторичное	51	1,21	1,5	18,75	

Литература

1. Мухин А.М. Усовершенствованная методика сортировки лома и отходов меди // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2001. № 1. С. 74–76.

2. Мухин А.М. Технология получения медной катанки с использованием вторичного сырья // Високі технології в машинобудуванні. Збірн. наук. праць НТУ «ХПІ». Харьков: НТУ «ХПІ», 2002. С. 237–243.