



УДК 669.187.526.002.2

# ПОЛУЧЕНИЕ СЛИТКОВ МЕДИ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА ИЗ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ПЕРЕПЛАВОМ С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЕМКОСТЬЮ

С. В. Хомутский, О. Н. Козловец, В. В. Ищенко

Описана технология получения слитков высококачественной меди из отходов промышленности с помощью электронно-лучевого переплава с промежуточной емкостью. Представлена конструкция промежуточной емкости. Предлагаемая технология позволяет выплавлять медные слитки высокого качества диаметром от 100 до 300 мм, длиной до 2-х метров. Приведены данные о структуре, химическом составе и механических свойствах медных слитков.

Technology of producing ingots of high-quality copper from industrial wastes using electron beam remelting with an intermediate crucible is described. Design of the intermediate crucible is given. The offered technology makes it possible to melt high-quality copper ingots of diameter from 100 to 300 mm and up to 2 m length. The data are presented about structure, chemical composition and mechanical properties of copper ingots.

**Ключевые слова:** электронно-лучевой переплав; промежуточная емкость; медь; структура; механические свойства

Электротехническая и электронная отрасли современной промышленности предъявляют все более жесткие требования к качеству используемых металлов, в том числе и к меди. Существующие способы получения меди, такие как электрошлаковый, вакуумно-дуговой, плазменный, индукционный, вакуумно-индукционный [1], не обеспечивают ее высокого качества. Каждый из них имеет свои недостатки: взаимодействие с материалом футеровки, с окружающей средой, невозможность подачи в зону плавки раскисляющих и легирующих компонентов [1, 2].

С этой точки зрения наиболее перспективным процессом является электронно-лучевая плавка с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ) [3], которая позволяет получать высококачественную медь из медных отходов, в том числе и прессованной стружки.

Цель настоящей работы — выплавка слитков меди из отходов промышленности методом электронно-лучевого переплава с промежуточной емкостью.

Для этого специально была разработана и изготовлена промежуточная емкость (рис. 1), которая конструктивно состоит из трех секций: флотационного рафинирования (1), дисцилиационного рафинирования (2) и секции накопления жидкого металла и порционного его слива в кристаллизатор (3). Между второй и третьей секциями установлен перфорированный барьер (4) для задержки шлака и неметаллических включений.

Плавление исходной шихты происходит в секцию флотационного рафинирования. В этой секции осуществляется предварительная очистка меди от легколетучих компонентов и компонентов с высокой упругостью пара, после чего металл перетекает в секцию дисцилиационного рафинирования. Здесь жидкая медь, проходя сквозь древесный уголь, очи-

щается от вредных примесей и затем перетекает в накопительную секцию через перфорированный барьер, который очищает ее от неметаллических включений. В секции 3 происходит усреднение химического состава металла и он сливается в кристаллизатор.

Выплавку слитков производили на установке УЭ-208 [4] с описанной выше промежуточной емкостью в кристаллизатор диаметром 200 мм. Внешний вид полученных слитков меди показан на рис. 2. Как видно, слитки имеют хорошую боковую поверхность, рванин и горячих трещин нет.

Макроструктуру выплавленных слитков меди изучали на поперечных темплатах, вырезанных из головной и донной частей слитка.

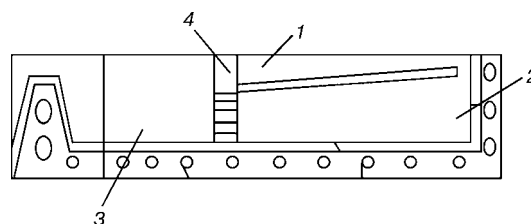


Рис. 1. Схема промежуточной емкости для получения качественной меди



Рис. 2. Внешний вид слитков меди ЭЛПЕ

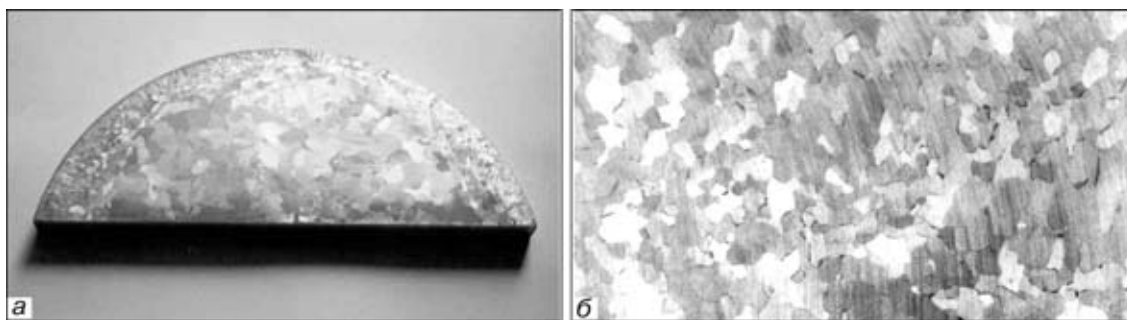


Рис. 3. Макроструктура слитка меди ЭЛПЕ: а — поперечный разрез; б — продольный разрез

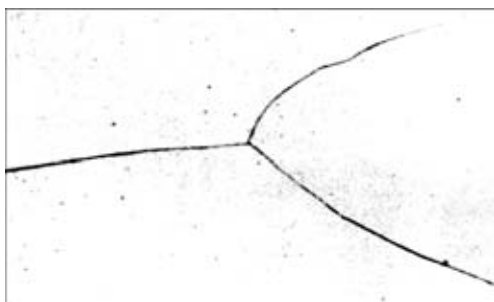


Рис. 4. Микроструктура слитка меди ЭЛПЕ



Рис. 5. Токоподводник к выкатной тележке

Результаты механических испытаний меди ЭЛПЕ показали ее достаточно высокие свойства: твердость *НВ* 38...42, предел прочности — 125...140 МПа, относительные удлинение 50...52 %, сужение 80...82 %. Неплохие показатели были получены по электрическому сопротивлению, среднее значение которого составило 0,01706 мкОм·м [5].

Испытания на водородную хрупкость показали высокую пластичность меди ЭЛПЕ. Такая медь выдерживает в среднем не менее 10 гибов с перегибом до полного разрушения, а согласно ТУ 14-14-42-65 и ТУ ЦМО 31-65 медь должна выдерживать не менее 6-ти гибов с перегибом до полного разрушения [6].

Из слитков меди ЭЛПЕ были изготовлены токоподводники к выкатной тележке типа ТВЭ-6-40/ЛФ2(КЭ-6С)УЗ на номинальные токи 630...2000 А и напряжение 6 кВ. Ток термической стойки 40 кА. Проверка токоподводников по соответствию ГОСТ 14693-90 и ТУ У 14306300.007-2000 показала, что все 12 видов испытаний получили положительную оценку. На рис. 5 показан токоподводник к выкатной тележке К-XXIV, изготовленный из меди ЭЛПЕ и прошедший такие же испытания.

На основе проведенных исследований в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработана про-

**Химический состав слитков меди**

Исходное сырьё	Метод получения	Содержание примесей, % мас									
		Sb	As	Ni	Zn	Fe	P	S	O	H	N
Медный лом	ЭЛПЕ	0,001	0,0009	0,002	0,001	0,002	Следы	Следы	0,015	Следы	Следы
ГОСТ 859-78	—	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	—	0,003	0,04	0,0001	0,0001

Травление проводили в концентрированной азотной кислоте. Травление металла равномерное, без теней и различно травящихся зон, связанных с ликвационными процессами. Визуальный осмотр темплетов показал, что металл достаточно плотный, пор, раковин и других дефектов нет, что говорит о высоком качестве выплавленных слитков.

Макроструктура слитков (рис. 3) состоит из трех зон: узкой краевой зоны мелких столбчатых кристаллов шириной 10 мм; зоны очень мелких равноосных кристаллов шириной 2...4 мм; зоны, состоящей из зерен, близких к равноосным, и занимающей основную площадь темплета. Размеры зерен от 5×10 до 8×13 мм.

На микрошлифах дефектов не обнаружено. Наблюдается зернистая структура с чистыми границами (рис. 4). Химический состав слитков меди приведен в таблице.

мышленная технология выплавки слитков высококачественной меди из отходов электротехнической и электронной промышленности, а также создана и испытана технологическая оснастка для ее реализации.

1. *Смиренин А. П.* Промышленные цветные металлы и сплавы. — М.: Металлургия, 1956. — 560 с.
2. *Аглицкий В. А.* Производство медных вайербарсов. — Свердловск: Свердл. кн. изд-во, 1956. — 320с.
3. *Мовчан Б. А., Тихоновский А. Л., Курапов Ю. А.* Электронно-лучевая плавка и рафинирование металлов и сплавов. — Киев: Наук. думка, 1973. — 256 с.
4. *Электронно-лучевая установка УЭ-208 / А. Л. Тихоновский, А. А. Тур, А. Н. Кравец и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1992. — № 1. — С. 71-74.*
5. *Лившиц Б. Г.* Физические свойства металлов и сплавов. — М.: Металлургия, 1980. — 320 с.
6. *Копачев Б. А.* Водородная хрупкость цветных металлов. — М.: Наука, 1966. — 232с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев  
 ОО «Имидж», Киев  
 Поступила 16.12.2003