



The technological aspects of the plate metal-roll production out of slugs, produced by means of continuous horizontal casting of Cu-Ni-Cr-Si bronze, are considered.

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. А. ХАРЬКОВ, Ю. Л. СТАНЮЛЕНИС,
Институт технологии металлов НАН Беларуси

УДК 621.74.047

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА ИЗ Cu-Ni-Cr-Si БРОНЗЫ

Сегодня большинство предметов техники, начиная с карманного фонарика и заканчивая космической орбитальной станцией, используют в качестве источника энергии электричество, а это сопряжено с применением различного рода разъемных соединений. Их контакты изготавливаются в большинстве из цветного металлопроката, заготовкой для которого служит отливка плоского поперечного сечения. В период развития промышленности возрастает и спрос на такие материалы. Наиболее высокопроизводительным и эффективным способом производства отливки плоского поперечного сечения является метод непрерывного литья.

В Республике Беларусь отсутствует собственное производство листового металлопроката из цветных металлов и сплавов, а потребность в нем

с каждым годом растет, соответственно увеличиваются и затраты, связанные с импортом таких материалов.

Создание технологии получения плоских непрерывнолитых заготовок создаст предпосылки к организации производства листового металлопроката из цветных металлов и сплавов в Республике Беларусь, что в свою очередь исключит его импорт из-за рубежа.

Особый интерес вызывает производство элементов электрических контактов из Cu-Ni-Cr-Si бронзы (табл. 1). Этот сплав наряду с высокими механическими свойствами в диапазоне температур 500–600°C обладает значительной электропроводностью. В табл. 2 приведены основные свойства указанного материала в зависимости от температуры.

Таблица 1. Химический состав Cu-Ni-Cr-Si бронзы

Содержание элементов, %				Содержание примесей, %
Ni	Cr	Si	Cu	
2,2 – 2,8	0,5 – 1,0	0,5 – 0,9	Остальное	≤ 0,4

Таблица 2. Свойства Cu-Ni-Cr-Si бронзы

Наименование параметра	Температура, °C					
	20	300	400	500	600	700
Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	800	650	580	470	270	130
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	780	630	570	460	260	110
Относительное удлинение δ , %	17	13	11	7	13	35
Ударная вязкость, Дж/см ²	90	90	90	80	120	140
Твердость HV _{30сек} , кг/мм ²	240	200	180	120	87	50
Твердость HV _{60мин} , кг/мм ²	–	–	125	95	54	21
Модуль упругости $E \cdot 10^4$, МПа	14,5	13,0	12,4	11,1	9,8	9,3
Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	196	262	271	268	252	245
Электрическое сопротивление ρ , Ом·м	0,372	0,546	0,618	0,722	0,864	1,088
Электропроводность γ , м/(Ом·мм ²)	27	18	16	14	12	9
Относительная электропроводность $\gamma_{отн}$, % (от γ_{Cu})	46	68	69	70	68	60
Относительная теплопроводность $\lambda_{отн}$, % (от λ_{Cu})	48	67	69	71	68	67

При разработке технологии производства металлопроката из указанного материала следует учитывать ряд особенностей, свойственных данному сплаву — присутствие в нем двух высокотемпературных интерметаллидов Ni_2Si и Cr_3Si , которые выделяются в сплаве в процессе его кристаллизации. Кроме того, этот состав позволяет реализовать принцип упрочнения дисперсными частицами Cr , Ni_2Si и Cr_3Si , растворенными в меди, а также принцип упрочнения межатомных связей, являющийся следствием легирования никелем твердого раствора на медной основе [1].

В ИТМ НАН Беларуси проводили эксперименты, целью которых была разработка технологии получения плоской заготовки из $Cu-Ni-Cr-Si$ бронзы методом непрерывного горизонтального литья. Для приготовления расплава использовали индукционную тигельную печь марки ИСТ-0,16, в тигель которой загружали медь марки М1 и $Ni-Cr$ -лигатуру. После расплавления зеркало металла закрывали прокаленным древесным углем. Когда температура расплава достигала $1450^{\circ}C$, с помощью «колокольчика» вводили кремний. Пос-

ле растворения последнего, тщательного перемешивания и снятия шлака расплав раскисляли фосфористой медью и заливали в металлоприемник установки непрерывного горизонтального литья.

Из отлитых заготовок сечением 65×22 мм были изготовлены два образца длиной по 0,5 м для исследования физико-механических свойств полученного $Cu-Ni-Cr-Si$ сплава. На первом этапе оба образца нагрели до $850^{\circ}C$ в атмосфере азота, выдержали в течение 1,5 ч и охладили водой. После последующего скальпирования их толщина уменьшилась до 20,4 мм. Далее оба образца были разрезаны и подвергнуты последующей прокатке до толщины в 0,52 мм по следующей схеме: холодная прокатка с обжатием 50%, отжиг при различных температурах и длительности [2]. После каждой операции контролировали поверхностную твердость полос и их электропроводность (табл. 3). В результате были определены оптимальные режимы термообработки изделий после прокатки с обжатием 50% — отжиг при температуре $600^{\circ}C$ в течение 3 ч.

Таблица 3. Изменение свойств образцов в процессе обработки

Вид обработки	Толщина образца, мм	Твердость HV, кг/мм ²	Электропроводность $\gamma_{отж}$, % (от γ_{Cu})
Закаливание ($850^{\circ}C$, 1,5 ч, охлаждение водой)	22	—	—
Скальпирование	20,4	113	23,0
Прокатка (обжатие 60%)	8,2	171	15,3
Отжиг ($500^{\circ}C$, 2 ч)	8,2	236	38,3
Отжиг ($600^{\circ}C$, 2 ч)	8,2	115	34,2
Прокатка (обжатие 50%)	4,2	164	34,0
Отжиг ($600^{\circ}C$, 2 ч)	4,2	115	34,1
Прокатка (обжатие 50%)	2,1	173	42,0
Отжиг ($600^{\circ}C$, 3 ч)	2,1	122	43,3
Прокатка (обжатие 50%)	1,05	155	36,3
Отжиг ($600^{\circ}C$, 4 ч)	1,05	103	35,3
Прокатка (обжатие 50%)	0,52	159	35,6
Отжиг ($600^{\circ}C$, 3 ч)	0,52	101	36,1

При проведении описанных выше исследований были выявлены некоторые дефекты, которые являются результатом несовершенства использованной технологии литья:

1) на границах рывков, почти на всем протяжении отливки, наблюдались небольшие трещины, они отсутствовали только при температуре металла в металлоприемнике не ниже $1230^{\circ}C$ (в начале процесса и при подливах);

2) сравнительно низкая электропроводность вызвана, вероятнее всего тем, что при переливах из печи в ковш и из него в металлоприемник происходит сильное окисление расплава;

3) высокая температура отливки на выходе из кристаллизатора ведет к сильному окислению поверхности последней, что требует снятия значительного слоя при скальпировании.

Таким образом, для обеспечения стабильности температуры расплава в процессе непрерывного

литья и тем самым исключения поверхностных дефектов отливки целесообразно применение подогреваемого металлоприемника, построенного по принципу индукционной канальной печи. Отсутствие переливов и постоянное перемешивание благоприятно скажутся на качестве расплава и электрических свойствах полученных изделий. Кроме того, потребуется особая конструкция кристаллизатора, обеспечивающего получение широкой (до 250 мм) и тонкой (до 12 мм) отливки с высоким качеством поверхности. Такого рода оборудование и оснастка в настоящее время разрабатываются в ИТМ НАН Беларуси.

Тянущее устройство предполагается снабдить сервоприводом, который имеет ряд преимуществ по сравнению с применяемыми ранее приводами на базе двигателя постоянного тока, управляемого частотным регулятором. Применение сервомотора позволяет осуществлять режим извлечения

отливки с обратным ходом (остановка—толчок в обратном направлении — рывок в прямом направлении — остановка) без установки дополнительного двигателя; отказаться от применения электромагнитных муфт, что значительно упрощает конструкцию привода и увеличивает его надежность; задавать динамику движения отливки, т.е. продолжительность разгона, ускорение, протяженность равномерного движения и торможение, что должно благоприятно сказаться на качестве поверхности отливки и стабильности процесса литья.

Совокупность указанных технических решений позволит создать на базе ИТМ НАН Бела-

руси опытно-промышленное производство полуфабрикатов для листового проката из цветных металлов электрического назначения с высокими эксплуатационными характеристиками.

Литература

1. High-strength and high-electrical-conductivity copper alloy for high-pin-count leadframes. Y. Yamamoto, G. Sasaki, K. Yamakawa and M. Ohta// Hitachi cable review. 1999. Vol. 19. P. 65–70.
2. A process for manufacturing Cu-Fe alloy C194-ESH with high electrical conductivity and excellent heat-resistance / N. Nomoto, T. Chingping, M. Ohta and K. Yamakawa // Hitachi cable review. 1999. Vol. 18. P. 61–66.