

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАРАБАН-КАТОДОВ МЕДЕЭЛЕКТРОЛИТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**А.К. Давыдов**

*Курганский государственный университет, г. Курган*

Целью данной работы является выбор оптимального состава рабочей поверхности барабан-катодов и разработка рациональных способов их изготовления. По литературным данным и на основании всесторонних электрохимических исследований (определение коррозионной стойкости потенциостатическим методом, гальваностатическое определение перенапряжения кристаллизации меди, а также моделирование процесса получения фольги) было установлено, что наилучшими показателями из исследуемых обладает сплав состава X15H65M20. В силу специфики условий эксплуатации барабан-катодов, дефицитности материалов для выбранного сплава, необходимости получения заготовки большого диаметра с гомогенной мелкозернистой и плотной структурой поверхности в качестве базовой технологии была принята электрошлаковая выплавка (ЭШВ). Применение сварочной технологии сделало необходимым учет двух дополнительных факторов: возможности повреждения поверхности межкристаллитной коррозией (МКК) и склонности аустенитных сплавов к горячим трещинам. Для предотвращения МКК в сплав был добавлен ниобий в традиционно достаточных количествах (до 1 %). Дополнительное введение ниобия в исследуемый сплав может привести к снижению технологической прочности. Не принимая во внимание взаимное влияние Nb, Cr и Mo, был выбран состав X15H69M15B1. Сравнительные опытно-промышленные испытания барабан-катодов проводили на опытном участке фольги Кыштымского МЭЗ, которые показали работоспособность предлагаемого материала при повышенных температурах по сравнению с традиционными, что существенно повышает производительность процесса электроосаждения. Установлено, что аргонодуговая наплавка неплавящимся электродом может осуществляться в широком диапазоне режимов без применения каких-либо технологических приемов при полном отсутствии трещинообразования, что позволит изготавливать собственно обечайку из менее дефицитных материалов.

*Ключевые слова: барабан-катод, горячие трещины, межкристаллитная коррозия, электрошлаковая выплавка, высоконикелевый сплав.*

Медную электролитическую фольгу для электротехнических нужд получают осаждением меди на непрерывно вращающийся полый цилиндр (барабан-катод), частично погруженный в электролит, и съемом полученного полотна по выходу из него.

На качество фольги, которое характеризуется, главным образом, отсутствием пористости при минимальной толщине, влияет ряд факторов, включающих как параметры электроосаждения, так и состав материала катода, его физико-химические свойства, структуру, кристаллографическую ориентацию поверхностных зерен и др.

Традиционно применяемые для изготовления барабан-катодов сталь 10X17H13M3T и титан BT 1-0 не обладают необходимыми технологическими свойствами.

Целью данной работы является выбор оптимального состава рабочей поверхности барабан-катодов и разработка рациональных способов их изготовления. По литературным данным была установлена перспективность применения высоконикелевых сплавов, легированных максимальными количествами тугоплавких металлов (с условием гарантированного получения структуры гомогенных твердых растворов). С учетом доступности на первом этапе к разработке были приняты сплавы систем Ni–Mo, Ni–W и Cr–Ni–Mo. На основании

всесторонних электрохимических исследований (определение коррозионной стойкости потенциостатическим методом, гальваностатическое определение перенапряжения кристаллизации меди, а также моделирование процесса получения фольги) было установлено, что наилучшими показателями из исследуемых обладает сплав состава X15H65M20. Образцы из него были получены сплавлением в вакууме металлов следующих марок: никель Н1, молибден МРН, хром ХО.

Сплавы такого типа весьма широко применяются в технике (например, сплав состава 000X15H65M16B), они достаточно технологичны. В силу специфики условий эксплуатации барабан-катодов, дефицитности материалов для выбранного сплава, необходимости получения заготовки большого диаметра с гомогенной мелкозернистой и плотной структурой поверхности, в качестве базовой технологии была принята электрошлаковая выплавка (ЭШВ), которая обеспечивает возможность изготовления трубчатой заготовки с радиальной кристаллизацией к поверхности отливки. Применение сварочной технологии сделало необходимым учитывать два дополнительных фактора: возможность повреждения поверхности межкристаллитной коррозией (МКК) и склонность аустенитных сплавов к горячим трещинам. Для предотвращения МКК в сплав был добавлен ниобий в

традиционно достаточных количествах (до 1 %), поскольку термодинамически более активный титан склонен к выгоранию при ЭШ процессе, не предупреждает МКК высоконикелевых сплавов в окислительных средах [1], применение его нецелесообразно.

Трещинообразование в никелевых сплавах изучалось в [2], где дается достаточно подробная информация о теории и способах повышения технологической прочности сварных конструкций, которые заключаются в измельчении зерна сварных швов за счет увеличения количества центров первоначальной кристаллизации. При этом установлено, что имеется некоторый максимум критической скорости деформирования сварных соединений при оптимальных концентрациях Re, Nb, Mo, W и др. Дальнейшее повышение их содержания приводит к быстрому снижению стойкости против горячих трещин по причине увеличения хрупкости литого металла. Поэтому дополнительное введение ниобия в исследуемый сплав может привести к снижению технологической прочности. В приведенном источнике имеется информация о результатах совместного легирования хромом (9–23,5 %) и молибденом (0–30 %). При этом оптимальные соотношения концентраций легирующих компонентов имеют пропорциональную зависимость, что свидетельствует об аддитивности влияния Cr и Mo на  $V_{кр}$  и отсутствии эффекта их совместного воздействия.

В то же время, влияние Nb проявляется весьма сильно – максимум стойкости наблюдается при 5 % против 22–25 % при монолегировании молибденом. Не принимая во внимание взаимное влияние NbCr и Mo, был выбран состав X15H69M15B1.

Экспериментально-лабораторная модель барабан-катода изготавливалась из заготовки цилиндрической формы (сплошного сечения, с целью упрощения технологии) размерами  $\varnothing = 150\text{мм}$ ,  $l = 200\text{мм}$ , полученной ЭШ-выплавкой. Компоненты расходоуемого электрода предварительно сплавляли в индукционной печи. Сравнительные опытно-промышленные испытания барабан-катодов проводили на опытном участке фольги Кыштымского МЭЗ, которые показали возможность получения беспористой фольги толщиной 20 мкм, тогда как минимальная толщина, полученная с барабан-катодов из титана ВТ 1-0 и стали 10X17H13M3T составляет соответственно 35 и 50 мкм. При этом работоспособность предлагаемого материала при повышенных температурах существенно повышает производительность процесса электроосаждения.

Была осуществлена также проверка возможности дуговой наплавки рабочей поверхности барабана разработанным составом с целью восстановления его геометрических размеров после многократной перешлифовки. Установлено, что аргодуговая наплавка неплавящимся электродом может осуществляться в широком диапазоне режимов без применения каких-либо технологических приемов при полном отсутствии трещинообразования, что позволит изготавливать собственно обечайку из менее дефицитных материалов.

Литература

1. Влияние углерода и стабилизирующих элементов на коррозионную стойкость сплава ХН28МДТ / Ю.С. Сидоркина, Т.А. Жадан, П.В. Хохлова и др. // *Защита металлов*. – 1982. – Т. 18, № 1. – С. 71–75.
2. Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов / М. Х. Шоршоров и др. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.

### Литература

1. Влияние углерода и стабилизирующих элементов на коррозионную стойкость сплава ХН28МДТ / Ю.С. Сидоркина, Т.А. Жадан, П.В. Хохлова и др. // *Защита металлов*. – 1982. – Т. 18, № 1. – С. 71–75.

2. Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов / М. Х. Шоршоров и др. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.

Давыдов Александр Константинович, канд. хим. наук, заведующий кафедрой технологии и автоматизации сварочного производства, Курганский государственный университет, г. Курган; [tasp@kgsu.ru](mailto:tasp@kgsu.ru).

Поступила в редакцию 13 января 2015 г.

## OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION AND MANUFACTURING TECHNOLOGY OF CATHODE DRUMS USED IN ELECTROLYTIC COPPER PRODUCTION

A.K. Davydov, Kurgan State University, Kurgan, Russian Federation, [tasp@kgsu.ru](mailto:tasp@kgsu.ru)

The aim of this work is selection of the optimal composition of the working surface of cylinder cathodes and the development of rational methods of their manufacture. From literature sources and on the basis of extensive electrochemical studies (determination of corrosion resistance by the potentiostatic method, galvanostatic definition of copper crystallization surge, as well as modeling of the process of obtaining the foil), it was

found that the alloy composition 15 Cr – 65 Ni – 20 Mo has the best performance among the investigated alloys. In specific conditions of cylinder cathodes operation, lack of materials for the alloy, the need to obtain the blank of a larger diameter with a homogeneous fine-grained and dense surface, electroslag smelting (ESS) was used as the basic technology. Application of welding technology has made it necessary to take into account two additional factors: the potential damage of the surface by intergranular corrosion (IGC) and the tendency of austenitic alloys to hot cracking. To prevent IGC niobium was added to the alloy in traditionally sufficient quantities (1%). Additional introduction of niobium into the alloy can reduce the technological strength. Without taking into account the mutual influence of Nb Cr and Mo, the 15 Cr – 65 Ni – 20 Mo composition was chosen. Comparative pilot scale tests of cylinder cathodes, carried out at the experimental site of Kyshtym Copper Electrolyte Plant, showed efficiency of the proposed material at high temperatures compared to conventional ones, thus significantly improving the productive capacity of the electrode position process. It was found that non-consumable electrode argon arc welding can be carried out in a wide range of conditions without using any technological methods in absence of cracking which would enable to produce the actual shell from less scarce materials.

*Keywords: cathode drum, hot cracking, intercrystalline corrosion, electroslag smelting, high-nickel alloy.*

#### References

1. Sidorkina Yu.S., Zhadan T.A., Khokhlova P.V. et.al. [Influence of Carbon and Stabilizing Elements on Corrosion Resistance of the Alloy KhN28MDT]. *Zashchita metallov*, 1982, vol. 18, no. 1, pp. 71–75. (in Russ.)
2. *Goryachie treshchiny pri svarke zharoprochnykh splavov* [Hot Cracks Formation During Welding of Heat-Resistant Alloys]. Ed. by M. Kh. Shorshorov. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 224 p.

*Received 13 January 2015*

---

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Давыдов, А.К. Оптимизация состава и технологии изготовления барабан-катодов медьэлектролитного производства / А.К. Давыдов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 85–87.

#### REFERENCE TO ARTICLE

Davydov A.K. Optimization of the Composition and Manufacturing Technology of Cathode Drums Used in Electrolytic Copper Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 85–87. (in Russ.)