

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ (Обзор)

В. М. ИЛЮШЕНКО, В. А. АНОШИН, Т. Б. МАЙДАНЧУК, Е. П. ЛУКЬЯНЧЕНКО

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены результаты исследований по разработке высокоэффективных электродных и присадочных материалов для сварки и наплавки меди и сплавов на ее основе. Показано, что возросшие требования к качеству сварных соединений и наплавленному металлу могут быть обеспечены, прежде всего, за счет создания надежных сварочных материалов: электродных и присадочных проволок, флюсов (плавящих и активирующих флюсов-паст), а также специальных покрытых электродов. Усовершенствованные на их основе дуговые процессы сварки и наплавки обеспечивают требуемый уровень теплофизических свойств сварных соединений, высокую прочность и плотность швов, надежную эксплуатационную стойкость в узлах трения и коррозионных средах и т. п. Эффективность новых сварочных материалов подтверждена их практическим применением при изготовлении сварных изложниц кристаллизаторов электрометаллургических печей, сварке шинопроводов, электрододержателей, укрупнении горячекатаных рулонов с целью их дальнейшей прокатки, изготовлении наплавкой различных биметаллических изделий и др. Библиогр. 10, табл. 5.

Ключевые слова: дуговая сварка и наплавка, медь и ее сплавы, электродные и присадочные проволоки, флюсы, покрытые электроды, сварные соединения, теплофизические свойства, качество

Медь и сплавы на ее основе, благодаря уникальному сочетанию физико-химических свойств: электро- и теплопроводности, коррозионной стойкости, высоким механическим и антифрикционным свойствам, жаропрочности и кавитационной стойкости, технологичности в производстве – широко применяются в различных отраслях промышленности. Пожалуй, нет ни одной отрасли, где не использовались бы медь и ее низко- и сложнoleгированные сплавы (бронзы, латуни). Поэтому весьма актуальной является задача создания и постоянного совершенствования технологических процессов сварки и наплавки этих металлов и, прежде всего, разработки высокоэффективных сварочных и наплавочных материалов.

Систематические исследования в этой области начаты в ИЭС им. Е. О. Патона еще в 50–60-х годах прошлого столетия (В. В. Подгаецкий, Д. М. Рабкин, Ю. М. Коренюк и др.). Наиболее результативными оказались исследования, выполненные в 70–80-х годах, когда в структуре нового отдела физико-металлургических процессов сварки тугоплавких и химически активных цветных металлов (руководитель — д-р техн. наук С. М. Гуревич) была организована группа, а затем и лаборатория сварки и наплавки меди и ее сплавов [1].

В настоящем обзоре обобщены результаты исследований по созданию надежных сварочных материалов и промышленных технологий, разработанных с учетом возросших требований к качеству сварных соединений и наплавленного ме-

талла: обеспечение требуемого уровня электро- и теплопроводности, высокой прочности и плотности (в том числе вакуумной) швов, обеспечение эксплуатационной стойкости в узлах трения и коррозионных средах и т. п.

Наиболее значимыми из них являются разработки в области дуговых процессов сварки и наплавки.

Сварочные и наплавочные проволоки. Для механизированных процессов сварки и наплавки меди и ее сплавов в качестве электродных материалов используются проволоки сплошного сечения и порошковые.

Согласно ГОСТ 16130–90 для сварки меди и ее низколегированных конструкционных сплавов типа хромовой бронзы промышленность выпускает ряд проволок: М1; М1р; МСр1; МН-ЖКТ5-1-0,2-0,2; БрХ0,7; БрКМц3-1; БрОЦ4-3. Для сварки и наплавки бронз в связи с трудностью волочения легированных сплавов номенклатура проволок невелика: БрКМц3-1; БрАМц9-2; БрАЖМц10-3-1,5; БрОЦ4-3; БрОФ6,5-0,15. Из некоторых высокопрочных алюминиевых бронз (типа БрАЖНМц, БрМцАЖН) проволоки выпускаются по специальным ТУ.

Характерно, что указанные проволоки для сварки меди, обладая удовлетворительными сварочно-технологическими свойствами при сварке под флюсом, при МИГ/МАГ-процессе, а также обеспечивая получение прочно-плотных швов, как правило не удовлетворяют требованиям по

теплофизическим свойствам сварных соединений. Тепло- и электропроводность не превышают 20...30 % от таковых для свариваемой меди (за исключением швов, выполненных медной проволокой под флюсом). Однако при сварке под флюсом с увеличением толщины свариваемой меди (>15...20 мм) медная сварочная проволока не обеспечивает требуемой плотности швов и необходимой пластичности сварных соединений. Лучшие результаты в этом случае достигаются при применении специальной, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона сварочной проволоки марки БрХТ0,6-0,5. Совместное легирование швов хромом и титаном улучшает механические свойства металла, особенно при высоких температурах, и повышает стойкость металла швов против образования пор. Этот же принцип долегирования металла шва хромом и титаном положен в основу создания специальной присадочной порошковой проволоки ПП-БрХТ12-2, предназначенной для плазменно-дуговой сварки меди и хромовой бронзы. Данная присадочная порошковая проволока успешно используется при изготовлении сварных изложниц кристаллизаторов электрометаллургических печей на ОАО «Сибэлектротерм», г. Новосибирск [2, 3].

Для сварки меди в среде защитных газов используют проволоки из сплавов МНЖКТ и Бр КМц. Как уже отмечалось, теплофизические свойства сварных швов при этом весьма низкие. Рекомендованная фирмой ESAB для этих целей проволока ОК Autrod19.12, по нашим данным, также не обеспечивает необходимой электропроводимости соединений. Благодаря совместным исследованиям ИЭС им. Е. О. Патона и «Гипроцветметобработка» (ныне ОАО «Институт «Цветметобработка», г. Москва) разработаны составы эффективных сварочных материалов для сварки меди и ее назколегированных сплавов (табл. 1) [4–6].

Проволоки из сплавов МЛЮ,2 и МБМг рекомендованы в качестве присадочных материалов для сварки неплавящимся электродом, обеспечивают получение плотных, хорошо сформированных швов с высокой электропроводностью (более 90 % от меди) и обладают механическими свойствами на уровне основного металла. Присадочная проволока из сплава МЛЮ,2 успешно применяется для аргонодуговой сварки шин из кислородосодержащей меди, а проволока из сплава МБМг — для укрупнения азотно-дуговой сваркой медных горячекатаных рулонов с целью их

дальнейшей прокатки и использования проката без вырубки сварных швов у потребителя. Проволоки из сплавов МЛБМг, МЛАКБ и МЛХМг разработаны как универсальные и могут применяться для сварки меди и ее низколегированных сплавов как плавящимся, так и неплавящимся электродами, обеспечивая повышенную энергетическую мощность дуги, высокое качество и электропроводность сварных соединений. Наряду с использованием инертных газов (аргона, гелия и их смесей) проволока из сплава МЛБМг гарантирует высокое качество сварных швов и при сварке в среде азота. Производство новых сварочных проволок освоено на Московском экспериментальном заводе качественных сплавов.

В связи с определенной сложностью изготовления этих проволок (плавка в вакуумных печах, пресование прутков, прокатка, отжиг заготовок и волочение) более доступным присадочным материалом для ТИГ-процесса является разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона порошковая проволока марки ПП-АНМ1 [3]. Введение в состав сердечника порошковой проволоки небольших добавок эффективных раскислителей обеспечивает требуемое качество и теплофизические свойства сварных соединений при гелиево-дуговой сварке толстостенных элементов различных электротехнических изделий (двигатели, шинопроводы и др.).

Важной задачей сварочного производства является также расширение применения наплавочных технологий с целью как восстановления изношенных деталей, так и изготовления биметаллических изделий. Развивая исследования в области наплавки антифрикционных медных сплавов (алюминиевых и оловянных бронз), в ИЭС им. Е. О. Патона разработан ряд марок бронзовых порошковых проволок (табл. 2), которые, как правило, сравнительно просто решают проблему обеспечения требуемого состава наплавленного металла [7, 8].

Разработанные проволоки и технологии механизированной наплавки успешно внедрены в производство при изготовлении биметаллических втулок, подпятников и других изделий узлов трения высоконагруженных механизмов (горно-обогатительное оборудование, ответственная арматура, подшипниковые втулки электромоторов и др.) [1].

Покрытые электроды. Сравнительно небольшие объемы изготовления сварных изделий из меди и ее сплавов могут быть выполнены ручной

Таблица 1. Химический состав новых сварочных проволок, мас. %

Марка сплава	Li	B	Mg	Cr	Si	Al	Сумма примесей, не более
МЛЮ,2	0,1...0,3	–	–	–	–	–	0,03
МБМг	–	0,1...0,3	0,1...0,3	–	–	–	0,03
МЛБМг	0,05...0,2	0,05...0,3	0,05...0,2	–	–	–	0,03
МЛАКБ	0,05...0,2	0,05...0,3	–	–	0,1...0,25	0,1...0,25	0,03
МЛХМг	0,1...0,25	–	0,1...0,4	0,15...0,4	–	–	0,03

Таблица 2. Химический состав металла, наплавленного порошковыми проволоками, мас. %

Марка проволоки	Cu	Al	Fe*	Mn	Ni	Sn	Zn	Pb	P
ПП-БрАНМц	Основа	7,5...10,0	2,0...4,0	1,0...2,0	1,0...2,0	–	–	–	–
ПП-БрМцАН	->-	7,5...9,0		9,0...11,0	1,0...2,0	–	–	–	–
ПП-БрОФ	->-	–	≤ 1,0	–	–	9,0...10,0	–	–	0,4...0,8
ПП-БрОЦ	->-	–		–	–	9,0...10,0	1,5...3,0	–	–
ПП-БрОЦС	->-	–		–	–	5,0...6,5	5,0...6,5	2,0...4,0	–
ПП-БрОС	->-	–		–	–	7,5...9,0	–	18,0...21,0	–

* Содержание Fe при наплавке на сталь.

Таблица 3. Свойства металла швов и сварных соединений, выполненных покрытыми электродами

Марка электрода	Механические свойства			Σ Cr, Si, Al, Mn, Fe в металле шва, мас. %	Электропроводность сварного шва, % от меди	Производительность наплавки*, г/мин
	Металл шва	Сварное соединение				
		σ _в , МПа	δ, %			
АНЦ-1	210...240	20...25	130...180	≤1,1	40...70	110...150
АНЦ/ОЗМ-2	180...220	25...35	160...180	≤0,8	50...80	85...125
АНЦ-3М	230...260	30...33	180	≤1,4	40...60	110...150
«Комсомолец-100»	250	10	–	≤6	20...25	40...50

*Данные по производительности наплавки приведены для электродов диаметром 5 мм.

сваркой покрытыми электродами. Применяемые в основном для этих целей известные электроды марки «Комсомолец-100» были разработаны еще в 50-х годах прошлого столетия и имеют существенные недостатки: чрезмерно легированный металл шва, в том числе марганцем и железом (до 5...6 %), резко снижает его тепло- и электропроводность; низкое качество сварных швов; высокий предварительный и сопутствующий подогрев свариваемых изделий. Для устранения этих недостатков в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны высокопроизводительные электроды марки АНЦ (АНЦ-1, АНЦ/ОЗМ-2, АНЦ-3М) (табл. 3) [4]. Достоинством новых электродов является возможность выполнения процесса сварки меди без предварительного и сопутствующего подогрева (для δ = 10...15 мм) или с невысоким предварительным подогревом (до 200...400 °С) для металла больших толщин. Это достигается за счет применения форсированных режимов сварки и концентрированного тепловложения, обеспечиваемого при плавлении толстопокрытого электрода. Производительность сварки новыми электродами в 2...3 раза выше по сравнению с «Комсомольцем-100». При этом электро- и теплопроводность сварных соединений составляет 70...80 % от таковых для меди. Сварка и ремонт изделий с применением высокопроизводительных электродов марки АНЦ-3 успешно освоена рядом металлургических заводов стран СНГ при изготовлении

кристаллизаторов, ремонте изложниц, поддонов и электрододержателей различных металлургических печей и других изделий.

Учитывая, что в Украине отсутствует производство электродов для сварки и наплавки бронз (алюминиевых и оловянных), в ИЭС им. Е. О. Патона выполнен комплекс научно-исследовательских работ по созданию таких электродов. В результате разработаны специальные покрытые электроды марок АНБА-1 — для сварки Al-бронз и АНБО-1, АНБО-2 — для сварки Sn-бронз (табл. 4) [8, 9]. В качестве стержней для электродов марки АНБА-1 использовалась стандартная проволока БрАМц9-2, для электродов марки АНБО-1 — медная проволока М1Т, марки АНБО-2 — бронзовая проволока БрОФ6,5-0,4.

Разработанные электроды для сварки и наплавки бронз имеют хорошие сварочно-технологические свойства, по ряду показателей (отделимость шлака, стойкость против образования пор) превосходят зарубежные аналоги. Опытные партии разработанных электродов изготавливаются в НТК «ИЭС им. Е. О. Патона».

Сварочные плавные флюсы и флюсы-пасты. Уже в первых работах по автоматической сварке меди и ее сплавов под флюсом была показана возможность использования для этих целей ряда марок плавных флюсов, предназначенных для сварки сталей. Однако с увеличением толщины свариваемой меди (более 20 мм) стандартные

Таблица 4. Химический состав металла, наплавленного бронзовыми электродами, мас. %

Марка электрода	Cu	Al	Mn	Fe	Si	Sn	P	Ni
АНБА-1	Основа	7,0...8,0	1,5...2,0	≤3,0	≤0,5	–	–	–
АНБО-1	->-	–	0,5...1,0	≤2,0	–	5,0...7,0	0,15...0,25	0,3...0,8
АНБО-2	->-	–	0,5...1,0	≤2,0	–	8,5...10,5	0,5...0,8	–

Таблица 5. Активирующие флюсы для сварки ТИГ меди и ее сплавов

Марка флюса	Флюсовая система	Применение
АН-М15А	MgF ₂ -B	Сварка технических марок меди
АН-М17А	MgF ₂ -Na ₃ AlF ₆ -B(P)	Сварка бронз
АН-М19А	AlF ₃ -Mg F ₂	Микроплазменная сварка меди малых толщин
АН-М-21А	AlF ₃ -CaF ₂ -Mg F ₂	Азотно-дуговая сварка медных полос для последующей прокатки
АН-М23А	AlF ₃ -CaF ₂ -Mg F ₂ -B	Сварка медно-никелевых сплавов
АН-М25А	Cu ₂ O-Sn	Сварка латуней

плавленные флюсы даже при тщательном соблюдении всех технологических рекомендаций (сушка флюса, зачистка и обезжиривание свариваемых кромок, соответствующая подготовка электродной проволоки и др.) не обеспечивают требуемой плотности швов.

Как показали исследования, наиболее эффективной мерой предупреждения пористости швов при сварке меди оказалось использование низкокремнистого марганцевого флюса сухой грануляции повышенной степени окисленности [3]. Новый флюс марки АН-М13 обеспечивает получение вакуумно-плотных швов при изготовлении изложниц кристаллизаторов для печей ВДП и ЭШП.

Благодаря созданию легкоплавкого флюса АН-М10 на основе фторидных соединений щелочно-земельных металлов впервые в мировой практике успешно осуществлена электрошлаковая сварка меди больших толщин применительно к изготовлению бандажей кристаллизаторов установок непрерывного литья и прокатки катанки из цветных металлов, а также токоподводов из толстостенных компактных сечений [2].

Для повышения качества швов и эффективности использования тепла дуги, а следовательно, и производительности процесса сварки ТИГ меди и ее сплавов разработаны специальные флюсы-пасты на основе галогенидов щелочных и щелочно-земельных металлов (табл. 5).

К достоинствам АТИГ-процесса сварки меди следует отнести также возможность металлургического воздействия на сварочную ванну с минимальным легированием шва, благодаря чему сварные соединения по теплофизическим свойствам оказываются близки к основному металлу. С применением флюсов-паст могут быть значительно расширены технологические возможности сварки ТИГ — увеличен диапазон толщин, свариваемых за один проход, повышена скорость сварки [2, 10].

Таким образом, разработанные сварочные материалы и усовершенствованные технологические процессы сварки и наплавки меди и сплавов

на ее основе позволили существенно улучшить качество свариваемых и наплавляемых изделий, достичь требуемого уровня эксплуатационных свойств сварных соединений и наплавленного металла, а также обеспечить дальнейшее освоение механизированных процессов сварки и наплавки этих материалов.

1. *Сварка и наплавка меди и сплавов на ее основе / Сост.: В. М. Илюшенко, Е. П. Лукьянченко. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2013. — 396 с.*
2. *Илюшенко В. М., Аношин В. А. Прогрессивные методы сварки меди и ее низколегированных сплавов (Обзор) // Автомат. сварка. — 1994. — № 5/6. — С. 38–40.*
3. *Илюшенко В. М., Аношин В. А. Опыт применения новых сварочных материалов для сварки и наплавки меди и ее сплавов // Сб. докл. I Междунар. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Состояние и перспективы развития сварочных материалов в странах СНГ». — М., 1998. — С. 138–140.*
4. *Новые электродные материалы для дуговой сварки меди / В. А. Аношин, Ю. И. Костенко, А. К. Николаев, И. Е. Егоров // Прогрессивные методы сварки и наплавки тяжелых цветных металлов и сплавов. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1982. — С. 13–22.*
5. *Разработка низколегированных проволок для сварки меди в среде защитных газов / В. М. Илюшенко, В. А. Аношин, Ю. И. Костенко и др. // Актуальные проблемы сварки цветных металлов. — Киев: Наук. думка, 1985. — С. 340–344.*
6. *Николаев А. К., Костин С. А. Медь и жаропрочные сплавы: Энциклопедический терминологический словарь. — М.: Изд-во ДПК Пресс, 2012. — 715 с.*
7. *Разработка порошковых проволок для сварки и наплавки алюминиевых бронз / В. М. Илюшенко, В. А. Аношин, А. Н. Бондаренко, Т. Б. Майданчук // Сб. докл. V Междунар. конф. «Сварочные материалы. Технологии. Производство. Качество. Конкурентоспособность». — Киев, 2010. — С. 40–42.*
8. *Разработка электродных материалов для сварки и наплавки сложнелегированных бронз / В. М. Илюшенко, В. А. Аношин, А. Н. Бондаренко и др. // Сб. тез. стенод. докл. Междунар. конф. «Сварка и родственные технологии — настоящее и будущее». — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2013. — С. 72–73.*
9. *Корчемный В. В., Скорина Н. В., Аношин В. А. Разработка электродов для сварки и наплавки алюминиевых бронз // Автомат. сварка. — 2007. — № 8. — С. 38–40.*
10. *Илюшенко В. М., Лукьянченко Е. П. Разработка флюсов-паст для сварки меди и некоторых ее сплавов / Сб. докл. I Международ. конф. по сварочным материалам стран СНГ «Состояние и перспективы развития сварочных материалов в странах СНГ». — М., 1998. — С. 146–148.*

Поступила в редакцию 15.04.2014