

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИСАДОЧНОЙ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ TIG-СВАРКЕ МЕДИ\*

**В.М. Илюшенко, А.Н. Бондаренко, Е.П. Лукьянченко, Т.Б. Майданчук**

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Описан опыт создания в ИЭС им. Е.О. Патона металлопорошковой проволоки для гелиеводуговой сварки TIG меди и ее сплавов. Наплавленный металл проволоки содержит не более 0,35 мас. % легирующих добавок и характеризуется высокой электро- и теплопроводностью. Приведены примеры эффективного применения разработанной проволоки при сварке роторов электромашин и ремонте газокислородных медных камер дуговых сталеплавильных печей. Библиогр. 2, рис. 4.

*Ключевые слова: сварка TIG, гелиевая защита, медь и медные сплавы, металлопорошковая проволока, электро- и теплопроводность, эффективность применения*

Сварка в среде защитных газов является одним из основных технологических процессов соединения цветных металлов. Этому в значительной степени способствует наиболее простое решение задачи защиты металла сварочной ванны от окружающей атмосферы, возможность визуального наблюдения за процессом сварки, простота и надежность автоматизации процесса. Сварка меди за рубежом в основном выполняется данным способом.

В отечественной практике широкое применение, особенно для металла малых и средних толщин (до 10 мм), находит сварка неплавящимся электродом – TIG-процесс. В значительно меньшем объеме, в основном из-за отсутствия специальных сварочных проволок, используется сварка плавящимся электродом — MIG/MAG-процесс.

Сварка меди в среде защитных газов наряду с отмеченными преимуществами встречает и серьезные затруднения, а именно — необходимость применения предварительного, а при больших толщинах и сопутствующего подогрева, что существенно усложняет процесс сварки. Медь также склонна к повышенному образованию пор в сварных швах, которые возникают при кристаллизации сварочной ванны в результате выделения газов.

В качестве защитных газов для сварки меди применяют аргон, гелий, азот и их смеси. Учитывая особые теплофизические свойства меди, при выборе оптимальной защитной среды предпочтение следует отдавать гелию и азоту, обеспечивающим более высокий эффективный КПД процесса. Однако необходимо все же учитывать отрицатель-

ное влияние азота на пористость швов при сварке меди и некоторых ее сплавов. Существовавшее ранее мнение об инертности азота по отношению к меди ошибочно. Последними исследованиями установлено, что в условиях сварочного нагрева азот абсорбируется жидкой медью и при кристаллизации сварочной ванны может приводить к образованию газовой пористости. Получение плотных швов при азотодуговой сварке возможно при использовании присадочных материалов, содержащих элементы, связывающие азот в стойкие нитриды.

Принимая во внимание тот факт, что основной причиной пористости при сварке меди является образование и выделение из металла сварочной ванны паров воды в результате взаимодействия водорода с кислородом, основной мерой предупреждения пористости является активное раскисление металла сварочной ванны. Поэтому требуемое качество швов при сварке в среде защитных газов достигается прежде всего правильным выбором присадочного материала [1]. Анализ применения для сварки меди выпускаемых промышленностью по ГОСТ 16130-90 сварочных проволок (МНЖКТ 5-1-0,2-0,2; БрКМц3-1; БрХ0,7; БрХНТ и др.) показывает, что наличие в проволоках таких активных раскислителей и нитридообразующих элементов как титан, кремний, марганец и др., обеспечивает металлургическую обработку ванны и получение плотных бездефектных швов. Однако, несмотря на удовлетворительные сварочно-технологические свойства, эти проволоки не обеспечивают необходимых теплофизических свойств сварных соединений: тепло- и электропроводность их находится на уровне 20...30 % уровня таковых для свариваемого металла. Прак-

\* По материалам доклада, представленного на Международной конференции «Материалы для сварки, наплавки, нанесения покрытий и 3D-технологий», 04–05 июня 2019 г., г. Киев.

© В.М. Илюшенко, А.Н. Бондаренко, Е.П. Лукьянченко, Т.Б. Майданчук, 2019

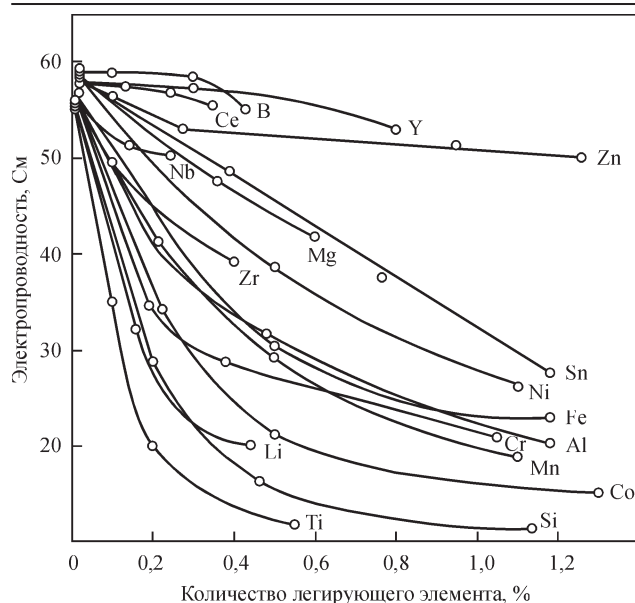


Рис. 1. Влияние добавок на электропроводность меди (по данным Института «Цветметобработка»)

тически эти материалы непригодны для сварки изделий, где требуется высокая электро- и теплопроводность сварных швов.

Как показывает опыт, такие же низкие показатели теплофизических свойств обеспечивает и выпускаемая за рубежом проволока ОК Autrod19.12 (ERCu/AWSA5.7), у которой типичный химический состав наплавленного металла следующий, мас. %: 0,2 Si, 0,2 Mn и 0,8 Sn.

В ИЭС им. Е.О. Патона на протяжении многих лет совместно с Институтом «Цветметобработка» для сварки меди и ее низколегированных сплавов разрабатывались сварочные проволоки оптимальных химических составов, удовлетворяющих комплексу требований сварочно-технологических свойств при сварке как плавящимся, так и неплавящимся электродом, а также обеспечивающих необходимые теплофизические свойства сварных соединений. Созданы проволоки марок Св.МЛЮ,2; Св.МБМг; Св.МЛМгБ; Св.МЛХМг, содержащие не более 0,1...0,4 % эффективных раскислителей и нитридообразующих элементов (литий, магний, бор). Как видно из рис. 1, такие небольшие добавки обеспечивают высокую электропроводность

меди (75...85 % от таковой для чистой меди). Однако технология изготовления этих проволок довольно сложная: плавка в вакуумных печах с использованием лигатур, прессование прутков при высоком нагреве, отжиг и волочение до нужного диаметра, поэтому их выпуск налажен лишь в экспериментальном порядке [2].

Более простым и экономически целесообразным является создание электродного материала типа порошковой проволоки, применив при этом в качестве оболочки медную ленту. Используя ленту толщиной 0,8...1,0 мм и шириной 12...15 мм, а основным наполнителем сердечника медный порошок, мы в итоге имеем металлпорошковую проволоку, в состав которой легко вводятся дозированное количество раскислителей и, при необходимости, шлакообразующих компонентов. В результате экспериментальных исследований разработана металлпорошковая проволока марки ПП-АНМ1, обеспечивающая получение наплавленного металла с содержанием не более 0,35 % легирующих добавок. Такой наплавленный металл имеет электро- и теплопроводность в 2,5...3,0 раза выше, чем при сварке стандартными проволоками.

Наиболее эффективным оказалось применение присадочной металлпорошковой проволоки при гелиеводуговой сварке. Данная технология успешно применена при производстве роторов крупных электрических машин.

Базовой конструкцией роторов являются два медных кольца, изготовленных из брусков меди прямоугольного сечения. Диаметр колец в зависимости от типа двигателя — 600...1000 мм. Сечения заготовок min 60×20 мм; max 90×70 мм. Кольца изготавливаются на вальцовочных агрегатах, а затем в зависимости от диаметра свариваются одним или двумя стыковыми швами. На рис. 2. показана форма разделки кромок стыка заготовки сечением 90×70 мм.

Гелиеводуговая сварка выполняется с применением присадочной металлпорошковой проволоки марки ПП-АНМ1, обеспечивающей минимальное снижение электропроводности в сварном соединении. Стыковое соединение приведенного на рис. 2 сечения выполняется двусторонним швом за 5...6 проходов с каждой стороны. Электропроводность металла шва при этом не ниже 60...70 % электропроводности меди. Разработанная технология сварки освоена на Заводе крупных электрических машин (г. Новая Каховка).

Высокоэффективно применение данной порошковой проволоки и при ремонте медных газокислородных камер дуговых сталеплавильных печей (ДСП). Данные детали в процессе эксплу-

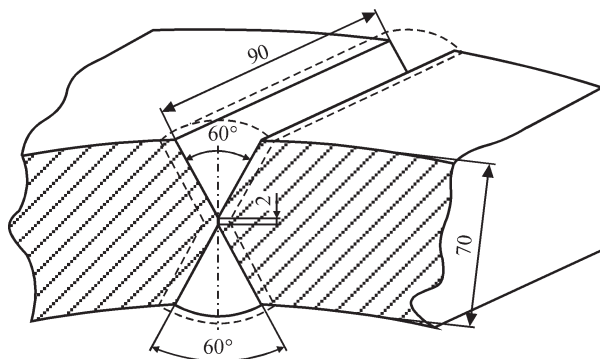


Рис. 2. Подготовка стыка для двусторонней сварки колец



Рис. 3. Типичные дефекты медных камер после эксплуатации



Рис. 4. Внешний вид восстановленной газокислородной камеры

атации изнашиваются в результате сверхсложных условий работы (теплового, химического и механического воздействия). На торцевой части камер образуются глубокие трещины, имеет место локальное выгорание меди вплоть до сквозных прожогов стенок водоохлаждающих каналов (рис. 3), что приводит к появлению течей. При наличии протеканий камеры выбраковываются и подлежат замене на новые. Учитывая высокую стоимость и дефицитность данных изделий (поставляемых по импорту), задача продления ресурса их эксплуатации является весьма актуальной.

Исследования по выбору рациональной технологии ремонта газокислородных камер показали, что предпочтительной для этих целей является гелиеводуговая сварка с использованием присадоч-

ной металлпорошковой проволоки ПП-АНМ1. Обеспечивая получение плотного металла при многослойной наплавке, процесс позволяет восстанавливать торцевую поверхность камеры до требуемого размера по высоте. При этом толщина наплавленного слоя может составлять до 20 мм. Наличие в присадочной проволоке очень малого количества шлакообразующих добавок, как правило, не требует удаления шлака между проходами, что является существенным преимуществом по сравнению со сваркой покрытыми электродами.

На рис. 4 приведен внешний вид восстановленной камеры ДСП. Как показали производственные испытания восстановленных камер на МЗ «Днепросталь», ресурс их эксплуатации возрос на 60...80 %. При этом уже имеется опыт двукратного ремонта газокислородных камер.

Следует также подчеркнуть, что данная технология, обеспечивая высокую электро- и теплопроводность сварных соединений, весьма перспективна для сварки шинопроводов и электросетей различного назначения.

### Список литературы

1. Илюшенко В.М., Лукьянченко Е.П. (2013) *Сварка и наплавка меди и сплавов на ее основе*. Киев, Международная Ассоциация «Сварка».
2. Николаев А.К., Костин С.А. (2012). *Медь и жаропрочные сплавы. Энциклопедический и терминологический словарь. Фундаментальный справочник*. Москва, ДПК Пресс.

### References

1. Ilyushenko, V.M., Lukianchenko, E.P. (2013) *Welding and surfacing of copper and alloys on its base*. Kiev, IAW [in Russian].
2. Nikolaev, A.K., Kostin, S.A. (2012) *Copper and heat-resistant alloys. Encyclopedic and terminological dictionary: Fundamental refer. book*. Moscow [in Russian].

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСАДНИХ МЕТАЛОПОРОШКОВИХ ДРОТІВ ПРИ TIG-ЗВАРЮВАННІ МІДІ

В.М. Ілюшенко, А.М. Бондаренко, Є.П. Лук'яненко, Т.Б. Майданчук

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Описано досвід створення в ІЕЗ ім. Є.О. Патона металлпорошкових дротів для гелієводугового зварювання TIG міді і її сплавів. Наплавлений метал дроту містить не більш 0,35 мас. % легуючих добавок і характеризується високою елек-



тро- та теплопровідністю. Наведено приклади ефективного застосування розробленого дроту при зварюванні роторів електромашин і ремонті газокисневих мідних камер дугових сталеплавильних печей. Бібліогр. 2, рис. 4.

*Ключові слова:* зварювання TIG, гелієвий захист, мідь та мідні сплави, металопорошковий дріт, електро- та тепло-провідність, ефективність застосування

## EFFICIENCY OF APPLICATION OF FILLER METAL-CORED WIRE IN TIG WELDING OF COPPER

V.M. Ilyushenko, A.N. Bondarenko, E.P. Lukyanchenko, T.B. Maydanchuk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.  
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The experience of the E.O. Paton Electric Welding Institute in creating a metal-cored wire for helium arc TIG welding of copper and its alloys was described. The deposited metal of the wire contains not more than 0.35 wt. % of alloying additives and is characterized by a high electrical and heat conductivity. Examples of the effective use of the developed wire in welding rotors of electric machines and in repair of gas-oxygen copper chambers are given. 2 Ref., 4 Fig.

*Keywords:* TIG welding, helium protection, copper and copper alloys, metal-cored wire, electrical and heat conductivity, efficiency of application

Поступила в редакцию 24.04.2019



Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Международная Ассоциация «Сварка»

### Девятая международная конференция **ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

9 – 13 сентября 2019 г.  
Украина, Одесса

**Председатель программного комитета**  
академик И.В. Кривцун

#### Тематика конференции

- Лазерная и электронно-лучевая сварка, резка, наплавка, термообработка, нанесение покрытий
- Электронно-лучевая плавка и рафинирование
- Гибридные процессы
- 3D-технологии
- Моделирование лучевых технологий
- Материаловедческие проблемы лазерных и электронно-лучевых технологий

#### ОБОРУДОВАНИЕ ♦ ТЕХНОЛОГИИ ♦ МОДЕЛИРОВАНИЕ



АДРЕС ОРГКОМИТЕТА  
Украина, 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11  
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины  
Тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-81-45  
E-mail: journal@paton.kiev.ua  
<http://pwi-scientists.com/rus/ltwmp2019>

