

УДК 621.326

Тарас Майданчук, к.т.н.; старший дослідник; Дмитро Степченко^а, Сергій Мариненко^б, Євгенія Лук'янченко^а

^аІнститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, Україна

^бТернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТАЛОПОРОШКОВОГО ДРОТУ ДЛЯ
ЗВАРЮВАННЯ МІДІ З ВИСОКИМИ ПОКАЗНИКАМИ
ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ**

Проведені порівняльні експериментальні дослідження впливу додавання бора, цирконію та карбіду цирконія на зварювально-технологічні та механічні властивості, а також показники електропровідності зварних з'єднань міді. Були вивчені особливості формування мікроструктури отриманого з'єднання. Дослідження показали, що введення 1,5...2,0 % В та Zr кожного в склад шихти металопорошкового дроту значно змінюють структуру металу шва, що позитивно впливає на механічні властивості. Результати досліджень свідчать, що механічні властивості наплавленого металу дослідними металопорошковими дротами знаходяться на рівні міді марки М1. Це пов'язано з дрібнозернистою структурою наплавленого металу, та рівномірному розподіленню легуючих компонентів по металу шва. Електропровідність металу зварного з'єднання отриманого з застосуванням металопорошкового дроту марки становить 95,0 % від чистої міді.

Ключові слова: мідь, металопорошковий дріт, модифікуючі компоненти, механічні властивості, електропровідність.

Taras Maydanchuk^а, Dmytro Stepchenko^а, Sergiy Marynenko^б, Yevheniia Lukianchenko^а

^аE.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

^бTernopil Ivan Pului Technical University, Ukraine

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF METAL POWDER WIRE FOR COPPER
WELDING WITH HIGH ELECTRICAL CONDUCTIVITY INDICATORS OF
WELDED JOINTS**

Comparative experimental studies of the effect of adding boron, zirconium, and zirconium carbide on the welding, technological and mechanical properties, as well as the electrical conductivity of welded copper joints were conducted. The features of the formation of the microstructure of the resulting joint were studied.

Key words: copper, metal powder wire, modifying components, mechanical properties, electrical conductivity

На сьогоднішній день в світі виготовляється близько 23 млн. тон міді та мідних сплавів в рік, і попит на дані кольорові метали підвищується щорічно приблизно на 2...3%. Завдяки специфічним властивостям вони широко використовуються в машинобудівному комплексі. Незважаючи на дефіцитність та високу вартість, мідь є незамінним матеріалом при виготовленні деталей в різних галузях промисловості: енергомашинобудуванні, металургії, де важливим показником являється тепло- та електропровідність.

Одним з найбільш широко застосовуваних способів зварювання міді є TIG-процес з використанням присадних матеріалів.

Матеріали, які використовують зараз (сплави БрКМц3-1, МНЖКТ 5,0-1,0-0,2-0,2 та ін.) забезпечують тепло- та електропровідність наплавленого металу на рівні не вище 30% від чистої міді. Це призводить до погіршення службових характеристик виробів, зниження терміну їх експлуатації, унеможливорює відновлення робочих поверхонь з чистої міді з метою подальшої експлуатації виробів (наприклад плити кристалізаторів МНЛЗ). Аналіз літературних даних свідчить [1-4], що використання невеликої кількості (0,1...0,5%) високоактивних розкислюючих, модифікуючих та легуючих компонентів дозволить набутти високих характеристик тепло- та електропровідності (на рівні 65...80% по відношенню до міді). При цьому виготовлення металопорошкового дроту є достатньо економічним способом отримання зварювального матеріалу для зварювання міді, та являється перспективним.

Основною метою роботи є покращення якості та службових характеристик металу зварних швів міді шляхом введення певних компонентів у склад металопорошкового дроту. Дані елементи мають забезпечити ефективне розкислення зварювальної ванни, покращити зварювально-технологічні властивості металопорошкового дроту (стабільність процесу, хороше формування шва, відсутність пористості), та підвищити показники електропровідності металу шва й зварного з'єднання.

Методика досліджень. Найбільш доступним методом введення легуючих елементів в метал зварного шва є введення порошкоподібних елементів в склад металопорошкового дроту. Дана методика характеризується простотою технології виготовлення зварювального дроту, відсутністю необхідності використання специфічного обладнання, наявністю відпрацьованих методів проведення випробувань зварювально-технологічних властивостей дротів та наплавлення металу для отримання зразків для випробування механічних властивостей. Виготовлення порошкових дротів проводили згідно класичної методики, яка складається з наступних операцій: підготовка мідної стрічки; підготовка наповнювача; формування профілю і засипання його наповнювачем; волочіння дроту до досягнення заданого діаметра.

Під час виготовлення дослідних дротів використовувалася мідна стрічка марки М1М (ГОСТ 1173-93). Всього було виготовлено 9 дослідних дротів із введенням бора цирконію та карбіду цирконія, а також шляхом введення даних компонентів комплексно. Дані елементи вводили в кількості 1,0...3,0% в склад шихти металопорошкового дроту. Також додавали такі компоненти як польовий шпат, флюорит, соду та буру, які покращують захист поверхні розплавленого металу шва та дещо знижують його поверхневий натяг.

Усі досліді (по три для кожного варіанта) здійснювали шляхом зварювання зразків з міді марки М1 товщиною 10 мм в нижньому положенні постійним струмом прямої полярності від випрямляча ВДУ-506УЗ.

Для реєстрації та подальшого аналізу параметрів процесу дугового зварювання використовувалось наявне обладнання на базі аналого-цифрового перетворювача ADA-1406. В якості захисного газу використовували аргон 1 сорту.

При цьому використано дві схеми зварювання: в першому випадку зварювання проводили «один по одному» з метою забезпечення необхідного розміру по висоті для вирізки зразків МІ-12 тип І, які використовуються при випробуванні межі текучості, межі міцності, відносного подовження, відносного звуження та показників електропровідності наплавленого металу; у другому буде проводитись стикове зварювання мідних пластин товщиною 8-10 мм. З отриманих зварних з'єднань виготовлені зразки для оцінки службових властивостей метала та зроблені шліфи для дослідження структури металу шва.

Шліфування та полірування шліфів виконувалось на лабораторній шліфувальній машині. Дослідження структурних особливостей зварних швів та наявність дефектів –

пори, несплавлення їх структурні особливості досліджуватимуться за допомогою мікроскопа МИМ-7.

Методика вимірювання питомої електропровідності, заснована на сигналі з еталоном відповідно до ГОСТ 27333-87 «Вимірювання електричної провідності кольорових металів вихровим методом». Зразки для товщини малий діаметр не менше 15 мм, товщина - не менше 1,25 мм, шорсткість поверхні $R_a \leq 0,63$ мкм.

Електропровідність сплавів визначатиметься за допомогою приладу "SMP-1" ("Сигмаскоп" виробництва фірми "X.Fischer", Німеччина). Точність вимірювання становила $\pm 2\%$, температура під час вимірювань підтримувалася на рівні $+20^\circ\text{C}$.

Отримані результати. Дослідження зварювально-технологічних властивостей проводились з урахуванням наступних показників: стабільність плавлення дроту, якість формування шва, наявність пор в металі шва, газовиділення та випаровування компонентів, продуктивність процесу.

Всі наплавки відбувались на постійному струмі при прямій полярності.

Режими наплавлення визначались з умовою формування наплавленого зварювальної ванни та розплавлення присадного металопорошкового дроту.

Результати досліджень зварювально-технологічних властивостей свідчать про хорошу стабільність процесу наплавлення без обривів дуги та значних стрибків параметрів режиму при застосуванні всіх досліджуваних металопорошкових дротів;

В усіх наплавлених валиках поверхня дрібночешуйчата, без підворотів та інших поверхневих дефектів. При цьому у наплавленому металі дротом без розкислюючих елементів в складі шихти вже в першому шарі виявлені пори; при додаванні карбіду бора в склад металопорошкового дроту зафіксоване погане формування наплавлених валиків; якісне формування швів та відсутність пор зафіксовано при застосуванні дротів, в складі яких присутні такі компоненти як флюорит та польовий шпат. Додавання бури та соди не призвело до суттєвого покращення формування валиків. Помічено, що присутність карбіду бора суттєво підвищує поверхневий натяг розплавленого металу та погіршує зварювально-технологічні властивості дротів.

Продуктивність наплавлення та показники втрат металу на випаровування та газовиділення і також питома кількість теплоти, що витрачається на розплавлення одиниці маси у всіх випадках знаходяться приблизно на одному рівні.

Тому по зварювально-технологічним властивостям кращими являються металопорошкові дроти, в складі яких присутні шлакоутворюючі компоненти (флюорит, польовий шпат, сода) в кількостях що не перевищує 2,0% в шихті, які дещо покращують формування наплавлених валиків та захист наплавленого металу.

Встановлено, що при використанні металопорошкового дроту, в складі якого присутні бор та цирконій, режими зварювання необхідно підвищити в середньому на 8...15%, оскільки через підвищені показники поверхневого натягу металу шва не досягається отримання якісного формування зварного шва, особливо кореневого.

Характерним для металу шва в порівнянні з основним металом та металом шва, в складі якого присутні легуючі елементи кремній та марганець, є більш дрібнозерниста структура, яка залежить від температурно-часових умов кристалізації та наявності бора з цирконієм, які виконують роль комплексних модифікаторів.

Встановлено, що наявні домішки-модифікатори в складі металопорошкового дроту забезпечують отримання механічних властивостей на рівні основного металу. Всі зразки витримали випробування на загин на 180 град.

Крім того, показники електропровідності зварних з'єднань із міді товщиною 10 мм отримані при застосуванні металопорошкових дротів в складі шихти яких присутні бор (1,5%) та цирконій (2,0%) становить 90-95% від чистої міді.

Висновки

1. Визначено оптимальний склад металопорошкових дротів для зварювання міді, які мають високі зварювально-технологічні властивості.
2. Дослідження показують, що введення 1,5...2,0 % В та Zr кожного в склад шихти дроту значно змінюють структуру металу шва, що позитивно впливає на механічні властивості.
3. Визначено оптимальні параметри процесу зварювання та наплавлення міді методом TIG з застосуванням дослідних дротів. Встановлено, що при використанні дослідних дротів з вмістом бору та цирконію необхідно на 8...12 % підвищувати параметри режимів зварювання у зв'язку з підвищенням поверхневого натягу металу та відповідно, погіршенням формування зварного шва.
4. Результати механічних досліджень свідчать, що механічні властивості наплавленого металу дослідними металопорошковими дротами знаходяться на рівні міді марки М1, що пов'язано з дрібнозернистою структурою наплавленого металу та рівномірному розподіленню легуючих компонентів по зварному шву.
5. Електропровідність металу зварного шва отриманого з застосуванням металопорошкового дроту з вмістом 1,5% бору та 2,0% цирконію становить 95,0 % від чистої міді.

Перелік посилань

1. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы. М.: Металлургия, 1974. 488 с.
2. . Сучков Д.И. Медь и ее сплавы. М.: Металлургия, 1967. 248 с.
3. Лебедев К.П., Райнес Л.С., Шемтов Г.С. и др. Литейные бронзы. Л.: Машиностроение, 1973. 312 с.
4. Арзамасов Б.Н., Брострем В.А., Буше Н.А. и др. Конструкционные материалы: Справочник. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 668 с.