

УДК 621.326

Тарас Майданчук^a, к.т.н., старший дослідник; Андрій Ганчук^a, Євгенія Лук'яненко^a, Сергій Мариненко^b, Анатолій Бабинець^c, к.т.н., ст. наук. співр.

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

^bТернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

^cДержавний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки (ДНТЦ ЯРБ), Україна

ОСОБЛИВОСТІ З'ЄДНАНЬ МІДНИЙ СПЛАВ – СТАЛЬ МАРКИ 20X13, ОТРИМАНИХ ПЛАЗМОВО-ДУГОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

Дослідним шляхом визначено оптимальні режими плазово-дугового наплавлення мідних сплавів досліджуваними дротами на сталь 20X13, які забезпечують ширину валику 28...38 мм та висоту наплавленого валику до 5,0 мм при мінімальному переході заліза в наплавлений метал та при цьому продуктивність процесу наплавлення становить 4,5...5,4 кг/год. Встановлено, що в наплавленому металі, присутня друга фаза на основі заліза, переважно сферичної форми, розміром 20-100 мкм та твердістю 916...4300 МПа. Проведені механічні та металографічні дослідження показали, що структура наплавленого металу металопорошковим дротом PDM-1 однофазна з твердістю HV 0,1 940-1050 МПа; у зразку наплавленого металопорошковим дротом PD-Sn10P1 структура двофазна, з наявністю дендритів першого та другого порядку та твердістю 1710...1760 МПа. Визначено, що зона термічного впливу (ЗТВ) має показники мікротвердості в 1,7...2,0 рази вищі чим металу без термічного впливу, що пояснюється наявністю бейніту з відпущеним мартенситом..

Ключові слова: мідні сплави, steel X20Cr13, PAW surfacing process, режими наплавлення, зона термічного впливу, структура, мікротвердість, фізико-механічні дослідження

Taras Maydanchuk^a, Andrii Hanchuk^a, Yevheniia Lukianchenko^a, Sergiy Marynenko^b, Anatolii Babinets^c

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

^bTernopil Ivan Pului Technical University, Ukraine

^cThe State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation Safety (SSTC NRS), Ukraine

FEATURES OF COMPOUNDS COPPER ALLOY – STEEL GRADE X20Cr13 OBTAINED BY PLASMA ARC SURFACING

The optimal conditions for plasma arc deposition of copper alloys onto X20Cr13 steel using the investigated wires were determined experimentally. These conditions provide a bead width of 28–38 mm and a bead height of up to 5.0 mm with minimal iron transfer into the deposited metal, while the deposition process productivity reaches 4.5–5.4 kg/h.

Key words: copper alloys, steel X20Cr13, PAW surfacing process, structure, physical and mechanical investigations

На сьогоднішній день сплави на основі міді, мають широке застосування в вузлах і парах тертя машин і механізмів, що працюють в умовах підвищеного зношення при різних режимах експлуатації [1-3]. Цьому в значній мірі сприяє поєднання їх фізичних і технологічних властивостей. Оскільки мідні сплави відносяться до дефіцитних і дорогих матеріалів, а також сплавів, на які постійно зростає попит, актуальною є задача бережного їх використання. Заміна монолітних деталей, отриманих з мідних сплавів,

біметалевими – частково може бути успішно вирішена шляхом наплавлення на сталь, із застосуванням різноманітних зварювальних процесів [4-8] (TIG, MIG, SAW, PAW). Одним із найбільш ефективних способів наплавлення на сталь є плазмово-дуговий спосіб (PAW), який дозволяє в широкому діапазоні регулювати енергетичні характеристики джерела нагріву та регулювання проплавлення сталі [7].

Метою даної роботи є оцінка можливості отримання якісних біметалевих з'єднань мідний сплав – сталь 20X13 на основі проведених комплексних досліджень із застосуванням PAW-процесу наплавлення низьколегованого мідного сплаву металопорошковим дротом PDM-1 та високолов'яної бронзи металопорошковим дротом PD-Sn10P1 на сталь X20Cr13.

Матеріал та методика досліджень. З метою оцінки можливості отримання якісних біметалевих з'єднань мідний сплав – сталь 20X13 проведені комплексні дослідження із застосуванням PAW-процесу зварювання. Для експериментальних робіт використовували циліндричні зразки зі сталі мартенситного класу легованих сталей марки X20Cr13 діаметром 130 мм та довжиною 400 мм з товщиною стінки 12 мм. В якості присадних матеріалів використовувались металопорошкові дроти, розроблені в ІЕЗ ім. Є.О. Патона марок ПДМ-1 та ПД-БрОФ10-1, які забезпечують хімічний склад наплавленого металу типу низьколегованого мідного сплаву та високолов'яної бронзи відповідно.

Плазмово-дугове наплавлення виконувалось на модернізованій установці УД-417.

Візуально визначалась наявність пор та макроструктура при 5-7 кратному збільшенні на мікроскопі МИМ-7. Також проводилась капілярна дефектоскопія із застосуванням a set of penetrating components from SREM Technologie, France.

Дослідження мікроструктури проводили методами світлової мікроскопії (мікроскопи Neophot-32 і Versamet-2, Японія) зі збільшенням $\times 90$, $\times 140$, $\times 200$ та $\times 400$. Твердість по Роквеллу вимірювали на твердомірі Суперроквел HRSD-3 (фірма МІКРОТЕХ, Україна) при навантаженні на алмазну піраміду 147 Н.

Для визначення геометричних розмірів поперечного перерізу наплавлених валиків та ЗТВ застосовували програму Compas-3D V16.

Отримані результати. На модернізованій установці УД-417 проведено плазмово-дугове наплавлення металопорошковими дротами марок PDM-1 та PD-Sn10P1 мідних сплавів на циліндричні зразки зі сталі X20Cr13 (PAW-процес) та визначено оптимальні режими наплавлення валиків шириною від 28 до 38 мм та висотою до 5,0 мм, що забезпечують перехід заліза в наплавлений метал менше 4,0%.

Виконано комплекс фізико-механічних та металографічних досліджень наплавленого металу, перехідної зони та зони термічного впливу, візуально визначалась наявність пор і якість формування зварних з'єднань.

За результатами візуального огляду, дослідженні макро- та мікроструктур та проведення кольорової дефектоскопії в деяких випадках виявлено наявність міжзеренних проникнень бронзи в сталь протяжністю до 1900 мкм, що пов'язано як з хімічним складом основного металу(сталі) та наплавленого металу, так із погонною енергією процесу наплавлення.

Також металографічні дослідження показали:

- у всіх зразках в наплавленому металі присутня друга фаза на основі заліза, в основному глобулярної форми, розміром 20-70 мкм та твердістю 257-430 кгс/мм²;
- в перехідній зоні мідний сплав – сталь зі сторони сталі фіксується світло травна зона шириною 300-800 мкм, яка має твердість 383-421 кгс/мм²;
- рівень мікротвердості ділянки ЗТВ, що прилягає до лінії світло травної зони завширшки 1600-3000 мкм для всіх досліджуваних зразків практично не відрізняється і складає в межах HV 0,1 – 383-401 кгс/мм², що пояснюється наявністю бейніту із

відпущеним мартенситом. При цьому твердість основного металу становить 236-245 кгс/мм².

Дослідним шляхом визначено оптимальні режими плазово-дугового наплавлення досліджуваними дротами на сталь 20Х13, які забезпечують продуктивність процесу наплавлення на рівні 4,0...4,5 кг/год та мінімальний перехід заліза в наплавлений метал.

Висновки

В результаті проведених комплексних досліджень розроблено принципову технологію плазово-дугового наплавлення із застосуванням присадних дротів марок ПДМ-1 та ПД-БрОФ10-1. При цьому забезпечується якісне бездефектне зварне з'єднання, отримання щільних швів з достатньо високими механічними властивостями та мінімальною зоною знеміцнення.

Перелік посилань

1. 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.
2. Freudenberger, J. and Warlimont, H. Copper and Copper Alloys. In Springer Handbook of Materials Data; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018; pp. 297–305.
3. Davis J.R. Copper and Copper Alloys; ASM International: Materials Park, OH, USA, 2001.
4. Maydanchuk T., Lukianchenko Y., Kozulin S., Porohonko V. and Marynenko S. Development of a fundamental technology for repairing products made of CuZn37 brass through TIG welding . Procedia Structural Integrity. Vol. 59, 2024, P. 399-406. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.057>
5. Skorupa A. and Goral T. Influence of technological parameters of MIG surfacing on bronze padding weld geometry on the steel substrate. Przegląd Splawalnictwa. 2012. – 3. P.41-47.
6. Haduch J. Single-ply filling bronze with the TIG method. Przegląd Splawalnictwa. 2009. – 3. P.9-13.
7. Рябцев И.А., Сенченков И.К. Теория и практика наплавочных работ. К.: Екотехнологія, 2013. 400 с.
8. Илюшенко В.М., Лукьянченко Е.П. Сварка и наплавка меди и медных сплавов. К.: Международная ассоциация «Сварка», 2013. 396 с