

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНОГО ГАЗОШЛАКОВОГО ЗАХИСТУ ПРИ MIG НАПЛАВЛЕННІ МІДНИХ СПЛАВІВ НА СТАЛЬ

Т.Б. Майданчук, В.М. Ілюшенко, А.М. Бондаренко, Д.М. Степченко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: maydanchuk_taras@ukr.net

Виконано комплекс досліджень з вивчення технологічних можливостей використання комбінованого газозлакового захисту при MIG-процесі наплавлення мідних сплавів на сталь. Показано, що при напавленні по шару флюсу (напіввідкритою дугою) є можливість керувати технологічними характеристиками зварювальної дуги, а саме: підвищувати її просторову стабільність, поліпшувати характер перенесення електродного металу (суттєво зменшуючи частку його розбризкування), а також забезпечувати якісний захист наплавки від окиснення. Використання такого комбінованого захисту особливо доцільне при високопродуктивному двоелектродному MIG-процесі наплавлення. Бібліогр. 7, табл. 1, рис. 7.

Ключові слова: мідні сплави, комбінований газозлаковий захист, просторова стабільність дуги, двоелектродне наплавлення, якість напавленого металу

Вступ. Мідні сплави знаходять широке застосування в різних галузях машинобудування. З метою підвищення конструктивної міцності виробів та економії дорогіших кольорових металів досить часто використовують біметалеві вироби сталь + бронза. Найбільш поширеним способом отримання таких деталей є механізоване та автоматизоване дугове наплавлення в захисних газах плавким електродом (MIG-процес) [1, 2]. При цьому для забезпечення мінімального проплавлення сталі та незначного переходу заліза в напавлений метал наплавлення проводиться на низьких щільностях струму, що призводить до зниження стабільності процесу та значного розбризкування електродного металу. Враховуючи також високу схильність бронз (особливо алюмінієвих та кремнієвих) до окиснення, виникає необхідність застосування більш надійного захисту зварювальної ванни від повітря. Характерно, що при напавленні кремнієвих бронз навіть таким передовим процесом, як «СМТ Brazing» фірми «Fronius» із використанням дроту CuSi на поверхні металу спостерігається плівка тонкого шару силікатів та оксидів, що погано видаляються з поверхні [3, 4].

Зазначені недоліки особливо виявляються при високопродуктивному двоелектродному MIG-процесі наплавлення, при якому об'єм розплавленого металу збільшується і потребує створення додаткових умов захисту його від впливу навколишнього середовища. В зв'язку з цим актуальною є задача дослідження технологічних можливостей використання при автоматизованих дугових процесах комбінованого газозлакового захисту, коли процес плавлення і перенесення

електродного металу відбувається в газозахисному середовищі, а метал зварювальної ванни додатково захищається розплавленим флюсом.

Слід відзначити, що в практиці зварювального виробництва використання комбінованого газозлакового захисту успішно реалізується при ручному зварюванні покритими електродами та механізованому і автоматизованому зварюванні порошковими дротами [5–7].

Матеріали та обладнання для досліджень. Дослідження проводили з використанням зразків із сталі марки Ст.20 розміром 200×300×14 мм. Зварювальний дріт – бронза марки БрКМц3-1 діаметром 1,2 мм. Як захисний газ використовували аргон першого сорту. Оцінювали плавлені склоподібні флюси загального призначення марок АН-60СМ, АН-20С, АН-26С, а також агломерований флюс фірми «Böhler Thyssen» – UV420 TT.

Установку для наплавлення оснащено механізмом подачі двох дротів, що забезпечувало виконання процесу наплавлення як одним, так і двома електродами, підключеними до одного джерела живлення (так званим розщепленим електродом). Джерело живлення – випрямляч ВДУ-506. Лабораторне обладнання укомплектовано реєстраційно-вимірювальним комплексом на базі аналого-цифрового перетворювача ADA-1406, що дає можливість вести моніторинг поточних параметрів процесу наплавлення та вивчати технологічні властивості зварювальної дуги.

Схему процесу наплавлення з комбінованим газозлаковим захистом наведено на рис. 1.

Експериментальні дослідження та результати. Принципову можливість MIG-процесу наплав-



Рис. 1. Схема процесу наплавлення з комбінованим газозлаковим захистом

лення бронзи з комбінованим захистом (по шару флюсу) оцінювали при одноелектродному процесі. Як показали досліди, при традиційних витратах захисного газу на виході з сопла його тиск може здувати флюс, що призводить до погіршення якості наплавок. Визначено, що граничні витрати аргону не повинні перевищувати 15 л/хв.

З метою вибору оптимальної марки флюсу досліджено вплив різних флюсів на стабільність MIG-процесу наплавлення, формування наплавленого металу, відокремлення шлакової кірки та металургійну якість наплавок (наявність пор).

В таблиці наведено зовнішній вигляд і геометричні розміри наплавлених валиків, виконаних із застосуванням флюсів марок АН-60СМ, АН-20С, АН-26С і агломерованого флюсу UV420 ТТ.

Як показали експерименти, при наплавленні бронзи БрКМц3-1 на сталь з додатковим шлаковим захистом кращі результати з формування наплавлених валиків, відокремленості шлакової кірки, якості наплавленого металу отримано при використанні марганцево-силікатного флюсу АН-60СМ. Встановлено, що найбільш висока стабільність процесу спостерігається при застосуванні дрібнозернистого флюсу з розміром зерна 1,0...2,5 мм (рис. 2).

Для визначення оптимальної кількості флюсу змінювали висоту його шару в діапазоні 4...8 мм, решта параметрів процесу не змінювалась ($I_{зв} = 180...200$ А, $U_{д} = 24...25$ В, $v_{зв} = 10$ м/год, виліт електрода – 12 мм, $Q_{Ar} = 15$ л/хв). Найкращі результати зі стабільності процесу зафіксовано при застосуванні шару флюсу заввишки 6,0 мм, про що свідчать осцилограми струму та напруги (рис. 3).

Окрім підвищення стабільності процесу наплавлення, при висоті шару флюсу 6,0 мм також відсутнє розбризкування електродного металу та має місце висока якість формування валиків. При цьому дуга напіввідкрита, тонка плівка шлаку вкриває всю поверхню валика, в результаті чого

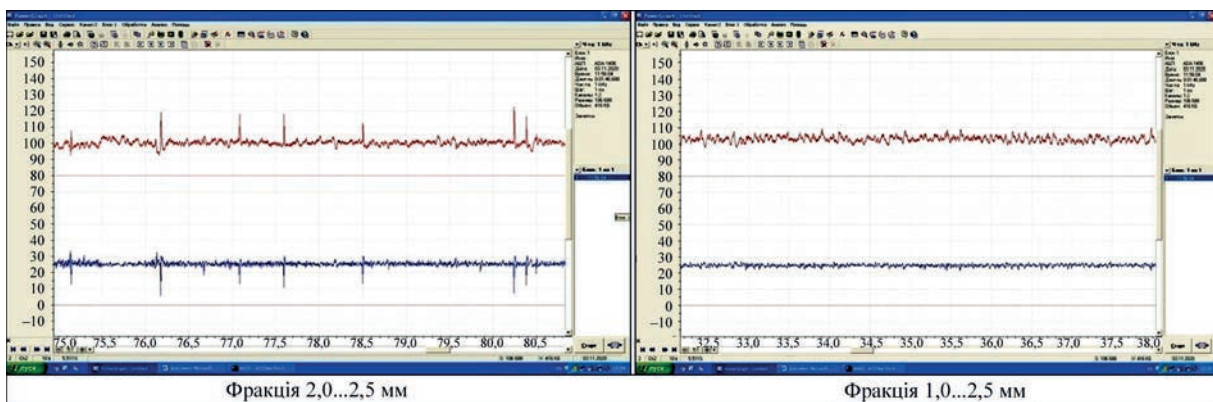


Рис. 2. Осцилограми процесів наплавлення з використанням флюсу АН-60СМ різної зернистості

Зовнішній вигляд та геометричні розміри валиків залежно від марки флюсу

Геометричні розміри валиків						
	Захист	Ar	Ar+АН-60СМ	Ar+АН-20С	Ar+АН-26С	Ar+UV420ТТ
Ширина валика, мм	16...17	14...15	13,5...14	13,5...14	12...13	
Висота валика, мм	3...3,5	3,5...3,8	4...4,5	4...4,5	4,2...4,6	
Глибина проплавлення, мм	0,3...0,6	0,4...0,45	0,4...0,6	0,35...0,45	0,35...0,45	

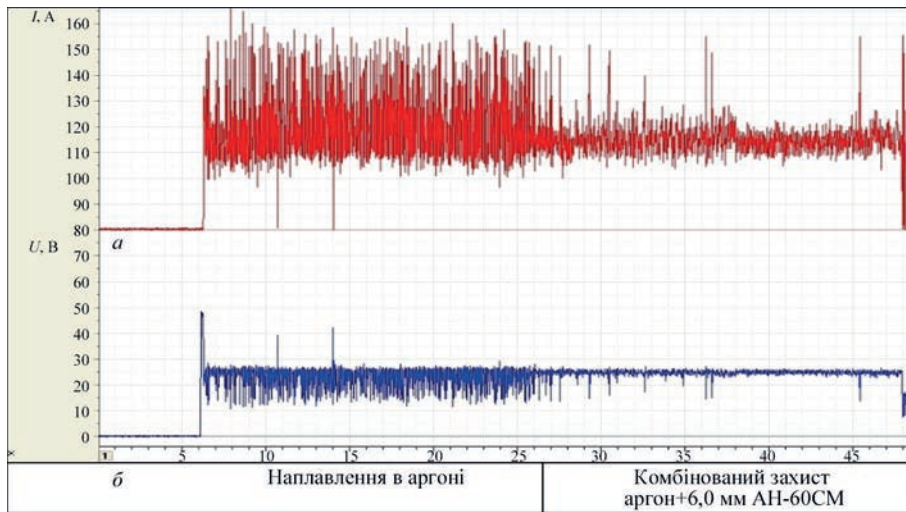


Рис. 3. Осцилограми струму (а) та напруги (б) процесу наплавлення бронзи БрКМц3-1 при комбінованому захисті аргон + флюс АН-60СМ



Рис. 4. Зовнішній вигляд наплавлених валиків: а – наплавлення в аргоні; б – аргон + 4,0 мм флюсу АН-60 СМ; в – аргон + + 6,0 мм флюсу АН-60СМ

він має не окиснений характерний для бронзи «блискучий» вигляд (рис. 4).

Крім того, при використанні комбінованого захисту при одних і тих же режимах змінюється форма валиків: висота валиків підвищується та відбувається їхнє звуження в поперечному перерізі. Такий вплив флюсу на формування наплавлених валиків відбувається, на наш погляд, завдяки поліпшенню просторової стабільності дуги, обумовленої наявністю по краях ванни і в її хвостовій частині плівки розплавленого флюсу, що стабілізує положення катодної плями на поверхні зварювальної ванни. На якість формування валиків також може впливати поверхневий натяг на межі розплавлений шлак – рідкий метал – тверда підкладка.

Як відзначалось вище, необхідність додаткового захисту розплавленого металу особливо актуальна при двоелектродному MIG-процесі на-

плавлення бронзи. Розроблені та освоєні раніше [2] технології наплавлення бронзи «розщепленим електродом» орієнтувались на використання процесів дротами діаметром 2,0...3,0 мм із застосуванням в якості захисту зварювальної ванни флюсу або аргону.

Нами виконано комплекс досліджень впливу параметрів режиму на процес двоелектродного наплавлення дротом діаметром 1,2 мм з використанням комбінованого захисту аргон + флюс. Враховуючи, що поряд з основними параметрами режиму (струмом, напругою на дузі, швидкістю наплавлення) суттєвий вплив на пропалвлення сталі й форму наплавленого валика має відстань між електродами, виконано низку експериментів з метою оптимізації даного параметра для дротів діаметром 1,2 мм.

В збірнику [2], де наведено результати досліджень з аргонодугового наплавлення алюмінієвої бронзи БрАМц9-2 діаметром 2 мм «розщепленим електродом», для орієнтованого вибору оптимального значення міжелектродної відстані рекомендовано брати відстань рівну трьом діаметрам електрода.

В наших дослідях відстань між електродами змінювалась від 3,6 до 8,0 мм. Досліди проводили шляхом наплавлення окремих валиків, при цьому кожний наступний валик наплавлявся після повного охолодження пластини.

Режим наплавки: $I_{\text{н}} = 200...240 \text{ А}$; $U_{\text{д}} = 28...32 \text{ В}$; $v_{\text{н}} = 12 \text{ м/год}$; $Q_{\text{Ар}} = 15 \text{ л/хв}$, висота шару флюсу АН-60СМ – 6 мм.

На рис. 5 наведено макрошліфи поперечних перерізів валиків, наплавлених при різній міжелектродній відстані. Чітко видно, що зі збільшенням міжелектродної відстані змінюється форма і ступінь пропалвлення основного металу. Така зміна обумовлена особливостями горіння зварювальної дуги, плавлення і перенесення електродного металу при двоелектродному процесі.

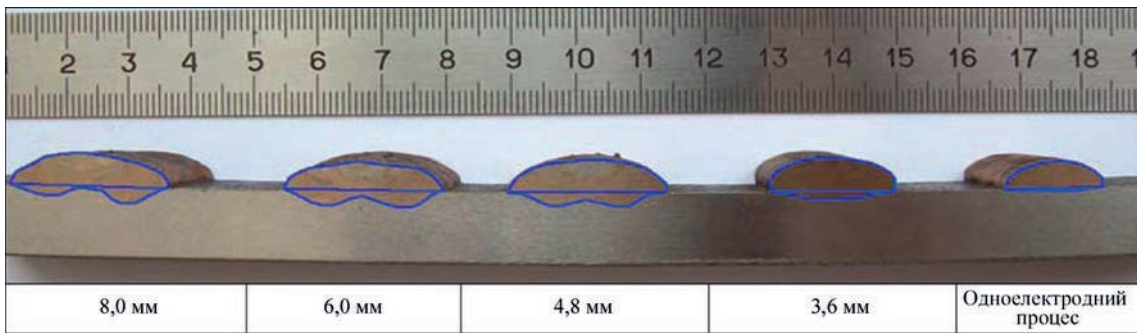


Рис. 5. Поперечний переріз наплавлених валиків при різній міжелектродній відстані

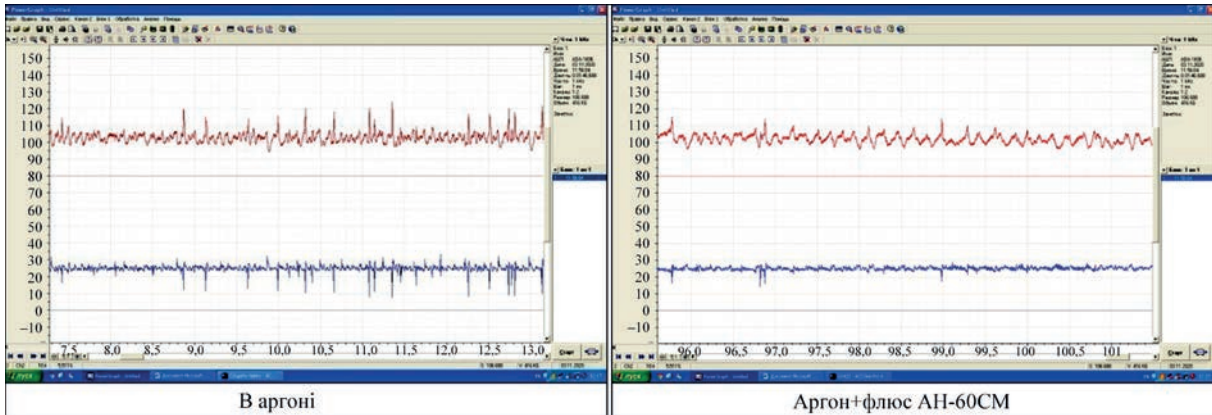


Рис. 6. Осцилограми двохелектродного процесу наплавлення бронзи БрКМц3-1 діаметром 1,2 мм на сталь в аргоні та з комбінованим захистом



Рис. 7. Макрошліф поперечного перерізу наплавленого валика бронзи на оптимальних режимах (×2)

При оптимальних значеннях міжелектродної відстані спостерігається почергове горіння дуги на кожному електроді, що забезпечує розсіяне тепловкладення по ширині ванни і відповідно мінімальне проплавлення основного металу.

Слід відзначити, що при міжелектродній відстані до 4,0 мм процес двохелектродного наплавлення з комбінованим газозшлаковим захистом характеризується також підвищеною стабільністю (рис. 6), що гарантує отримання добре сформованих наплавок.

Враховуючи, що двохелектродний процес дозволяє підвищувати продуктивність наплавки в 1,5...1,7 раза (до 3,0...3,2 кг/год для дротів діаметром 1,2 мм), додатковий шлаковий захист зварювальної ванни забезпечує високу якість наплавленого металу (рис. 7).

Висновки

1. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що використання комбінованого газозшлакового захисту поліпшує технологічні властивості зварювальної дуги, а саме її просторову стабільність завдяки наявності екрануючого розплавленого шлаку, впливає на характер перенесення і ступінь розбризкування електродного металу, забезпечує якісне формування наплавленої бронзи з характерною «блискучою» її поверхнею.

2. Найкращі результати MIG-процесу наплавлення бронзи БрКМц 3-1 дротом діаметром 1,2 мм з комбінованим газозшлаковим захистом отримано при використанні в якості додаткового шлакового захисту флюсу марки АН-60СМ, висота шару якого становить 6 мм.

3. Показана особлива доцільність використання комбінованого газозшлакового захисту при двохелектродному MIG-процесі наплавлення мідних сплавів з метою більш якісного захисту від окиснення збільшених порівняно з одноелектродним процесом об'ємів розплавленого металу і зварювальної ванни. Оптимізовано основні параметри двохелектродного MIG-процесу наплавлення з комбінованим захистом дротом діаметром 1,2 мм, в тому числі визначено оптимальну міжелектродну відстань, що забезпечує при обраних значеннях струму та швидкості наплавлення незначне проплавлення сталі та мінімальне перемішування основного та наплавленого металів.

Список літератури

1. Гуревич С.М. (1990) *Справочник по сварке цветных металлов*. Киев, Наукова думка.
2. Ілюшенко В.М., Лукьянченко Е.П. (2013) *Сварка и наплавка меди и медных сплавов*. Киев, Международная ассоциация «Сварка».
3. Kittichai Sojiphan, Trinet Yingsamphancharoen, Narawit Paoosen et al. (2019) Effects of MIG-Brazing Current on Wettability and Mechanical Property of Galvanized Steel Lap Joints. *The 12th International Conference on Thailand Metallurgy*, 93–99. DOI: 10.13140/RG.2.2.30625.56162
4. <https://www.fronius.com/en-us/usa/welding-technology/world-of-welding/fronius-welding-processes/cmt>
5. Походня І.К. (1990) *Металургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов*. Киев, Наукова думка.
6. Шлепаков В.Н., Котельчук А.С. (2019) Улучшение технологических и санитарно-гигиенических характеристик процесса дуговой сварки в среде защитного газа. *Автоматическая сварка*, **6**, 33–38. <https://doi.org/10.15407/as2019.06.05>
7. Боннел Ж.-М., Маурер М., Розерт Р. (2019) Сварка и наплавка под флюсом высоколегированной стали порошковой проволокой. *Там же*, **6**, 4–13. <https://doi.org/10.15407/as2019.06.01>

References

1. Gurevich, S.M. (1990) *Handbook on welding of nonferrous metals*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
2. Ilyushenko, V.M., Lukyanchenko, E.P. (2013) *Welding and surfacing of copper and copper alloys*. Kyiv, IAW [in Russian].
3. Kittichai Sojiphan, Trinet Yingsamphancharoen, Narawit Paoosen et al. (2019) Effects of MIG-brazing current on wettability and mechanical property of galvanized steel lap joints. *In: Proc. of 12th Int. Conf. on Thailand Metallurgy*, 93–99. DOI: 10.13140/RG.2.2.30625.56162
4. <https://www.fronius.com/en-us/usa/welding-technology/world-of-welding/fronius-welding-processes/cmt>
5. Pokhodnya, I.K. (1990) *Metallurgy of arc welding. Processes in arc and melting of electrodes*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
6. Shlepakov, V.N., Kotelchuk, A.S. (2019) Improvement of technological and sanitary-hygienic characteristics of gas-shielded arc welding process. *The Paton Welding J.*, **6**, 29-33. <https://doi.org/10.15407/as2019.06.05>
7. Bonnel, J.-M., Maurer, M., Rosert, R. (2019) Submerged arc surfacing of high-alloy steels by flux-cored wires. *The Paton Welding J.*, **6**, 3-12 <https://doi.org/10.15407/as2019.06.01>

EFFECTIVENESS OF COMBINED GAS-SLAG PROTECTION AT MIG DEPOSITION OF COPPER ALLOYS ON STEEL

T.B. Maidanchuk, V.M. Ilyushenko, A.M. Bondarenko, D.M. Stepchenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: maydanchuk_taras@ukr.net

A complex of investigations was performed to study the technological capabilities for application of combined gas-slag protection in MIG-process of copper alloy deposition on steel. It is shown that at semi-submerged arc surfacing (by semi-open arc) it is possible to control the technological characteristics of the welding arc, namely: increase its spatial stability, improve the pattern of electrode metal transfer (essentially reducing its spattering fraction), as well as ensure high-quality protection of the deposits from oxidation. Application of such a combined protection is particularly rational at highly efficient process of two-electrode MIG surfacing. 7 Ref., 1 Tabl., 7 Fig.

Keywords: copper alloys, combined gas-slag protection, spatial stability of the arc, two-electrode surfacing, deposited metal quality

Надійшла до редакції 17.05.2022

ПЕРЕДПЛАТА 2023

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 12 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	280	840	1680	3360
«Сучасна електрометалургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	280	560	1120
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	280	560	1120
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	560	1680	3360	6720

*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою банделроллю.

** Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково переклади на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль».

Передплату на журнали можна оформити по каталогам передплатних агенцій «УКРПОШТА», «Преса», «Прес Центр», «АС Медіа» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.

Передплата на електронну версію журналів.
Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

Передплата через сайт видавництва:
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>
 На сайті видавництва у 2022 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2020 рр.