

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ МОДИФІКАЦІЇ СТРУКТУРИ АУСТЕНІТНИХ ЗВАРНИХ ШВІВ ТА ЗОНИ ЇХ СПЛАВЛЕННЯ З ПЕРЛІТНИМ ОСНОВНИМ МЕТАЛОМ

К.А. Ющенко, О.В. Булат, Г.В. Звягінцева, В.І. Самойленко, Ю.М. Каховський

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

Стосовно з'єднань різнорідних сталей (аустенітних з перлітними), виконаних дуговим зварюванням покритими електродами, досліджено вплив легування азотом та присадок оксидів ітрію та цирконію в зварювальну ванну на структуру аустенітного шва та його мікротвердість в зоні сплавлення з перлітним основним металом. Показано, що легування металу шва типу Х20Н9Г6 азотом через електродне покриття практично не впливає на розміри дендритів, але зменшує мікротвердість (ризик утворення мартенситу) в зоні сплавлення з перлітним основним металом. У випадку присадок через покриття в аустенітний метал типу Х15Н25М6АГ2 оксидів ітрію або цирконію його дендритна структура суттєво подрібнюється, а мікротвердість металу в зоні сплавлення зменшується до рівня, що свідчить про відсутність мартенситу. Бібліогр. 8, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: дугове зварювання, покриті електроди, аустенітний наплавлений метал, перехідні зони з перлітним металом, структура, мікротвердість

Подрібнення структури і попередження транс-кристалітності в багатопрхідних зварних з'єднаннях високолегованих аустенітних сталей дає можливість підвищити їх технологічну міцність та службові характеристики [1, 2]. Відомі прийоми подрібнення структури за рахунок електромагнітного впливу на розплавлений метал, імпульсного плавлення або подачі зварювального дроту, присадки в зварювальну ванну металевих порошків або лігатур можуть бути реалізовані при автоматичному зварюванні. В умовах дугового зварювання покритими електродами (ММА) позитивний ефект можна отримати модифікацією металу шва через електродне покриття тугоплавкими металами (Zr, Ti, Nb, Mo) [3], а також оксидами (Cr, Zr, РЗМ) [2].

При зварюванні з'єднань різнорідних сталей аустенітними електродами крім подрібнення структури необхідно мінімізувати або виключити утворення мартенситу в зоні сплавлення з перлітним основним металом. Це обумовлено тим, що малопластичний мартенсит слугує джерелом концентрації напружень та передчасного руйнування з'єднання. Запобігти утворенню мартенситу можна шляхом підвищення вмісту нікелю в аустенітному шві та зниження погонної енергії зварювання [4, 5].

Крім того, використання електродів на нікелевій основі може не тільки попередити утворення мартенситу в зоні сплавлення, а також запобігати розвитку напружень і деформації внаслідок значної різниці КТР між аустенітним та перлітним ме-

талом [4, 5]. В ряді випадків, особливо при виконанні ремонтних робіт, використання електродів на нікелевій основі дозволяє зварювати обладнання із теплостійких перлітних сталей без попереднього підігріву та завершальної термічної обробки. Разом з цим використання таких електродів для з'єднань, що експлуатуються при температурі до 450 °С, економічно недоцільно.

В цих умовах використовують електроди типів Х20Н9Г6С або Х15Н25М6АГ2 [4]. Між тим, як це було показано в роботі [6], лише у випадку електродів типу Х15Н25М6АГ2 при обмеженні величини зварювального струму менше 80 А, вдається запобігти утворенню мартенситу в зоні сплавлення аустенітного металу шва з перлітним основним металом. Для умов автоматичного зварювання таких з'єднань дротом Св08Х20Н9Г6С автори [7] визначили, що утворення мартенситу можна суттєво обмежити за рахунок легування металу шва азотом через газову фазу.

Мета даної роботи полягає в дослідженні прийомів покращення якості зварних з'єднань різнорідних сталей (аустенітних з перлітними) за рахунок використання в покритті зварювальних електродів азотованого марганцю (легування азотом), а також оксидів ітрію та цирконію (модифікування тугоплавкими частинками).

Вплив легування азотом вивчали з використанням дослідних електродів діаметром 3 мм типу Х20Н9Г6, в покритті яких варіювали вміст азотованого марганцю замість металевого марганцю (електроди С1-С3 в табл. 1).

Ющенко К.А. – <https://orcid.org/0000-0002-6276-7843>, Булат О.В. – <https://orcid.org/0000-0003-2237-5260>, Звягінцева Г.В. – <https://orcid.org/0000-0002-6450-4887>, Самойленко В.І. – <https://orcid.org/0000-0001-6370-277X>, Каховський Ю.М. – <https://orcid.org/0000-0002-9520-2996>

© К.А. Ющенко, О.В. Булат, Г.В. Звягінцева, В.І. Самойленко, Ю.М. Каховський, 2020

Таблиця 1. Хімічний склад наплавленого металу експериментальних електродів типу 10X20H9Г6С

Позначення електродів	Масова доля, %, в наплавленому металі*							Вміст феритної фази, %
	N	Cr	Ni	Mn	Si	S	P	
C1	0,07	21,3	9,1	7,1	0,70	0,015	0,025	4...5
C2	0,32	20,0	10,0	6,6	0,65	0,016	0,024	1...1,5
C3	0,44	20,4	9,8	6,2	0,62	0,015	0,022	0,8

*Вміст у наплавленому металі інших елементів: 0,09 % С; 0,40 % Мо; 0,30 % Сп.

Попередньо цими електродами виконали восьмишарові наплавки для визначення хімічного складу наплавленого металу методами рентгеноспектрального, хімічного та газового аналізу. Результати наведено в табл. 1.

Далі експериментальними електродами С1-С3 діаметром 3 мм виконали одношарові наплавки на пластину із сталі Ст3сп товщиною 10 мм при $I_{зв} = 90...100$, $U_d = 26...28$ В, $v_{зв} = 9$ м/г, з яких вирізали шліфи для металографічних досліджень. Структуру перехідної зони і наплавленого металу виявляли комбінованим хімічним і електрохімічним травленням. Утворення мартенситу фіксували шляхом виміру мікротвердості перехідної зони з використанням мікротвердоміру ПМТ-3. При цьому припустили, що утворенню мартенситу відповідають значення мікротвердості вище 3000 МПа. Отримані результати приведені на рис. 1, з якого видно, що підвищення в наплавленому металі вмісту азоту від 0,07 до 0,32 % призводить до зниження мікротвердості в зоні сплавлення від 3380 до 3000 МПа. Подальше підвищення вмісту азоту до 0,44 % підвищує в цьому місці мікротвердість до 3320 МПа. Середня мікротвердість в наплавленому

металі підвищується від 1814 до 2732 МПа, що свідчить про підвищення міцності і відповідає даним робіт [2, 8].

Вплив азоту при його концентрації 0,32 % можна пояснити тим, що він як і вуглець є домішкою впровадження, блокує дифузію вуглецю з перлітного металу в аустенітну наплавку. Завдяки цьому в перехідній зоні при охолодженні аустеніт розпадається по реакції $\gamma \rightarrow \gamma + \alpha$ замість $\gamma \rightarrow \gamma + M + \alpha$. Підвищення мікротвердості при додатковому легуванні наплавленого металу азотом (до 0,44 %) можна пояснити утворенням в процесі кристалізації нітридів хрому, марганцю і кремнію, які зміцнюють аустенітну матрицю. Вивчення структури наплавленого металу електродів С1-С3 з використанням мікроскопу Neophot-32 встановлено, що незалежно від вмісту азоту розміри дендритів залишаються практично незмінними (рис. 2) і складають 7...8 в нижній та 13...14 мкм в верхній частині наплавки.

На наступному етапі вивчали можливість подрібнення структури аустенітного шва типу Х15Н25М6АГ2 і зменшення мікротвердості в зоні його сплавлення з перлітним основним мета-

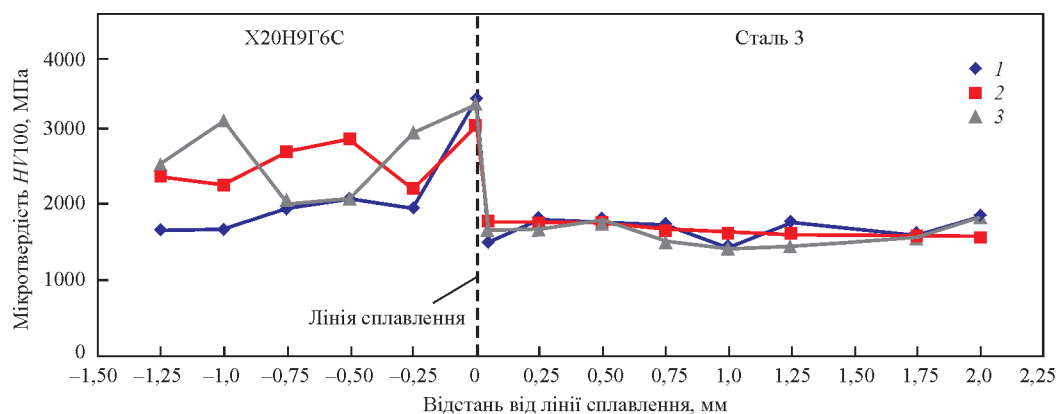


Рис. 1. Вплив легування азотом на мікротвердість в з'єднанні аустенітного наплавленого металу типу 10X20H9Г6С з перлітним основним металом: 1 – [N] = 0,07 %; 2 – 0,32; 3 – 0,44

Таблиця 2. Хімічний склад наплавленого металу експериментальних електродів типу 10X15H25M6АГ2

Позначення електродів	Найменування та кількість модифікаторів у покритті	Масова доля, %, в наплавленому металі								
		Cr	Ni	Mo	Mn	Si	N	C	S	P
C4	–	15,3	24,8	6,2	2,1	0,35	0,18	0,10	0,017	0,024
C5	Y ₂ O ₃ , 1%	15,1	24,2	6,0	2,0	0,34	0,18	0,09	0,019	0,025
C6	ZrO ₂ , 1 %	15,4	25,0	6,2	1,8	0,36	0,17	0,11	0,017	0,026
C7	ZrO ₂ , 2 %	15,4	24,5	6,4	1,9	0,39	0,17	0,10	0,018	0,026

лом за рахунок використання електродів з оксидами ітрію або цирконію в покритті. Порошки цих матеріалів з розмірами частинок менше 100 мкм вводили в покриття експериментальних електродів С4-С7 діаметром 3 мм за рахунок рутилового концентрату.

Результати визначення хімічного складу наплавленого металу цих електродів приведено в табл. 2.

Електродами С4-С7 діаметром 3мм виконали одношарове наплавлення на поверхню пластин із сталі Ст3сп товщиною 10 мм. При цьому режим наплавлення зберігали таким, як і в попередній серії експериментів. Структуру металу на відповідних шліфах виявляли по подібній методиці. Металографією отриманих шліфів за допомогою мікроскопу Neophot-32 встановле-

но (рис. 3), що максимальне зменшення середньої ширини дендритів – від 20,97 до 11,39 мкм досягається в наплавленому металі електродів С7, які містять в покритті 2 % ZrO_2 . Подрібнення аустенітної структури наплавленого металу типу X15H25M6AG2 при його модифікації оксидом цирконію можна пояснити тим, що поверхневе розчинення цих частинок в об'ємі розплавленого металу відбувається з поглинанням тепла. Завдяки цьому температура зварювальної ванни зменшується і вона кристалізується швидше. Дослідженнями мікротвердості перехідної зони між перлітним основним і наплавленим металом електродів С4-С7, виконаними за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3 (рис. 4) визначили, що мінімальна мікротвердість забезпечується в перехідній зоні наплавленого металу електродів С7. Дещо нижчий

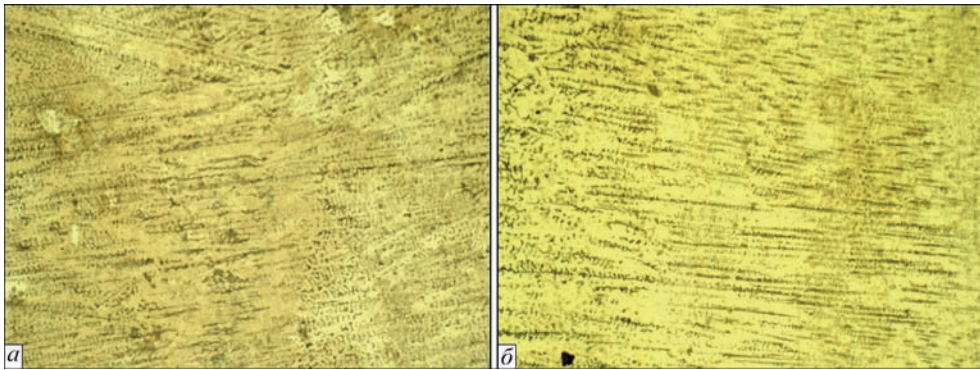


Рис. 2. Дендритна структура ($\times 200$) наплавленого металу типу 10X20H9Г6С: а – нелегованого азотом; б – легованого 0,32 % азоту

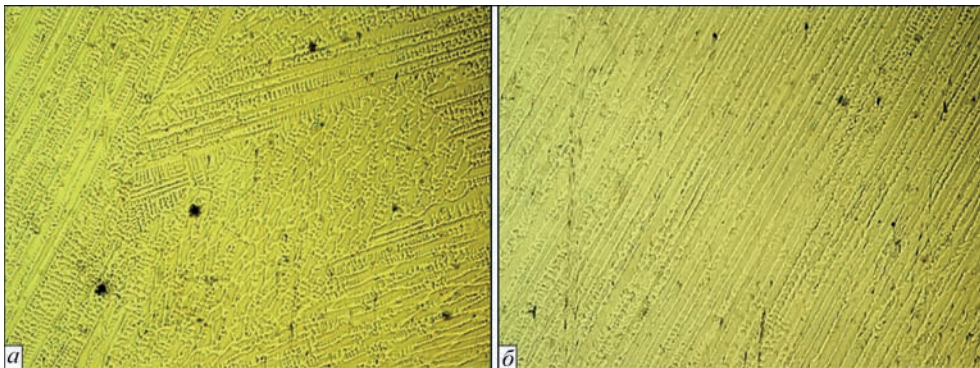


Рис. 3. Дендритна структура ($\times 200$) наплавленого металу типу 11X15H25M6AG2 електродів: а – без ZrO_2 в покритті; б – з 2 % ZrO_2 в покритті

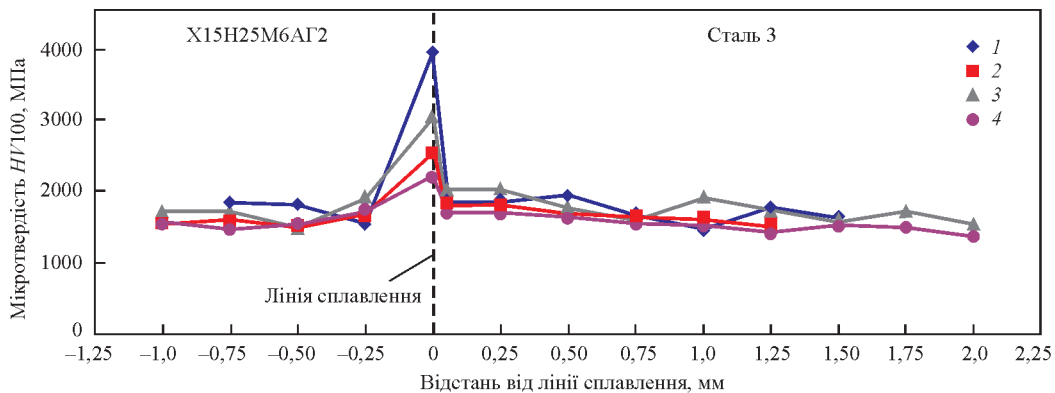


Рис. 4. Вплив оксидів ітрію та цирконію на мікротвердість в з'єднанні аустенітного наплавленого металу типу 11X15H25M6AG2 з перлітним основним металом: 1 – без модифікатора; 2 – 1 % Y_2O_3 ; 3 – 1 % ZrO_2 ; 4 – 2 % ZrO_2

ефект у випадку електродів С5, які містять в покритті 1 % Y_2O_3 . На відміну від попередньої серії експериментів введення в наплавлений метал тугоплавких оксидів не призвело до підвищення його середньої мікротвердості (міцності).

Висновки

1. Легування наплавленого металу шва типу Х20Н9Г6С азотом до 0,32 % за рахунок азотаваного марганцю в складі електродного покриття знижує мікротвердість в зоні сплавлення з перлітним основним металом з 3250 до 3000 МПа та практично не впливає на розмір дендритів в структурі металу шва.

2. Модифікація металу шва типу Х15Н25М6АГ2 оксидами ітрію або цирконію через покриття електродів призводить до зниження мікротвердості в зоні сплавлення з перлітним основним металом з 3950 відповідно до 2500 та 2200 МПа, а також значного зменшення розміру дендритів в структурі металу шва.

3. Легування азотом та модифікація частинками тугоплавких оксидів високолегованого аустенітного металу шва дозволяє зменшити ризик, або запобігти утворенню мартенситу в з'єднаних різнорідних сталях (аустенітних та перлітних).

Список літератури

1. Шоршоров М.Х., Ерохин А.А., Чернышова Т.А. и др. (1973) *Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов*. Москва, Машиностроение.
2. Каховский Н.И. (1975) *Сварка высоколегированных сталей*. Киев, Техника.

3. Браун М.П. (1982) *Микролегирование стали*. Киев, Наукова думка.
4. Земзин В.Н. (1966) *Сварные соединения разнородных сталей*. Москва, Ленинград, Машиностроение.
5. Готальский Ю.Н. (1981) *Сварка разнородных сталей*. Киев, Техника.
6. Ющенко К.А., Булат А.В., Каховский Ю.Н. и др. (2014) Исследование переходной зоны соединения низкоуглеродистой стали с высоколегированным Cr-Ni-наплавленным металлом. *Автоматическая сварка*, 6-7, 147-151.
7. Елагин В.П., Липодаев В.Н., Гордань Г.Н. (2016) Особенности развития структурной неоднородности в зоне сплавления перлитной стали с аустенитным азотосодержащим металлом шва. *Сб. докл. IX Международной конференции «Дуговая сварка, материалы и качество». 31 мая-3 июня 2016 г.* Волгоград, Россия, сс. 116-126.
8. Пикеринг Ф.Б. (1982) *Физическое металловедение и разработка сталей*. Москва, Metallurgiya.

References

1. Shorshorov, M.Kh., Erokhin, A.A., Chernyshova, T.A. et al. (1973) *Hot cracks in welding of heat-resistant alloys*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Kakhovsky, N.I. (1975) *Welding of high-alloyed steels*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
3. Braun, M.P. (1982) *Microalloying of steel*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
4. Zemzin, V.N. (1966) *Welded joints of dissimilar steels*. Moscow, Leningrad, Mashinostroenie [in Russian].
5. Gotalsky, Yu.N. (1981) *Welding of dissimilar steels*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
6. Yushchenko, K.A., Kakhovsky, Yu.N., Bulat, A.V. et al. (2014) Investigation of transition zone of low-carbon steel joint with high-alloyed Cr-Ni deposited metal. *The Paton Welding J.*, 6-7, 143-146.
7. Elagin, V.P., Lipodaev, V.N., Gordan, G.N. (2016) *Peculiarities of development of structural heterogeneity of pearlitic steel with nitrogen-containing weld metal*. In: *Proc. of 9th Int. Conf. on Arc Welding, Materials and Quality* (31 May - 3 June 2016, Volgograd, Russia), 116-126.
8. Pickering F.B. (1982) *Physical metallurgy and development of steel*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].

INVESTIGATION OF THE METHODS OF MODIFYING THE STRUCTURE OF AUSTENITIC WELDS AND THE ZONE OF THEIR FUSION WITH PEARLITIC BASE METAL

K.A. Yushchenko, O.V. Bulat, G.V. Svyagintseva, V.I. Samoilenko, Yu.M. Kakhovskiy

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

E-mail: office@paton.kiev.ua

Investigation of the effect of nitrogen alloying and yttrium and zirconium oxide additives to the weld pool on the structure of an austenitic weld and its microhardness in the zone of its fusion with pearlitic base metal was studied for the case of joints of dissimilar steels (austenitic with pearlitic), made by coated-electrode arc welding. It is shown that nitrogen alloying of weld metal of Kh20N9G6 type through the electrode coating practically does not affect the dendrite dimensions, but lower the microhardness (risk of martensite formation) in the zone of fusion with pearlitic base metal. In the case of yttrium or zirconium oxide additives to the austenitic metal of Kh15N25M6AG2 type through the coating, its dendrite structure is refined significantly, and metal microhardness in the fusion zone drops to the level that is indicative of martensite absence. 8 Ref., 2 Table, 4 Fig.

Keywords: arc welding, coated electrodes, austenitic deposited metal, transition zone with pearlitic metal, transition zones with pearlitic metal, structure, microhardness

Надійшла до редакції 16.01.2020



wire
Düsseldorf

join the best: 07 - 11 December 2020

Düsseldorf, Germany

