

УДК 621.791.754

**Тарас Майданчук¹, к.т.н., с.досл.; Анатолій Бондаренко¹; Євгенія Лук'янченко¹;
Сергій Мариненко², к.т.н., доц.; Валентин Ілюшенко¹, Дмитро Степченко¹**

¹Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, Україна

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ЗВАРЮВАНOSTІ МІДНО-НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ ІЗ ВМІСТОМ НІКЕЛЮ ДО 6,0%

Анотація. По результатам проведених досліджень встановлено, що найбільш схильні до утворення тріщин мідно-нікелеві сплави (з вмістом нікелю до 6,0%), в складі яких присутні до 1,0% алюмінію та домішки фосфору. Визначено, що найвищою стійкістю проти утворення пор мають сплави, в складі яких присутні до 0,9% алюмінію або до 0,9% марганцю.

Ключові слова: мідно-нікелеві сплави, зварювання, зона термічного впливу (ЗТВ), механічні властивості, структура, тріщини, пори.

Taras Maydanchuk, Ph.D.; Anatolii Bondarenko; Yevheniia Lukianchenko; Sergiy Marynenko, Ph.D., Assoc. Prof.; Valentin Ilyushenko; Dmytro Stepchenko

SOME ISSUES OF WELDABILITY OF COPPER-NICKEL ALLOYS WITH NICKEL CONTENT UP TO 6.0%

Abstract. Based on the results of the research, it was established that copper-nickel alloys (with a nickel content of up to 6.0%), which contain up to 1.0% of aluminum and phosphorus impurities, are most prone to cracking. It has been determined that alloys with up to 0.9% aluminum or up to 0.9% manganese have the highest resistance against the formation of pores.

Keywords: copper-nickel alloys, welding, heat affected zone (HAZ), mechanical properties, structure, cracks, pores.

Мідно-нікелеві сплави мають чудове поєднання хорошої стійкості до корозії і низької схильності до прикріплення морських організмів в морській воді. Тому дані сплави є очевидним вибором для трубопроводів, систем протипожежного водопостачання, теплообмінників та інженерних споруд в суднобудуванні, а також для захисту зони розбризкування нафти і газу на ніжках морських платформ[1].

За кордоном найбільш широко використовуються дві основні марки мідно-нікелевого сплавів, що використовуються в морській техніці – 90-10 (10% нікелю) і 70-30 (30% нікелю) [2-5]. Однак у вітчизняному суднобудуванні широко використовуються мідно-нікелеві сплави марок МНЖ 5-1, МН-5, БС-3 з вмістом нікелю не більше 6,0%.

В даний час для з'єднання мідно-нікелевих сплавів використовують пайку (brazing), зварювання покритими електродами (ММА), в захисних газах плавким (MIG) та неплавким (TIG) електродами. Слід зазначити, що найбільш поширеним способом зварювання мідно-нікелевих сплавів є TIG-зварювання. При цьому не завжди забезпечується отримання якісних зварних швів, що пов'язане, на наш погляд, із обмеженою кількістю даних по зварюваності мідно-нікелевих сплавів. Як відомо, зварюваність мідних сплавів залежить від кількості основних легуючих елементів та присутності в сплаві шкідливих домішок, таких як Zn, C, Pb, S і P.

Для сплавів 90-10 та 70-30 вміст домішок визначений іноземними матеріалознавцями.

Дані щодо впливу шкідливих домішок на тріщиностійкість та пороутворення при зварюванні сплавів (з вмістом нікелю до 6%) марок МНЖ5-1, МН-5 та БС-3 відсутні.

Тому метою даної роботи є дослідження схильності до утворення тріщин та пор в зварних швах при аргонодуговому зварюванні Cu-Ni сплавів з вмістом нікелю до 6,0 % (див. табл. 1) в залежності від складу захисного газу та наявності різної кількості легуючих та шкідливих домішок.

Таблиця 1. Хімічний склад досліджуваних мідно-нікелевих сплавів

Тип сплаву	Маркування зливка	Хімічний склад сплаву, %						
		Ni	Mn	Fe	Al	Si	P	Cu
МНЖ5-1	1584-2	5,05	0,82	0,6	-	-	0,022	зал.
МН-5	1591-2	4,05	0,28	0,02	-	-	0,005	зал.
МНЖ5-1	1591-3	4,0	0,15	0,96	-	-	-	-
БС-3	1617-1	6,02	0,92	1,14	0,87	0,11	0,15	-

Схильність до утворення тріщин в металі шва та ЗТВ мідно-нікелевих сплавів(до 6,0 % Ni)

В дослідній роботі вивчали мідно-нікелеві сплави, в складі яких до 6,0% нікелю та до 1,0% марганцю, алюмінію та заліза.

Схильність до утворення гарячих тріщин в металі шва визначали, зварюючи зразки постійної ширини малих розмірів при однаковому струмі та напрузі на дузі але при різних швидкостях зварювання, що забезпечують повне проплавлення зразка. Показником схильності металу шва до утворення тріщин є критична (мінімальна) швидкість зварювання, вище якої в шві з'являються тріщини. Чим більше ця швидкість, тим вище стійкість проти утворення тріщин.

Методика оцінки схильності металу до утворення тріщин в ЗТВ наступна: тест «Houldcroft» проплавають з неповним проваром вольфрамовим електродом в середовищі аргону на різних погонних енергіях по осі зразка. Наявність тріщин фіксується в ЗТВ у поперекових та повздовжніх надрізах.

Критерієм оцінювання стійкості металу проти утворення тріщин слугує мінімальна погонна енергія, яка викликає в ЗТВ тріщину, у поздовжньому надрізі на зворотній стороні зразка.

Аналіз характеру та поверхні зломів зразків, а також мікроструктури швів та ЗТВ показує, що тріщини як в металі швів, так і в ЗТВ являються міжкристалічними.

Встановлено, що найбільш схильні до утворення тріщин сплави, в склад яких входить алюміній. Причому алюміній підвищує схильність до утворення тріщин як в металі шва, так і в ЗТВ. На наш погляд, механізм впливу алюмінію на утворення тріщин пов'язаний з проявленням ефекту адсорбційного зниження пластичності та міцності. З фізико-хімічної механіки відомо, що зміцнення сплаву збільшує вірогідність проявлення адсорбційного зниження пластичності та міцності, а алюміній, суттєво не впливаючи на характер кристалізації, зміцнює сплав, утворюючи інтерметалідні з'єднання з нікелем, і тим самим збільшує схильність до утворення тріщин при зварюванні.

Варто також відзначити, що при зварюванні зразків із сплаву БС-3 поряд з тріщинами в металі шва утворюються поперекові тріщини в основному металі, що

беруть початок як в ЗТВ, так і в металі шва, та поширюються до бокових кромок зразка по всій його товщині. Досить високу схильність до утворення тріщин сплаву МНЖ5-1 (з вмістом фосфору 0,022%) можна пояснити саме високим вмістом фосфору. Особливо це помітно при малих швидкостях зварювання, коли умови ліквідації більш сприятливі.

Схильність до утворення пор мідно-нікелевих сплавів(до 6,0 % Ni)

Для визначення впливу різних газів на пористість були виготовлені бінарні суміші аргону з додаванням азоту, кисню, вуглекислого та природного газів в концентраціях до 5,0 %. Виконувалось зварювання стикових з'єднань та проплавлення основного металу. За показник стійкості приймали концентрацію газу. Чим більший вміст досліджуваних газів, при якому пори у швах відсутні, тим більше стійкість сплаву до утворення пор.

Помічено, що при простому проплавленні зразків пористість значно менша, ніж при зварюванні стиків, що зумовлено наявністю газів та домішок, абсорбованих на торцях зварюваних кромок стику.

В результаті проведених досліджень встановлено, що природній газ практично не викликає пор як при проплавленні зразків, так і при зварюванні стиків.

Оскільки при зварюванні вольфрамовим електродом в сумішах з додаванням кисню (більше 0,5%) та CO₂(більше 3,0%) відбувається швидке обгорання робочої частини вольфрамового електроду, оцінку схильності до утворення пор різних сплавів виконували у сумішах Ag+N₂(вміст азоту 0,1...5,0%) та Ag+O₂(кисню не більше 0,5%). Із дослідів випливає, що мідно-нікелеві сплави найбільш схильні до утворення пор від азоту.

Встановлено, що найбільшою стійкістю проти утворення пор від кисню (об'ємна доля газу варіювалась в межах 0,1...0,5%) мають сплави, в складі яких присутні активні розкислюючі елементи – до 0,9% Mn або Al. Азот більш негативно впливає на щільність швів мідно-нікелевих сплавів (до 6,0% Ni). Проте при наявності в сплавах нітридоутворюючих елементів можливе отримання щільних швів навіть при вмісті в захисному газі до 5% азоту.

Результати проведених досліджень можуть бути використані при розробці спеціальних марок добре зварюваних мідно-нікелевих сплавів з вмістом нікелю до 6,0 %, а також при створенні нових зварювальних матеріалів – присадних дротів, покритих електродів та ін.

Перелік посилань

1. Copper Development Association, Copper-Nickel Welding and Fabrication, Copper Development Association Inc. Publication A7020-99/13, Revised in February 2013 2nd edition Nickel Institute Publication 12014, February 2013.
2. Pulsed Gas Metal Arc Welding of Copper-nickel Pipe Joints. Nick Kapustka, Paul Blomquist, EWI All Rights reserved. 2017
3. K. Lahti, J. Lukkari, “Welding of Copper-Nickel Alloys at Kvaerner Masa-Yards”, Svetsaren, No. 2, 2002 9–10.
4. P. Ferro, F. Bonollo, A. Tiziani, Laser welding of copper-nickel alloys: a numerical and experimental analysis, Science and Technology of Welding and Joining 10 (3) (2005)299–310.
5. J.H. Devletian, M.J. Sullivan, Flux Cored Arc Welding of CuNi 90/10 Piping with CuNi70/30 Filler Metal, https://www.nsrp.org/wpcontent/uploads/2015/09/Deliverable-All-Position-Flux-Cored-Electrode-Final-Report-Portland_State_University.pdf 2006.