

УДК 621.791.947.5 (204.1)

## ВПЛИВ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ГАЗОНАСИЧЕНІСТЬ МЕТАЛУ ЗВАРНОГО ШВА ПІД ЧАС ПІДВОДНОГО ЗВАРЮВАННЯ СТАЛІ 12X18H10T

*М. Ю. КАХОВСЬКИЙ*

*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ*

Оцінено потенціали наводнення та окиснення водного середовища, газонасиченість металу шва і механічні властивості зварного з'єднання, отриманого під час мокрого підводного зварювання дослідним самозахисним дротом. Вивчено вплив водного середовища на фізико-хімічні та металургійні процеси дугового підводного зварювання. Розроблено комплекс металургійних і технологічних заходів для забезпечення якості з'єднань за такого зварювання корозійностійкої аустенітної сталі 12X18H10T.

**Ключові слова:** *ступінь захисту, газонасиченість, високолеговані хромонікелеві сталі, шлакова система, система легування, самозахисний порошковий дріт.*

Електродугове зварювання під водою широко застосовують як основний інструмент для ремонтно-відновлювальних робіт на гідротехнічних спорудах різного призначення [1–4]. Воно має низку особливостей, відмінних від зварювання на повітрі. Дуга горить у замкнутому об'ємі парогазового міхура, утвореного продуктами дисоціації води, а також згорянням та випаровуванням плавкого електрода і зварного виробу [5]. Водяна пара, що є основою атмосфери міхура, за високих температур дугового проміжку дисоціює з утворенням водню і кисню, що призводить до інтенсивного їх розчинення у металі шва. Тому метал зварювальної ванни пересичений воднем (до 55...60 см<sup>3</sup>/100 г (до 49,2...53,7 ppm)), а кисень, взаємодіючи з розплавленим металом, сприяє практично повному вигоранню високоактивних легуючих елементів. Його вміст у металі шва досягає 0,25 mass.% [5]. Кисень, що не вступив у взаємодію із залізом і легуючими домішками, з'єднується з воднем, утворюючи водяну пару, яка або знову надходить у реакційну зону, або конденсується на стінках парогазового міхура. Хід цієї реакції підтверджує практично повна відсутність у відведених газах кисню [6]. Пріоритетне завдання під час підводного зварювання – забезпечити надійний захист розплавленого металу від негативного впливу навколишнього середовища (наводнення та окиснення), що може проявлятися у вигляді оксидних включень, які негативно впливають на механічні властивості наплавленого металу, а також дефектів – пор та тріщин [7, 8].

**Аналіз останніх досліджень.** Процеси взаємодії металу з газами в умовах мокрого підводного зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей висвітлені детально [1–4, 9, 10]. А щодо зварювання високолегованих сталей інформації немає.

Нижче визначено вплив водного середовища на вміст газів у металі швів, виконаних порошковим дротом під час мокрого підводного зварювання високолегованих сталей типу 12X18H10T.

**Метод і результати випроб.** Зразки зварювалися дослідними порошковими дротами діаметром 1,8 mm у лабораторному басейні водолазом-зварювальником

за таких режимів:  $U_d = 32...34$  V;  $I_{cb} = 140...160$  A на постійному струмі прямої полярності. Для порівняння зразки зварювали на повітрі. Для газового аналізу з багатшарових наплавлень виготовляли зразки типу МІ-99. Методом вакуум-плавлення визначали в них вміст кисню, водню та азоту. Спочатку, як і під час зварювання самозахисними порошковими дротами, кількість газошлакоутворюючих компонентів у шихті порошкового дроту підтримували в діапазоні 8...10 mass.%. Однак виявили, що шлак покриває поверхню шва нерівномірно, окремими ділянками, метал шва сильно окиснений (рис. 1). За поступового збільшення частки газошлакоутворюючих компонентів зовнішній вигляд наплавленого металу поліпшився і, починаючи з 14 mass.%, практично весь шов був вкритий кіркою шлаку.

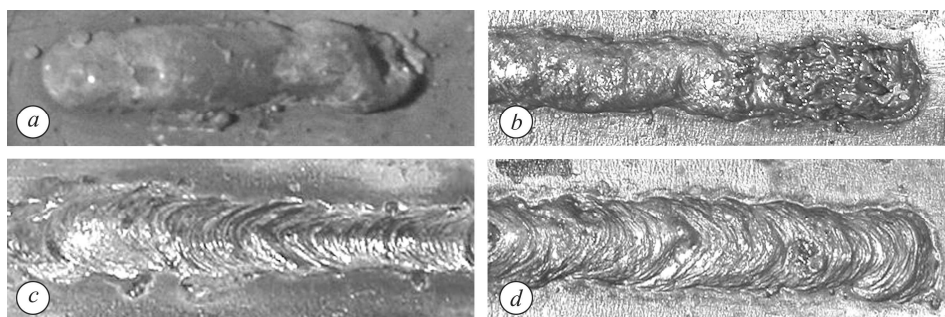


Рис. 1. Вплив кількості газошлакоутворюючих компонентів у шихті порошкового дроту на зовнішній вигляд наплавлення на повітрі (a) та воді (b-d):  
a – 8 mass.%; b – 12; c – 14; d – 21 mass.%.  
Fig. 1. The effect of quantity of gas-slag forming components in the furnace charge of a flux-cored wire on the external view of welding in air (a) and water (b-d):  
a – 8 mass.%; b – 12; c – 14; d – 21 mass.%.

Результати аналізу вмісту газів у металі зварного шва, виконаного на повітрі і під водою порошковим дротом з 8 і 14 mass.% газошлакоутворюючих компонентів, наведені в таблиці.

#### Вміст газів у наплавленому металі

Середовище	$C_{N_2}$ , mass.%	$C_{O_2}$ , mass.%	$C_{H_2}$ , $cm^3/100$ g (ppm)
Повітря	0,06	0,05	11,00 (9,8)
Вода	0,03	0,11	26,00 (23,3)

Як бачимо, вміст кисню і водню під час зварювання під водою збільшується вдвічі. При цьому кількість водню не перевищує межу його розчинності в аустенітному металі, що унеможливорює утворення пор і погіршення механічних властивостей. Критичнішим є вміст кисню в металі шва. За його підвищеної концентрації погіршується зовнішній вигляд наплавленого металу і обмежуються можливості легування елементами з високою спорідненістю до нього.

Зі збільшенням частки газошлакоутворюючих компонентів шихти захисні властивості розплавленого металу поліпшуються. Під час зварювання на повітрі (рис. 2a) це проявляється у зниженні в ньому вмісту азоту. В умовах зварювання під водою вдалось суттєво знизити кількість кисню і водню в металі шва (рис. 2b).

Для визначення ступеня окиснювального впливу середовища на метал шва наплавляли порошковими дротами з мінімальною (14 mass.%) і максимальною (21 mass.%) кількістю газошлакоутворюючих компонентів у середовищах з різною окисною здатністю (аргон, повітря, вуглекислий газ і вода) (рис. 3). Вияви-

ли, що зі збільшенням їх частки до 21 mass.% можна знизити вміст кисню до значень, отриманих під час зварювання у вуглекислому газі.

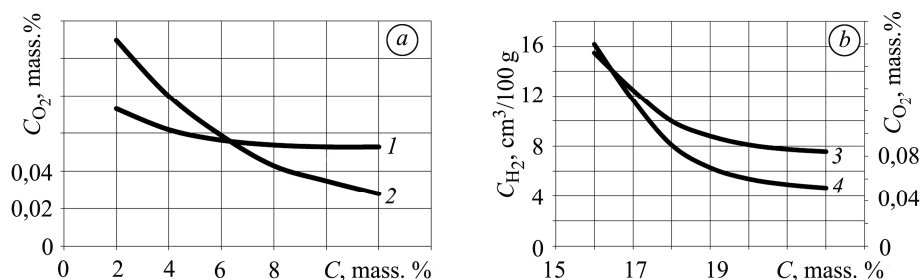
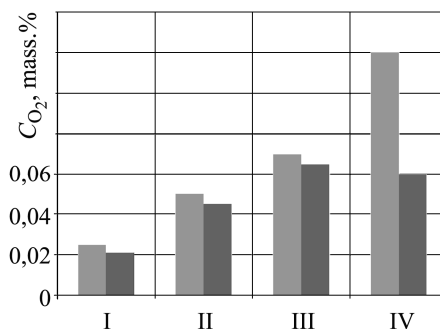


Рис. 2. Вплив кількості газошлакоутворюючих компонентів шихти порошкового дроту на вміст кисню (1, 4), азоту (2) та водню (3) в наплавленому металі під час зварювання на повітрі (а) та під водою (б).

Fig. 2. Effect of quantity of charge components of flux-cored wire on oxygen (1, 4), nitrogen (2) and hydrogen (3) content in the weld metal during welding in air (a) and underwater wet welding (b).

Рис. 3. Вміст кисню в наплавленому металі шва (06Х20Н9Г2Б) під час зварювання в середовищах з різною окисною здатністю: I – аргон; II – повітря; III – вуглекислий газ; IV – вода (світлі стовпчики – 14 mass.% газошлакоутворюючих компонентів, темні – 21 mass.%).

Fig. 3. The oxygen content in the weld metal (06Х20Н9Г2Б) during welding in environments with different oxidizing ability: I – argon; II – air; III – carbon dioxide; IV – water (light columns – 14 mass.% gas-flux components, dark – 21 mass.%).



## ВИСНОВКИ

При мокрому підводному зварюванні самозахисним порошковим дротом високолегованої корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т встановили таке. Порівняно зі зварюванням на повітрі критерієм захисту від навколишнього середовища тут є не вміст азоту в наплавленому металі, а вміст кисню. Щоб забезпечити таку кількість кисню в наплавленому металі, як під час зварювання на повітрі, частка газошлакоутворюючих компонентів у шихті порошкового дроту повинна бути не менше 20...22 mass.%, а вміст водню – не перевищувати 7...8  $cm^3/100g$  (6,3...7,2 ppm), що відповідає значенням, отриманим під час зварювання на повітрі. Вибрані тип і оптимальна кількість газошлакоутворюючих компонентів шихти порошкового дроту, які забезпечують задовільні зварювально-технологічні властивості при підводному зварюванні сталі і вміст кисню 0,05...0,06 mass.%.

**РЕЗЮМЕ.** Оценены окисляющий и наводороживающий потенциалы водной среды, газонасыщенность металла шва и механические свойства сварного соединения, полученного при мокрой подводной сварке опытной самозащитной порошковой проволокой. Изучено влияние водной среды на физико-химические и металлургические процессы дуговой подводной сварки. Разработан комплекс металлургических и технологических мероприя-

тий по обеспечению качества соединений при подводной сварке коррозионно-стойкой стали аустенитного класса 12X18H10T.

*SUMMARY.* The effect of water environment on the physical-metallurgical processes of underwater welding is investigated. The influence of water environment on the gas content in the weld metal made by flux-cored wire in the underwater wet welding of high-alloy steel 12X18H10T is determined. The oxidation potential of water, gas saturation of weld metal and mechanical properties of a welded joint, prepared by a wet underwater welding is studied. Improving the appearance of the weld, optimizing the amount of gases in the weld metal and absence of defects, depending on the number of components in the mixture flux-cored wire are established. Research results can be applied to perform welding repairs by mechanized underwater welding of NPP's elements, ships and etc. The regularities allow obtaining the specified mechanical characteristics and quantity of gases in the weld metal.

1. *Reynolds T. J.* Service History of Wet Welded Repairs and Modifications // Int. Workshop on the State of the Art Science and Reliability of Underwater Welding and Inspection Technology (November 17–19, 2010). – Houston, Texas, USA. – 2010. – P. 31–64.
2. *Rowe M. and Liu S.* Recent developments in underwater wet welding // Sci. and Tech. of Welding & Joining. – 2001. – 6, № 6. – P. 387–396.
3. *Stephen L.* A Decade of Progress in Underwater Wet Welding Using the SMAW Process (1990–2003) // ASME 2004 23<sup>rd</sup> Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAЕ2004) (June 20–25, 2004). – Vancouver, British Columbia, Canada. – 2004. – 2. – P. 927–934.
4. *Vijayraghavan V.* Application of underwater welding processes for subsea pipelines // The Australian Pipeliner. – October 2011. – P. 122–126.
5. *Авилов Т. И.* Исследование процесса дуговой сварки под водой // Сварочное производство. – 1958. – № 5. – С. 12–14.
6. *Мадатов Н. М.* О свойствах парогазового пузыря вокруг дуги при сварке под водой // Автомат. сварка. – 1965. – № 12. – С. 25–29.
7. *Балицкий О. И., Елиаш Я., Рипей И. В.* Вплив попереднього пластичного деформування сталі 12X18H12T на її механічні властивості // Фіз.-хім механіка матеріалів. – 2011. – 47, № 4. – С. 20–27.  
(*Balyts'kyi O. I., Eliasz J., Ripei I. V.* Influence of preliminary plastic deformation of 12Kh18N12T steel on its mechanical properties // Materials Science. – 2012. – 47, № 4. – P. 438–446.)
8. *Balitskii A. I. and Vitvitskii V. I.* Determination of stainless steels mechanical properties in high-pressure hydrogen // Proc. Int. Conf. "Effects of Hydrogen on Materials" / Eds. B. Somerday, P. Sofronis, R. Jones. – USA, Ohio: ASM International Materials Park, 2009. – P. 421–428.
9. *Розерт Р.* Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автомат. сварка. – 2014. – № 6–7. – С. 60–64.
10. *Кононенко В. Я.* Подводная сварка и резка в странах СНГ // Автомат. сварка. – 2014. – № 6–7. – С. 43–48.

Одержано 16.03.2015