

GAS SATURATION OF WELD METAL IN UNDERWATER WELDING OF THE 12H18N10T STAINLESS STEEL

ГАЗОНАСЫЩЕННОСТЬ МЕТАЛЛА ШВОВ ПРИ ПОДВОДНОЙ СВАРКЕ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ 12Х18Н10Т

Mykola Yu. Kakhovskyi
m.kakhovskyi@gmail.com
 ORCID: 0000-0001-7249-0457
 Serhiy Yu. Maksimov
maksimov@paton.kiev.ua
 ORCID: 0000-0002-5788-0753

М. Ю. Каховский,
 науч. сотр.;
 С. Ю. Максимов,
 д-р техн. наук

Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv

Институт электросварки имени Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев

Abstract. The influence of water environment on the physical and metallurgical processes of the underwater welding is being considered. The aim of the performed studies was to identify the influence of water environment on the gas content in the weld metal made with the flux-cored wire in wet underwater welding of the high-alloy 12H18N10T steels. The oxidation potential of water, the gas saturation of the weld metal and the mechanical properties of a welded joint obtained in wet underwater welding is experimentally studied. The effect of the improvement of the weld appearance, optimization of the amount of gases in the weld metal and absence of defects depending on the number of the gas and slag forming components in the mixture of the flux-cored wire was stated. The results of the study can be applied in performing welding and repair works in the mechanized underwater welding of NPP's elements, ships and hydraulic engineering structures. The identified trends allow obtaining necessary mechanical characteristics, as well as the necessary amount of gases in the weld metal.

Keywords: degree of protection; gas saturation; high-alloy chromium and nickel steel; slag system; the alloying system; self-shielded flux-cored wire.

Аннотация. Проведено исследование окислительного потенциала водной среды, газонасыщенности металла шва и механических свойств сварного соединения, полученного при мокрой подводной сварке опытной проволокой. Рассмотрено влияние водной среды на физико-металлургические процессы дуговой подводной сварки. Разработан комплекс металлургических и технологических мероприятий по обеспечению качества соединений при подводной сварке коррозионно-стойкой стали аустенитного класса 12Х18Н10Т.

Ключевые слова: степень защиты; газонасыщенность; высоколегированные хромоникелевые стали; шлаковая система; система легирования; самозащитная порошковая проволока.

Анотація. Проведено дослідження окиснювального потенціалу водного середовища, газонасиченості металу шва і механічних властивостей зварного з'єднання, отриманого при мокрому підводному зварюванні дослідним дротом. Розглянуто вплив водного середовища на фізико-металургійні процеси дугового підводного зварювання. Розроблено комплекс металургійних і технологічних заходів щодо забезпечення якості з'єднань при підводному зварюванні корозійностійкої сталі аустенітного класу 12Х18Н10Т.

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

REFERENCES

- [1] Avilov T.I. Issledovanie protsessa dugovoy svarki pod vodoy [Investigation of the arc welding process under water]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding*, 1958, vol. 5, pp. 12–14.
- [2] Madatov N.M. O svoystvakh parogazovogo puzyrya vokrug dugi pri svarke pod vodoy [Underwater welding and cutting of metals]. *Avtomaticheskaya svarka – automatic welding*, 1967. 164 p.
- [3] Reynolds T.J. *Service History of Wet Welded Repairs and Modifications*. International Workshop on the State of the Art Science and Reliability of Underwater Welding and Inspection Technology. November 17–19, 2010, Houston, Texas, USA. pp. 31–64.
- [4] Rowe M., Liu S. *Recent developments in underwater wet welding*. Science and Technology of Welding & Joining, V. 6, N 6, December 2001. pp. 387–396.

[5] Stephen L. *A Decade of Progress in Underwater Wet Welding Using the SMAW Process (1990–2003)*/ ASME 2004 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE2004). June 20–25, 2004, Vancouver, British Columbia, Canada, Vol. 2, pp. 927–934.

[6] Vijayraghavan V. *Application of underwater welding processes for subsea pipelines*. The Australian Pipeliner. October 2011, pp. 122–126.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Электродуговая сварка под водой широко применяется в качестве основного инструмента при выполнении ремонтно-восстановительных работ на гидротехнических сооружениях различного назначения [3–6]. При мокрой подводной сварке дуга горит в замкнутом объеме парагазового пузыря, образующегося за счет продуктов диссоциации воды, а также сгорания и испарения плавящегося электрода и изделия [1]. Водяной пар, составляющий основу атмосферы парагазового пузыря, при высоких температурах дугового промежутка диссоциирует с образованием водорода и кислорода, что приводит к интенсивному растворению этих газов в металле шва. Как следствие, металл сварочной ванны оказывается пересыщен водородом (до 55...60 см³/100 г), а кислород, взаимодействуя с расплавленным металлом как на стадии капли, так и на стадии ванны, способствует практически полному выгоранию высокоактивных легирующих элементов. Содержание кислорода в металле шва доходит до 0,25 % масс. [1]. Не вступивший во взаимодействие с железом и легирующими примесями кислород соединяется с водородом, образуя водяной пар, который либо снова поступает в реакционную зону, либо конденсируется на стенках парагазового пузыря. Ход этой реакции подтверждается практически полным отсутствием в отходящих газах кислорода [2].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Для условий мокрой сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей процессы взаимодействия металла с газами освещены достаточно полно. Что же касается сварки высоколегированных сталей под водой, то информация по этому вопросу полностью отсутствует.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – определить влияние водной среды на содержание газов в металле швов, выполненных порошковой проволокой при мокрой подводной сварке высоколегированных сталей типа 12X18H10T.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Сварка образцов выполнялась постоянным током прямой полярности опытными порошковыми проволоками диаметром 1,8 мм в лабораторном бассейне водолазом-сварщиком на режимах $U_d = 32...34$ В; $I_{св} = 140...160$ А. Оболочкой для порошковой проволоки служила коррозионно-стойкая холоднокатаная лента ферритного типа. Для получения сравнительных данных образцы сваривались также и на воздухе.

Из выполненных многослойных наплавов изготавливались образцы типа Ми-99 для газового анализа. Методом вакуум-плавления определяли содержание кислорода, водорода и азота в наплавленном металле.

Первоначально по аналогии со сваркой на воздухе количество газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоки выдерживали в диапазоне 8...10 %. Однако результаты наплавов показали, что шлак покрывает поверхность шва неравномерно, отдельными участками, металл шва сильно окислен (табл. 1). Постепенное увеличение доли газошлакообразующих компонентов улучшает качество формирования наплавленного металла за счет покрытия шва сплошной коркой шлака.

Таблица 1. Влияние количества газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоки на внешний вид шва

Среда	Количество газошлакообразующих компонентов, % масс.	Внешний вид
Воздух	8	
Вода	12	
Вода	14	
Вода	21	

Результаты анализа содержания газов в металле, наплавленном на воздухе и под водой порошковой проволокой с 8 и 14 % газошлакообразующих компонентов соответственно, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание газов в наплавленном металле

Среда	[N], % масс.	[O], % масс.	[H], см ³ /100 г
Воздух	0,06	0,05	11,00
Вода	0,03	0,11	26,00

Как видно из приведенных данных, содержание кислорода и водорода при сварке под водой увели-

чивается в 2 раза. При этом количество водорода не превышает предел его растворимости в аустенитном металле и не вызывает опасения образования пор и снижения механических свойств. Более критичным является содержание в металле шва, кислорода – увеличение его содержания ухудшает внешний вид наплавленного металла и ограничивает возможность легирования шва элементами с высоким сродством к кислороду.

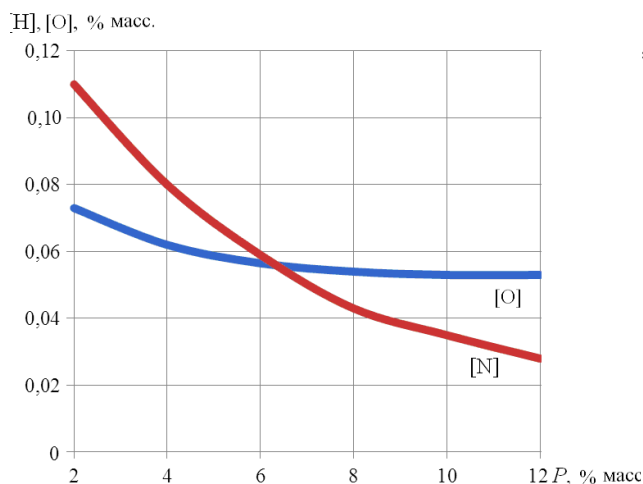


Рис. 1. Влияние количества газошлакообразующих компонентов шихты P , % масс. порошковой проволоки на содержание кислорода и азота в наплавленном металле при сварке на воздухе

Для определения степени окислительного воздействия окружающей среды на металл шва были выполнены наплавки порошковыми проволоками с минимальным (14 %) и максимальным (21 %) количеством газошлакообразующих компонентов в средах с разной окислительной способностью (аргон, воздух, угле-

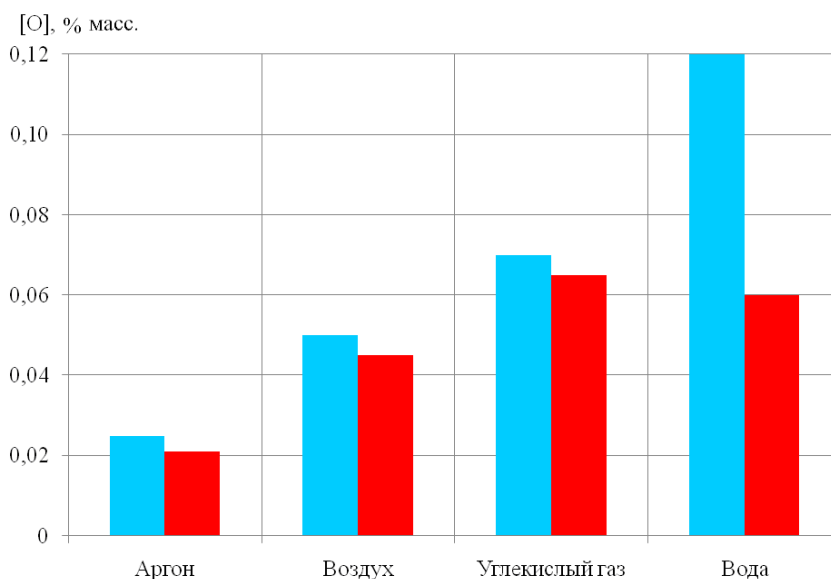


Рис. 3. Содержание кислорода в наплавленном металле при сварке в средах с разной окислительной способностью: ■ – 14 % масс., ■ – 21% масс. газошлакообразующих компонентов

Увеличение доли газошлакообразующих компонентов шихты улучшает степень защиты расплавленного металла от окружающей среды. При сварке на воздухе (рис. 1) это хорошо видно на примере снижения содержания азота в наплавленном металле. В условиях сварки под водой увеличение доли газошлакообразующей составляющей шихты позволило значительно сократить количество кислорода и водорода в металле шва (рис. 2).

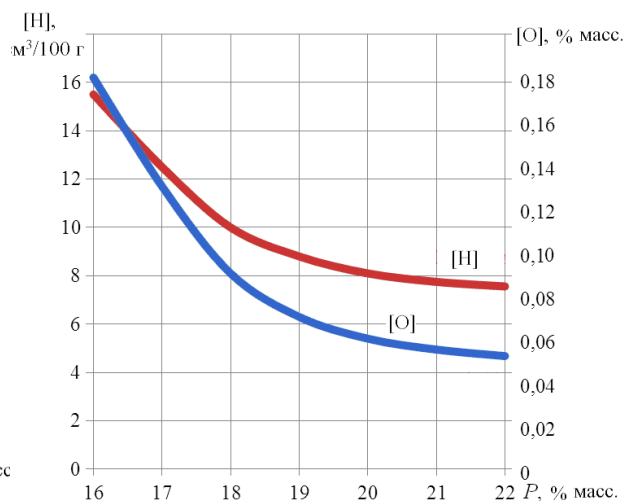


Рис. 2. Влияние количества газошлакообразующих компонентов шихты порошковой проволоки на содержание кислорода и водорода в наплавленном металле при мокрой подводной сварке

кислый газ и вода). Результаты определения содержания кислорода в металле швов типа 06Х20Н9Г2Б приведены на рис. 3. Как видно из рисунка, увеличение доли газошлакообразующих компонентов до 21% позволило снизить содержание кислорода до уровня, получаемого при сварке в углекислом газе.

ВЫВОДЫ

При сварке под водой самозащитной порошковой проволокой из стали типа 12X18H10T установлено:

1. В отличие от условий сварки на воздухе критерием степени защиты от окружающей среды служит не содержание азота в наплавленном металле, а содержание кислорода.

2. Для обеспечения содержания кислорода в наплавленном металле на уровне, получаемом при сварке на воздухе, доля газошлакообразующих компонентов в шихте порошковой проволоки должна быть не менее 20...22 % масс.

3. Содержание водорода в наплавленном металле при обеспечении доли газошлакообразующих компонентов в шихте 20...22 % не превышает 7...8 см³/100 г, что соответствует значениям, получаемым при сварке на воздухе.

4. Избранные тип и оптимальное количество газошлакообразующих компонентов шихты порошковой проволоки обеспечивают удовлетворительные сварочно-технологические свойства при подводной сварке стали 12X18H10T и содержание кислорода на уровне 0,05...0,06 % масс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Авиллов, Т. И.** Исследование процесса дуговой сварки под водой [Текст] / Т. И. Авиллов // Сварочное производство. – 1958. – № 5. – С. 12–14.
- [2] **Мадатов, Н. М.** О свойствах парогазового пузыря вокруг дуги при сварке под водой [Текст] / Н. М. Мадатов // Автоматическая сварка. – 1965. – № 12. – С. 25–29.
- [3] **Reynolds, T. J.** Service History of Wet Welded Repairs and Modifications [Text] / Thomas J. Reynolds // International Workshop on the State of the Art Science and Reliability of Underwater Welding and Inspection Technology. – Houston, Texas, USA. – 2010. – P. 31–64.
- [4] **Rowe, M.** Recent developments in underwater wet welding [Text] / M. Rowe, S. Liu // Science and Technology of Welding & Joining. – 2001. – Vol. 6. – nr 6. – P. 387–396.
- [5] **Stephen, L.** A Decade of Progress in Underwater Wet Welding Using the SMAW Process (1990–2003) [Text] / L. Stephen // ASME: 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAЕ2004). – Vancouver, British Columbia, Canada. – 2004. – Vol. 2. – P. 927–934.
- [6] **Vijayraghavan, V.** Application of underwater welding processes for subsea pipelines [Text] / V. Vijayraghavan // The Australian Pipeliner. – 2011. – P. 122–126.

© М. Ю. Каховський, С. Ю. Максимов

Надійшла до редколегії 17.12.13
Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Квасницький
Статтю розміщено у Віснику НУК № 2, 2014