

УДК 621.791.947.5 (204.1)

© Каховський Н.Ю.<sup>1</sup>, Максимов С.Ю.<sup>2</sup>**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ-СТАБИЛИЗАТОРОВ  
ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ЕЕ СВАРОЧНО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИ ПОДВОДНОЙ СВАРКЕ**

*В статье рассмотрен метод повышения процесса стабильности горения дуги при мокрой подводной сварке высоколегированных коррозионностойких сталей типа 18-10 опытной самозащитной порошковой проволокой. Исследованы сварочно-технологические свойства проволоки при введении в состав шихты компонентов-стабилизаторов.*

**Ключевые слова:** мокрая подводная сварка, сталь 18-10, самозащитная порошковая проволока, стабильность горения дуги.

**Каховський М.Ю., Максимов С.Ю. Дослідження впливу компонентів-стабілізаторів шихти порошкового дроту на її зварювально-технологічні властивості при підводному зварюванні.** У статті розглянуто метод підвищення процесу стабільності горіння дуги при мокрому підводному зварюванні високолегованих корозійностійких сталей типу 18-10 дослідним самозахисним порошковим дротом. Досліджено зварювально-технологічні властивості дроту при введенні до складу шихти компонентів-стабілізаторів.

**Ключові слова:** мокре підводне зварювання, сталь 18-10, самозахисний порошковий дріт, стабільність горіння дуги.

**M.Y. Kakhovskyi, S.Y. Maksimov. Investigation of flux-powder wire's components-stabilizers on welding and technological properties in underwater welding.** Based on long-term experience of welding by mechanized flux-cored wires, the E.O. Paton Electric Welding Institute investigated a self-protecting flux-cored wire for wet underwater welding of stainless steels type 18-10. It allows to perform welding of butt, fillet and overlapped joints in flat and vertical positions of high-alloy corrosion-resistant steels type of 18-10 (AISI 304L, 308L, 347 and 321). The article presents results of development of welding-repair technology using self-shielded flux-cored wire for wet underwater welding of high-alloy stainless steels type 18-10. Also, the article describes a method of increasing the process stability of the arc in wet underwater welding high corrosion resistant steels type 18-10 by self-shielded flux cored wire. Studied welding characteristics of the weld metal with the introduction of the charge wire components stabilizers. The application of this technology allows partially or completely reducing the human participation in welding process under the extreme conditions: at large depth, in radioactive environments (in case of NPS) and also gaining a significant economic effect due to greater efficiency (productivity) of welding-repair works. The practical value of this technology consists in possibility of welding-repair works directly under water without any additional assembly works. As to its properties the developed self-shielding wire for underwater welding of high-alloy corrosion resistant steel meets completely the requirements of class (B) of the International standard ANSI/AWS D3.6 on underwater welding.

**Keywords:** wet underwater welding, steel 18-10 self-shielded flux-cored wire, arc stability.

**Постановка проблеми.** Сегодня в мире уже существует много объектов, строительство которых было полностью выполнено с помощью процесса мокрой подводной сварки. Среди них, например, нефтегазовые буровые установки, элементы гидротехнических сооружений и атомных электростанций, трубопроводы и прочее. В целом, основные направления глобального

<sup>1</sup> інженер, Інститут електросварки ім. Е.О. Патона НАН України, г. Київ, [m.kakhovskyi@gmail.com](mailto:m.kakhovskyi@gmail.com)

<sup>2</sup> д-р техн. наук, Інститут електросварки ім. Е.О. Патона НАН України, г. Київ, [maksimov@paton.kiev.ua](mailto:maksimov@paton.kiev.ua)

енергетического развития указывают на значительные энергетические ресурсы в морях и океанах, и применение мокрой подводной сварки будет и дальше возрастать.

Рост количества объектов строительства связан с растущими требованиями к сварным конструкциям и швам, что ведет к разработке новых и более технологичных сварочных материалов. Исключением не стал и Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины, где ведется разработка самозащитной порошковой проволоки для мокрой подводной сварки высоколегированных коррозионностойких хромоникелевых сталей типа 18-10, а также значительное внимание уделяется исследованию влияния водной среды на процесс сварки.

Одна из основных задач при разработке опытной проволоки для мокрой подводной сварки - обеспечить стабильный процесс горения дуги под водой для формирования качественных и плотных швов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известно, что подводная сварка имеет ряд особенностей и отличий от сварки на воздухе. Плотность ее в 850 раз больше плотности воздуха, теплоемкость в 4 раза, а теплопроводность в 25 раз [1]. При мокрой подводной сварке дуга горит в замкнутом объеме парогазового пузыря, образующегося за счет продуктов диссоциации воды, а также сгорания и испарения плавящегося электрода и изделия [2]. Дуга, горящая под водой, с повышением глубины испытывает два вида сжатия (контрагирования) – от охлаждающего воздействия водорода и гидростатического давления столба жидкости [3].

Охлаждающее воздействие воды, повышенное гидростатическое давление, диссоциация воды и ее паров приводят к нерегулярным изменениям скорости плавления электрода, крупнокапельному переносу электродного металла и коротким замыканиям. Следствием чего является дестабилизация процесса горения и обрывы дуги, что в свою очередь приводит к плохому формированию и дефектам сварного шва [4, 5].

**Цель статьи.** Цель наших исследований заключалась в поиске методов повышения стабильности процесса горения дуги опытной порошковой самозащитной проволокой для мокрой подводной сварки высоколегированных коррозионностойких сталей типа 18-10.

**Изложение основного материала.** Как известно, использование композиций и материалов, обеспечивающих поступление в плазму дуги соединений легкоионизирующихся соединений, например лития натрия, или калия в значительной мере повышает стабильность горения дуги на воздухе и в защитных газах. Этот прием также позволяет снизить дестабилизирующее воздействие водной среды на дугу порошковой проволоки с сердечником газшлакообразующей системы фторидного типа, который используется в порошковой проволоке для мокрой подводной сварки высоколегированных сталей типа 18-10 [6, 7].

В ходе разработки опытной проволоки было принято решение о проведении ряда исследований по введению в состав шихты элементов-стабилизаторов. В качестве стабилизирующего компонента выбрана специально выплавленная добавка на базе соединений алюмосиликатов калия и натрия, а также оксидов щелочных и щелочноземельных металлов - фритта ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Температура плавления К-На силиката достаточно низкая ( $T_{\text{пл}} = 900^\circ\text{C}$ ) и почти в 2 раза ниже температуры плавления К-На алюмосиликата ( $T_{\text{пл}} = 1640^\circ\text{C}$ ), также как и температура плавления оксидов щелочных элементов  $T_{\text{пл}}(\text{Na}_2\text{O}) = 851^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{пл}}(\text{K}_2\text{O}) = 891^\circ\text{C}$ . Это обуславливает более интенсивное поступление в плазму дуги легко ионизирующихся компонентов [6].

Для исследования характера плавления и переноса электродного металла, а также процесса стабильности горения дуги были изготовлены 2 варианта порошковой проволоки (№1 и №2). Проволоки были изготовлены из ленты типоразмером 0,3x10, тип оболочки – ферритного класса, диаметр порошковой проволоки – 1,6 мм. Коэффициенты заполнения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты заполнения опытных порошковых проволок

Маркировка опытной проволоки	$K_{з \text{ расчетный}}, \%$	$K_{з \text{ действительный}}, \%$
№1 (с фриттой)	$32,2 \pm 1,2$	37,0
№2 (без фритты)	$32,2 \pm 1,2$	34,0

Легирующая составляющая порошковых проволок одинакова. Шлаковая система – фторидного типа с небольшим количеством карбонатов. Порошковая проволока №1 содержит 24%

стабилизирующей фритты, порошковая проволока №2 – без стабилизирующей фритты.

При проведении исследований обеими вариантами порошковых проволок (№1 и №2) были выполнены под водой однослойные и многослойные (6 слоев) наплавки в виде горок.

Испытания опытных проволок проводились в специальном сварочном бассейне, заполненном водопроводной водой с применением в качестве источника питания – генератора ПСГ-500 и сварочного автомата ТС-17. Оценку характеристик процесса плавления и переноса электродного металла, а также стабильность процесса горения дуги проводили с использованием анализатора ASP-19, приведенного на рис. 1.

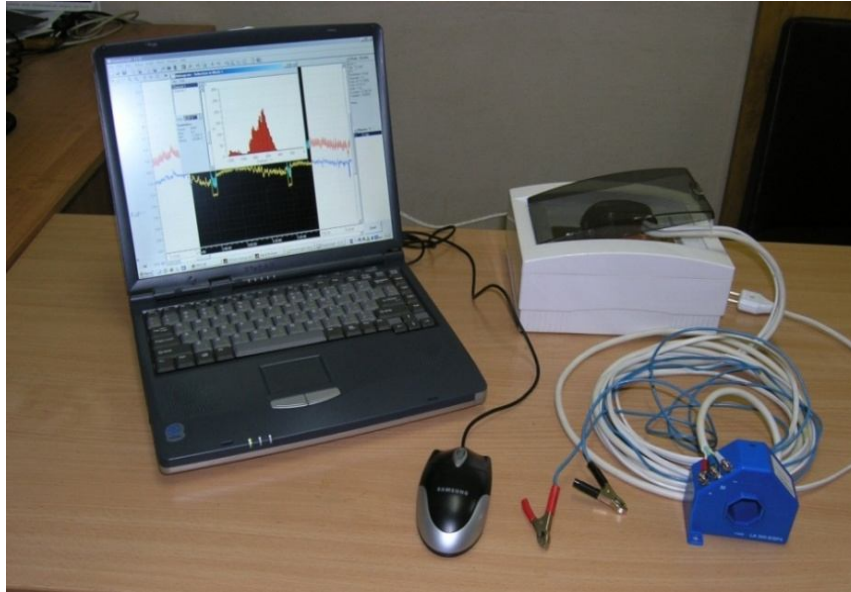


Рис. 1 – Анализатор сварочных процессов ASP-19

При выполнении наплавки методом экспертных оценок оценивали сварочно-технологические свойства порошковых проволок:

- разбрызгивание наплавляемого металла;
- формирование наплавленного металла шва;
- стабильность процесса горения дуги.

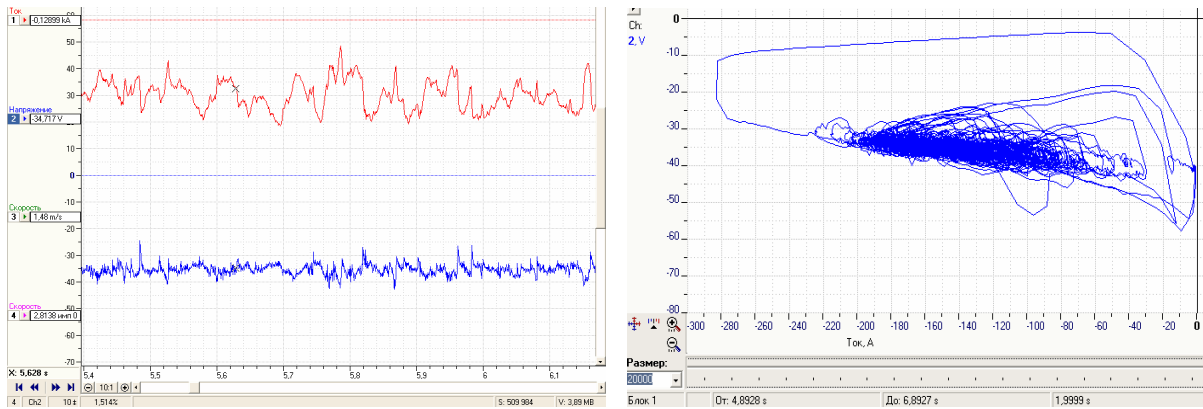
Оценку сварочно-технологических свойств опытной проволоки проводили субъективно: разбрызгивание наплавляемого металла – по количеству брызг, формирование металла шва – по чешуйчатости поверхности металла шва и внешнему виду, а стабильность процесса горения дуги – с помощью количественной оценки. С помощью программы Power Graph Professional v3.3 были зафиксированы и построены графические изображения протекания процесса сварки, а также проанализированы характеристики и количественные показатели процесса сварки опытными порошковыми проволоками:

- значение силы тока и напряжения дуги;
- относительные колебания силы тока и напряжения дуги;
- вольтамперные характеристики дуги;
- частотные показатели переноса металла.

На рис. 2 и рис. 3 приведены результаты определения параметров процесса сварки (осциллограммы и вольтамперные характеристики) и стабильности горения порошковых проволок (№1, №2) при подводной сварке.

Графики вольтамперных характеристик процесса наглядно демонстрируют отличия, которые связаны с количеством коротких замыканий. Процесс проходит практически без коротких замыканий. Данный показатель однозначно совпадает с субъективной оценкой и внешним видом выполненных сварных швов.

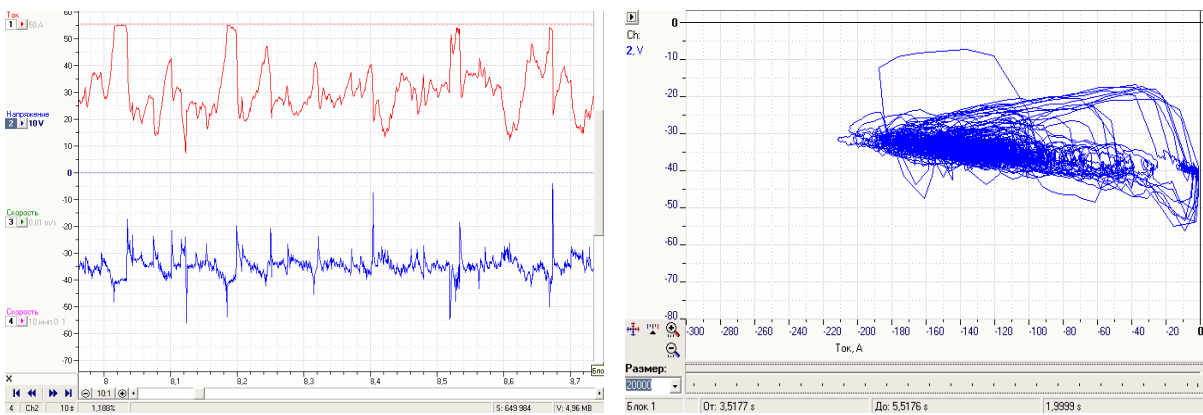
На рис. 4 приведены фотографии темплетов многослойных наплавки после определения химического состава наплавленного металла спектральным методом.



(a)

(б)

Рис. 2 – Осциллограммы (ток, напряжение) (а) и вольтамперная характеристика процесса сварки (б) порошковой проволокой (№1) с введением фритты



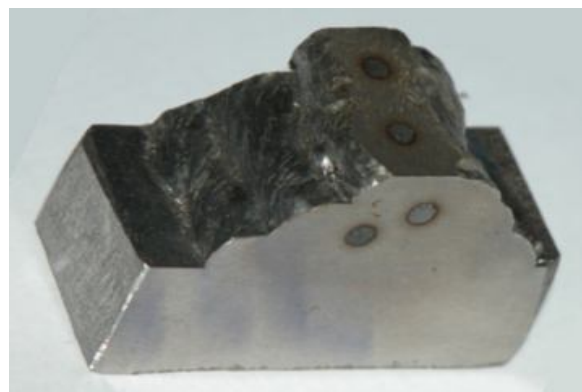
(a)

(б)

Рис. 3 – Осциллограммы (ток, напряжение) (а) и вольтамперная характеристика процесса сварки (б) порошковой проволоки (№2) без введения фритты



(a)



(б)

Рис. 4 – Многослойные наплавки, выполненные порошковыми №1 – (а), №2 – (б) проволоками при подводной сварке

В табл. 2 показаны численные результаты исследований процесса стабильности дуги при мокрой подводной сварке самозащитными порошковыми проволоками.

Таблица 2

Результаты исследований процесса стабильности дуги при мокрой подводной сварке самозащитными порошковыми проволоками

Проволока	№ про-хода (слоя)	Численное значение действующей величины сварочного тока и напряжения дуги		Относительное колебание параметров горения дуги	
		I, А	U, В	$\Delta I, A$	$\Delta U, B$
№1 (с фриттой)	первый	157,7	35,9	0,346	0,093
	шестой	150,0	35,1	0,302	0,0797
№2 (без фритты)	первый	142,4	35,0	0,348	0,101
	шестой	141,9	34,7	0,339	0,098

Следует отметить, что значительное количество оксидов щелочных и щелочноземельных элементов, которые попадали в плазму дуги - повышают стабильность горения при мокрой подводной сварке, кроме того, способствуют оптимизации шлака по физико-химическим характеристикам. Этому свидетельствует то, что при выполнении многослойных наплавов порошковой проволокой при мокрой подводной сварке определена хорошая отделимость шлаковой корки, что в свою очередь способствовало получению многослойных наплавов без зашлаковок.

#### Выводы:

1. Введение фритты в состав самозащитной порошковой проволоки позволило добиться мелкокапельного переноса электродного металла и проводить процесс мокрой подводной сварки практически без коротких замыканий.
2. Определено, что введение стабилизирующего компонента фритты положительно сказывается на повышении стабильности процесса горения дуги, уменьшая величину колебаний сварочного тока и напряжения дуги при сварочном процессе.
3. Введение фритты оказывает позитивное воздействие на физико-химические свойства шлака, а именно на отделимость шлаковой корки и формирование сварного шва.

#### Список использованных источников:

1. Кононенко В.Я. Подводная сварка и резка / В.Я. Кононенко – К.: Університет «Україна», 2011. – 264 с.
2. Авилов Т.И. Исследование процесса дуговой сварки под водой / Т.И. Авилов // Сварочное производство. – 1958. – №5. – С. 12-14.
3. Мадатов Н.М. Подводная сварка и резка металлов / Н.М. Мадатов. – Л.: Судостроение, 1967. – 164 с.
4. Лесков Г.И. Энергетические параметры дуги в условиях гидростатического давления до 5 МПа / Г.И.Лесков, О.М. Потиха // Автоматическая сварка. – 1999. – №1. – С. 15-18.
5. Кононенко В.Я. Металлургические особенности сварки в водной среде порошковыми проволоками / В.Я. Кононенко // Автоматическая сварка. – 1996. – №9. – С. 22-26.
6. Chilov A. Mass spectrometric study of volatile components in mould powder : Doctoral Thesis / A. Chilov; Helsinki University of Technology Publications in Materials Science and Metallurgy. – Espoo, 2005. – 89 p.
7. Шлепаков В.Н.. Идентификация состава порошковых проволок по электрическим сигналам дуговой сварки / В.Н. Шлепаков, А.С. Котельчук, С.А. Супрун // Автоматическая сварка, 1999. – №8. – С. 37-42.

#### Bibliography:

1. Kononenko V.Ja. Underwater welding and cutting / V.Ja. Kononenko. – K.: Universitet «Ukraina», 2011. – 264 p. (Rus.)
2. Avilov T.I. Investigation of the process of arc welding under water / T.I. Avilov // Svarochnoe proizvodstvo. – 1958. – №5. – P. 12-14. (Rus.)
3. Madatov N.M. Underwater welding and cutting metals / N.M. Madatov. – L.: Sudostroenie, 1967. – 164 p. (Rus.)

4. Leskov G.I. Energy parameters arc under hydrostatic pressure to 5 MPa. / G.I. Leskov, O.M. Potiha // Avtomaticheskaja svarka. – 1999. – №1. – P. 15-18. (Rus.)
5. Kononenko V.Ja. Metallurgical characteristics welding flux cored wire aqueous medium / V.Ja. Kononenko // Avtomaticheskaja svarka. – 1996. – №9. – P. 22-26. (Rus.)
6. Chilov A. Mass spectrometric study of volatile components in mould powder : Doctoral Thesis / A. Chilov; Helsinki University of Technology Publications in Materials Science and Metallurgy. – Espoo, 2005. – 89 p.
7. Shlepakov V.N. Identification of cored wires for electrical signals arc welding / V.N. Shlepakov, A.S. Kotel'chuk, S.A. Suprun // Avtomaticheskaja svarka, – 1999. – №8. – P. 37-42. (Rus.)

Рецензент: В.Ю. Скульский

д-р техн. наук, в.н.с., Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины

Статья поступила 03.11.2014