

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140605>

УДК 621.791/792

К 30

INFLUENCE OF FLUX-CORED WIRE COMPOSITION ON ARC COMBUSTION PROCESS STABILITY IN WET UNDERWATER WELDING

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ДУГИ ПРИ МОКРОЙ ПОДВОДНОЙ СВАРКЕ

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

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

Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев

Abstract. The components-stabilizers, which increase the stability of the arc combustion process have been investigated. The aim of research was to introduce the components-stabilizers in the welding wire to determine the component which provides the most optimal stability process of the arc combustion. The welding wire characteristics were experimentally studied. They are the quantity of short circuits, the deviations of current and the voltage and nature of the electrode metal transfer. The most stabilizing component is established. The research results can be applied to perform welding repairs by the mechanized underwater welding of the NPP elements, ships and hydrotechnical facilities. The set regularities allow getting the wet underwater welding process with the atomizing transfer of the weld metal and nearly without any short-circuits.

Keywords: wet underwater welding; steel 08Cr18Ni10Ti; self-shielded flux-cored wire; stabilizers; fluorides; arc combustion stability.

Аннотация. Проведены исследования влияния компонентов-стабилизаторов на стабильность горения дуги при мокрой подводной сварке высоколегированных коррозионно-стойких сталей типа 18-10. Исследованы сварочно-технологические свойства опытных проволок. Проанализированы результаты и определен компонент, который наиболее эффективно влияет на стабильность горения дуги.

Ключевые слова: мокрая подводная сварка; сталь 12X18H10T; самозащитная порошковая проволока; стабилизаторы; фториды; стабильность горения дуги.

Анотація. Проведено дослідження впливу компонентів-стабілізаторів на стабільність горіння дуги при мокрому підводному зварюванні високолегованих корозійностійких сталей типу 18-10. Досліджено зварювально-технологічні властивості дослідних дрітів. Проаналізовано результати і виявлено компонент, який найбільш ефективно впливає на горіння дуги.

Ключові слова: мокре підводне зварювання; сталь 12X18H10T; самозахисний порошковий дріт; стабілізатори; фториди; стабільність горіння дуги.

REFERENCES

- [1] Avilov T.I. Issledovanie protsessa dugovoy svarki pod vodoy [Investigation of the arc welding process under water]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding*, 1958, no. 5, pp. 12–14.
- [2] Gretsikii Y.Y., Maksimov S.Y., Kravchenko N.V. Vliyanie fluorita v rutilovom pokrytii na sodержanie vodoroda v metalle shva pri podvodnoy svarke [Influence of fluorite in the rutile on the hydrogen content in the weld metal in underwater welding]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1993, no. 8, pp. 54.
- [3] Kononenko V.Y. *Podvodnaya svarka i rezka* [Underwater welding and cutting]. Kyiv, University «Ukraine» Publ., 2011. 264 p.
- [4] Leskov G.I., Potikha O.M. Energeticheskie parametry dugi v usloviyakh gidrostaticheskogo davleniya do 5 MPa [Energy parameters of the arc under hydrostatic pressure up to 5 MPa]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1999, no. 1, pp. 15–18.

- [5] Leskov G.I. Energeticheskie kharakteristiki dugi so stalnymi elektrodami v atmosfere vodoroda [Energy characteristics of the arc with steel electrodes in an atmosphere of hydrogen] *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1993, no.10, pp. 3–5.
- [6] Madatov N.M. *Podvodnaya svarka i rezka metallov* [Underwater welding and cutting of metals]. Leningrad, Shipbuilding Publ., 1967. 164 p.
- [7] Pokhodnya I.K., Gorpenyuk V.N., Milichenko S.S. etc. Metallurgiya dugovoy svarki: Protsessy v duge i plavlenie elektrodov [Arc Welding Metallurgy Processes in the arc and melting electrodes]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1990. 221 p.
- [8] Shlepakov V.N., Kotelchuk A.S., Suprun S.A. Identifikatsiya sostava poroshkovykh provolok po elektricheskim signalam dugovoy svarki. [Identification of flux-cored wires for arc welding electrical signals]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1999, no. 8, pp. 37–42.
- [9] 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.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В отличие от сварки на воздухе или в газовой атмосфере процесс мокрой подводной сварки протекает в вязкой и плотной, практически несжимаемой жидкости. Плотность ее в 850 раз больше плотности воздуха, теплоемкость в 4 раза, а теплопроводность в 25 раз [3]. С увеличением глубины возрастает давление окружающей среды. При мокрой подводной сварке дуга горит в замкнутом объеме парогазового пузыря, образующегося за счет продуктов диссоциации воды, а также сгорания и испарения плавящихся электрода и изделия [1]. Дуга, горящая под водой, испытывает два вида сжатия (контрагирование) – от охлаждающего воздействия водорода и гидростатического давления столба жидкости [6]. Охлаждающее воздействие воды, повышенное давление, диссоциация воды и ее паров приводят к дестабилизации процесса горения дуги [4, 5].

На стабильность горения дуги и перенос электродного металла через дуговой промежуток влияют режим сварки, конструкция и диаметр порошковой проволоки, характеристики источника питания, длина сварочной цепи и сечение кабеля, состав сердечника порошковой проволоки, а также воздействие водной среды (парогазового пузыря). Стабильное горение дуги под водой и получение мелкокапельного переноса электродного металла являются важнейшими составными частями комплекса мер по улучшению процесса мокрой подводной сварки и получения качественных и плотных сварных швов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Для получения удовлетворительных механических характеристик и исключения дефектов сварного шва, обусловленных наводораживанием металла и нестабильностью процесса горения дуги, в качестве компонентов сердечника самозащитной порошковой проволоки для мокрой подводной сварки используют шлаковые системы с высоким содержанием фторидов.

Идея снижения количества водорода за счет взаимодействия паров воды с фтористыми соединениями и об-

разование термически устойчивого фтористого водорода при введении флюорита в рутиловое покрытие приведена и подтверждена в работе [2]. Установлено, что с увеличением в сердечнике количества фторида кальция во всем интервале исследуемых составов (до 86 % CaF_2) концентрация водорода в металле шва уменьшается.

Несмотря на позитивное влияние на снижение содержания в шве водорода, необходимо учитывать, что фторидные шлаковые системы снижают стабильность горения дуги и способствуют крупнокапельному переносу металла электрода [7, 8].

Для повышения стабильности горения дуги при подводной сварке низколегированных сталей в состав электродного материала вводили соединения щелочных, щелочно-земельных и редкоземельных металлов, обладающих низким потенциалом ионизации и низкой работой выхода электронов [9]. Но для высоколегированных коррозионно-стойких сталей подобные исследования не проводились.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – определение компонента, обеспечивающего получение наиболее оптимального (удовлетворительного) процесса стабильности горения дуги путем введения в состав шихты опытной проволоки стабилизирующих компонентов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Исследования проводили с использованием анализатора сварочных процессов ASP-19 (рис. 1).

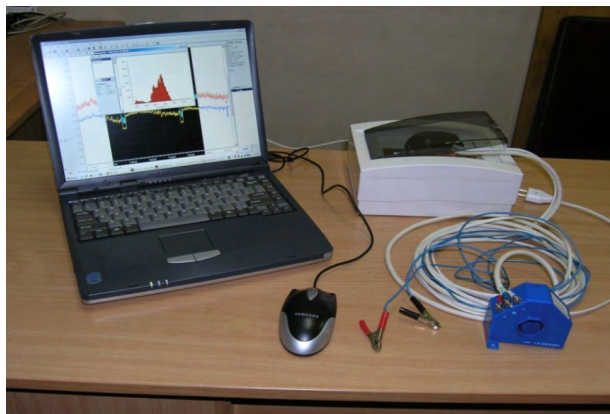


Рис. 1. Анализатор сварочных процессов ASP-19

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:

- значения силы тока и напряжения дуги;
- относительные колебания и гистограммы силы тока и напряжения дуги;
- вольт-амперные характеристики дуги;
- частотные показатели переноса металла, в частности время короткого замыкания $\tau_{к.з.}$.

Для проведения исследований были изготовлены опытные порошковые проволоки Ø1,8 мм с базовой шлаковой системой на основе CaF_2 и различными добавками стабилизирующих компонентов: волластонита, криолита и фритты.

Компоненты, вводимые в базовый состав шлаковой системы порошковой проволоки, следующие: фритта ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) – специально выплавленная стабилизирующая добавка на базе соединений алюмосиликатов калия и натрия, а также оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов; волластонит $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$ – минерал из силикатов, природный силикат кальция; криолит (Na_3AlF_6) – минерал из природных фторидов.

В табл. 1 приведен состав шихты опытных порошковых проволок.

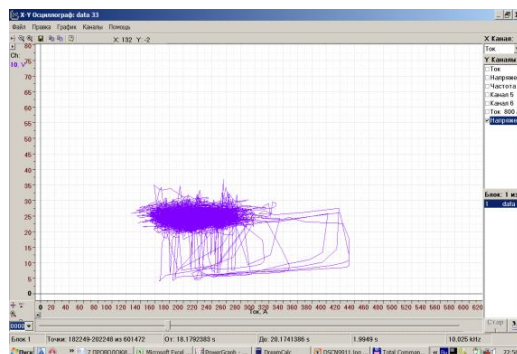
Таблица 1. Состав шихты опытных порошковых проволок, г

Наименование компонентов	Проволока		
	№ 1	№ 2	№ 3
Легирующие компоненты + раскислители	150	150	150
Базовая шлаковая система	180	180	180
Фритта	20	–	–
Волластонит	–	20	–
Криолит	–	–	20
Всего	350	350	350

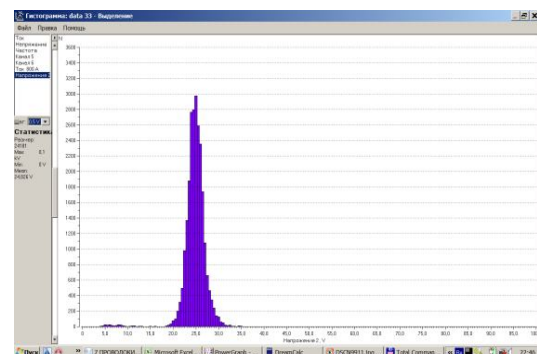
Примечание. Коэффициент заполнения порошковых проволок составлял 35 %.

Сварка выполнялась на глубине 300 мм на постоянном токе обратной полярности. Источник питания – выпрямитель ВДУ-601: характеристика жесткая, $U_{xx} = 28,0$ В. Скорость подачи проволоки 175 м/ч.

Наиболее наглядно результаты исследований показывают гистограмма напряжения дуги и вольт-амперная характеристика (рис. 2–4).

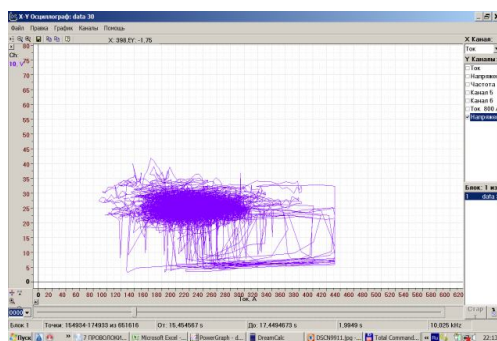


а

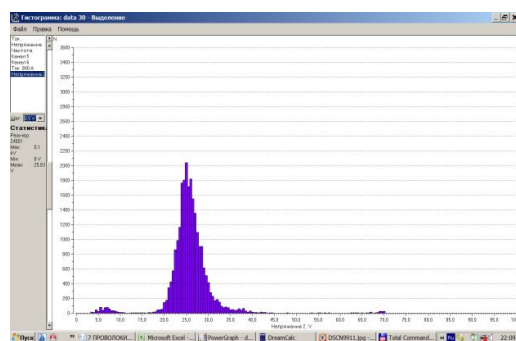


б

Рис. 2. Вольт-амперная характеристика (а) и гистограмма напряжения дуги (б) при подводной сварке порошковой проволокой состава №1 с добавлением фритты

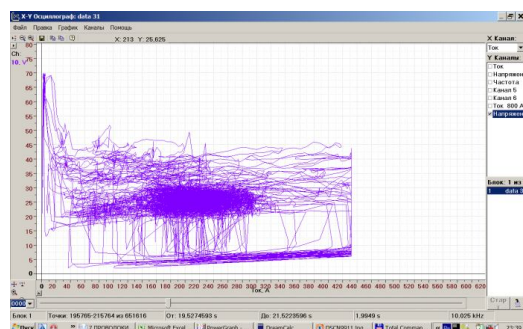


а

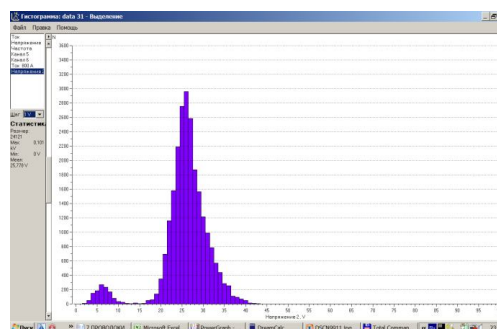


б

Рис. 3. Вольт-амперная характеристика (а) и гистограмма напряжения дуги (б) при подводной сварке порошковой проволокой состава № 2 с добавлением волластонита



а



б

Рис. 4. Вольт-амперная характеристика (а) и гистограмма напряжения дуги (б) при подводной сварке порошковой проволокой состава № 3 с добавлением криолита

Результаты исследований по оценке стабильности горения дуги при мокрой подводной сварке представлены в табл. 2. Учитывая, что действующие значения величины сварочного тока и напряжения дуги

не идентичны, приняли решение пересчитать их отклонения в процентном соотношении. Результаты относительных отклонений в процентах приведены в табл. 3.

Таблица 2. Сравнительные характеристики процесса подводной сварки

Проволока	Численное значение действующей величины сварочного тока и напряжения дуги		Относительное колебание параметров горения дуги	
	I, A	U, B	$\Delta I, A$	$\Delta U, B$
№ 1 с добавлением фритты	233,49	26,22	0,254	0,214
№ 2 с добавлением волластонита	222,37	27,06	0,315	0,256
№ 3 с добавлением криолита	221,39	27,48	0,316	0,267

Таблица 3. Значения относительных отклонений сварочного тока и напряжения дуги, %

Проволока	Относительное колебание параметров горения дуги	
	ΔI	ΔU
№ 1 с добавлением фритты	0,109	0,816
№ 2 с добавлением волластонита	0,142	0,946
№ 3 с добавлением криолита	0,143	0,972

Для анализа полученных данных была выбрана методика оценки результатов по балльной системе. Таким образом, по возрастанию численного значения каждого параметра компоненты были выстроены в следующие ряды:

- по относительному колебанию параметров горения сварочной дуги по силе тока:

криолит > волластонит > фритта;

- по относительному колебанию параметров горения сварочной дуги по напряжению:

криолит > волластонит > фритта.

Компонент с наилучшим (наименьшим отклонением) оценивался в 3 балла, среднее значение в 2 балла и худший результат в 1 балл.

Результаты балльной оценки следующие: волластонит – 4 балла, фритта – 6 баллов, криолит – 2 балла.

Таким образом, по результатам суммарной балльной оценки процесса стабильности горения дуги последовательность компонентов выглядит следующим образом:

криолит > волластонит > фритта.

Представленные данные подтверждают влияние состава композиции сердечника как на средние значения напряжения на дуге, так и на диапазон колебаний сварочного тока.

Анализируя приведенные данные, можно сделать вывод, что применение стабилизирующих добавок, таких, как, например фритта, позволяет существенно снизить относительные колебания силы тока и напряжения дуги, добиться мелкокапельного переноса металла, улучшить стабильность горения дуги и вести процесс мокрой подводной сварки самозащитной порошковой проволокой практически без коротких замыканий.

Результаты полученных данных при мокрой подводной сварке самозащитной порошковой проволокой высоколегированных коррозионно-стойких сталей типа 18-10 совпадают с полученными данными по исследованию стабильности процесса горения дуги при сварке высоколегированных коррозионно-стойких сталей проволокой сплошного сечения на воздухе.

ВЫВОДЫ

1. Введение стабилизирующих добавок в базовый состав шихты порошковой проволоки позволяет снизить относительные колебания силы тока и напряжения дуги, а также количество коротких замыканий в процессе мокрой подводной сварки.
2. При мокрой подводной сварке наиболее стабильный процесс горения дуги обеспечивает фритта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Авилов, Т. И.** Исследование процесса дуговой сварки под водой [Текст] / Т. И. Авилов // Сварочное производство. – 1958. – № 5. – С. 12–14.
- [2] **Грецкий, Ю. Я.** Влияние флюорита в рутиловом покрытии на содержание водорода в металле шва при подводной сварке [Текст] / Ю. Я. Грецкий, С. Ю. Максимов, Н. В. Кравченко // Автоматическая сварка. – 1993. – № 8. – С. 54.
- [3] **Кононенко, В. Я.** Подводная сварка и резка [Текст] / В. Я. Кононенко. – К. : Университет «Україна». – 2011. – 264 с.
- [4] **Лесков, Г. И.** Энергетические параметры дуги в условиях гидростатического давления до 5 МПа [Текст] / Г. И. Лесков, О. М. Потиха // Автоматическая сварка. – 1999. – № 1. – С. 15–18.
- [5] **Лесков, Г. И.** Энергетические характеристики дуги со стальными электродами в атмосфере водорода [Текст] / Г. И. Лесков // Автоматическая сварка. – 1993. – № 10. – С. 3–5.
- [6] **Мадатов, Н. М.** Подводная сварка и резка металлов [Текст] / Н. М. Мадатов. – Л. : Судостроение, 1967. – 164 с.
- [7] **Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов** [Текст] / И. К. Походня, В. Н. Горпенюк, С. С. Миличенко [и др.]. – К. : Наукова думка, 1990. – 221 с.
- [8] **Шлепаков, В. Н.** Идентификация состава порошковых проволок по электрическим сигналам дуговой сварки [Текст] / В. Н. Шлепаков, А. С. Котельчук, С. А. Супрун // Автоматическая сварка. – 1999. – № 8. – С. 37–42.
- [9] **Stephen, L.** A Decade of Progress in Underwater Wet Welding Using the SMAW Process (1990–2003) [Text] / L. Stephen // ASME – 2004. – 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAЕ2004). June 20–25, 2004, Vancouver, British Columbia, Canada. – Vol. 2. – P. 927–934.

© М. Ю. Каховський, С. Ю. Максимов

Надійшла до редколегії 19.09.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Квасницький