

УДК 621.791.037

DOI [https://doi.org/10.15589/znpp2022.2\(489\).4](https://doi.org/10.15589/znpp2022.2(489).4)**FORMATION OF A FLOATED ROLLER IN SEMI-AUTOMATIC WATERWARE UNDERWATER WELDING IN VERTICAL POSITION WITH APPLICATION****ФОРМУВАННЯ НАПЛАВЛЕНОГО ВАЛИКА
ПРИ НАПІВАВТОМАТИЧНОМУ ПІДВОДНОМУ ЗВАРЮВАННЮ
МОКРИМ СПОСОБОМ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ ПОЛОЖЕННІ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІМПУЛЬСНОЇ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ****Vladimir A. Lebedev¹**

valpaton@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0391-6113

Denys N. Krazhanovskiy²

kdn17@ukr.net

ORCID 0000-0001-7292-7188

Vladimir V. Spiharenko¹

vladimir.kherson11@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6328-9791

Serhii A. Loi¹

welding.kherson@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-1936-6390

В. О. Лебедєв¹,

професор

Д. М. Кражановський²,

молодший науковий співробітник

В. В. Спихтаренко¹,

доцент

С. А. Лой¹,

доцент, старший викладач

*Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National Shipbuilding University, Kherson¹**E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev²**Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Херсон¹**Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України, м. Київ²*

Abstract. Making welds (horizontal and vertical) on a vertical plane in the water environment is one of the unsolved problems. The main difficulties:

- unsatisfactory weld formation; influx and even outflow of metal;
- lack of enough to ensure the strength of the penetration of the base metal;
- additional costs for providing the seam with operational properties.

The article deals with the formation of a weld seam (welded roll) during underwater mechanized and automatic wet welding with adjustable pulse feeding of a special powder electrode wire.

The conducted research on determining the degree of influence of variable parameters of the pulsed movement of the electrode on the geometric dimensions of the welded roller allowed us to reveal their essential role, which is reflected in the regression models and obtained graphs.

It is shown that the ability to control the width and height of the weld seam and the deposited roller, as well as the penetration depth during pulse feeding of the electrode wire provides, including strength characteristics, as well as a reduction in the heat of the deposits.

Management of the geometric dimensions of the welded joint with the detection of their dependence on the parameters of the pulse supply is the basis for choosing the operating modes of the welding equipment with the possibility of obtaining the most acceptable result in terms of the quality of the deposited layer and the welded joint in the vertical position.

The resulting regression equation of the influence of the parameters of the pulse feeding of the electrode wire on the main geometric characteristics of the seam and the constructed contour graphs and response surfaces can be used

for the practical development of the technological process map and the adjustment of the operation of the feeding mechanism of the semi-automatic machine and the automatic machine for underwater wet welding.

Key words: underwater welding, surfacing, wet method, mechanized and automated process, pulse feed, vertical position, forming.

Анотація. Виконання зварних швів (горизонтальних та вертикальних) на вертикальній площині у водному середовищі існують завдання з числа невирішених. Основні складнощі:

- незадовільне формування зварного шва; наплив і навіть стікання металу;
- відсутність достатнього для забезпечення міцності проплавлення металу основи;
- додаткові витрати на надання шву експлуатаційних властивостей.

У статті розглядаються питання формування зварного шва (наплавленого валика) при проведенні підводного механізованого та автоматичного зварювання мокрим способом з регульованою імпульсною подачею спеціального порошкового електродного дроту.

Проведені дослідження щодо визначення ступеня впливу змінних параметрів імпульсного руху електрода на геометричні розміри наплавленого валика дозволили виявити їхню суттєву роль, яка відображена в регресійних моделях та отриманих графіках.

Показано, що можливість керування шириною і висотою зварного шва і наплавленого валика, а також глибиною проплавлення при імпульсній подачі електродного дроту забезпечує, в тому числі характеристики міцності так само як і зниження тепло вкладень.

Управління геометричними розмірами зварного з'єднання з виявленням їх залежності від параметрів імпульсної подачі є основою для вибору режимів роботи зварювального обладнання з можливістю отримання найбільш прийняттого результату за якістю наплавленого шару та зварного з'єднання у вертикальному положенні. Отримане регресійне рівняння впливу параметрів імпульсної подачі електродного дроту на основні геометричні характеристики шва та побудовані контурні графіки та поверхні відгуку можуть бути використані для практичного опрацювання технологічної картки процесу та налаштування роботи механізму подачі напівавтомата та автомата для підводного зварювання мокрим способом.

Ключові слова: підводне зварювання, наплавлення, мокрий спосіб, механізований та автоматизований процес, імпульсна подача, вертикальне положення, формування.

Підводне зварювання досить поширене як спосіб з'єднання елементів нових металоконструкцій так і спосіб їх відновлення в умовах експлуатації. Особливо слід відзначити можливість застосування підводного зварювання при проведенні аварійно-рятувальних робіт. Є досвід застосування зварювання та різання у водному середовищі при ремонті суден та кораблів, трубопроводного транспорту, портового обладнання типу причальних стінок та багато іншого [1, 2]

Серед низки видів електродугових процесів реалізованих при зварюванні та різанні під водою одним з найбільш ефективних є спосіб механізованого та автоматичного зварювання мокрим способом [3]. Ефективність цього способу зварювання підтверджена тривалою експлуатацією з застосуванням спеціальних видів обладнання і включає в себе техніко-технологічні та економічні аспекти, які зокрема зазначені в роботах [4, 5]. Це досить простий з реалізації спосіб, що не вимагає додаткового обладнання, а, отже, витрат. Конструкції обладнання, зокрема напівавтоматів, досить прості і за основним складом близькі до напівавтоматів зазвичай широко застосовуються для зварювання-наплавлен-

ня в природних умовах. Для зварювання в водному середовищі використовують спеціальні порошкові електродні дроти. При зварюванні під водою формування шва, його властивості обумовлюються переважно теплофізичними властивостями середовища в якому горить дуга і існує ванна розплавленого металу з гідродинамічним впливом на неї і певною мірою, залежить від обраних та технічно реалізованих режимів дугового процесу.

Нові розробки зварювального обладнання, технологій, електродних матеріалів [6, 7], базуються на вирішенні завдань, основні з яких:

- нестабільність параметрів процесу зварювання, що виникає внаслідок низки природних причин;
- дефекти при виконанні зварного з'єднання;
- нестабільність повторення форми з'єднання;
- короблення тонколистового (обшивного) металу

Особливі та додаткові проблеми виникають при зварюванні в положеннях, відмінних від нижнього, зокрема на вертикальній площині.

Слід зазначити, що виконання зварних швів (горизонтальних та вертикальних) на вертикальній площині у водному середовищі існують завдання з числа невирішених. Основні складнощі:

– незадовільне формування зварного шва; вплив і навіть стікання металу;

– відсутність достатнього для забезпечення міцності проплавлення металу основи;

– додаткові витрати на надання шву експлуатаційних властивостей.

Вишукування способів істотного поліпшення якості зварного шва виконуваного у водному середовищі на вертикальних елементах металоконструкцій є досить складним завданням, вирішення якого вимагає зміна техніко-технологічних прийомів зварювання-наплавлення.

Відомі способи автоматичного та механізованого зварювання в природному середовищі з імпульсними способами управління зварювальним процесом. У цих процесах використовують сучасні інверторні джерела живлення, механізми з імпульсними алгоритмами переміщення електродного дроту, імпульсна подача захисних газів, магнітні поля, а також їх комбінації. При використанні цих способів досягаються значні ефекти [8, 9].

Застосування імпульсних алгоритмів роботи систем зварювального обладнання надають певний вплив і на процеси горіння дуги, формування зварного з'єднання та ін. при роботі напівавтоматів і автоматів під водою [10]. Зокрема особливий вплив має імпульсна подача електродного дроту. Для широкого впровадження імпульсних технологій на основі керованої подачі електродного дроту, потрібно виробити рекомендації на основі системного дослідження цього процесу.

Метою цієї роботи є визначення та аналіз порівняльних характеристик зварного з'єднання або наплавленого валика, виконаного під водою на вертикальній площині із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту з керованими характеристиками.

Експериментальні роботи проводилися на середньому значенні зварювального струму – 150А. Ця величина струму визначена як одна з тих, яка найбільш близька до звичайної подачі електродного дроту

Змінні параметри процесу наплавлення:

– ряд частот – 10, 20, 30, 40, 50, 60Гц

– шпаруватість імпульсів – 10, 3.33, 2, 0, 1.43.

Під час зварювання здійснювався запис режимів струму і напруги для подальшої обробки. Для вимірювання геометричних розмірів зварного шва та наплавленого валика були виготовлені шліфи та протруєні у розчині хлорного заліза. Щоб забезпечити точність вимірювання кількість шліфів для одного шва було чотири штуки. Зовнішній вигляд зразків представлені на рис. 1.

Різні параметри наплавлених валиків обумовлені різними параметрами імпульсної подачі – частота, шпару при однакових параметрах струму та напруги дугового процесу з середніми значеннями.

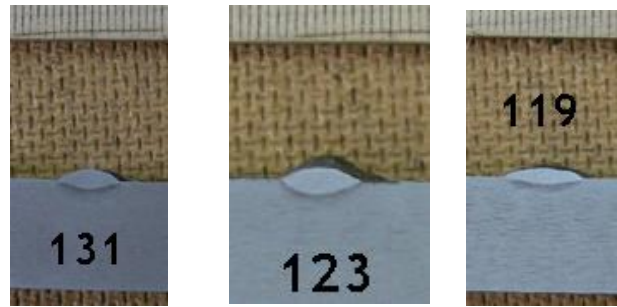


Рис. 1. Зовнішній вигляд шліфів (зварювання у вертикальному положенні) за різних параметрах імпульсної подачі

Характерна осцилограма процесу наплавлення із застосуванням спеціального пристрою визначення швидкості подачі електродного дроту представлена на рис. 2.

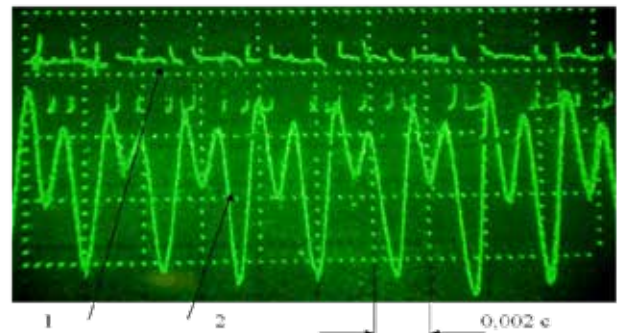


Рис. 2. Осцилограми процесу зварювання (1-напруга дуги), і імпульсної подачі електродного дроту (2 швидкість подачі)

У таблиці 1 представлені геометричні розміри в залежності від режимів імпульсної подачі порошкового дроту для середнього струму процесу 150А при основних змінах параметрів імпульсного руху електродного дроту частоти та шпаруватості. Застосовувався порошковий електродний дріт ППС-АН1 діаметром 2,0 мм, який є достатньо поширеним і був спеціально розроблений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона для ефективного зварювання в водному середовищі і дозволяє зварювати металоконструкції з низьколегованих та низьковуглецевих сталей. У якості обладнання для зварювання під водою мокрим способом використовувалась нова конструкція напівавтомату з керованою по параметрах руху подачею електродного дроту.

Зварювання зразків проводилося в спеціальному басейні з прісною водою на глибинах порядку 1-3 М.

У таблиці 1 представлені геометричні розміри в залежності від режимів імпульсної подачі порошкового дроту для середнього струму процесу 150А при основних змінах параметрів імпульсного руху електродного дроту – частоти та шпаруватості.

Таблиця 1. Геометричні розміри в залежності від режимів імпульсної подачі порошкового дроту для середнього струму 150А

№	f, Гц	шпаруватість	опуклість g, мм	глибина проплавлення. h, мм	ширина шва w, мм (w)
110	1	1	1,537176292	0,5736354	9,249993628
111	10	1,43	1,021214678	0,474882117	9,044551604
112	10	2	1,697396784	1,057577587	8,528345286
113	10	3,33	1,39109081	1,038003356	8,994300408
114	10	10	2,07756345	1,634722205	7,989713379
115	20	1,43	1,334824189	1,033481157	9,300283043
116	20	2	1,554004104	0,594996959	8,67469637
117	20	3,33	1,547564338	1,018612132	9,461397059
118	20	10	1,880514706	0,861902574	9,539905025
119	30	1,43	1,880284926	0,529105392	9,793198529
120	30	2	1,704044118	0,587852328	9,110753676
121	30	3,33	1,939721201	0,959865196	9,146216299
122	30	10	1,390854779	0,587545956	9,79442402
123	40	1,43	1,254059436	0,78393076	9,578354779
124	40	2	1,233992034	1,410232843	8,835477941
125	40	3,33	1,437007874	0,826771654	9,547244094
126	40	10	1,417322835	0,728346457	9,350393701
127	50	1,43	1,437007874	0,374015748	9,940944882
128	50	2	1,397637795	0,92519685	8,799212598
129	50	3,33	1,299212598	0,905511811	8,12992126
130	50	10	1,200787402	1,338582677	8,976377953
131	60	1,43	1,358267717	0,590551181	9,330708661
132	60	2	1,456692913	0,885826772	9,822834646
133	60	3,33	1,180840307	0,741248392	9,141106361
134	60	10	1,362876755	0,928948271	9,576134318

Таблиця 2. Ступінь впливу параметрів імпульсної подачі порошкового дроту на геометричні параметри зварного шва порівняно із звичайною подачею

Параметр	Значення параметра, мм			Вплив, %		Сумарний вплив, %
	Без імпульсної подачі	min	max	зменшення	збільшення	
w	9,25	7,99	9,94	13,6	7,5	21,1
h	0,57	0,37	1,63	35,1	186,0	221,1
g	1,54	1,02	2,08	33,8	35,1	68,8

У якості обладнання для зварювання під водою мокрим способом використовувалась нова конструкція напівавтомату з керованою по параметрах руху подачею електродного дроту.

За отриманими даними (табл. 1) у програмному забезпеченні «STATISTICA» були побудовані графіки поверхні відгуку значень геометричних розмірів зварного шва від частоти і щільності для досліджуваних значень зварювального струму. Також були отримані регресійні математичні моделі другого порядку, що описують дані графіки.

$$g, \text{ мм} = 1,1877 + 0,0106 \cdot x + 0,112 \cdot y - 0,0001 \cdot x^2 - 0,0018 \cdot x \cdot y - 0,0029 \cdot y^2, \quad (1)$$

$$h, \text{ мм} = 0,6456 - 0,0134 \cdot x + 0,2182 \cdot y + 0,0002 \cdot x^2 - 0,0005 \cdot x \cdot y - 0,0144 \cdot y^2, \quad (2)$$

$$w, \text{ мм} = 9,0556 + 0,041 \cdot x - 0,3376 \cdot y - 0,0005 \cdot x^2 + 0,0008 \cdot x \cdot y + 0,0258 \cdot y^2, \quad (3)$$

де g – опуклість зварного шва,
h – глибина проплавлення,
w – ширина зварного шва,
x – частота, Гц,
y – шпаруватість.

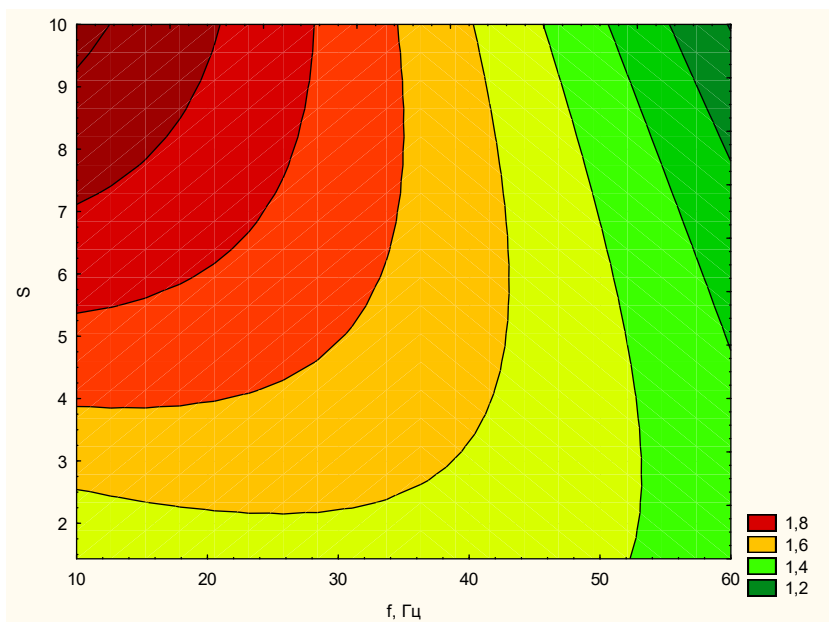
У табл. 2 наведено ступінь впливу параметрів імпульсної подачі порошкового дроту (ІППД) на геометричні параметри зварного шва в порівнянні з зварюванням при постійній подачі порошкового дроту на тому ж режимі струму (в таблиці для 150А) та напруги 28 В

На рис. 3, 4, 5 зображені отримані контурні графіки та поверхні відгуку значень геометричних розмірів зварного шва для струму 150А. Представ-

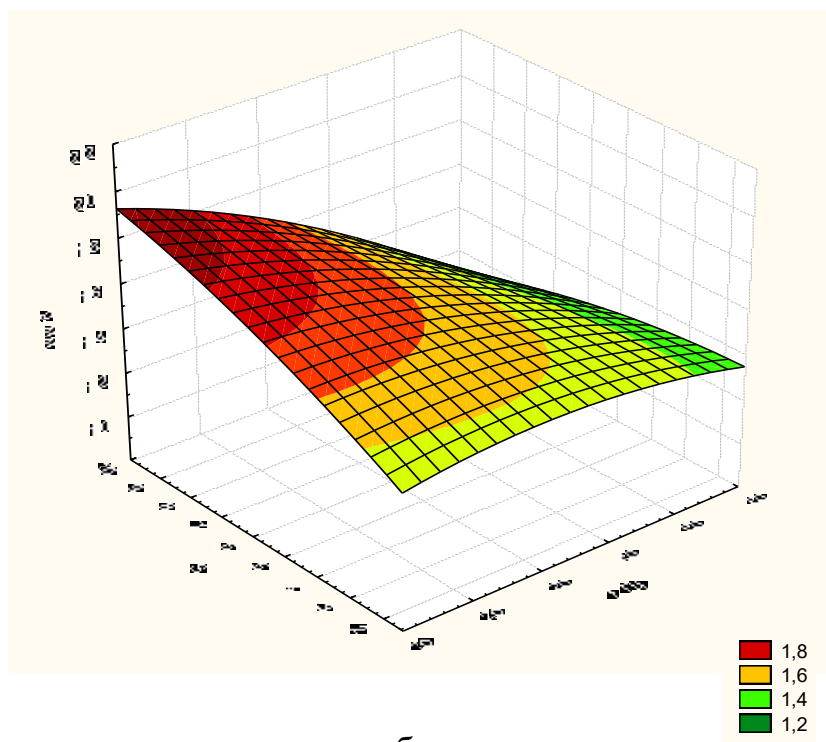
лені графіки описують рівняння регресії (1), (2), (3) та можуть бути основою для вироблення практичних рекомендацій для встановлення необхідних для забезпечення технології зварювання в водному середовищі обладнанням яке має можливість пра-

цювати з керованими імпульсними алгоритмами подачі електродного дроту

Аналізуючи результати досліджень, які представлені на рис. 3, рис. 4, рис. 5 можна зазначити, що спосіб механізованого зварювання в водному середовищі



а



б

Рис. 3. Контурний графік (а) та поверхня відгуку (б) спільного впливу частоти та шпаруватості імпульсів на опуклість зварного шва

з використання імпульсної подачі електродного дроту з керованими параметрами суттєво впливає на геометричні параметри шва. Так глибина шва може змінюватись майже в 2 рази, опуклість шва в 1,5 рази, ширина в малих межах.

На фотографії рис. 6 представлені для порівняння два валики, наплавлені однакових середніх значеннях струму та напруги, а також швидкості наплавлення з імпульсною подачею та традиційним способом. Валик, наплавлений без імпульсної подачі, сформова-

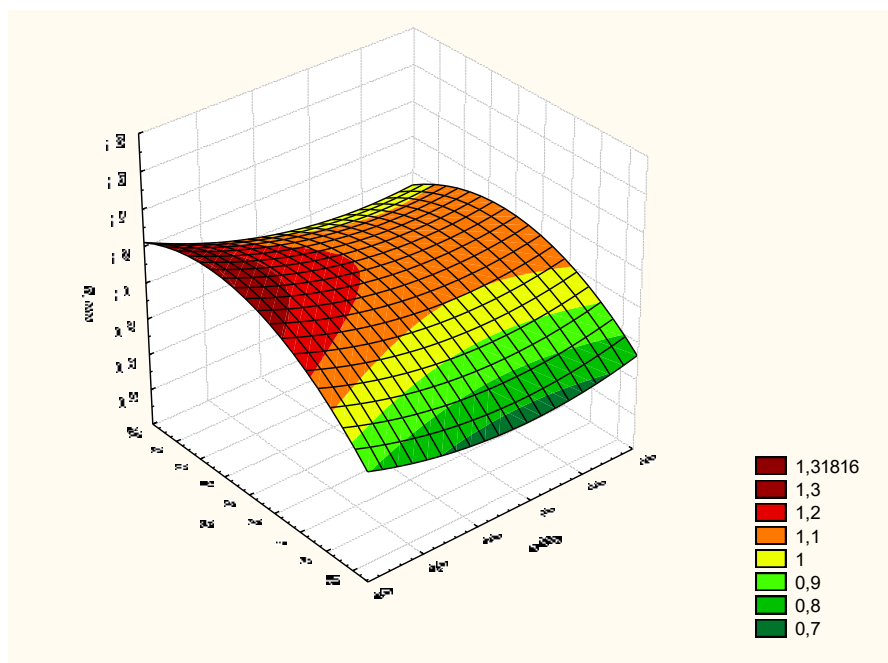
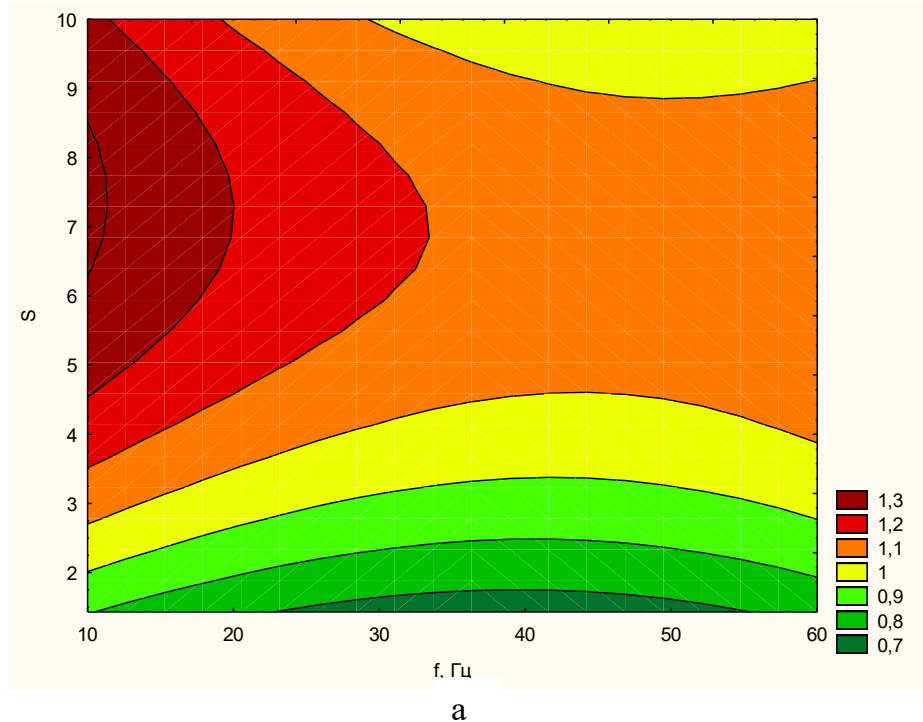
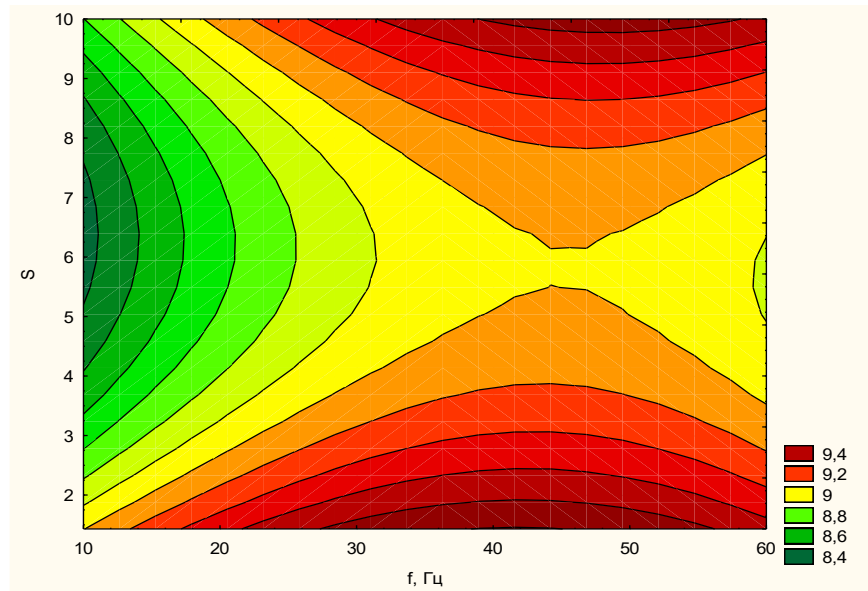


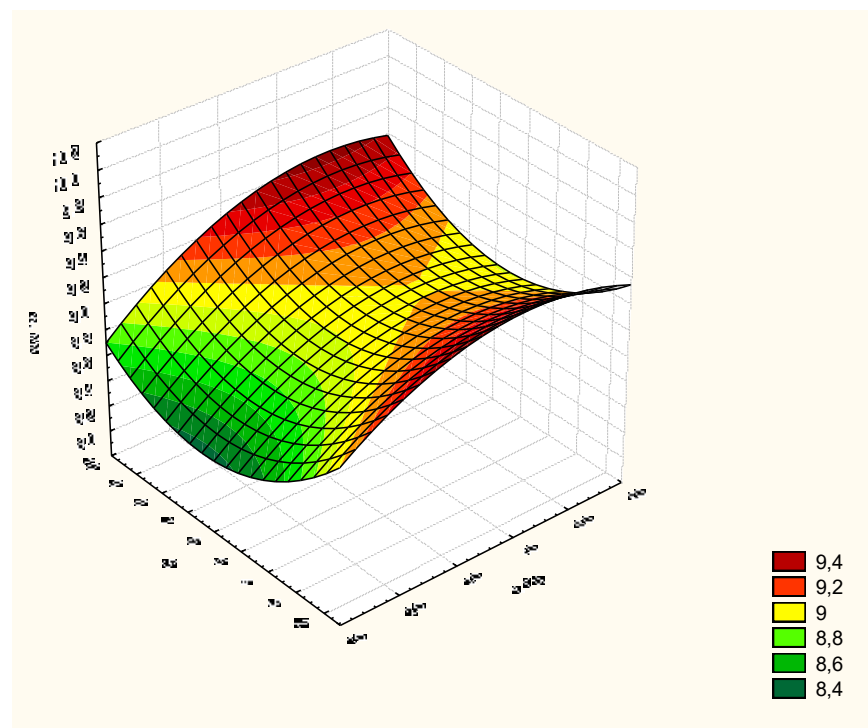
Рис. 4. Контурний графік (а) та поверхня відгуку (б) спільного впливу частоти та шпаруватості імпульсів на глибину проплавлення зварного шва

ний нерівномірно, є підтікання і навіть часткове стікання ванни. Можна стверджувати, що валик наплавлений способом із застосуванням традиційної подачі не може бути прийнятий як кондиційний. Важливо

відзначити, що процес з імпульсною подачею електродного дроту забезпечує менш напружений тепловий режим (менше тепловкладання), що сприяє появі спокійніших умов для формування валика без пере-



а



б

Рис. 5. Контурний графік (а) та поверхня відгуку (б) спільного впливу частоти та шпаруватості імпульсів на ширину зварного шва



Рис. 6. Зовнішні види валиків, наплавлених на вертикалі: а - з імпульсною подачею електродного дроту; б - без імпульсної подачі

гріву розплавленого металу ванни. Валик, наплавлений із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту без потік, має регулярну дрібночашуйчасту поверхню практично без коливань ширини по всій довжині.

Отримані при дослідженнях результати показують можливість регулювання геометричних параметрів процесу наплавлення за допомогою режимів при зварюванні з імпульсною регульованою пода-

чею електродного дроту у вертикальному положенні. Так, порівняно з параметрами зварного шва виконаного без імпульсної подачі з тим самим струмом і напругою, застосування імпульсів дозволяє більшою мірою впливати на глибину проплавлення зварного шва (можливе збільшення до 186%). Вплив параметрів імпульсного подавання на ширину зварного шва незначний (21%). Регулювання опуклістю зварного шва можливе в межах – 34...+35%. Максимальне проплавлення зварного шва можна досягти при шпаруватості 7-8 і частоті 10 Гц. Максимальна ширина знаходиться в діапазоні 40-50 Гц та шпаруватості 10 од.

Зауважимо, що можливість управління геометричними розмірами зварного шва дозволяє впливати на характеристики зварного з'єднання [11].

Вибіркові експерименти проведені з метою визначення впливу дії імпульсної подачі на положення шва на вертикальній площині дали змогу підтвердити, що положення шву суттєво не впливає на зміну геометричних параметрів в залежності від характеристик імпульсів, які зазначені вище,. Також не змінюються тенденції результатів впливу імпульсної подачі при зміні енергетичних параметрів дугового процесу (вибіркові експерименти на середньому значенні струму до 200 А та напруги в межах 26 – 32 В.

Зазначимо, що дуговий процес з великими значеннями шпаруватості імпульсів подачі може розглядатися як такий, що може бути використаний в процесі ефективного різання металу.

Висновки.

1. Застосування керованої імпульсної подачі порошкового електродного дроту з цілеспрямовано обраними параметрами руху при виконанні зварювання на вертикальній площині істотно впливають на характеристики наплавленого валика. Зміна властивостей імпульсної подачі веде до зміни геометричних розмірів валика, що в результаті означає управління ними.

2. Управління геометричними розмірами зварного з'єднання з виявленням їх залежностей від параметрів імпульсної подачі є основою для вибору режимів роботи зварювального обладнання з можливістю отримання найбільш прийняттого результату за якістю наплавленого шару та зварного з'єднання у вертикальному положенні.

3. Отримане регресійне рівняння впливу параметрів імпульсної подачі електродного дроту на основні геометричні характеристики шва та побудовані контурні графіки та поверхні відгуку можуть бути використані для практичного опрацювання технологічної картки процесу та налаштування роботи механізму подачі напівавтомата та автомата для підводного зварювання мокрим способом.

REFERENCES

- [1] McKeown D., Abson D., (2006. – 2007). Wet welding repairs Shipping World and Shipbuilder, no. 5, pp. 24-26, 28
- [2] Kononenko V.YA., Ribchenkov A.G., (1994). Oпит мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов. [Experience in wet mechanized welding with self-shielded flux-cored wires during underwater repair of gas and oil pipelines] Avtomaticheskaya svarka, no. 09-10, pp. 29-32
- [3] Lebedev V.A., (2021). Reshenie problem podvodnoi mekhanizirovannoi i avtomaticheskoi dugovoi svarki razlichnih metallokonstrukcii mokrim sposobom [Solving the problems of underwater mechanized and automatic arc welding of various metal structures in a wet way].Pidvodni tehnologiyi, no. 11, pp. 46 – 55
- [4] Lebedev V.A., Zhuk H.V., Krazhanovsry D.N., (2019) Advaced developments for wet underwater mechanized and automatic arc welding //Shipbuilding & marine in frastructure, no. 1, pp. 40 – 47.
- [5] .Paton B.E., Lebedev V.A., Maksimov S.YU., (2011). Sovershenstvovanie oborudovaniya dlya podvodnoi mekhanizirovannoi i avtomatizirovannoi svarki i rezki poroshkovoi provolokoi [Improvement of equipment for underwater mechanized and automated welding and cutting with flux-cored wire] Svarka i Diagnostika, no. 5. pp.54-59
- [6] Stephen L. A ((1990-2003)). Decade of Progress in Underwater Wet Welding Using SMAW Process. 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE2004). June 20-25, 2004, British Columbia, Canada, no. 2. pp. 927-934
- [7] Levchenko A.M., Parshin S.G., Antipov I.S., (2018) Otechestvennaya tehnologiya, svarochinii kompleks i poroshkovaya provoloka dlya mekhanizirovannoi podvodnoi svarki i rezki mokrim sposobom [Domestic technology, welding complex and flux-cored wire for mechanized underwater welding and wet cutting] Mir svarki, no. 2. pp. 18-20.
- [8] Lebedev V.A., Dragan S.V., Zhuk G.V., Novikov S.V., Simutenkov I.V., (2019). Primenenie impulsnih vozdeistvii pri dugovoi svarke plavyash'imsya elektrodom v srede zash'itnih gazov [The use of pulsed actions in arc welding with a consumable electrode in a shielding gas environment] Avtomaticheskaya svarka, no. 8. pp. 30-40.
- [9] Lebedev V., Reisgen U., Lendel I., (2016). Study of technological opportunities of GMA welding andsurfacing with pulse electrode wirefeed Welding in the World, no. 2. pp. 9-16.
- [10] Maksimov S.YU., Lebedev, V.O., Krazhanovskii D.M., ZHuk G.V., (2018) Impulsno-dugove zvaryuvannya pid vodoyu [Pulse-arc welding under water] Mizhnarodna konferenciya Zvaryuvannya ta sporidneni tehnologiyi – sгодennya i maibutnye. p. 41
- [11] Ermolaev G. V., Martinenko V. A., Marunich I. V., (2014.) Vliyanie vipuklosti shva na napryazhennoe sostoyanie stikovogo soedineniya pri rastyazhenii [The influence of the convexity of the seam on the stress state of the butt joint in tension] Avtomaticheskaya svarka. no 8. pp. 28–34.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] McKeown D., Abson D. (2006. – 2007) Wet welding repairs Shipping World and Shipbuilder. 5. 24-26., 28
- [2] Кононенко В.Я., Рыбченков А.Г. (1994) Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов Автоматическая сварка. 09-10. 29-32.
- [3] Лебедев В.А. (2021) Решение проблем подводной механизированной и автоматической дуговой сварки различных металлоконструкций мокрым способом Підводні технології. 11. 46 – 55
- [4] Lebedev V.A., Zhuk H.V., Krazhanovsry D.N. (2019). Advaced developments for wet underwater mechanized and automatic arc welding /Shipbuilding & marine infrastructure. 1. 40 – 47.
- [5] Патон Б.Е., Лебедев В.А., Максимов С.Ю. (2011) Совершенствование оборудования для подводной механизированной и автоматизированной сварки и резки порошковой проволокой Сварка и Диагностика. 5. 54-59
- [6] Stephen. (2004) Decade of Progress in Underwater Wet Welding Using SMAW Process. 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE2004). 2. 927-934
- [7] Левченко А.М., Паршин С.Г., Антипов И.С. (2018) Отечественная технология, сварочный комплекс и порошковая проволока для механизированной подводной сварки и резки мокрым способом Мир сварки. 01. 18-20.
- [8] Лебедев В.А., Драган С.В., Жук Г.В., Новиков С.В., Симутенков И.В. Применение импульсных воздействий при дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов Автоматическая сварка. 8. 30-40.
- [9] Lebedev V., Reisgen U., Lendel I. (2016) Study of technological opportunities of GMA welding andsurfacing with pulse electrode wirefeed Welding in the World. February. 9-16.
- [10] Максимов С.Ю., Лебедев, В.О., Кражановський Д.М., Жук, Г.В. (2018) Імпульсно-дугове зварювання під водою С.Ю. Міжнародна конференція 5-6 12. Зварювання та споріднені технології – сьогодні і майбутнє. Тези стендових доповідей... С. 41
- [11] Ермолаев Г. В., Мартыненко, В. А. Марунич И. В. (2014). – Влияние выпуклости шва на напряженное состояние стыкового соединения при растяжении //Автоматическая сварка. 8. С. 28–34.

© В. О. Лебедев, Д. М. Кражановський, В. В. Спіхтаренко, С. А. Лой
 Дата надходження статті до редакції: 27.07.2022
 Дата затвердження статті до друку: 08.08.2022