УДК 621.791.927
DOI https://doi.org/10.15589/znp2023.4(493).4

INFLUENCE OF PULSE SUPPLY OF ELECTRODE WIRE ON THE CONTENT OF ALLOYING ELEMENTS AND SOME MECHANICAL CHARACTERISTICS OF DEPOSED METAL LAYERS

ВПЛИВ ІМПУЛЬСНОЇ ПОДАЧІ ЕЛЕКТРОДНОГО ДРОТУ НА ВМІСТ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ДЕЯКІ МЕХАНІЧНІ ХАРАКТРИСТИКИ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ МЕТАЛУ

Volodymyr A. Lebedev
valpaton@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0391-6113

Hennadii V. Ermolaev
ermolaevnuk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8903-5669

Volodymyr V. Spihtarenko
vladimir.kherson11@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6328-9791

Serhii A. Loi
welding.kherson @nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1936-6390

В. А. Лебедєв,
докт. техн. наук, професор

Г. В. Єрмолаєв,
канд. техн. наук, професор

В. В. Спіхтаренко,
доцент

С. А. Лой,
доцент старший викладач

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National Shipbuilding University, Kherson
Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон

Abstract. The work considers some areas of improvement of the results of the action of automatic and semi-automatic machines. It has been noted that one of the most promising methods of influencing the welding and surfacing processes is the use of pulse action of the arc power source and the electrode wire feeding mechanism. Special attention is paid to the feeding system, which in modern designs is capable of controlling all parameters of the impulse movement of the wire. The possibilities of such a submission regarding the formation of rollers, their structure, and service properties are mentioned. But there are questions about the origins of improving the quality of metal when using the pulse mechanism. In the material, it is determined in an analytical form that a significant reduction in the burnout of alloying elements in the deposited metal during pulse feeding of the electrode wire is explained by the fact that the average temperature of the droplets decreases compared to the constant feeding of the electrode wire. With an increase in the frequency of feeding the electrode wire, the temperature of the drops drops and the overheating of the metal, which cools into the liquid bath, decreases. Experimental comparative studies of the wear of the deposited surface were carried out with the determination of the characteristics in the first and fifth layers. The research confirmed the conclusion regarding the reduction of wear when applying surfacing with pulsed electrode wire feeding. The main factors affecting the operational characteristics of the deposited layer are defined. This is the content of alloying elements, a certain structuring of the metal. The use of pulse feeding with certain purposefully selected parameters can significantly change the influence of these factors. Recommendations are given on further ways to reduce the burnout of alloying elements in the deposited metal and, on this basis, to improve the mechanical properties of the deposited layer. The main recommendations are the selection of an electrode wire with a certain alloying composition and the use of pulse feeding with defined parameters, as well as the use of new electrode wire feeding systems and combined effects.
Key words: welding; surfacing; process; improvement; pulses; alloying elements; metal.

Анотація. В роботі розглянуті деякі направлення удосконалення результатів дії автоматів та напівавтоматів. Зауважено, одним з найбільш перспективних способів впливу на процеси зварювання та наплавлення є застосування імпульсної дії джерела живлення дуги та механізму подачі електродного дроту. Особлива увага приділена системі подачі, яка в сучасних конструкціях здатна здійснити керування всіма параметрами імпульсного руху дроту. Згадано про можливості такої подачі щодо формування валиків, їх структури, службових власти-

востей. Але є питання щодо витоків підвищення якості металу при застосуванні імпульсного механізму. В матеріалі визначено в аналітичній формі, що суттєве зменшення вигоряння легуючих елементів в наплавленому металі при імпульсній подачі електродного дроту пояснюється тим, що середня температура крапель порівняно з постійною подачею електродного дроту зменшується. З ростом частоти подачі електродного дроту температура крапель падає і зменьшується перегрів металу, який надходить у рідку ванну. Проведені експерімеитальні порівняльні дослідження зносу наплавленої поверхні з визначенням характеристик в перщому та п'ятому шарах. Досдідження підтвердили висновок щодо зменшення зносу при застосуванні наплавки з імпульсною подачею електродного дроту. Визначені основні чинники, які впливають на експлуатаційні характеристики наплавленого шару. Це вміст легуючих елементів, певна структурізація металу. Застосування імпульсної подачі з певними цілеспрямовано вибраними параметрами може суттєво змінити вплив цих чинників. Дано рекомендації щодо подальших шляхів зменшення вигоряння легуючих елементів в наплавленому металі та підвищення на цій основі механічних властивостей наплавленого шару. Основні з рекомендацій – вибір електродношо дроту з певним легуючим складом та застосування імпульсної подачі з визначеними параметрами, а також застосування нових систем подачі електродного дроту та комбінованих впливів.

Ключові слова: зварювання; наплавлення; процес; вдосконалення; імпульси; легуючі елементи; метал.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Зварювання та наплавлення електродним дротом що плавиться є основними електродуговими процесами які в теперешній час широко використовуються в богатьох галузях господарського комплексу. Це з'єднання різних металів, відновлення та зміцнення вузлів та деталей та інші застосування, які треба віднести до адитивних технологій. Ці процеси будуть використовуватись і в майбутньому практично без альтернативи, але з постійним покращенням результатів застосування і засобів їх отримання – автоматичних та механізованих систем та обладнання [1]

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Існує досить багато елементів для вдосконалення електродугових процесів зварювання та наплавлення основні з яких [2, 3]:

– електродні матеріали та захисні середовища;

– пасти для активізації процесів зварювання та наплавлення;

– імпульсні впливи від джерела живлення дуги;

– зварювання та наплавлення з модуляцією режимів процесу;

– застосування імпульсної подачі електродного дроту;

– використання коливань електродного дроту;

– застосування комбінованих впливів.

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Всі ці напрямки мають свої переваги, але є в них і недоліки. В цьому дослідженні ми засередимось на вдосконаленні інструментальних методів при зварюванні та наплавленні з використанням електрода що плавиться. Інструментальні методи мають два основних напрямки – з застосуванням систем самого устаткування та з залученням допоміжного обладнання.

Ми вважаємо що вдосконалення процесів наплавлення та зварювання з імпульсною подачею електродного дроту, і це підтвержує досвід розробок і впроваджень, є одним з найбільш перспективних засобів впливу на всі аспекти результатів дії вказаних електродугових технологій [4], [5]. Це стосується можливості управління геометричними розмірами наплавленого валика, зниження втрат електродного металу на чад та розбризкування і особливо на структуру метала шва чи валика що й забезпечує якісні службові характеристики дії процесів. Останнє вивчено не дуже добре і це через те що досі не до кінця відомий механізм впливу імпульсної подачі на деякі особливості формування структури наплавленого металу.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є вивчення особливостей впливу параметрів імпульсного руху електродного дроту на вигоряння легуючих елементів та його впливу на деякі механічні характеристики наплавленого металу.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Були проведені дослідження впливу частоти та шпаруватості імпульсної подачі електродного металу на перехід легуючих елементів у шар наплавленого металу. Дослідження проводилися в діапазоні частоти 10…30 Гц, та шпаруватості 3…5 одиниць, які з точки зору зниження глибини проплавлення основного металу, підвищення стабільності та зниження втрат електродного металу найбільш підходить для процесу наплавлення. Значення струму та напруги було обрано 220 А та 26 В. У дослідженнях застосовувався дріт Нп-30ХГСА, а також ЕП-690 (Св-01Х19Н18Г10АМ4), оскільки до його складу входить велика кількість різних легуючих елементів.

В якості джерела живлення дуги використовувся випрямляч з ступіпчатим перемиканням вихідної напруги для запобігання дії зайвих пульсацій на процес наплавлення.

Управління циклом наплавлення злійснювалось від нової розробки – універсального блока, який крім циклового управління забезпечує разом з механізмом

подачі на основі вентильного електропривода регульовану по всім параметрам імпульсну полачу електролного дроту. Процес наплавлення проводився в автоматичному режимі.

У цих дослідженнях для дроту Нп-30ХГСА контролювався перехід у наплавлений метал вуглецю, кремнію, марганцю, хрому. Для ЕП-690 – хрому, нікелю, марганцю та молібдену. При цьому для дроту Нп-30ХГСА виконувалося одношарове і п'ятишарове наплавлення, а для ЕП-690 тільки п'ятишарове. Наплавлення виконувалося на пластини зі сталі 09Г2С та ВСт3сп відповідно, у захисному газі CO_2 для порівнання при постійній та імпульсній подачі. Після наплавлення вирізалися зразки, вимірювання проводилися на поверхні відповідно першого та п'ятого шарів.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Хімічний склад наплавлених шарів металу визначався з використанням атомно-емісійного методу спектроскопії [5]. Результати вимірювань позначені в таблиці 1.

Таблиця 1. Масова частка легуючих елементів у наплавленому шарі

дріт Нп-30ХГСА (1 шар)				
(*f*/*S*)	*C*, %	*Cr*, %	*Mn*, %	*Si*, %
(20/5)	0,17	0,55	1,06	0,80
Постійна подача	0,17	0,63	1,10	0,87
дріт Нп-30ХГСА (5 шарів)				
(20/5)	0,21	0,98	0,84	0,78
	0,20	0,90	0,81	0,70
Дріт ЭП-690 (5 шарів)				
(*f*/*S*)	*Ni*, %	*Cr*, %	*Mn*, %	*Mo*, %
1 (20/3)	15,9	18,5	6,5	3,2
2 (40/3)	15,5	18,5	6,6	3,2
3 (60/3)	15,5	18,3	6,5	3,2
4 (20/5)	15,7	18,4	6,4	3,2
5 (40/5)	15,5	18,1	6,4	3,15
6 (60/5)	15,6	18,2	6,5	3,2
Постійна подача	15,6	18,4	6,6	3,2

В табл. 1 введені позначення (*f*/*S*) – наплавлення при частоті подачі *f* та шпаруватості *S*.

Можна зазначити, що в масовій долі легуючі елементи в складі електродного дроту по різному вигоряють і це впливає на характеристики наплавлених щарів металу.

З метою дослідження впливу параметрів імпульсної подачі електродного дроту на перехід легуючих елементів, величину відносного тепловмісту краплі електродного металу при його імпульсній і постійній подачі визначали виходячи з визначення тепловмісту краплі електродного металу *Q*:

$$Q = cm_к T_к \qquad (1)$$

де c – коефіцієнт теплопровідності; $m_к$ та $T_к$ температура електродного металу відповідно.

На основі рівняння (1) знайдемо значення співвідношення питомого тепловмісту краплі електродного металу при імпульсній з різними частотами (ε_{Q1} – для 25 Гц та ε_{Q2} – для 60 Гц) та плавній подачі

$$\varepsilon_{Q1} = \frac{cm_{кі} T_{in\ (25\ Гц)}}{cm_{кп} T_{пп}} = \frac{V_{кі} T_{in\ (25\ Гц)}}{V_{кпп} T_{пп}} \qquad (2)$$

$$\varepsilon_{Q2} = \frac{cm_{кі} T_{in\ (60\ Гц)}}{cm_{кп} T_{пп}} = \frac{V_{кі} T_{in\ (60\ Гц)}}{V_{кпп} T_{пп}} \qquad (3)$$

де $m_{кі}$, $m_{кп}$, $V_{кі}$, $V_{кп}$ – маса та об'єм краплі при імпульсній та постійній подачі електродного дроту відповідно; T_{in}, $T_{пп}$ –температури крапель електродного металу при імпульсній та плавній подачі електродного дроту відповідно.

Взявши дані табл. 1, після деяких простих перетворень рівнянь (2), (3) отримаємо співідношення:

$$\frac{V_{кі} T_{in\ (25\ Гц)}}{V_{кпп} T_{пп}} = 0,79\,, \quad \frac{V_{кі} T_{in\ (60\ Гц)}}{V_{кпп} T_{пп}} = 0,84 \qquad (4)$$

При цьому співвідношення температур при різних частотах та способах подачі буле наступним :

$$\frac{T_{in\ (25\ Гц)}}{T_{пп}} = 0,73 \qquad \frac{T_{in\ (60\ Гц)}}{T_{пп}} = 1,41$$

Таким чином, в аналітичній формі показано, що суттєве зменшення вигоряння легуючих елементів при імпульсній подачі електродного дроту пояснюється тим, що співвідношення середніх температур крапель порівняно з постійною подачею електродного дроту знаходиться в межах 0,73...1,41 і пропорційно зміні частоти подачі з 25 до 60 Гц.

Можна додати, що при вибіркових дослідженнях впливу імпульсної подачі на зміст легуючих елементів інших типів електродів для зварювання та наплавлення виявлені тиж самі тенденції.

Одним з найважливіших показникіів якості відновлювального чи зміцнюючого наплавлення деталей які мають контактний вплив тертя зношування є інтенсивність зношування.

На знощування наплавленого шару впливають в основному два чинникі – легуючи елементи в складі електродного дроту та змішування електродного металу з основним. При багатошаровому наплавленні вероґідність змішування двох металів мала і на процес зношування в основному повинен впливати зміст легуючих елементів в електродному дроті.

Слід згадати ще один чинник, який впливає на механічні характеристики наплавленого шару – це певна структурізація металу при дії імпульсної подачі електродного дроту з зменьшенням росту кристалітів та їх дезорієнтація, що сприяє підвищенню твердості наплавленого шару [6]. Це до певної міри можна

врахувати при розгляді даних табл. 1, коли в наплавлених шарах від четвертого та до п'ятого можна бачити незмінну кількість легуючих елементів навіть при зміні характеристик імпульсів подачі.

Вплив вигоряння легуючих елементів на механічні властивості наплавленого шару вивчався досить детально з наплавленням від одного до шести шарів металу.

Дослідження зносостійкості при терті металу по металу проводили на установці для комплексної оцінки властивостей наплавленого металу, розробленої в ІЕЗ ім. Е.О. Патона, за таких умов: питомий тиск у місці контакту 100 МПа; швидкість тертя 11...12 м/хв; температура кільця-контртіла 23 ± 2°С; температура на поверхні випробуваного зразка в контактній зоні 30...40 °С; час випробування 1 год. Розміри кільця-контртіла, виготовленого із загартованої сталі 45, становили: діаметр 110 мм, ширина 30 мм, товщина 20 мм; розміри зразка – 10Х20х40 мм.

Частина отриманих результатів дослідницької роботи для аналізу систематизована в табл. 2

Таблиця 2. Результати досліджень темпу зношування

№	Частота *f*, Гц	Шпаруватість *S*	К-сть шарів, *n*	Середній темп зносу, мм³/км
1	0	0	1	7,9
2	15	3	1	4,1
3	60	3	1	5,6
4	20	5	1	4,4
5	60	5	1	5,0
6	0	0	5	4,4
7	15	3	5	3,1
8	60	3	5	3,0
9	20	5	5	2,6
10	60	5	5	2,9

З аналізу табл. 2 витікає, що на зношування наплавленого відновлювального чи зміцнюючого шарів при фіксованому енергетичному режимі (струм та напруга) впливають всі параметри дугового процесу особливо імпульсний характер, який відбувається за рахунок дії систем зварювального обладнання і цей вплив на процес зношування робочого шару по параметрах добре корелюється з результатами виміру вигоряння елеметів легування.

Подача електродного дроту з необхідними для запобігання, в тому числі високим значенням інтенсивності вигоряння легуючого складу елементів, які переходять у ванну, повинна мати технічні засоби які відтворюють імпульси руху з частотою до 60 Гц і можливістю керування їх параметрами (частота, шпаруватість). Такі можливості має універсальний блок управління подачею електродного дроту, який детально представлений в ряді робіт, наприклад [7].

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дуже хороші результати отримані при використанні процесу з дозованою подачею електродного дроту [8], використання якого при цілеспрямованому налаштуванні ще більше зменьщує втрату легуючих елементів в складі наплавленого шару. При цьому вже в в третьому шарі отримано результат, який раніще (табл. 1) досягався з збільшенням кількості наплавлених шарів.

Були проведені вибіркові експеріментальні дослідження впливу деяких комбінованих впливів на зміст металу наплавлених валиків. Так наприклад застосування імпульсної подачі електродного дроту разом з модуляцією режимів дає достатньо високий результат.

Підкреслимо, що при застосуванні способів наплавлення з імпульсними алгоритмами впливу на дуговий процес з метою зниження вигоряння легуючих елементів досягаються і інщі ефекти поліпщення експлуатаційних характеристик робочої поверхні.

При впровадженні любих технологій для зміцнення поверхонь наплавленням, в тому числі і тими способами та режимами, які згадані вище треба мати на увазі проблеми, які можуть виникнути при подальшій обробці для експлуатації при необхідності.

ВИСНОВКИ

1. Серед існуючих способів вдосконалення результатів електродугового зварювання та наплавлення з використанням електрода який плавиться відокремлюються ті які є скдадовою частиною обладнання та забезпечують імпульсний вплив на дуговий процесс, зокрема імпульсну подачу дроту.

2. Імпульсна подача електродного дроту в значній мірі впливає на вигоряння легуючих елементів електродного дроту по причині зниження температури крапель які переходять в розплавлену ванну, що випливає з порівняльних досдіджень та отриманих аналітичних висновків.

3. Механічні службові характеристики наплавленого шару залежать в тому числі від змісту легуючих елементів в ньому, а зменшити процес їх викоряння можна застосовуючи процес з імпульсною подачею електродного дроту з раціонально обраними параметрами, тому система такої подачі повинна мати регулювання параметрів руху електродного дроту.

4. Регулювання впливу імпульсних алгоритмів роботи системи подачі електродного дроту на характеристики наплавлених шарів з точки зору перспективи використання може бути посилено як застосуванням нових технічних засобів так і використанням комбіновапих впливів.

REFERENCES

[1] Bykovskiy O.G. (2014). Spravochnik svarshchika [Welder's Handbook]. Kyiv: Osnovaniye [in Ukrainian].

[2] Smallman R. E., & Bishop Ray J. (1999). Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering: Science, Process, Application. Butterworth: Heinemann.

[3] Lebedev V.A., Tishchenko V.A., & Brykov M.M. (2022). Izucheniye osobennostey mekhanizirovannoy elektrodugovoy naplavki speriodicheskim izmeneniyem rezhimov protsessa [Study of the features of mechanized electric arc surfacing with periodic change of process modes]. Novyye materialy i tekhnologii v metallurgii i mashinostroyenii №1 - New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering #1. 62-69 [in Ukrainian].

[4] Vladimir Lebedev, Sergei Loy, Andrey Labartkova, & Gennadi Zhuk. (2021). Operational Characteristics of Welding Joint and Overlay at Mechanized Arc Welding- Overlay with Pulse of Electrode Wire Supply. BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY SCIENCES, vol.15, no.3. 19-26

[5] Lebedev V.A., Zhuk G.V., & Brykov M.M. (2022). Ekspluatatsionnyye kharakteristiki konstruktsiy iz nikel'soderzhashchikh staley pri mekhanizirovannoy svarke – naplavke s modifitsirovannoy (dozirovannoy) impul'snoy podachey elektrodnoy provoloki [Operational characteristics of structures made of nickel-containing steels during mechanized welding - surfacing with modified (dosed) pulse feeding of the electrode wire]. Novyye materialy i tekhnologii v metallurgii i mashinostroyenii №1 - New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering #1. 36-48 [in Ukrainian].

[6] Lebedev V.A., Loy S.A., & Khalimovskiy O.M. (2022). Tekhnologicheskiye i tekhnologicheskiye Im-pacts na kristallizatsii pri avtomaticheskom i mekhanizirovannom elektricheskom soyedinenii sverleniya. Scientific Journal of The Ternopil National Technical University №3. 29-44 [in Ukrainian].

[7] Lebedev V., & Zhuk G. (2019). Novaya sistema elektroprovoda setevogo upravleniya, prednaznachennaya dlya mekhanizirovannoy elektricheskoy vlazhnosti i surfacing [New system of electrode wire control, supply for mechanized electric welding and surfacing]. Problemy svarki i rodstvennykh *tekhnologiy. Materialy Vseukrainskoy konferentsii 17-19 sentyabrya – Problems of* welding and related technologies. Materials of the All-Ukrainian conference. September 17-19. 34-35 [in Ukrainian].

[8] Lebedev V.A., Zhuk G.V., Dragan S.V., & Gal' A.F. (2019). Sposob elektrodugovoy svarki s dozirovannoy impul'snoy podachey elektrodnoy provoloki [The method of electric arc welding with metered pulse feeding of the electrode wire]. Patent na poleznuyu model' № 135190. Publikatsiya svedeniy 25.06.2019. Byul. №12 - Utility model patent No. 135190. Publication of information on June 25, 2019. Bul. No. 12 [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Биковський О.Г. (2014) Довідник зварника. Основа.

[2] Smallman R. E., Bishop Ray J. (1999). Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering: Science, Process, Application. Butterworth: Heinemann.

[3] Лебедєв В.О., Тищенко В.О., Бриков М.М. (2022). Вивчення особливостей механізованого електродугового наплавлення з періодичною зміною режимів процесу. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні № 1. 62-69.

[4] Vladimir Lebedev, Sergey Loy, Andrey Labartkava, Gennady Zhuk. (2021). Operational Characteristics of the Welding Joint and the Overlay at the Mechanized Arc Welding- Overlay with Pulse of the Electrode Wire Supply. BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY SCIENCES, vol. 15, no. 3. 19-26.

[5] Лебедєв В.О., Жук Г.В ., Бриков М.М. (2022). Експлуатаційні характеристики конструкцій з нікельвмісних сталей при механізованому зварені – наплавленні з модифікованою (дозованою) імпульсною подачею електродного дроту. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні № 1. 36-48.

[6] Lebedev V.A., Loy S.A., Khalimovskyy O.M. (2022). Technical and Technological Im-pacts on Crystallization during Automatic and Mechanized Electric Arc Welding-Surfacing. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University № 3. 29-44.

[7] Lebedev V., Zhuk G. (2019). New system of electrode wire control, supply for mechanized electric welding and surfacing. Проблеми зварювання та споріднених технологій. Матеріали Всеукраїнської конференції. 17-19 вересня. 34-35.

[8] Лебедєв В.О., Жук Г.В., Драган С.В., Галь А.Ф. (2019). Спосіб електродугового зварювання з дозованою імпульсною подачею електродного дроту. Патент на корисну модель № 135190. Публікація відомостей 25.06.2019. Бюл. № 12.

© Лебедєв В. А., Єрмолаєв Г. В., Спіхтаренко В. В., Лой С. А.
Дата надходження статті до редакції: 13.11.2023
Дата затвердження статті до друку: 21.11.2023