



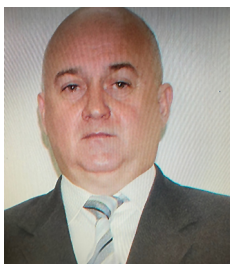
Vladimir A. Lebedev
Лебедев Володимир Олександрович



Victor A. Tishchenko
Тищенко Віктор Олексійович



Vladimir V. Spiharenko
Спіхтаренко Володимир Володимирович



Serhii A. Loi
Лой Сергій Анатолійович

УДК 621.314.26

CHARACTERISTICS OF MULTI-LAYER DEPLOYMENT USING MODULATION OF ARC PROCESS PARAMETERS

ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОШАРОВОГО НАПЛАВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДУЛЯЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ДУГОВОГО ПРОЦЕСУ

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2022.1\(16\).02](https://doi.org/10.15589/smi2022.1(16).02)

Vladimir A. Lebedev¹ Лебедев Володимир Олександрович, проф.
valpaton@ukr.net
ORCID ID: 0000-0003-0391-6113

Victor A. Tishchenko² Тищенко Віктор Олексійович, провідний інженер
Irvik1947@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-6081-8531

Vladimir V. Spiharenko³ Спіхтаренко Володимир Володимирович, доцент
vladimir.kherson11@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-6328-9791

Serhii A. Loi⁴ Лой Сергій Анатолійович, доцент, старший викладач
welding.kherson@nuos.edu.ua
ORCID ID: 0000-0002-1936-6390

^{1, 3, 4} *Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National Shipbuilding University, Kherson*

Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон

² *E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

Abstract. Surfacing is mainly used to restore units that have already been in operation and thereby extend their service life. Among the surfacing methods, two main directions can be noted, which are implemented due to pulsed and modulated algorithms for influencing the arc process. First of all, these are methods that affect the operation of the welding power source with a periodic change in the output voltage and the electrode wire supply system with the ability to control the welding current – surfacing. The purpose of the work is to improve the operational characteristics of surfacing through the implementation of pulsed and modulated methods of influencing the arc process. This paper presents studies and analysis of the characteristics of the metal in the zone between the deposited beads, as well as in the zone of multilayer surfacing with an assessment of their influence on the operational capabilities of units and parts when using surfacing with modulated modes. To carry out the research program, a set of equipment consisting of an A-874N automatic machine with a VDU-506 rectifier was chosen. The modulation of the mode parameters was carried out with the help of an experimental attachment modulator OI-10 – designed by the PWI. E.O. Paton by either periodically changing the rotational speed of the drive motor shaft of the electrode wire feed mechanism, or by synchronizing the effect on the electrical control circuits of the power source and the electric drive of the

electrode wire feed motor. The modulator has two control channels – for the electric drive of the electrode wire feed mechanism, as well as for setting the levels of the maximum and minimum output voltage and the maximum and minimum speeds of the drive motor shaft and, accordingly, the welding current. Surfacing of prototypes was carried out with highly alloyed flux-cored self-shielding electrode wire PP-AN-140 with a diameter of 2.0 mm. Surfacing was performed on standard specimens made of tool steels, mainly from materials of stamping tools. The deposited layer was tested for wear resistance. The microhardness and microstructure of the obtained layer were studied. The results of the study showed that the use of modulated current when surfacing a wear-resistant layer makes it possible to increase the wear resistance indicators, while the modulation of the arc process modes improves both the wear resistance indicators and the hardness indicators.

Key words: welding; arc surfacing; electrode wire; modulation of modes; metal structure; modulated current; analysis.

Анотація. Наплавлення застосовується в основному для відновлення вузлів, що вже перебували в експлуатації, і тим самим продовжують термін їх експлуатації. Серед способів наплавлення можна відзначити два основних напрямки, які реалізуються за рахунок імпульсних і модульованих алгоритмів впливу на дуговий процес. Це насамперед способи, що впливають роботу джерела зварювального струму з періодичною зміною вихідної напруги та системи подачі електродного дроту з можливістю управління струмом зварювання – наплавлення. Метою роботи є підвищення експлуатаційних характеристик наплавлення за рахунок реалізації імпульсних та модульованих методів на дуговий процес. У даній роботі наведено дослідження та аналіз характеристик металу в зоні між наплавленими валиками, а також у зоні багат шарового наплавлення з оцінкою їх впливу на експлуатаційні можливості вузлів та деталей при використанні наплавлення з модульованими режимами. Для проведення програми досліджень було обрано комплекс обладнання у складі автомата А-874Н з випрямлячем ВДУ-506. Модуляція параметрів режиму проводилася за допомогою дослідної приставки модулятора ОИ-10 – конструкції ІЕЗ ім. Є.О. Патона шляхом періодичної зміни частоти обертання валу приводного електродвигуна механізму подачі електродного дроту, або синхронізованого впливу на електричні ланцюги управління джерела живлення та електроприводу двигуна подачі електродного дроту. У модуляторі є два канали управління – для електроприводу механізму подачі електродного дроту, а також заданням рівнів максимальної та мінімальної вихідної напруги і максимальної та мінімальної частот обертання валу приводного електродвигуна і відповідно струму зварювання. Наплавлення дослідних зразків проводилося високолегованим порошковим самозахисним електродним дротом ПП-АН-140 діаметром 2,0 мм. Наплавлення виконували на стандартних зразках, виконаних з легуваних конструкційних сталей, переважно матеріалів штампного інструменту. Наплавлений шар випробовувався на зносостійкість. Вивчалася мікротвердість та мікроструктура отриманого шару. Результати дослідження показали, що використання модульованого струму при напавленні зносостійкого шару дозволяє збільшити показники зносостійкості, при цьому модуляція режимів дугового процесу дозволяє поліпшити показники зносостійкості, так і показники твердості.

Ключові слова: зварювання; дугове наплавлення; електродний дріт; модуляція режимів; структура металу; модульований струм; аналіз.

References

- [1] Ryabtsev, I.A., i Senchenkov, I.K. (2013). Teoriya i praktika naplavochnyih rabot [Theory and practice of surfacing], Kyiv, EkotehnologIya.
- [2] Pohodnya, I.K., Shlepakov, V.N., Maksimov, S.Yu., i Ryabtsev, I.A. (2010). Issledovaniya i razrabotki IES im. E.O.Patona v oblasti elektrodugovoy svarki i naplavki poroshkovoy provolokoy (Obzor), [Research and development of IES them. E.O. Paton in the field of electric arc welding and surfacing with flux-cored wire (Review)], Avtomaticheskaya svarka. #12.
- [3] Vagner, F.A. (1980). Oborudovanie i sposobyi svarki pulsiruyushey dugoy, [Equipment and methods for pulsed arc welding], Moscow, Energiya.
- [4] Lebedev, V.A. i Tischenko, V.A. (1997). O vyibore oborudovaniya dlya naplavki pulsiruyushey dugoy matrity shtampov, [On the choice of equipment for surfacing with a pulsed arc of die matrices], Avtomaticheskaya svarka #8.

- [5] Lebedev, V. A., Dragan, S. V., i Goloborodko, Zh. G. (2014). Tehnologicheskie karakteristiki avtomaticheskoy naplavki pod flyusom s vyisokochastotnymi kolebaniyami elektroda, [Technological characteristics of automatic submerged arc surfacing with high-frequency oscillations of the electrode], Avtomaticheskaya svarka # 8.
- [6] Lebedev, V.A. (2020). Ispolzovanie upravlyaemykh parametrov podachi elektrodnoy provoloki i kolebaniy vannyi kak dinamicheskikh sistem dlya sovershenstvovaniya dugovykh protsessov svarki i naplavki, [Use of controlled parameters of electrode wire feed and pool vibrations as dynamic systems for improving arc welding and surfacing processes], TehnIchnI nauki ta tehnologIYi. ChernIglv #3.
- [7] Solodskiy, S.A., Lugovtsova, N.Yu. i Borisov, I.S. (2015). Tehnologiya MIG-MAG svarki s nizkochastotnoy modulyatsiey toka, [MIG-MAG welding technology with low-frequency current modulation], Tehnologii i materialyi.
- [8] Ryabtsev, I. I., Chernyak, Ya.P., i Osin, V.V. (2004). Blochno-modulnaya ustanovka dlya ispytaniy naplavlennogo metalla, [Block-modular installation for testing deposited metal], Svarschik # 1.
- [9] Reysh, A.K. (1986). Povyshenie iznosostoykosti stroitelnykh i dorozhnykh mashin, [Improving the wear resistance of construction and road machines], Moscow, Mashinostroenie.
- [10] Kuskov, Yu. M., Lebedev, V.A., Ryabtsev, I.A., Poddubinskiy, A.I. i Shapran, R.V. (2005). Vosstanovlenie krupnogabaritnykh detaley oborudovaniya, [Recovery of large equipment parts], Avtomaticheskaya svarka #10.
- [11] Derzhstandart Ukrainy 2007, Materialy metalevi. Vyznachennia tverdosti za Vikkersom. Chastyna 1. Metod vyprobuvannia (ISO 6507-1:2005, IDT), DSTU ISO 6507-1:2007, Derzhstandart Ukrainy, Kyiv.

Електродугові механізовані та автоматичні процеси зварювання з використанням електрода, що плавиться, є одним із базових для вирішення задач зварювання, адитивного відновлення та зміцнення вузлів та деталей машин та механізмів у різних галузях промисловості та будівництва. При цьому якщо зварювання, як правило, використовується при створенні нових об'єктів, то наплавлення в більшості випадків – для відновлення вузлів, що вже перебували в експлуатації, і тим самим продовжується термін їх експлуатації, що значною мірою відбивається на економічних показниках роботи вузла та обладнання в цілому.

Електродугове наплавлення, що виконується механізованим або автоматичним обладнанням із застосуванням спеціальних електродних дротів, зокрема порошкових самозахисних, поширена досить широко і дозволяє вирішувати велике коло завдань у промисловості, будівництві, сільському господарстві при забезпеченні працездатності та продовженні терміну служби технічних систем.

Обладнання та технологічні прийоми наплавлення постійно вдосконалюються, що зазначено у технічній літературі, наприклад [1], [2]. При цьому велика увага приділя-

ється розробкам, що дозволяють підвищити експлуатаційні характеристики деталей, знизити витрати на проведення робіт та обладнання.

Можна позначити кілька напрямків покращення механізованих та автоматичних процесів електродугового адитивного (відновлювального та зміцнюючого) наплавлення вузлів та деталей. Майже всі з них пов'язані зі зміною термічного циклу від горіння дуги. Це забезпечується низкою способів організації процесу наплавлення. Серед них можна відзначити два основних напрямки, що реалізують імпульсні та модульовані алгоритми впливу на дуговий процес. Насамперед, це способи, що впливають на роботу джерела зварювального струму з періодичною зміною вихідної напруги [3] або систему подачі електродного дроту з можливістю управління струмом зварювання – наплавлення [4].

Існує ряд інших способів, що забезпечують періодичну зміну параметрів дугового процесу. Основні з них пов'язані з механічними системами зварювального автоматичного устаткування. Наприклад відзначимо процеси наплавлення з коливаннями зварювального інструменту – пальника з низкою ефектів, зазначених у роботі [5].

Цікавим є процес наплавлення з керованими коливаннями наплавленого виробу, який дозволяє отримати модуляцію зварювального струму з частотою коливань виробу. При цьому модуляція забезпечується за рахунок зміни вольту електродного дроту, а коливання виробу забезпечують постійний рух рідкої ванни. При цьому суттєво змінюються процеси кристалізації, забезпечується дегазація ванни та полегшується вихід інтерметалідів [6]. Порівняльні мікроструктури шліфів наплавлених у такий спосіб представлені на рис. 1.

Ці два способи наплавлення досить ефективні з точки зору отримання якісного наплавленого металу, а крім цього сприяють отриманню додаткового ефекту, який полягає у значному розширенні поперечних розмірів наплавленого валика. До недоліків такого способу наплавлення відноситься відносно велика складність і висока вартість обладнання. Крім зазначеного, ці способи можуть ефективно працювати тільки у складі наплавочних автоматів та спеціалізованих установок. Додатково можна вказати, що способи коливання зварювального інструменту або виробу можуть бути конструктивно реалізовані із застосуванням будь-яких типів джерел зварювального струму та систем подачі електродного дроту, що зумовлює простоту зварювальної частини обладнання.

Найбільш простими і досить легко реалізованими є системи модуляції режимів наплавлення автоматів і напівавтоматів з періодичною зміною напруги і струму за рахунок використання керованих джерел зварювального струму і регульованих електроприводів механізмів подачі електродного дроту шляхом зміни їх вихідних параметрів.

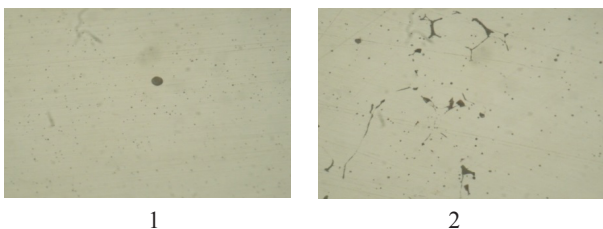


Рис. 1. Мікроструктури (x200) наплавленого металу: 1-при наплавці звичайним способом; 2-з управляючими коливаннями наплавленого виробу

Можливий і досить ефективний одночасний вплив на ланцюги завдання, можливо з деяким зрушенням у часі через різну інерційність систем живлення дуги та подачі електродного дроту.

Електродугові процеси з модуляцією силових режимів – струму та напруги досить добре вивчені та описані в технічній літературі та періодиці, наприклад [7]. При цьому в основному досліджуються впливи параметрів модуляції на експлуатаційні характеристики наплавлених покриттів з виявленням структури наплавленого металу та її впливу на механічні властивості металу валиків. Часто для забезпечення необхідної товщини покриття застосовують багатошарову наплавку (2...3 шари).

Зазвичай для зменшення частки основного металу в наплавленому застосовують режими дугового процесу зі зниженим зварювальним струмом до величини, яка забезпечує стійке горіння дуги. При одношаровому наплавленні використання таких режимів зменшує частку основного металу до 0,3...0,45. При поперечному коливанні електрода ця частка може бути зменшена до 0,25. При застосуванні модульованих режимів наплавлення цей показник може бути знижений. Для подальшого зменшення присутності основного металу наплавлення слід вести в 2...3 шари.

Важливо помітити, що метал між наплавленими валиками, а також у різних зонах багатошарового покриття має особливу структуру. Ця структура носить характер, у тому числі електродного матеріалу і неминучих включень неметалічних з'єднань. Така структура, на нашу думку, досліджена недостатньо у частині впливу способу наплавлення на характеристики наплавленого металу і вимагає розширення відомостей у цьому напрямку.

Є ще інші особливості формування структури наплавленого металу які обумовлені модульованим впливом.

Метою даної роботи є дослідження та аналіз характеристик металу в зоні між наплавленими валиками, а також у зонах багатошарового наплавлення з оцінкою їх впливу на експлуатаційні можливості вузлів

і деталей при використанні наплавлення з модуляцією режимів.

Для проведення програми досліджень було обрано комплекс обладнання у складі автомата А-874Н з випрямлячем ВДУ-506М. Модуляція параметрів режиму проводилася за допомогою дослідної приставки модулятора ОИ-10 конструкції ІЕС ім. Е.О. Патона шляхом або періодичної зміни частоти обертання валу приводного електродвигуна механізму подачі електродного дроту, або синхронізованого впливу на електричні ланцюги управління джерела живлення та електроприводу двигуна подачі електродного дроту. Останнє є кращим, тому що в цьому випадку для кожного рівня швидкості подачі (зварювального струму) може бути обраний відповідний рівень напруги. На рис. 2 представлений графічний алгоритм функціонування обладнання наплавлення з модуляцією режимів дугового процесу.

У цьому алгоритмі враховані часи розгону t_p та гальмування t_m швидкості подачі електродного дроту, а отже і струму дугового процесу. Сучасні електроприводи мають високі динамічні властивості та часи розгону і гальмування, а отже, наростання струму є мінімальні та в деяких випадках можуть не враховуватися.

За аналогією зі швидкістю подачі електродного дроту може змінюватися по заздалегідь встановленим алгоритмам і напруга джерела зварювального струму.

У модуляторі є два канали управління – для електроприводу механізму подачі електродного дроту, а також датчики рівнів максимальної та мінімальної вихідної напруги

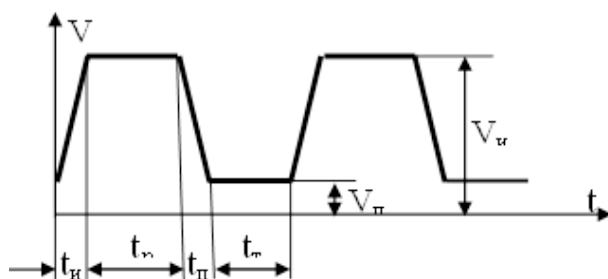


Рис. 2. Графічний алгоритм імпульсної швидкості подачі дроту ($V_{и}$, $V_{п}$ – швидкості руху в імпульсі і паузі відповідно; $t_{и}$, $t_{п}$, $t_{м}$ – час руху в імпульсі, паузі, при розгоні і гальмуванні відповідно)

та максимальної та мінімальної частот обертання валу приводного електродвигуна і відповідно струму зварювання.

У дослідницьких експериментах для різних процесів і різних режимів наплавлення використовувалася наплавка високолегованим порошковим самозахисним електродним дротом ПП-АН-140 діаметром 2.0 мм.

Наплавлення виконували на стандартних зразках, виконаних з легованих конструкційних сталей (сталь 45), переважно матеріалів штампного інструменту.

Випробування на зносостійкість при терті проводили на установці для комплексної оцінки властивостей наплавленого металу, розробленої в ІЕС ім. Е. О. Патона [8], 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, ширина – 30, товщина – 20 мм; розміри зразка – 10×20×40 мм.

Зносостійка наплавка підвищує термін служби виробів у кілька разів і дозволяє багаторазово відновлювати зношені деталі. При цьому багат шарове наплавлення забезпечує суттєве збільшення показників зносостійкості. До цього можна додати, що використання модульованих режимів наплавлення в багат шарових процесах відновлення та зміцнення вузлів і деталей дозволяє ще більше збільшити значення характеристик працездатності.

Деякі характерні результати досліджень на зносостійкість при напавленні на різних режимах і різними способами представлені в табл. 1. Під номерами 1 і 6 наведені результати досліджень при напавленні стаціонарною дугою в один і три шари відповідно, а решта результатів відповідають дослідженням модульованих процесів з різними параметрами модуляції. Для кожного варіанту дослідження виконувалася ряд вимірів, деякі з яких представлені в таблиці.

Дослідження мікроструктури напавленого металу проводилася на зразках напавлених на режимах: стаціонарною дугою:

струм наплавлення – 220...240 А, напруга – 24...26 В, швидкість наплавлення – 10 м/год. Наплавлення модульованим струмом на режимах стаціонарного процесу виконувалось з частотами пульсації 1,1 та 0,5 Гц. Наплавлення проводилося «гіркою» в три шари з перекриттям валиків за схемою 4-3-2 валики. Ці характеристики вибиралися такими, щоб процес наплавлення протікав досить стабільно, а формування валиків мало задовільний характер.

Зразки для досліджень готувалися на високошвидкісних полірувальних кругах із застосуванням алмазних паст різної дисперсності.

Виявлення мікроструктури поперечних перерізів наплавлених валиків проводилося шляхом хімічного травлення у 4% розчині азотної кислоти у спирті.

Дослідження зразків здійснювалося на оптичних мікроскопах Neophot 21 та Polyvar зі збільшенням від 50 до 500. Фото мікрошліфів виконували за допомогою цифрової камери Olympus.

З результатів аналізу досліджень, наведених у табл. 1 слід, що наплавлення з застосуванням модульованого струму, в тому числі при багат шаровому наплавленні, забезпечує досить велике підвищення показників зносостійкості як шаруванням покриттів так певними параметрами модуляції. На рис. 3 представлені порівняльні характерні мікроструктури наплавленого металу у зоні пошарового формування металу.

Металографічні дослідження показують, що наплавлений в кілька шарів модульованим струмом з частотою 0,5 Гц метал,

має структуру велико-гольчастого мартенситу. Ділянка з такою структурою ширша і розмір голок мартенситу більший ніж у випадках а, б (рис. 3).

Мікротвердість, згідно ДСТУ ISO 6507-1:2007 [11] в області накладання шарів з багаторазовим виміром наведена у табл. 2.

Металографічні дослідження показали, що на пошарову неоднорідність впливає метод і режими наплавлення. Так при наплавленні модульованим струмом із частотами 0,5 Гц 1,1 Гц змінюється область перекристалізації. Структура металу змінюється від дрібногольчастої до великогольчастої.

На вигляд структури наплавленого металу (рис. 4), на нашу думку, впливає той факт, що шари взаємопідплавляються, тобто відбувається плавлення металу двічі.

Можна зауважити, що формування структури наплавленого металу в шарах відрізняється своєрідністю та впливає на експлуатаційні властивості виробу.

Зона перекриття наплавлених валиків представляє особливий інтерес, оскільки формується як рахунок безпосереднього дугового процесу та і рахунок непрямого нагріву, який йде паралельно дуговому процесу. Від параметрів зони перекриття наплавлених валиків залежить, в тому числі, і відстань між осями валиків, а, отже і продуктивність процесу наплавлення.

Металографічні дослідження області перекриття досліджувалися на зразках, вирізаних із середньої частини перекриття.

Область перекриття валиків, наплавлених стаціонарною дугою і модульованим

Таблиця 1. Результати порівняльних досліджень зносостійкості за різних способів наплавлення

№	Частота f , Гц	Скважність, S	Кількість шарів, n	Темп зносу (зразок № 1), мм ³ /км	Темп зносу (зразок №2), мм ³ /км	Темп зносу (зразок № 3), мм ³ /км	Середній темп зносу, мм ³ /км
1	-	-	1	6,8	7,5	7,6	7,3
2	1	3	1	3,8	4,0	3,6	3,8
3	2	3	1	6,5	6,9	6,4	6,6
4	1	5	1	4,4	4,1	4,1	4,2
5	2	5	1	5,9	5,4	6,1	5,8
6	-	-	3	3,5	3,7	4,5	3,9
7	1	3	3	3,1	3,3	3,2	3,2
8	2	3	3	3,9	3,2	3,1	3,4
9	1	5	3	2,8	2,5	2,8	2,7
10	2	5	3	3,4	3,0	3,5	3,3



Рис. 3. Мікроструктура X200 наплавленого металу в зоні пошарового накладання валиків: а – стаціонарна дуга; б – модульований струм: б – частота 1,1 Гц; в – частота 0,5 Гц

струмом, являє собою мартенситну матрицю із залишковим аустенітом у вигляді фрагментів вздовж меж кристалітів.

Ширина перекриття при наплавці стаціонарною дугою складає 250 мкм, а при наплавці модульованим током при досліджених частотах 0,5 і 1,1 Гц збільшується до 300 мкм.

Мікроструктура металу в зоні перекриття валиків представлена на рис. 4.

Мікротвердість зони, виміряна багатократно в різних точках, в тому числі по лініях зіткнення перекриття валиків, представлена в табл. 3.

Можна відзначити, що мікротвердість зони перекриття валиків залежить від параметрів модуляції, зокрема від частоти модуляцій режиму і може істотно перевищувати показники, які визначаються при наплавці стаціонарною дугою.

Зона перекриття наплавлених валиків, як стаціонарною дугою, так і модульованим струмом характеризується змішуванням наплавлених металів, які піддалися при напавленні попереднього валика, структурної зміни зі збільшеними показниками зносостійкості.

У технічній літературі, наприклад [9], а також наших дослідженнях зазначено, що зазвичай у місцях перекриття наплавлених валиків метал має неоднорідну твердість по довжині та глибині металопокриття, що знижує зносостійкість напавлення стаціонарною дугою.

Для з'ясування впливу напавлення з модуляцією режимів був проведений цикл цілеспрямованих порівняльних експери-

Таблиця 2. Величини мікротвердості наплавленого металу

Режим напавлення	Мікротвердість, HV ₅₀ , МПа
Стаціонарна дуга	4590, 4640, 4420, 4210, 4250, 4420, 4210, 4590
Модульований струм 1,1 Гц	4370, 4370, 4370, 4460, 4210, 4210
Модульований струм 0,5 Гц	4590, 4880, 4780, 4880,



Рис. 4. Мікроструктура (X100) наплавленого металу в зоні перекриття валиків: а – стаціонарна дуга; б – модульований струм, частота 1,1 Гц; в – модульований струм, частота 0,5 Гц

Таблиця 3. Величини мікротвердості металу в зоні перекриття валиків

Режим напавки	Мікротвердість, HV ₅₀ , МПа
Стаціонарна дуга	4590, 4960, 4960, 4880
Модульований струм 1,1 Гц	5420, 5140, 4880, 5140, 5140, 4880
Модульований струм 0,5 Гц	4380, 4690, 4480, 4210

ментальних досліджень з виявленням однорідності твердості наплавленого валика при різних способах і режимах напавлення.

Вибір точок вимірювання мікротвердості проводився по всій поверхні місць перекриття наплавленого металу, причому розташування точок практично копіювалося для кожного зразка. Результати вимірювань показані у табл. 4.

Аналіз даних, що наведені в табл. 4, дозволяє укласти, що варіації величин мікротвердості металу при напавленні модульованим струмом істотно нижче, ніж при застосуванні стаціонарного режиму. Це свідчить про дієвість впливу модульованого режиму напавлення в зоні перекриття валиків.

Можна відзначити, що менший розкид твердості забезпечує більшу зносостійкість.

Таблиця 4. Величини мікротвердості металу в зоні перекриття валиків по всій поверхні наплавлення

Режим наплавки	Мікротвердість, HV ₅₀ МПа
Стационарна дуга	4310, 4380, 4490, 4670, 4260, 4280, 4480, 4760, 4880, 4680
Модульований струм 1,1 Гц	5220, 5140, 4990, 5140, 5140, 5150, 4980, 4980, 5120, 5019
Модульований струм 0,5 Гц	4780, 4690, 4580, 4570, 4580, 4680, 4690, 4770, 4650, 4690

Це може мати велике значення, оскільки найчастіше при шліфуванні наплавленої поверхні саме зони перекриття забезпечують принаймні стабільну зносостійкість.

Технологія наплавлення модульованим струмом із застосуванням результатів викладених у цій роботі з вибору параметрів, що впливають на зносостійкість багат шарового покриття була з успіхом застосована при відновленні робочих органів екскаваторів, металопрокатного та суднового обладнання, а також сільськогосподарської техніки та ін.

Докладніше розглянемо проблеми забезпечення працездатності великогабаритних вузлів та деталей гірничодобувної та гірничопереробної техніки [10]. Завдання продовження ресурсу роботи дуже важливі, оскільки пов'язані з значним енерго-ресурсом споживанням. Так, вихід з ладу конуса дробильного агрегату, призначеного для отримання залізоутримуючої руди внаслідок зношування посадкових і різьбових місць веде до заміни самого конуса на новий, вартість якого може досягати кілька мільйонів гривень.

Термін експлуатації дробарок становить кілька років. За цей період зношуються не тільки робочі, але і менш навантажені поверхні. До таких деталей належить вал конуса. Виходить з ладу і частина валу з напоглигивим різьбленням, на якому підвішений конус. Спроби відновити такі деталі ручним дуговим наплавленням призводять до появи у наплавленому металі сітки тріщин.

Наприклад на рис. 5 показано робоче місце для багат шарового наплавлення із застосуванням напівавтомата ПШ107В укомплектованого джерелом зварювального струму ВДУ506М.

Для наплавлення використовуються порошкові дроти, що дозволяють наплав-



1 2 3

Рис. 5. Наплавка валу напівавтоматом ПШ107В: 1 – блок модулювання швидкості подачі електродного дроту; 2 – напівавтомат; 3 – наплавка порошковими дротами

ляти зносостійкий метал з високими механічними показниками. Застосування модуляції при багат шаровому наплавленні дозволило додатково покращити процес формоутворення наплавлених валків – вони стали істотно більш рівномірними, що полегшує і прискорює процес їх механічної обробки. Виключено стікання металу при наплавленні горизонтальних валиків на вертикальній площині, що є досить складним завданням для зварника. Підвищено експлуатаційні властивості відновлених поверхонь.

В даний час відновлено кілька валів, які успішно експлуатуються на гірничо-збагачувальних комбінатах Криворіжжя. Витрати на відновлення валів конусів не перевищує 30% вартості нових конусів, при цьому термін служби відновлених конусів не менше нормативного терміну служби нового конуса.

Висновки

1. Вперше запропоновано та успішно реалізовано процес багат шарового наплавлення порошковим електродним дротом з застосуванням керованих модульованих впливів.

2. В експериментальному режимі визначено параметри модуляції зварювального струму, які впливають на характеристики результатів наплавлення та вибрано такі з них, які покращують характеристики наплавлених валиків та їх механічні властивості.

3. Наплавлення з застосуванням модульованого струму, в тому числі при багат-

шаровому наплавленні, забезпечує досить велике підвищення показників зносостійкості як шаруванням покриттів так певними параметрами модуляції. При наплавленні матриць штампового інструменту час його роботи збільшився на 30...50 %.

4. Застосування модуляції режимів впливає на структуру металу в зоні багат шарового покриття та в області перекриття валиків. При цьому при багат шарово-

му наплавленні ще більше збільшуються взаємопов'язані показники зносостійкості та твердості

5. Застосування електродугового наплавлення з модуляцією режимів дозволяє стабілізувати часи утворення та кристалізації зварювальної ванни, впливає на структуру металу валика, що сприяє покращенню формування зварного шва та підвищенню експлуатаційних властивостей

© Лебедєв В.О., Тищенко В.О., Спіхтаренко В.В., Лой С.А.

Дата надходження статті до редакції: 18.04.2022

Дата затвердження статті до друку: 13.09.2022