

УДК 621.314.26

DOI [https://doi.org/10.15589/znpp2024.1\(494\).4](https://doi.org/10.15589/znpp2024.1(494).4)**SYSTEMATIC APPROACH TO CHOOSING THE PARAMETERS
OF THE FUSION MODE****СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ПРИ ВИБОРІ ПАРАМЕТРІВ
РЕЖИМУ НАПЛАВЛЕННЯ****Volodymyr A. Lebedev**

valpaton@ukr.net

ORCID: 0000-0003-0391-6113

Gennadii V. Ermolaev

ermolaevnuk@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8903-5669

Volodymyr V. Spichtarenko

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,

д-р техн. наук, професор

Г. В. Єрмолаєв,

канд. техн. наук, професор

В. В. Спихтаренко,

доцент

С. А. Лой,

доцент

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

Abstract. Modern technologies of electric arc surfacing are aimed at increasing the operational (functional) properties of surfacing objects, which include strength, wear resistance, corrosion resistance and a number of other indicators. The article deals with the issue of surfacing the working surfaces of machines and mechanisms for the purpose of their modification during restoration and strengthening. To increase the service life of machine parts, it is necessary to ensure the formation of metal layers on their working surface, which have a high level of corrosion resistance at high temperatures, wear resistance, hardness, heat resistance, etc. Determine the advantages and disadvantages of methods of recovery and strengthening. There are a number of technical and technological solutions for the implementation of modulated modes for mechanized and automatic equipment. This is a periodic change in the voltage of the welding current source and a periodic change in the feed rate of the electrode wire. To evaluate the set of results obtained when applying the modulation of the arc process modes, a large number of surfacings were performed on flat samples of St 45 steel using an A574N surfacing machine equipped with a VDU-504 welding current source. In all experiments, powder self-protective electrode wire PP-AN140 was used. Other brands of steel were also used for comparison. Part of the cycle of experimental research was carried out on samples from the materials of the stamping tool. In this work, the results of surfacing coatings with an electrode wire obtained using a specially developed modulator were considered. The influence of modulation parameters on the formation of the deposited layer, hardness, content for each element was determined. The main dependencies of this influence are revealed. It has been proven that the use of a modulated process of mechanized electric arc surfacing with an electrode that melts with controlled parameters is an effective way of influencing almost all characteristics of surface modification. It is possible to note the change in the geometric dimensions of the cross-sections of the welded rollers when the frequency of modulation and stiffness of the modes of arc processes are changed. The pulsed nature of arc burning during flux cored welding affects the formation of the microstructure of the deposited metal. the peculiarities of the thermal cycle during surfacing with a modulated current compared to surfacing with a stationary arc cause inhibition of the process of formation of large crystals. Selection of effective modulation parameters can be implemented using the methodology of a system approach. The work highlights the ways of scientific research regarding the further implementation of the method of mechanized electric arc surfacing with an electrode that melts with current or voltage modulation based on a systematic methodical approach. It is proposed to consider the influence of various parameters of the modulated influence as a system, and for effective analysis, apply the method of decomposition to it with the possibility of isolating individual independent elements. A new method of modulation based on the use of additional modulators is proposed. The method is explained on the basis

of the structural diagram of the device, which implements this method to facilitate the selection of effective parameters of influence. Data that determine the range of two-mode modulation control are determined from experimental studies. The use of this surfacing method with the simultaneous use of two modulation modes, which are switched with a given algorithm, allows to ensure the use of the surfacing process in wider ranges with the adjustment of the geometric characteristics of the surfacing roller, its structure and content in terms of chemical elements.

Key words: arc surfacing; powder wire; modulation; parameters; system approach.

Анотація. Сучасні технології електродугового наплавлення спрямовані на підвищення експлуатаційних (функціональних) властивостей об'єктів наплавлення, до яких можна віднести міцність, зносостійкість, стійкість проти корозії та цілий ряд інших показників. У статті розглядаються питання наплавлення робочих поверхонь машин та механізмів з метою їх модифікації при відновленні та зміцненні. Для підвищення строку служби деталей машин необхідно забезпечити на їх робочій поверхні утворення шарів металу, які мають високий рівень корозійної стійкості при високих температурах, зносостійкості, твердості, жаростійкості та інше. Визначити переваги та недоліки способів відновлення та зміцнення. Існує ряд техніко – технологічних рішень реалізації модульованих режимів для механізованого та автоматичного обладнання. Це і періодична зміна напруги джерела зварювального струму і періодична зміна швидкості подачі електродного дроту. Для оцінки комплексу результатів отриманих при застосуванні модуляції режимів дугового процесу виконувалось велике число наплавлень на плоских зразках із сталі Ст 45 з використання наплавного автомата А574Н укомплектованого джерелом зварювального струму ВДУ-504. У всіх експериментах використовувався порошковий самозахисний електродний дріт ПП-АН140. Для порівняння використовувалися й інші марки сталей. Частково цикл експериментальних досліджень проводився на зразках із матеріалів штампового інструменту. В даній роботі розглядалися результати наплавлення покриттів електродним дротом отриманих з використанням спеціально розробленого модулятора. Визначався вплив параметрів модуляції на формування наплавленого шару, твердість, зміст для кожного елемента. Виявлені основні залежності цього впливу. Доказано, що використання модульованого процесу механізованого електродугового наплавлення електродом який плавиться з керованими параметрами це є дієвий спосіб впливу практично на всі характеристики модифікації поверхні. Можна відзначити зміну в геометричних розмірах поперечних перерізів наплавлених валиків при зміні частоти модуляції та жорсткості режимів дугових процесів. Імпульсний характер горіння дуги при наплавленні порошковим дротом впливає на формування мікроструктури наплавленого металу. особливості термічного циклу при наплавленні модульованим струмом порівняно з наплавленням стаціонарної дугою зумовлюють пригнічення процесу утворення великих кристалів. Вибори ефективних параметрів модуляції можна реалізувати із застосуванням методології системного підходу. В роботі висвітлено шляхи наукового дослідження щодо подальшого впровадження способу механізованого електродугового наплавлення електродом який плавиться з модуляцією струму чи напруги на основі системного методичного підходу. Запропоновано вплив різних параметрів модульованого впливу вважати системою, а для ефективного аналізу застосувати щодо неї спосіб декомпозиції з можливістю виділення окремих незалежних елементів. Запропоновано новий спосіб модуляції на основі застосування додаткових модуляторів. Спосіб пояснюється на основі структурної схеми пристрою, який реалізує цей спосіб з полегшенням вибору ефективних параметрів впливу. Дані, які визначають діапазон дворежимного керування модуляцією визначаються з експериментальних досліджень. Використання даного способу наплавлення з одночасним використанням двох режимів модуляції, які переключаються з заданим алгоритмом, дозволяє забезпечити використання процесу наплавлення в більш широкіх діапазонах з регулюванням геометричних характеристик наплавленого валику, його структури та змісту по хімічним елементам.

Ключові слова: дугова наплавка; порошковий дріт; модуляція; параметри; системний підхід.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В процесі експлуатації робочі органи машин та механізмів, особливо а виробничій сфері, підпадають під дію різноманітних впливів, які викликають знос їх робочих поверхонь. Впливи можуть мати різний характер: тертя, ерозія, корозія та інші.

Для того, щоб протистояти цим впливам, підвищити строк служби деталей машин треба забезпечити на їх робочій поверхні утворення шарів які мають високий рівень корозійної стійкості при високих температурах, зносостійкості, твердості, жаростійкості та інше. Такий підхід може забезпечити більш високий

рівень економії сировинних ресурсів, високий рівень експлуатаційних показників, скоротити споживання електроенергії та підвищити продуктивність.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Існує досить багато техніко-технологічних методів вирішення задачі модифікації робочих поверхонь вузлів та деталей з різними рівнями досягнення вищезазначених результатів, але електродугове наплавлення по основних показниках є одним з найбільш ефективним, особливо коли воно виконується механізованим обладнанням [1].

Основними перевагами процесів з електродуговим наплавленням при вибраних параметрах ефективного впливу є:

- зменшення погонної енергії;
- можливість керування геометричними характеристиками наплавлених валиків;
- покращення експлуатаційних характеристик наплавленого шару (твердість, зносостійкість та інше).

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на досить великі обсяги використання технологій модифікування поверхонь деталей наплавленням, як для їх відновлення так і для зміцнення з новими властивостями, цей процес постійно вдосконалюється в основному для того щоби зменшити або виключити деякі недоліки властиві процесу електродугового наплавлення з використанням електроду який плавиться.

Треба вказати на деякі основні недоліки процесу наплавлення, які потребують усунення або зменшення їх впливу:

- погіршення властивостей наплавленого шару через перехід в нього елементів основного металу;
- деформація виробу яка може статися внаслідок високої погонної енергії процесу наплавлення;
- труднощі наплавлення малих виробів складної форми.

Існують також інші недоліки, але є засоби які можуть знизити вплив недоліків на результати наплавлення. Серед них вибір способу наплавлення та режимів, та підбір матеріалів, застосування додаткових впливів, спеціальних паст та флюсів. Дуже дієвими є процеси з модуляцією режимів, імпульсні впливи та інше.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є вибір способу наплавлення з забезпеченням покращення результатів процесу та визначення його основних характеристик з оптимізацією на основі застосування методики системного підходу.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України та Херсонському навчально-науковому інституті Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова виконано великий комплекс дослідів щодо визначення впливу параметрів модуляції на низку характеристик наплавленого шару [2] із застосуванням різних типів електродних дрітків, автомата для наплавки з джерелом зварювального струму у вигляді простого випрямляча з ступінчастим переключенням рівня вихідної напруги. Така конструкція джерела запобігає впливу пульсацій наруги на дуговий процес.

В даній роботі ми будемо розглядати як приклад результати отримані при наплавленні спеціальним електродним дротом типу ПП-АН та використанням спеціальної розробки модулятора.

Експериментальні дослідження впливу модуляції параметрів електродугового процесу стосувалися виявленню основних і важливих залежностей

$$(b, h, g, C, Cr, B, HRCe) = f(f, q) \quad (1)$$

де $b, h, g, C, Cr, B, HRCe, f, q$ – ширина валика, висота посилення, глибина проплавлення; зміст вуглецю, хрому, бору в складі валика, твердість металу наплавленого шару; частота та шпаруватість режиму модуляції відповідно.

Знайти найбільш ефективні впливи параметрів модуляції на характеристики наплавленого металу в зазначеному різноманітті та об'ємі залежностей являє собою достатньо складну задачу з врахуванням різних цілей пошуку таких впливів. Для вирішення такого комплексу задач нами запропоновано застосування системного підходу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

В сучасній науці та техніці системний підхід – це метод організації дій, які застосовуються для виявлення закономірностей і взаємозв'язків в самому досліджуваному об'єкті із єдиною метою знаходження самого ефективного шляху його використання для підняття техніко-технологічних рішень на більш високий рівень порівняно з існуючими методами. Крім того, запропоновано розглядати механізовану електродугову наплавку з модуляцією режимів електродом котрий плавиться як єдиний процес взаємодії технічних рішень з певними параметрами та характеристиками та отриманими результатами і вважати їх єдиною системою.

Велика кількість факторів та їх облік у процесі аналізу наплавлення при формуванні параметрів модульованих впливів, пов'язаних призводить до ускладнення системи. У зв'язку з цим системний підхід практично неможливо реалізувати без застосування принципу декомпозиції, який дозволяє розглядати аналізовану систему як сукупність незалежних один від одного елементів.

При застосуванні системного підходу для аналізу та вибору ефективних впливів параметрів модулювання силових параметрів дугового процесу на основі принципів декомпозиції на основі рівняння (1) було вибрано наступні елементи:

$$b, h, g = f(f, q); \quad (2)$$

$$C, Cr, B = f(f, q); \quad (3)$$

$$HRCe = f(f, q); \quad (4)$$

$$I_k = f(f) \quad (5)$$

Де останнє рівняння (5) це залежність ширини кристалів від частоти модульованого процесу і також може бути елементом декомпозиції системи.

Цей вибір ґрунтується на використанні однакових методів дослідження результатів наплавлення з модуляцією режимів і розглядається як приклад та окремий випадок для більш складної системи із застосуванням параметрів дугового процесу – струму, напруги, швидкості наплавлення та деяких інших чинників, які можуть впливати на результати.

В даному випадку дослідження базується на використанні однакових значень струму, напруги та швидкості наплавлення.

Важливість результатів по елементах (2), (3), (4) при модульованому впливі можна зазначити наступним чином. Параметри геометрії b , h , g зумовлюють, крім усього, продуктивність процесу та можливість впливати на долю основного металу в наплавленому валуку.

Наявність групи C, Cr, V в певній кількості впливає на характеристики працездатності шару наплавленого металу і тому метою вибору параметрів f , q є досягнення певного складу зазначених елементів.

Твердість шару металу HRCe є однією з основних характеристик наплавленого металу і в багатьох технологічних процесах із застосуванням робочих вузлів з наплавленим шаром ця характеристика забезпечує довготривалість використання цих вузлів точне виконання технологічного процесу, підвищення продуктивності праці та високий рівень економічних показників.

Слід зазначити що окремі результати цього способу наплавлення тісно пов'язані один з одним, наприклад хімічний склад металу наплавленого шару впливає на характеристики його міцності, зокрема твердість.

Самі параметри впливу f , q також впливають на характеристики властивостей наплавленого металу забезпечуючи рух розплаву ванни при низькочастотних коливаннях [3]. За однією з теорій, яка описує процес кристалізації рідкої ванни, це в свою чергу викликає пульсуючий рух кристалів в рідкій ванні та сприяє змиву ліквуючих домішок з поверхні твердої фази, збільшенню критерія Нуссельта та коефіцієнта теплопередачі. Підвищується інтенсивність відводу тепла від окремих кристалів. Ці процеси забезпечують створення дисперсної рівномірної структури наплавленого шару і відповідно сприяють підвищенню його міцнісних та інших характеристик. Вплив на структуру наплавленого металу з застосуванням модуляції носить тепловий характер.

Існує другий теоретичний опис явищ з кристалами металу при вібраціях ванни, який сприяє обмеженню швидкості росту цих кристалів в основному за рахунок механічних впливів, що веде до дрібнозернистої структури наплавленого шару також з підвищенням його службових характеристик.

Однією з переваг наплавлення з модуляцією режимів є зменшення погонної енергії процесу що забезпечує зниження росту кристалів.

Щодо росту кристалів, з метою визначення їх геометричних розмірів, зокрема ширини l_k , також була проведена низка експериментів, яка виявляла залежність цього параметру від способу наплавки для різних зон дії процесу. На рисунку 1 представлені для прикладу в графічному вигляді деякі з таких залежностей де а – стаціонарна дуга; б – модульований процес частота 1,1 Гц; в – модульований процес частота 2,5 Гц; г – модульований процес частота 4,0 Гц. Це один з способів представлення результатів експериментальних досліджень.

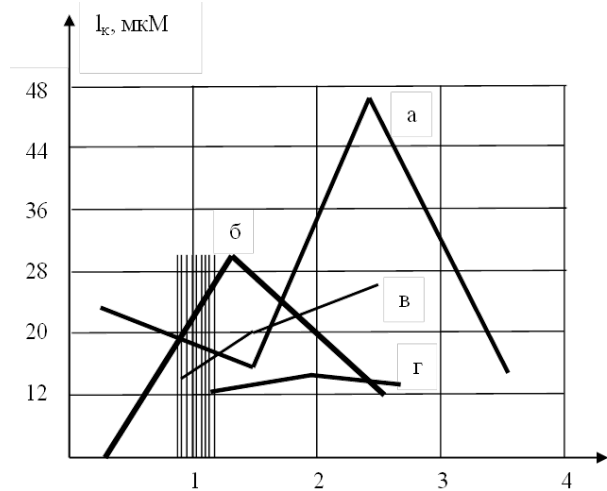


Рис. 1. Ширина кристалів: 1 – корінь шва; 2 – середина шва; 3 – верх шва

Таке представлення обумовлено не виявленою залежністю $l_k = f(q)$ на фоні суттєвої залежності $l_k = f(f)$ та залежності l_k від способу наплавлення без модуляції та з модуляцією з використанням певних частот зміни параметрів. Прямі вертикальні лінії на рисунку 1 показують найбільшу зону використання модульованого режиму де кристалізація металу сприяє його кращим характеристикам з найменшими значеннями розмірів металу.

Треба зазначити, що існують певні проблеми з визначенням параметрів кристалів наплавленого металу і тому в роботі залежності ширини кристалу дані в неповному складі.

Залежності (2), (3), (4) визначені в повному об'ємі для низькочастотної модуляції та можуть бути представлені в графічному вигляді. Таке викладення представлено в ряді робіт [3], [4].

В цьому дослідженні приводяться деякі результати, які дозволяють зробити більш широкі висновки щодо впливу параметрів модуляції на характеристики кожного елемента системи, а також по можливості визначити найбільш ефективні діапазони застосування параметрів періодичної зміни силових параметрів для усієї системи наплавлення (рівняння (2), (3), (4), (5)).

Треба визначити найбільш ефективні впливи модульованих параметрів на характеристики результатів дії процесу.

Наведемо характерні способи такого визначення, зазначивши, що залежності впливів можуть мати різний характер. Є залежності лінійного характеру, але є такі, які мають складну форму, суттєво відмінну від лінійної.

Для залежностей (2), (3), (4), які апроксимуються прямими лініями [3], вибір найбільш дієвих параметрів модуляції можна визначити як деякі значення, які розташовані на середній частині зазначених ліній. Для інших типів залежностей, які не апроксимуються прямими лініями, наприклад (4), визначається зона дієвих значень параметрів f, q як це зроблено вище з залежністю $h_k = f(q)$. Знаходження оптимальних значень впливу (1) в комплексі можливо на основі багатокритеріального аналізу.

На рисунку 2, рисунку 3 приведені в графічному вигляді залежності $h = f(f, q)$, та $HRCe = f(f, q)$

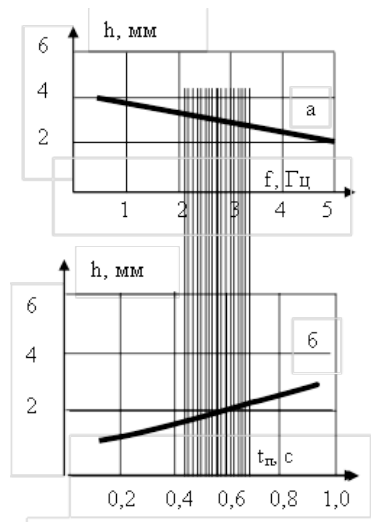


Рис. 2. Залежності посилення валіка від:
а – частоти модуляції; б – паузи в модуляції

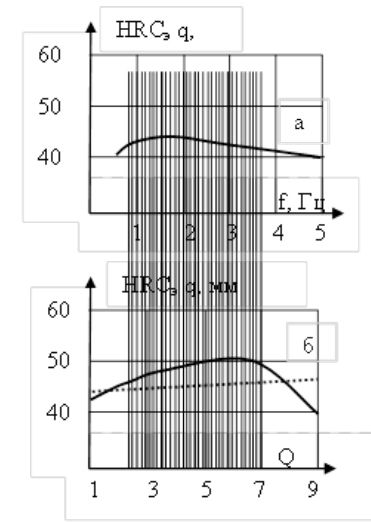


Рис. 3. Залежності твердості валіка від:
а – частоти модуляції; б – шпаруватисті

Достатньо нескладно визначаються зони впливу параметрів f, q , які у сукупності дають кращий результат – найменше значення посилення наплавленого валіка. Ця зона позначена вертикальними штрихами.

Характеристика твердості наплавленого металу в залежності від параметрів впливу має більш складний характер і це на нашу думку зумовлено багатфакторним впливом багатьох складових цього процесу.

Сукупність параметрів впливу тут також можна визначитися певною зоною впливів f, q , але вибір параметрів впливу може мати досить великий діапазон з суттєвою зміною результатів такого вибору і певними похибками. Особливо це виявляється при зміні параметрів, які не враховані в цьому дослідженні, наприклад струм та напруга процесу, діаметр та тип електродного дроту та інше. Знизити діапазон дії f, q можливо за рахунок проведення великої кількості експериментів та використання їх результатів. Але це довгий та не завжди виправданий шлях.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Нами запропоновано технічне рішення, яке спрощує вибір параметрів впливу на елементи системи. Його структурне рішення приведено на рисунку 4. Робота цього рішення полягає в одночасному використанні декількох моделюючих пристроїв. Один з таких пристроїв забезпечує режим модулювання 1 з параметрами f_1, q_1 , а другий режим модулювання 2 з параметрами f_2, q_2 . В пристрій введено ще один модулятор, який забезпечує переключення режимів 1, 2 з певною заданою частотою. Вибір параметрів переключення обумовлюється найбільш ефективним впливом обох параметрів f, q на результати модуляції.

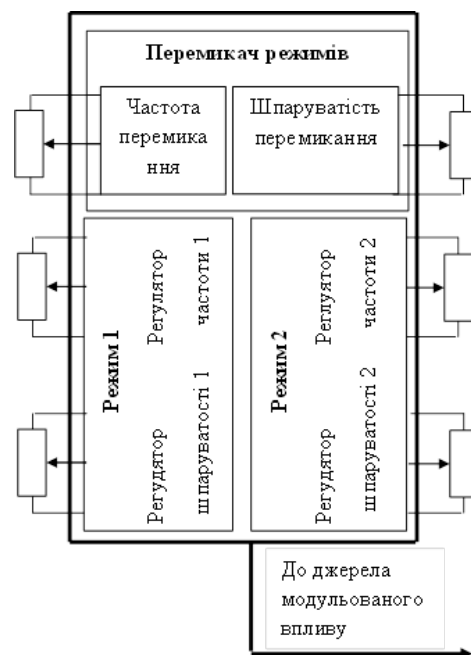


Рис. 4. Блок-схема пристрою для керування режимами модуляції

Дію запропонованого способу модуляції можна спостерігати на прикладі вибору параметрів обох режимів та їх переключення з метою забезпечення мінімальної величини проплавлення основного металу.

На рисунку 5 як приклад та пояснення принципу дії подвійної модуляції представлені в графічному вигляді залежності глибини проплавлення $g = f(f, q)$, які отримані експериментальним шляхом.

Треба зазначити, окремий розгляд кожного з впливів веде до втрати деяких інших результатів наплавлення з модуляцією.

Залежності $g = f(f)$ та $g = f(q)$ можна об'єднати за результатами впливу, якщо виділити певну зону по результатах мінімальної глибини проплавлення.

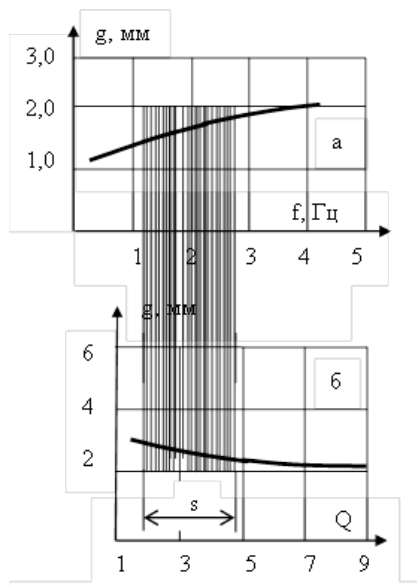


Рис. 5. Залежності глибини розплавлення валика від: а – частоти модуляції; б – шпаруватості

Цю зону можна виділити достатньо умовно на графіках рисунку 5 також групою вертикальних ліній загальною шириною s .

Перемикання режимів здійснюється в межах зони s , при цьому режим 1 має параметри f_1, q_1 на одному боці зони, а режим 2 з параметрами f_2, q_2 на другому боці. Таким чином відбувається усереднення результатів модуляції по двох режимах. Робота такого пристрою подібна роботі пристроїв при автоматичному регулюванні з застосуванням згладжування нелінійностей [5].

Дуже важливим завданням при визначенні параметрів перемикання режимів є визначення частоти перемикачів. Ця частота повинна бути такою що з одного боку засоби, які генерують сигнали модуляційного впливу, мали таку можливість по частотним властивостям, а з другого боку, щоб зміна режимів відбувалася в рідкому металі ванни.

Якщо частотні властивості пристрою, який здійснює модуляцію режиму наплавки, залежить від його

вибору, то середній час t_p існування металу в рідкому стані можна вирахувати з рівняння [6]

$$t_p = \frac{q_e}{2\pi\lambda v T_{nl}} \quad (6)$$

де q_e – ефективна теплова потужність дуги; λ – коефіцієнт теплопровідності; v – швидкість ведення процесу; T_{nl} – температура плавлення металу.

Частотні характеристики засобу, який здійснює модуляцію режиму зазвичай вказуються в паспортних даних на нього, але до того треба врахувати інерційні властивості додаткового обладнання: для джерела зварювального струму кабельне оснащення, а для механізму подачі електродного дроту окрім двигуна – редуктор з роликми, які подають та канал для направлення дроту при механізованому наплавленні.

Найбільш часто в останній час з певним позитивним результатом для здійснення модуляції дугового процесу застосовують електроприводи з регулюванням частоти обертання валу електродвигуна, що пропорційно впливає на швидкість подачі електродного дроту і відповідно на струм зварювання чи наплавлення. Якщо зазначити середній час який проходить до подачі сигналу на регулятор електроприводу до зміни швидкості електродного дроту через t_n , то частота зміни керування швидкістю подачі (струмом процесу) становить

$$f_n \leq 1/t_n \quad (7)$$

Частіше всього для модуляції дугового процесу застосовують системи подачі електродного дроту напівавтоматів з електродвигунами постійного струму, які мають регулятори частоти обертання валу і тому можливе їх застосування для здійснення дво-режимної модуляції.

Дані, які визначають діапазон дво-режимного керування модуляцією визначаються з експериментальних досліджень.

На рисунку 6 показані порівняльні макрошліфи валиків які наплавлені модернізованим напівавтоматом ПШ 107 порошковим самозахисним наплавочним дротом ПП-АН.

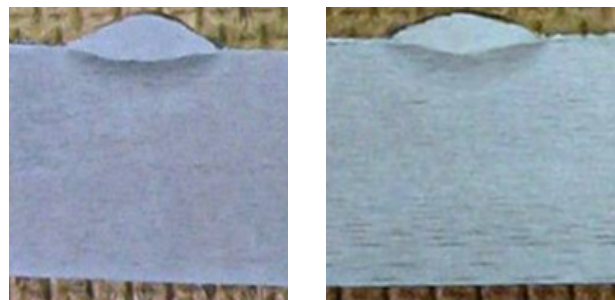


Рис. 6. Макрошліфи валиків, які наплавлені: а – з однорежимною модуляцією; б – з дво-режимною модуляцією

Посилення валика при застосуванні наплавлення з дворезимним способом зменшилося майже на 20 %

ВИСНОВКИ

1. Модульований процес механізованого електродугового наплавлення електродом який плавиться з керованими параметрами це дієвий спосіб впливу практично на всі характеристики поверхні яка модифікується.

2. Вибір ефективних параметрів модуляції можна реалізувати із застосуванням методології системного підходу.

3. Запропонований спосіб наплавлення з одночасним використанням двох режимів, які переключаються з певним алгоритмом, може забезпечити використання процесу в більш широких діапазонах.

REFERENCES

- [1] Pohmurs'ka G.V., Student M.M., & Pohmurs'kij V.I. (2017) Gazotermichni pokrittya [Gas-thermal coatings], navchal'nij posibnik – L'viv, 180 s [in Ukrainian].
- [2] Lebedev V.A., Tishchenko V.A., & Brykov M.M. (2022). Izuchenije osobennostey mekhanizirovannoy elektrodugovoy naplavki s periodicheskim 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 – New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering, 1, 62-69 [in Ukrainian].
- [3] Lebedev V.A., Tishchenko V.A., Loy S.A., & Kalimovskiy O.M. (2022) Nekotoryye osobennosti avtomaticheskoy elektricheskoy arki surfing pod flux s kontroliruyemoy periodic change modes [Some Features of Automatic Electric Arc Surfacing under the Flux with Controlled Periodic Change of Modes] Semeyny zhurnal ternopil natsional'noy tekhnologicheskoy universiteta – Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, 2, 101-11 [in Ukrainian].
- [4] Lebedev V.A., Tishchenko V.A., & Loy S.A. (2022) Osobennosti strukturoobrazovaniya metalla pri elektrodugovoy mekhanizirovannoy naplavke s modulyatsiyey rezhimov [Peculiarities of the structure of metal formation during electric arc mechanized surfacing with mode modulation]. Tekhnicheskiye nauka i tekhnologii – Technical science and technology, Chernigov 1, 27-36 [in Ukrainian].
- [5] Lebedev V.A., Loy S.A., & Khalimovskiy O.M. (2022). Technical i tekhnologicheskyy effekt na kristallizatsii pri avtomaticheskoy i mekhanizirovannoy elektricheskoy vetvi kholding-surfacing [Technical and Technological Impacts on Crystallization during Automatic and Mechanized Electric Arc Welding-Surfacing]. Strukturnyy zhurnal ternopil natsional'noy tekhnologicheskoy universiteta – Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, 3, 29-44 [in Ukrainian].
- [6] Kvasnic'kij V.V. (2002) Teoriya zvaryuval'nih procesiv. Doslidzhennya fi-ziko-himichnih i metalurgijnih procesiv ta zdatsnosti metaliv do zvaryuvannya [Theory of welding processes. Research of physico-chemical and metallurgical processes and the ability of metals to weld] Navchal'nij posibnik. – Mikolaiv: UDMTU. – 181 s [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Похмурська Г.В. Газотермічні покриття: навчальний посібник. / Г.В. Похмурська, М.М. Студент, В.І. Похмурський – Львів, 2017. 180 с.
- [2] Лебедев В.О. Вивчення особливостей механізованого електродугового наплавлення з періодичною зміною режимів процесу / В.О. Лебедев, В.О. Тищенко, М.М. Бриков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2022. № 1. С. 62–69.
- [3] Lebedev V.A. Some Features of Automatic Electric Arc Surfacing under the Flux with Controlled Periodic Change of Modes / V.A. Lebedev, V.A. Tyschenko, S.A. Loy, O.M. Khalimovskyy // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. 2022. № 2. Pp.101–116.
- [4] Лебедев В.О. Особливості структуро утворення металу при електродуговому механізованому наплавленні з модуляцією режимів / В.О. Лебедев, В.О. Тищенко, С.А. Лой // Технічні наука та технології. Чернівці, 2022. № 1. С. 27–36.
- [5] Lebedev V.A. Technical and Technological Impacts on Crystallization during Automatic and Mechanized Electric Arc Welding-Surfacing / V.A. Lebedev, S.A. Loy, O.M. Khalimovskyy // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. 2022. № 3. Pp. 29–44.
- [6] Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання. Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 181 с.

© Лебедев В. А., Єрмолаєв Г. В., Спіхтаренко В. В., Лой С. А.
Дата надходження статті до редакції: 14.02.2024
Дата затвердження статті до друку: 28.02.2024