

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ШАРУ ЗМІННОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ

В.П. Іванов, Л.К. Лещинський, С.В. Щербаков

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» МОН України,
87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7. E-mail: ivanov_v_p@pstu.edu

Показано, що характер змінення хімічного складу шва (наплавленого металу) визначається законом управління об'ємної швидкістю подачі легуючого електрода, який отримано шляхом математичного моделювання впливу технології наплавлення на процес легування зварювальної ванни. Встановлено, що високий градієнт зміни хімічного складу по довжині шва забезпечується дискретним змінням об'ємної швидкості подачі легуючого електрода. При прямокутній формі імпульсу подачі електрода розподіл легуючих елементів в металі шва є несиметричний на стадії зростання і зниження концентрації, що проявляється в більшій мірі зі збільшенням об'єму зварювальної ванни. Представлено підтверджені експериментом результати розрахунку, які свідчать, що трапецеїдальна форма імпульсу дозволяє зменшити несиметричність зміни складу. Виявлено, що при імпульсній подачі легуючого електрода за законом синусоїди можна змінювати характер і градієнт розподілу легуючих елементів в шві. Визначено умови формування наплавленого шару змінного складу і твердості по довжині бочки прокатного валка безперервно-заготовочного стану. Бібліогр.12, табл. 1, рис. 7.

Ключові слова: математичне моделювання, зварювальна ванна, наплавлений метал, змінний хімічний склад, легуючий електрод, форма імпульсу подачі, прокатний валок, змінна твердість по довжині бочки

Застосування технології, що дозволяє змінювати склад металу в процесі зварювання (наплавлення) [1, 2], багато в чому визначається можливістю забезпечити задані зміни вмісту легуючих елементів на ділянках переходу, а також стабілізацію складу між цими ділянками [3]. У той же час необхідно враховувати, що відхилення складу металу шва від необхідного може бути викликано змінами параметрів режиму. Це пов'язано з відхиленнями в геометрії виробу, похибками при налаштуванні обладнання, а також можливими коливаннями напруги. Крім того, зміна параметрів режиму може бути пов'язана зі змінною кривизни наплавленого поверхні, яка впливає на умови формування зварювальної ванни [4]. При цьому слід зазначити, що рішення задачі геометричної адаптації вектора швидкості зварювання (наплавлення робочих шарів) складної конфігурації забезпечує система управління процесом, автоматизоване і роботизоване обладнання. Використання програмування методами off-line і on-line, а також контактних і безконтактних датчиків, пристроїв стеження за дугою, дозволяє управляти складними переміщеннями зварювального пальника в просторі. На відміну від цього, процес технологічної адаптації важко автоматизувати. Більш того, відхилення параметрів режиму, навіть в разі їх успішної адаптації, при змінених зовнішніх умовах не можуть не привести до змін складу металу.

Разом з тим, такі зміни можуть здійснюватися цілеспрямовано, щоб забезпечити відповідність

розподілу властивостей металу характеру і інтенсивності навантаження. Для наближеної оцінки характеру зміни концентрації легуючого елемента в металі при лінійному зростанні його вмісту в електроді від X до Y , в роботі [5] отримана розрахункова залежність шляхом обробки експериментальних даних. За результатами обробки, закон зміни концентрації в шві, близький до експоненціального, характеризується лінійною залежністю кута нахилу дотичній до експоненти $(Y - X)/D = \operatorname{tg} \alpha$, де D — характеристична довжина ділянки переходу від X до Y , α — кут, що визначає градієнт швидкості подачі в ванну легуючого електрода. Значно складнішою є задача розробки адекватної математичної моделі, що дозволяє прогнозувати вплив на хімічний склад шва змін умов легування в процесі наплавлення, в тому числі, при високій швидкості цих змін. В роботі [6] для моделювання процесу легування при наплавленні металу змінного складу в якості вхідних параметрів розглядаються об'ємна швидкість подачі легуючих елементів в ванну і розміри (об'єм) зварювальної ванни. Але використання даних моделей для розробки варіантів технології наплавлення робочого шару зі змінним складом та властивостями потребує вивчення впливу об'ємної швидкості подачі легуючих елементів в зварювальну ванну на їх вміст в шві. Метою роботи було проведення досліджень на математичній моделі можливості управління процесом легування швів зі змінним хімічним складом та властивостями.

Умови моделювання передбачають подачу в ванну постійного об'єму двох відмінних за хіміч-

ним складом електродів, зі зміною швидкості подачі кожного з яких сумарна масова швидкість подачі залишається постійною (рис. 1). Зміна концентрації $C(t)$ на ділянці переходу залежить від об'ємної швидкості подачі легуючого елемента, ступеня його засвоєння з електрода та флюсу. Крім того, враховується розбавлення шва основним металом (попереднім шаром), а також буферний вплив об'єму ванни (V), що обмежує можливість високих градієнтів легування. Для квазістаціонарного стану ванни, коли її об'єм можна прийняти постійним, з рівняння матеріального балансу легуючого елемента в роботі [6] отримана залежність для розрахунку змін складу $C(t)$ на ділянці переходу:

$$C(t) = e^{-(v_H/V)t} \times \left\{ \int_0^t \left[v_{ле}(t)C_{ле} \eta_e + v_s k_\phi C_\phi \eta_\phi + C_{ом}(t)v_{ом} \eta_{ом} \right] \times \frac{1}{V} e^{(v_H/V)t} dt + C_0 \right\}, \quad (1)$$

де $C_{ле}$, C_ϕ , $C_{ом}(t)$ — об'ємна концентрація легуючого елемента в електроді, флюсі та її розподіл в основному металі (попередньому шарі); η_e , η_ϕ , $\eta_{ом}$ — коефіцієнти переходу елемента з електрода, флюсу, основного металу; k_ϕ — відносна маса флюсу; $v_H(t) = v_s + v_{ом}(t)$ — об'ємна швидкість наплавлення; $v_{ом}(t)$ — об'ємна швидкість проплавлення основного металу; $\gamma(t)$ — частка участі основного металу в шві; $v_s = v_{ле}(t) + v_e(t) = const$ — сумарна об'ємна швидкість подачі електродів; $v_{ле}(t)$, $v_e(t)$ — об'ємна швидкість подачі електрода, що містить легуючий елемент, і не містить такого, відповідно; C_0 — постійна інтегрування.

За заданим законом $C(t)$, з урахуванням відомих параметрів процесу наплавлення, для визначення швидкості подачі легуючого електрода $v_{ле}(t)$ використовується залежність, яка отримана в роботі [6]:

$$v_{ле}(t) = \frac{1}{C_{ле} \eta_e} \times \left\{ V \frac{dC(t)}{dt} - \left[v_s k_\phi C_\phi \eta_\phi + C_{ом}(t)v_{ом} \eta_{ом} - v_H C(t) \right] \right\}. \quad (2)$$

Залежності (1), (2) дозволяють більш адекватно прогнозувати характер зміни концентрації як на стадії зростання, так і на стадії зниження, в залежності від зміни швидкості подачі легуючого електрода. Зі збільшенням по лінійному закону швидкості його подачі (рис. 2, крива 1) характер зміни складу, отриманий розрахунком по залежності (1), залежить від об'єму зварювальної ванни (криві 3, 4). При цьому для об'єму зварювальної ванни (до 8...10 см³) зміни $C(t)$ по залежності (1) значно

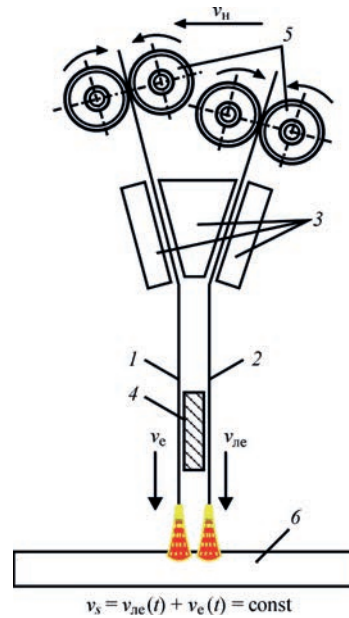


Рис. 1. Схема наплавлення двома стрічковими електродами: 1 — низьколегований електрод; 2 — легований електрод; 3 — напрямлючі; 4 — токопідвід; 5 — подаючі ролики; 6 — основний метал; v_H — швидкість наплавлення

відрізняються від розрахованих по залежності, наведеної в роботі [5]. Однак для даної в цій роботі ванни об'ємом до 40...50 см³, що утворюється в процесі електрошлакового переплаву, результати обох розрахунків збігаються.

Результати дослідження на розглянутій в цій статті моделі при різних варіантах законів зміни швидкості об'ємної подачі легуючого електрода і їх порівняння з результатами експерименту дозволяють зробити висновок про адекватність моделі і можливості її застосування для прогнозування хімічного складу шва. Це створює можливість управління процесом легування в режимі реального часу, оскільки в якості вхідного параметра використовується сигнал на обмотці двигуна подачі електрода. Моделювання також показало, що для підвищення рівня легування або скорочення часу переходу можна використовувати ефект

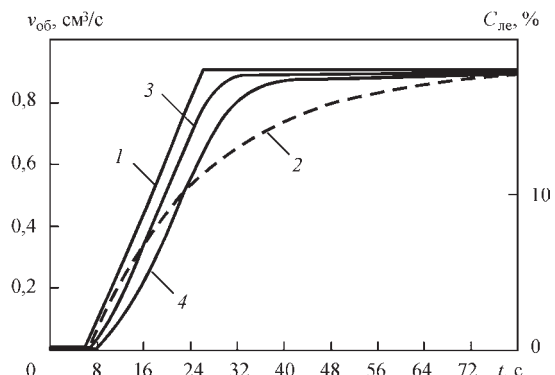


Рис. 2. Залежність характеру зміни складу шва $C(t)$ від закону змінення об'ємної швидкості подачі легуючого електрода $v_{ле}(t)$: 1 — закон зміни $v_{ле}(t)$; 2 — розрахунок $C(t)$ за даними [5]; 3 — розрахунок по залежності (1) для $V = 2$ см³; 4 — те саме, для $V = 5$ см³

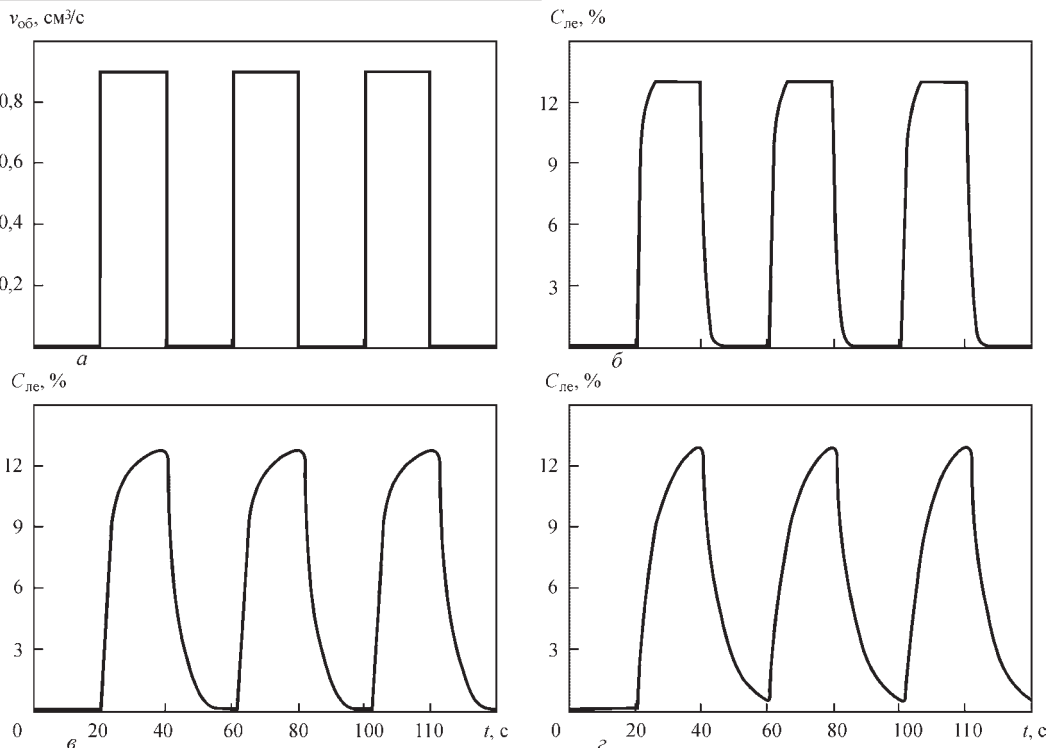


Рис. 3. Характер зміння складу шва $C(t)$ при прямокутній формі імпульсів подачі легуючого електрода: a — закон зміння $v_{об}(t)$; $б$ — розрахунок $C(t)$ для $V = 1 \text{ см}^3$; $в$ — для $V = 3 \text{ см}^3$; $г$ — те саме, для $V = 5 \text{ см}^3$

перелегування [6, 7]. Для цього законом зміни швидкості подачі під час переходу передбачається ділянка, на якій зберігається постійною максимальна швидкість, або використовуються електроди з більш високим вмістом легуючого елемента, ніж це необхідно для отримання необхідної концентрації в шві. Однак необхідність використання (неможливість заміни) високолегованого електрода за межами ділянки перелегування супроводжується значним зростанням витрат і застосування даного технологічного варіанту в виробничих умовах економічно недоцільно.

За розрахунковими даними, дискретне зміння швидкості подачі легуючого електрода $v_{ле}(t)$ забезпечує близьке до стрибкоподібного зміння складу $C(t)$ (рис. 3). Таке дискретне зміння вмісту легуючих елементів на практиці в більшості випадків реалізується за допомогою складеного (по довжині) електрода. Як видно з рис. 3, в разі прямокутної форми імпульсу швидкості подачі, високий градієнт легування на початковій стадії висхідної гілки знижується на її кінцевій стадії аж до плавної зміни $C(t)$. Характер таких змін на низхідній гілці є аналогічним. За допомогою моделювання виявлено, що незалежно від об'єму зварювальної ванни і параметрів часу, при симетричній формі імпульсу розподіл легуючого елемента на стадії зростання і зниження концентрації є несиметричним.

Така несиметричність проявляється в меншій мірі для трапецеїдальної форми імпульсу подачі,

особливо зі зменшенням об'єму зварювальної ванни (рис. 4). У той же час, за експериментальними даними [6, 7], ці ділянки на кривій розподілу легуючих елементів в наплавленому металі відрізняються в меншій мірі. Більш того, змінюючи нахил функції швидкості подачі легуючого електрода в ту або іншу сторону, вдається забезпечити симетричність гілок зростання і зниження концентрації легуючих елементів в шві [8]. З огляду на вплив знака градієнта на вигляд кривої зміни концентрації, характерний для центральної, а не осьової симетрії, симетричність гілок зростання і зниження концентрації забезпечується шляхом розбиття кривої зміни концентрації на ділянки з різним законом швидкості подачі легуючого електрода. Як показали результати моделювання, при наявності двох ділянок на стадії зростання і зниження швидкості подачі електрода, симетричність зміни легування шва забезпечується для вирішення цілої низки завдань дослідження і розробки технології наплавлення металу змінного хімічного складу.

Зміна параметрів синусоїдального закону об'ємної швидкості подачі електрода дозволяє отримати подібний закон розподілу легуючих елементів по довжині шва (рис. 5). При цьому зміння рівня легування металу шва в напрямку вектора швидкості наплавлення дає можливість отримати шар змінного складу і твердості.

Відомі способи і пристрої, що дозволяють реалізувати синусоїдальний закон зміни швидкості подачі електродного дроту і стрічки [9, 10]. Неза-

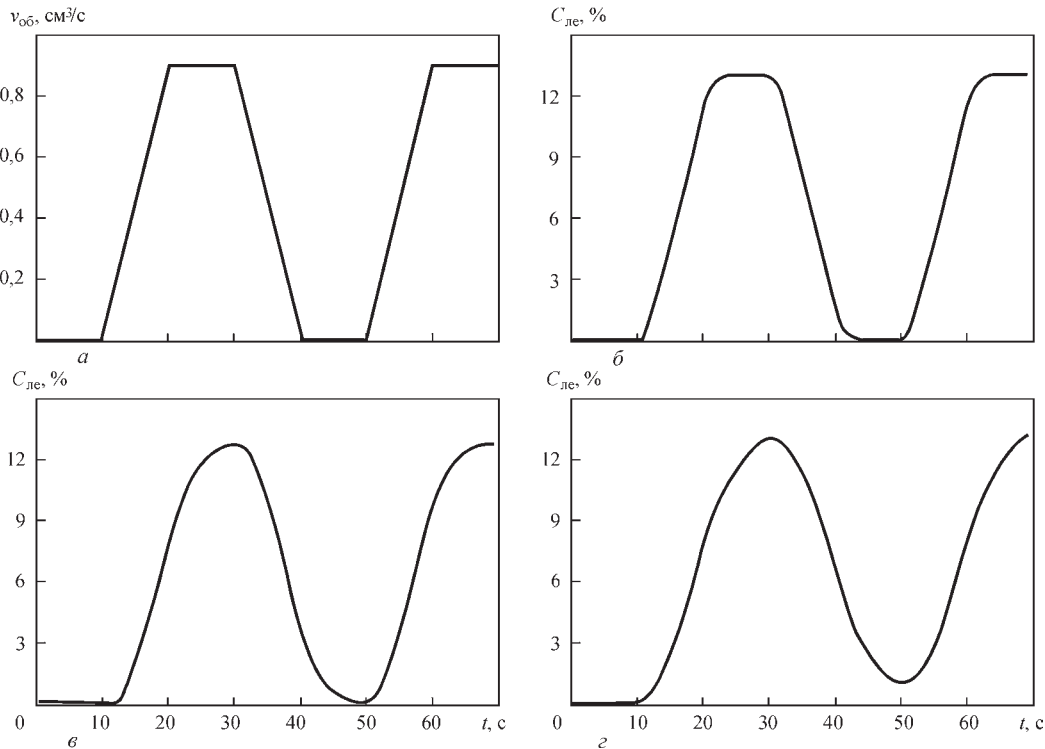


Рис. 4. Змінення складу шва $C(t)$ при трапецеїдальній формі імпульсів подачі легуючого електрода: *a* — закон змінення $v_{\text{лe}}(t)$; *б* — розрахунок $C(t)$ для $V = 1 \text{ см}^3$; *в* — для $V = 3 \text{ см}^3$; *з* — те саме, для $V = 5 \text{ см}^3$

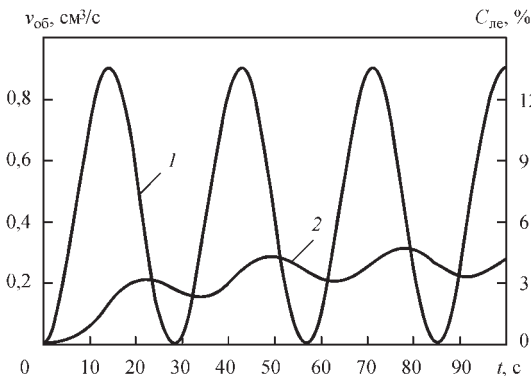


Рис. 5. Вплив синусоїдальної форми імпульсів подачі легуючого електрода на зміну $C(t)$: *1* — закон змінення $v_{\text{лe}}(t)$; *2* — розрахунок $C(t)$ ($V = 3 \text{ см}^3$)

лежно від способу створення коливань, діапазон параметрів, використовуваний в таких пристроях, дозволяє управляти характеристиками перенесення електродного металу, але не дозволяє управляти зміною хімічного складу шва через інерційність процесу формування зварювальної ванни. Наплавлення ділянок зварного шва, що відрізняються за хімічним складом, залежить від можли-

вості забезпечити змінення по періодичному закону швидкості подачі електродів з різним ступенем легування. При цьому тривалість і шпаруватість імпульсів подачі повинна значно перевищувати час існування зварювальної ванни, крім того, необхідно забезпечити можливість змінювати ці параметри в широкому діапазоні.

Для реалізації завдання програмного управління швидкістю подачі електродів, на базі програмованого мікроконтролера ATmega328P розроблена схема управління колекторними двигунами постійного струму типу СЛ (рис. 6). Програмування контролера і управління роботою системи здійснюється із застосуванням персонального комп'ютера, підключеного за допомогою вбудованого конвертера інтерфейсів USB-UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Для формування імпульсів струму керування приводами подачі електродів з різним складом легуючих елементів використано стандартний тиристорний перетворювач. Змінна напруга живлення схеми випрямляється і модулюється сигналами ШІМ,

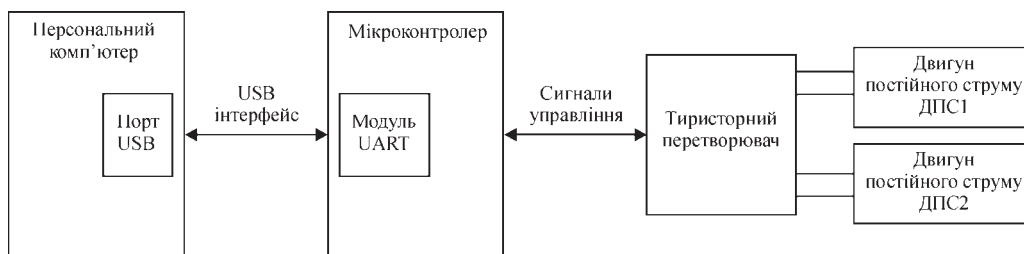


Рис. 6. Структурна схема системи управління двигунами подачі електродів

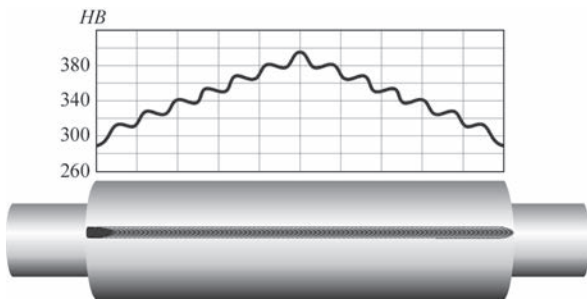


Рис. 7. Розподіл твердості вздовж бочки прокатного валка при формуванні наплавленого шару з поздовжніх швів

які надходять на керуючий вивід тиристора з дискретного виходу контролера. Це дозволяє забезпечити управління швидкістю подачі електродів відповідно до залежностей, наведених на графіках (рис. 3–5). При цьому тривалість окремих ділянок порівнянна з часом існування зварювальної ванни.

На основі результатів моделювання процесу наплавлення шару змінного хімічного складу розроблена технологія відновлення робочих валків обтискний кліті безперервно-заготовочного стану (матеріал валків сталь 50ХН, діаметр бочки 600 мм, довжина бочки 1000 мм). Відомо, що розтріскування під впливом термовтомного і ударного навантаження, пов’язане з утворенням кільцевих тріщин, які глибоко проникають в тіло валка, різко посилюється при виконанні поверхневого шару з кільцевих швів [11]. Тому наплавлений шар формувався зі швів, орієнтованих уздовж твірної бочки [12], що дозволило підвищити опір утворенню кільцевих тріщин в поверхневому шарі валка гарячої прокатки під впливом циклічних тепловмінів. При використанні електродної стрічки перетином 40×0,65 мм (легований електрод складу Св-2Х13, а низьколегований електрод — 30ХГСА) шов змінного складу, наплавлений уздовж твірної бочки валка, характеризується зміненням вмісту хрому від 1,12 до 12,6 %. При цьому твердість наплавленого шару після відпуску зростає від *HV* 290 до *HV* 390, відповідно (таблиця).

Синусоїдальний вид імпульсів подачі легуючого електрода дозволяє отримати представлений на рис. 7 характер зміни твердості — від мінімальної величини на краях до максимальної величини в середній частині бочки, що значно знижує нерівномірність зносу робочих валків обтискний кліті безперервно-заготовочного стану.

Висновки

1. Математичне моделювання технології наплавлення швів змінного хімічного складу дозволяє прогнозувати змінення вмісту легуючих елементів на ділянці переходу, залежне від швидкості подачі легуючого електрода і об’єму зварювальної ванни.

Склад і твердість наплавленого шару по довжині валка

Вміст хрому і твердість	Розташування ділянки на бочці валка		
	на краю бочки	на відстані ¼ довжини від краю	в середині бочки
Вміст хрому, мас. %	1,12	6,2	12,6
Твердість <i>HV</i> *	<u>340</u> 290	<u>410</u> 340	<u>450</u> 390

* Чисельник — після наплавлення; знаменник — після відпуску при *T* = 430 °С.

Адекватність моделі підтверджується результатами експерименту.

2. Шляхом моделювання виявлено, що змінення складу шва, близьке до дискретного, може бути отримано в разі використання закону подачі легуючого електрода у вигляді імпульсів трапецеїдальної форми. Несиметричність одержуваних при цьому ділянок зростання і зниження концентрації в шві легуючих елементів проявляється в меншій мірі зі зменшенням об’єму зварювальної ванни.

3. На основі моделювання розроблена технологія зміцнення прокатних валків з формуванням наплавленого шару з розташованих уздовж бочки швів змінного по довжині складу і твердості шляхом зміни об’ємної швидкості подачі легуючого електрода у вигляді імпульсів синусоїдальної форми.

Список літератури

1. Перемитько В.В., Панфилов А.И. (2017) Дуговая наплавка слоев переменного химического состава и различной твердости. *Автоматическая сварка*, 7, 48–52.
2. Shebanits E.N., Omelyanenko N.I., Kurakin Yu.N. et al. (2012) Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls. *Metallurgist*, 56, 7–8, 613–617.
3. Лещинський Л.К., Матвієнко В.М., Мазур В.О. (2017) Спосіб виготовлення ролика машини безперервного лиття заготовок. Україна, Пат. 119373.
4. Рябцев И.А., Сенченков И.К. (2013) Теория и практика наплавочных работ. Киев, Экотехнологія.
5. Bennett A.P. (1972) Prediction and control of composition profiles in graded transition joints. *Metals and Materials*, 3/4, 146–149.
6. Лещинский Л.К., Литвин Н.Н., Иванов С.Г. и др. (1983) Методика расчета процесса легирования швов переменного химического состава. *Автоматическая сварка*, 11, 27–29.
7. Гулаков С.В., Носовский Б.И. (2005) *Наплавка рабочего слоя с регламентированным распределением свойств*. Мариуполь, Новый мир.
8. Лещинський Л.К., Иванов В.П. (2018) Спосіб наплавлення шару змінного хімічного складу. Україна, Пат. 124035.
9. Лебедев В.А. (2007) Зависимость между скоростями импульсной подачи проволоки и ее плавления при сварке с короткими замыканиями. *Автоматическая сварка*, 4, 19–22.
10. Ivanov V., Lavrova E. (2014) Improving the Efficiency of Strip Cladding by the Control of Electrode Metal Transfer. *Applied Mechanics and Materials. Trans. Tech. Publications*, 682. Switzerland, 266–269.
11. Щетинин С.В., Щетинина В.И., Степнов К.К. и др. (2010) Повышение трещиностойкости бандажированных опорных валков. Захист металургійних машин від поломок. *Зб. наук. праць. ПДТУ, Мариуполь*, 12, 226–230.

12. Лещинський Л.К., Степнов К.К., Матвієнко В.М. (2014) *Спосіб виготовлення прокатних валків*. Україна, Пат. 92559.

References

1. Peremitko, V.V., Panfilov, A.I., (2017) Arc surfacing of layers of metal of varying composition and hardness. *The Paton Welding J.*, **7**, 38-42.
2. Shebanits, E.N., Omelyanenko, N.I., Kurakin, Yu.N. et al. (2013) Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls. *Metallurgist*, **56(7-8)**, 613-617.
3. Leshchinsky, L.K., Matvienko, V.M., Mazur, V.O. *Method of manufacture of roll of billet continuous casting machine*. Ukraine Pat. 119373 [in Ukrainian].
4. Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K. (2013) *Theory and practice of surfacing works*. Kiev, Ekotekhnologiya [in Russian].
5. Bennett, A.P. (1972) Prediction and control of composition profiles in graded transition joints. *Metals and Materials*, **3/4**, 146-149.
6. Leshchinsky, L.K., Litvin, N.N., Ivanov, S.G. et al. (1983) Procedure for calculation of alloying process of varying composition welds. *Avtomatich. Svarka*, **11**, 27-29 [in Russian].
7. Gulakov, S.V., Nosovsky, B.I. (2005) *Surfacing of working layer with regulated distribution of properties*. Mariupol, Novyj Mir {in Russian].
8. Leshchinsky, L.K., Ivanov, V.P. *Method of surfacing of varying composition layer*. Ukraine Pat. 124035 [in Ukrainian].
9. Lebedev, V.A. (2007) Dependence between the rates of pulsed wire feed and wire melting in welding with short-circuiting. *The Paton Welding J.*, **4**, 17-20.
10. Ivanov, V., Lavrova, E. (2014) Improving the efficiency of strip cladding by the control of electrode metal transfer. *Applied Mechanics and Materials. Trans. Tech. Publications*, **682**. Switzerland, 266-269.
11. Shchetinin, S.V., Shchetinina, V.I., Stepnov, K.K. et al. (2010) Improvement of crack resistance of shrouded backup rolls. Breakage protection of metallurgical machines. *Zh. Nauk. Prats PDTU*, Mariupol, **12**, 226-230 [in Ukrainian].
12. Leshchinsky, L.K., Stepnov, K.K., Matvienko, V.M. *Method of manufacture of forming rolls*. Ukraine Pat. 92559 [in Ukrainian].

MODELING THE TECHNOLOGY OF DEPOSITION OF A LAYER OF VARIABLE CHEMICAL COMPOSITION

V.P. Ivanov, L.K. Leshchinskiy, S.V. Scherbakov

SHEI «Pryazovskyi State Technical University» of MES of Ukraine. 7 Universitetska Str., 87500 Mariupol. E-mail: ivanov_v_p@pstu.edu

It is shown that the nature of the change of chemical composition of the weld (deposited metal) is determined by the law of control of volume feed rate of the alloying electrode, which was derived by mathematical modeling of the effect of surfacing technology on the process of weld pool alloying. It is found that the high gradient of variation of chemical composition along the weld length is ensured by a discrete change of the volume feed rate of the alloying electrode. At a rectangular waveform of the electrode feed pulse, the alloying element distribution in the weld metal is asymmetrical at the stage of increase and decrease of the concentration that is manifested to a greater extent with increase of weld pool volume. Experimentally confirmed calculation results are presented, which show that the trapezoidal shape of the pulse allows reducing the asymmetrical nature of variation of the composition. It is found that the nature and gradient of alloying element distribution in the weld can be changed at pulsed feed of the alloying electrode by a sinusoidal law. Conditions of forming a deposited layer of variable composition and hardness along the length of the barrel of a rolling roll of continuous billet mill were determined. 12 Ref., Tabl. 1, 7 Fig.

Keywords: mathematical modeling, weld pool, deposited metal, variable chemical composition, alloying electrode, feed pulse shape, rolling roll, variable hardness along the barrel length

Поступила в редакцію 11.07.2019



TUBE 2020, WIRE 2020 — 17-я Международная выставка трубопроводов, труб, проволоки, кабеля и метизов, технологий и оборудования для их производства

30.03.2020–03.04.2020 Германия, Дюссельдорф, Messe Düsseldorf Exhibition Centre

Tube. Трубные материалы, трубы, комплектующие: трубы на базе стали, нержавеющая сталь, трубы из цветных металлов и сплавов (алюминий, бронза, медь и т.п.), трубы пластмассовые, трубы из минерального сырья (бетон, керамика), трубы различных методов изготовления и обработки, сварка, холодная и горячая вытяжка, прессование, гальванизированные трубы, с напылением или покрытием определенным слоем, проводные трубы, дренажи, системы отвода, трубы для обмена и передачи тепла, техника сверления, измерительная техника, конструкционные трубы из стали и т.п., комплектующие (арматуры, уплотнители, соединители, запоры, гайки, винты).

Оборудование для изготовления труб: различные виды литья, прокатные станы, прессы, сварка, тепловая обработка, установки по обработке труб — формование, гибка, резка, шлифование; логистика, системы управления и контроля; упаковка. Оборудование бывшее в употреблении. Инструменты для различных технологий и вспомогательная техника: литье, прессование, волочение, прокат, сварка. Регулирующая и измерительная техника и техника управления. Испытательное, контрольное оборудование. Специализированные разделы: охрана окружающей среды, техника безопасности, специальная литература, консультации.

Wire. Оборудование и машины для изготовления проволоки и ее обработки; оборудование для производства метизов из проволоки. Готовая продукция. Специализированная проволока или кабель; контрольное оборудование и др. Станки, инструменты и технологии для литейного дела, экструзии, протяжки. Оборудование и машины для изготовления кабелей, пружин и креплений. Вспомогательные материалы для производства проволоки и кабеля (смазочные, чистящие, смачивающие вещества).