

**РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА УМОВ ОТРИМАННЯ
НАПЛАВЛЕНИХ МАКРОРІЗНОРІДНИХ ШАРІВ**

Наведено результати дослідження умов отримання макрорізнорідних шарів шляхом наплавлення під флюсом складеним електродом з різнолегованих стрічок. Показано, що застосування математичного моделювання процесу нагрівання та розповсюдження тепла в напівнескінченному тілі при широкошаровому наплавленні дозволяє оцінити вплив геометрії складеного електрода на формування зварювальної ванни та надійність сплавлення з основним металом. На основі розв'язання нелінійного диференціального рівняння теплопровідності, що враховує температурну залежність теплофізичних властивостей основного металу, виявлено критичне значення проміжку між стрічками складеного електрода, пов'язане з порушеннями процесу утворення зварювальної ванни. Встановлено, що на її форму та розміри впливають поперечні потоки розплавленого металу, інтенсивність яких залежить від зазору між стрічками складеного електрода. При цьому інтенсивність поперечних потоків слабшає зі збільшенням зазору, коли знижується рідина розплаву в окремих частинах зварювальної ванни. Отримання одинарного валика зі змінним по ширині складом забезпечує оптимальний зазор між стрічками, що не досягає критичної величини, при якій необхідна якість формування валика поєднується з надійністю сплавлення з основним металом. Оцінено можливість підвищення надійності проплавлення при наплавленні макрорізнорідних композицій шляхом зміни режиму наплавлення. Показано, що оскільки відхилення від оптимальних параметрів режиму наплавлення стрічковим електродом призводить до погіршення якості формування валика, зростають вимоги до технологічних та теплофізичних властивостей флюсу.

Ключові слова: математична модель, наплавлення, складений стрічковий електрод, зазор між стрічками, макрорізнорідність, зварювальна ванна, порушення формування, надійність проплавлення.

L.K. Leshchinskiy, V.M. Matvienko, V.A. Mazur. Computational and experimental assessment of the conditions for obtaining deposited macroheterogeneous layers. The results of investigation of the conditions for obtaining macroheterogeneous chemical compositions within the limits of the single bead by submerged-arc surfacing with composite strip electrode are presented. Studies included the numerical calculations and simulation of heat distribution based on solution of nonlinear differential equation of heat conductivity. Temperature-dependent base metal properties were considered when calculating. It is shown that the mathematical modeling of the process of heating and heat propagation in a semi-infinite body during wide layer surfacing makes it possible to evaluate the influence of the geometry of composite strip electrode on the formation of the weld pool. The shape and dimensions of the pool is affected by the transferred flow of the molten metal. With the increase of the gap between the central and lateral strips of composite electrode the intensity of the transferred flow weakens because of the decrease in the conditions, especially in reducing the fluidity of liquid metal in certain parts of the weld pool. The data of computational study allow to analyze the effect of the shape of the heat source on the temperature field, depth of fusion zone and to determine the critical value of the gap between the central and lateral strips in which the formation of the wide pool is disturbed, what results

¹ д-р техн. наук, професор, Бостон, США

² д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, matviyenko@gmail.com

³ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

in incomplete fusion of the base metal. It is shown that in order to increase the stability of the surfacing process with composite strip electrode and improve the formation of a bead, the requirements for the technological and thermophysical properties on the flux are getting higher.

Key words: *mathematical model, surfacing, composite strip electrode, central and lateral strips, gap, fluid molten pool, formation of the wide pool, incomplete fusion, penetration, single bead, macroheterogeneous deposited composition, flux, technological and thermophysical properties.*

Постановка проблеми. Розв'язання задачі виготовлення та відновлення виробів шляхом наплавлення з метою підвищення їх працездатності за рахунок отримання макрорізнорідного складу та структури вимагає розрахунково-експериментального підходу до розробки технології з використанням чисельного моделювання процесу нагрівання та плавлення основного металу (попереднього шару) на основі рішення нелінійного тримірної диференціального рівняння теплопровідності з урахуванням температурної залежності коефіцієнта теплопровідності. Найбільший інтерес викликає аналіз розрахункових та експериментальних даних про вплив параметрів режиму наплавлення та геометрії складеного стрічкового електрода на форму, розміри та порушення формування зварювальної ванни.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. При розробці технології наплавлення макрорізнорідного шару на прокатні валки значний інтерес представляє можливість використання відповідних експерименту розрахункових даних про склад наплавленого металу, який щонайменше відрізняється від складу електрода. Для цього потрібна розрахункова оцінка розмірів зони проплавлення та частки участі основного металу [1]. Як джерело нагрівання (електрод, що плавиться) при наплавленні великих обтискних і робочих прокатних валків з гладкою бочкою доцільно застосування стрічкового електрода (одинарного, розщепленого, складеного) [2]. Це полегшує завдання одержання наплавленого металу змінного по ширині зварювальної ванни складу. Практичне застосування результатів такого розрахунково-експериментального підходу використовується при розробці технології та виборі матеріалів для наплавлення робочих валків обтискних станів (горизонтальні валки слябінгу) та ширококутних станів гарячої прокатки (валки чорного окалиноломача та чорнових робочих клітей). Тут однією з найважливіших характеристик наплавленого шару є запобігання прослизання заготівлі та забезпечення надійного захоплення металу під час прокатування [3]. Розв'язанню цього завдання має сприяти формування наплавленого робочого шару, склад і властивості якого забезпечують нерівномірне зношування бочки валка, що супроводжується утворенням рельєфу. Тим самим створюються умови, у яких не тільки інтенсивно руйнується окалина, яка лежить на поверхні заготівлі, але й збільшується ступінь обтиснення. Для цього в залежності від типу валка та вимог до зміни властивостей поверхневого шару вибирається співвідношення розмірів, складу та твердості окремих ділянок бочки валка.

Забезпечити необхідні зміни властивостей наплавленого шару дозволяє формування різнорідного складу металу в межах зварювальної ванни. У проведених дослідженнях за допомогою математичного моделювання процесу нагрівання основного металу при наплавленні складеним стрічковим електродом під флюсом оцінено вплив зазору між різнолегованими стрічками на форму та розміри зварювальної ванни [4]. Результати розрахунку, підтверджені експериментом, показали, що при зазорі 8,0-10,0 мм обмежено перемішування середньої та бічних частин ванни, завдяки чому утворюється одинарний валик зі змінним по ширині складом. Разом з тим недостатньо вивчена залежність від величини зазору зміни глибини проплавлення по ширині ванни та ймовірності появи несплавлень з основним металом. Викликає також інтерес вплив на процеси у зварювальній ванні та якість формування валика складу та властивостей застосовуваного флюсу.

Мета статті – дослідження впливу технології наплавлення складеним стрічковим електродом на умови формування зварювальної ванни при нанесенні різнорідного по ширині складу наплавленого металу.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації обраного варіанту отримання металу зі змінним складом по ширині валика, що наплавається, використовується система управління процесом легування зварювальної ванни [5]. В той же час, надійний і технологічний спосіб

наплавлення макрорізнорідного шару, при якому використовується складений електрод зі стрічок, що відрізняються не тільки розмірами, а й складом [6]. При цьому зі зміною ширини та складу середньої стрічки, а також складу бічних стрічок (табл. 1), вдається регулювати розміри, протяжність та послідовність чергування наплавлених ділянок високої та низької твердості (рис. 1).

Таблиця 1

Розміри та склад стрічок складеного електрода, твердість наплавлених ділянок

	Середня стрічка			Бічні стрічки			Режим наплавлення		
	Розмір, мм	Склад	Твердість	Розмір, мм	Склад	Твердість	I_n , А	U, В	v_n , м/год.
a	75×0,5	12X13	400 HV	25×0,7	08кп	150 HV	1350	32	14,0
a	75×0,5	20X13	445 HV	25×0,7	30XГСА	300 HV	1350	32	14,0
б	50×0,5	30XГСА	300 HV	25×0,7	20X4МФБ	370 HV	1150	32	14,0

Для оцінки впливу геометрії складеного електрода на умови нагрівання та плавлення основного металу, форму та розміри зони проплавлення використовувалася методика розрахунку, яка заснована на вирішенні нелінійного диференціального рівняння теплопровідності, в якому враховується залежність від температури теплофізичних властивостей основного металу (поперечного шару) [1]. Незважаючи на те, що модель не передбачає аналізу процесів, що відбуваються у ванні, застосування математичного моделювання дозволило досліджувати вплив форми і розмірів складеного електрода (насамперед, величини зазору між стрічками, що розрізняються за складом) на форму і положення ізотерми $T_{пл}$ (розміри металевої ванни). В умовах розосередженого по ширині зварювальної ванни введення тепла, зі зростанням величини зазору (аж до критичного значення) знижується температура (ступінь перегріву) та ентальпія окремих частин ванни, що супроводжується підвищенням в'язкості та зменшенням швидкості перебігу розплавленого металу. На відміну від процесу зварювання та наплавлення одинарним електродом, для якого характерна висока плинність ванни та інтенсивне перемішування розплаву конвективними потоками, при напавленні складеним електродом зі збільшенням зазору між середньою та бічними стрічками умови перемішування рідкого металу різко погіршуються. Це насамперед пов'язано з впливом значень температури, що змінюються, і ентальпії розплавленого металу на зниження інтенсивності поперечних потоків у ванні. До того ж, на ділянках збільшеного зазору у зварювальну ванну надходить недостатня кількість розплавленого металу та послаблюється тепломасоперенесення. При цьому порушується формування ванни (ширина якої відповідає проєкції джерела нагріву на поверхню, що наплавляється), що супроводжується, як зазначає А.А. Єрохін [7], швидким охолодженням розплаву до стану «нульової плинності» і стає неможливим його розтікання по всій ширині ванни.

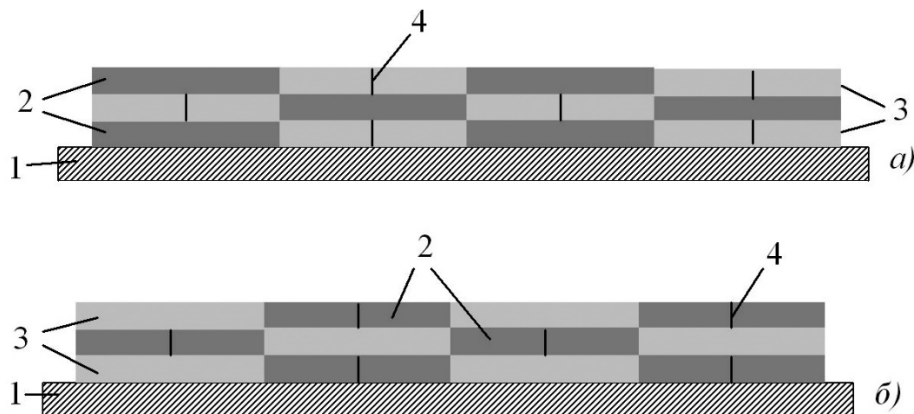


Рис. 1 – Способи наплавлення тришарових різнорідних композицій, що складаються з ділянок підвищеної твердості (2) та підвищеної пластичності (3): 1 – основний метал, 4 – межі суміжних валиків

Моделювання дозволило встановити, що зі збільшенням зазору між середньою та бічними стрічками від 5 до 10 мм ширина ванни зростає від 85 до 95 мм (табл. 2). У той же час положення ізотерми $T_{пл}$ свідчить про локальне зниження глибини проплавлення на ділянці зазору (з 0,9 до 0,3 мм) (рис. 2, 3, в). Це може призвести до появи несплавлень, що додатково підтверджується значним зростанням коефіцієнта варіації глибини проплавлення W . Якщо для зазору 5 мм значення W , що характеризує нерівномірність проплавлення по ширині ванни, становить 15,5%, то для зазору 10 мм підвищується майже вдвічі (до 27,4%). Очевидно, величина зазору 10 мм для розмірів складеного електрода, а також параметрів режиму, може розглядатися, як критична. На цій підставі при наплавленні макрорізнорідного шару складеним електродом, в якому середня стрічка перетином $50 \times 0,5$ мм, а бічні стрічки – $25 \times 0,7$ мм (параметри режиму: струм 950-1000 А, напруга 32 В, швидкість наплавлення 14 м/год), оптимальна величина зазору повинна бути меншою за критичну (не більше 8 мм). У разі зростання величини зазору до 15 мм, що вище за критичну, ширина ванни збільшується, досягаючи ~ 100 мм. Це збільшення супроводжується порушенням умов існування частин ванни, віддалених від середини та розташованих у зоні зазору, у зв'язку з чим різке підвищення коефіцієнта варіації глибини проплавлення (до 46,4%) може розглядатися з певним ступенем умовності. Відбувається поділ широкої ванни, унаслідок чого утворюється ряд локальних ванн (рис. 3, г), а в наплавленому шарі виникають пропуски.

Крім обмеження величини зазору, знизити ймовірність порушення формування ванни (підвищити технологічну стабільність процесу) за рахунок покращення теплової та гідродинамічної обстановки дозволяє зменшення швидкості наплавлення. З її зменшенням зростає обсяг та ступінь перегріву ванни, що сприяє розтіканню розплаву та змочуванню основного металу. Для наведених вище значень струму та напруги доцільно зменшити швидкість наплавлення складеним стрічковим електродом під флюсом з 14 до 10 м/год. З урахуванням зростання висоти валика, слід збільшити кут повороту бічних стрічок щодо середньої стрічки від 120° до $130-135^\circ$ [8].

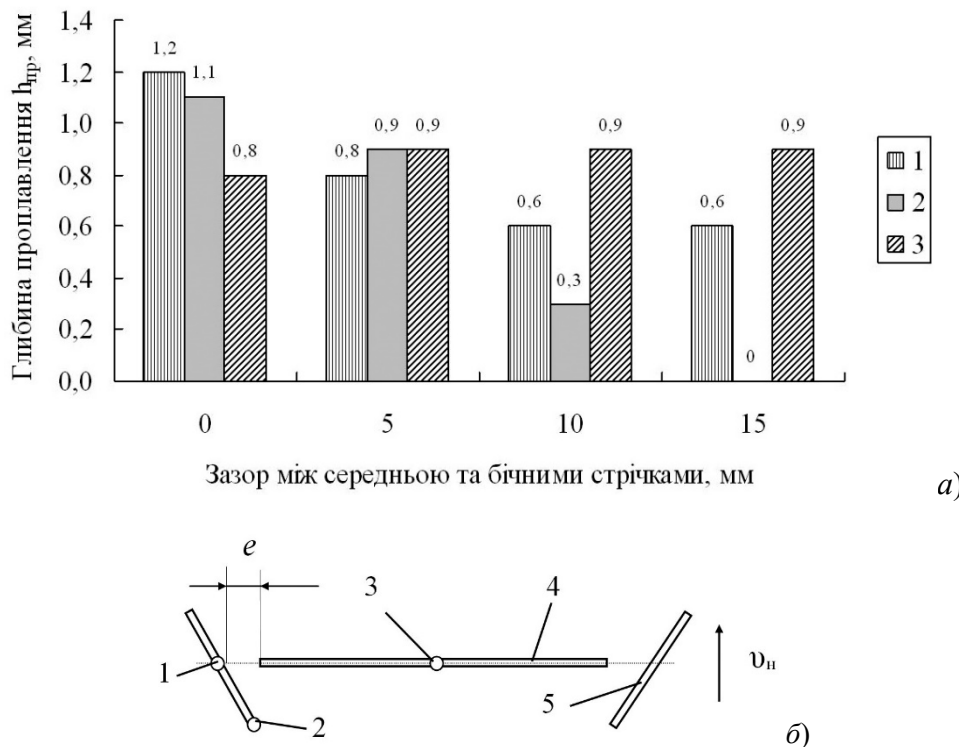


Рис. 2 – Вплив зазору між середньою і бічними стрічками на глибину проплавлення основного металу в перерізах зварювальної ванни (а) по точках 1, 2 і 3 складеного стрічкового електрода (б): 1 – переріз в зоні точки 1 (центр бічної стрічки); 2 – переріз у зоні точки 2 (край бічної стрічки); 3 – переріз у зоні точки 3 (центр середньої стрічки)

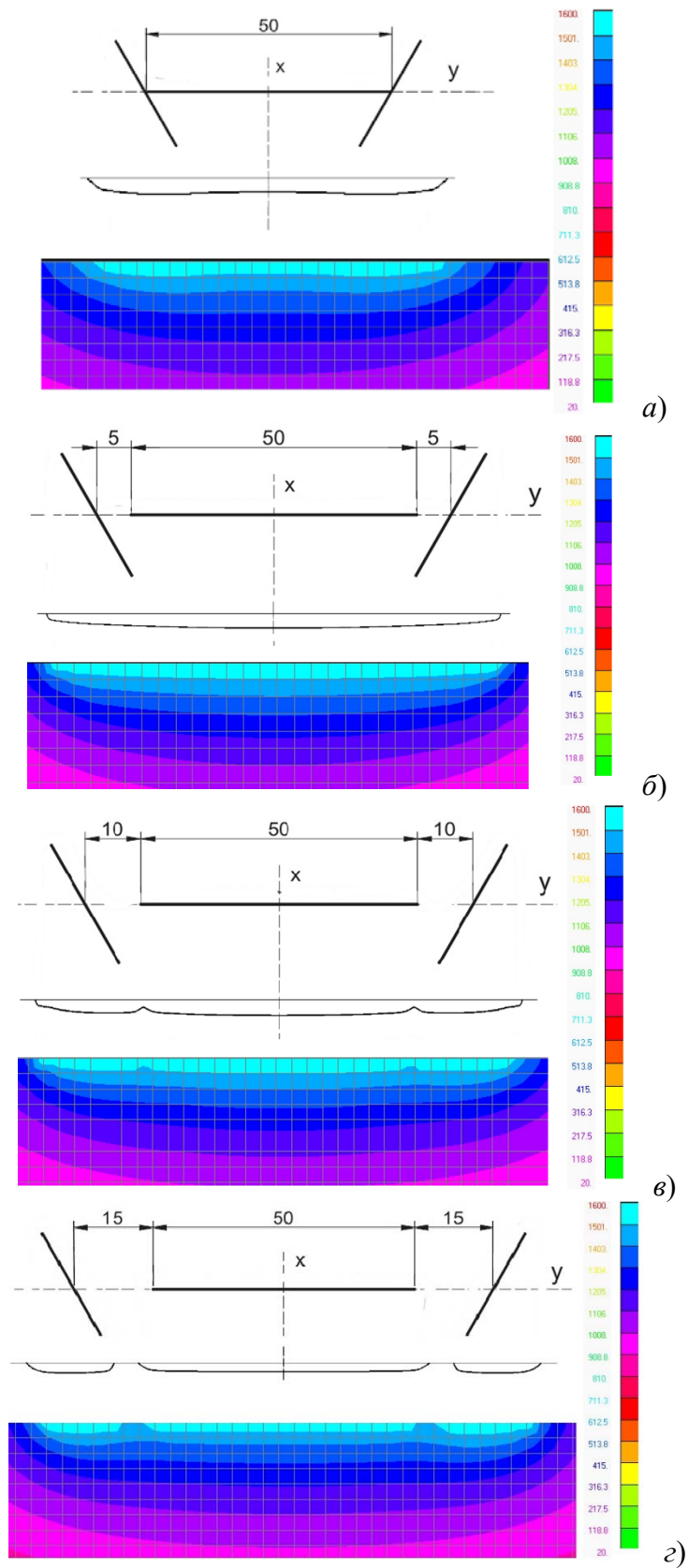


Рис. 3 – Результати розрахунку впливу зазору між стрічками на поперечний переріз зони проплавлення при наплавленні складеним стрічковим електродом: а – без зазору; б – зазор 5 мм; в – 10 мм; г – 15 мм

Таблиця 2

Вплив величини зазору між стрічками на геометрію джерела нагріву та зварювальної ванни

Величина зазору, мм	0	5	8	10	15
Ширина джерела нагріву, мм	62	72	78	82	92
Ширина зварювальної ванни, мм	75	85	91	95	-
Коефіцієнт варіації глибини проплавлення W, %	15,5	12,9	-	27,4	46,4

Зазначене вище зниження швидкості наплавлення порівняно з оптимальною вимагає додаткових заходів для покращення формування валика та підвищення технологічної стабільності процесу. Раніше проведені дослідження показали [9], що зміна розмірів та форми валика зі зменшенням швидкості наплавлення стрічковим електродом залежить від складу застосовуваного флюсу. Це викликано впливом на процеси в зварювальній ванні, а також її ентальпію і конвекцію, теплофізичних властивостей металеві та шлакової фаз, які різко відрізняються. З характерним для зварювальної ванни та сталеплавильного процесу температурним режимом пов'язані усереднені значення теплофізичних властивостей розплавленого металу та шлаку [3]. Якщо теплопровідність шлаку 3,0 Вт/м·К, теплоємність 2,1 Дж/г К, ентальпія 1900 Дж/г, щільність 3,3 г/см³, то металу – 22 Вт/м·К, 0,84 Дж/г К, 1390 Дж/г, 7,0 г/см³, відповідно. На думку ряду дослідників, аналогічно мартенівському шлаку, наведеному значенню теплоємності зварювального шлаку, яке порівняно мало залежить від його складу, відповідає температура 1600°C.

Температура 1600°C досить обґрунтовано може розглядатися як температура, характерна для шлаку в головній частині ванни при зварюванні (наплавленні) під флюсом. Оскільки температура плавлення застосовуваних при наплавленні складовим стрічковим електродом флюсів АН-60 і АН-348А набагато нижча, значний інтерес представляє порівняльна оцінка процесу часткового та повного плавлення, а також ступеня їх перегріву, з урахуванням відмінностей у складі та структурі шлаку [10, 11]. Відмінності у хімічному складі флюсів АН-60 та АН-348А визначають дещо більшу основність (0,77) для АН-60 порівняно з АН-348А (0,74). За даними [12], інтервал плавлення флюсу АН-60 становить 945-1165°C, а температура його повного розплавлення – 1170°C (для флюсу АН-348А, відповідно, 960-1175°C і 1150°C). Крім того, у всьому температурному діапазоні від початку плавлення до повного розплавлення електрична провідність флюсу АН-348А помітно вища. Це узгоджується з результатами експериментів із вимірювання в'язкості розплаву флюсу АН-348А (0,12-0,14 Па·с при температурі 1600°C) та значною часткою струму шунтування (до 30-40% від загального значення струму наплавлення) [3]. Тому при використанні флюсу АН-348А потрібні більш високі значення загального струму – інакше у наплавленому валику можуть з'являтися кратероподібні перепустки металу. Такого підвищення загального струму не потребується в разі застосування флюсу АН-60. Крім того, його застосування дозволяє покращити формування та збільшити ширину валика.

Висновки

1. На підставі розрахунку на математичній моделі температури нагрівання основного металу в процесі наплавлення складеним стрічковим електродом визначено критичну величину зазору між середньою та бічними стрічками, при якій різко зростає коефіцієнт варіації глибини проплавлення і не забезпечується надійне сплавлення з основним металом.

2. При оптимальній (меншій, ніж критична) величині зазору між різнолегованими стрічками забезпечується як формування макрорізнорідності складу по ширині одинарного валика, так і надійне проплавлення.

3. Поряд із вибором оптимальної величини зазору, необхідний також вибір параметрів режиму наплавлення та складу флюсу, що відповідають умовам забезпечення технологічної стабільності процесу.

Перелік використаних джерел:

1. Мазур В.А. Влияние теплофизических свойств основного металла на геометрию зоны проплавления при наплавке ленточным электродом / В.А. Мазур, Л.К. Лещинский, В.Н. Матвиенко // Сварочное производство. – 2018. – № 3. – С. 10-14.

2. Матвиенко В.Н. Нагрев и плавление основного металла при наплавке составным ленточным электродом под флюсом / В.Н. Матвиенко, Л.К. Лещинский, В.А. Мазур // Сварочное производство. – 2014. – № 4. – С. 3-7.
3. Лещинский Л.К. Слоистые наплавленные и упрочнённые композиции / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин. – Мариуполь: Новый мир, 2005. – 392 с.
4. Matvienko V.N. Formation of macroheterogeneous compositions in submerged-arc surfacing with a compound strip electrode / V.N. Matvienko, L.K. Leshchinskiy, V.A. Mazur // *Welding International*. – 2016. – Vol. 30, № 3. – Pp. 220-223. – Mode of access: <https://doi.org/10.1080/09507116.2015.1044270>.
5. Іванов В.П. Моделивання технології наплавлення зносостійкого шару змінного хімічного складу / В.П. Іванов, Л.К. Лещинський, С.В. Щербаків // Автоматичне зварювання. – 2019. – № 11. – С. 40-45. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/as2019.11.06>.
6. Лещинский Л.К. Особенности технологии наплавки многослойных износостойких композиций с пластичным подслоем / Л.К.Лещинский, В.Н. Матвиенко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – № 2(44). – С. 64-67.
7. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А.А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.
8. Матвиенко В.Н. Формообразование сварочной ванны при широкослойной наплавке под флюсом составным ленточным электродом / В.Н. Матвиенко, Л.К. Лещинский, В.А. Мазур // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2013. – Вип. 26. – С. 144-151. – (Серія: Технічні науки).
9. Матвиенко В.Н. Совершенствование технологии наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2011. – Вип. 22. – С. 169-176. – (Серія: Технічні науки).
10. Formation of spinel in melts of the MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaF₂ system agglomerated welding flux and its effect on viscosity of slag / I.A. Goncharov, V.E. Sokolsky, A.O. Davidenko, V.I. Galinich, D.D. Mishchenko // *The Paton Welding Journal*. – 2012. – № 12. – Pp. 18-25.
11. Prediction of thermodynamic properties of melts of MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaF₂ system / I.A. Goncharov, V.I. Galinich, D.D. Mishchenko, M.A. Shevchenko // *The Paton Welding Journal*. – 2011. – № 10. – Pp. 2-4.
12. Кузьменко В.Г. Определение температурного интервала плавления сварочных флюсов по данным их термического анализа / В.Г. Кузьменко // Автоматическая сварка. – 1992. – № 9-10. – С. 34-41.

References:

1. Mazur V.A., Leshchinskiy L.K., Matvienko V.N. Vliianie teplofizicheskikh svoystv osnovnogo metalla na geometriiu zony proplavleniia pri naplavke lentochnym elektrodom [Influence of the thermophysical properties of the base metal on the geometry of the penetration zone during surfacing with a strip electrode]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 2018, № 3, pp. 10-14. (Rus.)
2. Matvienko V.N., Leshchinskiy L.K. Mazur V.A. Nagrev i plavlenie osnovnogo metalla pri naplavke sostavnym lentochnym elektrodom pod flusom [Heating and melting of the base metal during surfacing with a composite submerged strip electrode]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 2014, № 4, pp. 3-7. (Rus.)
3. Leshchinskiy L.K., Samotugin S.S. Sloistye naplavlennye i uprochnennye kompozitsii [Layered deposited and hardened compositions]. Mariupol, Novyi mir Publ., 2005. 392 p. (Rus.)
4. Matvienko V.N., Leshchinskiy L.K. Mazur V.A. Formation of macroheterogeneous compositions in submerged-arc surfacing with a compound strip electrode. *Welding International*, 2016, vol. 30, № 3, pp. 220-223. doi:10.1080/09507116.2015.1044270.
5. Ivanov V.P., Leshchinskiy L.K., Shcherbakov S.V. Modeliuvannia tekhnologii naplavlennia znosostiikogo sharu zminnogo khimichnogo skladu [Modeling of technology of surfacing of wear-resistant layer of variable chemical composition]. *Avtomatichne zvariuvannia – Automatic welding*, 2019, № 11, pp. 40-45. doi:10.15407/as2019.11.06. (Ukr.)

6. Leshchinskiy L.K., Matvienko V.N. Osobennosti tekhnologii naplavki mnogosloinykh iznosostoi-kikh kompozitsii s plastichnym podsloem [Features of the technology of surfacing multilayer wear-resistant compositions with a plastic sublayer]. *Visnik Donbas'koї derzhavnoї mashinobudivnoї akademii – Herald of the Donbass state engineering academy*, 2018, № 2(44), pp. 64-67. (Rus.)
7. Erokhin A.A. *Osnovy svarki plavleniem. Fiziko-khimicheskie zakonomernosti* [Fundamentals of fusion welding. Physical and chemical patterns]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 448 p. (Rus.)
8. Matvienko V.N., Leshchinskiy L.K., Mazur V.A. Formoobrazovanie svarochnoi vannы pri shirokosloinoi naplavke pod flusom sostavnym lentochnym elektrodom [Shaping of the weld pool in wide-layer submerged arc surfacing with a composite tape electrode]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2013, vol. 26, pp. 144-151. (Rus.)
9. Matvienko V.N. Sovershenstvovanie tekhnologii naplavki uplotnitel'nykh poverkhnosti truboprovodnoi armatury [Improving the technology of surfacing sealing surfaces of pipeline fittings]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2011, vol. 22, pp. 169-176. (Rus.)
10. Goncharov I.A., Sokolsky V.E., Davidenko A.O., Galinich V.I., Mishchenko D.D. Formation of spinel in melts of the MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaF₂ system agglomerated welding flux and its effect on viscosity of slag. *The Paton Welding Journal*, 2012, № 12, pp. 18-25.
11. Goncharov I.A., Galinich V.I., Mishchenko D.D., Shevchenko M.A. Prediction of thermodynamic properties of melts of MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaF₂ system. *The Paton Welding Journal*, 2011, № 10, pp. 2-4.
12. Kuz'menko V.G. Opredelenie temperaturnogo intervala plavleniia svarochnykh flusov po dannym ikh termicheskogo analiza [Determination of the melting temperature range of welding fluxes according to their thermal analysis]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1992, № 9-10, pp. 34-41. (Rus.)

Рецензент: С.В. Щетинін
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 15.09.2021

УДК 621.791.753.042

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.8

© Щетинін С.В.¹, Щетиніна В.І.², Коваль О.В.³, Никитенко П.В.⁴,
Елсаєд Халед⁵

ВИСОКОШВИДКІСНЕ НАПЛАВЛЕННЯ НА НИЗЬКІЙ ПОГОННІЙ ЕНЕРГІЇ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Встановлено закономірності впливу криволінійної поверхні на взаємодію дуги і рідкого металу зварювальної ванни, порушення рівноваги в ванні, зниження стабільності процесу, формування швів і тріщиностійкості наплавленого металу. Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії циліндричних деталей зі зміщенням електроду з осі в напрямку, протилежному обертанню деталі, на величину зварювальної ванни, що забезпечує стабільність процесу, рівновагу дуги і рідкого металу зварювальної ванни, зростання швидкості кристалізації рідкого металу, здрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані та підвищення міжатомних зв'язків і тріщиностійкості наплавленого металу.

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

³ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

⁴ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

⁵ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь