

I. M. РИБАЛКО

доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри сервісної інженерії та технологій матеріалів
в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка
Державний біотехнологічний університет
ORCID: 0000-0002-3663-019X

A. B. ЗАХАРОВ

аспірант кафедри сервісної інженерії та технологій матеріалів
в машинобудуванні імені О. І. Сідашенка
Державний біотехнологічний університет
ORCID: 0000-0001-9894-7355

O. B. САЙЧУК

доктор технічних наук, професор
Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж
імені В. І. Вернадського
ORCID: 0000-0001-5118-838X

V. O. КОРОТІЙ

голова обласного методичного об'єднання «Технології виробництва
та експлуатації машин і механізмів»
Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж
імені В. І. Вернадського

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПРОПЛАВЛЕННЯ ОСНОВНОГО МЕТАЛУ ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ І МЕТОДИ ЙОГО РЕГУЛЮВАННЯ

У даній роботі розглядається можливість оперативно оцінити як розрахунковим, так і експериментальним шляхом зміну температури для деяких точок, розташованих на однаковій відстані від поверхні, що наплавляється, і відповідно зміну глибини проплавлення основного металу в залежності від розташування стрічкового електрода у шлаковій ванні. Ванна рідкого шлаку, маючи меншу, ніж у розплавленого металу, густину, постійно перебуває над поверхнею металевого розплаву, захищаючи його від впливу повітря. Краплі присадного металу, проходячи через шлак, піддаються металургійній обробці і очищаються від шкідливих домішок. Напрямок конвекції шлаку залежить від діаметра електрода: при напавленні тонким електродом переважає вимушена електромагнітна конвекція, шлак опускається біля електрода і піднімається по краях шлакової ванни, при використанні товстого електрода переважає вільна теплова конвекція, шлак опускається по краях шлакової ванни і піднімається поблизу електрода. Технологічним процесом ЕШН передбачається, як правило, отримання мінімального перемішування основного металу з наплавним. Провести таке напавлення за звичайною класичною схемою «вертикальне напавлення» і при малій висоті напавлення дуже важко. Відмінна особливість ЕШН така, що зі збільшенням глибини занурення електрода у шлак концентрація тепла навколо електрода зростає. У цьому випадку відбувається збільшення об'ємної густини теплової енергії, яка визначає характер течій у шлаковій ванні, глибину проплавлення основного металу, та, відповідно, ступінь його перемішування з наплавним. Тому одним із шляхів керування впливом енергетичних параметрів шлакової ванни на основний метал є регулювання положення теплового центру у шлаковій ванні. Проплавлення основного металу є однією з найважливіших характеристик будь-якого наплавочного процесу, яке визначає якість і властивості напавленого металу, продуктивність і економічність напавлення. Вивчення особливостей електрошлакового процесу з використанням кіно- і фотозйомки через прозоре середовище дало змогу простежити стадії процесу плавлення електрода, оплавлення кромок основного металу і зафіксувати форму поверхні металеві ванни.

Ключові слова: електрошлакове напавлення, товщина металу, проплавлення, методи регулювання.

I. M. RYBALKO

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the O. I. Sidashenko Department of Service Engineering
and Materials Technology in Mechanical Engineering
State Biotechnological University
ORCID: 0000-0002-3663-019X

A. V. ZAKHAROV

Postgraduate Student at the O. I. Sidashenko Department of Service Engineering
and Materials Technology in Mechanical Engineering
State Biotechnological University
ORCID: 0000-0001-9894-7355

O. V. SAICHUK

Doctor of Technical Sciences, Professor
V. I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College
ORCID: 0000-0001-5118-838X

V. O. KOROTII

Head of the Regional Methodological Association “Technologies of Production
and Operation of Machines and Mechanisms”
V. I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College

STUDY OF THE CAUSES OF BASE METAL MELTING DURING ELECTROSLAG SURFACING AND METHODS OF ITS REGULATION

This paper considers the possibility of quickly assessing, both by calculation and experiment, the temperature change for some points located at the same distance from the surface to be deposited, and, accordingly, the change in the depth of penetration of the base metal depending on the location of the strip electrode in the slag bath. The liquid slag bath, having a lower density than the molten metal, is constantly above the surface of the metal melt, protecting it from air. Droplets of filler metal passing through the slag are subjected to metallurgical treatment and are purified from harmful impurities. The direction of slag convection depends on the diameter of the electrode: when surfacing with a thin electrode, forced electromagnetic convection prevails, the slag sinks near the electrode and rises along the edges of the slag pool, while when using a thick electrode, free thermal convection prevails, the slag sinks along the edges of the slag pool and rises near the electrode. As a rule, the technological process of ESR involves minimal mixing of the base metal with the deposited metal. It is very difficult to carry out such surfacing according to the usual classical “vertical surfacing” scheme and at a low surfacing height. A distinctive feature of ESR is that as the depth of electrode immersion in the slag increases, the heat concentration around the electrode increases. In this case, the volumetric density of thermal energy increases, which determines the nature of flows in the slag bath, the depth of penetration of the base metal, and, accordingly, the degree of its mixing with the deposited metal. Therefore, one of the ways to control the effect of slag bath energy parameters on the base metal is to adjust the position of the heat centre in the slag bath. The penetration of the base metal is one of the most important characteristics of any surfacing process, which determines the quality and properties of the deposited metal, as well as the productivity and efficiency of surfacing. Studying the features of the electroslag process using film and photography through a transparent medium made it possible to trace the stages of the electrode melting process, melting of the base metal edges and to record the shape of the metal bath surface.

Key words: *electroslag surfacing, metal thickness, penetration, adjustment methods.*

Постановка проблеми

До робочої поверхні деталей машин пред’являються певні вимоги щодо різних властивостей залежно від умов їх експлуатації: зносостійкості, жароміцності, корозійної стійкості та ін. Міцність деталі досягається використанням відповідних матеріалів з необхідними вихідними властивостями. Тобто при проектуванні машин потрібно враховувати міцність сучасних матеріалів. У ряді випадків виготовлення деталей абсолютно недоцільно через їх труднощі в механічній обробці і непрацездатності. Тому для вирішення проблеми підвищення експлуатаційних характеристик і продовження терміну служби деталей машин використовують різні способи ремонту (зміцнення) поверхонь, особливо широке застосування у виробництві знайшла технологія електрошлакової наплавки.

Термін служби деталей машин можна подовжити шляхом формування на поверхнях цих деталей і вузлів шарів, або покриттів з високим рівнем заданих властивостей (стійкість до корозії при високих температурах, зносостійкість, твердість, термостійкість тощо). Наплавлення – це процес нанесення на робочу поверхню виробу шару необхідних сплавів і модифікаторів. При електрошлаковій наплавці на робочій поверхні деталі можна отримати шар практично будь-якої товщини, з широким спектром хімічного складу і різними властивостями: високою твердістю і зносостійкістю, термостійкістю, стійкістю до кавітації та ін. Технічні операції, необхідні для відновлення працездатності зношених деталей, скорочуються в 5–8 разів порівняно з виготовленням нових деталей.

За загальними даними, 85% деталей можна відновити при зносі не більше 3 мм, тому що їх працездатність відновлюється при нанесенні невеликої товщини покриття. Однак у багатьох випадках термін служби відновлених деталей все ще дуже короткий у порівнянні з новими деталями. У той же час є і приклади, коли поступово відновлені запаси запчастин у кілька разів перевищують ресурси нових. Багаторазовий ремонт зношених деталей шляхом наплавлення дозволяє знизити вартість металу запчастин у кілька разів. Підвищення стійкості деталей

особливо важливо, якщо від них залежить робота високопродуктивних машин (прокатних станів, екскаваторів, двигунів, коробок передач), оскільки заміна зношених деталей може призвести до тривалих простоїв.

Економічно вигідно також підвищувати стійкість деталей складної форми з точними розмірами, вартість яких в основному визначається витратами на механічну та термічну обробку. Цей спосіб значно економить сировину і трудові ресурси. Застосування електрошлакової технології для поліпшення властивостей поверхні матеріалів розширило горизонти проектування та виробництва різного обладнання з більш високим рівнем експлуатаційних показників, тим самим зменшивши споживання енергії в різних галузях промисловості та підвищивши продуктивність праці.

Викладення основного матеріалу дослідження

Як правило, під час процесу електрошлакового наплавлення, явище проплавлення прагнуть звести до мінімуму. Проплавлення характеризується часткою основного металу в наплавленому і виражається у відсотках:

$$\gamma_o = \frac{F_o}{F_o + F_h} = 100\% \quad (1)$$

де F_o – площа перерізу розплавленого основного металу; а F_h – площа перерізу наплавленого металу. Частка основного металу в наплавленому коливається в широких межах і залежить від способу і режиму наплавлення. Орієнтовні її значення за різних способів наплавлення наведено в таблиці 1.

Під час плавлення електродного дроту після початку формування, відриву і падіння крапель увігнутість поверхні металевої ванни під електродом зростає. Потім вона зменшується майже до початкового значення, але водночас збільшується оплавлення з'єднувальних кромки деталі, що з'єднуються. Характерна форма оплавлення кромки пояснюється тим, що тепло підводиться до них через метал внаслідок його більшої теплопровідності порівняно зі шлаком і підмивання бічних кромки потоками розплавленого перегрітого металу. До нависаючої частини кромки ці потоки не доходять зовсім, або доходять частково.

Таблиця 1

Частка основного металу в наплавленому за різних способів наплавлення

Спосіб наплавки	Доля основного металу в наплавленому, %
Ручна дугова покритими електродами	20...50
Автоматична дугова під флюсом:	
одним електродом	30...60
багатоелектродна	15...30
електродною стрічкою	10...20
Автоматична та напівавтоматична в захисному газі	30...60
Автоматична дугова порошковою стрічкою:	
одним електродом	15...40
двома електродами	10...20
Електрошлакове двома електродними стрічками	5...15
Електрошлакова електродними дротами	10...15
Електрошлакова зернистим присадним матеріалом	5...10
Плазмо-порошкова	5...15
Індукційна	5...15
Газова	1...3
Лазерна	0,1...1,5

Встановлено, що саме характер перенесення електродного металу чинить визначальний вплив на розміри і форму сплавлення кромки, глибину металевої ванни і форму її поверхні. Якісно взаємозв'язок глибини проплавлення з параметрами режиму електрошлакового наплавлення встановлено в роботі [18]. Отримані залежності можна застосовувати і для ЕШН, вносячи певні корективи, що враховують перерозподіл витрати тепла під час ЕШН від основного металу в формувальні пристрої (кристалізатори). Якщо для ЕШН тепловідведення в основний метал становить близько 50 %, то за ЕШН – 21 %; тепловідведення у формувальні пристрої відповідно 7,8 і 34,3 %; витрата тепла на нагрів і плавлення електродного металу практично однакові 23,8 і 23,2 % [1, с. 55]. Існує кілька розрахункових схем, що визначають взаємозв'язок глибини проплавлення і режиму наплавлення [2, с. 234. 3, с. 35].

На підставі аналізу теплового балансу ЕШН показано [4, с. 24], що з підвищенням питомої енергії наплавлення ($g_i/v_{св} \cdot \delta$, де g_i – потужність, що виділяється в шлаковій ванні, кал/с; $v_{св}$ – потужність, швидкість наплавлення, см/с; δ – товщина зварюваного матеріалу, глибина проплавлення збільшується, причому за малих швидкостей наплавлення ця залежність близька до лінійної. Зі зростанням швидкості та постійної питомої енергії наплавлення глибина проплавлення також збільшується (рис. 1).

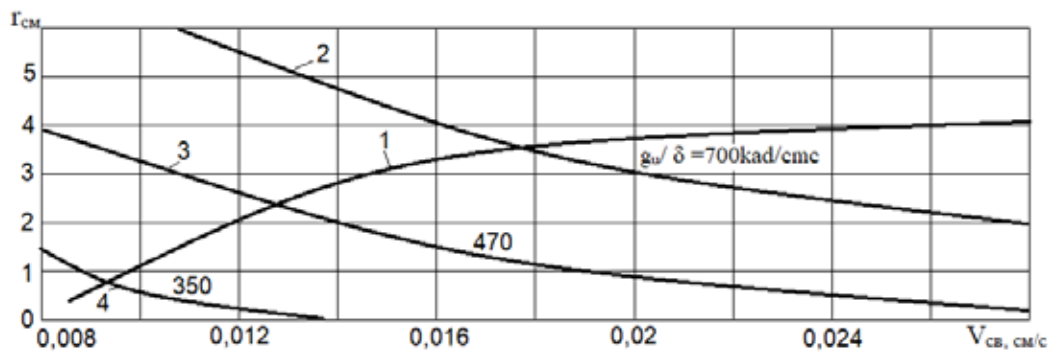


Рис. 1. Вплив швидкості ЕШЗ на величину провару r за постійної питомі енергії наплавлення $g_i/\nu_{св} \cdot \delta = 37200$ кал/см² (крива 1) і за постійної питомі потужності наплавлення g_i/δ (криві 2–4)

У разі використання мундштуків, що плавляться, розрахунковим шляхом встановлено і підтверджено експериментально, що зменшення відстані між електродами і збільшення напруги сприяє отриманню більш рівномірного проплавлення [5, с. 28]. Істотний вплив на глибину проплавлення під час електрошлакового наплавлення мають такі чинники:

- фізичні властивості та геометричні розміри шлакової ванни;
- теплофізичні характеристики присадного й основного металів;
- енергетичні параметри наплавлення, що обумовлюють тепловий режим і є практично єдиними, за допомогою яких можна керувати процесом;
- геометричні розміри і співвідношення розмірів деталі, що наплавляється, металеві ванни, електрода, відстані від електрода до заготовки і кристалізатора (повзуна).

Рівномірне і мінімальне проплавлення, аж до нульового, можна отримати під час використання так званих киплячих флюсів [6, с. 710. 7, с. 1060]. Спроби знизити температуру шлакової ванни, а отже, усунути зайвий перегрів основного металу шляхом зниження сили струму і напруги при використанні звичайних флюсів не дали позитивних результатів. З іншого боку, введення в ці флюси спеціальних компонентів (стабілізаторів температури) не дало змоги отримати мінімальне проплавлення основного металу через недостатню активність цих шлаків за низької температури процесу. Нині розроблено склади хімічно активних флюсів, які гарантують отримання якісного з'єднання з мінімальним проплавленням основного металу. Стабілізація температури шлакової ванни при їх використанні забезпечується завдяки кипінню спеціально введеного компонента.

Вплив температури плавлення присадного металу на глибину проплавлення досліджували під час ЕШН електродом-трубою зразків зі сталі 45 діаметром 40 мм у кристалізаторі діаметром 70 мм. Електроди-труби були виготовлені з чавуну з температурою плавлення 1200 °С, сталі Х12 з температурою плавлення 1380 °С, швидко-різальної сталі Р18 з температурою плавлення 1440 °С, сталі 45 з температурою плавлення 1480 °С і сталі 15 з температурою плавлення 1520 °С. Наплавлення проводили на одному і тому ж електричному режимі з використанням флюсу АНФ-14. Встановлено, що з підвищенням температури плавлення присадного металу глибина проплавлення збільшується. Це дає змогу припустити, що тепломісткість металеві ванни суттєво впливає на глибину проплавлення [8, с. 21. 9, с. 23].

Вплив температури плавлення основного металу на глибину його проплавлення було вивчено під час наплавлення чавунним електродом-трубою на заготовки з чавуну і сталі 45, що мають значну різницю в температурах плавлення. Експерименти проводили за однакових енергетичних і геометричних параметрів процесу. У результаті досліджень встановлено, що у чавуну, у якого температура плавлення нижча, глибина проплавлення була в 3–4 рази більшою, ніж у сталі 45 [10, с. 57. 11, с. 42].

Вплив питомі потужності, тобто потужності, що припадає на одиницю площі шлакової ванни за постійної її глибини, на проплавлення основного металу досліджували під час ЕШН заготовок із чавуну і сталі 45 електродами-трубами з чавуну. Як видно з рис. 2, при наплавленні чавуну на сталь 45 (крива 1) збільшення питомі потужності на 0,1 кВт/см² призводить до збільшення глибини проплавлення в середньому на 1,0 мм. Така ж залежність існує і під час наплавлення чавуну на чавун (крива 2), проте тільки в межах питомі потужності 0,350...0,500 кВт/см². Абсолютне значення проплавлення чавуну, як було зазначено вище, в 3–4 рази більше, ніж середньовуглецевої сталі.

Струм і напруга, що визначають питому потужність при ЕШН, по-різному впливають на проплавлення. Струм більшою мірою, ніж напруга, визначає швидкість плавлення електрода, тим самим збільшує швидкість наплавлення і скорочує час нагрівання основного металу шлаковою ванною, побічно зменшуючи проплавлення. Зі зростанням напруги проплавлення збільшується. Так, під час ЕШН сталі Р18 на сталь 40 зі збільшенням напруги від 18 до 22 в проплавлення збільшується від 3 до 15 мм [12, с. 55].

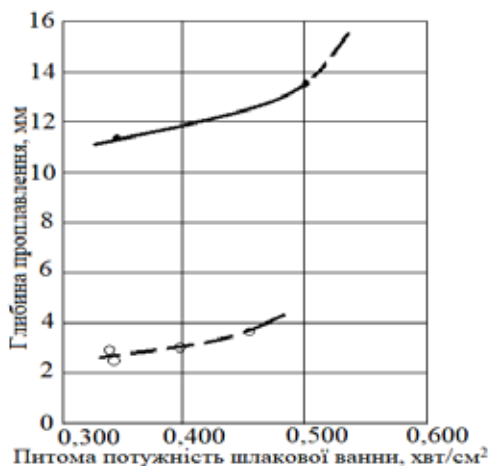


Рис. 2. Вплив питомої потужності на глибину проплавлення при ЕШН чавуну на сталь 45 (1) та чавуну на чавун (2)

Під час дослідження впливу на проплавлення розташування електродів-труб відносно заготовки було встановлено (рис. 3), що зі зменшенням зазору між електродів і наплавлюваною заготовкою глибина проплавлення основного металу збільшується.

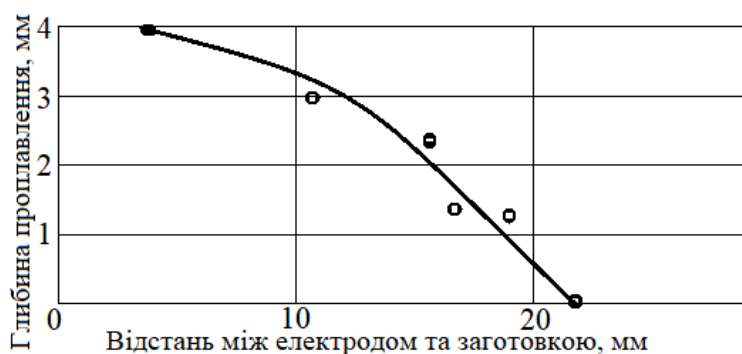


Рис. 3. Вплив зазору між електродом та заготовкою на глибину проплавлення основного металу

Вплив на проплавлення діаметра кристалізатора за незмінних діаметрів заготовки і трубчастого електрода вивчали під час наплавлення заготовок зі сталі Ст3 діаметром 75 мм електродом-трубою із зовнішнім діаметром 40 мм і товщиною стінки 5 мм. Кристалізатори мали внутрішній діаметр 60, 75 і 100 мм. Зі зростанням зазору між кристалізатором і електродом-трубою проплавлення основного металу збільшується (рис. 4), що, очевидно, пов'язано зі збільшенням маси шлакової та металеві ванн [13, с. 127. 14, с. 67].



Рис. 4. Вплив зазору між електродом і кристалізатором на глибину проплавлення основного металу

Досліджували вплив на проплавлення основного металу частоти обертання одночасно обертових циліндричної наплавлюваної заготовки і кристалізатора. Частоту обертання змінювали від 10 до 30 хв. Глибина проплавлення під час обертання заготовки більш рівномірна, ніж без її обертання. Це пояснюється тим, що при обертанні

заготовки відбувається вирівнювання температури шлаку по периметру кристалізатора. Отримані результати дали змогу рекомендувати для промислового наплавлення частоту обертання 10 хв^{-1} [15, с. 22]. Деякими особливостями формування проплавлення відрізняється наплавлення некомпактними матеріалами в струмопідвідному кристалізаторі. Це пов'язано з відсутністю за цього способу наплавлення витратних електродів, а верхня секція СПК, що виконує функцію невитратного електрода, розташовується відносно шлакової та металевої ванн інакше, ніж невитратні електроди за інших способів ЕШН.

Крім того, одностороннє (асиметричне) підведення струму від джерела живлення до електрично незамкнутої струмопідвідної секції СПК підвищує ймовірність нерівномірного проплавлення основного металу з максимальними значеннями в зоні приєднання силового кабелю до струмопідвідної секції. Обертання шлакової ванни в горизонтальній площині певною мірою зменшує коливання проплавлення по периметру заготовки, але повністю негативний вплив асиметричного підведення струму усувається лише за допомогою спеціальних технічних прийомів. Зокрема, забезпечення більш рівномірного проплавлення дає змогу використання багатосекційного струмопідводу [16].

Під час наплавлення в СПК можна виділити чотири форми проплавлення. Досягнення оптимального розподілу електричного струму в шлаковій ванні шляхом правильного вибору технологічних параметрів наплавлення і конструктивних розмірів кристалізатора [17] призводить до того, що більша частина струму наплавлення буде йти від струмопідвідної секції СПК до металевої ванни, а не на заготовку. Зона максимального тепловиділення в шлаковій ванні невелика: висота оплавленої ділянки заготовки не перевищує 15 мм, а глибина 3 мм.

У разі проходження більшої частини струму наплавлення на заготовку висота і глибина оплавленої ділянки збільшується, відповідно, але значною мірою зростає глибина проплавлення. При цьому висота оплавлення основного металу відповідає глибині шлакової ванни.

При виконанні наплавлення з мінімальним тепловкладенням (знижений електричний режим, використання легкоплавких, високоелектропровідних флюсів) можна отримати так зване нульове проплавлення. Якісне з'єднання основного і напавленого металів відбувається за умови очищення напавлюваної поверхні від оксидів і її змочування розплавленим металом присадки. Виконання наплавлення з отриманням нульового проплавлення при забезпеченні якісної поверхні напавленого шару – доволі складне завдання, оскільки невеликі коливання режиму наплавлення можуть призводити до дефектів у зоні сплавлення у вигляді непроварів, або до появи глибокого проплавлення.

Після заливки в СПК порції рідкого металу заповнює кільцеву оплавлену виїмку в основному металі, а частина, що залишилася, відтісняє шлакову ванну вгору, унаслідок чого металева ванна контактуватиме з ще неоплавленою частиною заготовки. Рідкий метал оплавляє поверхню заготовки, але це оплавлення менше, ніж від впливу шлакової ванни. Відповідно зменшується і глибина проплавлення. У міру переміщення кристалізатора (або заготовки) в контакт зі шлаковою ванною вступає нова ділянка заготовки, яка також оплавляється по кільцю аналогічно першій ділянці. Оскільки рідкий присадний метал заливають дозовано, то процес, описаний вище, повторюється і відповідно до нього змінюється глибина проплавлення.

Висновки

Для зниження проплавлення основного металу під час ЕШН рекомендуються такі заходи:

- зниження питомої енергії завдяки зменшенню напруги до мінімально допустимого значення, за якого зберігається стабільність електрошлакового процесу, збільшення швидкості наплавлення завдяки підвищенню швидкості подачі електрода і зменшенню зазору між деталлю, що наплавляється, та формувальним пристроєм;
- регулювання розподілу тепла в шлаковій ванні таким чином, щоб основна його частина виділялася в зоні з максимальним тепловідведенням у безпосередній близькості від водоохолоджувальних формувальних пристроїв, наприклад завдяки переміщенню електродів до стінок кристалізатора;
- оптимальний розподіл потужності між електродами завдяки використанню незалежних плавно регульованих джерел живлення і роздільних регульованих приводів подачі електродів;
- використання під час наплавлення некомпактного присадного матеріалу, який плавиться при значно менших витратах тепла, ніж це потрібно для розплавлення такої ж кількості компактного матеріалу;
- зниження тепловкладення завдяки додатковому введенню в шлакову ванну суцільного, або порошкового дротів чи рідкого присадного матеріалу;
- використання біфлярної схеми струмопідведення до електродів, що дає змогу більш ніж у 5 разів зменшити проплавлення;
- у міру теплонасичення напавлюваної заготовки електроди віддаляють від напавлюваної поверхні за певним законом;
- інтенсифікація попереднього підігріву електродного дроту шляхом використання незалежних джерел струму і шляхом збільшення «сухого» вильоту електродного дроту;
- здійснення електрошлакового процесу з дозованою подачею потужності, що сприяє зниженню температури крапель і зменшує тепловкладення;

- зміна розмірів струмопідвідних секцій невитратних секційних кристалізаторів з метою оптимального розподілу теплових потоків у шлаковій ванні;
- встановлення в шлаковій ванні водоохолоджуваних екранів, що запобігають підвищеному прогріванню поверхні, що наплавляється, або її розташування всередині формувального пристрою в безпосередній близькості від його водоохолоджуваних стінок.
- барботування шлакової ванни інертним газом для перерозподілу в ній теплових потоків.

Список використаної літератури

1. Скобло, Т.С., Рибалко, І.М., Захаров, А.В. Аналіз електрошлакового наплавлення металу з малою товщиною відновлювально-зміцнювального робочого шару деталі. Інформаційно-аналітичний міжнародний науково-технічний журнал «Промисловість у фокусі». Харків, № 10. 2021. С. 54–56.
2. Сайчук, О.В., Рибалко, І.М., Захаров, А.В. Електрошлакове нанесення на постійному струмі в струмопідвідному кристалізаторі з електродом великого перерізу. Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні напрямки та рухи в науці»: Матеріали конференції, 6–8 жовтня. Люксембург, Люксембург. 2022. С. 229–237.
3. Патон, Б. Є. Електрошлакове зварювання та наплавлення. Київ: Наукова думка. №.11. 1980. С. 34–37.
4. Сушук-Слюсаренко, І.І., Личко, І.І., Козулін, М.Г. Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах. Київ: Наукова думка. № 12. 1989. С. 24–25.
5. Патон, Б.Є. Технологія електрозварювання металів і сплавів плавленням. Київ: Наукова думка. № 14. 1977. С. 27–29.
6. Azzoni, M. Досягнення та розробки в галузі типів твердих фаз для використання в абразивостійких поверхнях. *WeldInter national*. V. 23. 2009. P. 706–716.
7. Klimpel, A., Dobrzanski, L. A., Janicki, D., Lisiecki, A. Стійкість до стирання металовмісних дротів ГМА з наплавленням. *Material Handling Technology*. V. 164–165. 2005. P. 1056–1061.
8. Степанов, В.В. Густина розплавлених флюсів для електрошлакового переплаву і нагріву. Київ: Автоматичне зварювання. № 2. 1997. С. 21–22.
9. Лютий, І.В. Електрошлакова плавка і рафінування металів. Київ: Наук. Думка. № 2. 1999. С. 22–24.
10. Подгаєцький, В.В. (1997). Зварювальні флюси. Київ: Техніка. Вип. 4. Вип. 3. С. 52–60.
11. Латаш, Ю.В. Очистка металу від неметалевих включень при електрошлаковому переплаві. Київ: Автоматичне зварювання. № 9. 2006. С. 34–56.
12. Нікітін, Б.М. О фазовом составе фторсодержащих шлаков электрошлакового переплава. ДОПОВІДІ АН СРСР. Метали. № 6. 1987. С. 54–56.
13. Жмоїдін, Г.І. Плавкость фторсодержащих шлаков. ДОПОВІДІ АН СРСР. Метали. №. 6. 1989. С. 123–134.
14. М., Скороходов, Ю.В., Кусков, Ю.М., Скороходов, Ю.В., Кусков, Ю.В. М., Рябцев, І. А., Саричев, І. С. Електрошлакове наплавлення. Київ: Наука та технології. No. 14. 2018. С. 67–68.
15. Кусков, Ю.М., Рябцев, І.А., Кузьменко, О.Г., Лентюгов, І.П. Електрошлакові технології наплавлення та переробки металу та металовмісних відходів. Київ: Інтерсервіс. No.11. 2020. С. 22–23.
16. Патон, Б. Є., Медовар, Б. І. Електрошлакові печі. Київ: Наукова думка. 1987. № 4.
17. Патон, Б. Є. Электрошлаковая сварка и наплавка. Машинобудування. 1980. № 2.
18. Патон, Б. Є., Медовар, Б. І. Електрошлакова технологія за кордоном. Київ: Наукова думка. 1982. No. 1.

References

1. Skoblo, T.S., Rybalko, I.M., Zakharov, A.V. (2021). Analiz elektroshlakovoho naplavlennya metalu z maloyu tovshchynoyu vidnovnoho ta zmitsnyuyuchoho robochoho sharu detali [Analysis of electroslag surfacing of metal with a small thickness of the reducing and strengthening working layer of a part]. *Information-analytical international scientific and technical journal «Industry in Focus»*. Kharkiv, no. 10. С. 54–56.
2. Saichuk, O.V., Rybalko, I.M., Zakharov, A.V. (2022). Nanesennya elektroshlak na postiynomu strumi v strumoprovodnomu krystalizatori z elektrodom velykoho pererizu. [Electroslag application at direct current in a current-supplying crystalliser with a large-section electrode]. *International scientific and practical conference «Modern directions and movements in science»: Conference proceedings*, 6–8 October. Luxembourg, Luxembourg. С. 229–237.
3. Paton, B. E. (1980). Elektroshlakove zvaryuvannya ta naplavlennya. [Electroslag welding and surfacing]. Kyiv: Naukova Dumka. №.11. С. 34–37.
4. Sushchuk-Slyusarenko, I.I., Lychko, I.I., Kozulin, M.G. (1989). Elektroshlakove zvaryuvannya ta naplavlennya v remontnykh robotakh. [Electroslag welding and surfacing in repair work]. Kyiv: Scientific thought. № 12. С. 24–25.
5. Paton, B.E. (1977). Tekhnolohiya elektrozvaryuvannya metaliv i splaviv plavlenniam. [Technology of electric welding of metals and alloys by melting]. Kyiv: Scientific thought. № 14. С. 27–29.
6. Azzoni, M. (2009). Dosyahnennya ta rozrobky v oblasti typiv tverdych faz dlya vykorystannya v znosostiykykh poverkhnnyakh. [Achievements and developments in the field of types of solid phases for use in abrasion-resistant surfaces]. *WeldInter national*. V. 23. P. 706–716.

7. Klimpel, A., Dobrzanski, L. A., Janicki, D., Lisiecki, A. (2005). Stiykist' do styrannya metalovmisnykh provodiv KHMA z obolonkoyu. [Abrasion resistance of metal-containing wires of HMA with cladding]. *Material Handling Technology*. V. 164–165. P. 1056–1061.
8. Stepanov, V.V. (1997). Shchil'nist' rozplavlenykh flyusiv dlya elektroshlakovoho pereplavu ta nahrivu. [Density of molten fluxes for electroslag remelting and heating]. *Kyiv: Automatic welding*. № 2. C. 21–22.
9. February, I.V. (1999). Elektroshlakova plavka ta rafinuvannya metaliv. [Electroslag melting and refining of metals]. *Kyiv: Nauk. Dumka*. № 2. C. 22–24.
10. Podgayatsky, V.V. (1997). Zvaryuval'ni flyusy [Welding fluxes]. *Kyiv: Technika*. Issue 4. C. 52–60.
11. Latash, Y.V. (2006). Ochyshchennya metalu vid nemetalichnykh vklyuchen' pry elektroshlakovomu pereplavi. [Metal cleaning from non-metallic inclusions during electroslag remelting]. *Kyiv: Automatic welding*. № 9. C. 34–56.
12. Nikitin, B.M. (1987). Pro fazovyy sklad ftorovmisnykh shlakiv elektroshlakovoho pereplavu. [On the phase composition of fluorine-containing slags of electroslag remelting]. *REPORTS OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES. Metals*. № 6. C. 54–56.
13. Zhmoidin, G.I. (1989). Plavlennya ftorovmisnykh shlakiv. [Melting of fluorine-containing slags]. *REPORTS OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES. Metals*. No. 6. C. 123–134.
14. Kuskov, Y.M., Ryabtsev, I.A., Sarychev, I.S. (2018). Elektroshlakove naplavlennya. [Electroslag surfacing]. *Kyiv: Science and Technology*. No. 14. C. 67–68.
15. Kuskov, Y.M., Ryabtsev, I.A., Kuzmenko, O.G., Lentiugov, I.P. (2020). Elektroshlakovi tekhnolohiyi naplavlennya ta pererobky metalu ta metalovmisnykh vidkhodiv. [Electroslag technologies of surfacing and processing of metal and metal-containing waste]. *Kyiv: Interservice*. No. 11. C. 22–23.
16. Paton, B.E., Medovar, B.I. (1987). Elektroshlakovi pechi. [Electroslag furnaces]. *Kyiv: Naukova Dumka*. № 4.
17. Paton, B.E. (1980). Elektroshlakove zvaryuvannya ta naplavlennya. [Electroslag welding and surfacing]. *Engineering*. № 2.
18. Paton, B.E., Medovar, B.I. (1982). Elektroshlakova tekhnika za kordonom. [Electroslag technology abroad]. *Kyiv: Naukova Dumka*. No. 1.