

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ШТАМПОВИХ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ У СТРУМОПРОВІДНОМУ КРИСТАЛІЗАТОРІ

Ю.М. Кусков, І.П. Лентюгов, В.В. Осін, Л.Л. Окопнік, А.В. Нетяга

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: E-mail: netyaga_av@ukr.net

У роботі розглянуто особливості електрошлакового наплавлення у малогабаритних струмопровідних кристалізаторах діаметром 65...85 мм, де обмежені геометричні розміри впливають на тепловий стан шлакової та металевої ванн, характер кристалізації металу та стабільність формування наплавленого шару. Метою дослідження було встановити закономірності впливу місця введення у шлакову ванну присадних порошкових дротів на теплові умови процесу, геометрію проплавлення основного металу та якість формування біметалевого виробу. Встановлено, що введення присадкового порошкового дроту в пристінну зону шлакової ванни змінює локальний тепловий баланс процесу. У приповерхневих ділянках металевої ванни виникає додатковий охолоджувальний ефект, завдяки чому зменшується температурний градієнт між центральною та периферійною зонами. Це забезпечує рівномірний розподіл тепла по перерізу кристалізатора, стабілізує глибину металевої ванни та створює умови для формування суцільного наплавленого шару з мінімальним і однаковим по колу проплавленням основного металу. Показано, що запропонована технологічна схема зберігає ефективність при використанні порошкових дротів різного діаметра та хімічного складу. Отримані результати підтвердили можливість цілеспрямованого керування тепловим станом ванни через вибір зони подачі присадки, що розширює технологічні можливості електрошлакового наплавлення та забезпечує одержання якісних малогабаритних біметалевих виробів зі стабільними геометричними й структурними характеристиками. Бібліогр. 14, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення, струмопровідний кристалізатор, присадні порошкові дроти, якість наплавлення

Вступ. Розроблений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона метод електрошлакового наплавлення (ЕШН) та переплаву (ЕШП) у струмопровідному кристалізаторі (СПК) дозволяє використовувати різні типи електродних і присадних матеріалів: електроди великого перерізу; дискретні та рідкі присадки; стрічки й дроти суцільного перерізу та порошкові [1–8]. Останній тип матеріалів застосовується нечасто, в основному при ЕШН зношеного інструменту невеликого діаметра (65...85 мм) [7, 8]. Причому при наплавленні використовуються присадні порошкові дроти, що дозволяє забезпечувати незалежність введення добавки (швидкості її подачі) від режиму наплавлення. У цьому випадку існує небезпека створення по поперечному перерізу шлакової ванни нерівномірності теплового поля, яка призведе до зміни форми металевої ванни і, відповідно, структури та властивостей наплавленого металу. Такому формуванню металевої ванни особливо може сприяти використання так званих композитних порошкових дротів діаметром до 5 мм, що мають у своєму складі тугоплавкі компоненти [9, 10].

З досвіду наплавлення дискретною присадкою з підвищеною швидкістю її подачі в шлакову ван-

ну відомо [11], що в цьому випадку металева ванна набуває специфічної форми «типу сомбреро» – піднятий центр і западини по краю ванни (рис. 1). Щоб уникнути таких умов формування ванни, запропоновано технологію використання під час наплавлення двох джерел живлення (двоконтурна схема) з окремою подачею напруги на СПК і розташованого по центру кристалізатора порожнистого графітового електрода особливої конструкції, через порожнину якого вводиться присадний порошковий дріт [12]. При такій схемі наплавлення у шлаковій ванні формуються дві теплові зони – по центру кристалізатора та на його периферії, що сприяє вирівнюванню теплового поля по всьому перерізу СПК.

Двоконтурна схема наплавлення ускладнює технологію та не завжди є необхідною для застосування, зокрема якщо під час наплавлення ви-

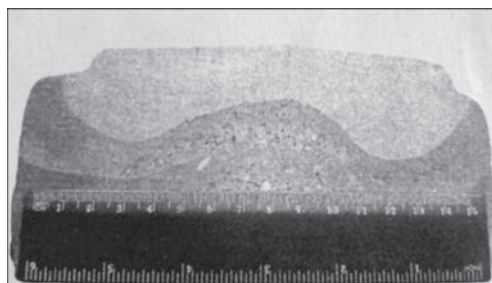


Рис. 1. Металева ванна, сформована у вигляді «сомбреро» – з піднятим центром і заглибленнями по краях

© Ю.М. Кусков, І.П. Лентюгов, В.В. Осін, Л.Л. Окопнік, А.В. Нетяга, 2026

Ця стаття у відкритому доступі за ліцензією CC BY-NC-ND <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Діаметри СПК, діаметри та хімічний склад порошкових дротів, що використовувались в експериментах

Діаметр СПК, мм	Діаметр порошкового дроту, мм	Вміст елементів, мас. %							
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ti	Ni
65	2,2	0,3	0,7	0,5	5,0	0,8	0,4	–	–
70	2,8	0,5	0,6	0,3	2,0	0,4	0,5	0,4	0,5
85	3,6	1,2	0,3	0,3	12,0	0,5	–	–	–

користовуються дроти, у шихті яких відсутні тугоплавкі компоненти. У разі виконання ЕШН малогабаритних торців інструменту за одноконтурною схемою автори вважають [8], що для забезпечення якісного наплавлення (стабільність процесу, гарне формування наплавленого металу та мінімальне проплавлення основного металу при збереженні постійності глибини металевої ванни) необхідно враховувати вплив на режим наплавлення струму та напруги на шлаковій ванні, теплового режиму роботи кристалізатора, відстані від торця заготовки до ізолятора між струмопровідною та формуючою секціями двосекційного кристалізатора, висоту шлакової ванни та розташування струмопідводу на струмопровідній секції СПК.

Мета роботи – дослідження можливості забезпечення якісної ЕШН у двосекційному СПК малого діаметра за рахунок вибору оптимальної зони введення порошкового дроту в шлакову ванну.

Методика проведення експериментів. Експерименти з електрошлакового наплавлення проводили у двосекційних СПК Ø 65...85 мм із подачею у шлакову ванну (робочий флюс АНФ-29) порошкових дротів різного хімічного складу Ø 2,2...3,6 мм (табл.).

Наплавлення виконували на торцевих поверхнях заготовок зі сталі Ст3 завтовшки 30 мм і діаметром 60...80 мм (залежно від діаметра формувальної секції СПК). На рис. 2 показано обладнання для наплавлення, яке використовується при ЕШН. Воно складається з апарату А-550, струмопровідного кристалізатора, пристрою для введення присадних порошкових дротів у шлакову ванну та його механізму подачі (на рис. не показано). В якості останнього використано механізм напівавтомата ПШ-107В.

Початок електрошлакового процесу здійснювали шляхом замикання графітового електрода Ø 16 мм на пластинку струмопровідного флюсу АН-25 (техніка твердого старту) для виключення або скорочення за часом етапу дугового процесу та зниження ймовірності локального проплавлення основного металу. У результаті поступової подачі в робочу зону кристалізатора флюсу наростала глибина шлакової ванни та при її зіткненні з струмопровідною секцією СПК електрод витягувався з кристалізатора, а електрошлаковий процес забезпечувався за рахунок проходження електричного струму від цієї секції через розплавлений шлак на заготовку.

Використовуючи сконструйований пристрій, подачу дротів у шлакову ванну забезпечували таким чином, щоб їхні кінці були спрямовані в найбільш нагріту зону ванни (біля стінки секції, рис. 1). Швидкість подачі дротів змінювали від 1,5 до 13 м/хв. Оцінку оптимальності швидкості подачі порошкових дротів виконували за такою методикою: вигин порошкових дротів внаслідок впирання їхніх кінців у наплавлений шар металу (~20 мм при максимальній товщині шару) – верхня границя швидкості, а вихід сплавлених кінців із шлакової ванни (при її глибині 30...40 мм) – нижня. Оптимальною вважалася швидкість, при якій кінець дроту оплавляється біля поверхні металевої ванни при досягненні стабільного електрошлакового процесу.

Результати експериментів та їхнє обговорення. Формування металевої ванни у вигляді «сомbrero» проявляється тим яскравіше, чим більші розміри використовуваних кристалізаторів у зв'язку з віддаленням зони найбільшого тепловиділення (зона проходження струму від стінки струмопровідної секції до заготовки). При використанні дротів різного діаметра з різним складом шихти процес наплавлення у всіх випадках стабільний, що дозволяє в широких межах регулювати проплавлення основного металу та глибину металевої ванни. Останнє досягається за рахунок збільшення швидкості подачі порошкового дроту, оскільки зі



Рис. 2. Обладнання та пристрої для наплавлення, підготовлені до наплавлення порошковим дротом: 1 – апарат А-550; 2 – СПК; 3 – пристрій для подачі порошкового дроту в шлакову ванну

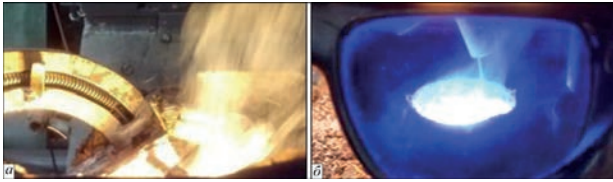


Рис. 3. Процес електрошлакового наплавлення в СПК Ø 85 мм у момент введення дроту в шлакову ванну (а) та збільшене зображення зони введення дроту (б)

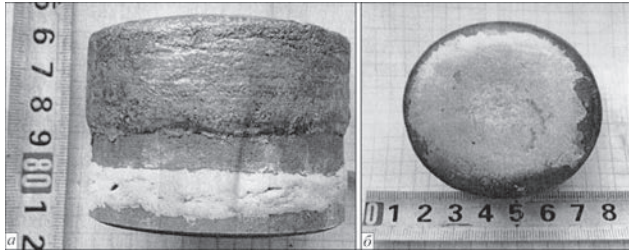


Рис. 4. Зовнішній вигляд біметалевої заготовки з бічною (а) і торцевою (б) наплавленими поверхнями

зростанням наплавленого шару зменшується відстань від наплавлюваного торця до струмопровідної секції СПК, що супроводжується зростанням величини струму (знижується омичний опір на цій ділянці проходження робочого струму). Програма зміни швидкості подачі дротів встановлюється або в ручному режимі на основі досвіду виконання ряду наплавок, або з використанням системи автоматичного регулювання процесу наплавлення. При цьому у зв'язку з тим, що в більшості випадків процес наплавлення є швидкоплинним, здійснюється з нанесенням шару відносно невеликої товщини – не більше 3...10 % маси малогабаритного інструменту [13], то ця система є досить простою на відміну, наприклад, від тієї, що використовується при отриманні зливків електрошлакового переплаву, коли необхідно враховувати велику кількість параметрів плавки: коливання напруги в мережі, зміну хімічного складу шлаку тощо [14].

Процес електрошлакового наплавлення в СПК Ø 85 мм у момент введення порошкового дроту в шлакову ванну показано на рис. 3. Зовнішній вигляд напавленої заготовки наведено на рис. 4. Як видно з рисунку, досягнуто гарне формування напавленого шару як за його товщиною, так і то-

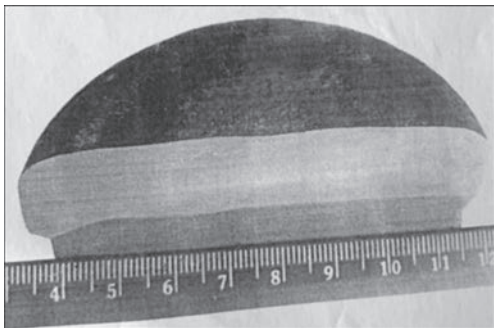


Рис. 5. Поперечний зріз напавленої заготовки

рцем без наявності на ньому дефектів у вигляді усадкових раковин. Макрошліф (рис. 5) підтверджує високу якість напавленого шару по всій його товщині при мінімальному та рівномірному пропавленні основного металу.

Висновки

1. При електрошлаковому напавленні присадними порошковими дротами в малогабаритних СПК (Ø 65...85 мм) можна отримати високоякісні біметалеві заготовки за умови використання технології напавлення, що враховує відмінності в температурі шлакової ванни по її поперечному перерізу.

2. За прийнятої методики проведенням експериментів встановлено, що введення присадних дротів у пристінну зону формувальної секції СПК, віддалену від її стінок на відстань ~15...20 мм, дозволяє впливати на рівномірність як глибини металевої ванни по поперечному перерізу напавленого шару, так і, відповідно, величини пропавлення основного металу.

3. Проведені експерименти з електрошлакового напавлення в СПК торців малогабаритних (за діаметром) заготовок із введенням у шлакову ванну присадних дротів різного діаметра (2,2...3,6 мм) та хімічного складу дозволяє підтвердити можливість використання запропонованої техніки напавлення для отримання якісних біметалевих заготовок як щодо формування поверхні напавленого металу, так і щодо зони сплавлення основного та напавленого металів.

Список літератури/References

1. Kuskov, Yu.M., Solovyov, V.G., Lentyugov, I.P., Zhdanov, V.A. (2018) Electroslag surfacing of layers of different thickness in a stationary current-supplying mould. *The Paton Welding J.*, **10**, 33–36. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2018.10.06>
2. Tarasevich, N.I., Kornietz, I.V., Medovar, L.B. et al. (2001) Some thermal-physical peculiarities of electroslag cladding of rolls using a liquid metal. In: *Proc. of the Intern. Symposium on ESR Technology and Equipment. 15–17 May 2001, Kyiv.*
3. Kuskov, Yu.M., Proskudin, V.N., Zhdanov, V.A., Okopnik, L.L. (2022) Current-supplying mould in electroslag technologies. *The Paton Welding J.*, **7**, 35–38. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2022.07.06>
4. Kuskov, Yu.M., Biktagirov, F.K., Fesenko, M.A. (2019) Effect of tellurium on microstructure of low-alloy cast iron deposited by electroslag method in current-carrying mold. *The Paton Welding J.*, **9**, 43–36. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.09.08>
5. Медовар Л.Б., Цыкуленко А.К., Шевченко В.Е. (2001) Современные валки прокатных станов. Требования, материалы и способы производства. *Проблемы специальной металлургии*, **1**, 38–48.
Medovar, L.B., Tsykulenko, A.K., Shevchenko, V.E. (2001) Modern mill rolls, requirements, materials and methods of production. *Problemy Specialnoi Elektrometallurgii*, **1**, 38–48 [in Russian].
6. Lychko, I.I., Yushchenko, K.A., Suprun, S.A., Kozulin, S.M. (2019) Peculiarities of electrode and base metal melting in electroslag welding. *The Paton Welding J.*, **3**, 6–10. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.03.01>

7. Соколов Г.Н., Михеев А.Н., Павлов А.А. (2002) Электрошлаковая наплавка в секционном кристаллизаторе торцов оправок трубопрошивного стана. *Сварочное производство*, **6**, 31–34.
Sokolov, G.N., Mikhееv, A.N., Pavlov, A.A. (2002) Electros slag surfacing of tube piercing mill mandrel ends in a sectional mould. *Svarochnoe Proizvodstvo*, **6**, 31–34 [in Russian].
8. Соколов Г.Н., Лысак В.И. (2005) *Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей*. Волгоград, Политехник.
Sokolov, G.N., Lysak, V.I. (2005) *Surfacing of wear-resistant alloys on press dies and tools for hot deformation of steels*. Volgograd, Politekhnik [in Russian].
9. Зорин И.В., Соколов Г.И., Дубцов Ю.Н. и др. (2011) Композиционные проволоки для наплавки сплавов на основе алюминидов никеля и титана. *Сварка и диагностика*, **3**, 31–38.
Zorin, I.V., Sokolov, G.I., Dubtsov, Yu.N. et al. (2011) Composite wires for surfacing nickel- and titanium-aluminide-based alloys. *Svarka i Diagnostika*, **3**, 31–38. [in Russian].
10. Цурихин С.Н., Соколов Г.Н., Лысак В.И. и др. (2006) Порошковая проволока для наплавки сплава на основе алюминидов никеля. *Сварочное производство*, **1**, 17–22.
Tsurikhin, S.N., Sokolov, G.N., Lysak, V.I. et al. (2006) Flux-cored wire for surfacing a nickel aluminide-based alloy. *Svarochnoe Proizvodstvo*, **1**, 17–22. [in Russian].
11. Kuskov, Yu.M., Grishchenko, T.I. (2019) Formation of metal pool in current-supplying mould at electros slag process. *The Paton Welding J.*, **4**, 33–36. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2019.04.07>
12. Sokolov, G.N., Zorin, I.V., Tsurikhin, S.N., Lysak, V.I. (2004) Features of the process of ESH with a composite rod in a small-sized sectioned mould. *The Paton Welding J.*, **10**, 22–25.
13. Zhudra, A.P., Voronchuk, A.P., Kochura, V.O., Fedosenko, V.V. (2017) Effect of flux-cored strip surfacing modes on geometric parameters of deposited beads. *The Paton Welding J.*, **1**, 36–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2017.01.06>
14. Polishko, G., Stovpchenko, G., Medovar, L., Kamkina, L. (2019) Physicochemical comparison of electros slag remelting with consumable electrode and electros slag refining with liquid metal. *Ironmaking & Steelmaking*, **46**(8), 760–766. DOI: <https://doi.org/10.1080/03019233.2018.1428419>

ELECTROSLAG SURFACING OF DIE AND TOOL STEELS IN A CURRENT-CONDUCTING MOULD

Yu.M. Kuskov, V.V. Osin, I.P. Lentiuhov, L.L. Okopnik, A.V. Netyaga

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: netyaga_av@ukr.net

The paper considers the features of electros slag surfacing in small-sized current-conducting moulds with a diameter of 65...85 mm, where limited geometric dimensions significantly affect the thermal state of slag and metal pools, metal crystallization conditions, and stability of deposited layer formation. The aim of the study was to determine the influence of the location of introducing non-current-conducting flux-cored wires into the slag pool on the thermal conditions of the process, penetration geometry of the base metal, and quality of bimetallic product formation. It was established that introducing a non-current-conducting flux-cored wire into the peripheral zone of the slag pool changes the local thermal balance of the process. An additional cooling effect appears in the near-wall regions of the metal pool, which reduces the temperature gradient between the central and peripheral zones. This ensures a more uniform heat distribution across the mould section, stabilizes the depth of the metal pool, and creates favorable conditions for forming a continuous deposited layer with minimal and circumferentially uniform penetration of the base metal. The proposed technological approach remains effective when flux-cored wires of different diameters and chemical compositions are used. The results confirmed the possibility of purposeful control of the thermal state of the pool through the selection of the filler introduction zone, which expands the technological capabilities of electros slag surfacing and enables production of high quality small-sized bimetallic components with stable geometric and structural characteristics. 14 Ref., 1 Tabl., 5 Fig.

Keywords: electros slag surfacing; current-conducting mould; non-current-conducting flux-cored wires; deposited layer quality; thermal field; bimetallic products

ORCID

Ю.М. Кусков – <https://orcid.org/0000-0002-8091-2274>, І.П. Лентюгов – <https://orcid.org/0000-0001-8474-6819>,

В.В. Осін – <https://orcid.org/0009-0001-3257-8515>, Л.Л. Окопник – <https://orcid.org/0009-0004-4998-9857>,

А.В. Нетяга – <https://orcid.org/0000-0002-0576-8006>

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів

АВТОР ДЛЯ ЛИСТУВАННЯ

А.В. Нетяга

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.

E-mail: netyaga_av@ukr.net

РЕКОМЕНДОВАНЕ ЦИТУВАННЯ

Ю.М. Кусков, І.П. Лентюгов, В.В. Осін, Л.Л. Окопник, А.В. Нетяга (2026) Електрошлакове наплавлення штампових та інструментальних сталей у струмопровідному кристалізаторі. *Автоматичне зварювання*, **5**, 60–63.

DOI: <https://doi.org/10.37434/as2026.05.07>

ГОЛОВНА СТОРІНКА ЖУРНАЛУ

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as>

Отримано 11.05.2026

Отримано у переглянутому вигляді 22.09.2026

Підписано до друку 30.09.2026

Оприлюднено 20.10.2026