

СТРУМОПІДВІДНИЙ КРИСТАЛІЗАТОР В ЕЛЕКТРОШЛАКОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Ю.М. Кусков, В.М. Проскудін, В.А. Жданов, Л.Л. Окопник

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: ryabtsev39@gmail.com

Розглянуто технологію електрошлакового наплавлення та переплаву із використанням струмопідвідного кристалізатора, а також особливості конструктивного виконання кристалізатора. Наведено досвід модернізації базової трисекційної конструкції у двосекційну. Показано шляхи розвитку технології електрошлакового наплавлення із використанням струмопідвідних кристалізаторів різних розмірів і перерізів. Бібліогр. 19, рис. 5.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення та переплав, струмопідвідний кристалізатор

Вступ. Пройшло близько 70-ти років з моменту офіційного визнання появи у зварюванні нового технологічного процесу – електрошлакового. Протягом цих років було розроблено різні способи електрошлакового зварювання та наплавлення, які знайшли широке застосування у промисловості та стали вже «класичними».

Із способом електрошлакового наплавлення (ЕШН) у струмопідвідному кристалізаторі (СПК) такого визнання та поширення не відбулося. Причиною цього стали складнощі його практичного виконання, головним чином через низьку довговічність пристрою, що застосовується, – струмопідвідного кристалізатора.

Мета роботи – показати деякі труднощі створення нового типу кристалізаторів, їх конструктивні та технологічні особливості, а також перспективи розвитку даної технології з урахуванням досягнутих успіхів у її промисловому застосуванні.

Вперше секційний електрод, що не витрачався, – кристалізатор – без будь-яких додаткових електродів, був представлений на початку 1960-х років співробітником ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України Г.В. Ксьондзиком у співавторстві з І.І. Фрумніним та В.С. Ширіним [1, 2] та запатентований у багатьох країнах [3–5]. Поділ функцій плавлення наплавного матеріалу та формування наплавного шару в ньому досягалися за рахунок використання в технологічному процесі різних електрично ізолюваних між собою секцій кристалізатора.

Схема кристалізатора представлена на рис. 1. Він складається з окремих горизонтально розташованих водоохолоджуваних секцій 2, 6, 7, розділених між собою електроізолюючими прокладками 5. До верхньої секції 2, що проводить електричний струм, підведено напругу від джерела живлення; нижня секція 7 формує наплавлений метал; проміжна секція 6 служить для поділу верхньої та нижньої секцій. Вона може також

бути елементом автоматичного стеження за рівнем металевої ванни 8.

Для виключення електроерозії верхньої секції вона має захисну термостійку електропровідну футеровку 4, яка зазвичай робиться з графіту. Електроерозія – це явище, властиве як СПК, так і звичайним кристалізаторам, що застосовуються у технологіях електрошлакового переплаву (ЕШП) [6]. При цьому стійкість нових кристалізаторів ЕШП становить у середньому 250 плавок, але коливається від 150 до 350 плавок при середній тривалості плавки 2,5 год кожна.

Слід зазначити, що якщо у звичайних кристалізаторах струм, що протікає на стінку кристалізатора, в залежності від параметрів плавки становить від 10...20 до 90 % загального струму [7], то при ЕШН в СПК через струмопідвідну секцію проходить весь робочий струм. Отже, у даному випадку процеси електроерозії мають відбуватися

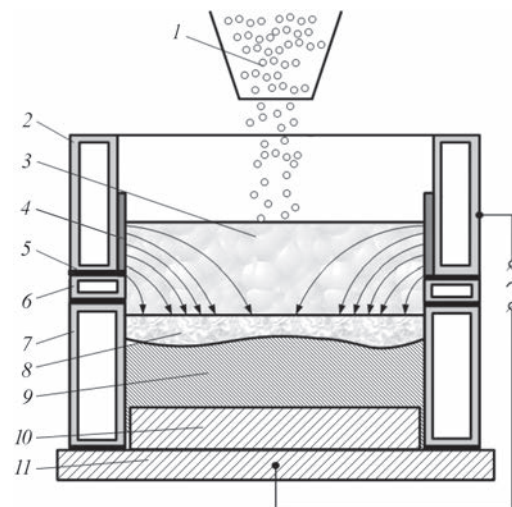


Рис. 1. Схема ЕШН дискретною присадкою в СПК: 1 – дискретна присадка; 2, 6, 7 – струмопровідна, проміжна і формуюча секції кристалізатора відповідно; 3 – шлакова ванна; 4 – захисне футерування; 5 – ізоляційна прокладка; 8 – металева ванна; 9 – наплавлений метал; 10 – виріб; 11 – піддон. Стрілки показують розподіл струму в шлаковій ванні

більшою мірою. На рис. 2 показано поверхню шлакової кірки, що стикалася з еродованою поверхнею стінки струмопідвідної секції.

Ще однією особливістю СПК є те, що в його струмопідвідній секції виконаний поздовжній розріз, який зазвичай заповнено термостійким електроізоляційним матеріалом, внаслідок чого дана секція являє собою одновитковий індуктор. Магнітні силові лінії цього індуктора, взаємодіючи з магнітними силовими лініями зварювального струму, створюють у шлаковій ванні обертальний ефект (що передається за рахунок сил тертя і на металеву ванну). Ця додаткова властивість СПК дозволяє отримати при ЕШН особливі переваги: покращити вирівнювання температур в об'ємі шлакової ванни, забезпечити рівномірний розподіл наплавної присадки поверхнею шлакової ванни, зменшити електроерозійні явища за рахунок зниження кількості локальних зон проходження струму до шлакової ванни.

Для початку роботи кристалізатора в ньому має бути створена шлакова ванна 3. Це можна здійснити двома шляхами: за рахунок її наведення безпосередньо в самому кристалізаторі за допомогою додаткового електрода, що не витрачається (твердий старт), або заливкою в кристалізатор рідкого шлаку, попередньо розплавленого в окремій ємності (рідкий старт). В обох випадках об'єм шлаку повинен бути таким, щоб ним перекривалися всі три секції. Будучи електропровідним середовищем, він починає проводити струм від верхньої (токопідвідної) секції через металеву ванну 8 до наплавленого металу 9, виробу 10 та піддону 11. Незалежно від параметрів електрошлакового процесу в шлакову ванну подається дискретна присадка 1, яка, розплавляючись у шлаку, кристалізується в нижній формуючій секції. У разі застосування при ЕШН електродів, що витрачаються, можуть використовуватися різні електричні схеми їх плавлення в шлаковій ванні [8].

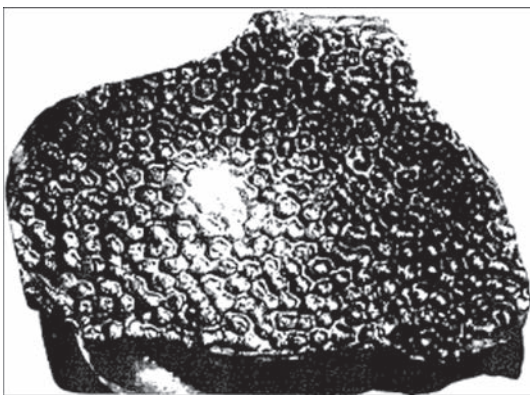


Рис. 2. Поверхня шлакової кірки, що торкалася еродованої поверхні стінки струмопідвідної секції (за відсутності футерування): робочі струми до 1 кА, час експлуатації 1 год ($\times 7$)

Як видно з рис. 1 і опису роботи даного пристрою, ці схеми в конструкторському і технологічному відношенні досить прості.

Але слід визнати, що в авторському свідоцтві на цю конструкцію насамперед було заявлено раціональну ідею. Тому при всій своїй простоті знадобилося понад десять років до отримання перших обнадійливих результатів експлуатації запропонованого кристалізатора. Здебільшого це було пов'язано з підвищенням його довговічності. Хоча були проблеми з вибором оптимального складу флюсу, напруги холостого ходу джерела живлення, схеми електричного підключення. Як приклад оптимізації конструкції СПК на рис. 3 та 4 показані варіанти створення двосекційного СПК для наплавлення циліндричних деталей.

Відмінною особливістю базової моделі такого кристалізатора (рис. 3) є відсутність проміжної секції, що знаходиться в найбільш складних теплових умовах, і використання в якості струмопідвідного елемента графітової втулки, ізольованої по вертикальній поверхні і нижньому торцю від формуючої секції.

За такої схеми після заливання шлаку в кристалізатор починається не шлаковий, а дуговий процес через швидке руйнування ізоляції. Спостерігаються випадки підвищеного ерозійного руйнування мідної стінки водоохолоджуваного кристалізатора і мідного струмопідвідного кільця.

У зв'язку з отриманим результатом було внесено конструктивні зміни – графітову втулку було виконано з буртом для забезпечення кращого електричного контакту в зоні струмопідводу та з граничним вертикальним розрізом за її довжиною (рис. 4).

Постійного обертання шлакової ванни досягти не вдалося через появу в зоні розрізу електропровідних продуктів окислювально-відновних

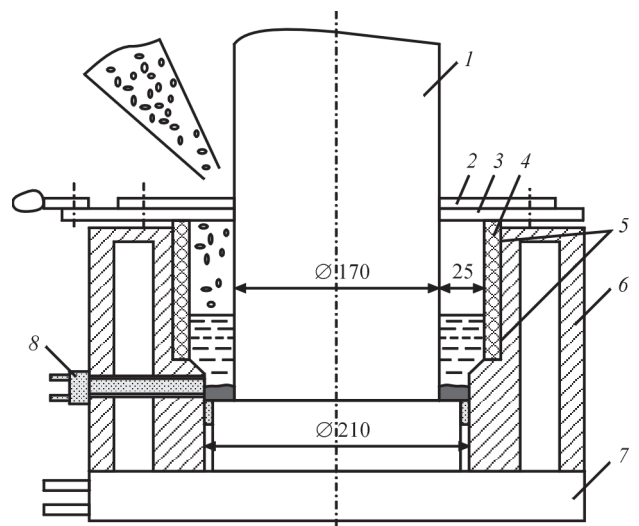


Рис. 3. Базова конструкція двосекційного СПК: 1 – заготовка; 2 – сталеве притискне кільце; 3 – мідне струмопідвідне кільце; 4 – графітова секція; 5 – ізоляційні прокладки; 6 – мідна секція; 7 – колектор; 8 – індуктивний датчик рівня металу

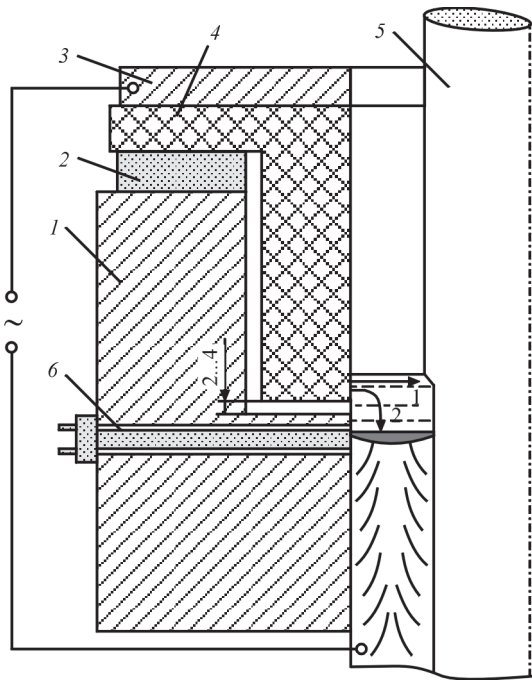


Рис. 4. Двосекційна конструкція СПК з буртом на графітовій секції: 1 – мідна секція; 2 – ізоляційна прокладка; 3 – мідне струмопідвідне кільце; 4 – графітова секція; 5 – заготовка; 6 – індуктивний датчик рівня металу; I, II – відповідно горизонтальна та вертикальна складові струму

реакцій, що протікають на границі графіт-шлак. Були відзначені сліди ерозії на горизонтальній поверхні мідної секції у зоні близького розташування від неї торця графітової втулки.

Автори патенту назвали розроблений ними пристрій «струмопідвідний кристалізатор», хоча ця назва не зовсім точно відображає фізичний зміст процесів, що відбуваються.

Справа в тому, що до кристалізатора від джерела живлення підводиться напруга. Сам же кристалізатор (вірніше його верхня секція, що знаходиться під напругою), будучи елементом електричного ланцюга джерело живлення – верхня секція – шлакова ванна – металева ванна – заготовка – піддон, проводить струм, що протікає по ньому. Тому правильніше було б назвати цей пристрій «кристалізатором, що знаходиться під напругою» або «струмопровідним кристалізатором».

У зв'язку з тим, що первісна назва вже вкоренилася в технічній літературі, слід користуватися терміном, запропонованим авторами, з аббревіатурою СПК.

Ідея використовувати при виплавленні злитків або наплавленні пристроїв, що одночасно впливають на протікання електрошлакового процесу і забезпечують формування металу, що переплавляється, настільки приваблива, що її в різних варіантах стали застосовувати як у країнах ближнього, так і далекого зарубіжжя [9–11].

Фірма «Інтеко» (Австрія) отримала кілька патентів на виплавлення злитків з використанням СПК [12, 13].

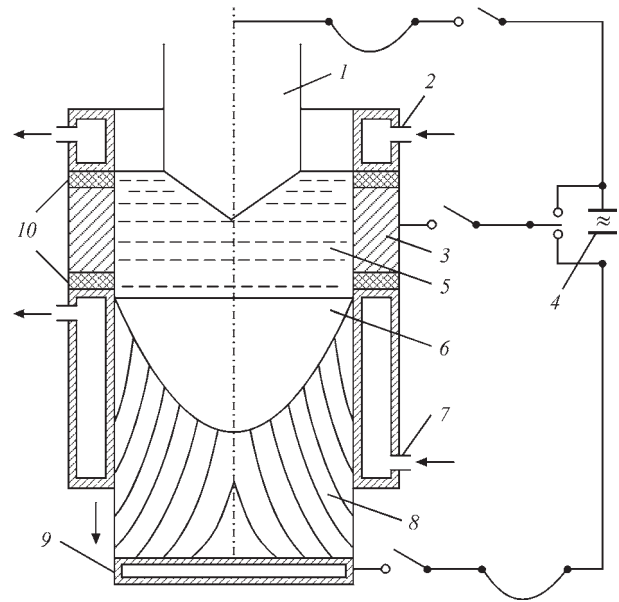


Рис. 5. Схема секційного кристалізатора за патентом Німеччини DE 196 14 182 C1: 1 – електрод, що витрачається; 2 – верхня секція кристалізатора; 3 – проміжна секція кристалізатора; 4 – джерело живлення; 5 – шлакова ванна; 6 – металева ванна; 7 – нижня секція кристалізатора; 8 – наплавний метал; 9 – піддон; 10 – електроізоляційні прокладки.

На рис. 5 показаний один із таких способів за патентом [14]. Його відмінною особливістю є те, що при переплаві напруга підводиться від одного джерела живлення як до електроду, що витрачається, так і до однієї (проміжної) з секцій кристалізатора, виготовленої з графіту або тугоплавких металів W, Mo, Nb і т. п. та ізольованої від інших секцій.

Промислове застосування ця технологія отримала при швидкісному виплавленні злитків із швидкорізальних сталей методом ESRR (ElectroSlag Rapid Remelting) [15].

Подальшим розвитком технології ЕШН у СПК стало використання при наплавленні не тільки електродів великого перерізу і дискретної присадки, а також присадки у вигляді рідкого матеріалу [16]. При цьому зі збільшенням розмірів (діаметра) кристалізатора пропонується використовувати струмопідвідну секцію з великою кількістю вертикальних розрізів [17, 18] для забезпечення рівномірного проплавлення поверхні заготовки.

Останнім часом для розширення можливостей ЕШН у СПК розроблено технології отримання біметалу квадратного перерізу [19]. При цьому в такого типу кристалізаторів збережені всі технічні особливості, притаманні СПК круглого перерізу.

Таким чином, на підставі отриманих результатів успішного промислового випробування технології ЕШН у СПК із використанням кристалізаторів двох форм робочого перерізу (круглого та квадратного) можна стверджувати, що вдалося створити працездатну технологію наплавлення та пристрої для її здійснення.

Список літератури/References

1. Ксендзык Г.В., Фрумин И.И., Ширин В.С. (1964) *Токонепроводящий кристаллизатор*. А.с. 264427, СССР. Заявл. 19.11.1964
Ksendzyk, G.V., Frumin, I.I., Shirin, V.S. (1964) *Current-conducting mould*. USSR author's cert. 264427, fil. 19.11.1964 [in Russian].
2. Ксендзык Г.В., Фрумин И.И., Ширин В.С. (1969) *Устройство для электрошлакового переплава*. А.с. 337026 СССР. Заявл. 25.06.1969
Ksendzyk, G.V., Frumin, I.I., Shirin, V.S. (1969) *Unit for electroslag remelting*. USSR author's cert. 337026, fil. 25.06.1969 [in Russian].
3. Ксендзык Г.В., Фрумин И.И., Ширин В.С. (1979) Patentschrift DE 2746256 C3 BR, C21c 5/52 *Ringförmige Kokille für Anlagen zum Electroschlacke – Umschmelzen bzw. Aufschmelzen von Metallen*. Anmeldetag 14.10.1977, Offenlegungstag 19.04.1979.
4. Ксендзык Г.В., Фрумин И.И., Ширин В.С. (1981) *Electroslag Remelting and Surfacing Apparatus*. Patent 4,305,451 US B22D 27/02. Fil. 23.06.1977, Publ. 15.21.1981.
5. Ксендзык Г.В., Фрумин И.И., Ширин В.С. (1981) *Electroslag Remelting and Surfacing Apparatus*. Patent Specification I 566 819 GB, B22D 11/04, B01F 13/08, B22D 23/06. Fil. 13.09.1977, Publ. 09.07.1981.
6. Артамонов В.Л., Каменский Ю.М., Тоистев В.И. и др. (1981) Электрическая эрозия кристаллизаторов при ЭШП и восстановление их наплавкой. *Специальная электротехнология*, 45, 52–55.
Artamonov, V.L., Kamensky, Yu.M., Toistev, V.I. et al. (1981) Electric erosion of moulds in ESR and their restoration by cladding. *Spec. Elektrometallurgiya*, 45, 52–55 [in Russian].
7. *Электрошлаковый металл* / Под ред. Б.Е. Патона и Б.И. Медовара. – К. Наук. думка. 1981. – 680 с.
(1981) *Electroslag metal*. Ed. by B.E. Paton, B.I. Medovar. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
8. Kuskov, Yu.M., Grishchenko, T.I. (2019) Formation of Metal Pool in Current – Supplying Mould at Electroslag Process. *The Paton Welding J*, 4, 33–36. DOI:https://doi.org/10.15407/tpwj2019.04.07
9. Holzgruber, W., Holzgruber, H. (2000) Innovative electroslag remelting technologies. *MPT International*, 2, 46–48.
10. Kubin, M., Scheriau, A., Knabl, M. et al. (2016) Investigation of the Implication of the Current Conductive Mould Technology with Respect to the Internal and Surface Quality of ESR Ingots. *Medovar Memorial Symposium (7–10 June 2016, Kyiv), Kyiv, Elmetroll*, pp. 174–179.
11. 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., Mikheev, A.N., Pavlov, A.A. (2002) Electroslag cladding in section mould of edges of rolling mill mandrels. *Svarochn. Proizvodstvo*, 6, 31–34 [in Russian].
12. Holzgruber, W., Holzgruber, H. (1996) *Verfahren zum Umschmelzen von Metallen Zulinem Strang sowie Vorrichtung da fur*. Patent EP 0 786 531 A1 Europasches Patent. C 22B 9/18, B 22 D 23/10. Anmeldetag 29.01.1996, Offenlegungstag 21.12.1996.
13. Holzgruber, W., Holzgruber, H. (2000) *Wassergekühlte Kokille für das Stranggießen oder Electroschlackeumschmelzen*. Patent A. T. 406 239 B Republik Österreich, B 22D 23/10, C21c 5/52. Anmeldetag 09.04.1996, Offenlegungstag 27.03.2000.
14. Holzgruber, H. (1997) *Wassergekühlte Kokille zum Herstellen von Blocken oder Strangen sowie deren Verwendung*. Anmeldetag 11.04.1996. Patent DE 196 14 182 C1BR, C21C 5/52, C22B 9/193. Veröffentlichungstag 31.07.1997.
15. Alghisi, D., Milano, M., Paziienza, L. (2001) The Electroslag Rapid Remelting Process under Protective Atmosphere of 145 mm Billets. *Medovar Memorial Symposium (15–17 May 2001, Kyiv), Kyiv, Elmetroll*, 97–105.
16. Дубоделов В.И., Погорский В.К., Шкурко В.К. и др. (2002) Применение магнетодинамической установки в технологии электрошлаковой наплавки жидким металлом стальных прокатных валков. *Проблемы специальной электротехнологии*, 4, 8–10.
Dubodelov, V.I., Pogorsky, V.K., Shnurko, V.K. et al. (2002) Application of magnetodynamic unit in the technology of electroslag cladding of steel mill rolls using a liquid metal. *Advances in Electrometallurgy*, 4, 7–8.
17. Tomilenko, S.V., Kuskov, Yu. M. (2000) Special features of melting of parent metal electroslag surfacing in a current-supplying solidification mould. *Welding International*, 14(11), 893–895.
18. Шевченко В.Е. (2001) *Электрошлаковая технология в производстве современных прокатных валков*. Дис. ... на соискание уч. степени канд. техн. наук, Киев.
Shevchenko, V.E. (2001) *Electroslag technology in production of modern mill rolls*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Tech. Sci. Degree. Kyiv [in Russian].
19. Нетяга А.В., Кусков Ю.М., Проскудин В.М. та ін. (2021) Формування високохромистого чавуну при електрошлаковому наплавленні в струмопідвідному кристаллизаторі квадратного перерізу. *Сучасна електротехнологія*, 4, 16–19. DOI: https://doi.org/10.37434/sem2021.04.02
Netyaga, A.V., Kuskov, Yu.M., Proskudin, V.M. et al. (2021) Formation of a layer of high-chromium cast iron in current-conducting mould of a square cross-section at electroslag surfacing. *Suchasna Elektrometal.*, 4, 16–19. DOI: https://doi.org/10.37434/sem2021.04.02

CURRENT-CONDUCTING MOULD IN ELECTROSLAG TECHNOLOGIES

Yu.M. Kuskov, V.M. Proskudin, V.A. Zhdanov, L.L. Okopnyk

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

E-mail: ryabtsev39@gmail.com

The technology of electroslag surfacing and remelting, using a current-conducting mould, as well as the features of mould design, are considered. Experience of upgrading the basic three-section design into a two-section one is described. Ways of development of electroslag surfacing technology with application of current-conducting moulds of different dimensions and cross-sections are shown. 19 Ref., 5 Fig.

Keywords: electroslag surfacing and remelting, current-conducting mould

Надійшла до редакції 19.05.2022

Міжнародна науково-технічна конференція

«МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ»

10–11 листопада 2022 р.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Матеріали доповідей слід подати до 01.11.2022 р.

https://sdmms.tntu.edu.ua