

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ СЕКЦІЙ СТРУМОПІДВІДНОГО КРИСТАЛІЗАТОРА ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ ЧАВУНУ

Ю.М. Кусков, В.М. Проскудін, А.В. Нетяга

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

Розглянуто можливість тривалої експлуатації стаціонарних двосекційних струмопідвідних кристалізаторів без наявності в струмопідвідній секції захисного футерування. У результаті виконаних наплавов у струмопідвідних кристалізаторах різних діаметрів (180, 150, 90, 70 мм) встановлено, що електроерозія поверхні металу струмопідвідної секції здебільшого виникає в нижній частині її вертикального розрізу, незалежно від матеріалу, що використовується для її виготовлення (сталь, мідь). У низці випадків спостерігається ерозія і верхнього торця формувальної секції. Використання для її виготовлення формувальних сумішей (шамот) призводить до виходу з ладу секції протягом одного наплавлення. Гарантований захист від ерозії струмопідвідної секції забезпечують лише змінні електропровідні футерування. Підвищеної довговічності формувальної секції можна досягти за рахунок особливого конструктивного виконання її верхньої торцевої частини. Бібліогр. 10, рис. 3.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення, стаціонарний двосекційний струмопідвідний кристалізатор, довговічність секції

Вступ. У різних електрошлакових технологіях, що використовують примусове формування металу, який переплавляють, найбільш відповідальною частиною є кристалізатори. Матеріалом для виготовлення водоохолоджуваних кристалізаторів зазвичай слугує мідь марки М1, М2, М3, тобто матеріали, що володіють високою теплопровідністю та електропровідністю, а в разі застосування хромованої бронзи – поліпшеними властивостями міцності.

У них відбувається плавлення електродного металу, примусове охолодження та кристалізація розплавленого металу. Стосовно найвідомішого електрометалургійного процесу – електрошлакового переплаву (ЕШП) показано [1], що висока теплова потужність, яка виділяється в шлаку під час проходження через нього електричного струму, а також можливість протікання через сам кристалізатор великих струмів, які зазвичай не перевищують 30 %, а в поодиноких випадках досягають і 90 % загального струму [2], створюють важкі умови його роботи.

Особливістю конструкції струмопідвідного кристалізатора (СПК) є те, що через його струмопідвідну секцію протягом електрошлакового процесу постійно проходить весь робочий струм [3]. Тому основним завданням збереження працездатності СПК є або усунення електроерозійних явищ на межі шлак-стінка кристалізатора (які спостерігаються за будь-якого електрошлакового процесу в разі протікання частини загального струму на стінку кристалізатора [4]), що призводять до руйнування металу стінки, або зниження цих негативних явищ. За даними [5] руйнівна дія електроерозійних процесів помітно проявляється за одночасного

впливу щонайменше двох чинників: високої щільності струму та тривалості його впливу.

З огляду на те, що під час електрошлакового наплавлення (ЕШП) переважно наплавляються високовуглецеві матеріали, зокрема чавуни [6], швидкорізальні сталі [7] та ін., що забезпечують підвищену зносостійкість наплавленого металу, з'являється можливість використання для захисту стінок СПК змінних футерувань з вуглецевмісних неметалевих матеріалів. Найчастіше застосовують такі матеріали як графіт, бажано щільний, дрібнозернистий. На рис. 1 наведено схему розташування футерування в струмопідвідній секції кристалізатора, а на рис. 2 – графітове футерування у вигляді втулки із зовнішнім діаметром близько 200 мм зі слідами ерозії після експлуатації протягом приблизно 10 год. Як показали порівняльні випробування стійкості різних футерувальних матеріалів [8], також перспективно використовувати карбід кремнію. Крім того, як було встановлено в [9], під час переплаву сталі марки 0Х17Т у СПК з графітовим футеруванням на флюсі АНФ-32 зміни вмісту вуглецю не виявлено за висоти наплавленого шару близько 1300 мм. Це означає, що таку технологію переплаву та наплавлення можна застосовувати не тільки для високовуглецевих матеріалів, а й корозійностійких. Проте слід зазначити, що застосування такого конструкційного виконання кристалізатора ускладнює його виготовлення, зокрема забезпечення щільного електричного контакту футеровки та стінок секції; звідси ж, зростає вартість СПК. Спроби захисту стінки струмопідвідної секції за допомогою різних тугоплавких по-

Ю.М. Кусков – <https://orcid.org/0000-0002-8091-2274>, В.М. Проскудін – <https://orcid.org/0000-0002-2737-5983>,

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

© Ю.М. Кусков, В.М. Проскудін, А.В. Нетяга, 2024

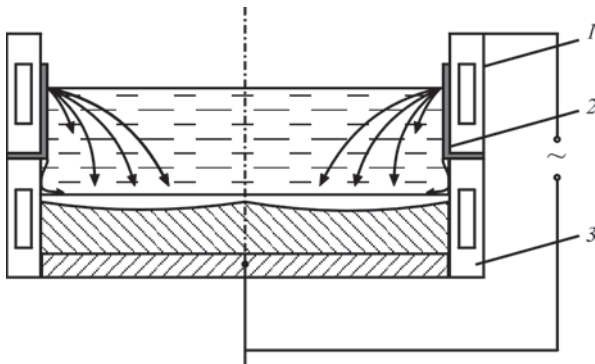


Рис. 1. Схема розташування футерування струмопідвідної секції кристалізатора: 1 – струмопідвідна секція; 2 – футеровка; 3 – формуюча секція



Рис. 2. Захисна графітова втулка зі слідами ерозії після експлуатації протягом приблизно 10 год

криттів (Cr, Mo, W) не дали змоги істотно підвищити довговічність мідної робочої стінки.

Метою цієї роботи є оцінка можливості збільшення терміну служби секції стаціонарного СПК при виконанні наплавлення без використання будь-яких захисних футеровок.

Результати досліджень. Програма проведення досліджень була заснована на врахуванні особливостей ЕШП у стаціонарному СПК. У більшості випадків для отримання біметалевих виробів необхідно наплавляти не більше 10...50 мм металу. Це означає, що час наплавлення не перевищує приблизно 20 хв. Тому можна випробувати ті технічні рішення, які не виправдали себе стосовно кристалізаторів ЕШП, зокрема виготовлення секцій СПК не з міді, а з низьковуглецевої сталі.

Експерименти виконували на двосекційних стаціонарних кристалізаторах різних діаметрів (180, 150,

90, 70 мм). В якості наплавочних матеріалів використовували електроди з великою площею поперечного перерізу та присадку у вигляді дробу одного хімічного складу (високохромистий чавун). Основним матеріалом слугували заготовки з листової сталі марки Ст3. Робочий флюс АНФ-29. Усі наплавлення виконували з твердим стартом (наведення шлакової ванни графітовим електродом у самому кристалізаторі).

Насамперед було проведено серію наплавок у СПК діаметром 180 і 90 мм, виготовлених повністю з міді. У результаті отримано наплавлені шари з хорошим формуванням чавуну та оптимальним пропалвленням основного металу. Але були відзначені ерозійні явища в нижній частині вертикального розрізу струмопідвідної секції та навіть невелике руйнування верхнього торця нижньої (формувальної секції). Перше порушення суцільності мідної стінки очевидно пов'язане з неоптимальним розташуванням зварних швів у зоні проходження максимального струму, а також з їхньою невисокою якістю у її дослідному зразку. Друге підтвердило [9], що, незважаючи на електроізоляцію формувальної секції, частина робочого струму нею все ж таки шунтується.

Надалі було проведено наплавлення в СПК діаметром 150 мм зі сталеву струмопідвідною секцією за різного виконання формувальної секції. Було встановлено, що в разі виготовлення обох секцій зі сталі забезпечити тривалу експлуатацію СПК не вдається: відбувається поступове підплавлення торцевих поверхонь секцій з подальшим (через 3-4 наплавлення) виходом СПК з ладу через локальне пропалвлення стінки.

Використання формувальної секції у вигляді шамотної втулки призводить до того, що під час електрошлакового процесу відбувається активна взаємодія шлаку та шамоту зі значною зміною розміру секції і, відповідно, з погіршенням якості формування наплавленого шару. До подальшої експлуатації втулка непридатна.

У СПК діаметром 70 мм випробували варіант конструктивного виконання струмопідвідної секції зі сталі, а формувальної – з міді. Під час наплавлення спостерігалось невелике підплавлення в нижній

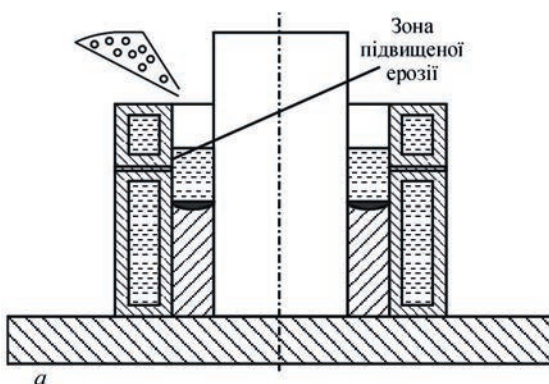


Рис. 3. Зони ерозії струмопідвідної секції, що активно протікає, на схемі наплавлення (а) і в СПК діаметром 70 мм (б)

частині вертикального розрізу струмопідвідної секції; з формувальною секцією жодних змін не відбувалося. Можна прогнозувати, що в разі виготовлення струмопідвідної секції не зі сталі марки СтЗ, а з армо-заліза, працездатність секції підвищиться завдяки поліпшенню тепловідведення від охолоджуваної водою стінки. На рис. 3 представлені зони ерозії струмопідвідної секції на схемі наплавлення (а) і в СПК діаметром 70 мм (б).

Таким чином, проведені дослідження показали, що оптимальним варіантом конструкції стаціонарного СПК слід вважати конструкцію з використанням змінних електропровідних футеровок. При цьому струмопідвідну секцію можна виготовляти як мідною, так і сталеву. Формуючу секцію бажано виготовляти з міді. Крім того, було підтверджено зазначену в [10] перспективу унеможливлення ерозії верхнього торця формувальної секції за рахунок невеликої зміни його конструктивного виконання.

Висновки

1. Гарантований захист струмопідвідної секції стаціонарного СПК можна забезпечити за рахунок використання змінного електропровідного футерування.

2. За наявності захисного футерування струмопідвідна секція може бути виготовлена як із міді, так і з низьковуглецевої сталі, бажано армо-заліза.

3. Формуючу секцію кристалізатора необхідно виготовляти з міді або бронзи.

4. Запропоновані в статті способи підвищення довговічності секцій стаціонарного двосекційного струмопідвідного кристалізатора при електрошлаковому наплавленні чавуну показали на практиці позитивні результати.

Список літератури

1. (1976) *Электрошлаковые печи*. Патон Б.Е., Медовар Б.И. (ред.). Киев, Наукова думка.
2. Миронов Ю.М. (2018) *Установки электрошлаковой металлургической технологии*. Москва, ИНФРА-М.
3. Kuskov, Yu.M. (2003) A new approach to electroslag welding. *Welding J.*, 82(4), 42–45.

4. (1986) *Металлургия электрошлакового процесса*. Патон Б.Е., Медовар Б.И. (ред.). Киев, Наукова думка.
5. Величко Т.Л., Никулин А.А. (1977) Явление на границе ванна-гильза кристаллизатора при электрошлаковом переплаве. *Электротехническая промышленность*, 5, 15–17.
6. Нетяга А.В., Кусков Ю.М., Проскудин В.М., Жданов В.О. (2022) Вибір зносостійких матеріалів для електрошлакового наплавлення в струмопідвідному кристалізаторі деталей обладнання гірничої техніки. *Автомат. зварювання*, 2, 37–40. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2022.02.06>
7. Медовар Б.И., Медовар Л.Б., Чернец А.В. и др. (2001) Электрошлаковая наплавка жидким металлом – новый способ производства высококачественных композитных заготовок валков прокатных станов. *Бюл. «Черная металлургия»*, 4, 42–45.
8. Кусков Ю.М., Ксендзык Г.В. (1994) Исследования стойкости защитной футеровки токоподводящего кристаллизатора. *Автомат. сварка*, 1, 51–52.
9. Томиленко С.В., Кусков Ю.М. (1999) Энергетические особенности электрошлакового процесса в токоподводящем кристаллизаторе. *Автомат. сварка*, 2, 51–53.
10. Шевченко В.Е. (2001) *Электрошлаковая технология в производстве современных прокатных валков*. Дис.... канд. техн. наук. Киев, ИЭС им. Е.О. Патона.

References

1. (1976) *Electroslag furnaces*. Eds by B.E. Paton, B.I. Medovar. Kyiv, Naukova Dumka.
2. Mironov, Y.M. (2018) *Installations of electroslag metallurgical technology*. Moscow, INFRA-M.
3. Kuskov, Yu. M. (2003) A new approach to electroslag welding. *Welding J.*, 82(4), 42–45.
4. (1986) *Metallurgy of electroslag process*. Eds by B.E. Paton, B.I. Medovar. Kyiv, Naukova Dumka.
5. Velichko, T.L., Nikulin, A.A. (1977) Phenomenon on the bath-guise boundary of the crystalliser at electroslag remelting. *Electrotechnical Industry*, 5, 15–17.
6. Netyaga, A.V., Kuskov, Yu.M., Proskudin, V.M., Zhdanov, V.O. (2022) Selection of wear-resistant materials for electroslag remelting in a jet-assisted crystalliser for parts of equipment for mining technology. *Avtomat. Zvaryuvannya*, 2, 37–40. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2022.02.06>
7. Medovar, B.I., Medovar, L.B., Chernets, A.V. et al. (2001) Electroslag cladding with liquid metal - a new way of production of high quality composite billets of rolling mill rolls. *Chyorn. Metallurgiya*, 4, 42–45.
8. Kuskov, Yu.M., Ksendzyk, G.V. (1994) Investigations of durability of protective lining of current-feeding crystalliser. *Avtomat. Svarka*, 1, 51–52.
9. Tomilenko, S.V., Kuskov, Yu.M. (1999) Energy features of electroslag process in current-feeding mould. *Avtomat. Svarka*, 2, 51–53.
10. Shevchenko, V.E. (2001) *Electroslag technology in the production of modern rolling rolls*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Tech Sci. Degree, Kyiv, PWI.

INCREASING THE RESOURCE OF CURRENT-SUPPLYING MOULD AT ELECTROSLAG MELTING OF CAST IRON

Yu.M. Kuskov, V.M. Proskudin, 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 possibility of long-term operation of stationary two-section current-carrying moulds without a protective lining in the current-carrying section. As a result of surfacing in the current-carrying moulds of various diameters (180, 150, 90, 70 mm), it was found that the electroerosion of the metal surface of the current-carrying section mostly occurs in the lower part of its vertical section, regardless of the material used for its manufacture (steel, copper). In some cases, erosion of the upper end of the moulding section is also observed. The use of moulding compounds (chamotte) for its manufacture leads to failure of the section within one surfacing cycle. Only replaceable electrically conductive linings provide guaranteed protection against erosion of the current-conducting section. Increased durability of the moulding section can be achieved due to the special design of its upper end part. 10 Ref., 3 Fig.

Keywords: *electroslag surfacing, stationary two-section current-supplying mould, section durability*

Отримано 13.05.2024

Отримано у переглянутому вигляді 25.06.2024

Прийнято 05.09.2024