

УДК 621.791

Захаров А. В.,

*zakharovandrey1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9894-7355,
аспірант кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні
імені О. І. Сідашенка,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

Рибалко І. М.,

*irybalko.ua@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3663-019X,
Researcher ID I-8014-2016,
д.т.н., доц., доцент кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні
імені О. І. Сідашенка,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

Сайчук О. В.,

*sajchuksacha@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5118-838X,
Researcher ID G-2388-2018,
д.т.н., проф.,
Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж імені В. І. Вернадського, м. Харків*

МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ ПЛАВЛЕННЯ І ПЕРЕНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОДНОГО ТА ПРИСАДНОГО МАТЕРІАЛІВ У ШЛАКОВІЙ ВАННІ ПРИ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

***Анотація.** У статті досліджуються актуальні проблеми проведення процесу плавлення і перенесення електродного та присадного матеріалів під час електрошлакового наплавлення. Метою статті є визначення оптимальних металургійних процесів для отримання якісного наплавленого металу з необхідними показниками зносостійкості. У ході дослідження встановлено, що обертання шлакової ванни до 150 обертів за хвилину суттєво не впливає на тривалість знаходження в шлаку зернистої присадки, але прискорює процеси теплообміну між шлаком та частинками присадки, а також збільшує відносну масу шлаку, що взаємодіє з частинками. Це призводить до інтенсифікації процесу рафінування наплавленого металу. При частоті обертання шлакової ванни вище 150 обертів за хвилину в кристалізаторах діаметром 100 мм і більше тривалість процесу перенесення частинок збільшується. Іноді зернистий присадний матеріал подається не на дзеркало шлакової ванни, а укладається разом з флюсом на поверхню, що наплавається, або вводиться в об'єм шлакової ванни, наприклад у вигляді трубчастого електрода, заповненого присадкою. В цьому випадку частинки, маючи велику питому поверхню, плавляться при значно менших витратах тепла, ніж це потрібно для розплавлення такої кількості монолітного металу. Виявлено, що вільне перенесення частинок в шлаку і подальше ковзання частинок по стінці кристалізатора, яке можна назвати двоохладійне, забезпечує повне розплавлення частинок великого діаметру (більше 3 мм) вже у шарі шлаку, без їх доплавлення у металевій ванні. Доведено, що при використанні рідкого присадного матеріалу відсутні стадії плавлення, а також формування та утворення краплі. Зі шлаком взаємодіє не крапля, а рідкий струмінь металу, подальша взаємодія відбувається на межі розподілу металевий та шлакової ванн. Визначені основні напрями проведення подальших досліджень процесів плавлення і перенесення електродного та присадного матеріалів у шлаковій ванні. Сформульовані конкретні завдання з дослідження металургійної взаємодії між наплавним матеріалом і шлаком. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на визначенні ефективності застосування електродних та присадних матеріалів різного складу.*

Ключові слова: електрошлакове наплавлення, шлакова ванна, електроди, присадні матеріали, електродні стрічки, плавлення.

Zakharov A. V.,

*zakharovandrey1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9894-7355,
Graduate Student of the Department of Service Engineering and Materials Technology
in Mechanical Engineering named after O. I. Sidashenko,
State Biotechnological University, Kharkiv*

Rybalko I. M.,

*irybalko.ua@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3663-019X,
Researcher ID I-8014-2016,
Doctor of Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Service Engineering
and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. I. Sidashenko,
State Biotechnological University, Kharkiv*

Saychuk O. V.,

*sajchuksacha@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5118-838X,
Researcher ID G-2388-2018,
Doctor of Engineering, Professor,
V. I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College, Kharkiv*

METALLURGICAL PROCESSES OF MELTING AND TRANSFER OF ELECTRODE AND ADDITIVE MATERIALS IN A SLAG BATH IN ELECTROSLAG SOLDERING

Abstract. *The article examines the actual problems of the melting process and the transfer of electrode and filler materials during electroslag surfacing. The purpose of the article is to determine the optimal metallurgical processes for obtaining high-quality deposited metal with the necessary indicators of wear resistance. At the beginning of the study, it was established that the rotation of the slag bath up to 150 revolutions per minute does not significantly affect the duration of the stay of the granular additive in the slag, but accelerates the heat exchange processes between the slag and the additive particles, and also increases the relative mass of the slag interacting with the particles. This leads to the intensification of the process of refining the deposited metal. When the rotation frequency of the slag bath is higher than 150 revolutions per minute in crystallizers with a diameter of 100 mm or more, the duration of the particle transfer process increases. Sometimes the granular filler material is not fed to the mirror of the slag bath, but is placed together with the flux on the surface to be welded, or is introduced into the volume of the slag bath, for example, in the form of a tubular electrode filled with an additive. In this case, the particles, having a large specific surface area, melt with much lower heat consumption than is required to melt such a quantity of monolithic metal. It was found that the free transfer of particles in the slag and the subsequent sliding of the particles along the wall of the crystallizer, which can be called two-stage, ensures the complete melting of particles with a large diameter (more than 3 mm) already in the slag layer, without their remelting in a metal bath. It has been proven that when using a liquid additive material, there are no stages of melting, as well as the formation and formation of drops. Not a drop, but a liquid jet of metal interacts with the slag, further interaction occurs at the boundary of the distribution of the metal and slag baths. The main directions of further research into the processes of melting and transfer of electrode and additive materials in the slag bath are determined. Specific tasks for the study of the metallurgical interaction between the floating material and slag are formulated. Further research should be aimed at determining the effectiveness of using electrode and additive materials of different compositions.*

Key words: electroslag surfacing, slag bath, electrodes, filler materials, electrode tapes, melting.

JEL Classification: L 61

DOI: 10.36477/2522-1221-2023-33-02

Металургійна взаємодія між наплавним матеріалом і шлаком відбувається на всіх стадіях контакту між ними. У разі використання при наплавленні матеріалу у твердому вигляді зі стадіями є плавлення електрода (присадки), утворення

краплі, перенесення краплі через шлакову ванну, взаємодія на межі шлакової та металевої ванни.

При використанні рідкого присадного матеріалу замість процесів плавлення та формування крапель йде взаємодія рідкого металу та шлако-

вого розплаву. Напрямок і швидкість реакції цих стадій залежить від співвідношення хімічних складів наплавленого металу і шлаку, температури, роду струму і полярності.

Залежно від типу наплавного матеріалу та місця його введення у шлакову ванну плавлення матеріалу може починатися на поверхні або дні шлакової ванни. Завершуватися процес плавлення може в шлаковій або металевій ваннах. При подачі електродного дроту в ванну шлаку її кінець занурюється в шлак на деяку глибину. Експериментально встановлено [1], що температура шлаку максимальна на глибині, близькій до глибини занурення електрода у ванну, і зменшується при наближенні до металевій ванни. Найменша температура спостерігається на поверхні шлакової ванни.

Як показали дослідження [2], під час електрошлакового процесу, що встановився, відбувається розплавлення торця електрода, відрив і переміщення розплавленої краплі через шлак у металеву ванну.

Імпульс, який крапля передає ванні, настільки великий, що потоки металу досягають її дна, викликаючи значне вирування рідкого металу та його перемішування зі шлаком, який потрапляє у ванну слідом за краплею. З підвищенням швидкості подачі дроту частота перенесення крапель зростає.

Електрошлаковий процес супроводжується значним виділенням газів. Газові бульбашки утворюються як у основному металі так і навколо електрода, причому безпосередньо під поверхнею шлакової ванни бульбашки дрібні. У міру поступу до кінця електрода розміри їх збільшуються. Вони з'єднуються один з одним, відриваються та спливають на поверхню шлакової ванни.

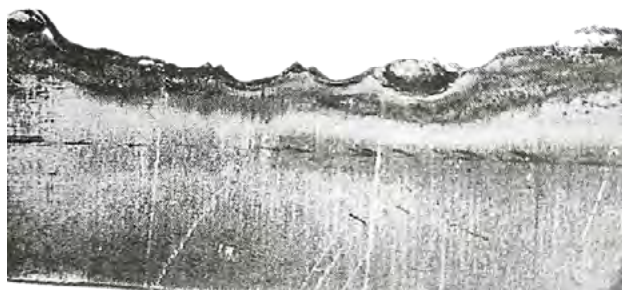


Рис. 1. Форма оплавлення кінця електродної стрічки при горизонтальній двоелектродній ЕШН

Плавлення наплавочного матеріалу у вигляді дроту присадки практично не відрізняється від плавлення електродного дроту. Але у зв'язку з тим,

що в даному випадку немає нагріву дроту від проходження електричного струму, процеси плавлення та перенесення крапель уповільнюються.

Плавлення електродних стрічок відбувається аналогічно плавленню електродних дротів шляхом відриву крапель розплавленого металу та перенесення їх через шлак у металеву ванну. Місце та характер відриву крапель від кінця стрічки визначається розмірами стрічки, режимом наплавлення, сухим "вильотом" електрода. В основному, перенесення крапель відбувається по всій ширині стрічки. При горизонтальній ЕШН інтенсивність утворення крапель у середній частині стрічки вища внаслідок підвищеної температури шлаку у цій зоні. Результатом цього є неоднаковий ступінь оплавлення стрічки в центрі та по її краях (рис. 1).

На плавлення електродних стрічок впливає і спосіб їхнього виробництва. Так, спечені стрічки характеризуються вищим електричним опором, що призводить до підвищеного виділення тепла під час проходження електричного струму у вильоті стрічки порівняно з дротом.

Електроди великого перерізу (головним чином, круглого та прямокутного) досить давно використовують при електрошлаковому переплаві, і процесі плавлення та перенесення металу при використанні таких електродів досліджені доволі докладно [3–5]. Рідкий метал, який стікає по оплавленому торцю електрода, що витрачається, досягнувши вершини конуса (призми для плоского електрода), під дією сил поверхневого натягу збирається в краплі, як і при розплавленні електродів малого перерізу. На краплю, що росте, діють гравітаційні електродинамічні сили і сили тертя, обумовлені рухом шлакового розплаву. Ці сили прагнуть відірвати краплю від електрода.



Рис. 2. Форма оплавлення торця електрода-труби при кільцевій ЕШН

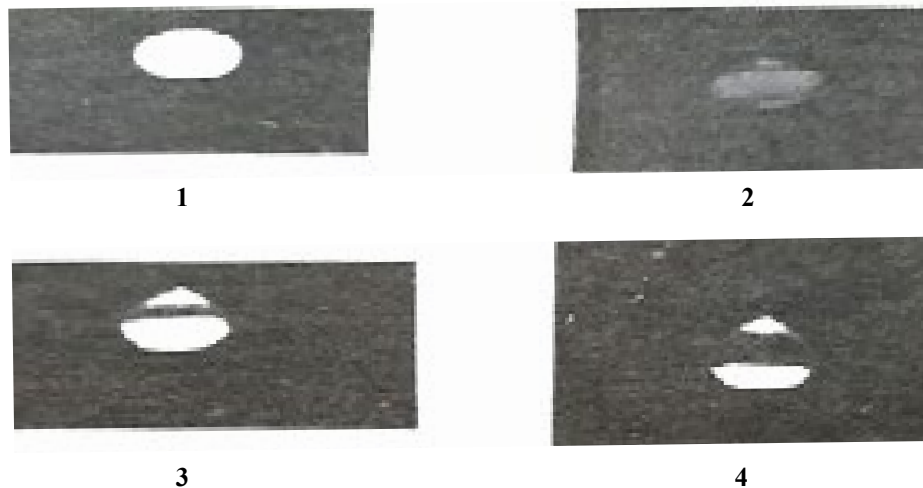


Рис. 3. Кінетика плавлення зернистої гранули салолу в шарі електроліту («холодна» модель): 1–4 етапи перетворення твердої частки на рідку краплю

У міру зростання краплі їх загальна дія перевищує сили поверхневого натягу, що утримують краплю, і остання відривається від кінця електрода. Встановлено [6], що найбільші краплі утворюються в електрошлаковому процесі на змінному струмі, а найбільш дрібні на постійному струмі зворотної полярності. Зі збільшенням сили струму та напруги частота відриву крапель зростає, а розмір їх зменшується [7].

Відірвавшись від торця електрода, що оплавляється, краплі рідкого металу прискорено рухаються через шлак в металеву ванну, причому в основному цей рух йде по найкоротшому шляху між торцем витратного електрода і металевою ванною [8]. Траєкторія руху крапель ускладнюється при зміні схеми підключення електродів, а також при зовнішній дії на шлакову ванну, наприклад, механічному або електромагнітному. При значному збільшенні розмірів електродів краплеутворення, на відміну від дрютяних електродів, відбувається не на всій поверхні торця, що оплавляється, а в декількох зонах (рис. 2). Під час руху плівки розплавленого металу до кінця електрода метал нагрівається на 35–50°C вище температури плавлення. Крім того, при проходженні краплі розплавленого металу через ванну шлаку відбувається її додаткове нагрівання. В результаті температура нагрівання крапель, що потрапляють у металеву ванну, приблизно на 90–100°C вище за температуру плавлення електродного металу [9; 10].

При використанні ЕШН зернистого присадного матеріалу характер плавлення і перенесення відрізняється від подібних процесів при використанні компактних матеріалів. Насамперед, у цьому випадку утворення краплі відбувається не

за рахунок поступового стікання плівки рідкого металу з кінця електрода (або присадки), а безпосередньо тверда гранула поступово перетворюється на рідку краплю металу [11]. Спочатку на її поверхні утворюється шлаковий гарнісаж, який швидко розплавляється. Після чого відбувається оплавлення поверхні гранули та поява плівки рідкого металу, яка за рахунок сил тертя при русі гранули у шарі шлаку зміщується у її верхню частину. Подальший рух гранули супроводжується збільшенням рідкої хвостової частини та зменшенням її твердої складової до повного перетворення твердої гранули на рідку краплю (рис. 3).

На відміну від явищ, що протікають в інших відомих технологічних процесах, ніяких відривів плівок під час руху гранул у шлаковій ванні не спостерігається. Незважаючи на зовнішню несхожість процесів плавлення компактного та некомпактного матеріалу, в обох випадках забезпечується взаємодія шлаку з рідким металом та проходження основних металургійних реакцій.

При високих діаметрах гранул або використанні тугоплавких частинок процес перетворення гранули на краплю може не встигнути завершитися в шлаку і буде продовжуватися в металевій ванні. При порівнянні розрахункового часу руху гранул через шар шлаку (рис. 4) стосовно поширеного наплавного матеріалу хромистого чавуну, можна зробити наступний висновок.

Гранули діаметром 2 мм розплавляються при проходженні більше половини шлакового шару, зростання швидкості руху гранули у зв'язку зі зміною її агрегатного стану відбуватися не буде через малу відстань, що проходить гранула у вигляді краплі. Гранула діаметром 3 мм доплавляється у металевій ванні. При діаметрі гранули

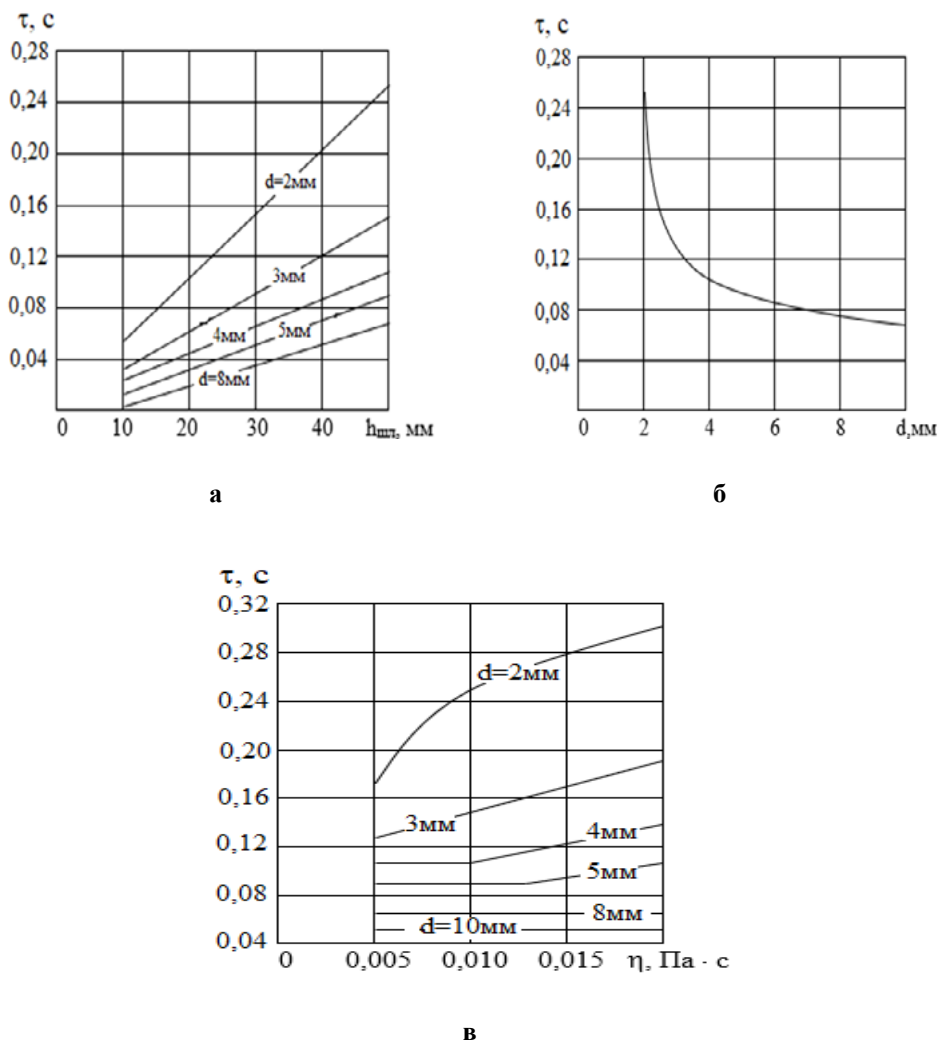


Рис. 4. Час руху гранули (у шлаковій ванні) в залежності від глибини шлакової ванни при в'язкості шлаку $\eta = 0,012 \text{ Па} \cdot \text{с}$ (а); від діаметра d гранули при $\eta = 0,012 \text{ Па} \cdot \text{с}$ і глибині шлакової ванни $h_{\text{шл}} = 50 \text{ мм}$ (б); від в'язкості шлаку η і при $h_{\text{шл}} = 50 \text{ мм}$ (в)

4 мм у шлаку спостерігається лише підвищення температури гранули з частковим підплавленням її поверхневого шару: повне ж розплавлення гранули відбувається у металевій ванні [11].

У поданих розрахунках не враховується одна особливість процесу наплавлення. При діаметрі гранул до 3,5 мм найчастіше спостерігається своєрідне стиснене осадження частинок. У певний момент часу випадкове знаходження кількох гранул на одиниці поверхні шлакової ванни призводить до різкого її охолодження на околицях гранул. «Система» гранул, що утворилася, деякий час обертається на поверхні шлакової ванни, не занурюючись в неї. Для гранул діаметром 2,0–3,5 мм цей час може становити 5–6 с. Потім відбувається прогрів гранул і прилеглого до них шару шлаку і після цього вони поринають у шлакову ванну. При використанні гранул діаметром понад 3,5 мм, таке явище не спостерігається.

Залежно від розмірів некомпактний присадковий матеріал у вигляді стружки також розплавляється по-різному: дрібна стружка масою не більше 2 г (пластинки товщиною до 1 мм) утримуються на поверхні ванни шлаку до розплавлення, плавлення великої стружки масою більше 2 г (пластинки товщиною до 3 г мм) відбувається на межі розділу шлаку – металева ванна та у самій металевій ванні [12].

Необхідно відзначити, що завдяки великій наведеній поверхні реакування некомпактних матеріалів, яка в десятки разів перевищує аналогічну поверхню компактного електрода, ефект рафінування наплавленого металу при використанні некомпактного присадного матеріалу значно вищий [13].

Причому, чим менший розмір частинок, тим ефект, що рафінує, вищий. Так, стосовно наплавлення стружкою, було показано [12], що напла-

лений метал, отриманий при переплаві дрібної стружки, сталі 5ХНМ, містить менше сірки і фосфору, ніж при великому переплаві (табл. 1).

Іноді зернистий присадковий матеріал подається не на дзеркало шлакової ванни, а укладається разом з флюсом на поверхню, що наплавляється, або вводиться в об'єм шлакової ванни, наприклад у вигляді трубчастого електрода, заповненого присадкою. В цьому випадку частинки, маючи велику питому поверхню, плавляться при значно менших витратах тепла, ніж це потрібно для розплавлення такої кількості монолітного металу. Взаємодія їх зі шлаком відбувається на межі розділу шлакової та металевій ванн, що різко зменшує поверхню реагування та знижує окислення легуючих елементів. Легуючі елементи розчиняються в металевій ванні при відносно низькій температурі і мають мінімальний контакт з газовою фазою, що також сприяє зменшенню їх окиснення [14].

Таблиця 1

Вміст сірки та фосфору в наплавленому металі

Об'єкт дослідження	Масова доля елемента, %	
	Сірка	Фосфор
Стружка	0,02	0,028
Метал, наплавлений дрібною стружкою	0,008	0,024
Метал, наплавлений крупною стружкою	0,012	0,027

При наплавленні циліндричних деталей в кільцевому кристалізаторі на процеси плавлення та перенесення зернистого присадного матеріалу в шарі шлаку певний вплив робить обертання шлакової ванни. Експериментально авторами встановлено, що при обертанні шлакової ванни з частотою 40 хв траєкторія руху частинок діаметром 2,0 та 3,5 мм відхиляється у площині шлакової ванни відповідно на кут 290°С та 200°С

Також встановлено, що обертання шлакової ванни з частотою до 150 хв⁻¹ суттєво не впливає на тривалість знаходження в шлаку зернистої присадки, але прискорює процеси теплообміну між шлаком та частинками присадки, а також збільшує відносну масу шлаку, що взаємодіє з частинками.

Це призводить до інтенсифікації процесу рафінування наплавленого металу. При частоті обертання шлакової ванни вище 150 хв⁻¹ в кристалізаторах діаметром 100 мм і більше тривалість процесу перенесення частинок збільшується.

Це збільшення відбувається за рахунок перетворення процесу перенесення частинок на двох-стадійне: вільне перенесення в шлаку і подальше ковзання частинки по стінці кристалізатора.

Таке перенесення забезпечує повне розплавлення частинок великого діаметру (більше 3 мм) вже у шарі шлаку, без їх доплавлення у металевій ванні. При використанні рідкого присадного матеріалу відсутні стадії плавлення, а також формування та утворення краплі. Зі шлаком взаємодіє не крапля, а рідкий струмінь металу, подальша взаємодія відбувається на межі розділу металевій та шлакової ванн.

Певною мірою цей процес відповідає рафінуванню металу синтетичними шлаками [15]. Основна відмінність полягає лише в тому, що струмінь металу, який заливається, подається в розплавлену шлакову ванну невеликої глибини (до 50-70 мм), до якої прикладено напругу, а сама подача здійснюється з відносно невеликої висоти, що знижує ступінь шлаку і металу. Деякі дослідження [16] вказують на те, що перемішування металу та шлаку інтенсифікується внаслідок дроблення струменя при його зіткненні з металевій ванною.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Електрошлакове зварювання та наплавлення / за ред. Б. Е. Патона. М. : Машинобудування, 1980. 512 с.
2. Дудко Д. А., Волошкевич Г. З., Сушук-Слюсаренко І. І., Личко І. І. Дослідження електрошлакового процесу за допомогою кіно- та фотозйомок через прозоре середовище. *Автоматичне зварювання*. 1971. № 2. С. 15–17.
3. Медовар Б. І., Бойко Г. А., Єгоров С. П., Дубинський Р. С. Застосування «холодної» моделі ЕШП при моделюванні процесу плавлення електродів, що витрачаються. *Рафінуючі переплави*. Київ : Наукова думка, 1975. Вип. 2. С. 63–67.
4. Медова Б. І., Бойко Г. І., Баранова Л. М. «Холодна» модель процесу ЕШП. *Рафінуючі переплави*. Київ : Наукова думка, 1975 Вип. 2. С. 58–63.
5. Вачугов Г. А., Хлинов В. В., Хасін Г. А., Антропова Г. А. Неметалургійні включення в металі електрошлакового переплаву. *Бюлетень ЦНН ЧМ*. 1966. № 1. С. 47–49.
6. Рибалко І. М., Захаров А. В. Фізико-хімічні властивості флюсів для електрошлакового наплавлення. *Наукові вісті Дніпровського університету* – 2022. № 23. С. 1–5.
7. Рибалко І. М., Сайчук О. В., Захаров А. В. Фізико-хімічні властивості флюсів та їх технологічні параметри. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 1. No. 5. 2022. P. 70–76. DOI: 10.46299/j.isjea.20220105.09.

8. Ю. М. Кусков. Электрошлаковая наплавка / під ред. А. Ф. Піменова. М. : «Наука та технології». 2001. 180 с.

9. Кусков Ю.М., Рябцев І.А. Электрошлакові технології наплавлення та рециклінгу металевих та металовмісних відходів : монографія / за загальною редакцією д.т.н., проф. І.А. Рябцева) К. : Інтерсервіс, 2020. 199с.

10. Жеребцов С. М., Чернишов Є. А. Особливості фізико-хімічних властивостей флюсів, що використовуються у технологіях електрошлакового переплаву. *Праці НДТУ*. 2016. № 1 (112). С. 228–235.

11. Миронов Ю. М., Лоскутов В. І., Йодковський С. А. Регулювання хімічного складу металу при ЕШП за допомогою постійної складової струму. Тези доповідей. *III Всесоюзна конференція із сучасних проблем електрометалургії сталі*. 1977. С. 78–79.

12. Кусков Ю. М., Гордан Г. М., Богайчук І. Л., Кайда Т. В. Электрошлакове наплавлення дискретними матеріалами, різні способи виготовлення. *ІСЗ ім. Б. О. Патона. Зварювальне виробництво*. 2015. С. 10.

13. Волков А. Є., Гохман Г. 3., Шалімов А. Г. Плавлення та рафінування у перегрітому шлаку некомпактних матеріалів. *Сталь*. 1984 № 7. С. 30–33.

14. Меліков В. В. Багатоелектродна наплавка. М. : Машинобудування, 1988. 140 с.

15. Воїнов З. Р., Шалімов А. Р., Косой Л. Ф., Калинин Є. З. Рафінування синтетичними шлаками. Вид. 2-ге. М. : Металургія. 1970. 464 с.

16. Лютий І.Ю., Латаш Ю.В. Электрошлаковая виплавка та рафінування металів. Київ : Наукова думка, 1982. 188 с.

REFERENCES:

1. Electroslag welding and surfacing / Ed. B. E. Paton. M. : Mashinobudovannya, 1980. 512 p.

2. Dudko D.A., Voloshkevich G.Z., Sushuk-Slyusarenko I. I., Lychko I. I. Study of the electroslag process using films and photographs through a transparent medium. *Automatic welding*. 1971. No. 2. С. 15–17.

3. Medovar B. I., Boyko G. A., Egorov S. P., Dubinsky R. S. Application of the “cold” model of the ECP in modeling the melting process of consumable electrodes. *Refining remelts*. Kyiv : Naukova dumka, 1975. Vol. 2. P. 63–67.

4. Medova B.I., Boyko G.I., Baranova L.M. “Cold” model of the EHP process. Refining remelts. Kyiv : Naukova dumka, 1975 Issue. 2. P. 58–63.

5. Vachugov G. A., Khlynov V. V., Khasin G. A., Antropova G. A. Non-metallurgical inclusions in the metal of electroslag remelting. *Bulletin of TSIIN ChM*. 1966. No. 1. P. 47–49.

6. Rybalko I.M., Zakharov A.V. Physico-chemical properties of fluxes for electroslag surfacing. *Scientific news of Daliv University*, 2022. No. 23. P. 1–5.

7. Rybalko I.M., Saychuk O.V., Zakharov A.V. Physico-chemical properties of fluxes and their technological parameters. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 1, No. 5. 2022. P. 70–76. DOI: 10.46299/j.isjea.20220105.09.

8. Kuskov Yu. M.. Electroslag surfacing / Ed. A. F. Pimenov. M. : “Science and technologies”. 2001. 180 p.

9. Kuskov Yu. M., Ryabtsev I. A. Electroslag technologies of surfacing and recycling of metal and metal-containing waste: monograph / Edited by Doctor of Science, Prof. I. A. Ryabtseva). K. : Interservice, 2020. 199 p.

10. Zherebtsov S. M., Chernyshov E.A. Peculiarities of physicochemical properties of fluxes used in electroslag remelting technologies Proceedings of National Technical University. 2016. No. 1 (112). P. 228–235.

11. Mironov Yu. M., Loskutov V. I., Yodkovskiy S. A. Regulation of the chemical composition of the metal in the case of electric shock with the help of the constant component of the current. *Theses of reports. III All-Union Conference on Modern Problems of Steel Electrometallurgy*. 1977. P. 78–79.

12. Kuskov Y.M., Gordan H.M., Boghaichuk I.L., Kaida T.V. Electroslag surfacing with discrete materials, various manufacturing methods. IEZ named after FOR. Patona. *Welding production*. 2015. P. 10.

13. Volkov A. E., Gokhman G. 3., Shalimov A. G. Melting and refining in superheated slag of non-compact materials. *Stal*. 1984. No. 7. С. 30–33.

14. Melikov V. V. Multi-electrode surfacing. M. : Mashinobudovannya, 1988. 140 p.

15. Voinov Z. R., Shalimov A. R., Kosoi L. F., Kalinnikov E. Z. Refining with synthetic slags. M. : Metallurgy. Kind. 2nd 1970. 464 p.

16. Lyuty I. Yu., Latash Yu. V. Electroslag smelting and refining of metals. Kyiv : Naukova dumka, 1982. 188 p.

Стаття надійшла до редакції 20 лютого 2023 року