

Попов Сергій Миколайович, доктор філософських наук, професор, Національний університет «Запорізька політехніка», ORCID: 0000-0003-0977-9500

Білоник Дмитро Ігорович, аспірант, Національний університет «Запорізька політехніка», ORCID: 0009-0000-6182-7042

Лаптева Ганна Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри, Національний університет «Запорізька політехніка», ORCID: 0000-0003-4475-2354

Корнієнко Олена Борисівна, старший викладач, Національний університет «Запорізька політехніка», ORCID: 0000-0003-0557-3820

Білоник Ігор Методієвич, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», ORCID: 0000-0002-3873-5307

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ ВИТРАТНИХ ЕЛЕКТРОДІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В роботі наведені приклади промислового застосування електрошлакової технології, які потребують достатньо різноманітних по хімічному складу витратних матеріалів, зокрема витратних електродів.

Розглянуті варіанти легування наплавленого металу, доведено перевагу використання порошкового витратного електроду. Запропонована конструкція порошкового витратного електроду, що складається зі сталевого коробчастого профілю (сталь Зпс, Зкп) фіксує стрічки (сталь 08кп), яка працює також в якості дозатора для шихти, що складається із подрібнених феросплавів.

Електрошлакові зливки діаметром 60 мм, отриманих з використанням порошкових електродів, за хімічним складом відповідають сталям 20Х13, Х12 та чавуну ЧХ16. Встановлено, що хімічний склад зливок відповідає вимогам відповідних ДСТУ. Також присутній ефект рафінування, про що свідчить вміст сірки та фосфору в зливках. При дослідженні електродних торців, з їх зовнішнього вигляду можна бачити, що на торці суцільного електроду присутнє тільки одне джерело відриву крапель, яке розташоване на вершині конуса, яка співпадає з центром торця електроду. На торці порошкового електроду формується декілька джерел краплеутворення, які розташовуються по периметру сталевого коробчастого профілю. Це забезпечує рівномірність теплового потоку та робить фронт кристалізації більш пологим.

В роботі висувається припущення, що при застосуванні в порошкових електродах феросплавів з високою температурою плавлення може виникати подрібнення структури (інокулюючий ефект).

Умови кристалізації оцінювали по розрахованому коефіцієнту фронту кристалізації ($K_{ф.к.}$) та вимірній глибині конічної частини металевих ванн (Н). Форму металевої ванни фіксували сірчаним залізом при електрошлаковому виплавленні зливка діаметром 70 мм. Встановлено, що при електрошлаковому виплавленні суцільним електродом $K_{ф.к.} = 0,65$, $H=21,1$ мм, а при застосуванні порошкового електроду $K_{ф.к.} = 0,87$, $H=15,5$ мм.

Встановлено, що при електрошлаковому наплавленні порошковым електродом формується неглибока металева ванна з пласким фронтом кристалізації.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення, витратний електрод, торець, джерела відриву краплі, металева ванна, фронт кристалізації, оболонка, шихта, феросплав, хімічний склад, шлакова ванна.

Вступ. Електрошлакова технологія успішно застосовується для вирішування широкого спектру технічних задач у різноманітних сферах виробництва – машинобудуванні, металургії, гірничодобувній та переробній промисловостях. Дана технологія

найбільш затребувана, як спеціальний електрометалургійний процес отримання високоякісних сталей та їх сплавів. На сьогоднішній день стала актуальною концепція розвитку мікрозаводів для виготовлення продукції преміум якості електрошлаковим переплавленням [1]. Такі підприємства потребують спеціального підходу до виготовлення витратних матеріалів (електродів). Це повинні бути, порівняльно, невеликі партії електродів, кількість і хімічний склад яких можна швидко змінювати згідно конкретних потреб замовників. Також важливим моментом є економічність та конкурентоздатність застосовуваних технологій виготовлення витратних електродів. На наш погляд, ці вимоги можливо виконати, використовуючи порошкові електроди.

Не менш важливим, та економічно обґрунтованим, є відновлення електрошлаковим наплавленням зношених крупногабаритних виробів, таких як зуби ковшів екскаваторів, лопати зірочок дробарок агломерату, штаmpi, ножі гарячого різання, кувадла дробарок та багато інших. В цих випадках, для наплавлення необхідні специфічні за хімічним складом та властивостями витратні матеріали з високим вмістом вуглецю і карбідотворюючих елементів. Слід зазначити, що хімічний склад цих витратних матеріалів визначається умовами експлуатації виробів, які наплавляються (абразивний, ударно-абразивний, гідроабразивний, кавітаційний знос, корозійне руйнування та інш.)

Тому, виробництво витратних матеріалів для електрошлакового наплавлення потребує універсального рішення. Як один з варіантів – технології виготовлення порошкових витратних електродів.

Вище зазначені питання стосовно витратних матеріалів, і конкретно, порошкових електродів, мають багато спільного в електрошлакових технологіях кокільного лиття, відцентрового лиття, лиття в мідній охолоджуваній кристалізатор.

Враховуючи наведене, вважаємо, що розробка методів отримання, дослідження особистостей застосування та впливу порошкового електроду на умови кристалізації електрошлакових зливків є актуальною та доречною задачею.

Постановка проблеми. При виконанні електрошлакового наплавлення основною метою є створення шару металу необхідного хімічного складу, що має високі механічні та експлуатаційні властивості. Для забезпечення необхідного хімічного складу наплавленого металу при електрошлакових процесах застосовують різні способи введення лігатурних компонентів наплавленій метал, серед яких основними є [2, 3]:

1. Введення за допомогою дозаторів добавок, що легують, на поверхню шлакової ванни. При цьому способі відбувається значний чад легуючих елементів.

2. Введення легуючих добавок за допомогою лігатурного електроду суцільного перерізу. Цей спосіб дає найкращі результати з розчинення та засвоєння легуючих елементів у металевій ванні. Однак, для отримання лігатурного електроду необхідно мати металургійний комплекс (плавильний агрегат, встановлення установки напівбезперервного лиття). Неминучі втрати високолегованого металу під час виготовлення лігатурного електроду. Існують технологічні проблеми закріплення лігатурного електроду на основному. Дана технологія знайшла застосування тільки при електрошлаковому переплаві та електрошлаковому виплавленні, в основному, великих заготовок деталей.

3. Введення легуючих добавок за допомогою порошкової стрічки або коробчастого електроду, заповнених шихтою з лігатури або феросплавів. При цьому забезпечується точне дозування легуючих компонентів, висока однорідність хімічного складу наплавленого металу і вирішується питання закріплення порошкової стрічки або електроду на основному.

Отримання високих механічних та експлуатаційних властивостей електрошлакового металу багато в чому залежить від умов кристалізації, які визначаються не лише технологічними параметрами процесу, а й суттєво залежать від характеру краплеутворення на електродному торці [4–6]. Процеси оплавлення електродного торця суцільного перерізу та крапле перенесення електродного металу вивчені досить повно та показано їх взаємозв'язок із глибиною та формою дна металевій ванні [4, 6, 7]. Відомо що найбільш сприятливим для кристалізації наплавленого металу є випадок, коли відрив краплі відбувається не тільки з вершини конуса електродного торця, що оплавляється, але і з периферійних ділянок перерізу електроду. З цією метою застосовують: примусове оплавлення електродного торця [4]; подачу струменя газу на торець електроду [4]; попередній підігрів елек-

трода, що витрачається [4, 8]; обертання витратного електрода [9]; електроди спеціальної конструкції, у яких кілька рядів виконані вузькі наскрізні щілини [10]. Однак у літературі мало висвітлені питання електрошлакової технології порошковим електродом і, зокрема, процеси плавлення електродного торця, формування на ньому джерел краплеутворення і перенесення крапель у розплав металевої ванни, та вплив умов плавлення порошкового електрода на кристалізацію наплавленого металу.

Мета роботи.

1. Дослідити принципову можливість використання витратних порошкових електродів для отримання кондиційного електрошлакового металу, хімічний склад якого задовольняв би вимогам відповідних ДСТУ.

2. Дослідити топографію джерел краплеутворення на торці порошкового електрода.

3. З'ясувати вплив характеру оплавлення торця порошкового електрода на умови кристалізації електрошлакового зливка.

Завдання роботи.

1. Розробити конструкцію, розрахувати шихту та виготовити дослідну партію витратних порошкових електродів

2. Електрошлаковим переплавленням з використанням порошкових електродів отримати зливки та визначити їх хімічний склад, порівняти з вимогами відповідних ДСТУ.

3. Дослідити характер краплеутворення на електродних торцях порошкових електродів.

4. По формі металевої ванни порівняти умови кристалізації електрошлакових зливків, отриманих з використанням електродів – порошкового та суцільного перерізу.

Матеріали та методика дослідження

Витратні порошкові електроди виготовляли з двох складових – металевої (сталь 3кп), та легуючої (шихта зі стандартних феросплавів). В якості металевої складової застосовували профільну сталеву трубу $20 \times 20 \times 1,2$ мм, яку заповнювали відповідною шихтою. До труби приварювали сталеві полоси (сталь 3кп), кількість яких визначали, виходячи з необхідної загальної маси металевої складової. Розрахунок шихти порошкового електрода виконували користуючись методикою [11]. Феросплави (ФХ-800А; ФХ-25А; ФМп-78; ФС-45) подрібнювали, розсіювали та змішували згідно технологічних інструкцій [12, 13].

Електрошлаковий переплав порошкових електродів виконували на установці А-550 зі стаціонарним водоохолоджуваним кристалізатором діаметром 60 мм. На всіх плавках застосовували флюс АНФ-6 у кількості 0,30 кг. Плавки проводили з однаковою ваговою швидкістю наплавлення 15,0-15,1 кг/годину.

Форму торців електродів фіксували шляхом відключення струму, швидкого виведення на максимальній швидкості електродного торця з шлакової ванни.

Хімічний склад сталевих зливків визначали спектральним методом, а чавунного – методами “мокрої” хімії.

Для дослідження впливу порошкового електрода на умови кристалізації електрошлакового виготовили електрод з двох частин. Верхня частина – пруток (сталь 20Х13) суцільного перерізу площею 1200 мм^2 . Нижня частина – порошковий електрод з площею перерізу 1230 мм^2 з такої ж сталі (20Х13). Електрод переплавили в кристалізатор діаметром 70 мм, швидкість наплавлення обох частин електрода була однаковою. Умови кристалізації оцінювали по формі металевої ванни [6], яку фіксували засипкою сірчаного заліза при наплавленні зливка відповідно кожною із частин витратного електрода. Після виготовлення макротемплету з центральної частини зливка, заміряли геометричні параметри металевих ванн, висоту конусних частин ($H_{c.e.}$; $H_{n.e.}$) та довжину твірних конусів ($l_{c.e.}$; $l_{n.e.}$) та розраховували коефіцієнт фронту кристалізації ($K_{ф.к.}$), який дорівнює відношенню радіуса зливка к довжині твірної конуса металевої ванни.

Вважається, чим менше висота конічної частини металевої ванни та більше коефіцієнт фронту кристалізації, тим кращі умови кристалізації електрошлакового зливка.

Результати досліджень та їх обговорення.

Результати дослідження хімічного складу зливків, отриманих переплавленням порошкових електродів, наведені в таблиці 1.

Встановлено, що хімічний склад зливок повністю задовільняє вимогам відповідних ДСТУ та ГОСТів. Це свідчить про правильний розрахунок складу шихти порошкового електроду та кваліфіковане виконання технологічного процесу електрошлакового виплавлення. Слід відзначити наявність ефекту рафінування по сірці (вміст сірки в зливках значно нижче у порівнянні з вимогами ДСТУ). Вміст хрому в усіх зливках на верхній межі вимог, що забезпечує гарантовані властивості отриманого металу зливок.

Таблиця 1 – Хімічний склад електрошлакових зливок, отриманих переплавленням порошкових електродів

№	Матеріал	Масова доля елементів, %					
		C	Si	Mn	Cr	S	P
1	X12 ГОСТ 5950-2000	2,0-	0,10-	0,15-	11,5-	нб	нб
		2,2	0,40	0,45	13,00	0,03	0,030
2	X12 ЕШВ (ПЕ)*	2,13	0,32	0,38	12,7	0,011	0,021
3	20X13 AISI 420	0,16-	нб	нб	12,0-	нб	нб
		0,25	1,0	1,5	14,0	0,015	0,04
4	20X13 ЕШВ (ПЕ)*	0,20	0,8	1,0	13,2	0,010	0,02
5	ЧХ16 ГОСТ 7769-82	1,6-	1,5-	1,0-	13,0-	нб	нб
		2,4	2,2	1,5	19,0	0,05	0,1
6	ЧХ16 ЕШВ (ПЕ)*	2,2	2,0	1,3	18,5	0,02	0,05

* ЕШВ(ПЕ) – електрошлакове виплавлення порошковим електродом.

Можна побачити, що хімічний склад зливок повністю задовільняє вимогам відповідних ДСТУ та ГОСТів. Це свідчить про правильний розрахунок складу шихти порошкового електроду та кваліфіковане виконання технологічного процесу електрошлакового виплавлення. Слід відзначити наявність ефекту рафінування по сірці (вміст сірки в зливках значно нижче у порівнянні з вимогами ДСТУ). Вміст хрому в усіх зливках на верхній межі вимог, що забезпечує гарантовані властивості отриманого металу зливок.

Під час дослідження характеру оплавлення торців витратних електродів (суцільного перерізу та порошкового) встановлено наступне. При оптимальному режимі електрошлакового процесу торець круглого суцільного електроду, що витрачається, приймає конічну форму. Метал, що плавиться, утворює на оплавленому торці електроду рідкометалеву плівку, яка під дією гравітаційних сил прискорено рухається вниз по бічній поверхні конусу електроду до його вершини [4]. Це добре пояснює схема, яка наведена на (рис. 1 а).

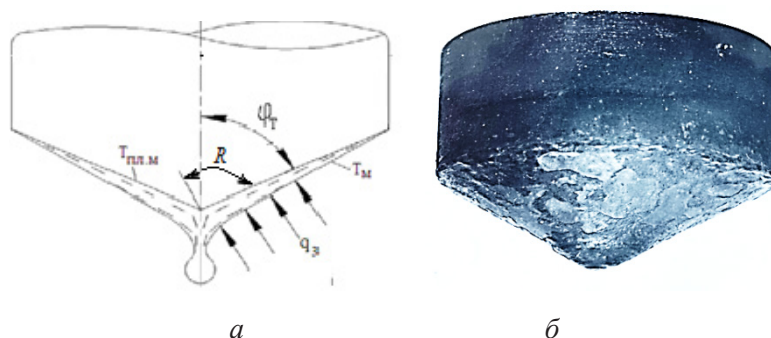


Рисунок 1 – Схема процесу краплеутворення на торці суцільного витратного електроду (а) та зовнішній вигляд торця (б)

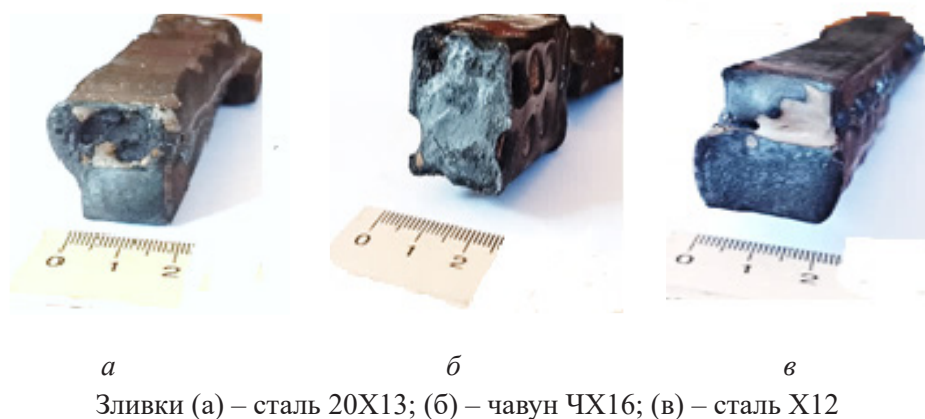
Як можна бачити (рис. 1 а, б), процес краплеутворення відбувається на вершині конуса торця суцільного витратного електроду. В подальшому, краплі відриваються з вершини конуса торця електроду, проходять через рідкий шлак і потрапляють в центральну

частину розплавленої металеві ванни, при цьому ванна приймає параболічну форму. Плавління торця порошкового електроду має свої особливості, пов'язані з конструкцією електроду та суттєвою різницею фізичних властивостей металеві оболонки та шихти. При оплавленні порошкового електрода відбувається нагрівання та розплавлення металеві оболонки за рахунок Джоулевого тепла та теплопередачі тепла від шлакової ванни. У цей же час відбувається нагрівання шихти теплом металеві оболонки і шлакової ванни і меншою мірою електричним струмом. Температура плавлення ферохрому, залежно від марки, становить 1550-1600°C [18], а оболонки порошкового електроду – сталі 08кп 1520°C. У зв'язку з цим при оплавленні електродного торця у шлаковій ванні переважно буде плавитися металева складова, а феросплавна – з деяким запізненням. При чому, у зв'язку з вищою температурою плавлення феросплавної шихти вона на стадії оплавлення торця, формування краплі та проходження через шар шлаку може не повністю розплавлятиметься.

Виходячи з конструкції порошкового електроду та співвідношення товщини оболонки до кількості шихти, слід, що частина шихти потраплятиме в металеву ванну, минаючи краплю. Переходячи в металеву ванну з температурою 1550–1600°C [6], шихта матиме температуру на 150-200°C менше. У зв'язку з цим відзначатиметься процес зняття перегріву металеві ванни, аналогічний введенню в розплав дисперсних інокуляторів [15].

Щоб отримати максимальний теплофізичний ефекту і, наскільки можливо, розплавлення частинок феросплавів, їх розмір повинен становити 0,5–3 мм [15]. Надалі, ці частки, взаємодіючи в обсязі розплаву з домішками, будуть сприяти активації підкладок – центрів кристалізації і можуть стати додатковими активними екзогенними центрами кристалізації [16]. Для виконання вищенаведеного процесу необхідною умовою є співвідношення обсягу розплаву металеві ванни та маси феросплавної шихти з певним гранулометричним складом. У свою чергу обсяг металеві ванни залежить від кількості розплавленого електродного металу, що надходить до неї. Рівномірний розподіл шихти по довжині порошкових електродів забезпечували металевими вставками – трикутними, або прямокутними, які поділяли внутрішній об'єм на осередки, тим самим, дозуючи кількість шихти яка потрапляла спочатку в шлакову, а потім в металеву ванну.

При дослідженні форми торців порошкових витратних електродів встановили, що на них присутні декілька джерел краплеутворення, які розташовані на кожній із сторін квадратної оболонки, по центру металеві стрічки, а також на дозуючих металевих вставках. Характерна форма торців порошкових електродів наведена на рис. 2.



Зливки (а) – сталь 20X13; (б) – чавун ЧХ16; (в) – сталь X12

Рисунок 2 – Оплавлені торці порошкових електродів

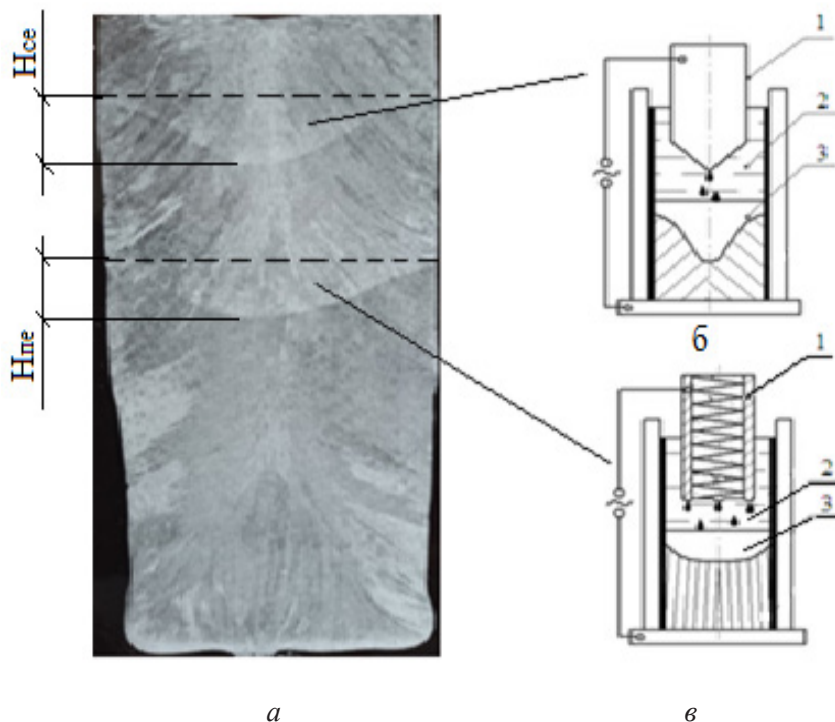
Така топографія розташування джерел краплеутворення забезпечує пологий фронт кристалізації електрошлакового зливка та зменшення глибини металеві ванни.

Це можна бачити на приведених схемах (рис. 3б, в) та практичному підтвердженні (рис. 3а). В наслідок того, що при плавленні порошкового електрода краплі утворюються як по центру, так і на периферії електродного торця, маємо розосереджений характер їхнього перенесення в металеву ванну. Це сприяє більш рівномірному

розподілу градієнта температур обсягом металевої ванни і призводить до формування більш плоского фронту кристалізації металу (рис. 3в).

В наслідок того, що при плавленні порошкового електрода краплі утворюються як по центру, так і на периферії електродного торця, маємо розосереджений характер їхнього перенесення в металеву ванну. Це сприяє більш рівномірному розподілу градієнта температур обсягом металевої ванни і призводить до формування більш плоского фронту кристалізації металу (рис. 3, в).

Для оцінки умов кристалізації при електрошлаковому процесі суцільним та порошковим електродом, провели порівняння форми металевої ванни, визначили коефіцієнти фронту кристалізації та глибину конусної частини металевих ванн.



1 – витратний електрод (суцільний порошковий), 2 – шлакова ванна, 3 – металева ванна
Рисунок 3 – Макротемплет зливка з відбитками металевої ванни (а) та схеми краплеутворення на торцях суцільного (б) та порошкового (в) електродів

Для електрошлакового зливка, отриманого суцільним електродом, коефіцієнт фронту кристалізації дорівнює 0,65, а глибина конусної частини складає 21,1 мм. Для електрошлакового зливка, отриманого порошковим електродом коефіцієнт фронту кристалізації дорівнює 0,87, а глибина конусної частини ванни – 15,5 мм.

Висновки.

1. Встановлено, що застосування витратного порошкового електрода при електрошлаковому виплавленні дозволяє отримувати високолеговані (взагалі по хрому) зливки, хімічний склад яких повністю відповідає вимогам.

2. При електрошлаковому виплавленні зливок діаметром 70 мм з використанням порошкових електродів перерізом 20x20 мм встановлено, що на електродних торцях формується не одне, а декілька (3-6) джерел краплеутворення.

3. При порівнянні умов кристалізації електрошлакових зливок, отриманих переплавленням електродів суцільного перерізу та порошкового, встановлено, що глибина конусних частин металевих ванн складає 21,1 мм та 15,5 мм, а коефіцієнти фронту кристалізації дорівнюють 0,65 та 0,87 відповідно.

4. Результати даних досліджень доцільно впроваджувати для виготовлення витратних матеріалів (порошкових електродів) в технологіях електрошлакового зварювання, наплавлення, кокільного та відцентрового лиття та інших.

Бібліографічний перелік

1. Медовар Л. Б., Стовпченко А. П., Костецкий Ю. В. Концепция микрозаводов для выпуска продукции премиум качества электрошлаковым переплавом. *Современная электрометаллургия*, 2017. № 3. С. 3-8.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б.Е. Патона. Москва: Машиностроение, 1974. 768 с.
3. Электрошлаковая технология в машиностроении / Б.И. Медовар, В.Я. Саенко, И.Д. Нагаевский, А.Д. Чепурной ; под общ. ред. Б.Е. Патона. Киев: Техніка, 1984. 215 с.
4. Тепловые процессы при электрошлаковом переплаве / Под ред. Б.И. Медовара. Киев: Наукова думка, 1978. 304 с.
5. Электрошлаковая сварка и наплавка / Под ред. Б.Е. Патона. Москва: Машиностроение, 1980. – 511 с.
6. Клюев М.М. Электрошлаковый переплав. / М.М. Клюев, С.Е. Волков. Москва: Metallurgy, 1984. 208 с.
7. Дудко Д.А., Рублевский И.Н. О капельном переносе электродного металла при электрошлаковой сварке. *Автоматическая сварка*, 1958. №4. С. 24-31.
8. Безбах Д.К. Исследование предварительного нагрева электрода для повышения производительности сварки. *Автоматическая сварка*, 1962. №4. С. 28-29.
9. Чуманов И.В., Пятагин Д.А. Особенности электрошлакового переплава на постоянном токе с вращением расходоуемого электрода. *Известия вузов. Черная металлургия*, 2006. № 3. С. 22-25.
10. Электрошлаковая технология за рубежом / Под ред. Б.Е. Патона, Б.И. Медовара. Киев: Наукова думка, 1982. 320 с.
11. Пустовгар А.В. О методике расчета сварочной порошковой проволоки. *Вісник СумДУ*, 2000. № 15. С. 113 – 117.
12. Технологическая инструкция по дроблению материалов. ТИ 283.25100.11037. ТИ ПП 3-77. Днепропетровск: Днепропетровский метизный завод, 1977. 4 с.
13. Технологическая инструкция по размолу материалов. ТИ 283.25100.11037. ТИ ПП 4-77. Днепропетровск: Днепропетровский метизный завод, 1980. 8 с.
14. Технологическая инструкция. Производство порошковой проволоки. ТИ 283.25000.11127. Днепропетровск: Днепропетровский метизный завод, 1980. 16 с.
15. Затуловский С.С. Суспензионная розливка. Киев: Наукова думка, 1981. 260 с.
16. Бабаскин Ю.З. Структура и свойства литой стали. Киев: Наукова думка, 1980. 240 с.

References

1. Medovar L. B., Stovpchenko A. P., Kostetsky Yu. V. The concept of micro-factories for the production of premium quality products by electroslag remelting. *Modern electrometallurgy*, 2017. No. 3. P. 3-8.
2. Technology of electric welding of metals and alloys by fusion / Ed. B.E. Paton. Moscow: Mashinostroenie, 1974. 768 p.
3. Electroslag technology in machine building / B.I. Medovar, V.Ya. Saenko, I.D. Nagaevsky, A.D. Chepurnoi; under the municipality ed. B.E. Paton. Kyiv: Technika, 1984. 215 p.
4. Thermal processes in electroslag remelting / Ed. WOULD. Medovara Kyiv: Naukova dumka, 1978. 304 p.
5. Electroslag welding and surfacing / Ed. B.E. Paton. Moscow: Mashinostroenie, 1980. – 511 p.
6. Klyuev M.M. Electroslag remelting. / M.M. Klyuev, S.E. Volkov. Moscow: Metallurgy, 1984. 208 p.
7. Dudko D.A., Rublevsky I.N. About droplet transfer of electrode metal during electroslag welding. *Automatic quarrel*, 1958. No. 4. P. 24-31.
8. Bezbach D.K. Research on pre-heating of the electrode to improve welding performance. *Automatic quarrel*, 1962. No. 4. P. 28-29.
9. Chumanov I.V., Pyatigyn D.A. Features of electroslag remelting on direct current with rotation of the consumable electrode. *Izvestiya universities. Black metallurgy*, 2006. No. 3. P. 22-25.
10. Electroslag technology abroad / Ed. B.E. Paton, B.I. Medovara Kyiv: Naukova dumka, 1982. 320 p.
11. Pustovgar A.V. About the method of calculation of welding flux-cored wire. *Bulletin of Sumy State University*, 2000. No. 15, pp. 113-117.
12. Technological instructions for crushing materials. YOU 283.25100.11037. TI PP 3-77. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk metalworking plant, 1977. 4 p.
13. Technological instructions for grinding materials. YOU 283.25100.11037. TI PP 4-77. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk metalworking plant, 1980. 8 p.

14. Technological instruction. Production of powder-coated wire. YOU 283.25000.11127. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovsk metalworking plant, 1980. 16 p.
15. Zatulovsky S.S. Suspension casting. Kyiv: Naukova dumka, 1981. 260 p.
16. Babaskin Yu.Z. Structure and properties of cast steel. Kyiv: Naukova dumka, 1980. 240 p.

Popov Serhiy, Doctor of Philosophy, Professor, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", ORCID: 0000-0003-0977-9500

Bilonyk Dmytro, PhD student, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", ORCID: 0009-0000-6182-7042

Lapteva Anna, candidate technical Sciences, associate professor of the department, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", ORCID: 0000-0003-4475-2354

Kornienko Olena, senior lecturer, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", ORCID: 0000-0003-0557-3820

Bilonyk Ihor, candidate of technical sciences National University "Zaporizhzhia Polytechnic", ORCID: 0000-0002-3873-5307

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF POWDER CONSUMABLE ELECTRODES FOR ELECTROSLAG TECHNOLOGIES

The work provides examples of industrial applications of electroslag technology that require consumables of varying chemical composition, in particular consumable electrodes.

Options for alloying the deposited metal are considered, and the advantage of using a powder electrode is proven. A design has been proposed for a powder consumable electrode consisting of a steel box profile (steel 3ps, 3 kp) and a fixing tape (steel 08 kp), which also works as a dispenser for a charge consisting of crushed ferroalloys.

Electroslag ingots with a diameter of 60 mm, obtained using powder electrodes, correspond in chemical composition to steels 20X13, X12 and cast iron ЧХ16. It has been established that the chemical composition of the ingots meets the requirements of the relevant DSTU. There is also a refining effect, as evidenced by the sulfur and phosphorus content. When examining the electrode ends, it can be seen from their appearance that there is only one source of droplet detachment on the end of a solid electrode, which is located at the top of the cone, which coincides with the center of the electrode end. At the end of the powder electrode, several sources of droplet formation are formed, which are placed along the perimeter of the steel box profile. This ensures uniformity of heat flow and makes the crystallization front flatter.

The work suggests that when ferroalloys with a high melting point are used in powder electrodes, a refinement of the structure (inoculating effect).

Crystallization conditions were evaluated by the calculated coefficients of the crystallization front ($K_{f.k.}$) and the measured depth of the conical part of the metal baths (H). The shape of the metal bath was fixed with iron sulfide during electroslag smelting of the ingot with a diameter of 70 mm. It was established that during electroslag smelting with a solid electrode $K_{f.k.} = 0.65$, $H = 21.1$ mm, and when using a powder electrode $K_{f.k.} = 0.87$, $H = 15.5$ mm.

It was established that during electroslag surfacing with a powder electrode, a shallow metal bath with a flat crystallization front is formed.

Key words: electroslag surfacing, consumable electrode, end, sources of drop separation, metal bath, crystallization front, shell, charge, ferroalloy, chemical composition, slag bath.