

Рибалко І. М., Захаров. А.В.

ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЛЮСІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Проблема отримання якісного металу, з заданими фізико-механічними властивостями та службовими характеристиками, є однією із головних завдань у сучасному світовому металургійному виробництві, від якої безпосередньо залежить прогрес у багатьох галузях промисловості.

Існує ряд технологічних процесів отримання якісного металу – вакуумно-індукційний переплав, вакуумно-дуговий переплав, електронно-променевий переплав, що мають свої переваги та недоліки та певні технічні обмеження. Вони не вирішують проблему загалом.

Споживання флюсів (шлаків) на основі CaF_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , MnO , SiO , NaF і т.д. у металургійному виробництві швидко зростає. Це зумовлено створенням та впровадженням у виробництво нових методів виплавки якісних сталей та сплавів, до яких пред'являють особливі вимоги фізико-хімічних властивостей металургійних флюсів.

Ключові слова: флюс, шлак, ЕШН, метал, шлакова ванна, хімічні властивості, плавиковий шпат.

Актуальність дослідження. Шлак є невід'ємною складовою кожного процесу (ЕШН) електрошлакових технологій, наплавлення, лиття тощо. Ефективність, продуктивність процесів залежить від його властивостей, що визначають, головним чином, хімічним складом компонентів флюсів, що застосовуються.

Постановка проблеми. Важлива вимога для процесу електрошлакового наплавлення (ЕШН), при якій у зв'язку з низькою швидкістю охолодження існує небезпека утворення окисленого шару на межі затверділого металу зі шлаком, що перешкоджає видаленню шлакової кірки з наплавленого металу. При ЕШН різко зростає тривалість процесу, а отже, до флюсів пред'являються більш жорсткі вимоги щодо стабільності хімічного складу, достатньої рафінувальної ємності та фізичних властивостей.

Теоретичний аналіз дослідження. Питанням, присвяченим особливостям фізико-хімічних властивостей флюсів, що використовуються для електрошлакового наплавлення, приділяється значна увага провідними фахівцями металургійної галузі. Впродовж останніх років в роботах Степанова В.В., Лютого І.В., Подгаєцького В.В., Кускова Ю.М., Скороходова В.Н., Рябцева І.А., Саричева І.С., Латаша Ю.В., Никитіна Б.М., Жмойдина Г.І. [1-9] та інших вчених проведені фундаментальні дослідження за вказаними напрямками. Спектр питань досліджень є досить широким, що зумовлює продовження розробки наукових основ в цьому напрямку.

Мета статті. Метою статті є висвітлення отриманих результатів з дослідження фізико-хімічних властивостей флюсів, що використовуються для електрошлакового наплавлення з метою модифікування рідкого металу та підвищення зносостійкості наплавлених покриттів.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети дослідження визначені наступні задачі:

- розгляд номенклатури флюсів та дослідження їхніх фізико-хімічних властивостей;
- вплив флюсів на фізико-хімічні властивості наплавлених покриттів.

Викладення основного матеріалу дослідження. В результаті дослідження фізико-хімічних та електрохімічних властивостей оксидно-фторидних розплавів $\text{CaF}_2 - \text{Me}_a\text{O}_b$ (Me - Ca, Mg, Al, B, Si, Ti, V, Nb) можна зробити деякі висновки. Характер питомої електропровідності подвійних та потрійних систем флюсів вказує переважно на їх іонну провідність. Заміна іонів f - на іони O_2 - супроводжується зменшенням електропровідності.

При електрохімічних дослідженнях оксидно-фторидних розплавів як «електрод порівняння» було обрано кисневий електрод. Термодинамічні розрахунки стандартних електродних потенціалів дають наступні ряди напруги щодо нульового кисневого потенціалу при 1800 К°:

Оксиди - Ca, L, Li, Ti B, Si, Mv, Nb, Cr, Fe, W, Ni, O

Фториди - Ca, Li, Mg, B, Al, Si, Ti, Mn, Cr, Nb, Fe, Ni, W, F

Після аналізу процесів електролізу різних флюсів при електрошлаковому переплаві та проведення дослідницьких робіт, отримано експериментальні дані, на основі яких розроблено рекомендації щодо можливості використання електрохімічного модифікування та легування металу, що переплавляється, елементами, що відновлюються зі шлаку. Розроблено спеціальні склади модифікуючих флюсів, що містять різні легуючі добавки для переплаву вуглецевих конструкційних, високоякісних легованих сталей та жароміцних сплавів, а також сплавів з особливими фізичними властивостями.

Є кілька загальних функцій, які шлак виконує в електрошлакових процесах. Це насамперед енергоперетворююча функція. Шлак є ділянкою електричного ланцюга з високим опором, на якому відбувається перетворення електричної енергії на теплову. Крім того, він виконує теплопередавальну функцію, від якої залежить енергетична ефективність процесу. Ця ефективність тим вища, чим повніше та інтенсивніше шлак передає теплоту металу.

Шлакова ванна - джерело тепла при ЕШН. При проходженні електричного струму через шлакову ванну (електропровідний шлаковий розплав) у ній виділяється тепло, достатнє для реалізації ЕШН. Кількість його визначається за формулою $Q = 0,24 I^2 R_m t$, кал/с, де I – сила струму; R_m - опір шлакової ванни; t – час процесу.

Питома витрата електроенергії залежить від величини електричного опору шлаку. Високий опір шлакової ванни сприяє підвищенню швидкості переплаву електродів та збільшенню продуктивності процесу. Однак не все тепло, що виділяється в шлаковій ванні, витрачається на розплавлення електрода, підтримка в рідкому стані шлакової та металеві ванни. Частина тепла (близько 30-40 %) відводиться водою (охолоджувачем), що охолоджує кристалізатор, і близько 10-20 % випромінюється дзеркалом шлакової ванни, і лише близько 30-50 % витрачається

на розплавлення електрода, що витрачається. Характер поширення тепла в процесі ЕШН залежить від різних електричних та технологічних факторів: від типу електричної схеми процесу переплаву; прийнятого електричного режиму; кількості та хімічного складу флюсу; співвідношення розмірів електрода та плавильної ємності, ливарної форми; властивостей металу, що переплавляється, та ін. Тому реальні енерговитрати при ЕШН істотно вищі, ніж теоретично необхідні для розплавлення 1 т сталі. Виходить, що тільки на розплавлення самих електродів витрачається близько 40-55% активної потужності, що підводиться. Така, на перший погляд, неефективна витрата електроенергії у сфері виробництва окупається надійною та довготривалою роботою виробів, одержаних з використанням технології ЕШН у сфері промислового застосування.

Ще однією важливою функцією флюсу є рафінуюча здатність шлаків у процесі ЕШН. Розплавлений флюс повинен володіти максимальним міжфазним натягом на границі з рідким металом і мінімальним - з неметалевими включеннями. Реакційна здатність флюсу повинна забезпечувати видалення шкідливих домішок, і водночас не викликати взаємодії його компонентів з легуючими компонентами електрода, що переплавляється. Флюс повинен містити мінімально можливу кількість нестійких сполучень для забезпечення сталості хімічного складу металу протягом усього процесу. Крім того, він повинен забезпечувати легке збудження електричної дуги та високу стабільність електрошлакового процесу. Шлак має температуру плавлення нижче і щільність менше, ніж у металу, що наплавляється, переплавляється або рафінується.

Також важливою є і захисна функція флюсу - шлак повинен ізолювати метал від шкідливого впливу навколишньої атмосфери. Застосування флюсу має бути економічно доцільним і не надавати шкідливого впливу здоров'я людини.

Важлива вимога для процесу електрошлакового наплавлення (ЕШН), при якій у зв'язку з низькою швидкістю охолодження існує небезпека утворення окисленого шару на межі затверділого металу зі шлаком, що перешкоджає видаленню шлакової кірки з напавленого металу. При ЕШН різко зростає тривалість процесу, а отже, до флюсів пред'являються більш жорсткі вимоги щодо стабільності хімічного складу, достатньої рафінуючої ємності та фізичних властивостей. У випадках електрошлакового наплавлення тривалість заповнення кристалізатора (виливниці) невелика, тому швидкість утворення гарнісажу має бути високою. Крім того, до гарнісажу висувається вимога міцності, оскільки тривалий період витримує значний феростатичний тиск рідкого металу. У всіх процесах, які передбачають використання електродів, що витрачаються, підвищується вимога до рафінуючої здатності флюсів. Шлакові системи являють собою сольові, оксидні або оксидно-сольові розплави, і ефективність процесів ЕШН будуть визначатися числом та співвідношенням компонентів флюсу, варіюючи якими, можна змінювати температуру його плавлення, електричну провідність, в'язкість, поверхневий натяг та інші властивості. Вимога гомогенності шлакової ванни при робочих температурах процесів робить необхідним використання флюсу з температурою плавлення нижче за температуру ліквідуса металу або сплаву. Причому для ЕШН застосовуються флюси, у яких ця різниця температур досягає 280-460°C.

При ЕШН різні механічні властивості флюсів унеможливають їх застосування одночасно при проведенні процесу в стаціонарному та рухомому кристалізаторах. При переплаві в стаціонарному кристалізаторі необхідна стабільність товщини гарнісажного шару по всій висоті зливка.

Наведемо приклади необхідних температур плавлення флюсів: для ЕШН міді та бронзи температура плавлення 920-1050°C (температура випуску металу 1150-1240°C; латуні – 950-1100°C; алюмінію - не більше 800°C, чавуну - 1480°C; сталі - 1640 - 1870°C). При переплаві металів, що входять в основу хімічного складу всіх сталей і сплавів, застосовують співвідношення температур плавлення, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Температура плавлення флюсів і металів, °C							
	Cu	Mn	Ni	Fe	Ti	Zr	Cr
Метал	1084	1244	1455	1539	1665	1852	1903
Флюс	980	1150	1350	1420	1340	1630	1800

Такі співвідношення обумовлені тим, що використання легкоплавкого флюсу може спричинити його випаровування. Застосування більш тугоплавких флюсів збільшує об'єм та глибину металевої ванни, що негайно позначається на кристалічній структурі зливка. Найнижчу температуру плавлення мають сольові флюси, найвищу - оксидні. Проміжне положення між ними займають оксидно-сольові флюси. Температури плавлення ряду однокомпонентних флюсів, що використовуються в металургійному виробництві, наведено в табл. 2 [7, 8].

Таблиця 2

Температура плавлення флюсів які застосовуються в ЕШН, °C								
CaF ₂	CaCl	CaO	NaF	NaCl	Na ₃ AlF ₆	Al ₂ O ₃	MgF ₂	MgCl ₂
1400	772	2580	992	801	1035	2050	1263	707
BaF ₂	BaCl ₂	BaO	LiF	LaF ₃	La ₂ O ₅	CeO ₂	Y ₂ O ₃	SiO ₂
1280	960	1920	890	1430	2320	2700	2415	1610
V ₂ O ₅	B ₂ O ₃	ZrO ₂	MnO	LiCl	CsF	LiF	MgO	TiO ₂
680	290	2700	1842	614	692	870	2800	1870

В табл. 3 наведені рекомендовані температури як розплавленого флюсу, так і рідкого металу. Виміри температур проводили прямим методом-опусканням термопари в рідкий метал і шлак протягом усього процесу електрошлакового переплаву.

Щільність рідкого шлаку також є його визначальною фізичною властивістю, що впливає на параметри ведення процесу ЕШН [1, 7]. Найменшу густину мають сольові флюси. Наприклад у флюсу АНФ-ІП при 1450°C щільність становить 2,52 г/см³ і знижується при введенні інших солей (наприклад, щільність NaF – 1,95 г/см³; NaCl – 1,55 г/см³;

$\text{Na}_3\text{AlF}_6 - 2,09 \text{ г/см}^3$). Додавання 50 % MgF_2 вже за 1150°C призводить до зниження щільності шлаку до $2,5 \text{ г/см}^3$. В оксидно-сольових флюсах введення оксидів підвищує густину, що пояснюється підвищенням густини упаковки частинок у розплаві. Так, при додаванні CaO відбувається заміна аніонів F^- ($r_{\text{F}^-}=0,33 \text{ нм}$) на O^{2-} ($r_{\text{O}^{2-}}=0,132 \text{ нм}$), хоча їх радіуси близькі, але різні заряди, а це позначається на енергії їх зв'язків із катіонами Ca^{2+} . Щільність флюсу АНФ-7 при 1450°C становить $2,63 \text{ г/см}^3$.

Таблиця 3

Температури в $^\circ\text{C}$ плавленням електродів які плавляться та флюсів в плавильній ємкості при ЕШН, $^\circ\text{C}$

Марка витратного електроду	Ст20	Ст. 09Г2С, 17Г1С	10Г2ФБЮ	15Х5М	Х18Н10Т	Х17Н13М3Т
Рідкий метал	1650/1740	1670/1720	1690/1740	1710/1860	1650/1770	1660/1800
Рідкий флюс	1790/1960	1810/1980	1850/2030	1940/2240	1890/2150	1950/2140
Марка витратного електроду	Х23Н18	ЭП202	ЖС6-У	ЖС3-ДК	ЖС6-К	Чавун Сч20
Рідкий метал	1680/1760	1610/1780	1520/1650/1800	1510/1640/1780	1540/1640/1800	1340/1480
Рідкий флюс	1960/2120	1780/2050	1780/1920/2170	1760/1930/2140	1790/1910/2160	1580/1710

Ще більшою мірою підвищує щільність шлакових розплавів введення глинозему Al_2O_3 . Енергія зв'язку катіонів Al^{3+} з аніонами O^{2-} більше, ніж Ca^{2+} з F^- в силу відмінності ефективних іонних радіусів ($r_{\text{Al}^{3+}}=0,057 \text{ нм}$; $r_{\text{Ca}^{2+}}=0,106 \text{ нм}$) та зарядів. Щільність флюсу АНФ-6 за 1450°C становить $2,88 \text{ г/см}^3$. Зростання щільності спостерігається і при одночасному введенні в розплав CaO та Al_2O_3 . Найбільшу щільність мають розплави оксидних шлаків, щільність яких зростає з введенням CaO , Al_2O_3 , MgO і падає із введенням SiO_2 , що призводить до утворення аніонних комплексів SiO_4^{4-} , що послаблюють між іонні зв'язки. Найбільший вплив на щільність розплавів на основі CaF_2 мають добавки ZrO_2 та Al_2O_3 , потім TiO_2 , MgO , CaO .

Найчастіше щільність застосовуваних при процесах ЕШН у діапазоні робочих температур не перевищує $3,0 \text{ г/см}^3$, що суттєво не впливає на поділ шлакової та металевої фаз. Зі зростанням температури щільність шлакових розплавів знижується.

Формула (1) розрахунку [1, 2, 3, 5] щільності шлакових розплавів при температурі 1400°C залежно від їх хімічного складу:

$$\frac{1}{\gamma} = 0,416\text{SiO}_2 + 0,303\text{CaO} + 0,372\text{MgO} + 0,328\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,389\text{CaF}_2 \quad (1)$$

Про міцність зв'язку різних катіонів з аніонами в шлакових розплавах судять, зіставляючи значення іонних радіусів, та іонних потенціалів. Найбільш високе значення відношення заряду іона до його радіусу мають іони Si^{4+} , Ti^{4+} , Al^{3+} , Mn^{3+} , Fe^{3+} , Zr^{4+} , які характеризуються великими зарядами та малими іонними радіусами. Зв'язок цих катіонів з аніоном кисню O^{2-} повинен бути набагато міцнішим за зв'язок інших катіонів. Комплексні аніони при великому радіусі мають помітно менший заряд і, відповідно, нижчі значення відношення заряду до радіусу, ніж катіони металів, крім катіонів K^+ та Na^+ , що є показником слабого зв'язку складних аніонів з катіонами.

У розплавлених шлаках катіони та аніони з сильними силовими полями які притягуються один до одного з більшою силою, а слабкі іони витісняються та адсорбуються на поверхні розплаву, знижуючи його поверхневий натяг. Це іони типу $\text{Me}_x\text{O}_y^{z-}$ (SiO_4^{4-} ; $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$; $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$; MnO_4^{4-} ; FeO_3^{3-} ; TiO_3^{2-} ; CrO_3^{3-} ; ZrO_3^{2-} та ін.). Найбільш поверхново-активною речовиною є NaF , з підвищенням його концентрації, наприклад, у системі $\text{CaF}_2 - \text{NaF}$, поверхневий натяг розплаву різко знижується. SiO_2 та TiO_2 також є поверхнево-активними речовинами, хоча й слабшими. ZrO_2 мало впливає на поверхневий натяг, з підвищенням концентрації MgO у системі $\text{Ca}_2\text{-Mg}$ і Al_2O_3 у системі $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ поверхнева напруга зростає.[3] CaO має на розплав $\text{CaF}_2\text{-CaO}$ менший вплив, ніж попередні два оксиди. У цьому випадку слабкі іони Ca^{2+} та F^- замінюються сильнішими, і їх концентрація у поверхневому шарі зростає, сприяючи підвищенню зв'язку поверхневих іонів з основною масою розплаву. [2]

Плавиловий шпат (флюорит) CaF_2 в даний час застосовується для автоматичного зварювання, а також для електрошлакового переплаву та наплавлення високолегованих нержавіючих хромонікелевих аустенітних сталей та сплавів, титану та інших активних металів. Флюорит CaF_2 є мінералом класу галоїдних сполучень. Флюорит містить 51,33% Ca та 48,67% F , а також домішки у незначній кількості (хлор, газ, рідкісноземельні елементи, уран, марганець та ін.). Щільність плавилового шпату у твердому стані становить приблизно $3,18 \text{ г/см}^3$, температура плавлення 1365°C . Щільність рідкого флюориту за температури 1400°C дорівнює $2,40 \text{ г/см}^3$. Структура кристалічної решітки - кубічна: іони Ca^{2+} розташовуються по вершинах і в центрі граней великого куба, а іони F^- в центрі восьми малих кубів, з яких складається великий куб. Кожен іон Ca^{2+} оточений вісьмома іонами F^- , а кожен іон F^- - чотирма іонами Ca^{2+} . Структура подібного роду зветься флюоритовною.

Шлаки на основі CaF_2 мають невисокі значення поверхневого натягу, а підвищення міжфазного натягу на межі шлак-метал завдяки введенню добавок Al_2O_3 , CaO та MgO зумовило застосування шлакових систем на їх основі. Це флюси, що знайшли широке застосування в промисловості: АНФ-6, АНФ-8, АН-291, АН-295 та ін. Фтористі шлаки мають і підвищену адгезію до неметалевих включень - оксидів і нітрідів.

В'язкість та електрична провідність є найважливішими технологічними властивостями флюсів. Вони визначають інтенсивність проходження фізико-хімічних процесів та техніко-економічні показники ЕШН. В області робочих температур в'язкість побічно характеризує рафінувальну здатність шлаку та його електричну провідність, а при температурах кристалізації металу - характеризує його формувальну здатність. Технологічні та електричні параметри можуть бути розраховані за результатами вимірів електричної провідності шлаку.

З флюсів для ЕШН інтерес викликають флюси АНФ-28, АНФ-29 та АНФ-32. В'язкість флюсів при охолодженні підвищується повільно через схильність до утворення кристалічних склоподібних структур через високий вміст SiO_2 . Серед них флюс АНФ-28 має найменшу температуру плавлення (1170°C) та великий температурний інтервал затвердіння. Крім того, нижче температури випадання евтектики флюси АНФ-28 і АНФ-29 мають помітну плинність, а при досить високій швидкості охолодження ($30 - 40^\circ\text{C} / \text{хв}$) ці флюси ще досить текучі (близько $1,0 \text{ Пас}$) і при температурі 1100°C .

Зі зварювальних флюсів [5, 8] найбільший інтервал затвердіння має флюс АН-8, найменший - АНФ-1П, який є найбільш тугоплавким. Флюси АН-22, АН-348А, ФЦ-7 займають проміжне положення. В'язкість флюсів для термообробки при робочих температурах $860 - 1150^\circ\text{C}$ (для АН-ШТ1) та $780 - 880^\circ\text{C}$ (для АН-ШТ2) не перевищує $0,8 \text{ Пас}$.

Зі зварювальних флюсів найменша електрична провідність у флюсу ФЦ-7, найбільша - у АН-25. Серед флюсів для переплаву найбільшу електричну провідність мають флюси АНФ-1П і АНФ-7, найменшою - без фторидний АН-29. Флюс АНФ-6 займає проміжне положення. У флюсів АНФ-28, АНФ-29 та АНФ-82 спостерігається різке збільшення електричної провідності при температурах $1720 - 1840^\circ\text{C}$.

Стійкість процесів ЕШН, хоч і зростає з підвищенням електричної провідності шлакових розплавів, але водночас вимагає введення більшої електричної потужності для виділення достатньої кількості теплоти у шлаковій ванні.

Усі флюси поділяються на кислі, у яких переважають такі оксиди, як SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 ; основні з переважною кількістю CaO , MgO , MnO , FeO та нейтральні. Амфотерні оксиди, такі як Al_2O_3 , у кислих шлаках поведуться як основні, а в основних як кислі. Хлористі та фтористі сполуки – нейтральні.

Для визначення основності шлаку [2, 3, 5], що вивчається та застосовується у виробництві, можна використовувати вираз (формула):

$$B = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{SrO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaF}_2 + 1/2 \cdot (\text{MnO} + \text{FeO})}{\text{SiO}_2 + 1/2 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)} \quad (2)$$

де B – ступінь основності флюсу; SiO_2 , K_2O , CaF_2 та ін. – вміст хімічних сполучень у флюсі, %.

При $B > 1$ флюс вважається основним; при $B < 1$ – кислим; при $B \approx 1$ – нейтральним. Класифікація шлаків за рівнем кислотності чи основності є умовною.

Висновки. Для зварювання та наплавлення застосовувані флюси та шлаки мають кислотність $K=1,2-1,5$. При більшій величині K шлаки для зварювання не придатні, оскільки підвищення кислотності за рахунок підвищення вмісту SiO_2 погіршує стабільність дугового процесу, шлаки стають занадто в'язкими, внаслідок чого хімічна активність падає, що призводить до утворення пор та шлакових включень у металі шва.

Таким чином, для електрошлакового наплавлення сталей найбільш прийнятними є флюси на основі фторвмісних сполучень CaF_2 з введенням в них Al_2O_3 , CaO , MgO і т.д., що забезпечує при ЕШН необхідну продуктивність та отримання високоякісного електрошлакового металу [4, 6].

Література

1. Плотность расплавленных флюсов для электрошлакового переплава и подогрева / В.В. Степанов, Б.Е. Лопаев // Автоматическая сварка. – 1997. – № 2. – С. 39-41.
2. Электрошлаковая выплавка и рафинирование металлов / И.В. Лютый, Ю.В. Латаш. – Киев: Наук. Думка, 1982. – 188 с.
3. Сварочные флюсы / В.В. Подгаецкий, И.И. Люборец. – Киев: Техніка, 1984. – 167 с.
4. Латаш Ю.В. Очищение металла от неметаллических включений при электрошлаковом переплаве / Ю.В. Латаш и др. // Автоматическая сварка. – Киев: АН СССР, 1960. – № 9. – С. 17-23.
5. Никитин Б.М. О фазовом составе фторсодержащих шлаков электрошлакового переплава / Б.М. Никитин, Т.И. Литвинова, Т.Ф. Решенко // Изв. АН СССР. Металлы. – 1966. – №6. – С. 58-64.
6. Плавкость фторсодержащих шлаков / Г.И. Жмойдин // Изв. АН СССР. Металлы. – 1989. – №6. – С. 9-16.
7. Электрошлаковая наплавка / Ю.М. Кусков и др. Под ред. А.Ф. Пименова. – М.: «Наука и технологии». – 2001. – 180 с..
8. Электрошлаковые технологии наплавки и рециклинга металлических и металлосодержащих отходов: монография / Ю.М. Кусков, И.А. Рябцев и др. Под общей редакцией д.т.н., проф. И.А. Рябцева) – К. : Интерсервис, 2020. – 199с.
9. Особенности физико-химических свойств флюсов, используемых в технологиях электрошлакового переплава / С.Н. Жеребцов, Е.А. Чернышов // Труды НГТУ. – 2016. – № 1(112). – С. 228-235.

References

1. Density of melted fluxes for electroslog remelting and heating / V.V. Stepanov, B.E. Lopaev // Automatic welding. – 1997. – No. 2. – P. 39-41.
2. Electroslog smelting and refining of metals / I.V. Lyuty, Yu.V. Latash. – Kyiv: Nauk. Dumka, 1982. – 188 p.
3. Welding fluxes / V.V. Podgaetsky, I.I. Lyuborets. – Kyiv: Technique, 1984. – 167 p.
4. Latash Yu.V. Purification of metal from non-metallic inclusions during electroslog remelting / Yu.V. Latash, et al. // Automatic Welding. – Kyiv: USSR Academy of Sciences, 1960. – No. 9. – P. 17-23.
5. Nikitin B.M. On the phase composition of fluorine-containing slags of electroslog remelting / B.M. Nikitin, T.I. Litvinova, T.F. Reshenko // Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Metals. – 1966. – No. 6. – P. 58-

6. Fusibility of fluorine-containing slags / G.I. Zhmoydin // Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Metals. –1989. – No. 6. –P. 9-16.
7. Electroslag Surfacing / Yu.M. Kuskov, et al. Ed. A.F. Pimenov. – M.: "Science and technology", 2001. – 180 p.
8. Electroslag technologies for surfacing and recycling of metal and metal-containing wastes: monograph / Yu.M. Kuskov, I.A. Ryabtsev, et al. Ed. I.A. Ryabtsev. – K.: Interservice, 2020. – 199 p.
9. Features of the physical and chemical properties of fluxes used in electroslag remelting technologies / S.N. Zherebtsov, E.A. Chernyshov // Proceedings of NSTU. – 2016. – No. 1 (112). – P. 228-235.

The problem of obtaining high-quality metal, with given physical and mechanical properties and performance characteristics, is one of the main tasks in modern world metallurgical production, which directly affects the progress in many industries.

There are a number of technological processes for the extraction of nitric oxide metal - vacuum-induction remelting, vacuum-arc remelting, electronic-promenium remelting, which may have its own advantages and shortcomings and less technical exchange. The stench does not blatantly dismiss the problem.

Softening of fluxes (slags) based on CaF_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , MnO , SiO , NaF , etc., grows rapidly in metallurgical production. It is reasonable to create and promote the development of new methods of melting of iron steels and alloys, to which they present special powers of physical and chemical power of metallurgical fluxes.

Key words: flux, slag, ESHN, metal, slag bath, chemical power, fluorspar.

Рибалко І. М. – д.т.н., доцент кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні ім. О.І. Сідашенка Державного біотехнологічного університету.

Захаров. А.В. – аспірант кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні ім. О.І. Сідашенка Державного біотехнологічного університету.