

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

Ковейнік Андрій Володимирович

УДК 669.046.52: 669.187.56

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФЛЮСІВ НА ЯКІСТЬ МЕТАЛУ
ПРИ ЕШП**

Спеціальність 8.090401 “Металургія чорних металів”

Автореферат

кваліфікаційної роботи магістра

Запоріжжя -2016

Робота рукопис.

Робота виконана на кафедрі металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук, доцент Воденнікова О.С.

Рецензент:

Начальник дільниці ЦТВС ПАТ "Запоріжсталь"
Штапура Є.В.

Захист кваліфікаційної магістерської роботи відбудеться "12" січня 2016 р. в 9⁰⁰ в аудиторії 225 на засіданні Державної екзаменаційної комісії в Запорізькій державній інженерній академії за адресою: 69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Найважливіший вплив на металургійні процеси і електротехнічні параметри електрошлакового переплаву (ЕШП) роблять склад і властивості шлаків (флюсів). Шлак при ЕШП не тільки рафінує метал від небажаних домішок, але і є генератором тепла, формує поверхню злитка, захищає метал від взаємодії з газами, бере участь в замиканні електричного ланцюга і виконує ряд інших функцій.

Для виплавки електроплавлених шлаків ЕШП використовують дорогий дрібнодисперсний флюоритовий концентрат, частка якого в шихті (залежно від марки шлаку) складає 40...100%. Це в основному і визначає високу собівартість шлаків. При цьому коефіцієнт втрат флюоритового концентрату може коливатися від 1,2 до 2,0, що значно знижує техніко-економічні показники процесу і приводить до значного забруднення навколишнього середовища.

У зв'язку з цим існує необхідність в розробці технології окускування флюоритового концентрату перед плавкою.

У світовій і вітчизняній практиці відомі методи окускування дрібнодисперсного флюоритового концентрату, проте багато з них вносять додатково шкідливі домішки, особливо оксиди кремнію і лужних металів, зважаючи на що ці способи не отримали широкого застосування.

Мета роботи – дослідження впливу флюсу марки АНФ-6 на якість металу при ЕШП.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні теоретичні та прикладні завдання:

- проаналізувати основні технологічні особливості процесу електрошлакового переплаву та сучасний стан існуючої сировинної бази для виплавки електроплавлених флюсів в умовах металургійних підприємств України;
- запропонувати оптимальну технологію окомкування флюоритового концентрату;
- провести порівняння хімічного складу шлаку АНФ-6, виплавленого з використанням руди Покрово-Кирейівського родовища і Ярославського флюоритового концентрату, зі звичайним складом АНФ-6.

Об'єкт дослідження: флюс марки АНФ-6; процес дефосфорації шлаків ЕШП; технологія окомкування флюоритового концентрату.

Предмет дослідження: вплив вмісту неметалічних включень та газів на якість металу при ЕШП.

Методи дослідження: дослідження хімічного складу сталі проводили за допомогою хімічного аналізу; обробка експериментальних даних проводилася з використанням персонального комп'ютера.

Наукова новизна: методика експериментальних досліджень дозволить визначати найбільш оптимальний склад шлаку АНФ-6 для подальшого його застосування при ЕШП.

Практичне значення: результати дослідних випробувань можуть бути використані при виробництві сталі ШХ15, виплавленої з використанням руди Покрово-Кирейвського родовища і Ярославського флюоритового концентрату в промислових умовах.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених в кваліфікаційну роботу магістра, пройшли апробацію на: XX науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Частина I. (Запоріжжя, 2015 р.), II міжнародної научно-практичної конференції “Ключевые аспекты научной деятельности 2015”. Т 8. Технические науки (Днепропетровск, 2015) і наукових семінарах кафедри металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії.

Публікації

Основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт, 1 статті та 2 тезах конференцій.

Структура і об'єм роботи

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел з 32 найменувань, викладена на 63 сторінках машинописного тексту, включаючи 10 рисунків, 10 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, показано наукову новизну роботи і практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі приведена характеристика існуючої сировинної бази для виплавки електроплавлених флюсів.

Аналіз сировинної бази для виплавки електроплавлених флюсів в умовах металургійних підприємств України показав, що основним складником фторидних шлаків є фтористий кальцій, а сировиною для отримання промислових шлаків електро-шлакового переплаву (ЕШП) служить досить поширений в природі і достатньо добре вивчений мінерал – плавиковий шпат (флюорит), в якому вміст фтору складає 48,8%, а кальцію – 51,2%.

Аналізуючи хімічний склад концентратів і руду (табл. 1 і 2) видно, що в результаті збагачення (флотації) вміст кремнезему знижується до 2,0...2,3%, а

Таблиця 1-

Хімічний склад концентрату

Найменування концентрату	Вміст компонентів, %				
	SiO ₂	CaF ₂	S	P	CaO
Ярославський	2,2	92,0	0,04	0,035	1,3
Ташкенський	1,3	95,3	0,31	0,067	0,8
Хоронхойський	2,3	93,6	0,04	0,097	0,9
Таїланд	1,1	98,0	0,03	0,185	0,4
Корейський	1,9	93,5	1,25	0,040	0,7

Таблиця 2 -

Хімічний склад плавиково-шпатових (флюоритових) руд

Месце знаходження	Середній вміст компонентів, %									
	CaF ₂	SiO ₂	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	S	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO	MgO	Ін.
Забайкалля:										
Калангуйське	49,8	45,5	0,6	-	3,5	-	-	-	-	0,6
Абагайтійське	64,3	25,5	2,8	6,6	0,4	0,4	-	-	-	-
Солонечне	45,9	42,5	0,68	2,64	0,35	0,1	0,16	0,17	1,23	6,27
Усуглінське	57,0	33,0	0,93	-	0,16	0,12	-	-	-	8,79
Харанхойське	43,4	25,6	0,88	-	0,17	0,45	-	-	-	29,5
Ярославське	40,2	-	12,5	-	-	-	-	-	-	47,3
Середня Азія:										
Сонячне	51,0	15,32	2,1	25,84	-	0,046	0,016	0,02	0,25	5,408
Таськайнар Південний	41,74	50,64	2,2	1,19	0,22	0,18	0,03	0,01	0,05	3,74
Кандарінське	23,5	52,5	4,0	-	1,2	0,22	-	-	-	18,58
Ташкенське	56,1	31,3	2,1	1,2	0,51	0,33	-	-	-	8,46

концентрація таких шкідливих домішок як сірки і оксиду фосфору (у перерахунку на фосфор) практично залишається на одному рівні.

За мінерально-геохімічними особливостями в Покрово-Кирейвського родовищі розрізняють карбонатно-флюоритові і полевошпатово-карбонатно-флюоритові руди (табл. 3). З даних табл. 3 видно, що плавигово-шпатово руда цього родовища, в порівнянні з іншими родовищами, містить найбільшу кількість фтористого кальцію (до 82%). Слід звернути увагу на низький вміст шкідливих домішок в таких рудах. Так, вміст кремнезему в багатих рудах фракції -100 мм не перевищує 2,4%, що задовольняє за цим вимогам за кладом найбільш широко поширеного шлаку АНФ-6. Концентрація ж сірки і фосфору в такій руді знаходиться на одному рівні і помітно нижче за значення в руді Корейського, Ташкентського родовищ.

Таблиця 3 -

**Експлуатаційні запаси і хімічний склад плавигово-шпатових руд
Покрово-Кирейвського родовища**

Фракція, мм	Тип руди	Експлуатаційні запаси руд, тис. т	CaF ₂ , %	CaF ₂ , тис. т	Вміст шкідливих домішок, %			
					CaCO ₃	SiO ₂	S	P ₂ O ₅
-50	Вивітрена	205,99	82,2	169,4	1,53	3,25	0,03	0,046
	Багата	372,38	78,3	291,6	7,79	2,4	0,1	0,05
	Рядова	477,12	49,1	233,9	21,54	8,9	0,14	0,057
	Всього	1055,49	65,5	695,1	-	-	-	-
-100	Багата	225,06	76,2	171,5	7,79	2,4	0,1	0,05
	Рядова	619,17	49,7	307,5	21,54	8,9	0,14	0,057
	Всього	844,23	56,7	478,9	-	-	-	-
Всього		1899,72	62,0	1174				

У другому розділі описані матеріали і методи досліджень, які застосовувалися в ході роботи.

Дослідження технології окомкування флюоритового концентрату проводили на окомковаче діаметром 1000 мм з кутом нахилу таріли, що змінюється, в межах 30...55° і швидкістю її обертання 14...40 об./хв., при цьому вивчали вплив вміст вологи в шихті на гранулометричний склад окатишів і їх міцність.

Концентрат, що подається в окомковач, містив 4...6% вологи. Для поліпшення умов того, що грудкує, частина вологи у вигляді розчину, що пов'язує, різної концентрації подавали безпосередньо в окомковач.

З метою зміцнення окатишів досліджували вплив випалення на їх міцність. Процес випалення розділили на три основні зони: сушка – до 300 °С, підігрів – 650...900 °С і зміцнююче випалення – 950...1100 °С з наступними параметрами:

- швидкість нагріву 72...73 град./хв.;

- час випалення 15 хв.;
- швидкість охолодження 72...80 град./хв.

Дослідження технології дефосфорації шлаків ЕШП плавки проводилися на промислових флюсоплавильних печах ПАТ “Нікопольський завод феросплавів” за технологією, що діяла на той момент. Оскільки футеровку флюсоплавильних електропечей виконують з вуглецевих матеріалів, при складанні балансу враховували не тільки витрату шихтових матеріалів, але і електродної маси вугільних блоків.

Дослідження по виплавці і рафінуванню шлаків АНФ-1 та АНФ-6 алюмінієм проводили в печі Таммана, обладнаній графітовим нагрівачем, в графітовому тиглі.

Виплавку шлаків АНФ-1 і АНФ-6 проводили в графітовому тиглі за двома варіантах:

- 1 – алюмінієвий порошок змішували з навішуванням концентрату і завантажували в піч;
- 2 – навішування алюмінієвого порошку вводили відразу після розплавлення навішування флюоритового концентрату.

Виплавка шлаку АНФ-6 відрізнялася від виплавки шлаку АНФ-1 тим, що після рафінування флюоритового концентрату і 20-ти хвилинній витримці при температурі 1600 °С на розплав задавали навішування глинозему. Готовий шлак зливали в чавунну виливницю і відбирали проби з метою визначення вмісту закису заліза і фосфору. У якості шихтових матеріалів використовували флюоритовий концентрат марки ФФ-92, з початковим вмістом фосфору 0,059% і технічний глинозем марки Г-00. Відновником служив гранульований первинний алюміній. Для утворення металевої фази в розплавленому шлаку і видалення відновленого фосфору у вигляді фосфидів заліза із зони реакції в шлак вводили подрібнену металеву стружку. Температуру розплаву вимірювали вольфрам-ренієвою термопарою ВР 5/20.

З метою перевірки можливості використання плавиновошпатних руд Покрово-Кирейвського родовища в лабораторній флюсоплавильній печі, обладнаній графітовим тиглем, виплавляли шлак АНФ-6. Для виплавки вказаного шлаку використовували плавиновошпатову руду, відібрану на відмітці -50 і що має наступний хімічний склад, % по масі: 68,9 CaF₂; 2,4 SiO₂; 0,24 Al₂O₃; 2,25 CaO; 1,78 MgO; 1,5 FeO; 8,0 CaCO₃; 0,03 P; 14 н.п.п.

У якості решти компонентів шихти використовували матеріали, вживані в практиці для аналогічних шлаків. Виплавку шлаку АНФ-6 проводили як з використанням Ярославського флюоритового концентрату, так і з використанням руд Покрово-Кирейвського родовища.

Лабораторні дослідження впливу якості шлаку АНФ-6, отриманого з використанням плавиновошпатної руди Покрово-Кирейвського родовища за розробленою технологією були виконані при переплаві сталі ШХ15 на установці А-550 в кристалізаторі – круг діаметром 150 мм. Всього виплавлено 5 злитків на дослідному і 2 – на стандартному шлаку. Електричний режим плавок був наступним: напруга – 40 В, струм – 2,5 кА. Кількість шлаку 2,5 кг. Якість металу досліджених плавок оцінювали за станом поверхні злитків,

макроструктурі, хімічному складу, забрудненості неметалічними включеннями і газами.

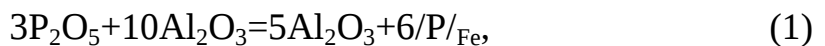
У третьому розділі проведені дослідження технології окомкування флюоритового концентрату.

При дослідженні технології окомкування флюоритового концентрату використовували флюоритовий концентрат Ярославського родовища марки ФФ-92 (91,5% CaF_2 ; 2,2% SiO_2 ; 0,05% S; 0,038% P; 0,55% C) та встановили, що при вологості окатишів 10...12% і витраті речовини, що пов'язує, 0,19% від ваги сухого концентрату, утворюються окатиші діаметром 10...20 мм, а також залишається деяка кількість шихти, що не грудкує, при подальшому підвищенні вологості діаметр окатишів збільшується.

Дослідження технології дефосфорації шлаків ЕШП проводили шляхом аналізу матеріального балансу фосфору на промислових плавках шлаку АНФ-6 в умовах ПАТ “Нікопольський завод феросплавів” (табл. 4). При цьому у дослідженнях була розглянута виплавка шлаку АНФ-6 за двома варіантами: варіант 1 - флюоритовий концентрат Ярославського родовища і варіант 2 - флюоритовий концентрат Ташкентського родовища. Статистична обробка даних контролю плавки показала, що вміст фосфору у флюоритових концентратах в межах 0,030...0,035% дозволяє отримувати шлаки АНФ-6 такими, що задовольняють за концентрацією фосфору вимоги технічних умов на постачання (не більше 0,02%).

У зв'язку із збільшенням останніми роками вмісту фосфору у флюоритовому концентраті (до 0,1%), а відповідно і в електроплавлених шлаках, в роботі запропоновано шляхом термодинамічного аналізу і експериментальних досліджень вивчити особливості відновлення фосфору алюмінієм у фторидно-оксидних розплавах системи $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$, близьких за хімічним складом до найбільш поширених шлаків АНФ-1 та АНФ-6.

Термодинамічний аналіз відновлення фосфору алюмінієм у фторидно - оксидних розплавах показав, що при 1600 °С термодинамічна вірогідність протікання реакції:



$$\Delta G_{1873} = -840,07 + 4,575T \text{ Іг.}$$

в розплавах різного хімічного складу системи $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ визначається вмістом п'ятиокиси фосфору і оксидом алюмінію. При цьому зміни концентрації окислу кальцію, в межах, характерних для промислових шлаків АНФ-1 і АНФ-6 (3...8%), практично не робить впливу на зміни енергії Гіббса. Останнє свідчить про те, що окисел кальцію у вказаних межах, мабуть, не робить істотного впливу на активність п'ятиокиси фосфору в системі $\text{MnO-SiO}_2\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$.

Підвищення концентрації оксиду алюмінію з 1,0 до 30,0% у фториднооксидних розплавах безперервно збільшує ΔG_T реакції в середньому

**Баланс фосфору на промислових плавках шлаку АНФ-6 за даними
роботи цеху №9 ПАТ “Нікопольський завод феросплавів”**

Варіант	Прихід					Витрата		
	матеріали	витрата матеріалів,	Вміст фосфору,	внесено фосфору в розплав		матеріали	розподіл внесеного фосфору	
		кг/т	%	кг	%		кг	%
I	Ярославський флюоритовий концентрат	869	0,040	0,3476	91,26	Шлак	0,2000	52,53
	Глинозем	278	0,001	0,0029	0,33	Металева фаза	0,0971	25,47
	Зола вугільних блоків	5,0	0,230	0,0115	3,02			
	Зола електродної маси	10,8	0,190	0,0205	5,39	Відліт і нев'язкість	0,0838	22,00
	Всього	-	-	0,3809	100	Всього	0,3809	100
II	Ташкентський флюоритовий концентрат	846	0,063	0,5330	94,12	Шлак	0,2870	50,68
	Глинозем	295	0,001	0,0030	0,23	Металева фаза	0,1491	26,32
	Зола вугільних блоків	5,0	0,230	0,0115	2,03			
	Зола електродної маси	10,8	0,190	0,0205	3,62	Відліт і нев'язкість	0,1302	23,00
	Всього	-	-	0,5663	100	Всього	0,5663	100

на 285 кДж/моль (рис. 1, а). Збільшення вмісту п'ятиокису фосфору у фторидно-оксидних розплавах від 0,09 до 0,37% знижує енергію Гіббса з 523 кДж/моль до 5298 кДж/моль.

Встановлено, що повнішого відновлення фосфору алюмінієм слід чекати у фторидно-оксидних розплавах, що містять мінімальні концентрації оксиду алюмінію. Показані зміни енергії Гіббса реакції відновлення фосфору алюмінієм від температури для конкретних шлаків, в яких п'ятиокись фосфору змінювалася від 0,09 до 0,37% (рис. 1, б).

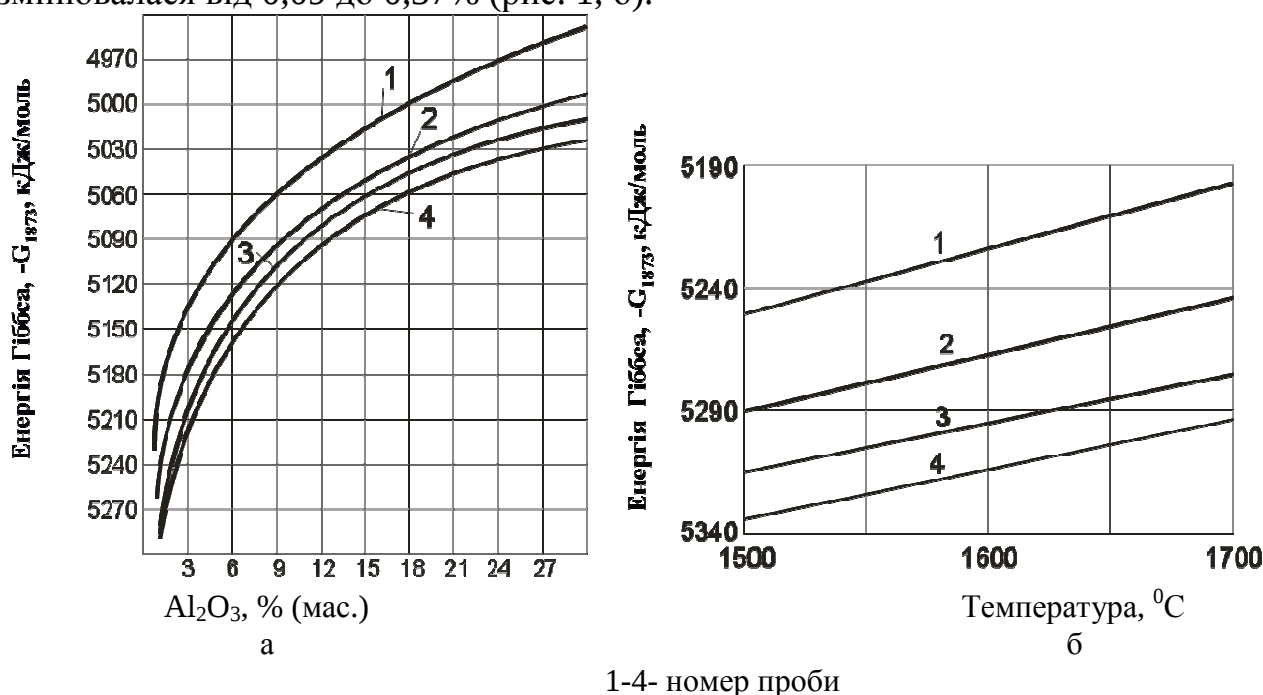


Рис. 1. Залежність зміни енергії Гіббса реакції (1) від вмісту оксиду алюмінію (а) та температури (б) в розплавах системи $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$ та із вмістом оксиду фосфору % за масою

Дослідження по виплавці і рафінуванню шлаків АНФ-1 та АНФ-6 алюмінієм проводили в печі Таммана, обладнаній графітовим нагрівачем, в графітовому тиглі.

Встановлено, що присадка алюмінію за варіантом 1 знижує вміст фосфору у фторидно-оксидному розплаві (шлак АНФ-1) з 0,059% до 0,027%, а за варіантом 2 – до 0,013%. Введення у флюоритовий розплав, після його рафінування і витримки, глинозему (шлак АНФ-6) знижувало загальний вміст фосфору за рахунок його розбавлення до 0,0098% (рис. 1), що нижче більш ніж в 2 рази від вимог технічних умов.

Збільшення часу витримки фторидно-оксидного розплаву (більше 20 хв.) не призводило до подальшого зниження концентрації фосфору (рис. 2).

З рис. 3 видно, що додаткове введення металевої стружки в шихту підвищує ступінь зниження фосфору з 57 до 71%. При цьому концентрація оксидів заліза в шлаку залишається на рівні, що відповідає вимогам технічних умов (не більше 0,5%). Таким чином, проведені дослідження показали повну

можливість проведення ефективної дефосфорації флюоритових концентратів при виплавці флюсів.

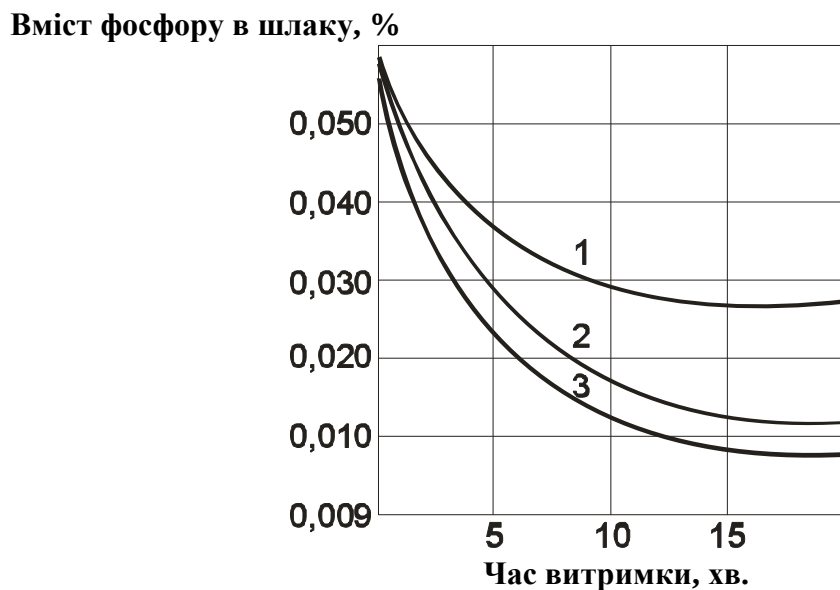


Рис. 2. Залежність вмісту фосфору в шлаку від тривалості витримки



Рис. 3. Вплив кількості металевої стружки, що досаджувалася, на ступінь дефосфорації початкового концентрату

Наступним етапом роботи було дослідження можливості застосування плавигово-шпатної руди Покрово-Кирейвського родовища для виплавки шлаків ЕШП. Виплавку шлаку АНФ-6 проводили як з використанням Ярославського флюоритового концентрату (базовий варіант), так і з використанням руд Покрово-Кирейвського родовища (дослідний варіант). Хімічний склад виплавленого шлаку приведений в табл.5.

Таблиця 5 -

Порівняння хімічного складу шлаку АНФ-6, виплавленого з використанням руди Покрово-Кирейвського родовища і Ярославського флюоритового концентрату

Варіант	Вміст компонентів %							
	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	CaF ₂	S	P	C
Базовий	2,2	0,35	26,8	5,4	64,9	0,033	0,02	0,05
Дослідний	2,3	0,34	26,4	4,6	66,2	0,031	0,017	0,06
ТУ	н.б. 2,5	н.б. 0,5	25...31	н.б. 8,0	осн.	н.б. 0,05	н.б. 0,05	н.б. 0,1

Як видно з табл. 5, шлаки, виплавлені з флюориту і плавигово-шпатних руд, близькі за хімічним складом і за всіма компонентами задовольняють вимогам технічних умов на постачання.

Таким чином, експериментально підтверджено, що руди Покрово-Кирейвського родовища доцільно використовувати для виробництва шлаків ЕШП практично без попереднього збагачення, це дасть можливість підвищити якість шлаків і значно понизити їх собівартість.

Дослідження впливу якості шлаку АНФ-6, отриманого з використанням плавигово-шпатної руди Покрово-Кирейвського родовища за розробленою технологією. Дослідний шлак мав наступний склад: 2,3% SiO₂; 0,34% FeO; 26,4% Al₂O₃; 4,6% CaO; 66,2% CaF₂; 0,031% S та 0,017% P.

Лабораторні дослідження були виконані при переплаві сталі ШХ15. Поверхня злитків, виплавлених на дослідному шлаку АНФ-6, гладка, без яких-небудь дефектів.

Аналіз отриманих даних показує, що хімічний склад металу сталі ШХ15, переплавленого на стандартному і дослідному шлаках АНФ-6, практично не відрізняється (табл. 6).

Таблиця 6 -

Зміна хімічного складу сталі ШХ15, переплавленої на стандартному та дослідному шлаках АНФ-6*

Шлак, що використовується	Вміст елементів в сталі, %			
	Si	Al _{зал.}	P	S
Початковий метал	0,25	0,055	0,012	0,005
АНФ-6 базовий	0,17/0,18	0,040/0,048	0,020/0,023	0,006/0,005
АНФ-6 базовий	0,18/0,19	0,040/0,041	0,022/0,024	0,005/0,004
АНФ-6 дослідний	0,17/0,19	0,041/0,042	0,017/0,018	0,005/0,004
АНФ-6 дослідний	0,18/0,19	0,039/0,041	0,019/0,021	0,005/0,004
АНФ-6 дослідний	0,20/0,21	0,040/0,043	0,020/0,023	0,005/0,005
АНФ-6 дослідний	0,21/0,22	0,041/0,042	0,021/0,022	0,005/0,004
АНФ-6 дослідний	0,18/0,19	0,040/0,042	0,020/0,023	0,005/0,005

*- чисельник – верх злитка; знаменник – низ злитка.

Макроструктура дослідних злитків щільна, без яких-небудь дефектів усадкового і ліквідаційного походження.

Середні дані по забрудненості сталі неметалічними включеннями і концентрації кисню та азоту в металі, виплавленому на дослідному (варіант 1) і стандартному (варіант 2) шлаку АНФ-6 приведені в табл. 7.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що незалежно від варіанту виплавки загальний вміст включень складає 0,0106...0,00103% (об.). Не змінюється також від варіанту виплавки і концентрація кисню і азоту.

Таблиця 7-

Середній вміст неметалічних включень і газів в сталі ШХ15Ш

Варіант виплавки	Шлак, що використовується	Вміст неметалічних включень, % (об.)				Вміст газів, %	
		всього	оксиди	зокрема		кисень	азот
				сульфіди	нітриди		
1	АНФ-6 дослідний	0,0103	0,0072	0,00298	0,0001	0,0085	0,011
2	АНФ-6	0,0106	0,0075	0,0030	0,0001	0,0085	0,011

У четвертому розділі приведені основи охорони праці та техногенна безпека.

Найбільш шкідливим і небезпечним фактором при виконання даної роботи є електросталеплавильний цех. Тому в данному розділі розглядається захист від шкідливих і небезпечних чинників електросталеплавильного цеху (шуму, вібрації, підвищеної температури повітря, підвищеного рівня тепловиділення та ін.), зокрема, робота сталевара біля печі типу ЕШП.

Висновки

1. Проаналізовані основні технологічні особливості процесу електрошлакового переплаву та сучасний стан існуючої сировинної бази для виплавки електроплавлених флюсів в умовах металургійних підприємств України.

2. Розроблена технологія отримання флюоритових окатишів для виплавки флюсів ЕШП та встановлено, що втрати флюоритового концентрату за рахунок зниження його відльоту можуть бути знижені до 3...4%.

3. Аналіз особливостей поведінки фосфору при виплавці фторидно-оксидних шлаків ЕШП показав, що основним джерелом забруднення шлаків фосфором є флюоритовий концентрат. На підставі балансу фосфору при виплавці шлаку АНФ-6 встановлено, що в останній переходить більше 50% фосфору не залежно від його концентрації у флюориті.

4. Проведено термодинамічний аналіз реакції відновлення фосфору алюмінієм у фторидно-оксидних розплавах системи $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-P}_2\text{O}_5$. Показано, що збільшення вмісту глинозему (до 30%) і підвищення температури розплаву збільшує енергію Гіббсу реакції, тобто негативно позначається на процесі дефосфорації.

5. Лабораторними дослідженнями підтверджені дані термодинамічних розрахунків і розроблена технологія отримання низькофосфористого шлаку АНФ-6. Найбільш високий ступінь зниження вмісту фосфору у флюсі досягнутий при рафінуванні флюоритового розплаву алюмінієм (14 кг/т флюориту) і присадкою осаджувача (20 кг/т флюориту) у вигляді чавунної стружки з подальшою подачею глинозему.

Список опублікованих магістрантом робіт

1. Ковейнік А.В. Дослідження формування часток порошку при розпорошенні високолегованих сталей і сплавів / А.В. Ковейнік, С.А. Воденніков // Матеріали XX науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості. Т I. / Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя ЗДІА, 2015.- С. 6.

2. Ковейнік А.В. Дослідження впливу флюсу АНФ-6 на якість металу при електрошлаковому переплаві / А.В. Ковейнік, О.С. Воденнікова // Збірник наукових праць магістрантів кафедри МЧМ. Випуск 11. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015.- С. 42-48.

3. Ковейнік А.В. Про вплив флюсу на якість металу за електрошлаковим переплавленням / А.В. Ковейнік, О.С. Воденнікова // Материалы II международной научно-практической конференции “Ключевые аспекты научной деятельности 2015”, 08-15 декабря 2015 г. Т 8. Технические науки.- Днепропетровск: Наука и образования, 2015.- С. 17-19.