МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М.ПОТЕБНІ

Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему **Дослідження кінетики процесів відновлення мартенівських шламів**

Виконав: студент II курсу, групи 8.1363-мчм
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія чорних металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
Ю.І.Штабенко
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., PhD Єфанов В.С.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент доц., к.т.н., доц. Кириченко О.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра____Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___

Рівень вищої освіти_____другий (магістерський)_____

Спеціальність _____136 Металургія_____
(код та назва)

Освітня програма _____Металургія чорних металів_____
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри_____
«_____»_____20____року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)
_____Штабенку Юрію Івановичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження кінетики процесів відновлення мартенівських шламів _____
_____
керівник роботи _____Єфанов Володимир Сергійович, к.т.н., PhD._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «28»_лютого 2024___року №359-с_____
2 Строк подання студентом роботи _____10.12.2024_____
3 Вихідні дані до роботи __Дослідити технологічні процесу відновлення мартенівських шламів_____
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат; вступ; Загальні відомості про шлами мартенівського виробництва; Конструкція експериментальної установки та вибір методики досліджень; Дослідження кінетики процесів відновлення мартенівських шламів; Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання; Додаток А
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)__17_креслень_____
_____

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальні відомості про шлами мартенівського виробництва	Єфанов В.С., доцент		
Конструкція експериментальної установки та вибір методики досліджень	Єфанов В.С., доцент		
Дослідження кінетики процесів відновлення мартенівських шламів	Єфанов В.С., доцент		
Охорона праці та техногенна безпека	Єфанов В.С., доцент		

7 Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	21.11-25.11.2024	
2	Загальні відомості про шлами мартенівського виробництва	26.11-30.11.2024	
3	Конструкція експериментальної установки та вибір методики досліджень	01.12-04.12.2024	
4	Дослідження кінетики процесів відновлення мартенівських шламів	05.12-08.12.2024	
5	Охорона праці та техногенна безпека	09.12-10.12.2024	
6	Висновки, перелік джерел посилання	10.12.2024	

Студент _____ _____В.І.Штабенко_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ _____В.С.Єфанов_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____О.Г.Кириченко___
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 92 с., 20 табл., 12 рис., 1 дод., 16 джерел

ШЛАМ, СТАЛЕПЛАВИЛЬНИЙ ПРОЦЕС, МАРТЕНІВСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО, КІНЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, СТУПІНЬ ВІДНОВЛЕННЯ, ШВИДКІСТЬ ВІДНОВЛЕННЯ

Об'єкт дослідження – сталеплавильні шлами мартенівського виробництва.

Предмет дослідження – технологія переробки сталеплавильних шламів і вплив їх на фізико-хімічні та експлуатаційні особливості процесу переробки.

Мета роботи – аналіз існуючих способів утилізації сталеплавильних шламів у чорній металургії та інших галузях промисловості і запропонувати найоптимальніші параметри технологічного циклу щодо утилізації цих шламів.

Методи дослідження – аналітичний метод, кінетичні дослідження, тензометричний метод, гравіметричний метод, хімічний аналіз, гранулометричний метод.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що відновлення вищих оксидів протікає східчасто, тобто утворюються спочатку нижчі оксиди (Fe_3O_4, FeO), а потім кристали заліза. Максимальна швидкість відновлення спостерігається за ступенем відновлення 30% для мартенівського шламу, 60% – для аглоруди Запорізького залізорудного комбінату та 20% – для оксиду заліза (III) категорії х.ч. Уповільнення швидкості відновлення на певних ділянках графіка пояснюється труднощами, спричиненими перебудовою кристалічних ґрат $Fe_3O_4 \rightarrow FeO$ та $FeO \rightarrow Fe$..

Практичне значення:

1. Розроблено технологія відновлення та окомкування мартенівського шламу як залізовмісний продукт вихідної шихти для отримання відновленого або

металізованого продукту з подальшим використанням у доменному та сталеплавильному виробництвах.

У вступі обґрунтований обраний напрям досліджень, визначені мета та шляхи його досягнення.

У розділі 1 наведено загальні відомості про шлами мартенівського виробництва; морфологію сталеплавильних шламів; промислові технології внутрішнього рециклінгу сталеплавильних шламів; технології утилізації мартенівських та конвертерних шламів у чорній металургії.

У розділі 2 представлена конструкція експериментальної установки та вибір методики досліджень.

У розділі 3 досліджена кінетика процесів відновлення мартенівських шламі.

У розділі 4 «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто основні шкідливі та небезпечні фактори в роботі сталеплавильного цеха.

Розроблена технологія рекомендується для дослідно-промислових випробувань в сталеплавильних цехах України.

Зміст

Вступ 8
1 Загальні відомості про шлами мартенівського виробництва 10
1.1 Морфологія сталеплавильних шламів 13
1.1.1 Підготовка сталеплавильного шламу до утилізації 14
1.1.2 Вимоги до сталеплавильних шламів 16
1.1.3 Зневоднення шламів 17
1.1.3.1 Згущення шламу 18
1.1.3.2 Фільтрування 19
1.2 Промислові технології внутрішнього рециклінгу сталеплавильних шламів 20
1.3 Розроблені технології утилізації мартенівських та конвертерних шламів у чорній металургії 23
2 Конструкція експериментальної установки та вибір методики досліджень 32
2.1 Методи кінетичних досліджень 32
2.2 Тензометричний метод дослідження 34
2.3 Методика проведення експерименту 36
3 Дослідження кінетики процесів відновлення мартенівських шламів 40
3.1 Процеси відновлення оксидів заліза твердим вуглецем 40
3.2 Процеси непрямого відновлення оксидів заліза 44
3.3 Аналіз експериментальних даних 49
4 Охорона праці та техногенна безпека 63
4.1 Техніка безпеки виробництва 63
4.1.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори 63
4.1.2 Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек 65
4.1.3 Електрообладнання 68
4.2 Виробнича санітарія 69

4.2.1 Природне та штучне освітлення 69
4.2.2 Вентиляція..... 70
4.2.3 Побутові і допоможні приміщення 72
4.2.4 Індивідуальні засоби захисту 73
4.3 Протипожежна безпека виробництва..... 73
4.3.1 Характеристика виробництва з вибухопожежної небезпеки 73
4.3.2 Профілактичні протипожежні заходи 74
4.3.3 Засоби гасіння пожеж 78
4.4 Розрахунок захисного заземлення установки 79
Висновки 82
Перелік джерел посилання 84
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи 86

ВСТУП

Щороку в Україні утворюється близько 1 млрд. тонн відходів промислового виробництва, у тому числі приблизно 10 – 15% застосовуються як вторинні матеріальні ресурси, інші надходять у різні сховища (шламонакопичувачі), їх загальна маса досягла 25 млрд. тонн.

Проблема переробки техногенних відходів є невідкладною не лише для України, а й для світової спільноти. Нині кожного жителя планети щорічно видобувається 45 т сировини, а переробки їх у продукт споживання витрачається 800 т свіжої води, 2,5 кВт потужності, переміщається 400 т гірської породи. У цьому кінцевий продукт становить лише 2% споживаних природних ресурсів, інші 98% перетворюються на відходи [1].

Одним із основних видів промислових відходів є сталеплавильні шлами металургійних підприємств. Завдяки своїй доступності, дешевизні та високому вмісту оксидів заліза шлами можуть успішно замінити залізовмісні компоненти шихти при виробництві різних марок сталі, феросплавів, губчастого заліза та інших видів металургійної продукції.

НІПІ «Енергосталь», Уралмеханобр, ВНІБТГ та інші організації відробляють оптимальні режими утилізації шламів і конструкції апаратів з метою забезпечення їх економічності та надійності в роботі; при цьому велика увага приділяється спільної утилізації відходів декількох металургійних виробництв, також зниження забруднення навколишнього середовища, оскільки при цьому скорочуються або повністю ліквідуються викиди у відвали та шламосховища відходів, що містять токсичні речовини (сухий дрібний пил уноситься з відвалів вітром, а розчинні шкідливі речовини потрапляють у водойми або ґрунтові води). При утилізації скорочуються також витрати на вивіз відходів. Так, за даними фірми «Юнайтед Стейтс стил» (США), лише з одному з її заводів витрати

становлять кілька сотень тисяч доларів на рік, а США на транспортування відходів і відвалів витрачається близько 60 млн. доларів на рік, чи 1% від витрат за охорону праці [2].

Шлами сталеплавильного виробництва – одні з найперспективніших вторинних ресурсів чорної металургії. Однак в даний час лише 30-35% сталеплавильних шламів піддаються вторинному рециклінгу, в основному як добавка в аглошихту (у кількості не більше 10%), або при отриманні залізофлюсів, шлакоутворюючих в конвертерному виробництві або барвників пігментів у виробництві портландцементів. Становище посилюється тим, що найчастіше вони мають неоднорідний склад і нерідко забруднені небажаними, з точки зору технологій металургійних виробництв, домішками. Також до недоліків можна віднести високу вологість шламів (20-25%), що потребує додаткових витрат на сушіння.

Переважно використовують залізовмісні шлами лише поточного виробництва. Для того, щоб використовувати відходи, що накопичилися у відвалах і шламосховищах, необхідно підвищити ступінь утилізації на агломераційних стрічках, що діють, довівши її до 40 -50% (за масою) шихти.

Метою даної роботи є аналіз існуючих способів утилізації сталеплавильних шламів у чорній металургії та інших галузях промисловості і запропонувати найоптимальніші параметри технологічного циклу щодо утилізації цих шламів.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ШЛАМИ МАРТЕНІВСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Залежно від методів очищення газів, що застосовуються, продукти уловлювання виходять або у вигляді сухого пилу, або у вигляді шламів - суміші води і нерозчинних у ній твердих частинок. Пили та шлами утворюються при очищенні технологічних та аспіраційних газів практично у всіх металургійних переділях. Нижче наведено характеристики пилів та шламів сталеплавильного виробництва.

За даними НІПД «Енергосталь», питомий вихід пилу з мартенівської печі дорівнює 8 – 17 кг/т, двованної печі 10 – 27 кг/т сталі та від киснево-конвертерних агрегатів становить 12 – 25 кг/т при верхньому продуванні металу та ~ 10 разів менше за донної продування [2]. Мартенівські і конвертерні шлами на 65 – 90 % складаються з оксидів заліза, вміст чистого заліза в мартенівських шламах становить 50 – 65 %, а киснево-конвертерних – 40 – 80%, тобто. за цим показником вони не поступаються концентратами, отриманими при збагаченні залізних руд. Крім того, в них міститься, %:0,7 – 1,9 SiO_2; 0,2 - 1,0 Al_2O_3; 0,1 - 0,8 CaO; 0,5 - 3,0 MgO; <1,0 MnO; <0,4 P_2O_5. Пил двованної печі має такий склад, %: 30,4 Fe_2O_3; 48,3 FeO; 1,2 SiO_2; 4,3 CaO і т.д. [2].

Шлам є неправильною форми частинки шихти, винесені потоком газу з простору печі, сферичні оболонки бульбашок оксиду вуглецю з металу і шлаку, що утворилися в зоні контакту продувного струменя кисню з металом. Крім того, на початку плавки з'являється в тій же зоні пил дисперсного походження з медіанним розміром 0,08 мкм, що утворює між собою зростки; в ній міститься 5 - 15% (за масою) великих частинок розміром 10 мкм і більше. Дрібнодисперсні частинки в основному утворюються внаслідок термічного диспергування поверхневої плівки металу в зоні контакту його з киснем. На останніх 2 – 3

хвилинах плавки тонкодисперсний пил утворюється в результаті випаровування металу та оксиду Fe (II) у цій зоні та конденсації їх пар у холодніших частинах газового тракту. Великі фракції пилу є частинками шихти, крапельки шлаку і оболонки бульбашок оксиду вуглецю, винесені з ємності газовим потоком.

Мартенівський пил в основному складається з мінералів заліза – магнетиту, вюститу та гематиту, у невеликій кількості він містить силікати. У шламах кисневих конвертерів переважають мінерали: маггеміт, магнетит, вюстит, крім того, містяться плеонаст, галактит, силікати, кварц, вуглецеву та склоподібну речовини.

Шлами газоочисток сталеплавильних печей мають досить високу щільність (4,0 – 5,1 г/см^3) Характеристика шламів мартенівських та киснево-конвертерних цехів деяких металургійних комбінатів України наведено у таблицях 1.1,1.2,1.3.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад шламу газоочищення мартенівських печей, % (за масою)

Показник	Комбінат			
	Дніпровський	Запоріжсталь	АрселорМиттал КривийРіг	Макіївський
$Fe_{загальне}$	57,9	65,95	63,7	50,0
FeO	0,70	2,3	2,6	1,34
Fe_2O_3	82,1	91,74	88,2	70,0
SiO_2	1,04	1,3	1,48	1,89
Al_2O_3	0,36	0,21	0,27	0,21
CaO	1,30	1,6	1,06	9,05
MgO	1,89	2,07	1,95	0,45
Na_2O	0,55	0,25	0,11	0,20
P	0,036	0,05	0,026	0,065
S	1,70	0,027	0,064	0,43
MnO	0,44	0,64	0,71	0,48
K_2O	0,95	0,1	0,09	0,15
Zn	0,006	0,95	0,84	0,003

Таблиця 1.2 – Хімічний склад шламів конвертерних газоочищення на підприємствах чорної металургії, % (за масою)

Показник	Комбінат			
	АрселорМиттал КривийРіг цех №1	АрселорМиттал КривийРіг цех№2	Єнакіївський	Челябінський
$Fe_{заг.}$	63,4	45,9	48,0	59,4
Fe_2O_3	72,3	52,7	60,2	78,3
FeO	16,6	11,6	7,49	5,96
CaO	3,30	16,0	14,0	5,68
SiO_2	2,28	2,93	2,66	1,40
Al_2O_3	0,31	0,36	0,20	0,11
MgO	0,29	14,6	0,94	0,15
K_2O	0,16	0,19	0,16	0,26
Na_2O	0,20	0,15	0,17	0,24
Mn	1,21	1,05	1,68	-
P	0,036	0,048	0,054	0,046
S	0,067	0,22	0,21	0,08
Zn	0,05	0,74	0,68	1,62
Pb	0,03	0,15	0,15	0,61
C	1,11	3,42	1,03	1,03

Таблиця 1.3 Гранулометричний склад шламів газоочищення мартенівських печей, % (за масою)

Клас крупності, мм	Дніпровський	Запоріжсталь	АрселорМиттал КривийРіг	Макіївський
>2,5	-	4,3	-	0,8
1,6 - 2,5	-	4,6	-	0,4
1,0 - 1,6	-	5,6	-	0,4
0,63 - 1,0	0,2	6,7	1,1	1,2
0,315 - 0,63	1,8	12,8	5,5	7,5
0,16 - 0,315	2,6	13,7	3,6	5,2
0,1 - 0,16	1,4	11,3	2,8	3,1
0,063 - 0,1	2,3	15,4	4,2	2,4
0,05 – 0,063	1,0	8,3	2,3	1,1
0,032 - 0,05	9,3	5,1	12,0	6,8
0,016 - 0,032	37,6	8,6	18,7	21,4
0,008 - 0,016	22,3	1,0	12,2	12,4
<0,008	21,5	2,6	37,6	37,3

1.1 Морфологія сталеплавильних шламів

При роботі мартенівських печей та киснево-конвертерних апаратів утворюється велика кількість тонкодисперсного пилу та шламів (розмір 90% частинок не перевищує 5 мкм), що складаються з оксидів різних елементів. Природа дрібної фракції шламів складніша ніж великих частинок. З одного, наявність у дрібному пилу високої концентрації летких елементів свідчить про участь у її утворенні процесів випаровування. Кількість дрібного пилу випарного походження, що постійно по ходу продування і становить у середньому за процес близько 5%. З іншого боку, зменшення виносу дрібної фракції або загальної кількості сталеплавильного пилу, основну масу якого становить дрібна фракція, зі зменшенням вмісту вуглецю у ванні свідчить про зв'язок процесів пилеутворення та зневуглецювання. За оцінками, загалом 92 – 94% дрібного пилу утворюється як і, як і великий пил, - механічним шляхом, тобто. внаслідок розбризкування металу бульбашками CO, що утворюються в глибині ванни. Бризгоутворення саме собою також може бути основним механізмом утворення дрібної фракції шламів. По-перше, шлам в основному має високу дисперсність. Для дроблення металу настільки потрібна велика кінетична енергія. По-друге, хімічний склад бризок близький до складу ванни. Бризгоутворення не призводить до збагачення пилу летючими елементами. Тому випаровування слід визнати основним механізмом утворення дрібного пилу. Загалом швидкість випаровування залежить від температури та поверхні випаровування. Тому бризкоутворення, значно збільшуючи поверхню випаровування, визначає характер зміни інтенсивності утворення дрібного пилу під час продування ванни киснем. Остання вловлюється газоочисними спорудами і потім або подається до шламонакопичувача, або прямує на подальшу переробку (в основному як компонент аглошихти).

За печами в більшості випадків встановлені котли-утилізатори типу КУ-80, які можуть забезпечувати охолодження до необхідної температури газів, що відходять в результаті підвищення садки печі та інтенсифікації продування без відповідного розширення пропускної здатності котла-утилізатора, газовідвідного тракту і газоочищення.

Мокрі системи очищення в трубах Вентурі набули поширення на заводах, що мають оборотне водопостачання та централізовані шламові відстійники.

Розробляються також системи сухого очищення сталеплавильних газів з використанням рукавних і шарових фільтрів, але ці розробки знаходяться на стадії дослідних установок.

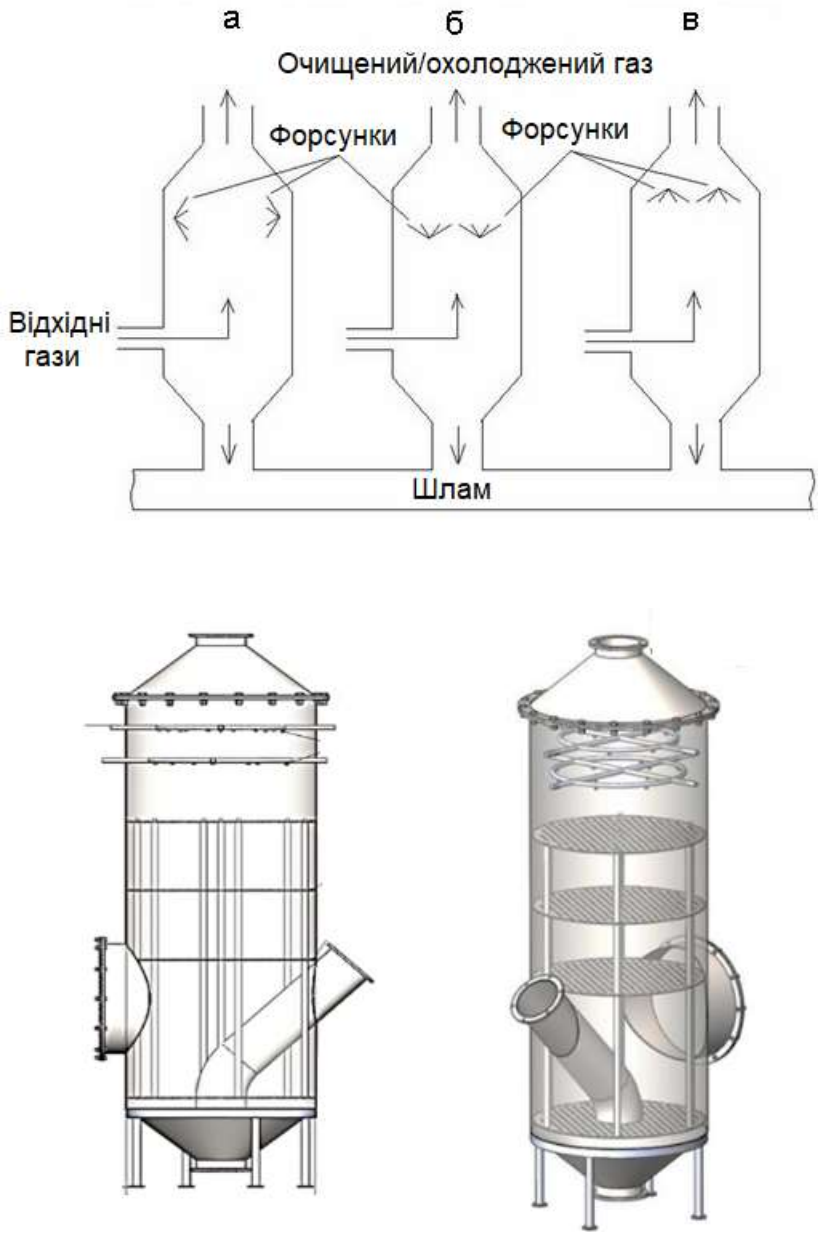
На рисунку 1.1 представлено основні системи мокрого очищення мартенівських газів, що експлуатуються в Україні.

Димові гази після охолодження у котлі-утилізаторі надходять у блок труб Вентурі. При очищенні газів у трубах Вентурі дотримуються високонапірного режиму (9 –10 кПа). Остаточне очищення газу від великого пилу і крапель води здійснюється в інерційному апараті, вбудованому за трубами Вентурі, та відцентрових скруберах. Після очищення газ димососом викидається у димар. Шлам після мокрого газоочищення видаляють гідротранспортом в шламову каналізацію.

1.1.1 Підготовка сталеплавильного шламу до утилізації

Високий вміст заліза в шламах сталеплавильних цехів та їх велика кількість, що становить середньому 8 – 11 % (за масою) від кінцевого продукту металургійного заводу, роблять очевидним доцільність утилізації цих шламів.

Ці шлами перед використанням у якомусь виробництві вимагають спеціальної підготовки.



а - з поперечним підведенням рідини, б - прямоточний, в - протиточний

Рисунок 1.1 - Основні системи мокрого очищення мартенівських газів

Це викликано високою дисперсністю, що входять до їх складу частинок (90% частинок мають розмір менше 5мкм), а також наявністю в шламах шкідливих домішок, таких як свинець, цинк, сірка, фосфор та ін.

Основними методами підготовки є механічне зневоднення, змішування, термічна обробка та окускування.

1.1.2 Вимоги до сталеплавильних шламів

Першою та основною вимогою є умова, пов'язана (з точки зору доцільності їх використання в тому чи іншому виробництві) із вмістом корисних компонентів. Вимоги до такого змісту зазвичай завжди високі. Наприклад, сумарний вміст заліза, вуглецю та оксидів кальцію при використанні залізовмісних шламів в агломераційній шихті має бути не менше 45 %.

Друга вимога пред'являється до вмісту шкідливих домішок. Відомо, що за наявності в шламах таких елементів, як свинець, цинк та лужні метали в кількості 1 – 2% (за масою), вони частково переходять до складу агломерату і, потрапляючи з ним у доменну піч, утворюють на футеруванні настили у верхніх горизонтах. печі, а також осідають у тріщинах та порах цегли, що в кінцевому підсумку, призводить до руйнування футерування і відбивається на технологічному процесі плавки. Тому, наприклад, концентрація цинку в залізовмісних шламах обмежується величиною 1% (за масою). Негативно позначається на якості продукту та наявність інших домішок, зокрема міді, сірки та фосфору. Однак вимоги щодо обмеження їх концентрацій є менш жорсткими і багато в чому залежать від вмісту продуктів інших домішок.

Сірка і фосфор є шкідливими домішками також при використанні залізовмісних шламів як складової частини при виробництві цементу.

Іноді регламентується вміст вологи продукту. Наприклад, при використанні залізовмісних шламів в агломераційній шихті їхня вологість не повинна перевищувати 8 – 9 % і лише в окремих випадках допускається вологість 12 %.

Нерідко висуваються інші вимоги, пов'язані з фізико – хімічними властивостями продукту. Наприклад, при утилізації залізовмісних шламів як наповнювачі і пігменти висуваються вимоги до їх фарбування.

У ряді випадків пред'являються вимоги до величини зерна продукту: в одних випадках обумовлюються його верхній та нижній розміри, в інших – допустимий процентний вміст певних фракцій. Так, при використанні шламів в агломераційній шихті обмежують (6 мм) максимальний розмір грудок шламу після сушіння.

При використанні шламів важливо, щоб їхня добавка в шихту не погіршувала злипання останньої. Хороше злипання має, наприклад, рудна суміш, в якій міститься близько 40 % ядер котунів. Злипаність суміші значною мірою залежить від вмісту в ній частинок розміром < 30 мкм, встановлено, що існує пряма пропорційна залежність до злипання суміші і вмісту в ній таких частинок.

Найбільшим злипанням відрізняються шлами, до складу яких додаються гідрофільні сполучні, наприклад бентоліт (дрібнодисперсна глина). гранулометричному складу близький до головних рудних компонентів агломераційної шихти; він містить ~ 3 % ядер окатишів і 25% фракцій 0,2 - 1,0 мм, які в процесі обгортування ведуть себе пасивно. % частинок розміром <30 мкм забезпечити краще злипання.

З викладеного випливає, що спільне використання доменних та сталеплавильних шламів у потрібній пропорції, коли наявність тонкодисперсних фракцій сталеплавильних шламів перекриває їх недолік у доменних, є корисним.

1.1.3 Зневоднення шламів

Шлами, перш ніж їх використовувати, необхідно зневоднити (згущення, фільтрування, сушіння).

Згущення - процес підвищення концентрації твердої фази в продукті, що згущується (шлам), що протікає під дією гравітаційних або відцентрових сил. При згущенні шламів прагнуть отримати не тільки осад достатньої щільності, але

і можливо чистіший злив, що дозволяє використовувати останній в оборотному циклі і виключити втрати твердого продукту. Оскільки кількість води в згущеному продукті становить 30 – 60%, то використовувати такий вологий матеріал як добавку до аглошихти або обкомковувати його, з метою отримання котунів, практично неможливо. Тому згущений продукт необхідно профільтрувати у тому, щоб вміст вологи у ньому знизити до 8 – 10%.

1.1.3.1 Згущення шламу

Процес зневоднення мокрого матеріалу (шламу) умовно може бути поділений на два етапи. У першому етапі відбувається згущення; у осаді міститься 30 – 40% вологи при вихідних 60 – 70%. На другому етапі шляхом фільтрування вміст вологи знижується до 15-20%, іноді до 8-10%.

Згущення здійснюється під дією гравітаційних (у згущувачах різної конструкції) або відцентрових (у гідроциклонах, осаджувальних цинтрифугах та ін.) При цьому утворюється два продукти: осад і освітлена вода (злив). склади твердої фази, щільність і форма частинок, вміст твердого у вихідному шламі, його В'язкість і температура Так, чим вище щільність твердої фази, тим швидше будуть осаджуватися частинки. порожнеч, заповнених внутрішньофлокулярною вологою.

Найбільш простий спосіб зниження в'язкості шламу - його підігрів, однак, оскільки зневоднюються значні обсяги шламу, цей спосіб економічно невигідний. цього процесу зменшується, а тверда фаза може потрапити до зливу.

Шлами, що згущуються, можна умовно розділити на грубі, що містять частинки з d >100 мкм, тонкі (d=0,5 – 100 мкм), каламутності (d=0,1 – 0,5 мкм) і колоїдні розчини (d<0.1мкм) де d – середній розмір часток. Тверді частинки в грубих шламах зазвичай осідають під дією сил тяжіння, тоді як у тонких шламах

вплив цих сил практично неможливий. Збільшити швидкість осадження частинок у тонких шламах можна за допомогою агрегування їх коагуляцій та флокуляцій.

Коагуляція (згортання, згущення) – укрупнення частинок під дією молекулярних сил зчеплення та зменшення сил відштовхування.

Флокуляція – процес утворення флокул (агрегатів) з кількох твердих частинок внаслідок зменшення їхньої поверхневої енергії.

Пептизація – процес, зворотний коагуляції та флокуляції. Цей процес спостерігається при зменшенні, наприклад, концентрації іонів коагулюючих, в результаті чого на поверхні частинок утворюється подвійний електричний шар або сольватні оболонки.

Процес агрегування і двох стадій – зіткнень частинок та його наступного злипання. Перша залежить від гідродинамічного режиму руху рідини (наприклад, перемішування), друга від впливу поверхневих сил, що діють між частинками. До них відносяться сили молекулярної взаємодії (Ван-дер-Вальса) та іонно - електростатичні сили.

Як коагулянти зазвичай використовуються електроліти: солі багатовалентних металів, кислоти, розчинні у воді основи двовалентних металів. Найчастіше застосовуються: вапно, сірчанокислий алюміній та залізний купорос. Як флокулянти можуть застосовуватися поверхнево – активні речовини (ПАР) та високомолекулярні водорозчинні полімери.

1.1.3.2 Фільтрування

При фільтруванні шламів відбувається процес поділу рідкого та твердого під дією розрядження або тиску, що супроводжується видаленням вологи через пористу перегородку (зазвичай фільтрувальну тканину та частково осад). На фільтрування зазвичай подають шлами, частинки яких мають розмір <1мм, так

як зневоднювати такі дисперсні системи іншими методами недоцільно через малу швидкість видалення вологи і, як наслідок, значної вологості осаду.

Процес фільтрування залежить від багатьох факторів, основні з яких такі: вміст твердого в шламі, крупність твердої фази, різниця тисків по обидва боки перегородки, що фільтрує.

Принцип роботи фільтрпреса полягає в наступному: при стиснутих плитах шлам, промивна рідина або повітря послідовно надходять трубопроводами до колектора подачі, на виході якого встановлені клапани, що автоматично відкривають доступ технологічних середовищ у фільтруючі плити.

Рідка фаза шламу проходить через тканину та дренажну основу і далі в колектор зливу; тверда фаза затримується і залишається на поверхні тканини, утворюючи осад, який віджимається діафрагмою і просушується повітрям.

Після розкриття фільтрпреса між фільтруючими плитами утворюється зазор, а осад залишається на фільтрувальній тканині.

1.2 Промислові технології внутрішнього рециклінгу сталеплавильних шламів

Пили та шлами сталеплавильного виробництва є цінною вторинною сировиною. Тому можуть бути використані майже повністю, або у самому металургійному виробництві, або на підприємствах будіндустрії.

Ступінь утилізації залізовмісних шламів суттєво відрізняється для різних виробництв: в агломераційному виробництві вона становить 82%, у конвертерному 47%, а мартенівські шлами утилізуються лише на 24%.

В даний час утилізація пилів та шламів в основному здійснюється шляхом добавки їх до агломераційної шихти. Це з тим, що хімічний склад пилів і сухої частини шламів близький до складу цієї шихти. Численними дослідженнями

встановлено, що добавка шламів у кількості 10 – 15% (за масою) шихти (за відсутності у яких шкідливих речовин) покращує механічну міцність агломерату, не знижуючи у своїй продуктивності машин.

Однак безпосередньо утилізувати вологі шлами шляхом подачі їх на стрічку небажано, так як при цьому погіршується газопроникність шихти, що призводить до зниження швидкості процесу агломерації. Крім того, транспортування вологих шламів пов'язане з певними труднощами. Як правило, вологість шламів, що використовуються в агломераційній шихті, не повинна перевищувати 8-9%, в окремих випадках допускається 12%; однак за умови забезпечення сипкості шламів. Утилізація відходів в агломераційній шихті здійснюється шляхом подачі їх у вигляді пилу, а також гранул, згущеної суспензії та зневодненого шламу.

Шлами сталеплавильного виробництва вимагають додаткової підготовки перед використанням на аглофабриці, що визначається підвищеними концентраціями таких шкідливих домішок, як сірка, цинк, свинець і лужні метали. Проблема використання цих шламів ускладнюється в ряді випадків ще нестабільністю їх хімічного та гранулометричного складів, а також необхідністю їх зневоднення, яке пов'язане з розробкою в кожному конкретному випадку оптимальної технології. В даний час розроблені технологічні схеми із застосуванням обладнання, що серійно випускається, що дозволяє здійснювати механічне і термічне зневоднення шламів перед їх утилізацією.

Результати дослідження агломерату, отриманого із суміші, що містить шлам, показали, що агломерат рівномірно спікається у всьому обсязі, в ньому відсутні грудки розміром 6 мм і більше, тобто. він відповідає вимогам споживачів.

Суміш з доменного та сталеплавильного шламів складалася у співвідношенні 87:13 (співвідношення обрано, виходячи з умов конкретного

підприємства). спікання в процесі агломерації показали можливість використання цієї суміші як добавка до аглошихти.

Ще одним способом використання шламів в агломераційній шихті, застосування якого доцільно у випадку якщо корпус зневоднення розташований поблизу аглофабрики, є розпорошення згущених шламів (вміст твердого ~ 50%) з подачею їх безпосередньо в агломераційну шихту на стадії змішування або обкомковування. Така технологія впроваджена Механобром спільно з КарМК однією з агломераційних фабрик. Шлам, із вмістом твердого 45 – 50%, подають у первинні змішувачі агломераційної шихти замість технічної води, що використовується для зволоження шихти. В результаті розпилення шлам рівномірно розподіляється у шихті. Застосування цього методу дозволило виключити операції фільтрації та сушіння у процесі підготовки шламу. У порядку вдосконалення методу НМетАУ запропонував вводити шлам, що згущує, у вигляді парів зваженої суміші в кількості 15 – 24% (об'єм.) шихти.

На ЧерМК освоєно технологію спікання високоосновного агломерату з конвертерного шламу з метою його подальшого використання як окислювач у мартенівських печах і як охолоджувач у кисневих конвертерах.

Експериментальні спікання проводили на агломераційній чашовій установці при висоті шару аглошихти 240 мм, температурі запалення 1100оС та часу запалення 1 хвилина. Кількість повернення становило 30% від маси шихти, у тому числі власного повернення 20% та повернення доменного агломерату 10%. Це відповідало існуючому співвідношенню власного повернення та відсіву дрібниці з доменного цеху. Флюс в аглошихті не використовували, оскільки природна основність (CaO/SiO_2) шламу знаходилася в межах 4-6. Встановлена експериментально оптимальна вологість становила 8,8%.

Спікання агломерату проводили при витраті твердого вуглецю палива від 0 до 1,5%. Низька витрата твердого палива була обумовлена наявністю в шламі

вуглецю та високим вмістом FeO, а також високою основністю та відсутністю в шихті вапняку. Задовільні показники процесу спікання та якості агломерату були досягнуті вже за 0,5% вуглецю твердого палива в шихті.

Застосування сталеплавильного агломерату в мартенівському процесі не мало негативного впливу на перебіг плавки. У зв'язку з меншою окислювальною здатністю агломерату його витрата була вищою, ніж руди. При цьому найкращі умови розплавлення та розподілу агломерату сприяли досягненню високого ступеня зневуглецювання. Зміни тривалості періоду окиснення не спостерігалося. При використанні сталеплавильного агломерату відзначався більш сприятливий розподіл фосфору та сірки між металом та шлаком. Вміст цинку в сталі та шлаку залишилося на колишньому рівні.

1.3 Розроблені технології утилізації мартенівських та конвертерних шламів у чорній металургії

Одним із способів переробки залізовмісних сталеплавильних шламів є їх окомкування з метою подальшого використання в металургійних переділах. Додавання до них інших компонентів, таких, як вапно, дозволяють розширити сферу їх застосування. Відомо, зокрема, використання окомкованих матеріалів такого типу як шламоутворювальні в конвертерному виробництві.

Простим і економічним є при цьому отримання безвипалових котунів. Один із стадій їх виробництва – підготовка вихідних матеріалів, тобто. залізовмісних шламів, з регламентованою вологістю. Останнє можна поділити на три групи. Перша - висушені шлами з вологістю менше 10-15% (для тонкодисперсних менше 4-7%). Друга група - шлами, що мають вологість від 15 - 17 до 40 - 50%. До них відносяться шлами як зневоднені за допомогою фільтр-пресів та вакуум-фільтрів, так і мули шламонакопичувачів. Матеріали в такому

стані мають вигляд пасти з тією чи іншою консистенцією, їх дуже складно змішувати з іншими (особливо сипучими) компонентами і, отже, важко окамковувати. Третя група – шлами вологістю вище 40 – 50%, які можна отримати згущенням у відстійниках без додаткового, глибокого зневоднення; перешкодою для їх окомкування вважається високий вміст вологи.

Зневоднення шламів із застосуванням вакуум-фільтрів та теплового сушіння потребує значних капітальних витрат, що відповідно здорожчить вартість отриманих з них котунів. Крім того, тонкодисперсні матеріали при цих операціях коагулюють, що перешкоджають рівномірному їх розподілу в обсязі котунів у процесі огрудування і погіршує якість останніх.

Була вивчена можливість використання як залізовмісного матеріалу для отримання безвипалових котунів не глибоко зневоднених, а лише частково згущених шламів. При цьому як водовіднімний засіб, що грає одночасно роль мінеральної зв'язки, застосовувалося негашене, тонкоподрібнене вапно, наприклад, пил газоочисток вапняного виробництва. Вода, що міститься в шламі, витрачається при цьому на гасіння вапна і забезпечує необхідне зволоження сировинної суміші при її окрудування.

Застосування залізовмісного матеріалу у вигляді частково згущеного шламу (тобто в рідкому вигляді) дозволяє виключити процес коагуляції тонкодисперсних частинок, що проходить при глибокому зневодненні шламу. Крім того, перебуваючи в рідині, тонкодисперсні матеріали не адсорбують повітря та інші гази, які перешкоджають зближенню частинок та ущільненню окатишів при окомкування.

Експериментально встановлено, що для згущення залізовмісних шламів, що застосовуються для отримання котунів, оптимальна верхня межа вмісту дисперсного твердого у воді становить 40% (т : ж=1,0 : 1,5), а нижня – 25% (т : ж=1 : 3). Останній зумовлений доцільністю, оскільки при невисокому вмісті

твердого (менше 25%) зі шламом надходитиме на обгортування вкрай мало корисної складової залізовмісного компонента і занадто багато води. У той же час суспензії з вмістом твердого більше 40% мають підвищену в'язкість і погано поєднуються з іншими компонентами.

Збільшити вміст заліза в окатишах і відповідно знизити кількість вапна в них можна введенням у сировинну суміш для оздоблення додатково сухого залізовмісного пилу, наприклад, з газоочищення сталеплавильних виробництв. Остання операція дозволяє також зменшити кількість гідратної води, що залишається в котуні після подальшої теплової сушіння.

Також розроблено ресурсозберігаючу технологію утилізації залізовмісних шламів шляхом рециркуляційного гранулювання, безвипалювального (карбонізаційного) та гідратаційного зміцнення.

Для вибору апаратурного оформлення оптимізації режимних і технологічних параметрів процесів одержання безобпалових окатишів, що містять, проведено дослідження фізико-хімічних властивостей твердих відходів ПАТ ДМК.

Дослідна партія шламовмісних котунів була отримана на лабораторній установці, до складу якої входили наступні апарати: сушильний барабан, кульовий млин, барабанний окомкувач, горизонтальний чашовий окомкувач, карбонізатор і вузол фізико-хімічних випробувань котунів, що включає проривну машину 7855 – 74) та аспіраційну установку для визначення запиленості повітря.

Доменний гранульований шлак після сушіння в сушильному барабані до вологості 0,5 - 1,0% спільно з вапном у співвідношенні 2:1 подрібнювали в кульовому млині. Отриману сполучну суміш суміш залізовмісних шламів (у співвідношенні 15 : 85) і воду з пристроїв дозування і подачі води подавали в барабан-окомкувач, де утворювалися гранули заданого розміру (наприклад 3 - 5 мм, 5 - 10 мм, 15 - 22 мм). Отримані котуни після механічного зміцнення

ступінчасто-рециркуляційним способом в горизонтальному чашевому окомкувачі до міцності на роздавлювання (20 - 23 Н/окатиш) піддавали послідовно карбонізаційному і гідратаційному зміцненню до міцності на роздавлювання сухих окатишів (550 – 1950 Н/окатиш) и пористості 35 – 42%.

Дана технологія дозволила виготовити дослідну партію безвипалових шламовмісних котунів для застосування їх у киснево-конвертерному виробництві.

Таблиця 1.4 – Фізико-хімічні властивості безвипалових котунів

Діаметр котунів	Міцність	Щільність	Пористість	Насипна маса	Відновність
8 -12 мм (80%) 12 – 25 мм (20%)	500 – 2100 Н/окатиш (пор.1500 – 1900)	3,36 г/см^3	33 - 34%	2,23 г/см^3	73 - 78%

Таблиця 1.5 – Хімічний склад безвипалових котунів

$Fe_{заг}$	FeO	Fe_2O_3	$Fe_{мет.}$	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	MnO	P_2O_5	S	C
36,7-40,1	9,27	42,12	1,65	17,5	1,2	8,45	1,88	1,1	0,066	0,39	8,9

Дослідження окатишів під мікроскопом показують, що їх основними мінеральними фазами є гематит (Fe_2O_3), магнетит (Fe_3O_4), кокс, кварц (SiO_2), вапняно-залізисті силікати - скло, воластоніт - $(CaFe)SiO_3$, що міститься у вапні зв'язці). У невеликій кількості присутні ферити кальцію ($CaO{\cdot}Fe_2O_3$, $2CaO{\cdot}Fe_2O_3$), сульфіди заліза (FeS) та металеве залізо.

У киснево-конвертерному чеху ПАТ ДМК проведено відпрацювання технології виплавки сталі з використанням шламовмісних безвипалових котунів.

Ще одним перспективним напрямом утилізації пилів і сухих складових шламів сталеплавильних виробництв є використання їх як сировини для процесу прямого відновлення заліза в різних печах: обертових, з підом, що обертається та ін.

Пил і сухий залишок шламів, в яких, як зазначалося, залізо міститься переважно у вигляді оксидів, змішують у барабані з вугіллям тонкого помелу або коксовою дрібницею, що є відновниками. З суміші в чашевому окомкувачі виготовляють самовідновлюються сирі котуни, до яких не пред'являється особливих вимог щодо їх властивостей міцності. Окатиші розігрівають за рахунок зовнішнього тепла до температури (1500^{o}C), за якої досить швидко протікають реакції відновлення. Питома витрата тепла становить 4 – 4,5 кал/т отриманого губчастого заліза. Цей продукт потім використовують або при шихтуванні сировини елетросталеплавильних печей, або інших агрегатів.

Аналіз робіт, присвячених проблемам використання сталеплавильних шламів у конвертерній плавці, показав, що найбільш раціональний шлях організації замкнутого циклу використання шламу – це виробництво на їх основі комплексних феритних шлакоутворюючих способом агломерації.

Новоліпецьким металургійним комбінатом розроблено та освоюється безвідходну технологію конвертерного виробництва. Технологічна схема підготовки та використання цинковмісних шламів складається з наступних операцій: згущення – фільтрація – змішування з відсіванням вапняку (0 – 3мм) – агломерація. У процесі роботи змінили схему подачі забрудненої води до радіальних відстійників та відпрацювали технологічну схему змішування вологого кеку з вапняком.

Теоретичні, лабораторні та промислові досліди на агломашинах НЛМК дозволили розробити комплексну технологію підготовки, окускування та використання конвертерних шламів з отриманням комплексного флюсу

наступного хімічного складу, %: 25 – 37 Fe, 42 – 52 CaO, 4 – 6 SiO_2, 1 – 3 Al_2O_3, 1 – 15 MnO, 0,3 – 2,3 $C_{ост.}$, 0,18 – 0,30 S, CaO/SiO_2= 5 – 13.

При витраті комплексного флюсу у кількості 10 – 25 кг/т стали досягнуто такі результати: витрата вапна зменшилася на 20 – 25%; кисню – на 3 – 5 $м^3$/т; повністю вивели шпат із шихти конвертервої плавки; вихід придатного збільшився на 0,3 – 0,5%; час продування скоротився на 3 – 5%; стійкість футерування та рафінуюча здатність конвертерних шлаків збільшилися.

Для запланованої ділянки виробництва комплексного флюсу в конвертерному цеху розроблено технологію спікання під тиском на напівпромисловій карусельній агломашині АМД.

Спікання шихти при різному тиску повітря над шаром за різної висоти шару дозволило визначити раціональний режим агломерації та порівняти технологічні показники з технологією виробництва комплексного флюсу методом вакуумної агломерації.

Результати дослідження дозволяють відзначити такі переваги технології спікання під тиском: висока питома продуктивність; низька витрата твердого палива; краща опірність комплексного флюсу до навантажень, що стирають; машина проста по конструкції, малогабаритна та високопродуктивна.

Таким чином, запропонована технологія отримання комплексного флюсу методом спікання під тиском створює передумови для організації безвідходної технології конвертерного виробництва.

Шлаки і шлами, що утворюються при конвертерному переділі чавуну, доцільно піддавати високотемпературній відновлювальній переробці. При цьому відновлюються оксиди заліза, що містяться в відходах. Математичним моделюванням визначено основні параметри технології переробки шлаків та шламів, перевірені у лабораторних умовах та промислових печах. Наведений варіант технології передбачає можливість отримання розплавів оксидів з

використанням електроенергії або за допомогою газокисневих пальників, що забезпечують тепловий ККД процесу, що дорівнює 35 – 50%. Піроліз газів може бути здійснений за рахунок теплоти, що виділяється при нагріванні оксидного розплаву електроенергією або за допомогою пальників. Досліди підтвердили можливість ефективної відновлювальної переробки шлаків та шламів у промислових масштабах. Встановлено, що при отриманні металів із шлаків та шламів енерговитрати можуть бути нижчими, ніж при отриманні металів із первинної сировини класичним способом.

В даний час на підприємствах чорної металургії утворюється велика кількість пилів та шламів, використання яких у доменному переділі неприпустимо через підвищений вміст цинку. Масова частка заліза у цих матеріалах становить 40 – 70%, а цинку – 1 – 6%. Враховуючи специфічний спосіб нагрівання матеріалів у полях надвисоких частот (НВЧ), спроба використати його для окускування відходів з утилізацією цинку. Для дослідження були взяті відходи цинку Нижнетагильского металургійного комбінату (НТМК).

Як шлами, так і пилу без додаткового подрібнення можуть бути окусковані обгортуванням, брикетуванням і спіканням неокомкованої шихти. У зв'язку з цим проаналізовано можливості використання НВЧ-нагріву для відгону цинку з усіх зазначених окускованих матеріалів НТМК.

У зв'язку з тим, що кількість мартенівських пилів не перевищує 15 тис. т на рік, сублімація цинку з них може бути реалізована на серійних НВЧ-генераторах, і проведення дослідів тільки з мартенівськими пилами цілком актуальне. Як відновник використовували коксовий пил. Щоб суміш не плавилася в температурному інтервалі сублімації цинку, додавали вогнетривкий матеріал - дуніт.

Суміш мартенівського та коксового пилу використовували або у вигляді таблеток, виготовлених на спеціальній машині, або у насипній масі. Вміст вуглецю в суміші дорівнював 9% і повинен забезпечити часткову металізацію заліза і сублімацію цинку.

Порошкоподібна шихта, розташована в кварцовому реакторі шаром заввишки 100 мм, прогрівалася практично з тією ж швидкістю, що й котуни. Отже, використання НВЧ-техніки дозволяє спростити технологію окускування пилів та шламів, відмовившись від традиційної системи отримання гранул.

Незважаючи на практично повне видалення цинку з неокомкованої шихти при 1220°С, швидкість знецинювання при нижчих температурах близька до нуля, хоча таблеток цинк видаляється.

Очевидно, у виробничих умовах, де укладання гранульованих матеріалів як для конвективного, так і для НВЧ-нагріву не буде відрізнятися, оптимальна температура сублімації не повинна перевищувати 1150°С. У той же час, якщо скористатися схемою без обгортування, то видалення цинку з щільного порошкоподібного шару шихти, покладеної на стрічку, можливе тільки після прогрівання матеріалу до 1200 - 1220°С.

Незважаючи на порівняно високі температури, добавки тугоплавкого дуніту до суміші мартенівського пилу та коксу дозволяють після опромінення НВЧ-енергією витягувати матеріал з комірки без ознак плавлення. Це забезпечить можливість нормального вивантаження спеку зі стрічки у технологічному циклі.

Таким чином, кінетичний аналіз показав, що в умовах полів НВЧ можливе нагрівання доменних шламів і мартенівських пилів НТМК з відгоном цинку як в окамкованому (окатиші або таблетки), так і в неокомкованому вигляді. У разі температури возгону зростають на 50 – 60°С до 1200 – 1220°С. Однак тугоплавкі добавки дозволяють запобігти оплавленню матеріалу в цьому діапазоні

температур і забезпечити високий ступінь відгону цинку, що дорівнює 85%. Сказане дозволяє рекомендувати спосіб окускування відходів без облямування до промислового використання як найменш капіталомісткий. Запропонована технологічна схема для утилізації мартенівських пилів, що дозволяє виробляти 1,88 т/год готового металізованого продукту та 112,80 кг/год цинку. Орієнтовна витрата електроенергії становить 4,25 МВт·год на 1 т металізованого продукту.

2 КОНСТРУКЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ВИБІР МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методи кінетичних досліджень

Дослідження кінетики металургійних процесів проводять у замкнутих системах, у яких відсутній обмін речовиною із середовищем, а також у відкритих системах, у яких концентрації речовин підтримуються в результаті обміну із середовищем.

Також дослідження можуть проводитися в ізотермічних умовах, що спрощує подальшу обробку експериментальних даних, а також у неізотермічних умовах. .

Замкнена (по газу) статична система характеризується зазвичай тим, що досліджуваний процес протікає в замкнутому об'ємі з виділенням або поглинанням газу. швидкість реакції може бути виміряна щодо зміни обсягу газу в часі (волюмометричний метод).

Недолік методу: складність аналізу отриманих даних, що вимагають обліку зміни швидкості реакції за обсягом реагентів і як функції складу газової фази, що змінюється, це призводить до необхідності інтегрування кінетичних рівнянь і отримання лише усереднених даних.

У більшості кінетичних досліджень металургійних процесів з урахуванням газової фази створюють умови, що відповідають частково відкритій системі, в якій рухоміша фаза (газова) обмінюється із зовнішнім середовищем, а менш рухлива (тверда або рідка) практично не обмінюються з нею. Такими системами є проточні газу газу газ – тверде тіло, газ – рідина.

Недолік: складність аналізу одержаних даних у цьому випадку пов'язана з неадекватністю зміни складу газової фази дійсним швидкостям хімічних реакцій, що локалізуються в конденсованій фазі.

Граничними випадками відкритих газу проточних систем є реактори ідеального витіснення і ідеального змішування. У першому випадку руху газової суміші в потоці подібно до руху поршня, так що кожна наступна порція газу повністю витісняє попередню. У реакторі ідеального змішування досягається повне перемішування газової суміші, склад потоку у всіх точках реакційної зони практично однаковий і не відрізняється від складу потоку на виході з реактора. Однак зберігаються труднощі розрахунку, оскільки ds/dl змінюється довжиною реактора.

Цей недолік може бути усунений або зменшений під час використання диференціального реактора. Реактор, зокрема, зручний вивчення кінетики як топохімічних реакцій, а й металургійних процесів з участю рідкої ванни і газової суміші.

Загальним недоліком проточних реакторів є складність обліку впливу перенесення речовини в реакційній зоні. Цей недолік прагнуть усунути інтенсивним перемішуванням як усередині реакційної зони (реактор ідеального змішування), так і поза нею (проточно-циркуляційний метод).

Залежно від об'єкта та завдань дослідження застосовують як сумарні (екстенсивні) реєструючі показники швидкості процесу – обсяг газової фази, масу реагентів, так і локальні (інтенсивні) показники, що реєструються у фіксованих або переміщуваних точках системи – склад взаємодіючих фаз, їх температуру та ін.

Для кінетичних досліджень повинні бути забезпечені безперервність або задана частота фіксації контрольованих показників процесу, а також можливість їх запису на вторинному приладі, що реєструє.

До безперервно контрольованих показників процесу, що характеризують його швидкість, відносяться обсяг або тиск газової фази, її склад; маса (вага) конденсованих фаз, у ряді випадків їх обсяг, електричний опір, магнітна проникність та інші властивості.

Волюмометричний метод при кінетичних дослідженнях застосовний для процесів, що протікають зі зміною обсягу газової фази.

Найбільш широке застосування для вивчення кінетики процесів, пов'язаних з видаленням або надходженням реагентів в конденсовану фазу, має метод контролю маси (ваги), що у багатьох випадках забезпечує безперервність вимірювань і відрізняється від інших методів з безперервністю вимірювань своєю безінерційністю.

До його важливих недоліків слід віднести вплив побічних процесів, що відбуваються із зміною маси (ваги), і навіть можливе поєднання процесів із зміною маси у протилежних напрямах.

Найбільш просто для контролю маси (ваги) по ходу процесу можуть бути використані готові коромислові ваги, з'єднані тягою з досліджуваним зразком. Недоліки такої методики зважування пов'язані з труднощами герметизації реакційної системи підтримки у ній суворо фіксованого режиму надходження і відведення газів.

2.2 Тензометричний метод дослідження

Одним із застосовуваних останнім часом способів дослідження кінетики процесів з безперервним автоматичним записом даних зважування пов'язаний із тензометричними вимірами деформації. Цей спосіб заснований на фіксації вимірювання електричного опору тензометричних датчиків під впливом їхньої деформації разом з пружним елементом ваг. Таким пружним елементом для

дослідження процесів із відносно великою зміною маси є пружина-балочка у вигляді консолі до вільного кінця якої через тягу підвішуємо досліджуваний зразок. Дротові датчики опору виконують із константанового дроту. Робочі датчики наклеюють на поверхню консольної пружини один зверху, інший знизу (для температурної компенсації). Порівняльні датчики опору наклеєні на окрему пластину, що не піддається деформації у процесі досвіду. Робочі та порівняльні датчики з'єднані у схемі вимірювального моста, який живиться від тензометричного підсилювача.

Зміна геометричних розмірів та питомого електричного опору робочих датчиків при їх деформації разом із консольною пружиною призводить до виникнення різниці потенціалів між кінцями вимірювальної діагоналі попередньо врівноваженого моста. Напруга, що знімається, подають до вхідних клем підсилювача, підсилюють до заданого, випрямляють, відфільтровують і подають до самописного потенціометра, залежність показань якого від зміни маси зразка є прямолінійною.

Переваги використання тензометричних вимірювань для контролю маси, визначається їх високою чутливістю та можливістю автоматичного безперервного запису. Недоліки пов'язані з чутливістю датчиків до змін температури та газової атмосфери, а також з дрейфом нуля тензометричного підсилювача, особливо небажаним при тривалих експериментах з дослідження кінетики.

Варіант тензометричного зважування має переваги перед варіантом зняття вагових показань на коромислових та пружинних вагах. Характеризується прямолінійною залежністю деформації датчика при вимірюванні маси зразка та фіксованими електричними характеристиками, автоматичним записом, а також меншою інерційністю показань.

2.3 Методика проведення експерименту

У цій роботі були проведені експерименти з вивчення кінетики відновлення шламів мокрих газоочисток мартенівських печей ЗМК ПАТ "Запоріжсталь". Хімічний склад шламу наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Хімічний склад шламу газоочищення мартенівських печей, %

Fe	**FeO**	**Fe_2O_3**	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**Na_2O**	**P**	**MnO**	**K_2O**	**S**	**Zn**
65,95	2,3	91,74	1,3	0,21	1,6	2,07	0,25	0,05	0,64	0,1	0,027	0,95

Початкова питома вага шламу 4,5 – 4,8 г/см^3;

Об'ємна вага шламу 2,7 г/см^3;

Гранулометричний склад шламу, %

100 – 63 мкм	9,6
63 – 31 мкм	18,3
31 – 16 мкм	5,0
16 – 10 мкм	1,2
10 - 5,0 мкм	1,2
менше 5,0 мкм	64,7

Вологість зневодненого шламу 20 - 25%.

Відновлення проводили газоподібними та твердими відновниками в інтервалі температур від 600 до 1100°С. Як газоподібний відновник використовували монооксид вуглецю (СО), який отримували в апараті Кіпа.

Отриманий газ проходив через насичений розчин K_2MnO_7 для очищення шкідливих домішок.

Як твердий відновник був використаний вугільний пил ПАТ "Запоріжкокс" чотирьох різних марок. Хімічний склад вугільного пилу наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад вугільного пилу марок (К, Ж, Р, ОС), %

Марка	**Зола**	**Летючі**	**S**	**C**
К (коксова)	6,2	27,7	0,76	65,34
Ж (жирна)	7,6	29,8	1,81	60,79
Г (газова)	6,8	36,2	1,56	55,44
ОС (слабко-спека)	8,0	20,0	0,45	71,55

Як зразок застосовували спектрально-чистий графіт для порівняння з відновниками, що використовуються. Експерименти проведені на лабораторній установці, яка показана на рисунку 2.1.

Шлам перед використанням сушили в сушильній шафі СНОЛ-3,5 при температурі 100 - 150^{o}С протягом 2 - 3 годин. Для досліджень відбирали фракцію шламу – 0,63. Дозування проводили на терезах марки ВЛКТ-500, з точністю 0,01%.

Наважку мартенівського шламу (0,5 г) в алундовом тиглі поміщали через тягу до вільного кінця пружини-балочки механо-електричного датчика Е2-Д1 (1) Датчик є електромагнітом, у якого струм соленоїда змінюється в залежності від того, який вантаж діє на залізний сердечник. Шляхом калібрування сигналу, що реєструється пишучим Потенціометр типу КСП-4 (2), визначається змінна величина втрати маси. Щоб сигнал записати, його потрібно відрегулювати за величиною до меж вимірювання потенціометра. пелюстка магнітно пов'язана з залізом сердечника. шунтування для грубого і тонкого регулювання сигналу,

який налаштовують таким чином, щоб сигнал не виходив за межі шкали приладу, але з іншого боку, займав можливо більшу її частину.

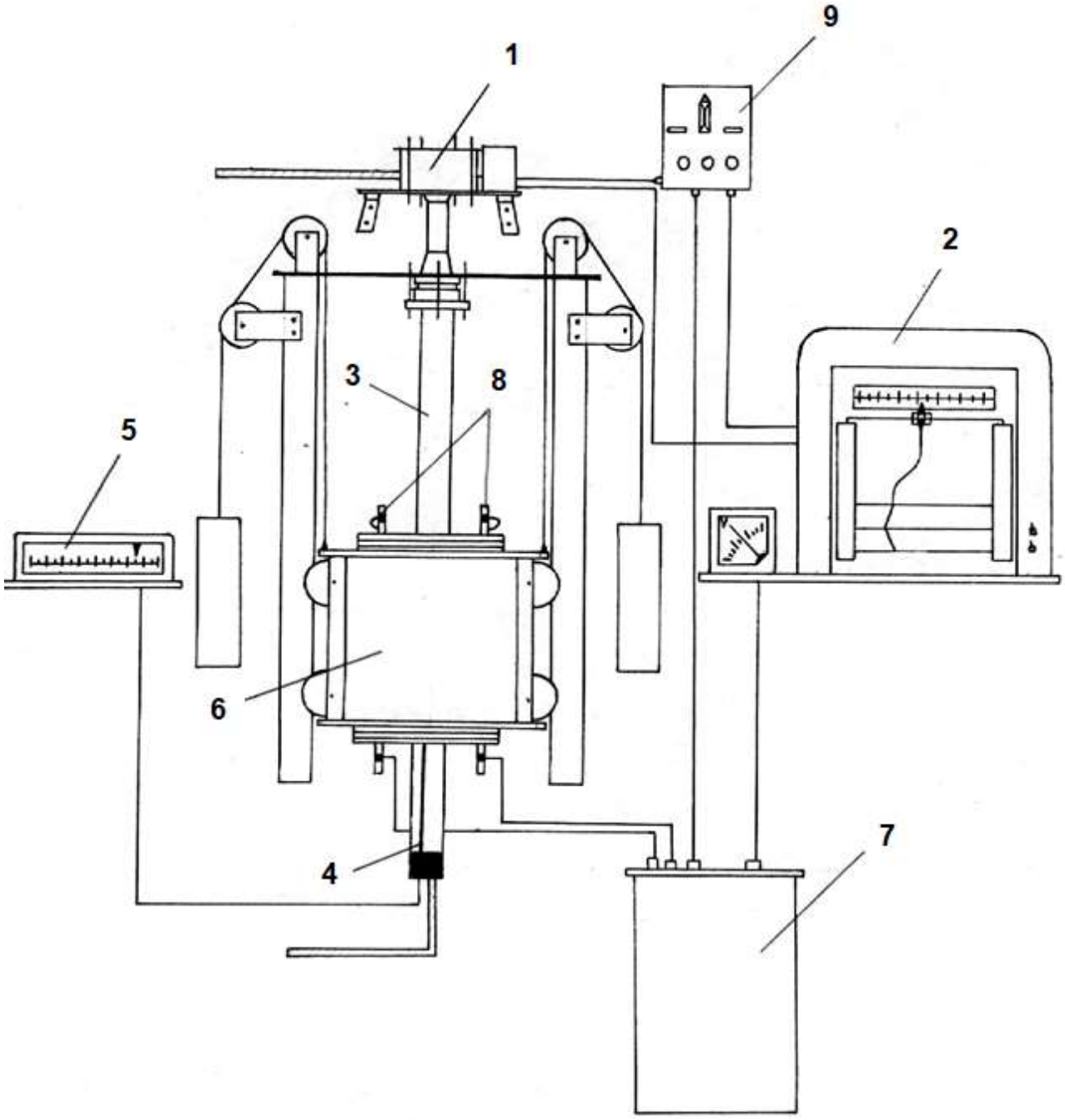


Рисунок 2.1 – Схема експериментальної установки

Закріплений на датчику тигель з навішуванням поміщають у кварцовий реактор (3), для герметизації простору навколо робочої зони. Знизу кварцовий реактор щільно закритий гумовою пробкою, в яку вставлена термопара марки ТХК (4), з'єднана з вторинним приладом (5). Піч опору (6), розташовується так, щоб тигель з наважкою знаходився в центрі робочого простору печі. Напруга подається трансформатором типу РНО - 250 - 10 (7) на силітові (SiC) нагрівачі (8), які встановлені в печі.

Кінцевим результатом експериментів є отримання кривих втрати маси на стрічці потенціометра, що пише. За отриманими даними, проводимо аналіз кінетики відновлення мартенівських шламів різними типами відновників.

Виходячи з отриманих відомостей про вплив різних факторів на ступінь та швидкість процесу відновлення, можуть бути запропоновані можливі оптимальні параметри технологічного циклу отримання відновлених котунів, губчастого заліза та інших видів металургійної продукції.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ МАРТЕНІВСЬКИХ ШЛАМІВ

3.1 Процеси відновлення оксидів заліза твердим вуглецем

Будь-який процес відновлення супроводжується процесом окиснення. Якщо оксид заліза втрачає кисень, т. е. залізо, що входить до нього, відновлюється до більш низької валентності або до металу, то відновник приєднує кисень і, отже, окислюється. Тому відновником може бути така речовина, за участю якої реакція протікає зліва направо, тобто з негативним значенням енергії Гіббса $\Delta G<0$.

Відповідно до принципу послідовності перетворень, сформульованому А. А. Байковим, перехід вищого оксиду в нижчий (аж до металу) відбувається через послідовне утворення всіх стійких у цих умовах проміжних оксидів. Відновлення вищого оксиду заліза Fe_2O_3 при $T>572^oC$ має протікати за схемою:

$$Fe_2O_3 \text{ (гематит)} \rightarrow Fe_3O_4 \text{ (магнетит)} \rightarrow FeO \text{ (вюстит)} \rightarrow Fe \qquad (3.1)$$

При температурі нижче 572^oC за двостадійною схемою:

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow Fe \qquad (3.2)$$

Припустимо, що вуглець не розчиняється в залізі і знаходиться в самостійній фазі. вибрати наступні три реакції, що повністю описують рівновагу в системі $Fe_3O_4 – FeO – Fe – C – CO – CO_2$, що містить шість речовин:

$$Fe_3O_4+CO=3FeO+CO_2 \qquad (3.3)$$

$$FeO+CO=Fe+CO_2 \quad (3.4)$$

$$2CO=C+CO_2 \quad (3.5)$$

Крім приватних рівноваг, відповідно до правила фаз можлива і одночасна рівновага всіх наведених реакцій, тобто одночасне існування п'яти фаз: чотирьох твердих (Fe_3O_4, FeO, Fe, C) і газоподібної (суміші CO і CO_2). У разі К=3, Ф=5 і С= (6-3)+2-5=0, отже, цей стан можливе лише за фіксованих параметрах системи. Врахуємо, що за будь-якої заданої температури вміст CO у системі рівноважно з вуглецем, т. е. задається рівновагою реакції (3.5). Таким чином, температурні інтервали існування тих чи інших оксидів заліза у присутності вуглецю однозначно пов'язані із загальним тиском Р (або вмістом CO), тобто тиск Р та вміст CO(%) залежать тільки від температури.

Досі припускали, що вуглець є у системі як самостійної фази – графіту. У цьому активність його приймали рівної одиниці. Тим часом вуглець може утворювати із залізом тверді та рідкі розчини, а також карбіди. З відомих нині карбідів заліза: Fe_4C, Fe_3C, Fe_4C_3, Fe_2C, FeC, FeC_2 за температур відновлення заліза практичне значення має лише цементит Fe_3C, оскільки інші карбіди при нагріванні розкладаються. Цементит також термодинамічно нестійкий при $T<1100К$, однак він може утворюватися як проміжне метастабільне з'єднання при нижчих температурах, і внаслідок малої швидкості розпаду часто виявляється єдиним продуктом відновлення оксидів заліза.

Досвід показує, що метали, здатні розчиняти вуглеці або утворювати карбіди, в атмосфері вуглецевмісних газів поглинають певну кількість вуглецю. Карбюризаторами металу можуть бути суміші $CO+CO_2$, метан, ацетилен та інші вуглеводні. Навуглецювання металу з газу має велике практичне значення. Так, при відновленні оксидів заліза в промислових агрегатах спостерігається

навуглецювання губчастого заліза, що утворюється. Відомий також і процес газової цементації сталі, коли сталеві вироби витримують у вуглецевмісному газовому середовищі при 900 - 950°С. При цьому поверхневий шар поглинає вуглець і набуває підвищеної твердості при збереженні високої в'язкості металу в обсязі виробу.

Кінетичний аналіз прямого відновлення металів з оксидів складніше, ніж непрямого, оскільки присутність твердого вуглецю супроводжується збільшенням кількості можливих реакцій у системі. Рівняння $MeO_т + C_т = Me_т + CO$ у більшості випадків не відображає дійсного механізму реакції, яка протікає зазвичай у кілька стадій за участю газів як проміжні продукти. Це пов'язано з тим, що навіть при досить досконалому контакті оксиду і вуглецю, наприклад, у суміші порошків, фактична поверхня контакту частинок становить незначну частку їх загальної поверхні, тому безпосередня взаємодія твердих фаз важко. Відомий ряд схем процесу вуглетермічного відновлення твердих оксидів:

1. Двоступінчаста (біреакційна) схема передбачає, що процес здійснюється в результаті одночасного перебігу двох реакцій:

$$MeO+CO=Me+CO_2 \qquad (3.6)$$

$$C+CO_2=2CO \qquad (3.7)$$

$$MeO+C=Me+CO$$

Відновлення, таким чином, фактично проходить через газ оксидом вуглецю, а роль твердого вуглецю зводиться до регенерації з реакції (3.7). Вочевидь, цей механізм реалізується лише таких умов (природа оксиду, температура, тиск, умови змішування реагентів тощо), коли обидві стадії можуть протікати з достатніми швидкостями. У зв'язку з цим дана схема виявляється

кінетично можливою для металів, які успішно відновлюються і непрямим шляхом: заліза, нікелю та інших металів з меншою хімічною спорідненістю до кисню. Нижня температурна межа взаємодії з цієї схемою 700 – 800К пов'язані з малою швидкістю реакції (3.7) при знижених температурах.

2. Двостадійна (дисоціативна) схема. Відновлення металів з досить високою пружністю дисоціації може протікати шляхом дисоціації оксиду та подальшої взаємодії молекулярного кисню з вугіллям:

$$MeO=Me+1/2O_2 \qquad (3.8)$$

$$C+1/2O_2=CO \qquad (3.9)$$
$$MeO+C=Me+CO$$

Ця схема близька до розглянутої вище двостадійної схеми відновлення металів газами і може реалізуватися лише за досить високих пружностях дисоціації – Po_2> 1Па.

3. Схема, що враховує випаровування оксиду. Якщо при температурі відновлення швидкості сублімації оксиду досить великі, то взаємодія може протікати шляхом випаровування оксиду з подальшою конденсацією (адсорбцією) його парів на поверхні вуглецю, де і відбувається власне процес відновлення:

$$MeO_т = MeO_г$$
$$MeO_г+C_т=MeO_{адс}\cdot C_т$$
$$Meo_{адс}\cdot C_т = Me_т\cdot CO_{адс}$$
$$Me_т\cdot CO_{адс} = Me_т + CO_г$$
$$MeO_т+C_г=Me_т+CO_г \qquad (3.10)$$

4. Безпосередня взаємодія твердих фаз. За цією схемою взаємодія відбувається в результаті контакту твердих вуглецю та оксиду. На початку цей контакт є безпосереднім, а після формування розділюючого прошарку металу або нижчого оксиду здійснюється шляхом дифузії реагентів через цей прошарок. Вище зазначені низькі кінетичні можливості цього механізму у зв'язку з дуже малою поверхнею контакту твердих частинок, тому внесок цього процесу в загальну швидкість виявляється малим, якщо можлива одночасна взаємодія за іншими схемами. Однак дані дослідів дозволяють визнати цю схему можливою, наприклад, при відновленні Fe_2O_3 при 380-500К, коли процес (3.7) протікає повільно. Механізм цих процесів досі не зрозумілий. Очевидно лише, що тут потрібна висока дифузійна рухливість частинок.

З викладеного слід, що оксиди заліза можуть взаємодіяти з вуглецем за різними схемами, причому одночасно з основним механізмом реалізуються інші. Частка кожного їх у загальному процесі змінюється залежно від температури, тиску, ступеня відновлення, умов змішування реагентів та інших чинників.

3.2 Процеси непрямого відновлення оксидів заліза

Взаємодія газоподібного відновника з твердим оксидом представляє складний гетерогенний процес, що складається з ряду послідовних та паралельних стадій: 1) підведення відновника з об'єму газової фази поверхні оксиду; 2) дифузії відновника через пори та тріщини шару твердих продуктів реакції (металу або нижчого оксиду); 3) власне хімічної взаємодії, що включає адсорбцію відновника, обмін електронами між частинками, зародження та зростання нової кристалічної фази, десорбцію газу; 4) дифузії газоподібних продуктів реакції через відновлений шар до зовнішньої поверхні і далі обсяг газу; 5) дифузії іонів металу та кисню та перенесення електронів усередині кристалів реагентів.

Зазвичай дифузія обсягом газу до поверхні частинок оксиду або від них здійснюється набагато швидше, ніж у порах і тріщинах продуктів відновлення. Це, по-перше, з полегшеною конвекцією газу вільному просторі, тоді як і пористому тілі газ нерухомий, а по-друге, з малим поперечним перерізом порожнин, якими здійснюється дифузія. У зв'язку з цим дифузійні гальмування сумарного процесу пов'язані, як правило, з уповільненим перенесенням газу через пори та тріщини шару продуктів реакції або з дифузією іонів усередині кристалів. Уповільненим може бути і сам хімічний акт відновлення. Отже, у випадку можна очікувати будь-якого режиму процесу (дифузійного, кінетичного, змішаного).

У стаціонарному режимі сумарна швидкість відновлення V дорівнює швидкості дифузії відновника до реакційної поверхні та витрати його на реакцію, тобто $V = V_д = V_х$.

$$V=S\ \frac{k(Db/b)}{k+(Db/b)}(C_в - P_{ад}) \qquad (3.11)$$

де S – площа реакційної поверхні; D_b – коефіцієнт взаємної дифузії; b - товщина шару продуктів; k – константа швидкості реакції; $C_в$ – концентрація відновника обсягом газу; $P_{ад}$ – рівноважна концентрація відновника.

Вираз (3.11) визначає випадок, коли істотні як кінетичні, і дифузійні гальмування, т.к. змішаний режим процесу, а реакція лежить на поверхні має перший порядок. У окремих випадках воно спрощується. Так, для дифузійного режиму k>>D/b, і замість (3.11) маємо

$$V=S(Db/b)\cdot(C_в - P_{ад}) \qquad (3.12)$$

Для кінетичного режиму, коли k<<D/b, отримуємо

$$V=S\cdot k\,(C_в - P_{ад}). \qquad (3.13)$$

Незважаючи на зовнішню схожість рівнянь (3.12) та (3.13), вони описують різні режими взаємодії. Так, у дифузійному режимі в міру збільшення товщини шару реакції b швидкість відновлення зменшується, оскільки V_1/b. Характеризуючи швидкість збільшенням b з часом, тобто величиною db/dt, маємо db/dt~1/b. Інтегруючи це рівняння, отримуємо характерну для дифузійних процесів залежність $b\sim\sqrt{t}$.У кінетичному режимі лінійна швидкість просування фронту реакції db/dt не залежить від b, тому b лінійно зростає з часом - b ~ t.

Розглянута схема процесу є спрощеною. Насправді відновлення оксидів заліза, що у вигляді окремих шматків, протікає складніше. Фактично шматки оксиду складаються з окремих зерен, мають тріщини та пори, тому газ-відновник може дифундувати в глиб шматка оксиду, завдяки чому взаємодія проходить по всьому об'єму. Реакційна зона виявляється розмитою, неоднорідною, зосередженою в зонах з більшою газопроникністю. Картина ускладнюється відмінністю пористості продуктів реакції та вихідних речовин та її зміною протягом процесу. Загальне рішення задачі виявляється дуже складним, тому відомі лише приватні рішення при певних припущеннях про пористість реагентів, розміри та форму шматків оксидів.

Розглянемо деякі наслідки. У дифузійному режимі, коли $R_o>>D_b$ та $C_в\approx C_{ов}$, тобто у межах шару оксиду концентрація газу-відновника вже близька до рівноважної, і реакція у шарі оксиду термодинамічно неможлива. Відновлення тут практично завершується в тонкому шарі оксиду поблизу поверхні розділу метал - оксид (поверхневе відновлення). У кінетичному режимі $R_o<<D_b$ та $C_в\approx P_{ад}$, тобто концентрація відновника в межах шару оксиду однакова і вище рівноважної. дифузійному та змішаному режимах, тому що в кінетичному режимі відновник протікає на всю товщину шматка незалежно від його розміру, тому для

кожного типу руди існує межа подрібнення, вище за який ступінь відновлення за даний відрізок часу не збільшується. прискоренням відновлення та скороченням часу його завершення.

Було встановлено, що навіть невеликі концентрації газоподібних продуктів відновлення (CO_2 і H_2O) сильно уповільнюють відновлення оксидів заліза. Особливо сильне гальмування спостерігається при знижених температурах, тобто в області кінетичного та змішаного режимів. Ця особливість характерна для адсорбційних явищ і може бути пояснена адсорбцією газів на поверхні оксиду заліза. Так, форму залежності V_x від $P_в$ можна пов'язати з насиченням поверхні молекулами відновника, зменшення V_x при додаванні H_2O та CO_2 – з блокуванням найактивніших адсорбційних місць молекулами цих газів, характер впливу температури на V_x – з більшою адсорбованістю при зниженні температури.

Згідно з сучасними уявленнями, власне хімічний акт реакції відновлення металів газами складається принаймні із трьох послідовних стадій: 1) адсорбції відновника на реакційній поверхні; 2) відриву кисню від решітки оксиду та з'єднання його з адсорбованими молекулами відновника з одночасним утворенням нової твердої фази; 3) десорбцію газоподібних продуктів відновлення.

Ці уявлення отримали назву адсорбційно-автокаталітичної теорії, розвиток якої завдячує працям таких вчених як: Г.І. Чуфарова, С.Т. Ростовцева, О.А. Єсіна, П.В. Гельда. Згідно з іншими уявленнями, процес відновлення складається із двох стадій: 1) дисоціації оксиду з утворенням молекулярного кисню; 2) з'єднання з відновником у газовій фазі. Однак багато дослідних фактів змусили відмовитися від двостадійної схеми стосовно відновлення більшості технічно важливих оксидів, в т.ч. год. та оксидів заліза. А ось адсорбційно-автокаталітична теорія виявилася найбільш прийнятною.

Автокаталітичність процесу полягає в тому, що він локалізується в основному на межі розділу фаз оксид – тверді продукти відновлення, що є своєрідним каталізатором, що виникає під час самого процесу (автокаталіз). Каталізуюча дія межі контакту твердих фаз пов'язана в першу чергу з полегшеним зростанням нової фази, оскільки він здійснюється тут шляхом добудови вже існуючих ґрат. Певну роль грає також розпорядження частинок міжфазного шару та виникнення асиметричного силового поля з меншою сумарною енергією зв'язку, завдяки чому зростають рухливість та реакційна здатність частинок. Характерне для автокаталітичних процесів зміна з часом швидкості реакції dm/dt наведено рисунку 3.1

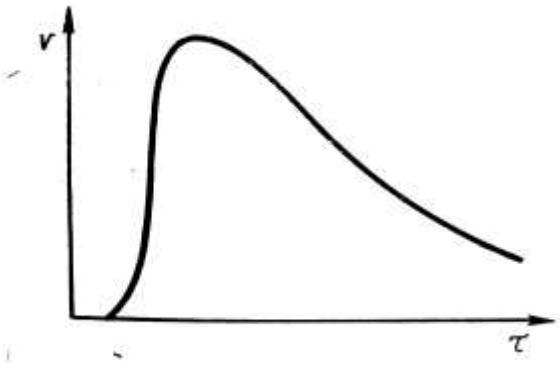


Рисунок 3.1 – Залежність швидкості процесу від часу

Автокаталітичний характер процесу зумовлює зональність: виникнення просторово розмежованих зон різного фазового складу. Для металів із змінною валентністю таких зон може бути декілька. Зональність спостерігається лише відносно щільних, непроникних для газу-відновника фаз. В іншому випадку видимі зони відсутні, тому що зародки нової фази виникають на поверхні зерен оксиду по всьому об'єму шматка, і зональність реалізується лише в межах окремих мікрокристалів.

Відновлення вищих оксидів протікає, зазвичай, східчасто, тобто. утворюються спочатку нижчі оксиди, а потім метал. Для щільних фаз

ступінчастість та зональність взаємопов'язані, для пористих фіксується лише ступінчастість.

3.3 Аналіз експериментальних даних

В даний час при отриманні більшості чорних металів і феросплавів у великих масштабах використовується порівняно дешевий і поширений відновник - вуглець. У зв'язку з цим справжня дипломна робота присвячена дослідженню кінетичних особливостей непрямого та прямого відновлення шламів мокрих газоочищення мартенівських печей.

Першу серію експериментів проводили з використанням як відновника мартенівського шламу монооксиду вуглецю (CO). Після проведення експериментів та обробки експериментальних даних були побудовані залежності ступеня та швидкості відновлення від часу досвіду, представлені на рисунках 3.2 та 3.3.

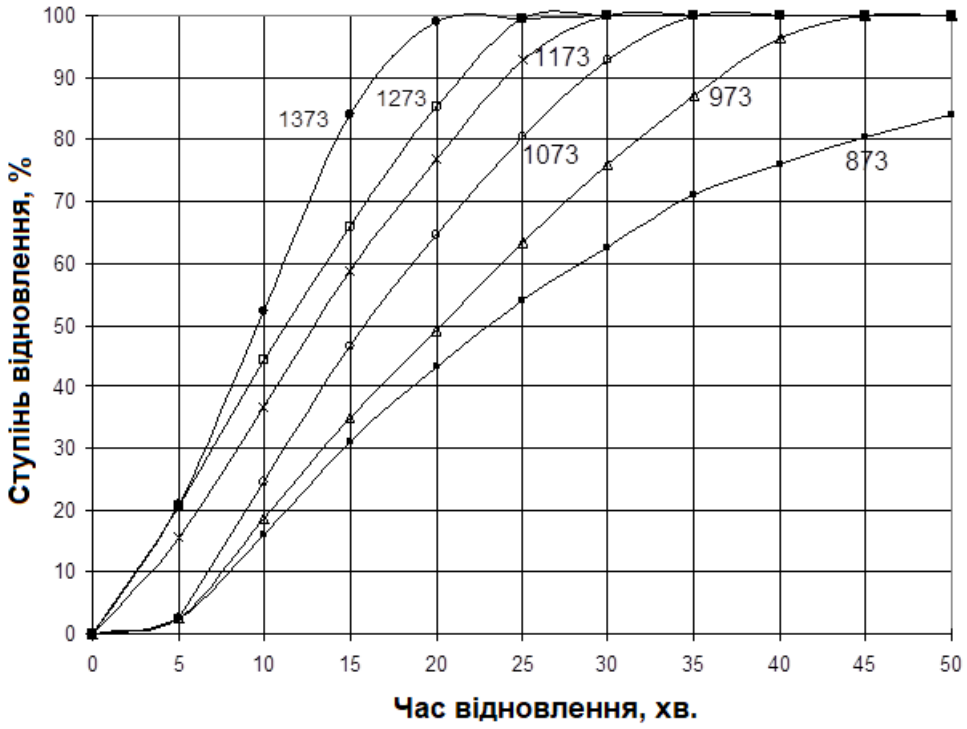


Рисунок 3.2 – Залежність ступеня відновлення мартенівського шламу від тривалості процесу

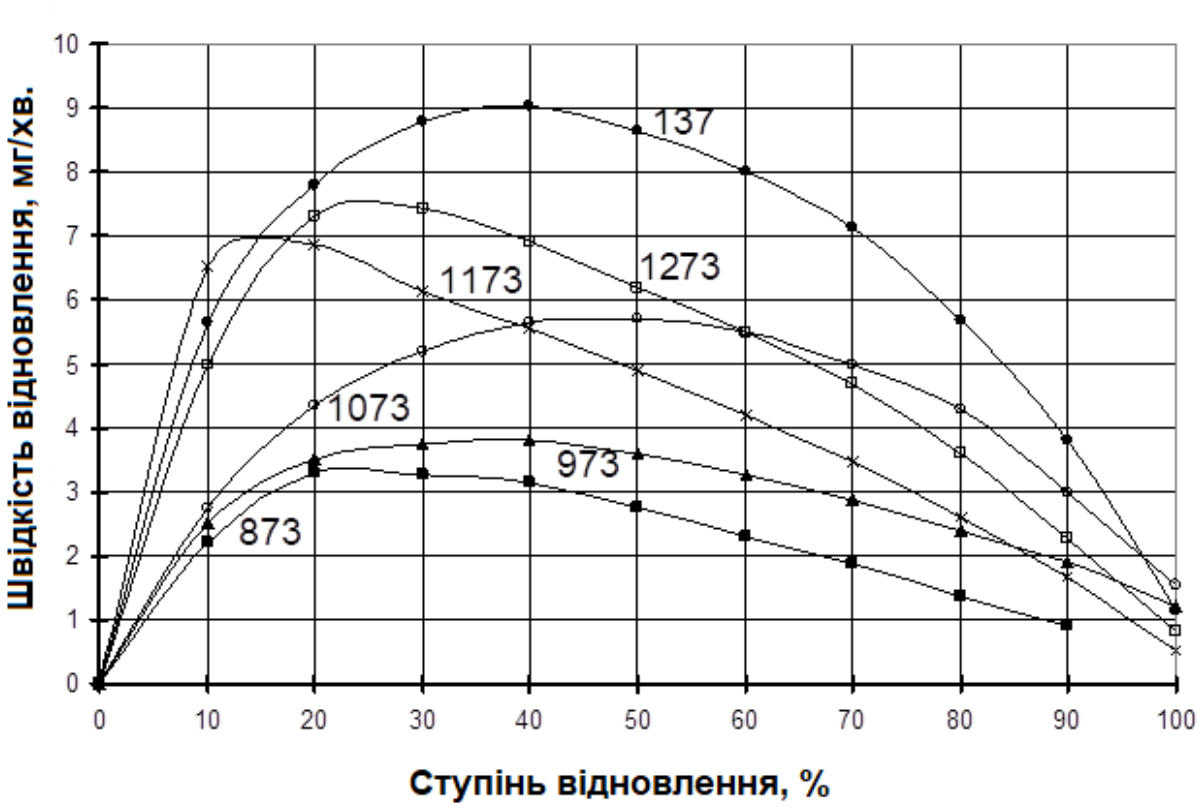


Рисунок 3.3 – Кінетика відновлення мартенівського шламу монооксидом вуглецю

Вплив температури на відновлення досліджували в інтервалі 600 – 1100°С через кожні 100°С. Відновлення при 600-700°С характеризується дуже низькими швидкостями протягом тривалості досвіду. Це підтверджує візуальний аналіз продуктів відновлення. У вилученому з реактора мартенівському шламі видно і гематит, що не прореагував, і деяка кількість магнетиту. Після витримки у реакторі протягом 50 хвилин мартенівський шлам відновився лише на 85%. Подальше відновлення не призвело до якось помітного її збільшення.

При 800°С низька швидкість відновлення у початковий період зростає за ступенем відновлення (α) рівною 35-40%. Підвищення температури різко прискорює процес відновлення: за 900°С повне відновлення досягається за 30 хвилин, за 1000°С – за 25 хвилин, а за 1100°С – за 20 хвилин.

Слід зазначити, що з високих температурах швидкість відновлення на заключних етапах процесу знижується проти низькими температурами Цю своєрідну залежність можна пояснити спіканням дрібних частинок заліза у процесі відновлення і, як наслідок, зниженням пористості шламу, тобто до зерен оксиду.

Загальна швидкість відновлення, залежно від умов, може контролюватись однією з багатьох стадій, пов'язаних із дифузійними, адсорбційними, хімічними та іншими явищами. Шляхом усунення та зменшення впливу окремих ланок, що лімітують процес загалом, може бути досягнуто високої інтенсифікації процесу.

Мета експериментального вивчення кінетики відновлення мартенівського шламу монооксидом вуглецю полягає у визначенні залежності швидкості процесу від основних технологічних параметрів – температури та встановленні лімітуючої стадії, що необхідно для відшукання оптимальних умов відновлення. Залежність швидкості відновлення від температури характеризується енергією активації, що здається.

Енергію активації Е, що здається, можна розрахувати у тому випадку, коли відношення швидкостей відновлення представлено як функція лише однієї змінної – температури за сталості всіх інших параметрів процесу (кількості, крупності та форми частинок відновлюваного матеріалу).

Для визначення енергії активації, що здається, вивчають залежність швидкості відновлення від температури при сталості інших параметрів і розраховують потім енергію активації по тангенсу кута нахилу прямої з графіка Арреніуса (рисунок 3.4):

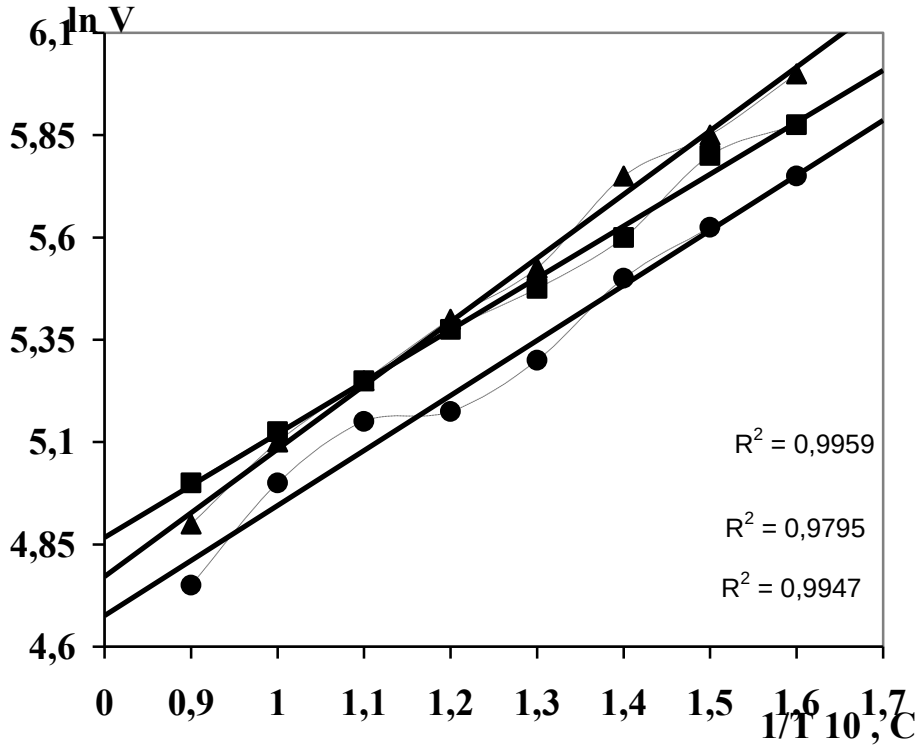


Рисунок 3.4 – Графік Арреніуса

$$\Delta \ln(V) = -\frac{E}{R} \cdot \Delta(1/T) \qquad (3.14)$$

де V – швидкість відновлення, мг/хв; R - універсальна постійна газова дорівнює 8,31; E - енергія активації, що здається, кДж/моль.

Вираз (3.14) – рівняння прямих координатах ln (V)–1/T; тангенс кута нахилу прямих дорівнює $-\frac{E}{R}$.

Розраховуємо E на різних етапах процесу.

1) На 10-й хвилині процесу:

$$\Delta \ln V_{10} = 5{,}2\text{-}5{,}05 = 0{,}15$$

$$V_{10} = \ln 0{,}15 = -1{,}9$$

$$\Delta 1/T_{10} = 1{,}063\text{-}0{,}963 = 0{,}0001$$

$$tg\alpha = \frac{-1{,}9}{0{,}0001} = -19000$$

$$E = -19000 \cdot 8{,}31 = 157{,}9 \text{ кДж/моль} \approx 37{,}7 \text{ ккал/моль};$$

2) На 25-й хвилині процесу:

$$\Delta \ln V_{25} = 5{,}7\text{-}5{,}55 = 0{,}15$$

$$V_{25} = \ln 0{,}15 = -1{,}9$$

$$\Delta 1/T_{25} = 1{,}563\text{-}1{,}450 = 0{,}000113$$

$$tg\alpha = \frac{-1{,}9}{0{,}000113} = 16814$$

$$E = 16814 \cdot 8{,}31 = 139{,}7 \text{ кДж/моль} \approx 33{,}3 \text{ ккал/моль};$$

3) на 45-й хвилині процесу:

$$\Delta V_{45} = 5{,}95\text{-}5{,}8 = 0{,}15$$

$$V_{45} = \ln 0{,}15 = -1{,}9$$

$$\Delta 1/T_{45} = 1{,}62\text{-}1{,}51 = 0{,}00011$$

$$tg\alpha = \frac{-1{,}9}{0{,}00011} = 17272$$

$$E = 17272 \cdot 8{,}31 = 143{,}5 \text{ кДж/моль} \approx 34{,}3 \text{ ккал/моль}.$$

Таким чином, в досліджуваному нами інтервалі температур лімітуюча стадія, згідно з розрахунком енергії активації, що здається, не змінюється. І в цьому випадку лімітуючою стадією є хімічна взаємодія, тобто. процес протікає у кінетичній області.

Але визначена з експериментальних даних енергія активації, що здається, жодною мірою не відповідає істинній енергії активації, тобто енергії, що витрачається на утворення продуктів реакції. Вона є узагальненою характеристикою температурної залежності швидкості процесу.

Для оцінки відновлюваності мартенівського шламу були проведені експерименти щодо відновлення в неізотермічних умовах аглоруди Запорізького залізорудного комбінату та оксиду заліза (III) категорії хімічно чистий. Результати представлені на рисунках 3.5 та 3.6.

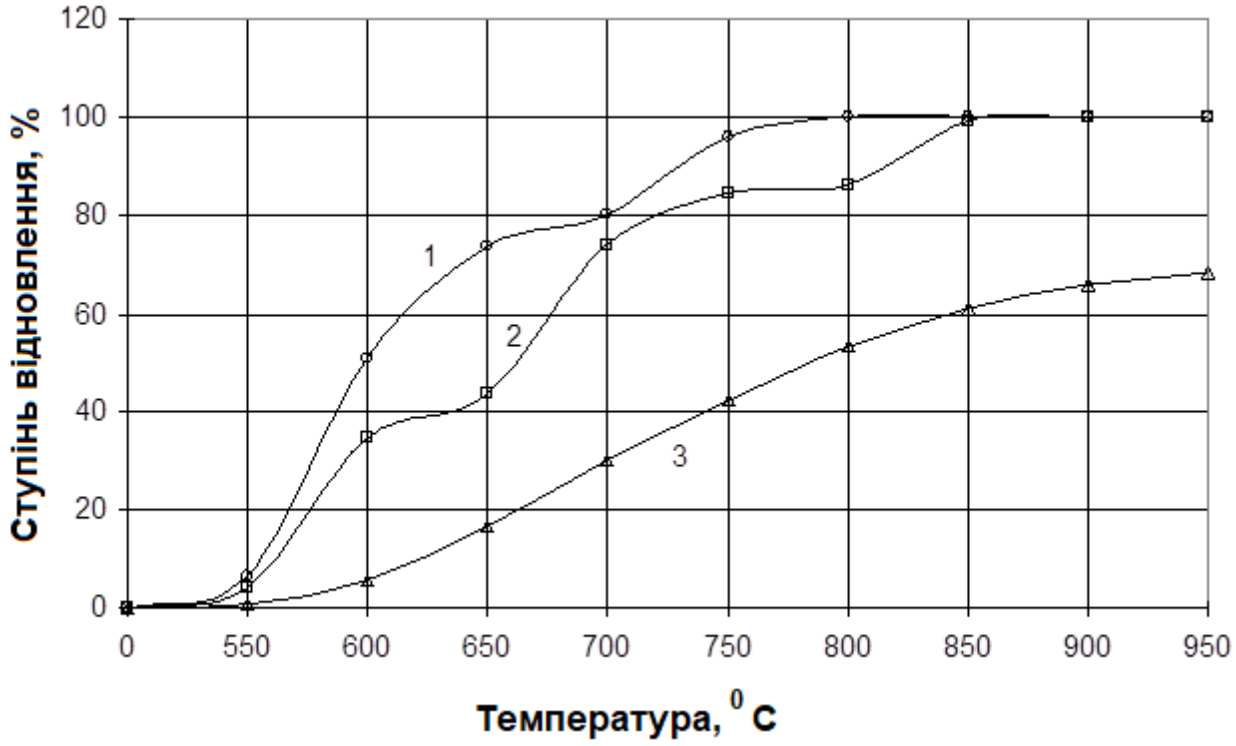


Рисунок 3.5 – Порівняльна характеристика відновлюваності різних залізовмісних матеріалів

Характерна для автокаталітичних процесів зміна з часом швидкості dm/dt проглядається на графіках (рисунок 3.6). Головними особливостями є наявність максимуму швидкості та інкубаційного періоду на початку процесу, що характеризується дуже малою швидкістю реакції.

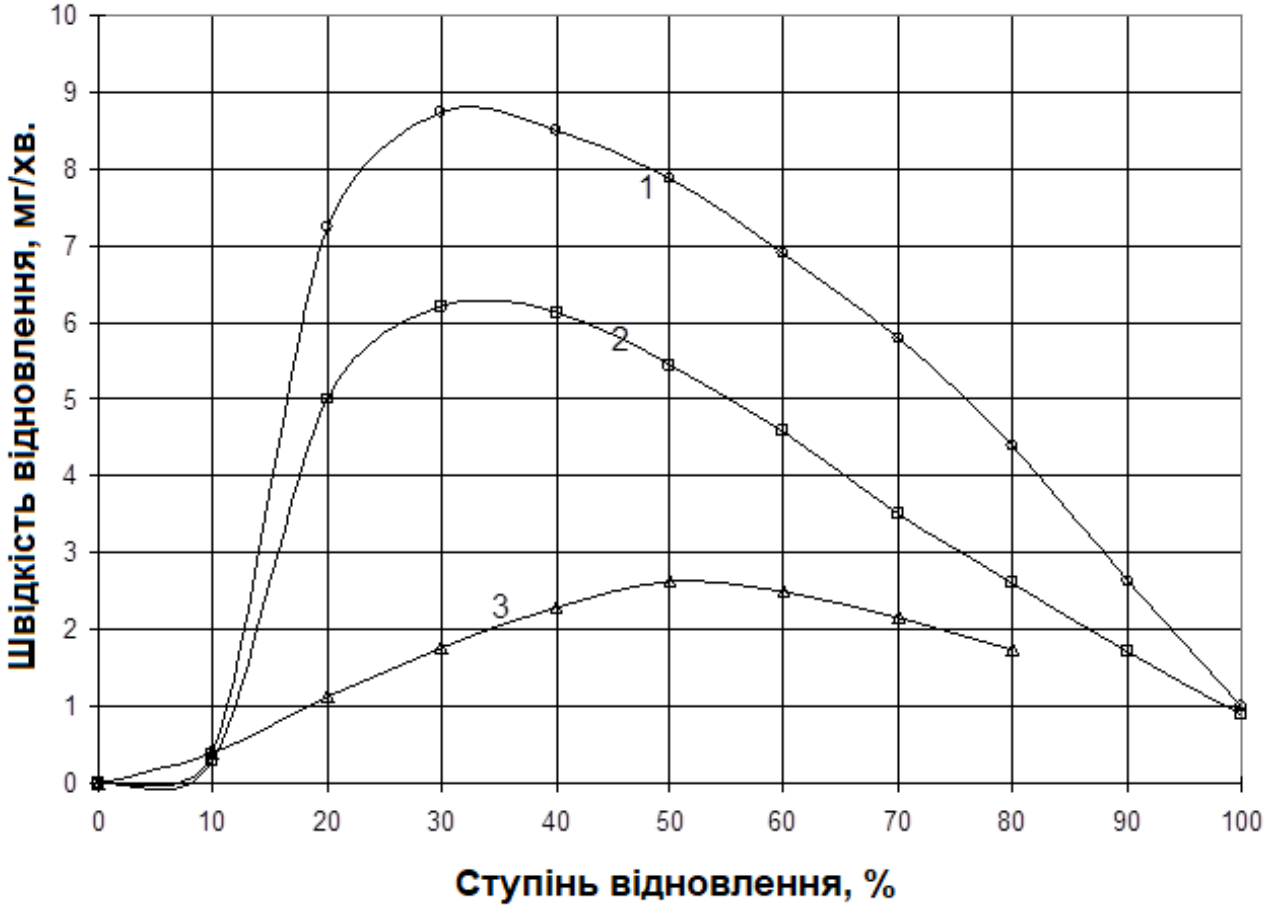


Рисунок 3.6 – Порівняльна характеристика
швидкості відновлення різних залізовмісних матеріалів

Відновлення вищих оксидів протікає східчасто, тобто утворюються спочатку нижчі оксиди (Fe_3O_4, FeO), а потім кристали заліза, що добре видно на кривих 1, 2 рисунок 3.5.

Максимальна швидкість відновлення спостерігається за ступенем відновлення 30% для мартенівського шламу, 60% – для аглоруди Запорізького залізорудного комбінату та 20% – для оксиду заліза (III) категорії х.ч. Уповільнення швидкості відновлення на певних ділянках графіка пояснюється труднощами, спричиненими перебудовою кристалічних ґрат $Fe_3O_4 \rightarrow FeO$ та $FeO \rightarrow Fe$. Однак у мартенівському шламі вміст заліза у Fe_2O_3 та Fe_3O_4 відповідає співвідношенню 1:1 (що встановлено петрографією), тому на певному етапі

(α=20-60%) швидкість відновлення мартенівського шламу вище, ніж оксиду заліза (III) категорії х.ч.

Швидкість відновлення різних матеріалів, що містять оксиди заліза визначається не тільки щільністю, окисленістю, а й складом та характером розподілу порожньої породи та типом її хімічного зв'язку з оксидами заліза. Порожня порода, обволікаючи зерна, сильно знижує відновлюваність оксидів заліза.

Зменшення вмісту заліза в аглоруді в порівнянні з мартенівським шламом в 1.75 рази, викликає зниження швидкості в 3 рази і ступеня відновлення майже в 2 рази. При температурі вище 900°С роль подрібнення ще слабшає, оскільки починається процес спікання частинок одна з одною.

Високу швидкість відновлення мартенівського шламу порівняно з іншими матеріалами можна пояснити також впливом лужних добавок (Na_2O та K_2O), що потрапляють у шлам за технологічною схемою його зневоднення. Каталітичний вплив добавок можна пояснити так. Оксиди натрію та калію утворюють з оксидами заліза ферити, що встановлено рентгеноструктурним та магнітометричним аналізами. Кінетичні дослідження дозволяють припустити, що лужні метали переважно обмінюються місцями з катіонами Fe^{2+} матричної фази, підвищуючи концентрацію електронних дірок в останніх (феритні фази можуть бути перехідним станом при заміщенні Fe^{2+} на Na^+ і K^+). В результаті умови донорної хемосорбції CO покращуються та відновлення інтенсифікується. Цей ефект зростає при використанні важчих лужних металів відповідно до зменшення роботи виходу електрона. Каталітичній дії К сприяє утворення додаткових прогалин у вузлах решітки заліза, кожен з яких породжує два катіони Fe^{3+}. Поряд з безпосереднім впливом на ланку кристалохімічної добавки надають і непрямий вплив через реакцію $2CO \rightarrow CO_2+C$. Уповільнення розпаду CO сприяє відновленню оксидів заліза.

Таким чином відновлення мартенівського шламу, в порівнянні з іншими матеріалами, відбувається в більш вигідних умовах і закінчується за більш короткий час, що доводить доцільність його використання для отримання відновленого або металізованого продукту.

Для вивчення кінетики відновлення мартенівського шламу твердими відновниками застосовували різні сорти вугільного пилу, хімічний склад якого наведено в таблиці 3.2, і як зразок – спектральночистий графіт. Результати експериментальних даних представлені рисунки 3.7; 3.8; 3.9; 3.10.

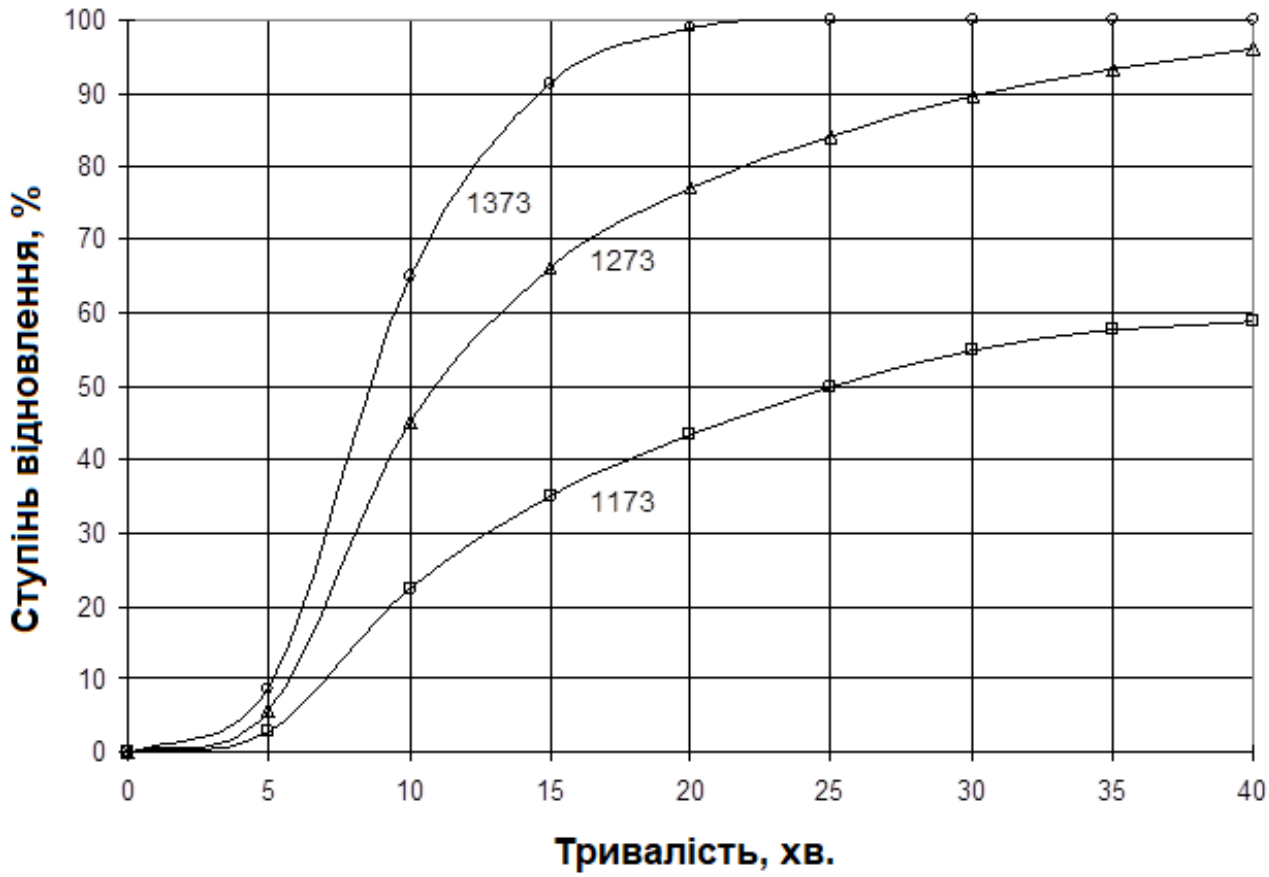


Рисунок 3.7 - Залежність ступеня відновлення мартенівського шламу спектрально чистим графітом від тривалості процесу

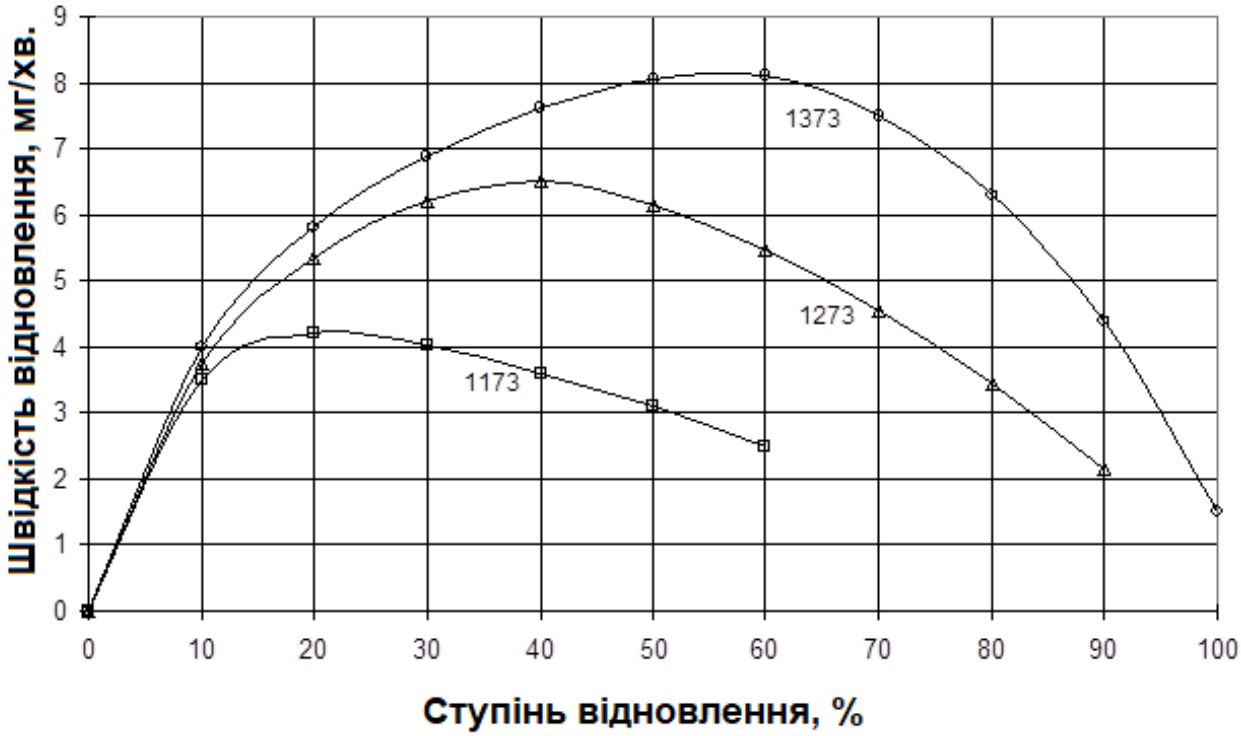
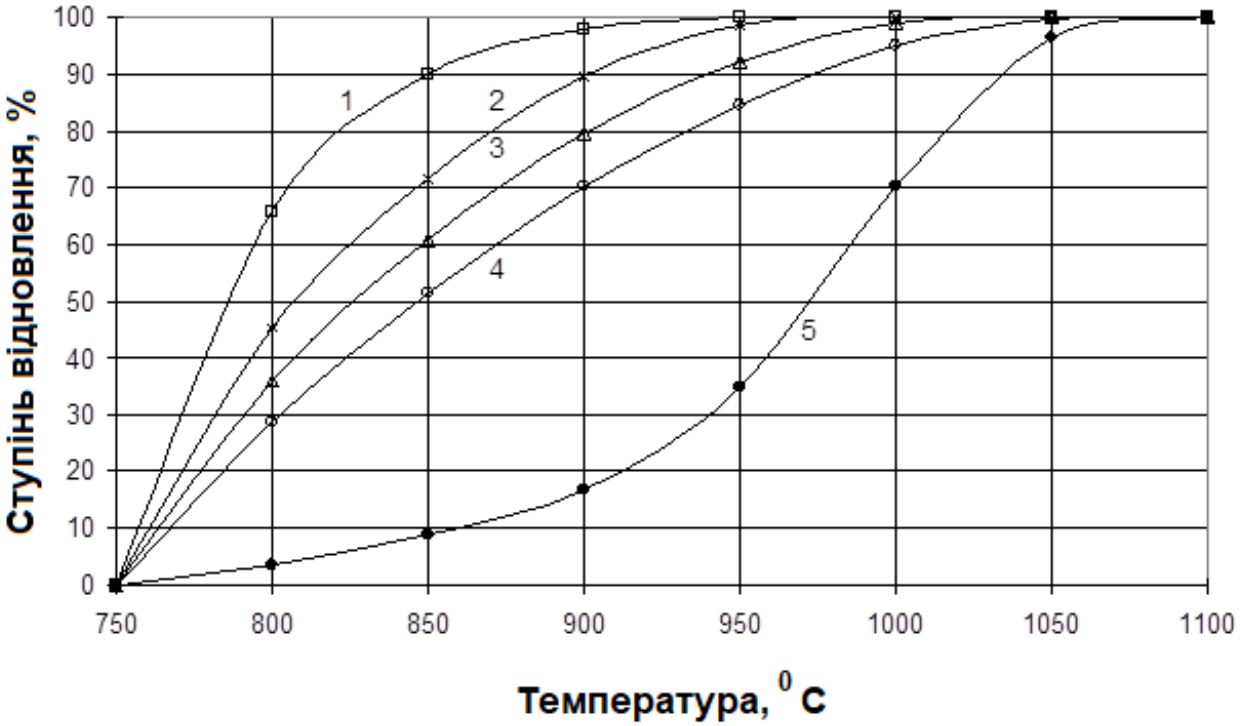


Рисунок 3.8 – Кінетика відновлення мартенівського шламу спектрально чистим графітом



1 – вугільний пил марки ОС; 2 – вугільний пил марки Ж;

Рисунок 3.9 – Залежність ступеня відновлення температури

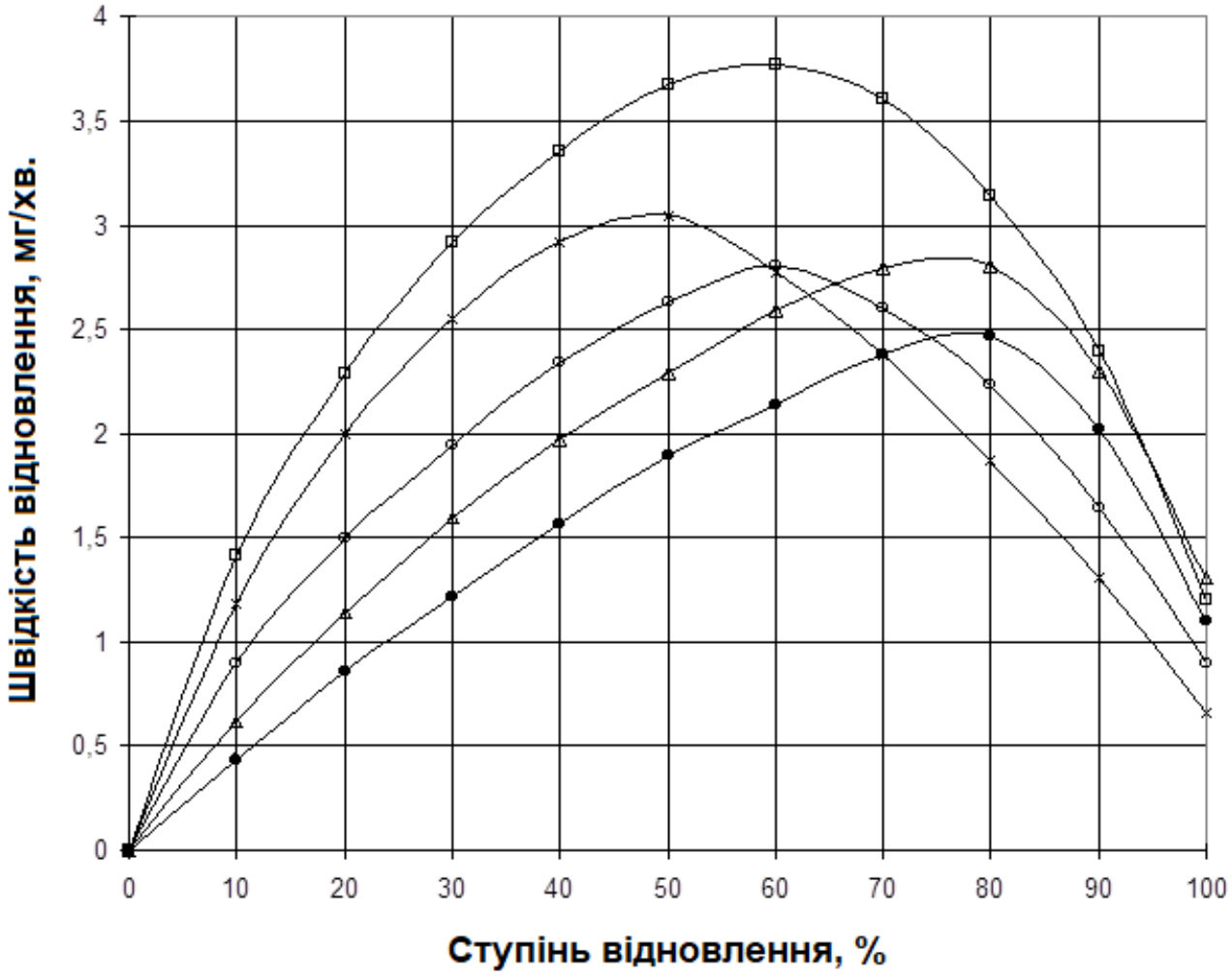


Рисунок 3.10 – Кінетика відновлення мартенівського шламу твердим вуглецем

Кінетичний аналіз прямого відновлення оксидів заліза, які у мартенівському шламі, складніше, ніж непрямого, оскільки наявність твердого вуглецю у системі супроводжується збільшенням кількості можливих реакцій. Як відомо, відновлення в таких системах протікає за участю газової фази, оскільки фактична поверхня контакту частинок мартенівського шламу з твердим відновником становить дуже малу частку їхньої загальної поверхні (навіть за умови подрібнення до порошкоподібного стану). І безпосередня взаємодія твердих фаз утруднена. Як відомо взаємодії з вуглецем оксидів заліза найбільш характерна двоступінчаста схема.

Стадією, що лімітує швидкість сумарного процесу відновлення, особливо на початковому етапі, зазвичай є взаємодія CO_2 з С. Цей факт підтверджується і тим, що використання реакційно-активніших сортів вугільного пилу підвищує швидкість відновлення. При досить великих ступенях відновлення зростає дифузійне гальмування при проникненні через пористий шар продуктів відновлення, що покривають зерна оксидів. Це спричиняє зниження швидкості реакції $MeO+CO = Me+CO_2$ і вона може стати лімітною. Очевидно, цим пояснюється характер кривих (максимуми швидкості у часі), притаманний автокаталітичних процесів непрямого відновлення.

З рисунка 3.10 видно, що швидкість відновлення мартенівського шламу різними сортами вугільного пилу різна: максимальна спостерігається при використанні пилу марки ОС, а мінімальна при використанні пилу марки К. Це відмінність можна пояснити неоднаковою реакційною здатністю різних відновників впливає фізичний стан , зокрема розміри та ступінь досконалості кристалів графіту. Чим більша відстань між базисними площинами кристалічної решітки, тим легше в них проникає окислювач і тим швидше вони згоряють.

Таким чином, у разі відновлення мартенівського шламу твердими відновниками доцільно застосовувати вугільний пил марки ОС внаслідок її низької вартості, низького вмісту шкідливих домішок (зокрема сірки) та високої реакційної здатності.

Слід зазначити також, що, залежно від температури експерименту, отриманий продукт відрізнявся за фізичним станом: при низьких температурах відновлення металеве (сажисто) залізо утворює групи дрібних пористих сіток, малозв'язаних між собою; із підвищенням температури – вони з'єднуються, утворюючи металевий каркас.

Одним із загальновизнаних на сьогоднішній день способів зниження споживання дефіцитного коксу для потреб чорної металургії за рахунок використання природного газу, мазуту та інших дешевих видів палив є отримання металізованих котунів.

Використання металізованої шихти покращує показники доменної плавки і може замінити частину скрапу та знизити витрати для сталеплавильних печей.

Однак ефективність використання металізованих котунів визначається їх вартістю. За розрахунками французьких металургів ефективність застосування металізованих котунів забезпечується використанням для їх виробництва багатих руд або концентратів із вмістом шлакоутворюючих не вище 5%. Цим вимогам повністю відповідає мартенівський шлам, який є доступною та недорогою сировиною для виробництва відновлених або металізованих котунів.

У разі застосування мартенівського шламу в промислових процесах внаслідок його високої дисперсності може відбуватися злипання частинок відновленого продукту з подальшим настилеутворенням печі. На сьогоднішній день розроблено декілька способів усунення злипання: зниження температури процесу, підвищення робочої швидкості дуття, зниження глибини металізації продукту, застосування вібрації, ПАР та інші методи. Однак найбільший ефект дає застосування обкомкованої сировини.

Вміст шкідливих домішок у мартенівському шламі, таких як: сірка, фосфор та цинк становить відповідно 0,027%; 0,05%; 0,95%, що не значно підвищує межі за вмістом сірки та фосфору у типових сортах аглоруд та концентратів, а цинк переходить у газову фазу при нагріванні у відновлювальній атмосфері.

З робіт відомо, що в процесі металізації рудо-вугільних котунів із сумарним вмістом сірки до 3,5%, її уліт може становити до 60%.

Таким чином, після проведення подальших досліджень з окомкування мартенівського шламу, можна порекомендувати його як залізовмісний продукт

вихідної шихти для отримання відновленого або металізованого продукту з подальшим використанням у доменному та сталеплавильному виробництвах.

Як відновлювальні агрегати найбільше застосування знайшли трубчасті, шахтні, ретортні та тунельні печі. Аналогічні печі, що застосовуються в інших галузях промисловості, пристосовані до специфічних умов проведення процесу відновлення.

Тому для розробки оптимальних технологічних параметрів процесу відновлення мартенівського шламу в різних промислових агрегатах необхідно проводити подальші дослідження з розробки ефективних та економічно доцільних методів оздоблення мартенівських шламів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Техніка безпеки виробництва

4.1.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори

В умовах сталеплавильного виробництва основними шкідливостями та небезпеками є електричний струм, продукти неповного окислення вуглецю - СО, високотемпературні гази, що відходять.

Електричний струм з погляду на його людини постає як шкідливий і небезпечний виробничий чинник, оскільки може у певних умов призвести до нещасного випадку з порушенням нормального стану та функцій організму людини аж до летального результату.

Випадки травматизму, спричинені електричним струмом, поділяються на дві групи: електричний удар та електричні травми. З цих видів поразок найбільшу небезпеку становлять електричні удари. Електричний удар - це рефлекторне збудження живих тканин організму, які супроводжуються мимовільними судомними скороченнями м'язів під час проходження електричного струму через тіло людини, тобто. при такому збігу обставин, коли людина є елементом електричного замкнутого ланцюга. Електротравма – це травма, спричинена впливом електричного струму або електричної дуги. Можливо ураження організму людини при цьому можуть бути у вигляді електричних опіків, електричних міток (знаків), металізації шкіри, електрофтальмії та механічних пошкоджень.

Окис вуглецю СО має небезпечні та шкідливі властивості. До небезпечних властивостей відносять властивості газу спалахувати і горіти з вибухом, а також моно окис вуглецю є надзвичайно отруйним з'єднанням, незначна кількість якого в атмосфері здатна призвести до значного погіршення здоров'я - при тривалому

вдиханні можливі незворотні процеси у фізіологічному аспекті у плоть до летального.

Запалення та горіння газу відбувається не завжди, а лише за певних умов. Горіння починається тоді, коли температура газоповітряної суміші буде не нижче за певну величину (~ до 900^0C), званої температурою займання. Мінімальний вміст газів у газоповітряній суміші (в %), при якому можливе займання, називається нижньою концентраційною межею займистості (НКПВ). Максимальний вміст газу, вище якого суміш вже не займається без додаткового підведення тепла або повітря ззовні, називається верхньою концентраційною межею займистості (ВКПВ).

Таблиця 4.1 - Температура займання, °С, та межі займистості горючих газів з повітрям, відсотки газу в газоповітряній суміші

Газ	Температура займання °С	Межа займистості при температурі 20 °С та тиску 101,3 кПа	
		Нижній	Верхній
Окис вуглецю	610	12,5	75
Водень	510	4,0	75

Окис вуглецю - безбарвний газ з практично відсутнім запахом. Він трохи легший за повітря, щільність 1,25 кг/м^3, відносна щільність повітрям 0,967. Окис вуглецю надзвичайно отруйний. Вплив його на фізіологічні процеси залежить від концентрації повітря і тривалості в диханні (табл. 4.2).

На підприємствах чорної металургії спостерігалися випадки вибухів пилу твердих горючих речовин і, зокрема, пилу. Вибухи пилу повітряному середовищі відбуваються лише за певних концентраціях. Для оцінки вибухової небезпеки пилу існує характеристика, яка називається концентраційною межею вибуховості.

Таблиця 4.2 - Дія на людину окису вуглецю, що вдихається з повітряним середовищем

Вміст окису вуглецю в повітрі		Тривалість та характер дії при вдиханні.
%	мг/м^3	
0,01	125	Протягом кількох годин, помітного впливу немає
0,05	625	Протягом 1ч. помітного впливу немає.
0,1	1250	Через 1 годину головний біль, нудота, нездужання.
0,5	6250	Через 20-30 хвилин смерть
1,0	12500	Після кількох вдихів втрата свідомості, через 1-2 хв.

Під концентраційними межами вибуховості (займання) горючих пилів розуміють область концентрації розпорошеного в газовому середовищі речовини, в якій суміш здатна спалахувати від джерела запалення з подальшим поширенням горіння у всьому об'ємі суміші. Граничні концентрації цієї області називаються нижнім (НКПВ) та верхнім концентраційним межами вибуховості (ВКПВ). Останній нестабільний через високі концентрації пилу і сильно змінюється в залежності від конкретних умов. Тому практичне значення верхньої межі невелике.

Значення нижньої концентраційної межі займання аеровзважок металізованих осадових порошків при середньому розмірі зерна 0,53 мм дорівнює 40-64 г/м^3.

Вибухонебезпечними вважаються пилу, НКПВ у яких дорівнює 65 г/м^3 і менше пилу, що має НКПВ понад 65 г/м^3 є пожежонебезпечними. Отже металізований пил є вибухонебезпечним.

4.1.2 Заходи щодо усунення шкідливостей і небезпек

Велике значення у боротьбі з травматизмом та експлуатацією електричних установок, приладів тощо. має правильний підбір кадрів та їх ознайомлення,

інструктажу та навчання правилам технічної безпеки, а також організація робіт у відповідність до вимог технічної безпеки.

Працівники зобов'язані пройти спеціальне навчання правилам техніки безпеки стосовно кола виконуваних ними робіт, а також практичне навчання заходам надання першої допомоги при ураженні електричним струмом, опіках, падіння з висоти і т.д.

При пошкодженні ізоляції електроустаткування напруга може випадково з'явитися на металевих частинах (на корпусі, кожусі, станині, на броні кабелю і т.д.), які у нормальному становищі перебувають під напругою. При поєднанні з металевими конструкціями, що опинилися під напругою, виникає небезпека ураження електричним струмом.

На практиці застосовують такі заходи захисту від ураження електричним струмом:

1) захист від дотику до струмоведучих частин – фізичний;

2) захист від дотику до обладнання, що випадково опинилося під напругою - фізичний;

3) захист від струмів надмірної сили (короткого замикання) – механічна.

У першому випадку застосовують огородження та ізоляцію струмопровідних частин, розміщення їх на недоступній висоті, використання зниженої напруги.

У другому випадку конструктивно простим і дуже ефективним заходом захисту є захисне заземлення. Захисні функції заземлювального пристрою полягають у зниженні до безпечної величини напруги щодо землі на металевих частинах, що опинилися випадково під напругою, що дозволяє усунути небезпеку поразки людини, що доторкнулася до них.

При з'єднанні корпусів та інших конструктивних металевих частин електрообладнання до неодноразово заземлюючого нульового дроту називається захисним зануленням. мережі.

Неприпустимо одночасно виконувати захисне занулення і заземлення в одній і тій же мережі корпусів різних електроустановок;

Аналізуючи існуючі методи запобігання аварії, легко побачити, що вся сучасна техніка вибухопожежобезпеки ґрунтується на трьох принципах запобігання займанню та вибуху.

Перший принцип полягає у виключенні можливості утворення вибухонебезпечного середовища. Він охоплює такі методи, як запобігання витоку пального газу та його рух у напрямках, не передбачених технологічним процесом; запобігання пиловиділенню при перевантаженні та роботі з порошковими горючими матеріалами та ін. Однак у ряді випадків не можна гарантувати реалізацію першого принципу, наприклад при неможливості повністю виключити витік газу, тоді для забезпечення вибухонебезпечності вживають заходів до виключення можливості виникнення джерел займання вибухонебезпечного середовища, запобігання виникненню імпульсів. здатних ініціювати горіння, тобто підпалити існуюче, свідомо вибухонебезпечне середовище (другий принцип) у тих випадках, коли не можна вважати безумовно неможливим утворення вибухонебезпечного середовища та появу імпульсу, здатного її підпалити, вибухонебезпечність технологічних процесів забезпечується використанням такого обладнання, при якому вогнище горіння у разі його запалення буде локалізовано в межах агрегатів або газопроводів, які можуть витримати наслідки згоряння всередині них (третій принцип).

4.1.3 Електрообладнання

Проведення у виробничих приміщеннях, як правило, повинно виконуватись із ізольованих проводів або кабелів. Допускається застосування проводки з неізольованих проводів у приміщеннях, безпечних щодо вибуху чи пожежі, на висоті не менше 3,5 м від підлоги. Забороняється виконувати проводки з неізольованих проводів там, де за характером виробничих процесів можливе зачіплення їх будь-якими предметами. Відстань між неізольованими проводами та обладнанням має бути не меншою 1,5 м при регулярному обслуговуванні обладнання та не менше 1 м при періодичному його обслуговуванні. При розташуванні проводки на висоті менше 2,5 м від землі або підлоги робочих майданчиків або настилів ізольовані дроти необхідно надійно огороджувати або укладати в сталеві труби. Опір ізоляції проводок нормується виходячи з розрахунку 1000 Ом на 1 вольт робочої напруги в мережі.

З погляду техніки безпеки бажано застосовувати електродвигуни закритого типу. Принаймні у електродвигуна відкритого типу необхідно захищати струмопровідні частини, доступні для випадкового дотику.

Щоб уникнути ураження струмом, проводи до електродвигунів повинні бути ретельно ізольовані та надійно захищені від пошкоджень. При виведенні кінців обмоток статора через отвір у корпусі двигунів дроту слід захищати ізолюючими втулками. Клемні дощечки на корпусі електродвигунів потрібно закривати запобіжними коробками. Кожухи електродвигунів повинні бути надійно заземлені (занулені).

Електричні печі становлять небезпеку ураження струмом у разі виникнення напруги на корпусі печі або дотику до елементів, що нагріваються, печі, що знаходяться під напругою. Основними заходами безпеки при експлуатації електропечей є надійне заземлення (занулення) корпусу печей та усунення можливості дотику до частин, що знаходяться під напругою. Для цього

підведення струму повинні бути добре ізольовані та захищені від пошкоджень, а нагрівальні елементи приховані у футеруванні печі.

У печей з відкритим розташуванням нагрівальних елементів необхідно обладнати блокування кришок, тоді в момент підйому кришки напруга знімається з нагрівальних елементів, а при посадці кришки вмикається знову. Для ізоляції працюючих від землі на підлозі біля електропечей слід укладати ізолюючий настил.

4.2 Виробнича санітарія

4.2.1 Природне та штучне освітлення

Незадовільне висвітлення спричиняє травматизму, негативно впливає зір працюючих, і знижує продуктивність праці.

Для освітлення виробничих приміщень застосовується природне та штучне освітлення.

Природне освітлення виробничих будівель здійснюється через вікна у стінах та світлові ліхтарі у даху будівель. Розрізняють освітлення бічне через вікна в стінах будівель і верхнє через ліхтарі будівлі. Раціональним є комбіноване та природне освітлення, що забезпечує хорошу рівномірність освітлення.

Штучне освітлення в металургійних цехах здійснюється лампами розжарювання та люмінесцентними лампами. Розрізняють загальне та комбіноване освітлення. на окремих робочих місцях (у пультах управління, верстатах, при роботі в порожнині агрегатів та т.п.). Пристрій тільки місцевого освітлення не допускається.

За діючими нормами освітленості в металургійних цехах має бути не менше 50 лк при лампах розжарювання та не менше 150 лк при використанні люмінесцентними лампами.

Окрім робочого освітлення, у виробничих приміщеннях встановлюється аварійне освітлення, яке призначається для безперебійного обслуговування агрегатів та обладнання у разі відмови у дії робочого освітлення, а також для безперешкодного виходу назовні у разі аварії. У першому випадку потужність аварійного освітлення приймається щонайменше 10% освітленості, створюваної загальним освітленням, тоді як у другому - досить 0,3 лк, щоб забезпечити світлом шляху евакуації. Аварійне освітлення має бути підключене до незалежного джерела електроенергії.

4.2.2 Вентиляція

Вентиляція - організований повітрообмін - застосовується до створення нормальних метеорологічних умов, видалення шкідливостей, які виділяються і під час різних робіт і технологічних операцій. Залежно від призначення вентиляція може бути припливною та витяжною. Витяжна вентиляція влаштовується для видалення із приміщення забрудненого повітря та викиду його за межі цеху, припливна – для подачі до приміщення чистого повітря.

Залежно від способу переміщення повітря вентиляція може бути природною та механічною. При природній вентиляції переміщення повітря здійснюється за допомогою вентиляторів (радіального одностороннього та двостороннього всмоктування, осьовий).

Залежно від способу організації повітрообміну розрізняють вентиляцію місцеву та загально-обмінну. Місцева вентиляція припливу служить для подачі чистого повітря до певного робочого місця для забезпечення нормалізації повітряного середовища. Найчастіше її застосовують зниження температури в гарячих цехах влітку чи попередження впливу холодних потоків взимку. Місцева витяжна вентиляція забезпечує видалення перегрітого або забрудненого повітря

від місць його утворення, що унеможливлює поширення шкідливих виділень по приміщенню та забруднення повітря.

Загально-обмінну вентиляцію влаштовують у випадках, коли шкідливі виділення утворюються у всьому обсязі приміщення. Насправді застосовують змішану вентиляцію, тобто. одночасно загальну і місцеву, і загально-обмінну, а також природну та механічну.

Природний повітрообмін у виробничому приміщенні відбувається під впливом двох факторів: різниці температур (а внаслідок цього щільностей зовнішнього та внутрішнього повітря), що створює тепловий тиск, та дія вітру, що створює вітровий тиск. Такий повітрообмін, який здійснюється заздалегідь у заданих обсягах і регулюється відповідно до зовнішніх метеорологічними умовами, називається аерацією.

На практиці зустрічаються різні конструктивні варіанти будівлі: так, у будівлі, на перекритті якої є світловий ліхтар з стулками, що відкриваються, тепловий тиск буде більше, ніж у будівлі, що не має світлового ліхтаря. За потреби збільшення теплового тиску на будівлю влаштовують витяжні шахти. Тепловий тиск при цьому суттєво зростає відповідно до висот шахти. У будинках цехів, що не мають ліхтарів, влаштовують витяжні шахти або труби, завдяки яким створюється великий тиск, що сприяє збільшенню повітрообміну. Шахти повинні височіти над ковзаном даху будівлі не менше ніж на 1 м. На витяжних шахтах та трубах встановлюються дефлектори, що дозволяють збільшити повітрообмін за рахунок вітрового тиску. Під впливом вітру навколо більшої частини обічайки дефлектора створюється тиск, знижений проти атмосферним, й у зону розрідження інтенсивно спрямовується повітря. Встановлюють дефлектори на витяжних трубах таким чином, щоб вони були на 1,5 -2 м вище ковзана даху.

4.2.3 Побутові і допоможні приміщення

До побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних та побутових потреб трудящих під час перебування їх на роботі: приміщення для прийому їжі, вбиральні, душові, вбиральні, умивальні, курильні, пральні, кімнати особистої гігієни жінок, приміщення для годування немовлят, обігрівання працюючих та питного тепло-, водопостачання.

Побутові приміщення, якими працюючі користуються в неробочий час, приміщення для прийому їжі, вбиральні, душові, вбиральні, умивальні, курильні, пральні, кімнати особистої гігієни жінок, здоровпункти та ін), розміщуються поза цехом. При великій кількості побутових приміщень, що працюють у цеху, розміщуються в будівлях, що окремо стоять, з'єднаних з ними надземними галереями або тунелями.

Побутові приміщення розміщують якомога ближче до цеху. За наявності в цехах газів, диму тощо побутові приміщення розташовують з навітряного боку цеху.

Для періодичного відпочинку працюючих (без зняття робочого одягу) на відстані не більше 200 м від робочих місць передбачають місця відпочинку. Їх влаштовують у вигляді альтанок або кабін для відпочинку, в яких влаштовують лави зі спинками. У ці кабіни (альтанки) подається охолоджене або кондиціоноване повітря, а також питна та газована підсолена вода.

4.2.4 Індивідуальні засоби захисту

Засоби індивідуального захисту, призначаються для запобігання робітникам від впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів: вогню та бризок розплавленого металу, падаючих предметів, забрудненого отруйними парами газу та пилом повітря, електричного струму тощо. До засобів індивідуального захисту відносяться: спецодяг, спецвзуття, засоби захисту рук,

органів дихання, очей та голови. Засоби індивідуального захисту повинні відповідати захисним, фізіолого-гігієнічним та експлуатаційним вимогам: бути нешкідливими, зручними та надійними у роботі; забезпечувати хорошу волого- та повітропроникність; легко очищатись від забруднень; зберігати свої захисні властивості після чищення.

У металургійному виробництві спецодяг робочих основних професій повинен мати вогнезахисне просочення, щоб запобігати травмуванню іскрами палаючого металу та шлаку та оберігати від опіків. У місцях, де виділяється велика кількість пилу, рекомендується застосовувати вогнезахисний комбінезон із щільної бавовняної тканини. На роботах, пов'язаних з небезпекою травмування голови (механічні пошкодження, ураження електричним струмом), як захисний засіб застосовують різні каски з пластмаси, поліетилену та дюралюмінію.

4.3 Протипожежна безпека виробництва

4.3.1 Характеристика виробництва з вибухопожежної небезпеки

За ступенем пожежної небезпеки всі виробництва поділяються на 5 основних категорій, що позначаються літерами А, Б, В, Р та Д.

До категорії А відносять найбільш небезпечні виробництва, де застосовують речовини, займання яких може статися внаслідок впливу води або кисню повітря: рідини з температурою спалаху пари 28°С і нижче, горючі гази та рідини з нижньою межею займистості 10% і менше до обсягу повітря , гарячі гази та рідини у кількості, достатній для утворення з повітрям вибухонебезпечних сумішей.

До категорії Б відносяться виробництва, в яких застосовують рідини з температурою спалаху парів 28-120°С; горючі гази з нижньою межею концентрації понад 10% обсягу повітря; виробництва, пов'язані з виділенням

перехідних у вибухонебезпечний стан пального пилу або волокон у кількості, здатній утворити з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Сюди відносять цехи приготування та транспортування вугільного пилу, промивально-пропарювальні станції цистерн та тари для мазуту та інших рідин з температурою спалаху пари в межах 28 - 120°С; мазутне господарство електростанцій тощо.

До категорії, відносять виробництва, в яких застосовують тверді згоряються речовини і рідини з температурою спалаху парів понад 120°С.

До таких виробництв відносять: деревообробні підприємства, цехи регенерації мастил, пековарки, склади горючих і мастильних матеріалів, відкриття склади олії та маслене господарство електростанцій та маслопідвали прокатних цехів, розподільні пристрої з вимикачами та апаратурою, що містять більше 60 кг оливи в одиниці обладнання, транспортні галереї та естакади для вугілля та торфу, закриті склади вугілля, пакгаузи змішаних вантажів, наносні станції з перекачування рідин з температурою спалаху парів вище 120°С тощо.

До категорії Г відносять ділянки виробництва з обробки не згоряються речовин у палаючому або розплавленому стані, що супроводжується виділенням тепла та виділенням полум'я іскор, а також виробництва, пов'язані зі спалюванням твердого, рідкого та газоподібного палива.

До категорії Д відносять виробництва з переробки вогнетривких речовин у холодному стані.

4.3.2 Профілактичні протипожежні заходи

Управління пожежної охорони та їх органи у порядку державного пожежного нагляду розробляють та створюють обов'язкові для всіх підприємств правила, інструкції та технічні норми щодо протипожежної охорони; здійснюють контроль за виконанням затверджених положень, а також дотриманням

протипожежних заходів під час проектування та експлуатації підприємств; проводять експертизи проектів щодо пожежної безпеки беруть участь у прийомі готових об'єктів; встановлюють порядок спільної роботи пожежних організацій, використання їх технічного озброєння для запобігання та ліквідації пожеж та стихійних лих; здійснює контроль та перевірку готовності пожежних організацій та справність засобів гасіння пожеж у всіх відомствах, установах та організаціях.

Представники органів державного нагляду мають право проводити огляди будь-яких об'єктів, вимагати від організації необхідні для з'ясування пожежної безпеки відомості, матеріали та документи, зупиняти частково чи повністю роботу цього підприємства за наявності небезпеки виникнення пожежі, притягувати до адміністративної чи судової відповідальності винних осіб.

На великих промислових підприємствах є частини пожежної охорони, які організують гасіння пожеж і здійснюють контроль за виконанням профілактичних заходів на території, що охороняється. Пожежні команди мають у своєму розпорядженні спеціальні автомобілі обладнання для гасіння пожежі та порятунку людей.

Завдання пожежної охорони підприємства - виявлення та усунення можливих причин виникнення спалаху.

ЗАВДАННЯ ПОЖЕЖНОЇ ОХОРОНИ ПІДПРИЄМСТВА

Відповідальність за дотримання необхідного протипожежного режиму за своєчасне виконання протипожежних заходів покладається на керівника підприємства та начальників цехів. Відповідальні за пожежну безпеку на окремих дільницях особи призначаються наказом керівника підприємства.

Для кожного підприємства (цеху, майстерні, складу тощо) на основі типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств розробляються загальнооб'єктові та цехові протипожежні інструкції.

Керівник підприємства наказом призначає пожежно-технічну комісію, до складу якої входять головний інженер (голова), начальник пожежної охорони, енергетик, технолог, механік, інженер з охорони праці, будівельник та інші фахівці.

Для проведення профілактичної роботи та гасіння пожеж на промислових підприємствах створюються добровільні пожежні дружини.

До заходів щодо запобігання поширенню пожеж відносять протипожежні розриви, протипожежні перепони та організація шляхів для евакуації людей під час пожеж.

Протипожежні розриви між будинками та спорудами призначають залежно від категорії пожежної небезпеки виробництва та ступеня вогнестійкості будівель.

Таблиця 4.3 - Мінімальні протипожежні розриви

Ступінь вогнестійкості будівель та споруд	Розриви при ступені вогнестійкості іншої будівлі або споруди, м		
	I та II	III	IV та V
I та II	10	12	16
III	12	16	18
IV та V	16	18	20

Якщо поблизу складів знаходяться будівлі, в яких розташовані виробництва категорій А та Б, а також житлові та громадські будівлі, то протипожежні розриви між такими будинками та складами лісоматеріалів, легкозаймистих та горючих рідин автоматично збільшуються на 25%.

Для проїзду пожежних машин можуть бути використані дороги, призначені для виробничих потреб.

Протипожежні перешкоди влаштовують для запобігання розповсюдженню пожежі.

Двері, ворота та огородження інших отворів у протипожежних перешкодах, згідно з діючими нормами, влаштовують незгоряними або важко згоряними з межею вогнестійкості не менше 1,5 год, причому загальна площа отворів не повинна перевищувати 25% площі брандмауерів.

Допоміжні приміщення виробничих будівель, які розміщені в прибудовах, слід відокремлювати від основної будівлі брандмауером. При розміщенні допоміжних приміщень усередині виробничих будівель стіни та перекриття таких приміщень повинні бути негорючими в будинках I та II груп вогнестійкості та важкої згоряння у будинках III та IV груп вогнестійкості. Не дозволяється розміщувати допоміжні приміщення у будинках категорії А та Б.

При проектуванні виробничих, допоміжних та інших будівель необхідно передбачити можливість безперешкодного виходу з приміщень у звичайних умовах і особливо у разі пожеж, вибухів та інших аварій. Шляхи евакуації повинні бути мінімальної довжини, щоб у разі потреби можна було якнайшвидше покинути приміщення.

Сумарну ширину сходових маршів (виключаючи 1-й поверх) та ширину дверей, коридорів, проходів на шляхах евакуації у всіх поверхах приймають, виходячи з розрахунку не менше 0,6 м на 100 осіб. Мінімальна ширина евакуаційних дверей має бути 0,8 м, а висота дверей та проходів - не менше 2 м.

Для доступу на дах всі будівлі висотою більше 70 м необхідно обладнати зовнішніми металевими пожежними сходами, причому будівлі з ліхтарями та перепадами висот повинні мати спеціальні пожежні сходи, що з'єднують ділянки покрівлі, розташовані на різних рівнях.

Залежно від висоти будівель влаштовують вертикальні чи похилі пожежні сходи. Відповідно до протипожежних норм для будівель заввишки не більше 30 м влаштовують вертикальні сходи шириною не менше 0,6 м, а для вищих

будівель - похилі сходи з кутом нахилу не більше 80°, шириною 0,7 м з проміжними майданчиками не рідше ніж через кожні 8 м за висотою.

4.3.3 Засоби гасіння пожеж

Вибір вогнегасних засобів та речовин для гасіння пожежі залежить від фізико-хімічних властивостей палаючих матеріалів. Вогнегасні засоби можуть бути рідкі (вода, розчини солей), газоподібні (водяні пари, газоподібна вуглекислота), піноподібні, тверді (суха земля, тверда вуглекислота, що виділяє вогнегасні гази).

Найбільш поширеним засобом боротьби з вогнем є вода. Подачу води здійснюють по всій території металургійного підприємства. Її розрахункові витрати встановлюють залежно від вогнестійкості та поверховості будівлі, ступеня благоустрою та технічного стану доріг, а також наявності системи опалення у будинках.

Для гасіння пожежі необхідно струмінь води подавати під тиском, величина якого визначається протипожежними нормами, залежно від низки умов. Протипожежні водопроводи бувають високого та низького тиску. У водопроводі високого тиску необхідний тиск у мережі створюється стаціонарними пожежними насосами. Ці насоси обладнані пристроєм, що забезпечує пуск не пізніше ніж через 5 хвилин після пожежі, після чого у водопровідній мережі виникає встановлений проектом напір, достатній для використання внутрішніх пожежних кранів. У водопроводах низького тиску тиск, необхідний для гасіння пожежі, створюється автонасосами, встановленими на пожежних автомобілях.

Водопровідні мережі, призначені для протипожежних потреб, виконують кільцевими. В окремих випадках дозволяється влаштовувати тупикові лінії

водопроводу до окремої будівлі або споруди, довжина цієї лінії не повинна перевищувати 200 м.

До місця пожежі прокладають пожежні рукави. Довжина лінії рукавів не повинна бути більшою 100 м, так як при більшій довжині струмінь не матиме достатнього тиску.

У будівлях та спорудах, де розміщені особливо небезпечні в пожежному відношенні виробництва, встановлюють автоматичні діючі пристрої для гасіння пожеж спринклерним або дренчерним. Спринклерною установкою обладнають лише опалювальні будівлі, а дренчерною - не опалювані.

У виробничих приміщеннях обладнають протипожежні куточки, з ящиками з піском, ємностями з водою і пожежно-інвентарним щитом з набором інвентарю: лопат, багрів, гаків, сокир, мішковин і т.д. Для гасіння невеликих вогнищ пожежі під час займання твердих горючих матеріалів, а також різних горючих рідин на невеликому майданчику (не більше 1 м^2) застосовують ручні пінні вогнегасники ОП-5, а також ручні вуглекислотні вогнегасники ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8. Вуглекислота не проводить струму і тому може застосовуватися при гасінні пожеж електроустановок, електропроводів, що горять.

4.4 Розрахунок захисного заземлення установки

Для розрахунку застосовуємо метод коефіцієнтів використання електродів, що враховує однофазну структуру ґрунту.

Допустимий опір заземлювального пристрою печі визначається то таблиці $R_д = 3$ Ом.

Питомий опір ґрунту, в якому припускаємо, розміщувати електроди заземлення визначають за даними таблиці $\rho = 400$ Ом.

Як природні заземлювачі найчастіше використовують трубопроводи або оболонки кабелів. Пічна ділянка обладнана системою заземлення представлена на графічній частині №6.

$$R_e = R_{з1} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt} \quad (4.1)$$

t =0,7 мℓ =3 мℓ ≥d

де: ρ - питомий опір ґрунту;

R_e = 103,18 Ом

Оскільки $R_e > R_д$, паралельно природним заземлювачам прокладають штучні струмоводи. Необхідний опір штучних заземлювачів за наявності природних заземлювачів:

$$R_u \leq R_e R_д/(R_e - R_д); \quad (4.2)$$

$$R_u \leq 103{,}18 \text{ x } 3/ (103{,}18 – 3) = 3{,}99 \text{ м} \quad (4.3)$$

Конфігурація заземлення та тип - вертикальні електроди, розташовані в ряд, та сполучна смуга.

Визначає опір струму розтікання з одного вертикального заземлювача RB_1:

$$R_e = R_{з1} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt} \quad (4.4)$$

$$R_{в1} = \frac{400}{2*3.14*3}\left(\frac{2*3}{0.1} + \frac{1}{2}\ln\frac{4*0.7+3}{4*0.7-3}\right) = 92 \text{ Ом} \quad (4.5)$$

Кількість паралельно з'єднаних заземлювачів:

$$n' = RB_1/R_I \cdot \eta_e, \quad (4.6)$$

де η_e - коефіцієнт використання заземлювачів, що враховує взаємне екранування (вибираємо орієнтовно)

$$n' = 92/3{,}09 * 0{,}9 = 32 \text{ шт} \quad (4.7)$$

Еквівалентний опір струму розтікання штучних заземлювачів:

$$R_u = RB_1 \cdot R_г / (RB_1 \cdot \eta_г + R_г \cdot n \cdot \eta_B), \quad (4.8)$$

Де $\eta_г$ – коефіцієнт використання горизонтального електрода з урахуванням вертикальних електродів (г = 0,31):

$$R_п = 959 \cdot 161 / (959 \cdot 0,31 + 161 \cdot 32 \cdot 0,73) = 37,6 \text{ Ом}. \quad (4.9)$$

Отриманий опір штучних електродів має перевищувати необхідного (4 Ом) тобто.

$$R_u \leq R_п \, (3,3 \leq 3,99 \text{ Ом}) \quad (4.10)$$

$$\text{Еквівалентний опір: } R_з = R_п \cdot R_е / (R_п + R_е) \quad (4.11)$$

$$R_з = 3,3 * 103,18 / (3,3 + 103,18) = 2,96 \text{ Ом} \quad (4.12)$$

Загальний еквівалентний опір не повинен перевищувати допустимий опір, тобто Rз ≤ Rд(2,96 Ом ≤ 3 Ом). (4.13)

Значить захисне заземлення печі складається з природного заземлення та розташованих у ряд штучних заземлень (32 заземлювачі, якими можна використовувати стрижень, трубу, оболонку кабелю).

Довжина кожного заземлювача 3 м, діаметр 100 мм, відстань між вертикальними заземлювачами -2 м. Між собою заземлювачі з'єднані горизонтальними заземлювачами як сталевого прутка.

ВИСНОВКИ

1. Одним із основних видів промислових відходів є сталеплавильні шлами металургійних підприємств. Завдяки своїй доступності, дешевизні та високому вмісту оксидів заліза шлами можуть успішно замінити залізовмісні компоненти шихти при виробництві різних марок сталі, феросплавів, губчастого заліза та інших видів металургійної продукції. Шлами сталеплавильного виробництва – одні з найперспективніших вторинних ресурсів чорної металургії. Однак в даний час лише 30-35% сталеплавильних шламів піддаються вторинному рециклінгу.
2. В роботі була проведена серію експериментів з використанням як відновника мартенівського шламу монооксиду вуглецю (CO).
3. Для оцінки відновлюваності мартенівського шламу були проведені експерименти щодо відновлення в неізотермічних умовах аглоруди Запорізького залізорудного комбінату та оксиду заліза (III) категорії хімічно чистий.
4. Відновлення вищих оксидів протікає східчасто, тобто утворюються спочатку нижчі оксиди (Fe_3O_4, FeO), а потім кристали заліза. Максимальна швидкість відновлення спостерігається за ступенем відновлення 30% для мартенівського шламу, 60% – для аглоруди Запорізького залізорудного комбінату та 20% – для оксиду заліза (III) категорії х.ч. Уповільнення швидкості відновлення на певних ділянках графіка пояснюється труднощами, спричиненими перебудовою кристалічних ґрат $Fe_3O_4 \rightarrow FeO$ та $FeO \rightarrow Fe$. Однак у мартенівському шламі вміст заліза у Fe_2O_3 та Fe_3O_4 відповідає співвідношенню 1:1 (що встановлено петрографією), тому на певному етапі (α=20-60%) швидкість відновлення мартенівського шламу вище, ніж оксиду заліза (III) категорії х.ч.
5. Для вивчення кінетики відновлення мартенівського шламу твердими відновниками застосовували різні сорти вугільного пилу та спектральночистий графіт.

6. У разі відновлення мартенівського шламу твердими відновниками доцільно застосовувати вугільний пил марки ОС внаслідок її низької вартості, низького вмісту шкідливих домішок (зокрема сірки) та високої реакційної здатності.

7. Одним із загальновизнаних на сьогоднішній день способів зниження споживання дефіцитного коксу для потреб чорної металургії за рахунок використання природного газу, мазуту та інших дешевих видів палив є отримання металізованих котунів. Використання металізованої шихти покращує показники доменної плавки і може замінити частину скрапу та знизити витрати для сталеплавильних печей. Таким чином, після проведення подальших досліджень з окомкування мартенівського шламу, можна порекомендувати його як залізовмісний продукт вихідної шихти для отримання відновленого або металізованого продукту з подальшим використанням у доменному та сталеплавильному виробництвах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.

2. Дурягіна З. А., Лизун О. Я., Пілюшенко В. Л. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.

3. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану (об'єм поверхні та поверхня в об'ємі) : монографія / М.М. Бережний та ін. Кривий Ріг : «Мінерал», 2007. 291 с.

4. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 405 с.

5. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.

6. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.

7. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко. За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім "Вініченко", 2016. 224 с.

8. Збожна О. М. Основи технологій : навч. посіб. Тернопіль : Картбланш, 2002. С. 30–58.

9. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45−48.

10. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.

11. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. С. 374.

12. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000. С. 264.

13. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми : Університетська книга, 2002. С.259.

14.Державні санітарні правила "Підприємства чорної металургії" ДСП 3.3.1.038-99.

15.Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».

16.Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» 14.07.2020 № 1596.

ДОДАТОК А

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий
інститут ім. Ю. М. Потебні

ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Матеріали
І Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю. М. Потебні

09–10 травня 2024 року

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)
І-62

Редакційна колегія:

В. В. Храпкіна, доктор економічних наук, професор, професор кафедри маркетингу та управління бізнесом, Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ);

О. Г. Вагонова, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної економіки, підприємництва та публічного управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро)

Рекомендовано до друку
Рішенням Вченої ради Запорізького національного університету
(протокол № 14 від 27 червня 2024 року)

І-62 **Інженерні інновації та розбудова національної економіки** : матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (09–10 травня 2024 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. – 1020 с.

ISBN 978-617-554-288-0

У виданні представлені тези доповідей учасників І Міжнародної науково-практичної конференції «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (09–10 травня 2024 року), підготовлені за такими базовими тематичними напрямами, як: Цифрова трансформація економіки України: Industry 4.0, інноваційне підприємництво, національна безпека; Європейські інтеграційні процеси розбудови національної економіки: фінанси, оподаткування, страхування; Фізична електроніка та біоінженерія: тренди розвитку; Інженерна екологія. Сучасні технології кольорової та чорної металургії; Інновації в інженерії програмного забезпечення; Електрична інженерія: відновлювані джерела енергії, «зелена» воднева енергетика, інтеграція в енергетичну інфраструктуру Європи; Архітектура та будівництво: фундатор сучасних будівельних технологій; Механічна інженерія: сучасне обладнання та новітні технології в промисловості; Філософія управління та адміністрування: ризик-менеджмент і цифровізація на макро- і мікрорівнях; Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка: сучасні виклики.

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)

© Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету, 2024
© Автори статей, 2024

ISBN 978-617-554-288-0

УДК 669.183.28

Штабенко Юрій Іванович
магістрант, 1 курс, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

Кириченко Олексій Геннадійович
к. т. н., доцент, доцент кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ МАРТЕНІВСЬКИХ ШЛАМІВ

Актуальність. Щорічно в Україні утворюється близько 1 млрд тонн відходів промислового виробництва, з яких приблизно 10–15 % використовуються як вторинні матеріальні ресурси, інші надходять до різних сховищ (шламонакопичувачів), їх загальна маса досягла 25 млрд тонн.

Проблема переробки техногенних відходів є невідкладною не лише для України, а й для світової спільноти. Нині кожного жителя планети щорічно видобувається 45 т сировини, а переробки їх у продукт споживання витрачається 800 т свіжої води, 2,5 кВт потужності, переміщається 400 т гірської породи. У цьому кінцевий продукт становить лише 2 % споживаних природних ресурсів, інші ж 98 % перетворюються на відходи [1].

Одним із основних видів промислових відходів є сталеплавильні шлами металургійних підприємств. Завдяки своїй доступності, дешевизні та високому вмісту оксидів заліза шлами можуть успішно замінити залізовмісні компоненти шихти при виробництві різних марок сталі, феросплавів, губчастого заліза та інших видів металургійної продукції.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш повно інформація щодо цього питання представлена у роботах [1; 2].

Мета. Аналіз існуючих способів утилізації сталеплавильних шламів у чорній металургії.

Основний текст. Залежно від методів очищення газів, що застосовуються, продукти уловлювання виходять або у вигляді сухого пилу, або у вигляді шламів – суміші води і нерозчинних у ній твердих частинок. Пили та шлами утворюються при очищенні технологічних та аспіраційних газів практично у всіх металургійних переділях. Нижче наведено характеристики пилів та шламів сталеплавильного виробництва.

Питомий вихід пилу з мартенівської печі дорівнює 8–17 кг/т, двованної печі 10–27 кг/т сталі та від киснево-конвертерних агрегатів становить 12–25 кг/т при верхньому продуванні металу та ~ 10 разів менше за донної продування. Мартенівські і конвертерні шлами на 65–90 % складаються з оксидів заліза, вміст чистого заліза в мартенівських шламах становить 50–65 %, а киснево-конвертерних – 40–80 %, тобто, за цим показником вони не поступаються концентратами, отриманими при збагаченні залізних руд. Крім того, в них міститься, %: 0,7–1,9 SiO_2; 0,2–1,0 Al_2O_3; 0,1–0,8 CaO; 0,5–3,0 MgO; <1,0 MnO; <0,4 P_2O_5. Пил двованної печі має такий склад, %: 30,4 Fe_2O_3; 48,3 FeO; 1,2 SiO_2; 4,3 CaO і т. д. [2].

Шлам є неправильною форми частинки шихти, винесені потоком газу з простору печі, сферичні оболонки бульбашок оксиду вуглецю з металу і шлаку, що утворилися в зоні контакту продувного струменя кисню з металом. Крім того, на початку плавки з'являється в тій же зоні пил дисперсного походження з медіанним розміром 0,08 мкм, що утворює між собою зростки; в ній міститься 5–15 % (за масою) великих частинок розміром 10 мкм і більше. Дрібнодисперсні частинки в основному утворюються внаслідок термічного диспергування поверхневої плівки металу в зоні контакту його з киснем. На останніх 2–3 хвилинах плавки тонкодисперсний пил утворюється в результаті випаровування металу та оксиду Fe (II) у цій зоні та конденсації їх пар у холодніших частинах газового тракту. Великі фракції пилу є частинками шихти, крапельки шлаку і оболонки бульбашок оксиду вуглецю, винесені з ємності газовим потоком.

Мартенівський пил в основному складається з мінералів заліза – магнетиту, вюститу та гематиту, у невеликій кількості він містить силікати. У шламах кисневих конвертерів переважають мінерали: маггеміт, магнетит, вюстит, крім того, містяться плеонаст, галактит, силікати, кварц, вуглецеву та склоподібну речовини. Шлами газоочисток сталеплавильних печей мають досить високу щільність (4,0–5,1 г/см³) Характеристика шламів мартенівських та киснево-конвертерних цехів деяких металургійних комбінатів України наведено у таблицях 1–3.

Таблиця 1

Хімічний склад шламу газоочищення мартенівських печей, % (мас.)

Показник	Комбінат			
	Дніпровський	Запоріжсталь	ArcelorMittal Kryviy Rig	Макіївський
1	2	3	4	5
$Fe_{заг}$	57,9	65,95	63,7	50,0
FeO	0,70	2,3	2,6	1,34

1	2	3	4	5
Fe_2O_3	82,1	91,74	88,2	70,0
SiO_2	1,04	1,3	1,48	1,89
Al_2O_3	0,36	0,21	0,27	0,21
CaO	1,30	1,6	1,06	9,05
MgO	1,89	2,07	1,95	0,45
Na_2O	0,55	0,25	0,11	0,20
P	0,036	0,05	0,026	0,065
S	1,70	0,027	0,064	0,43
MnO	0,44	0,64	0,71	0,48
K_2O	0,95	0,1	0,09	0,15
Zn	0,006	0,95	0,84	0,003

Таблиця 2

Хімічний склад шламів конвертерних газоочищення на підприємствах чорної металургії, % (мас.)

Показник	Комбінат			
	ArcelorMittal Kryviy Rig цех № 1	ArcelorMittal Kryviy Rig цех № 2	Єнакіїв-ський	Челябін-ський
$Fe_{заг}$	63,4	45,9	48,0	59,4
Fe_2O_3	72,3	52,7	60,2	78,3
FeO	16,6	11,6	7,49	5,96
CaO	3,30	16,0	14,0	5,68
SiO_2	2,28	2,93	2,66	1,40
Al_2O_3	0,31	0,36	0,20	0,11
MgO	0,29	14,6	0,94	0,15
K_2O	0,16	0,19	0,16	0,26
Na_2O	0,20	0,15	0,17	0,24
Mn	1,21	1,05	1,68	–
P	0,036	0,048	0,054	0,046
S	0,067	0,22	0,21	0,08
Zn	0,05	0,74	0,68	1,62
Pb	0,03	0,15	0,15	0,61
C	1,11	3,42	1,03	1,03

Таблиця 3

Гранулометричний склад шламів газоочищення мартенівських печей, % (мас.)

Клас крупності, мм	Дніпровський	Запоріжсталь	ArcelorMittal Kryviy Rig	Макіївський
>2,5	–	4,3	–	0,8
1,6–2,5	–	4,6	–	0,4
1,0–1,6	–	5,6	–	0,4
0,63–1,0	0,2	6,7	1,1	1,2
0,315–0,63	1,8	12,8	5,5	7,5
0,16–0,315	2,6	13,7	3,6	5,2
0,1–0,16	1,4	11,3	2,8	3,1
0,063–0,1	2,3	15,4	4,2	2,4
0,05–0,063	1,0	8,3	2,3	1,1
0,032–0,05	9,3	5,1	12,0	6,8
0,016–0,032	37,6	8,6	18,7	21,4
0,008–0,016	22,3	1,0	12,2	12,4
<0,008	21,5	2,6	37,6	37,3

Висновок. Шлами сталеплавильного виробництва – одні з найперспективніших вторинних ресурсів чорної металургії.

Список використаних джерел

1. Шатоха В. І. Екологічне забезпечення виробництва чавуну. Дніпропетровськ : Пороги, 2001. 181 с.
2. Котляр М. І., Гогенко О. А., Шатоха В. І., Кріпак С. Н. Управление свойствами агломерационных шихт в условиях утилизации металлургических шламов путем добавки торфа активированного. *Системы технологии. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. Випуск 3 (26). Дніпропетровськ, 2003. С. 105–115.