

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Металургійних технологій
Спеціальність 136 – Металургія
Форма навчання Денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

НІЩИК ЄЛІСЕЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Дослідження процесів обпалення залізородної сировини з метою видалення цинку та міді
(повна назва теми)

за матеріалами металургійних підприємств України і Європи
(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

д.т.н., професор
(наук. ступінь, вчене звання)


(підпис)

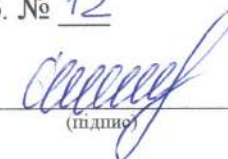
Кассім Д.О.
(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 12.06. 2025 р. № 12

Завідувач кафедри


(підпис)

д.т.н., професор
Наук. ступінь, вчене звання

Д.О. Кассім
Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра металургійних технологій

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 136 – Металургія
(шифр і назва)

Завідувач кафедри **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Д.О. Кассім

(підпис)

проф. Д.О. Кассім

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

« 04 » квітня

2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

НІЩИК ЄЛІСЕЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра:

Дослідження процесів обпалення залізорудної сировини
з метою видалення цинку та міді

керівник кваліфікаційної роботи Кассім Дар'я Олександрівна, д.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 03.06.2024

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті, патенти,
промислові дослідження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

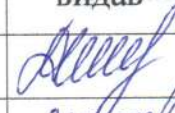
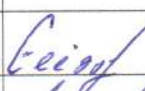
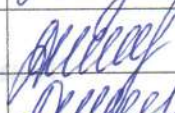
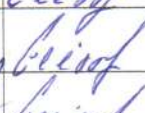
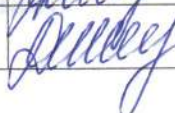
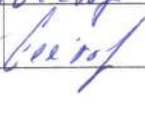
4.1. Аналітична частина: дослідження процесів обпалення піритних
огарків з метою підвищення якості залізозмісного продукту; дослідження
параметрів магнетизуючого випалу піритних огарків

4.2. Основна частина: вивчення десульфурзації при хлорувальному
випалюванні окатишів; закономірності видалення сірки та кольорових
металів під час випалювання шихти з піритного огарку

4.3. Охорона праці: розглянути основні небезпечні та шкідливі чинники у
агломераційному цеху, розглянути методи боротьби з ними.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічний матеріал повинен в повній мірі відповідати темі диплому та відобразити його суть та запропоновані проектні рішення

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Кассім Д.О., професор		
2 Основна частина	Кассім Д.О., професор		
3 Охорона праці	Кассім Д.О., професор		


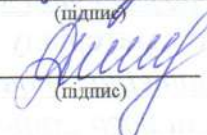
7. Дата видачі завдання 04 квітня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	<u>11.04.2025</u>	
2.	Основна частина	<u>18.04.2025</u>	
3.	Охорона праці	<u>25.04.2025</u>	
4.	Оформлення пояснювальної записки	<u>02.05.2025</u>	
5.	Виконання графічної частини	<u>16.05.2025</u>	
6.	Подання роботи до кафедри	<u>07.06.2025</u>	
7.	Захист роботи в ЕК		

Студент

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

(підпис)

Ніщик Є.В.
(прізвище та ініціали)

Кассім Д.О.
(прізвище та ініціали)

ВІДОМІСТЬ дипломної роботи бакалавра
(назва випускної кваліфікаційної роботи)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	К-сть. лис-тів	№ екз	Примітка
			<u>Документація загальна</u>			
1	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.ПЗ	Пояснювальна записка	54		
			Слайди			
2	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.01	Показники мокрої магнітної сепарації піритного недогарка	1		
3	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.02	Хімічний і гранулометричний склад піритних недогарків	1		
4	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.03	Вплив тривалості магнетизуючого випалу піритних недогарків у струмі суміші 10 % + 90 % CO ₂ при різних температурах на показники мокрої магнітної сепарації (ммс)	1		
5	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.04	Вплив тривалості магнетизуючого випалу піритних недогарків у струмені суміші 10 % H ₂ + 90 % CO ₂ за різних температур на показники мокрої магнітної сепарації	1		
6	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.05	Зміна залишкового вмісту хлору і кольорових металів під час ізотермічного випалювання шихти протягом 30 хв, з використанням в якості хлоратора CaCl ₂	1		
7	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.06	Зміна залишкового вмісту кольорових металів під час ізотермічного випалювання шихти протягом 30 хв із використанням в якості хлоратора хлорного вапна	1		
8	A4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.07	Зміна залишкового вмісту сірки і хлору під час ізотермічного випалювання шихти протягом 30 хв із використанням в якості хлоратора MgCl ₂	1		

					ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив		Ніщик Є.В.		07.06.25					
Керівник		Кассім Д.О.		07.06.25					
Н.контр.		Кассім Д.О.		07.06.25					
Затв.		Кассім Д.О.		07.06.25					
					Відомість випускної роботи бакалавра				
					ННТІ ДУЕТ каф. Металургійних технологій гр. МТ-22ск				

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка: 54 сторінки, 17 рисунків, 2 табл., 21 джерело.

Об'єкт дослідження – процеси обпалення залізорудної сировини з метою видалення кольорових металів з піритних огарків.

Мета роботи – дослідження різних параметрів агломераційного процесу і виробництва окатишів з шихти з підвищеним вмістом кольорових металів в умовах сучасних металургійних виробництв України та світу.

Методи досліджень – аналіз літературних даних, в яких приведені дослідження інститутів і комбінатів, пов'язаних з даним питанням.

Вивчені дослідження, в яких було виконано магнетизуючий випал із застосуванням водню та окису вуглецю у суміші з вуглекислою при температурах 500-750 °С. Показано, що в результаті магнетизуючого випалу піритного огарка і подальшого збагачення може бути отриманий концентрат з 64 % Fe; 0,7-1,0 % S і 5,4-7,0 % SiO₂ при вилученні заліза в концентрат близько 93 %.

Відзначено, що при використанні водню найбільш повне вилучення заліза в концентрат і вихід концентрату досягаються за час витримки близько 15 хв, а при використанні окису вуглецю – 20 хв; при цьому температура відновлення воднем піритного недогарка на 100-150 °С нижче, ніж температура відновлення окисом вуглецю. Вихід концентрату у разі застосування водню, наприклад при 500 °С, виявляється у два рази вищим, ніж при використанні окису вуглецю. Для магнетизуючого випалу піритних недогарків крім газоподібних відновників використовували також твердий відновник. Показано, що використання в якості відновника твердого палива (коксіка) менш ефективно порівняно з газоподібним.

Для ефективного видалення як сірки, так і кольорових металів з піритних огарків необхідні різні умови. Розглядаються варіанти розділення етапів видалення або використання комбінованих схем з контрольованою атмосферою та введенням хлораторів. Високий вміст кремнезему в огарках може

ускладнювати процес випалу через утворення легкоплавких сполук. Зменшення вмісту кремнезему шляхом збагачення може сприяти підвищенню температури випалу та покращенню видалення сірки.

Загалом, дослідження показує, що хлорувальне випалювання є перспективним методом для комплексної переробки піритних огарків з видаленням сірки та цінних кольорових металів. Однак для оптимізації процесу необхідно враховувати вплив типу хлоратора, температури, складу атмосфери та особливостей структури окатишів.

ПІРИТНІ ОГАРКИ, МІДЬ, ЦИНК, СІРКА, АГЛОМЕРАТ, СПІКАННЯ, ХЛО-
РУВАННЯ, ОКАТИШІ, ТЕРМОЗМІЦНЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1. Дослідження процесів обпалення піритних огарків з метою підвищення якості залізовмісного продукту	10
1.1.1. Хіміко-мінералографічний аналіз дослідної сировини	10
1.1.2 Магнетизуючий випал із наступною мокрою магнітною сепарацією	15
1.2. Дослідження параметрів магнетизуючого випалу піритних огарків	21
Висновки по аналітичній частині	28
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	30
2.1. Вивчення десульфурації при хлорувальному випалюванні окатишів	30
2.2 Закономірності видалення сірки та кольорових металів під час випалювання шихти з піритного огарку	36
Висновки по основній частині	43
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	45
3.1. Законодавство в області охорони праці	45
3.2. Розрахункова частина	45
Висновки по охороні праці	48
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	49
Перелік бібліографічних джерел	53

ВСТУП

Піритні недогарки (огарки) є комплексною сировиною, що містить 40-60 % Fe. Для використання піритних недогарків у чорній металургії необхідно попереднє вилучення з них кольорових і шляхетних металів, а також зниження вмісту сірки до мінімального та підвищення вмісту заліза до максимального.

Магнітна сепарація вихідних піритних недогарків не призводить до ефективного вилучення заліза в магнітний концентрат, оскільки більшість оксидів заліза в недогарках представлена гематитом. В даній дипломній роботі проаналізовані дослідження в лабораторних умовах щодо збагачення піритних недогарків магнетизуючим випалом з наступною мокрою магнітною сепарацією. Основною метою такого випалу є магнетизація, тобто перетворення парамагнітних оксидів заліза на феромагнітні мінерали – магнетит та маггемміт.

У порожній породі недогарків виявлено чотири основні складові. Кварц, що є первинною фазою сірчаного колчедану, майже не зазнав змін при випалі з температурою 650-800 °С. На межі з кварцом присутнє скло (реакційна облямівка), яке ізотропне ($N = 1,45$), дещо світліше за кварц у відбитому світлі і крихке.

Третя складова порожньої породи – первинна алюмосилікатна зв'язка складного складу. Жовтувато-бурий залізистий силікат, що спостерігався в світлі, безсумнівно, має вторинне походження і схожий на файяліт.

Серед сульфідів можна розрізнити пірит, пірротин Fe_xS , халькопірит і в окремих випадках галеніт. Сфалерит (ZnS) та халькозин (CuS) не виявлені; не встановлена також присутність гіпсу. Більшість включень піриту та інших сульфідів має крупність не вище 10 мкм, що вкрай ускладнювало для дослідників діагностику (роздільна здатність мікроскопа всього 3-4 мкм).

Значна частина речовини недогарка не проходила через розплав і формувалася у твердій фазі. У таких структурах завжди міститься первинна порожня порода. Кварц та інші складові порожньої породи не містять перед

випалом пірит усередині зерен. Це зумовлено тим, що пірит і марказит як мінерали гідротермального походження є молодшими складовими руди. Таким чином, тільки частина кварцу, що осаджувалась з розчинів разом з піритом і захоплена бруньками в процесі росту, брала активну участь у мінералоутворенні в процесі випалу. Іншими словами, частина кварцу зберігається у недогарках у вихідній формі без зв'язку з рудною речовиною. Ця частина порожньої породи може бути видалена з недогарків при збагаченні.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Дослідження процесів обпалення піритних огарків з метою підвищення якості залізовмісного продукту

Піритні недогарки є комплексною сировиною, що містить 40-60 % Fe; 0,20-3,5 % Cu; 0,3-5,25 % Zn; 0,03-1,79 % Pb; 0,01-0,1 % As; 0,05-0,6 % Co. Вміст сірки в піритних недогарках становить 1,4-6,5 %, фосфору 0,011-0,045 % [1-3].

Для використання піритних недогарків у чорній металургії необхідно попереднє вилучення з них кольорових і шляхетних металів, а також зниження вмісту сірки до мінімального та підвищення вмісту заліза до максимального. В даній частині дипломної роботи проаналізовані дослідження в лабораторних умовах щодо збагачення піритних недогарків магнетизуючим випалом з наступною мокрою магнітною сепарацією. Основною метою такого випалу є магнетизація, тобто перетворення парамагнітних оксидів заліза на феромагнітні мінерали – магнетит та маггемміт.

Магнітна сепарація вихідних піритних недогарків не призводить до ефективного вилучення заліза в магнітний концентрат, оскільки більшість оксидів заліза в недогарках представлена гематитом. Основні показники магнітної сепарації піритного недогарка без магнетизуючого випалу наведено на рис. 1.1.

Магнетизуючий випал піритних недогарків проводили з використанням газоподібних та твердих відновників: водню, окису вуглецю та коксику.

1.1.1. Хіміко-мінералографічний аналіз дослідної сировини

Дослідження аншліфів проводилось на рудному мікроскопі МІН-9 у прямому поляризованому відбитому світлі на повітрі та з масляною імерсією при збільшеннях від 60 до 1440. Мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3.

Порошок піритних недогарків вивчали також іммерсійним методом у світлі на поляризаційному мікроскопі МІН-8. Встановлено, що найбільша частина зразків складена гематитом, який є провідною фазовою складовою.

Третя складова порожньої породи – первинна алюмосилікатна зв'язка складного складу ($A \sim 1,80-1,68$; зелений колір у прохідному світлі з сильним плеохроїзмом). Жовтувато-бурий залізистий силікат, що спостерігався в світлі (N_1 і $N_0 > 1,780$; спайність вздовж табличок і пряме згасання у відношенні спайності), безсумнівно, має вторинне походження і схожий на файліт.

Серед сульфідів можна розрізнити пірит, пірротин Fe_xS (від лимонно-жовтого до кремового; сильна анізотропія; $+HNO_3$; двовіддзеркалення ясне; сліди окислення на поверхні; мікротвердість 440 кг/мм^2), халькопірит і в окремих випадках галеніт. Сфалерит (ZnS) та халькозин (CuS) не виявлені; не встановлена також присутність гіпсу. Більшість включень піриту та інших сульфідів має крупність не вище 10 мкм , що вкрай ускладнювало для дослідників діагностику (роздільна здатність мікроскопа всього $3-4 \text{ мкм}$).

У порожній породі недогарків виявлено чотири основні складові. Кварц, що є первинною фазою сірчаного колчедану, майже не зазнав змін при випалі з температурою $650-800 \text{ }^\circ\text{C}$. Константи кварцу ($N_0 = 1,544$; $N_1 = 1,553$) перевірені іммерсійним методом. На межі з кварцом присутнє скло (реакційна облямівка), яке ізотропне ($N = 1,45$), дещо світліше за кварц у відбитому світлі і крихке.

Піритні недогарки зберігають реліктову коломорфну структуру піриту та марказиту. У більших шматочках недогарків добре видно залишки бруньок піриту та марказиту розміром $0,1-0,5 \text{ мм}$ з характерною концентричною зональною структурою та радіальними тріщинами усихання коломорфного піриту. У монтованих шліфах також добре помітні уламки бруньок піриту та цілі округлі утворення. Пористість шматочків недогарка досягає $50-60 \%$.

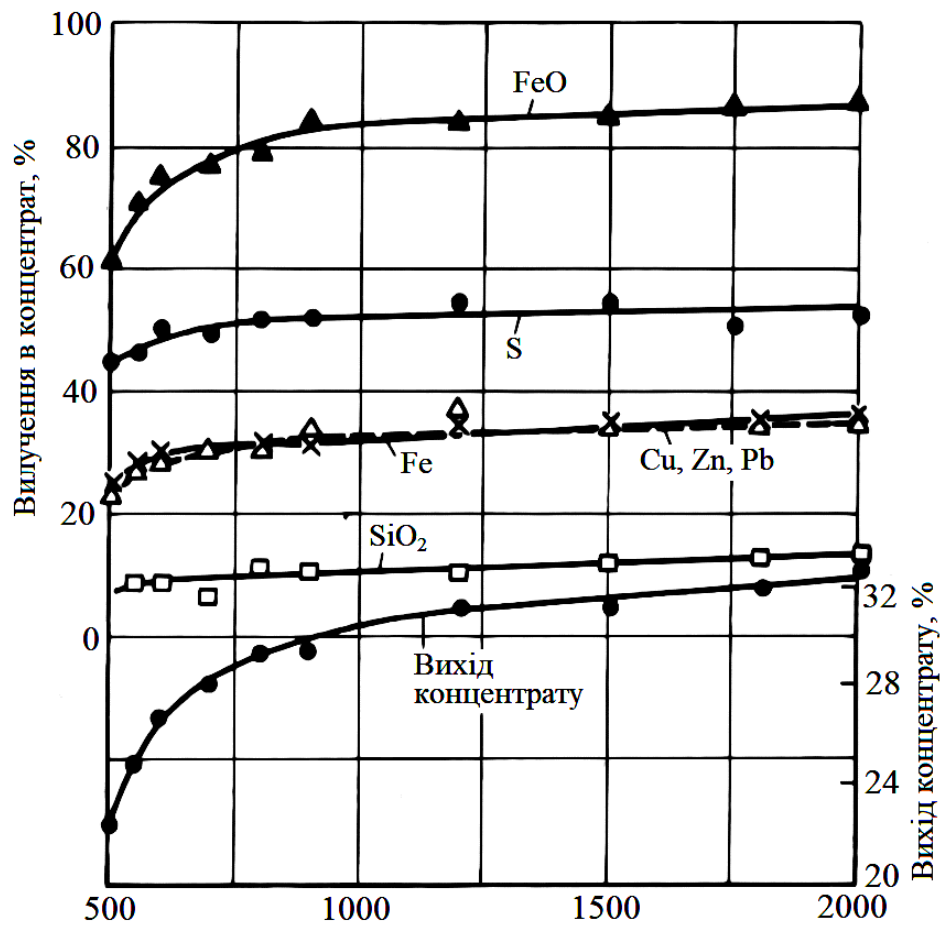
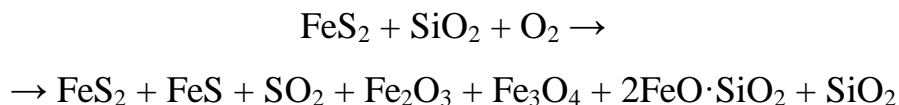


Рис. 1.1. Показники мокрої магнітної сепарації піритного недогарка

Мінеральний склад вихідної піритної руди зазнав сильних змін під час випалу:



У шліфах добре видно всі шість твердих продуктів цієї реакції.

У ряді випадків початкова текстура сірчаного колчедана сильно змінилася, зазнала оплавлення та повної перекристалізації. У зв'язку з цим відбулося злипання сфероїдів у більші утворення, які потім деформувалися та втратили початковий вигляд (рис. 1.2). Оскільки невелика частина речовини плавилася в ході випалу і потім знову кристалізувалася, для оплавлених часток недогарка характерні поєднання: магнетит + гематит + вторинний силікат; магнетит + вторинний силікат; магнетит + пірротин + вторинний силікат; вторинний силікат + скло + первинний силікат чи кварц + магнетит.

Значна частина речовини недогарка не проходила через розплав і формувалася у твердій фазі. У таких структурах завжди міститься первинна порожня порода. Кварц та інші складові порожньої породи не містять перед випалом пірит усередині зерен. Це зумовлено тим, що пірит і марказит як мінерали гідротермального походження є молодшими складовими руди. Таким чином, тільки частина кварцу, що осаджувалась з розчинів разом з піритом і захоплена бруньками в процесі росту, брала активну участь у мінералоутворенні в процесі випалу. Іншими словами, частина кварцу зберігається у недогарках у вихідній формі без зв'язку з рудною речовиною. Ця частина порожньої породи може бути видалена з недогарків при збагаченні.

При надлишку кисню в газовій фазі огарок повинен повністю складатися лише з гематиту та кварцу. Насправді ж у ході випалу відчувається нестача кисню всередині частинок сульфідної руди, що призводить до появи великих мас магнетиту, особливо у великих зернах.

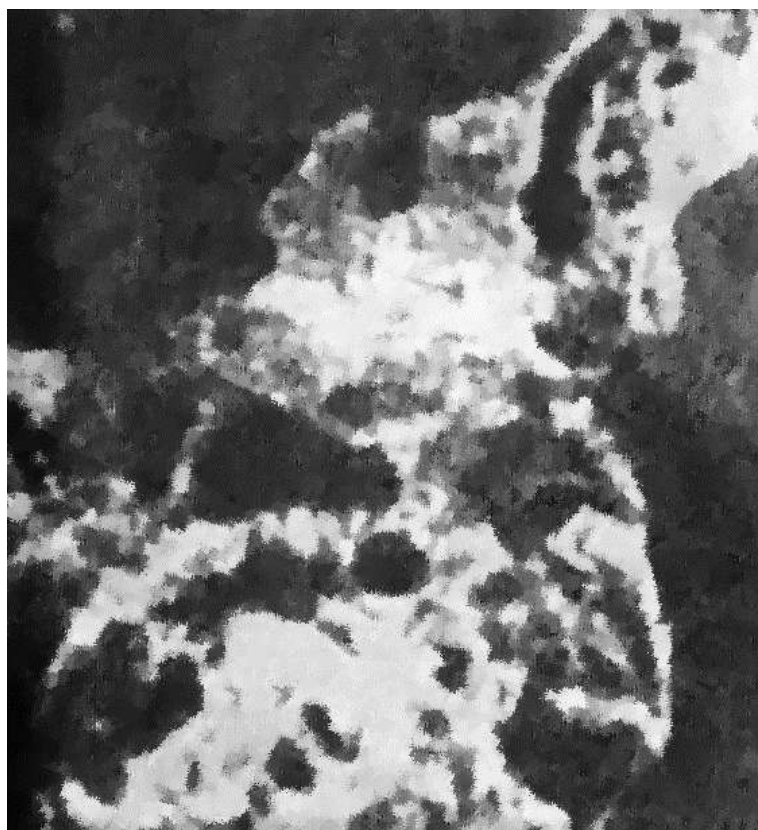


Рис. 1.2. Оплавлення та деформування після випалу бруньки піриту: біле – гематит; темне – алюмосилікати; чорне – пори. Відбите світло, $\times 286$. Не травлено.

В даному випадку діяв ще й другий фактор – утворення фаяліту і оплавлення всієї структури, що ускладнює окислення магнетиту. У зв'язку з цим у великих зернах недогарка гематит розташовується головним чином по периферії зерна, а в центрі та в проміжній зоні знаходяться магнетит, скріплений силікатним зв'язуванням, і залишки сульфідів.

Великі фракції піритного недогарка представлені зростками бруньок піриту або їх уламками неправильної, але округлої форми. Дрібні фракції складаються з окремих бруньок і дедалі більше наближаються до форми кулі (рис. 1.3). Зі зменшенням розміру частки недогарка форма її стає все більш округлою, кулястою, зменшується кількість залишкових сульфідних складових, кількість гематиту зростає, а магнетиту падає, зменшується оплавленість і зростає пористість частинок.

1.1.2 Магнетизуючий випал із наступною мокрою магнітною сепарацією.

Магнетизуючий випал проводився на лабораторній установці в трубчастій печі з кварцовою трубкою діам. 33 мм. Піритні недогарки мали наступний хімічний склад, %:

Fe _{заг}	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	P/P ₂ O ₅	Cu	Zn	S	Pb
57,7	10,35	1,16	2,21	0,46	0,025/0,057	0,34	0,36	2,26	0,061

Гранулометричний склад піритних недогарків був наступним:

Фракції, мм	>1,4	1,4-0,88	0,88-0,30	0,30-0,15	0,15-0,06	0,06-0
Вміст, %	1,55	1,78	37,91	13,96	3,75	41,05

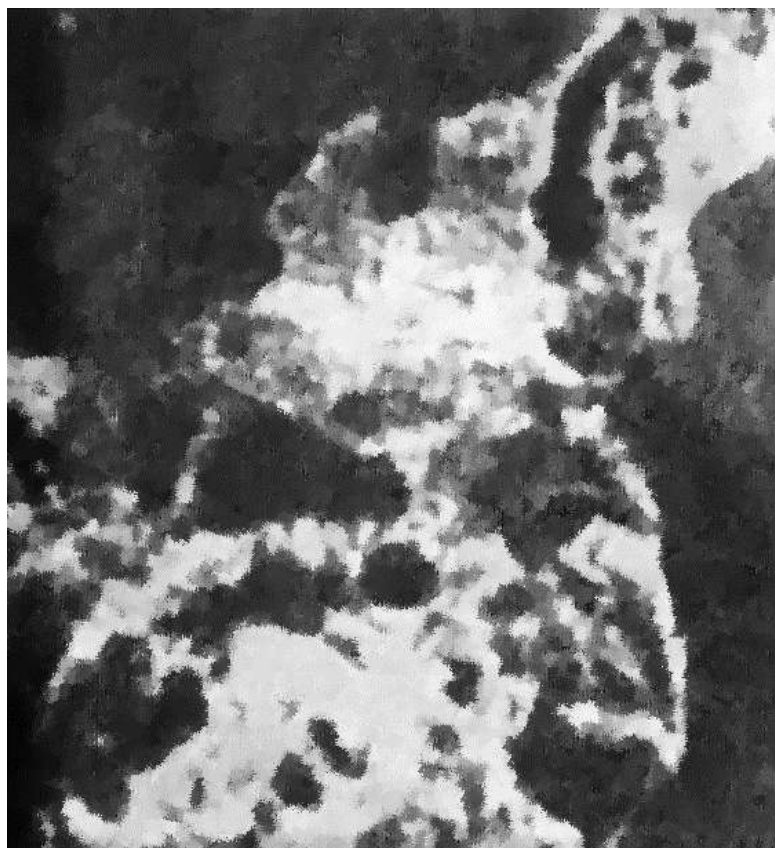


Рис. 1.3. Форма та склад частинок піритного недогарка фракції 0,105-0,056 мм: біле – гематит; сіре – магнетит; темне – кварц; чорне – шелак монтованого шліфу. Відбите світло, $\times 236$. Не травлено.

Наважка піритних недогарків у кожному досліді становила 16-20 г (поміщалася в лодочку). Досліди по ізотермічному магнетизуючому випалу проводили в інтервалі 500-750 °С. Частку газу-відновника у газовій фазі змінювали від 1 до 20 %. Витрата суміші газів 2 л/хв.

Після випалу матеріал охолоджували в холодному кінці трубки в струмі газової суміші або нейтральному газі. Після охолодження обпалені огарки без попереднього подрібнення піддавали мокрій магнітній сепарації у трубці Девіса діам. 47 мм при $H = 900$ е. Результати дослідів по магнетизуючому випалу із застосуванням водню в суміші з вуглекислотою представлені на рис. 1.4.

При вмісті водню в суміші починаючи з 2-5 % вихід концентрату γ , вилучення заліза ε_{Fe} і вилучення FeO в концентрат ε_{FeO} досягають 94-99 %. Ефективність зменшення вмісту сірки та кремнезему в концентратах оцінювали по зміні кратності часток сірки та кремнезему, що припадають на одиницю заліза:

$$\eta_S = \frac{\frac{S_{п.о.}}{Fe_{п.о.}}}{\frac{S_k}{Fe_k}}; \quad \eta_{SiO_2} = \frac{\frac{SiO_{2п.о.}}{Fe_{п.о.}}}{\frac{SiO_{2к}}{Fe_k}};$$

де $Fe_{п.о.}$, $S_{п.о.}$, $SiO_{2п.о.}$, Fe_k , S_k , $SiO_{2к}$ – вміст заліза, сірки, кремнезему в піритних недогарках та концентраті.

Кратність зменшення частки кремнезему у концентраті змінюється від 1,92 до 2,1, сірки від 2,22 до 3,40. Вміст загального заліза в концентраті у дослідях стійко перебуває в межах 63,72-64,32 % проти 54,0-57,0 % у вихідних недогарках. Вміст SiO_2 у концентраті знижується до 5,41-6,9 % проти 10,35-13,9 % у вихідному недогарку.

Зниження напруженості магнітного поля призводить до деякого зменшення вилучення кремнезему концентрат.

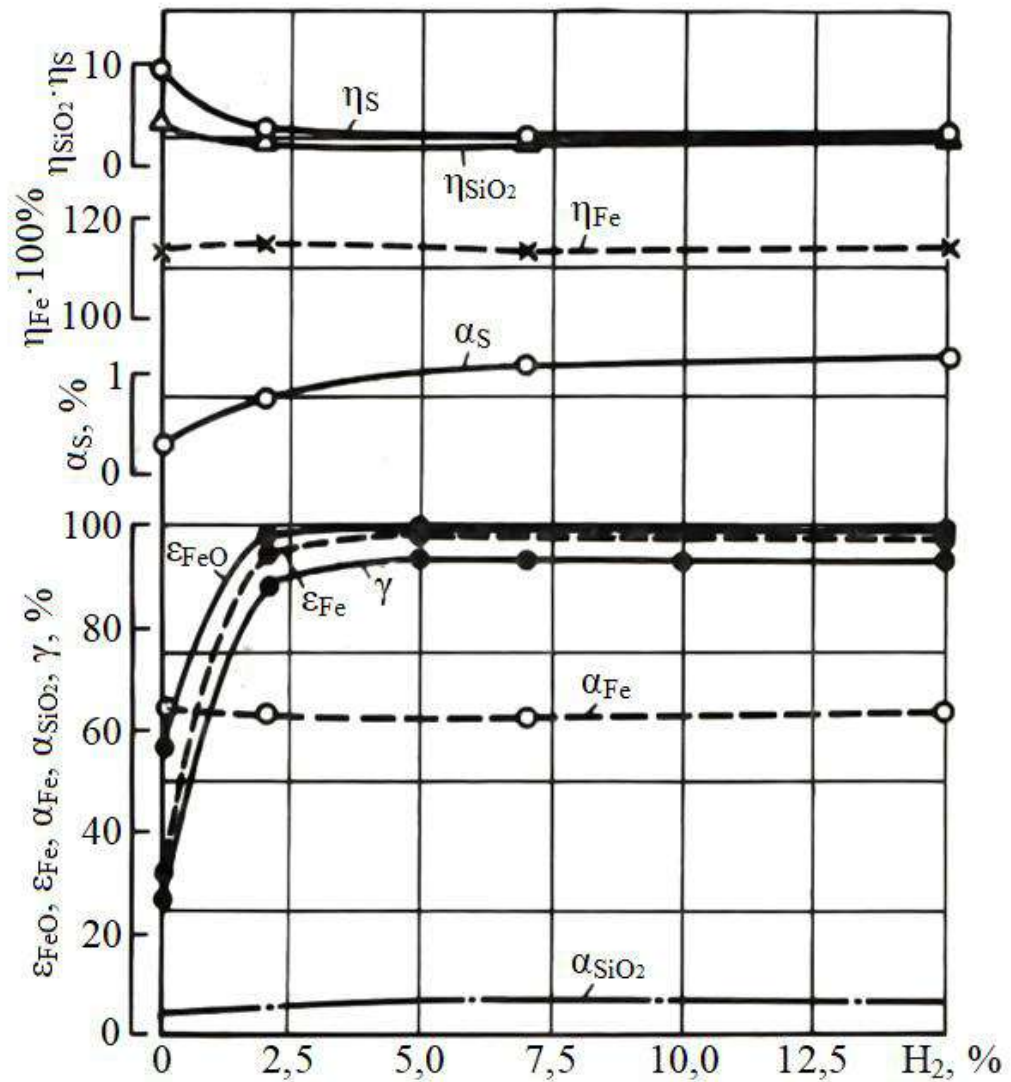


Рис. 1.4. Вплив вмісту H₂ у суміші (H₂+CO₂) при магнетизуючому випаленні піритних недогарків на показники мокрої магнітної сепарації. Режим випалу: 700 °С, 20 хв, H = 900 е; α – зміст відповідного компонента

Величина η_{SiO_2} збільшується від 1,53 при 900 е до 2,33 при 350 е. Це пояснюється тим, що при підвищенні напруженості магнітного поля інтенсивно переходять у концентрат не тільки магнітні мінерали, а й немагнітні, переважно кварц і алюмосилікати, тісно пов'язані з магнітними мінералами.

З метою поліпшення умов вилучення магнітних мінералів проводили досліді з магнітного збагачення з попереднім дробленням первинного концентрату, отриманого при оптимальному режимі випалу ($10\% \text{H}_2 + 90\% \text{CO}_2$; $t_{06} = 600\text{ }^\circ\text{C}$; $\tau_{06} = 15\text{ хв}$; $H = 900\text{ е}$). Показники досліді представлені на рис. 1.5.

При подрібненні первинного концентрату до $-0,06\text{ мм}$ вміст SiO_2 у концентраті знижується до 1,12-1,40 %. Кратність зменшення частки SiO_2 у концентраті при цьому збільшується до 8 проти 3 у вихідному концентраті без попереднього подрібнення. Кратність зменшення частки сірки збільшується до 4 проти 2,8. Величина γ_{Fe} при дробленні концентрату до $-0,06\text{ мм}$ залишається постійною (рис. 1.5) і навіть дещо знижується, оскільки при збільшенні тонкості помелу руди відбувається руйнування зростків магнітних та немагнітних мінералів. При магнетизуючому випалюванні Cu і Zn не видаляються і практично повністю переходять у концентрат. Причиною цього при зазначеному ступені подрібнення є недостатнє звільнення сфалериту від зростків з магнетитом та пірротином.

Таким чином, в результаті магнетизуючого випалу піритного огарка і подальшого збагачення може бути отриманий концентрат з 64 % Fe ; 0,7-1,0 % S і 5,4-7,0 % SiO_2 при вилученні заліза в концентрат близько 93 %.

Додаткове подрібнення первинного концентрату та його наступна мокра магнітна сепарація (перечистка) при $H = 350\text{ е}$ дозволяють зменшити вміст SiO_2 в концентраті до 1,12 %, сірки до 0,6 % і збільшити вміст Fe до 68,4 %.

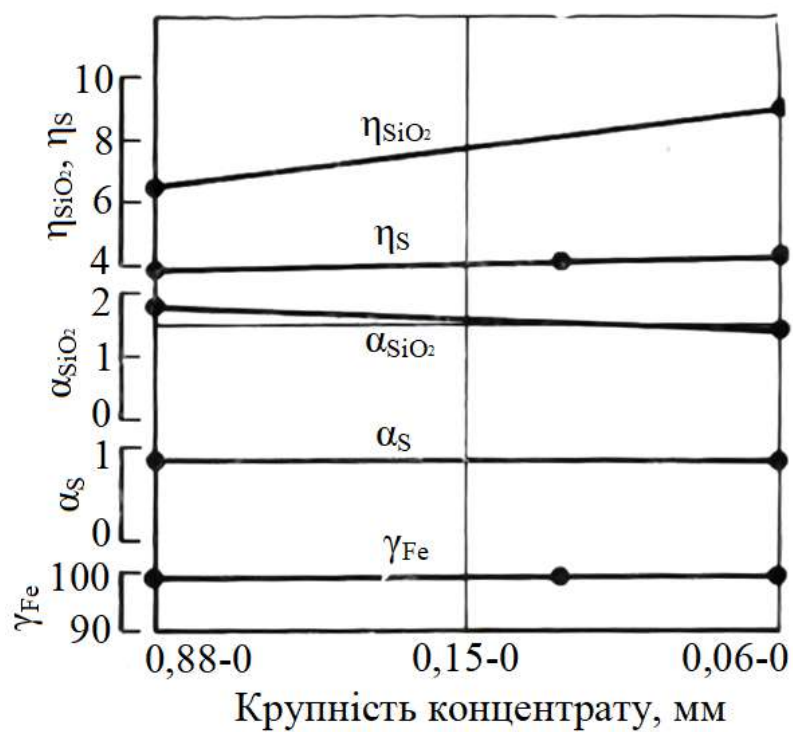


Рис. 1.5. Вплив крупності дроблення первинного концентрату на показники мокрого магнітного збагачення

1.2. Дослідження параметрів магнетизуючого випалу піритних огарків

Для з'ясування параметрів магнетизуючого випалу використовували як газоподібний (водень і окис вуглецю), так і твердий (коксик) відновники.

У роботах [4, 5] показано, що водень по відношенню до окису заліза є більш енергійним відновником, ніж окис вуглецю або інші відновники, проте при низьких температурах окис вуглецю активніший, ніж водень. Наприклад, при температурі відновлення $t_b \approx 300$ °С відношення швидкостей відновлення при використанні CO і H₂ (v_{CO}/v_{H_2}) становить 5-8 [4].

В дослідженнях, які вивчаються в цій дипломній роботі, були проведені в лабораторних умовах, було виконано магнетизуючий випал із застосуванням водню та окису вуглецю у суміші з вуглекислою при температурах 500-750 °С. Результати дослідів наведено на рис. 1.6 та 1.7.

При використанні водню найбільш повне вилучення заліза в концентрат і вихід концентрату досягаються за час витримки близько 15 хв, а при використанні окису вуглецю – 20 хв; при цьому температура відновлення воднем піритного недогарка на 100-150 °С нижче, ніж температура відновлення окисом вуглецю. Вихід концентрату у разі застосування водню, наприклад при 500 °С, виявляється у два рази вищим, ніж при використанні окису вуглецю.

На рис. 1.8 наведено порівняльні показники випалу піритних недогарків при розведенні газових сумішей азотом у кількості від 50 до 100 %. Збільшення частки азоту в суміші А від 0 до 75 % фактично не впливає на показники γ_{Fe} , ϵ_{Fe} , ϵ_{FeO} . При цьому навіть дещо покращується якість одержаного концентрату, оскільки вміст сірки знижується від 0,89 до 0,68 %, а вміст кремнезему від 6,72 до 5,64 %. Збільшення частки азоту в суміші понад 75 % призводить до різкого зменшення γ_{Fe} , ϵ_{Fe} , ϵ_{FeO} за рахунок збіднення суміші воднем. При використанні суміші Б розведення азотом значно сильніше впливає на γ_{Fe} , ϵ_{Fe} , ϵ_{FeO} порівняно із сумішшю А, що містить водень.

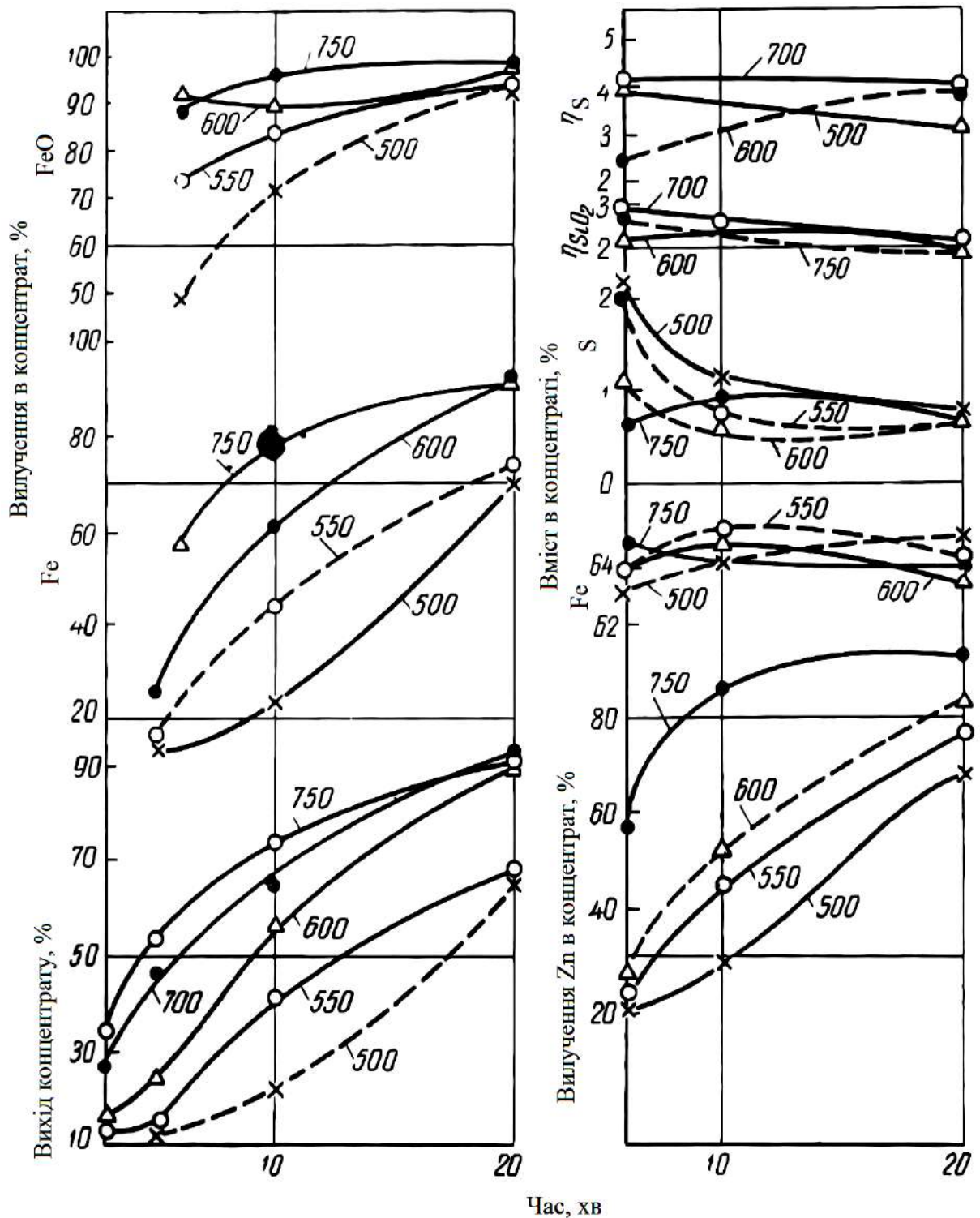


Рис. 1.6. Вплив тривалості магнетизуючого випалу піритних недогарків у струмі суміші 10 % CO + 90 % CO₂ при різних температурах (цифри у кривих.) на показники мокрої магнітної сепарації (ммс)

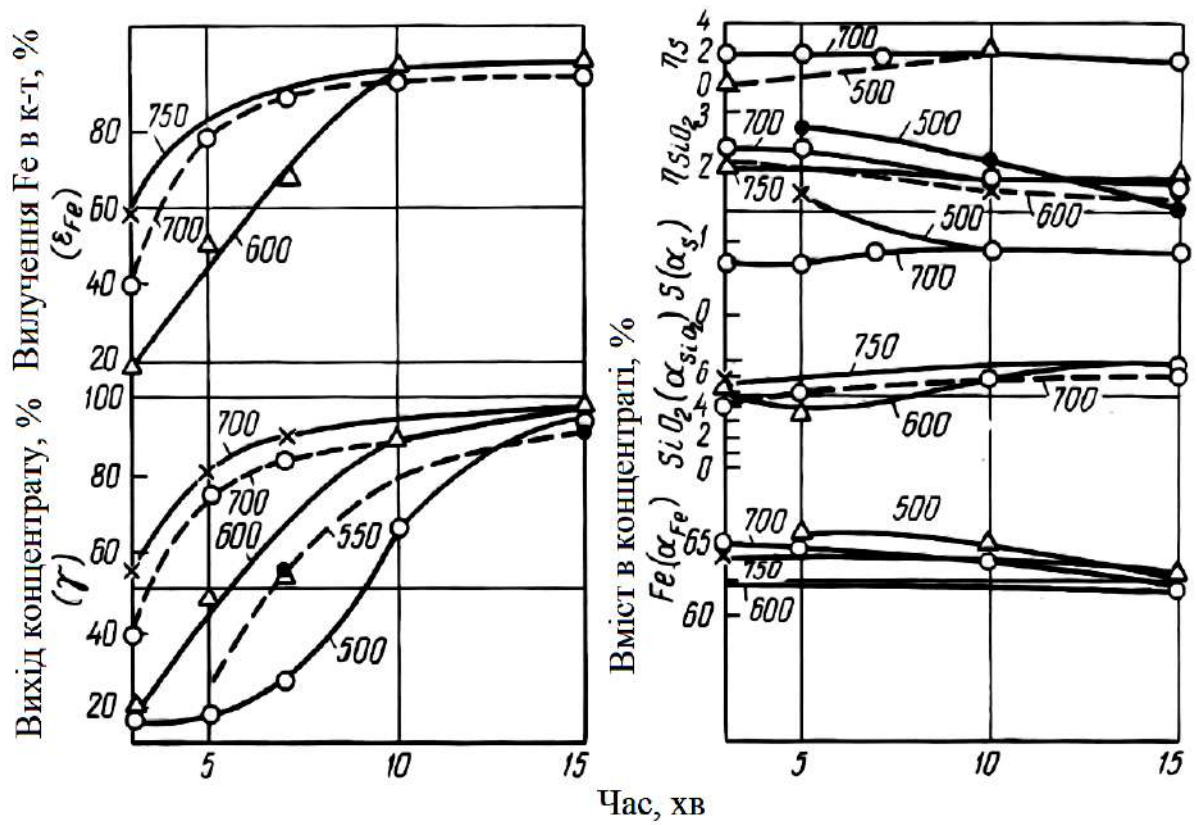


Рис. 1.7. Вплив тривалості магнетизуючого випалу піритних недогарків у струмені суміші 10 % H_2 + 90 % CO_2 за різних температур (цифри у кривих) на показники мокрої магнітної сепарації

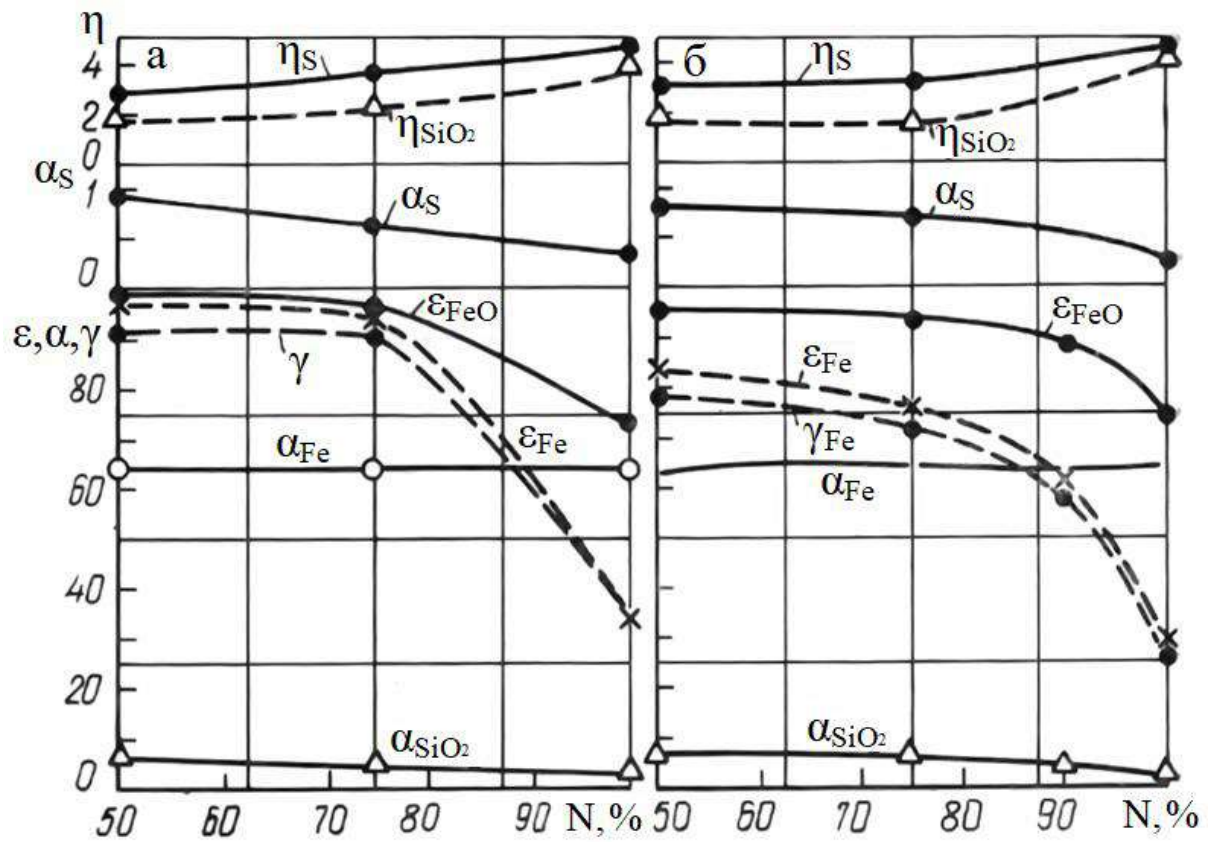


Рис. 1.8. Вплив добавки азоту до суміші А і Б при магнетизуючому випалі піритних недогарків на показники мокрої магнітної сепарації: а – суміш А (5 % H_2 + 95 % CO_2); б – суміш Б (10 % H_2 + 90 % CO_2). Режим випалу: температура 700 °С, час випалу – 20 хв, витрата газової суміші 2 л/хв. Позначення: γ – вихід концентрату, %; α – вміст відповідного компонента, %; ϵ – вилучення відповідного компонента, %; η — зменшення вмісту відповідного компонента, що припадає на одиницю Fe, кількість раз

Для магнетизуючого випалу піритних недогарків крім газоподібних відновників використовували також твердий відновник. Крупність твердого палива дуже впливає на показники мокрої магнітної сепарації. Подрібнення коксика призводить до кращого контакту між окислом заліза та паливом. Особливо помітно вплив крупності палива при малій його витраті (3 %), коли із зменшенням крупності коксика від 1-0 до 0,06-0 мм збільшується вихід концентрату від 40 до 78 % і підвищується вилучення заліза від 50 до 87 %. Збільшення витрати коксика викликає підвищення вмісту сірки у концентраті від 0,56 до 0,66 %, за рахунок збільшення її приходу з коксиком.

Таким чином, використання в якості відновника твердого палива (коксика) менш ефективно порівняно з газоподібним. Це пояснюється тим, що контакт окислів заліза з газом набагато кращий, ніж із твердим відновником.

Результати магнетизуючого випалу піритних огарків газоподібним паливом та показники мокрої магнітної сепарації наведені за двома різними схемами. За схемою 1 (рис. 1.9) піритний огарок піддається магнетизуючому випалу з подальшим переочищенням концентрату в магнітному полі зі слабкою напруженістю $H = 350$ е; за схемою 2 (рис. 1.10) магнетизуючий випал проводиться з подальшим подрібненням концентрату до -0,06 мм.

Таким чином, для магнетизуючого випалу піритних недогарків водень ефективніший відновник порівняно з окисом вуглецю та коксиком. Оптимальні показники у цьому випадку досягаються при наступному режимі випалу: суміш 5-10 % H_2 + 95-90 % CO_2 ; $\tau_{об} = 15-20$ хв; $t_{об} = 600-700$ °С; при цьому $\alpha_{Fe} = 62-63\%$, $\gamma_{Fe} = 88-95\%$; $\alpha_s = 0,80-0,90\%$; $\alpha_{SiO_2} = 6,0-7,0\%$.

При використанні в якості відновника твердого палива (коксика) кращі показники досягаються при його подрібненні до -0,06 мм і витраті його близько 3-10 % від ваги шихти; при цьому $\alpha_{Fe} = 61,6\%$; $\gamma_{Fe} = 85,10\%$; $\alpha_s = 0,56\%$; $\alpha_{SiO} = 1,75\%$.

У дослідах з магнетизуючим випаленням не спостерігали помітного зменшення вмісту цинку, міді та свинцю в концентраті [5].

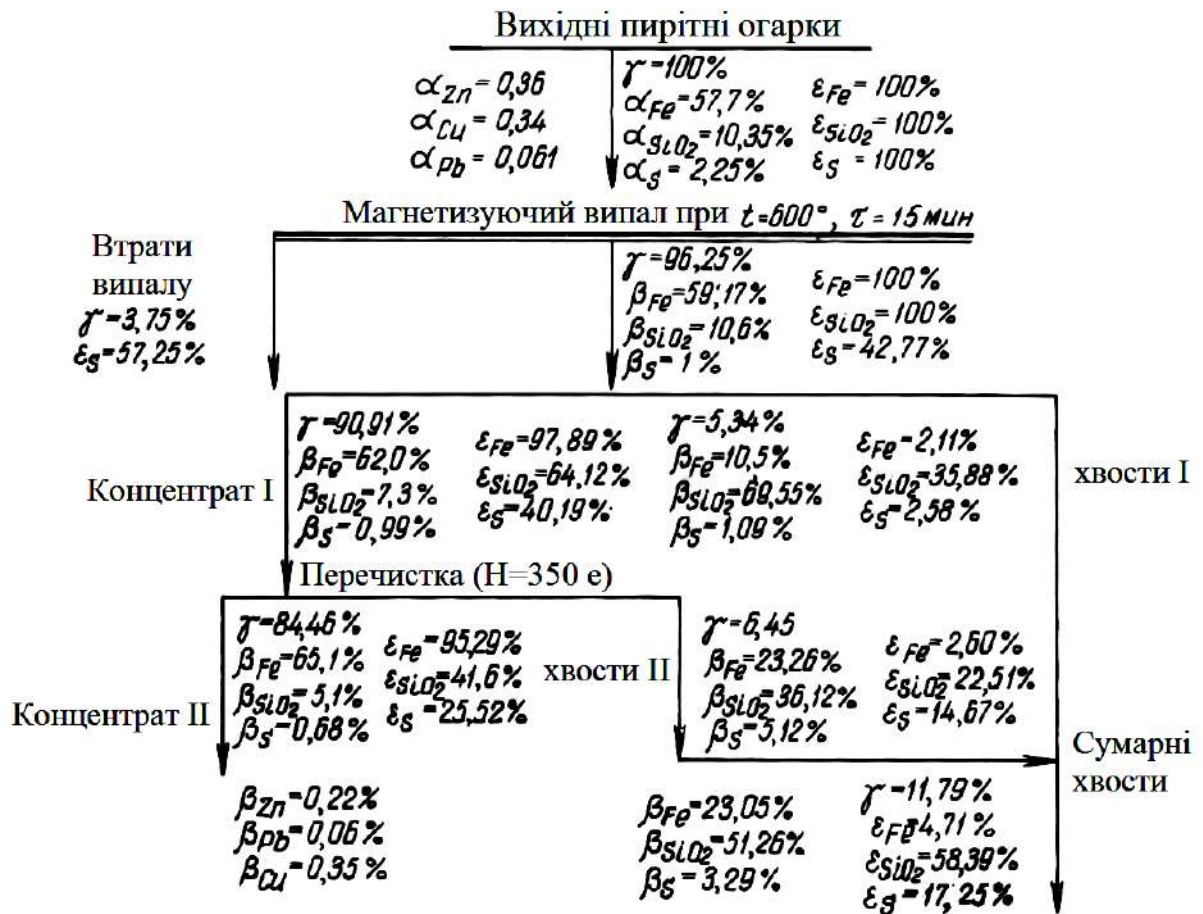


Рис. 1.9. Схема 1 магнетизуючого випалу та мокрої магнітної сепарації пиритних недогарків

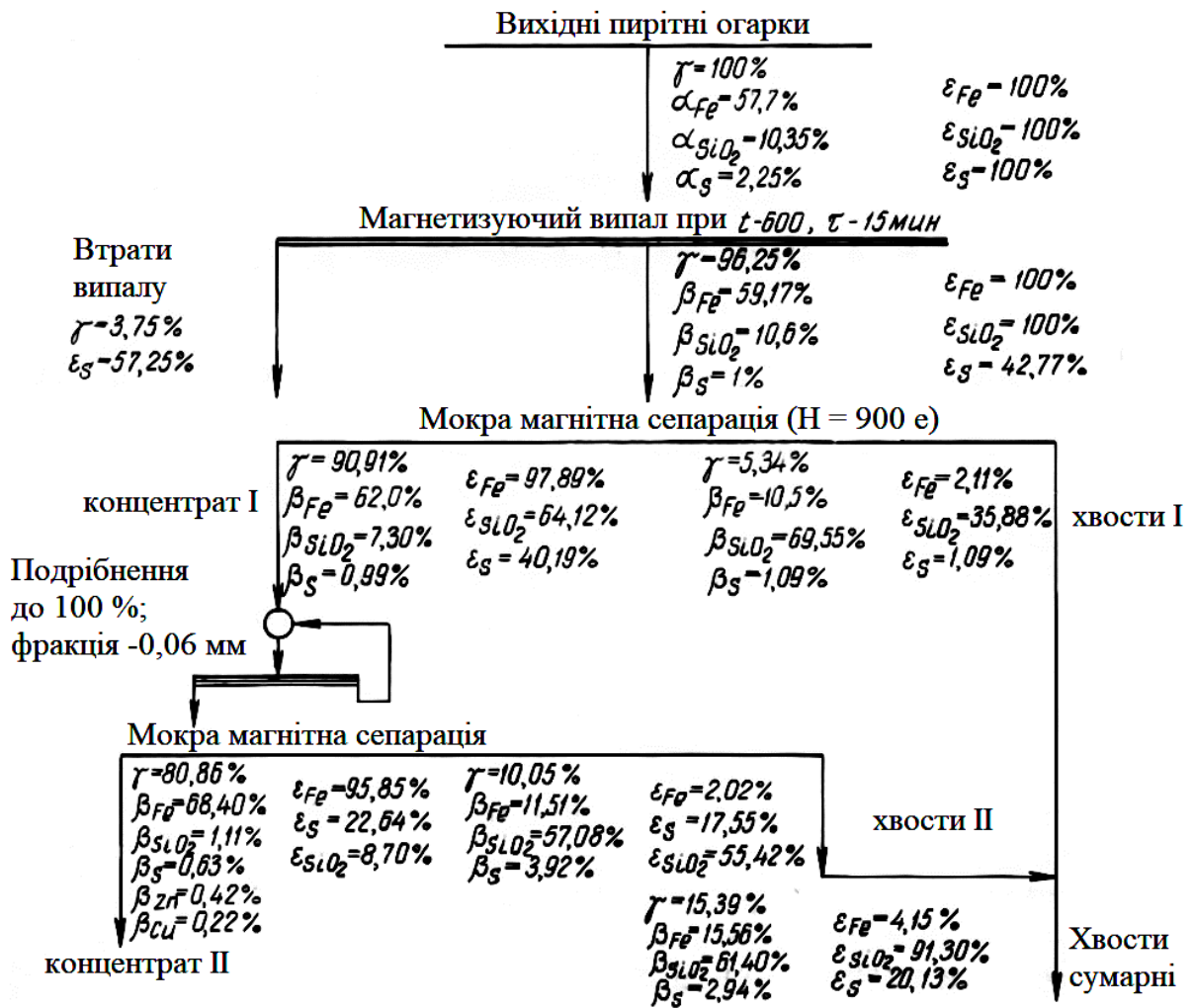


Рис. 1.10. Схема II магнетизуючого випалу та мокрої магнітної сепарації пиритних огарків з додатковим подрібненням

Висновки по аналітичній частині

1. Проаналізовано дослідження аншліфів, яке проводилось на рудному мікроскопі МІН-9 у прямому поляризованому відбитому світлі на повітрі та з масляною імерсією при збільшеннях від 60 до 1440. Мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3. Порошок піритних недогарків вивчали також імерсійним методом у світлі на поляризаційному мікроскопі МІН-8. Встановлено, що найбільша частина зразків складена гематитом, який є провідною фазовою складовою.

2. Показано, що піритні недогарки зберігають реліктову коломорфну структуру піриту та марказиту. У більших шматочках недогарків добре видно залишки бруньок піриту та марказиту розміром 0,1-0,5 мм з характерною концентричною зональною структурою та радіальними тріщинами усихання коломорфного піриту. У монтованих шліфах також добре помітні уламки бруньок піриту та цілі округлі утворення. Пористість шматочків недогарка досягає 50-60 %.

3. Значна частина речовини недогарка не проходила через розплав і формувалася у твердій фазі. У таких структурах завжди міститься первинна порожня порода. Кварц та інші складові порожньої породи не містять перед випалом пірит усередині зерен. Це зумовлено тим, що пірит і марказит як мінерали гідротермального походження є молодшими складовими руди. Таким чином, тільки частина кварцу, що осаджувалась з розчинів разом з піритом і захоплена бруньками в процесі росту, брала активну участь у мінералоутворенні в процесі випалу. Іншими словами, частина кварцу зберігається у недогарках у вихідній формі без зв'язку з рудною речовиною. Ця частина порожньої породи може бути видалена з недогарків при збагаченні.

4. При надлишку кисню в газовій фазі огарок повинен повністю складатися лише з гематиту та кварцу. Насправді ж у ході випалу відчувається

нестача кисню всередині частинок сульфідної руди, що призводить до появи великих мас магнетиту, особливо у великих зернах.

5. Показано, що в результаті магнетизуючого випалу піритного огарка і подальшого збагачення може бути отриманий концентрат з 64 % Fe; 0,7-1,0 % S і 5,4-7,0 % SiO₂ при вилученні заліза в концентрат близько 93 %.

6. Вивчені дослідження, в яких було виконано магнетизуючий випал із застосуванням водню та окису вуглецю у суміші з вуглекислотою при температурах 500-750 °С.

7. При використанні водню найбільш повне вилучення заліза в концентрат і вихід концентрату досягаються за час витримки близько 15 хв, а при використанні окису вуглецю – 20 хв; при цьому температура відновлення воднем піритного недогарка на 100-150 °С нижче, ніж температура відновлення окисом вуглецю. Вихід концентрату у разі застосування водню, наприклад при 500 °С, виявляється у два рази вищим, ніж при використанні окису вуглецю.

8. Для магнетизуючого випалу піритних недогарків крім газоподібних відновників використовували також твердий відновник. Показано, що використання в якості відновника твердого палива (коксіка) менш ефективно порівняно з газоподібним.

9. Для магнетизуючого випалу піритних недогарків водень ефективніший відновник порівняно з окисом вуглецю та коксіком. Проте, у дослідях з магнетизуючим випаленням не спостерігали помітного зменшення вмісту цинку, міді та свинцю в концентраті.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Вивчення десульфурзації при хлорувальному випалюванні окатишів

Інтенсивний розвиток виробництва сірчаної кислоти та целюлозної промисловості зумовив за останні 50-60 років швидке зростання запасів піритних (колчеданних) огарків – продукту випалювання сірчаного колчедану. Із сірчаного колчедану нині виробляють 60 % сірчаної кислоти [6, 7].

Піритні огарки є комплексною сировиною, що містить поряд із залізом (40-65 %) цінні кольорові, благородні та рідкісні метали. Вони містять 0,20-3,50 % Cu; 0,30-5,25 % Zn; 0,03-1,79 % Pb; 0,01-0,10 % As; 0,05-0,60 % Co; 0,60-14,0 г/т Au; 4,40-160,0 г/т Ag; 4-40 г/т Se; 4,0-15,0 г/т Te, а також до 0,01 % Ni, Mn, In, Cd, Tl. Вміст сірки в огарках коливається від 1,4 до 6,5 %. Частина піритного огарку, що містить сірку, містить сульфатну, сульфідну і піритну сірку.

За літературними та експериментальними даними видалення більшої частини сірки за високих температур відбувається досить легко. Однак кінцеві стадії видалення сірки протікають з великими труднощами, причому найбільші труднощі становить видалення сульфатної сірки. Процес видалення сірки ускладнюється ще й тим, що в піритному недогарку містяться небажані під час виробництва чавуну кольорові метали і для їхнього видалення необхідно проводити хлорування, що вимагає певних умов.

Хімічний аналіз показує, що в піритному огарку сульфатна сірка міститься у вигляді BaSO_4 (0,1 %), CaSO_4 (1,27 %), ZnSO_4 (0,12 %), CuSO_4 (0,05 %), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (0,1 %) і сульфату свинцю (менше 0,02 %).

Зміну вільної енергії для деяких реакцій утворення низки сульфатів за даними [8-10] наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Зміна вільної енергії реакції утворення сульфатів

Реакція	Рівняння ΔZ^0
$1/2\text{Ca}_{\text{TB}} + 1/2\text{S}_{\text{TB}} + \text{O}_2 = 1/2\text{CaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -170,100 + 45,0T$ (298-)
$\text{Ca}_{\text{TB}} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{CaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -282,350 - 1,86T\lg T + 109,33T - 2,5 \cdot 10^{-3}T^2 + 0,4 \cdot 10^5T^{-1}$ (298-1124)
$\text{Ca}_{\text{TB}} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{CaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -284,580 - 1,86T\lg T + 111,31T - 2,5 \cdot 10^{-3}T^2 + 0,4 \cdot 10^5T^{-1}$ (1124-1760)
$\text{Ca}_{\text{Г}} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{CaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -321,130 - 1,86T\lg T + 132,89T - 2,5 \cdot 10^{-3}T^2 + 0,4 \cdot 10^5T^{-1}$ (1755-2500)
$2\text{CaO} + 2\text{SO}_4 + \text{O}_2 = 2\text{CaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -261,356 - 10,66T\lg T + 182,46T - 0,3 \cdot 10^{-3}T^2 + 0,7 \cdot 10^5T^{-1}$ (1123-1755)
$2\text{CaO} + 2\text{SO}_4 + \text{O}_2 = 2\text{CaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -102,520 + 0,42T\lg T + 139,22T - 0,3 \cdot 10^{-3}T^2 + 0,7 \cdot 10^5T^{-1}$ (1755-2500)
$1/2\text{Ba}_{\text{TB}} + 1/2\text{S}_{\text{TB}} + \text{O}_2 = 1/2\text{BaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -172,550 + 45,15T$ (298- $T_{\text{пл}}$)
$1/2\text{Ba}_{\text{TB}} + 1/4\text{S}_{\text{Г}} + \text{O}_2 = 1/2\text{BaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -164,710 + 54,80T + 0,34T\lg T - 1,45 \cdot 10^{-3}T^2$
$\text{Ba}_{\text{TB}} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{BaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -255,890 + 107,65T - 1,86T\lg T - 2,4 \cdot 10^{-3}T^2 + 0,4 \cdot 10^5T^{-1}$ (298-977)
$\text{Ba}_{\text{ж}} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 = \text{BaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -256,629 + 96,55T + 2,44T\lg T - 3,14 \cdot 10^{-3}T^2$ (977-1911)
$2\text{BaO}_{\text{TB}} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{BaSO}_4$	$\Delta Z^0 = -242,130 + 125,90T + 10,47T\lg T - 5,38 \cdot 10^{-3}T^2 - 0,24 \cdot 10^5T^{-1}$ (977-1911)
$2\text{MgO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{MgSO}_4$	$\Delta Z^0 = -186,400 + 132,6T$ (298-1400)
$2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{ZnSO}_4$	$\Delta Z^0 = -183,156 + 6,5T\lg T + 136,08T - 7 \cdot 10^{-3}T^2 + 0,4 \cdot 10^5T^{-1}$ (298- $T_{\text{пл}}$)
$2\text{FeO} + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{FeSO}_4$	$\Delta Z^0 = -176,810 + 146,32T$
$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 3\text{FeSO}_4$	$\Delta Z^0 = -193,595 + 189,58T$

Закінчення таблиці 2.1

Реакція	Рівняння ΔZ^0
$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{CaSO}_4$ $+ \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\Delta Z^0 = -257,124 + 159,34T - 12T \lg T + 5,7 \cdot 10^{-3}T^2 - 0,7 \cdot 10^5 T^{-1}$
$\text{CaSO}_4 + \text{Cl}_2 = \text{CaCl}_2 + \text{SO}_2 + \text{O}_2$	$\Delta Z^0 = -79555 - 57,71T (298 - T_{\text{пл}})$
$\text{CaCl}_2 + \text{FeSO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{FeCl}_2$	$\Delta Z^0 = -2450 - 15,18T (298 - T_{\text{пл}})$

У загальному вигляді для реакції типу $\text{MeSO}_4 = \text{MeO} + \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2$ можна записати:

$$\lg p_{\text{SO}_2} = \frac{2}{3} \left(-\frac{\Delta Z^0}{4,57T} - \frac{1}{2} \lg p_{\text{O}_2} \right).$$

Якщо дисоціює сульфат, а склад газової фази визначається тільки продуктами дисоціації, тобто $p_{\text{O}_2} = 1/2 p_{\text{SO}_2}$ то

$$\lg p_{\text{SO}_2} = \frac{2}{3} \left(-\frac{\Delta Z^0}{4,57T} - \frac{1}{2} \lg 0,5 \right).$$

Зі зменшенням парціального тиску кисню полегшується видалення сірки (рис. 2.1). Найбільші труднощі для видалення сірки створюються, коли остання перебуває у вигляді сульфатів кальцію та барію (див. таблицю 1.1).

У реальних умовах при випалюванні піритних недогарків утворюються ферити кальцію під час взаємодії окису кальцію, що виділяється під час дисоціації CaSO_4 , з оксидами заліза:



$$\Delta Z^0 = 257,124 - 159,34T + 12T \lg T - 5,70 \cdot 10^{-3} T^2 - 0,7 \cdot 10^5 T^{-1}.$$

У цьому випадку помітно поліпшуються умови видалення сірки.

Зменшення парціального тиску O_2 в реакційному просторі шляхом створення нейтральної або відновної атмосфери також покращує умови видалення сірки під час дисоціації сульфатів, які входять до піритних огарок (рис. 2.1).

Для видалення кольорових металів необхідно проводити хлорування.

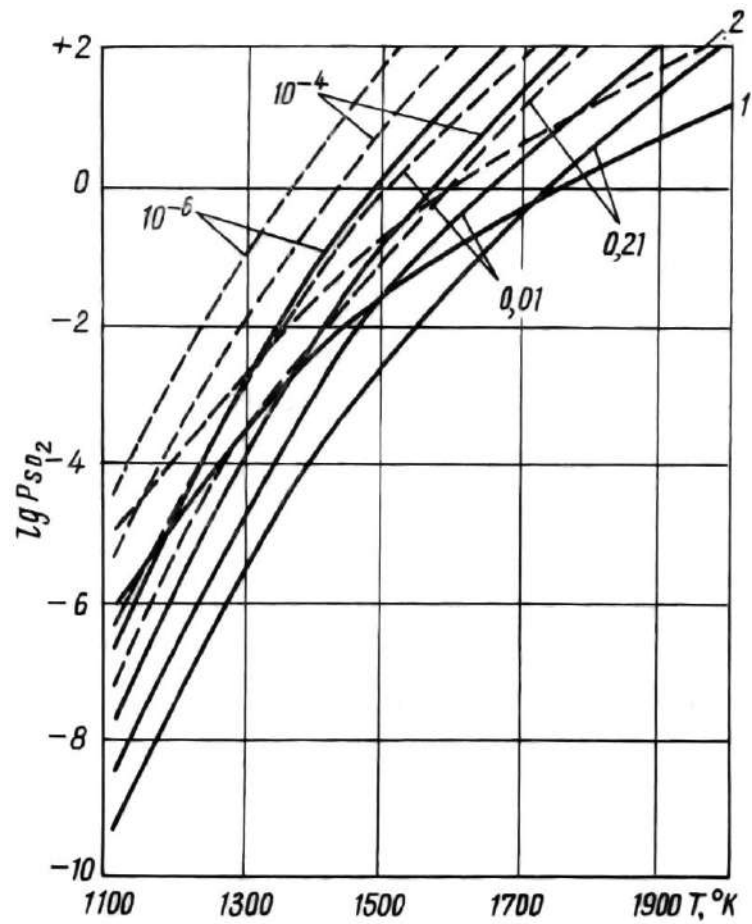


Рис. 2.1. Розрахункова залежність $\lg p_{SO_2}$ під час дисоціації $CaSO_4$ (суцільні криві) і $BaSO_4$ (пунктирні); цифри біля кривих - величина p_{O_2} , атм;
1, 2 – p_{O_2} визначається складом продуктів дисоціації.

У першій серії дослідів досліджували видалення сірки і кольорових металів із шихти, що складається з піритного огарку, змішаного з різною кількістю CaCl_2 . Досліди проводили в повітряній атмосфері в шахтній печі за постійного часу витримки (30 хв) шихти в глуходонних корундизових тиглях.

Залежно від температури випалу (рис. 2.2) видалення цинку протікає порівняно успішно. При температурах близько $1150\text{ }^\circ\text{C}$ вміст його через 30 хв стає досить низьким. Видалення міді протікає важче. За температур випалу до $1100\text{ }^\circ\text{C}$ видалення сірки при випалюванні шихти практично не відбувається. Тільки при збільшенні температури випалу до $1250\text{ }^\circ\text{C}$ відбувається зниження вмісту сірки до 0,50-0,8 % проти 1,1-1,4 % у вихідній шихті. Причиною слабого видалення сірки в цьому випадку є фіксація сірки внаслідок утворення CaSO_4 під час взаємодії CaCl_2 із сірчистими сполуками, що містяться в огарку.

Залишковий вміст хлору зі зростанням температури дещо зменшується, причому збільшення кількості CaCl_2 у шихті призводить до збільшення в ній вмісту залишкового хлору і сірки, слабкою мірою позначаючись на ступені видалення міді та цинку.

Використання хлорного вапна замість CaCl_2 у кількості 6-12 % від ваги шихти не дає помітної різниці в поведінці домішок (рис. 2.3), проте видалення міді та цинку здійснюється за нижчого в початковій шихті вмісту хлору, який склав за 6, 10 і 12 % технічного хлорного вапна відповідно 0,8; 1,15 і 1,6 %. Збільшення кількості CaOCl_2 у шихті призводить до деякого підвищення залишкового вмісту міді.

При використанні в шихті MgCl_2 спостерігається помітне поліпшення видалення сірки. Останнє починається за нижчих температур (рис. 2.4), ніж у разі використання хлористих сполук кальцію, і кінцевий вміст сірки в цьому разі значно нижчий.

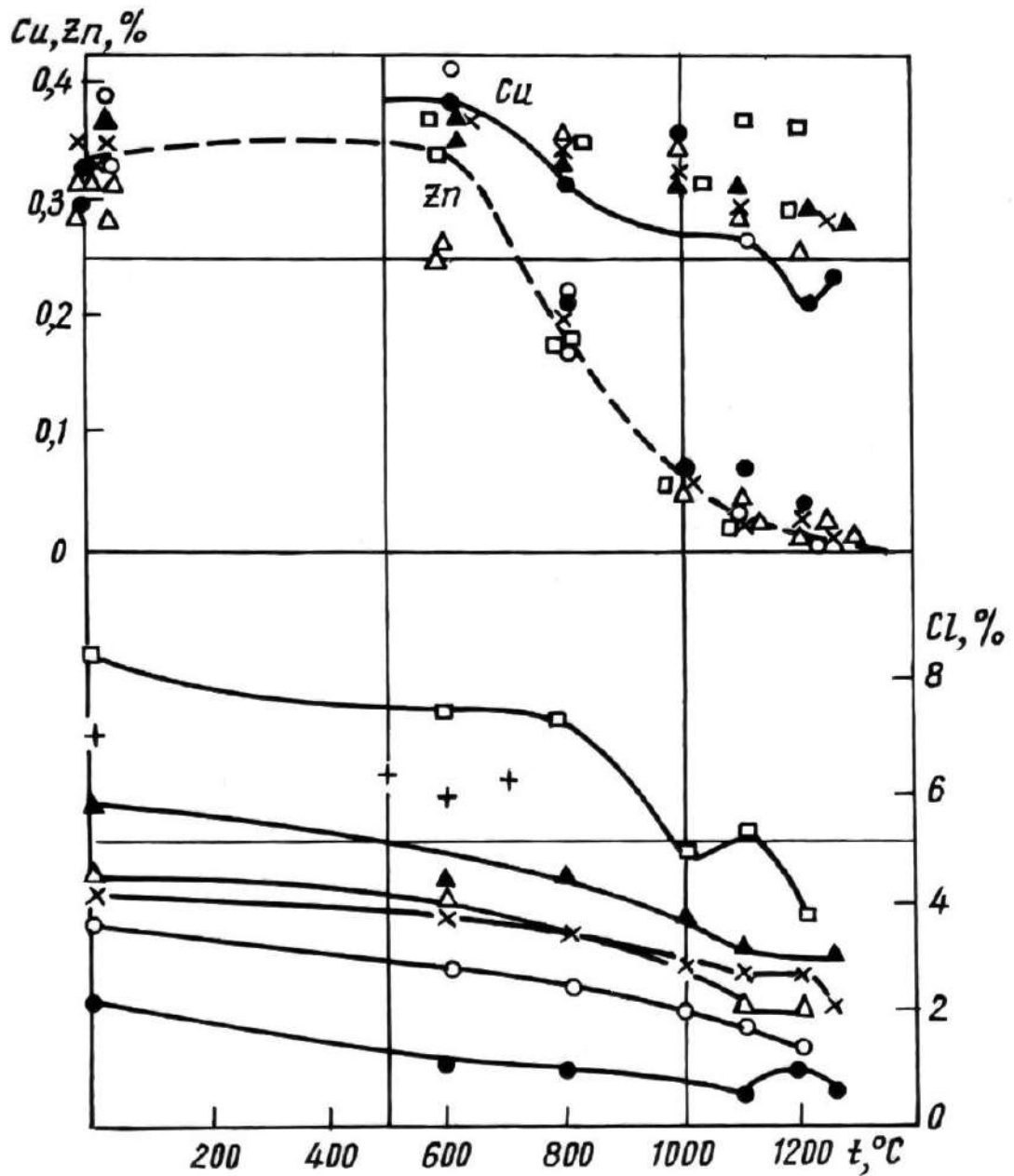


Рис. 2.2. Зміна залишкового вмісту хлору і кольорових металів під час ізотермічного випалювання шихти протягом 30 хв, з використанням в якості хлоратора CaCl_2 у кількості, %: ● – 4, ○ – 6; × – 8; △ – 9; ▲ – 10; + – 12; □ – 14

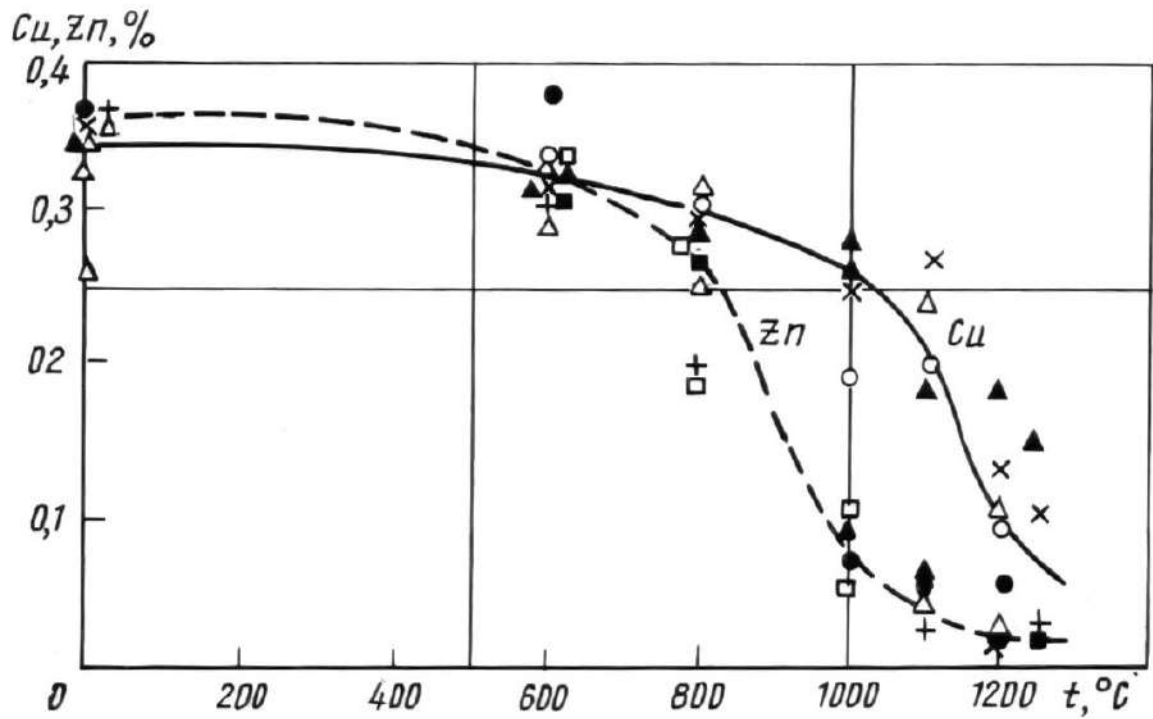


Рис. 2.3. Зміна залишкового вмісту кольорових металів під час ізотермічного випалювання шихти протягом 30 хв із використанням в якості хлоратора хлорного вапна в кількості, %: ●, □ – 6; ○, Δ – 8; ×, + – 10; ▲, ■ – 12

Залишкова кількість хлору в обпаленій шихті зі зростанням температури безперервно падає, що відповідає зміні пружності пари MgCl_2 , визначеної за формулою

$$\lg p_{\text{MgCl}_2} = \frac{-10840}{T} - 5,03 \lg T + 25,53 \text{ мм рт. ст.}$$

У зв'язку з вищою пружністю MgCl_2 кінцевий вміст хлору в шихті нижчий, ніж при використанні CaCl_2 і CaOCl_2 . Цинк і в цьому випадку видаляється порівняно легко, проте кінцева концентрація його не опускається нижче 0,05-0,04 %. Зі зростанням температури до 1200 °С вміст міді зменшується з 0,54 до 0,2 %.

При використанні в шихті хлористого заліза спостерігається значно глибше видалення сірки в процесі випалу (рис. 2.5). Так, за температури 1200 °С кінцевий вміст сірки перебуває на рівні 0,008-0,03 %. Зі збільшенням вмісту хлористого заліза в шихті кількість сірки після випалу незначно зменшується. При 6 % хлористого заліза залишковий вміст сірки вже становить 0,03 %. Цинк і мідь у цьому випадку видаляються досить добре. Зі збільшенням кількості хлористого заліза в шихті до 10-11 % вміст залишкового цинку безперервно зменшується. Подальше підвищення вмісту хлористого заліза в шихті мало впливає на вміст цинку. Цинк добре видаляється вже при 1100 °С. Кількість міді монотонно знижується зі зростанням кількості хлористого заліза в шихті. Зі зростанням температури до 400-500 °С відбувається швидке зниження концентрації хлору. Кінцевий вміст хлору при 1000 °С близько 0,02 %.

Досліди з випалювання шихти в суміші з різними хлораторами свідчать про те, що видалення домішок з огарку значною мірою залежить від термодинамічних характеристик процесу. Кінцевий вміст сірки в обпаленому огарку виходить досить низьким (0,03 %) тільки в разі застосування хлористого заліза.

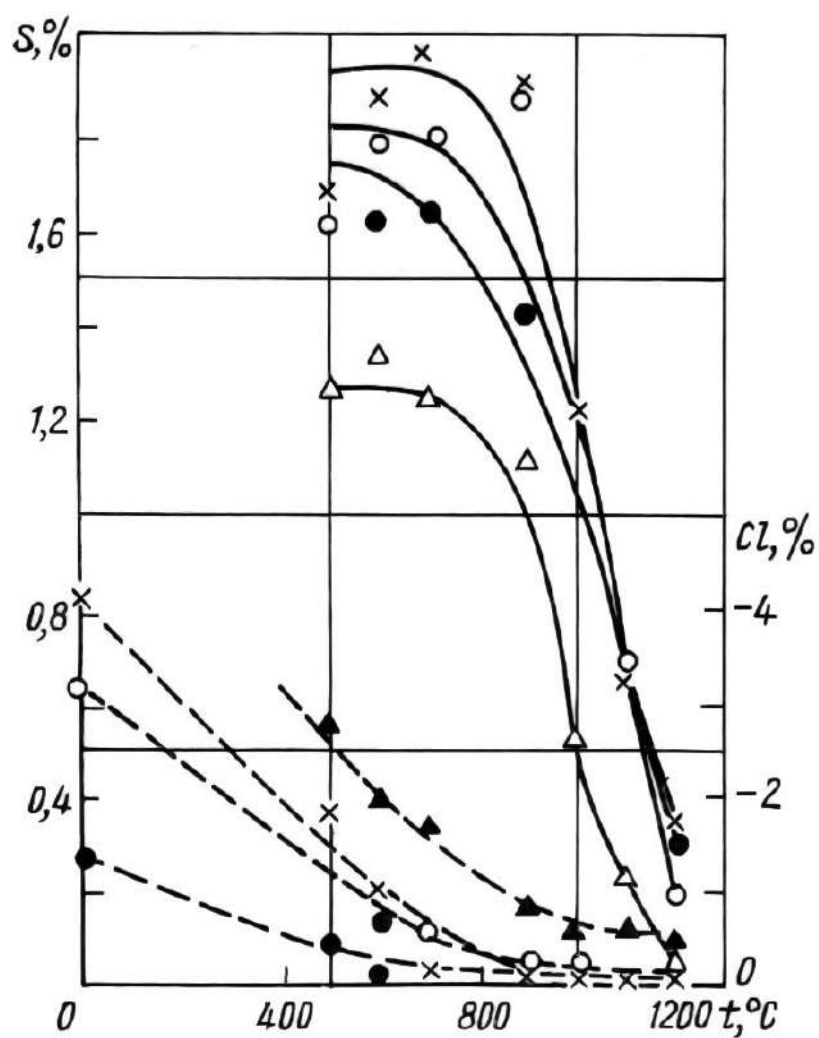


Рис. 2.4. Зміна залишкового вмісту сірки і хлору під час ізотермічного випалювання шихти протягом 30 хв із використанням в якості хлоратора $MgCl_2$: ▲, ● – 4 %, ○ – 8 %, × – 10 %, Δ – 14 %

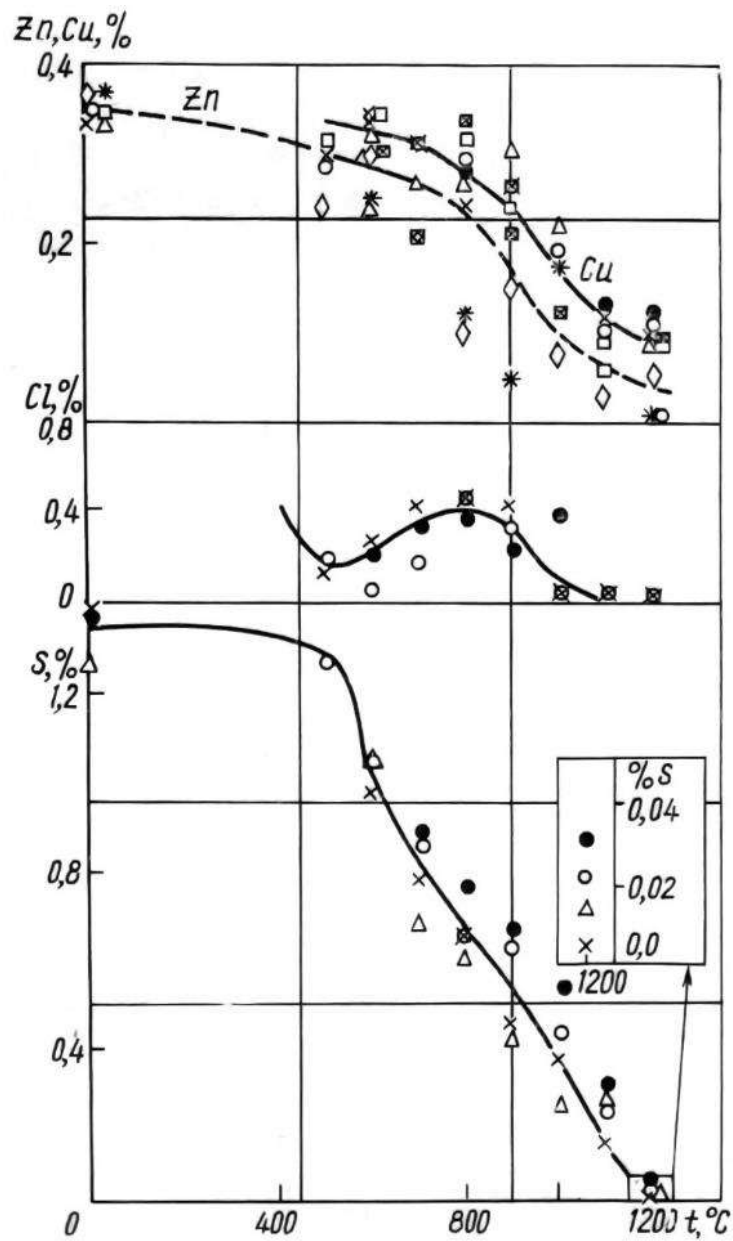


Рис. 2.5. Зміна залишкового вмісту сірки, хлору та кольорових металів під час ізотермічного випалювання шихти впродовж 30 хв із використанням у якості хлоратора FeCl₃ у кількості: ● – 3 %, ○ – 6 %, Δ – 10 %, × – 14 %

У разі використання хлористих сполук кальцію внаслідок фіксації сірки за рахунок утворення сірчистих сполук кальцію видалення сірки з недопалу ускладнене. Для видалення цинку необхідно забезпечити, крім температури, певний вміст хлору в реакційній зоні. Процес видалення міді має складніший характер і слабо пов'язаний зі вмістом хлору в шихті.

2.2 Закономірності видалення сірки та кольорових металів під час випалювання шихти з піритного огарку

Закономірності видалення сірки і кольорових металів при випалюванні шихти з піритного недогару і різних хлораторів [11] були досліджені при зміцнювально-хлорувальному випалюванні двошарових окатишів для доменної плавки.

Ядро двошарового окатиша діаметром 8-10 мм виготовляли з шихти, що містить 55 % хлорного вапна, 15 % хлористого кальцію і 30 % магнетитового концентрату. Оболонка окатишів завтовшки 3-4 мм складалася з 99 % піритного недогарку і 1 % бентоніту.

При 1200 °С випал протягом 40 хв забезпечує зниження вмісту сірки до 0,05 %, водночас при 1100 °С після 40 хв випалу вміст сірки становить 0,5 % (рис. 2.6).

Раніше [12, 13] встановлено, що видалення сірки з окатишів підпорядковується рівнянню

$$S^{\tau} = KS^{\circ}e^{-a\tau},$$

де S^{τ} і S° – кінцевий і початковий вміст сірки.

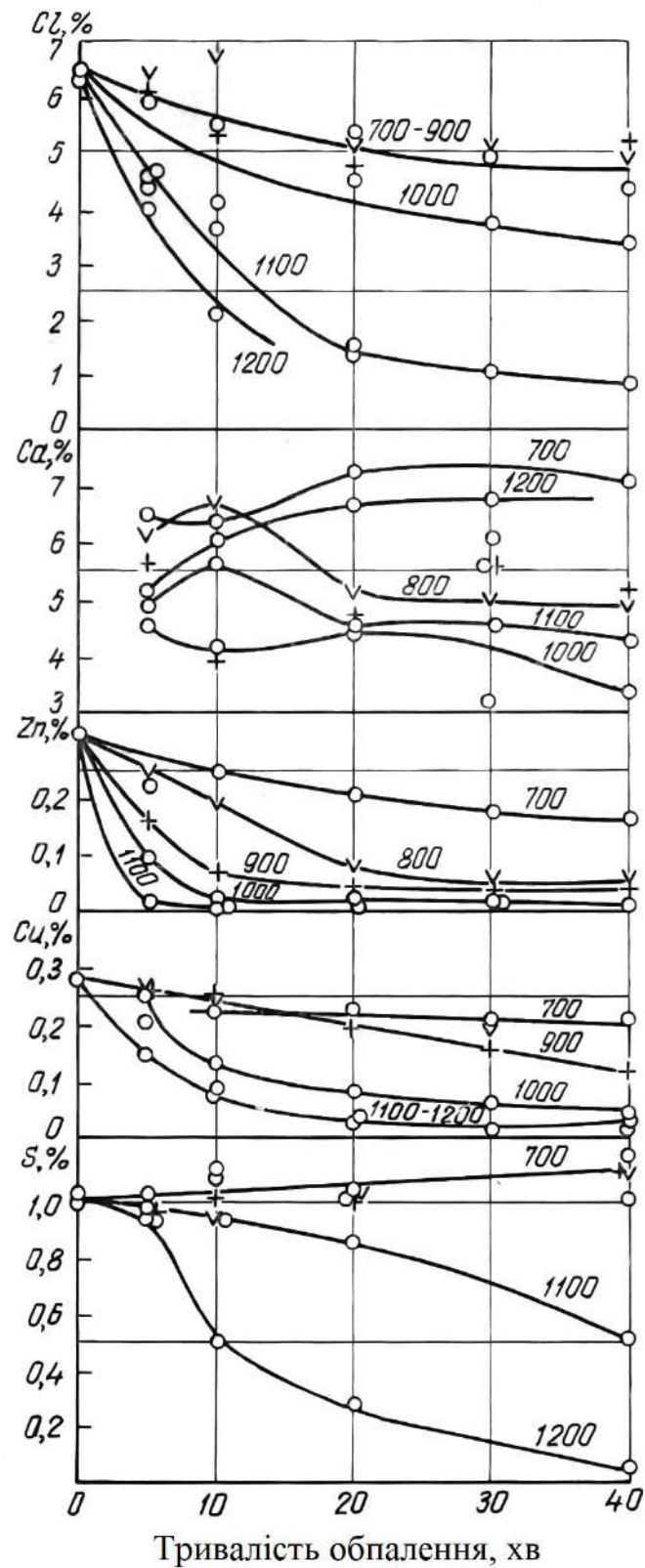


Рис. 2.6. Зміна вмісту сірки і кольорових металів у часі під час ізотермічного випалювання двошарових окатишів у повітряній атмосфері; цифри біля кривих – температура випалювання, °С

Відповідно до цього при ізотермічному випалюванні окатишів при 1200 °С

$$S^{\tau} = 0,856S^{\circ}e^{-0,0613\tau}.$$

Таким чином, положення кривої видалення сірки за різних температур визначається залежністю $K = Ae^{-E/RT}$.

Для видалення міді з окатишів вирішальне значення має температура. Так, при температурі близько 1100-1200 °С випал протягом 30 хв забезпечує досить низький залишковий вміст міді. У результаті випалу при 1000-1100 °С протягом 10 хв виходять окатиші з низьким вмістом цинку. Хлор ефективно видаляється з окатишів у процесі випалювання за температур близько 1100-1200 °С.

Представляє інтерес розподіл домішок за перерізом окатиша. Для цього окатиш діам. 16-18 мм розрізали на чотири шари (1, 2, 3, 4, починаючи із зовнішнього) і кожен шар окремо аналізували. У зовнішньому шарі (рис. 2.7) вміст сірки зі зростанням температури спочатку зростає, а потім падає. У другому і третьому шарах вміст сірки менший, ніж у першому. Зі зростанням температури в другому шарі відбувається спочатку деяке збільшення, а потім зменшення вмісту сірки; у третьому шарі вміст сірки безперервно зменшується. У четвертому центральному шарі вміст залишкової сірки змінюється дуже незначно і за всіх температур залишається майже на одному рівні.

Це можна пояснити утворенням сульфату кальцію, який зв'язує сірку. Оскільки в окатиші відбувається міграція хлоратора з центру до периферії, то в зовнішньому шарі вміст кальцію виходить навіть вищим, ніж у другому і третьому шарах. У результаті сірковмісний газ, що залишає окатиш, взаємодіє з окисом кальцію: сірка фіксується в зовнішньому шарі, що визначає підвищений вміст сірки в цьому шарі за температур випалу 800-1100 °С.

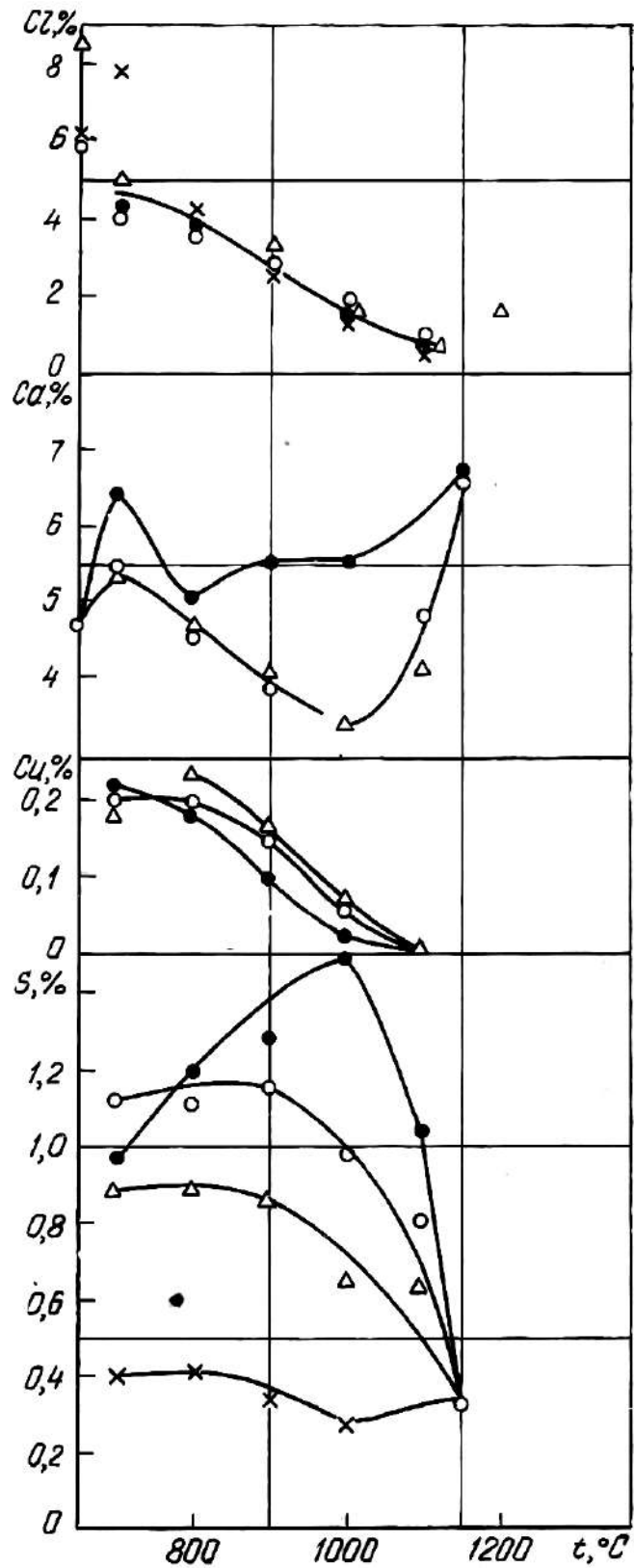


Рис. 2.7. Зміна хімічного складу різних шарів двошарових окатишів під час їхнього ізотермічного випалювання в повітряній атмосфері: ● – зовнішній шар 1; ○ – шар 2; Δ – шар 3; × – шар 4

Вміст хлору з ростом температури безперервно зменшується і не виявляється помітної різниці у вмісті хлору за шарами. Вміст міді в зовнішньому шарі нижчий, ніж усередині окатишів.

Важливий вплив на процес видалення сірки має склад атмосфери. Зменшення парціального тиску кисню призводить до поліпшення дисоціації сульфатів і, таким чином, має призводити до поліпшення видалення сірки. Для визначення впливу складу газової фази використовували повітря, аргон, суміш аргону з водяною парою і вуглекислий газ. У цих дослідках одношарові окатиші склалися з 92 % піритного недогару і 8 % CaCl_2 і з 90 % недогару і 10 % CaOCl_2 .

У таблиці 2.2 показаний вміст залишкової сірки за температури випалу $1200\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 30 хв і різного складу газової фази. Заміна повітря на аргон призводить до помітного зменшення вмісту сірки, що особливо різко проявляється при підвищенні температури до $1200\text{ }^\circ\text{C}$.

В атмосфері аргону виходить порівняно низький вміст сірки, а також міді та цинку.

На підставі отриманих даних видно, що для видалення сірки необхідно забезпечити насамперед певну температуру випалу, оскільки видалення сірки з окатишів описується рівнянням

$$C_S^\tau = AC_S^0 e^{-\frac{E}{RT} - a\tau},$$

де C_S^0 , C_S^τ – вміст сірки в початковий момент і в момент часу τ ; A , a – постійні.

У піритних огарках порівняно високий вміст кремнезему (10-15 %), що призводить до появи легкоплавких сполук у процесі випалу. Зменшення вмісту кремнезему в огарках під час їхнього збагачення і підвищення завдяки цьому температури початку розм'якшення окатишів дадуть змогу підвищити температуру випалу і створити сприятливіші умови для видалення сірки.

Таблиця 2.2

Залишковий вміст S, Zn і Cu при використанні різних хлораторів для різного складу атмосфери

Хлоратор і температурний режим	Склад атмосфери											
	повітря			аргон			аргон + вуглекислий газ			аргон + водень		
	S, %	Zn, %	Cu, %	S, %	Zn, %	Cu, %	S, %	Zn, %	Cu, %	S, %	Zn, %	Cu, %
1,5 % FeCl ₃ + 1,5 % MgCl ₂ ; 1200 °C	0,20	0,33	0,22	0,13	0,23	0,20	0,30	0,25	0,25	0,49	0,23	0,23
3 % FeCl ₃ + 3 % MgCl ₂ ; 1200 °C	0,08	0,17	0,07	0,38	0,15	0,15	0,41	0,07	0,13	0,17	0,16	0,11
5 % FeCl ₃ + 5 % MgCl ₂ ; 1200 °C	0,20	0,04	0,12	0,09	0,21	0,22	0,22	0,20	0,12	0,23	0,11	0,12
10 % FeCl ₃ ; 1200 °C	0,01	0,05	0,09	–	–	–	–	–	–	–	–	–
90 % П.О. + 10 % CaOCl ₂ ; 1100 °C	0,65	0,01	0,02	0,08	0,015	0,025	–	–	–	–	–	–
100 % П.О.; 1200 °C	0,21	0,34	0,28	0,05	0,32	0,27	0,24	0,12	0,14	0,11	0,30	0,24

Для видалення міді та цинку необхідно отримати певну концентрацію хлору в окатишах. Необхідна концентрація хлору невелика, причому для міді, очевидно, вирішальне значення мають умови видалення хлоридів міді в атмосферу [11]. У зв'язку з цим видається доцільним розділення етапів видалення сірки і кольорових металів. Таку схему використано в установці фірми Лургі [12-14].

На цій установці газоподібний хлор у суміші з повітрям подають на певному горизонті в шахтну піч для видалення кольорових металів, а видалення сірки відбувається головним чином за більш високих температур на нижніх горизонтах печі. Можлива також комбінована схема, за якої в окатиші вводять невелику кількість хлоратора для забезпечення певного вмісту хлору і дають газообмінний хлор для видалення кольорових металів, а видалення сірки проводять в умовах контрольованої атмосфери за заданої температури [15-18].

Таким чином, для видалення сірки, а також цинку і міді необхідне створення різних умов [19, 20]. На видалення сірки вирішальний вплив мають температура випалу, склад атмосфери й умови газодинаміки. Видалення міді та цинку пов'язане зі створенням певної концентрації хлору в окатишах і умовами видалення хлоридів з окатишів в атмосферу.

Висновки по основній частині

1. У зв'язку зі значним зростанням виробництва сірчаної кислоти утворилися великі запаси піритних огарків, які є цінною комплексною сировиною, що містить не лише залізо, але й значну кількість кольорових, благородних та рідкісних металів. Проте наявність сірки в огарках ускладнює їхнє використання, зокрема у виробництві чавуну.

2. Видалення сірки з піритних огарків є багатоетапним процесом, причому кінцеві стадії, особливо видалення сульфатної сірки (яка представлена різними сульфатами, зокрема кальцію та барію), є найбільш складними.

3. Для видалення небажаних кольорових металів з огарків необхідне хлорування, що накладає певні вимоги на умови процесу десульфурації.

4. Дослідження показали, що ефективність видалення сірки та кольорових металів залежить від використовуваного хлоратора.

5. Використання хлориду кальцію (CaCl_2) ускладнює видалення сірки через утворення сульфату кальцію. Видалення цинку відбувається успішно за високих температур, тоді як видалення міді є складнішим і слабо залежить від вмісту хлору.

6. Застосування хлорного вапна (CaOCl_2) не показало значних відмінностей у поведінці домішок порівняно з CaCl_2 , але видалення міді та цинку відбувалося за нижчого вмісту хлору у вихідній шихті.

7. Використання хлориду магнію (MgCl_2) сприяло помітному поліпшенню видалення сірки, яке починалося за нижчих температур, а кінцевий вміст сірки був значно нижчим.

8. Найкращі результати у видаленні сірки (до 0,03 %) були досягнуті при використанні хлориду заліза (FeCl_3) за температури 1200 °С. Цей хлоратор також забезпечував ефективне видалення цинку та міді.

9. Температура випалу є ключовим фактором, що впливає на ступінь видалення як сірки, так і кольорових металів. Для ефективного видалення більшості домішок потрібні високі температури (близько 1100-1200 °C).

10. Склад газової фази значно впливає на процес десульфурації. Зменшення парціального тиску кисню (наприклад, при використанні аргону) сприяє кращому видаленню сірки за рахунок поліпшення дисоціації сульфатів.

11. Процес видалення сірки з окатишів при ізотермічному випалюванні описується експоненційним рівнянням, де швидкість видалення залежить від температури. При випалюванні двошарових окатишів спостерігається нерівномірний розподіл сірки за перерізом, що пов'язано з міграцією хлоратора та утворенням сульфату кальцію у зовнішньому шарі.

12. Для ефективного видалення як сірки, так і кольорових металів з піритних огарків необхідні різні умови. Розглядаються варіанти розділення етапів видалення або використання комбінованих схем з контрольованою атмосферою та введенням хлораторів.

13. Високий вміст кремнезему в огарках може ускладнювати процес випалу через утворення легкоплавких сполук. Зменшення вмісту кремнезему шляхом збагачення може сприяти підвищенню температури випалу та покращенню видалення сірки.

14. Загалом, дослідження показує, що хлорувальне випалювання є перспективним методом для комплексної переробки піритних огарків з видаленням сірки та цінних кольорових металів. Однак для оптимізації процесу необхідно враховувати вплив типу хлоратора, температури, складу атмосфери та особливостей структури окатишів.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Законодавство в області охорони праці

Основними законами України, визначаючими основні положення про охорону праці, є конституція України, Закон України «Про охорону праці» і Кодекс законів про працю України.

Закон України «Про охорону праці» є одним з найважливіших законодавчих актів і визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності. Стаття 155 закону України «Про охорону праці» свідчить: «Жодне підприємство, цех, ділянка виробництва не повинні бути прийняті і введені в експлуатацію, якщо на них не створені безпечні і нешкідливі умови праці».

У основі технологічного процесу, що розглядається в даній випускній кваліфікаційній роботі магістра лежить процес підготовки металургійної сировини з піритних огарків. Нормованими параметрами технологічного процесу є маса початкових матеріалів, що переробляються, швидкість їх переміщення, об'єм, тиск і температура на різних стадіях процесу. У зв'язку з високотемпературною переробкою великої кількості матеріалів виробниче середовище сталеплавильного цеху характеризується наявністю ряду шкідливих і небезпечних чинників, таких як: підвищена температура, загазованість і запиленість повітря робочих зон.

3.2. Розрахункова частина

У цеху площею 100×40 м² з середнім виділенням пилу, кіптяви і диму мінімальна освітленість по нормі складає 50 лк. Освітлення здійснюється світильниками прямого світла. Напруга в освітлювальній мережі 127 В. Потужність вживаних електроламп 500 Вт.

Визначимо потужність освітлювальної установки і кількість ламп, необхідну для створення загального рівномірного освітлення. Розрахунок вироблений методом ватів.

Потужність освітлювальної установки по методу ватів визначається за допомогою наступної формули:

$$W = E \cdot s \cdot k / 1000 \cdot E_{\text{ср}}, \text{ кВт}, \quad (3.1)$$

де E – нормована освітленість, лк; s – площа освітлюваного приміщення, м^2 ; k – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення ламп і освітлювальної арматури, а також через поглинання частини світлового потоку нальотом вольфраму, що осідає на стінках колби лампи. Для приведенного прикладу при середніх виділеннях кіптяви, пилу і диму коефіцієнт запасу для ламп розжарювання $k = 1,5$; $E_{\text{ср}}$ – середня горизонтальна освітленість в лк при рівномірному розміщенні освітлювальних приладів загального освітлення при витраті $1 \text{ Вт}/\text{м}^2$. При потужності ламп 500 Вт , напрузі 127 В і світильниках прямого світла приймаємо $E_{\text{ср}} = 4,15$.

Підставивши цифрові значення у формулу (3.1), одержимо:

$$W = 50 \cdot 100 \cdot 40 \cdot 1,5 / 1000 \cdot 4,15 = 72,3 \text{ кВт}.$$

Необхідна кількість ламп вибраної потужності визначається за виразом:

$$N = W_1 / W_2, \text{ шт}, \quad (3.2)$$

де W_1 – потужність освітлювальної установки, Вт; W_2 – потужність однієї лампи, Вт.

При потужності однієї лампи 500 Вт , необхідна кількість ламп дорівнює:

$$N = 72300 / 500 = 145 \text{ шт}.$$

Таким чином, для створення загального рівномірного освітлення потужність освітлювальної установки повинна складати 72,3 кВт, необхідна кількість ламп – 145 штук, при потужності однієї лампи 500 Вт.

Висновки по охороні праці

1. У роботі передбачено застосування прогресивного устаткування, що дозволяє локалізувати шкідливі викиди в навколишнє середовище і забезпечити умови праці, що відповідають санітарним нормам.

2. Агломераційний цех по ступеню пожежної небезпеки відноситься до категорії «Г», як виробництво, пов'язане з обробкою матеріалів, що не згорають, в розплавленому стані і супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано дослідження аншліфів, яке проводилось на рудному мікроскопі МІН-9 у прямому поляризованому відбитому світлі на повітрі та з масляною імерсією при збільшеннях від 60 до 1440. Мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3. Порошок піритних недогарків вивчали також імерсійним методом у світлі на поляризаційному мікроскопі МІН-8. Встановлено, що найбільша частина зразків складена гематитом, який є провідною фазовою складовою.

2. Показано, що піритні недогарки зберігають реліктову коломорфну структуру піриту та марказиту. У більших шматочках недогарків добре видно залишки бруньок піриту та марказиту розміром 0,1-0,5 мм з характерною концентричною зональною структурою та радіальними тріщинами усихання коломорфного піриту. У монтованих шліфах також добре помітні уламки бруньок піриту та цілі округлі утворення. Пористість шматочків недогарка досягає 50-60 %.

3. Значна частина речовини недогарка не проходила через розплав і формувалася у твердій фазі. У таких структурах завжди міститься первинна порожня порода. Кварц та інші складові порожньої породи не містять перед випалом пірит усередині зерен. Це зумовлено тим, що пірит і марказит як мінерали гідротермального походження є молодшими складовими руди. Таким чином, тільки частина кварцу, що осаджувалась з розчинів разом з піритом і захоплена бруньками в процесі росту, брала активну участь у мінералоутворенні в процесі випалу. Іншими словами, частина кварцу зберігається у недогарках у вихідній формі без зв'язку з рудною речовиною. Ця частина порожньої породи може бути видалена з недогарків при збагаченні.

4. При надлишку кисню в газовій фазі огарок повинен повністю складатися лише з гематиту та кварцу. Насправді ж у ході випалу відчувається

нестача кисню всередині частинок сульфідної руди, що призводить до появи великих мас магнетиту, особливо у великих зернах.

5. Показано, що в результаті магнетизуючого випалу піритного огарка і подальшого збагачення може бути отриманий концентрат з 64 % Fe; 0,7-1,0 % S і 5,4-7,0 % SiO₂ при вилученні заліза в концентрат близько 93 %.

6. Вивчені дослідження, в яких було виконано магнетизуючий випал із застосуванням водню та окису вуглецю у суміші з вуглекислотою при температурах 500-750 °С.

7. При використанні водню найбільш повне вилучення заліза в концентрат і вихід концентрату досягаються за час витримки близько 15 хв, а при використанні окису вуглецю – 20 хв; при цьому температура відновлення воднем піритного недогарка на 100-150 °С нижче, ніж температура відновлення окисом вуглецю. Вихід концентрату у разі застосування водню, наприклад при 500 °С, виявляється у два рази вищим, ніж при використанні окису вуглецю.

8. Для магнетизуючого випалу піритних недогарків крім газоподібних відновників використовували також твердий відновник. Показано, що використання в якості відновника твердого палива (коксіка) менш ефективно порівняно з газоподібним.

9. Для магнетизуючого випалу піритних недогарків водень ефективніший відновник порівняно з окисом вуглецю та коксіком. Проте, у дослідях з магнетизуючим випаленням не спостерігали помітного зменшення вмісту цинку, міді та свинцю в концентраті.

10. У зв'язку зі значним зростанням виробництва сірчаної кислоти утворилися великі запаси піритних огарків, які є цінною комплексною сировиною, що містить не лише залізо, але й значну кількість кольорових, благородних та рідкісних металів. Проте наявність сірки в огарках ускладнює їхнє використання, зокрема у виробництві чавуну.

11. Видалення сірки з піритних огарків є багатостадійним процесом, причому кінцеві стадії, особливо видалення сульфатної сірки (яка представлена різними сульфатами, зокрема кальцію та барію), є найбільш складними.

12. Для видалення небажаних кольорових металів з огарків необхідне хлорування, що накладає певні вимоги на умови процесу десульфурації.

13. Дослідження показали, що ефективність видалення сірки та кольорових металів залежить від використовуваного хлоратора.

14. Використання хлориду кальцію (CaCl_2) ускладнює видалення сірки через утворення сульфату кальцію. Видалення цинку відбувається успішно за високих температур, тоді як видалення міді є складнішим і слабо залежить від вмісту хлору.

15. Застосування хлорного вапна (CaOCl_2) не показало значних відмінностей у поведінці домішок порівняно з CaCl_2 , але видалення міді та цинку відбувалося за нижчого вмісту хлору у вихідній шихті.

16. Використання хлориду магнію (MgCl_2) сприяло помітному поліпшенню видалення сірки, яке починалося за нижчих температур, а кінцевий вміст сірки був значно нижчим.

17. Найкращі результати у видаленні сірки (до 0,03 %) були досягнуті при використанні хлориду заліза (FeCl_3) за температури 1200 °C. Цей хлоратор також забезпечував ефективне видалення цинку та міді.

18. Температура випалу є ключовим фактором, що впливає на ступінь видалення як сірки, так і кольорових металів. Для ефективного видалення більшості домішок потрібні високі температури (близько 1100-1200 °C).

19. Склад газової фази значно впливає на процес десульфурації. Зменшення парціального тиску кисню (наприклад, при використанні аргону) сприяє кращому видаленню сірки за рахунок поліпшення дисоціації сульфатів.

20. Процес видалення сірки з окатишів при ізотермічному випалюванні описується експоненціальним рівнянням, де швидкість видалення залежить від температури. При випалюванні двошарових окатишів спостерігається

нерівномірний розподіл сірки за перерізом, що пов'язано з міграцією хлоратора та утворенням сульфату кальцію у зовнішньому шарі.

21. Для ефективного видалення як сірки, так і кольорових металів з піритних огарків необхідні різні умови. Розглядаються варіанти розділення етапів видалення або використання комбінованих схем з контрольованою атмосферою та введенням хлораторів.

22. Високий вміст кремнезему в огарках може ускладнювати процес випалу через утворення легкоплавких сполук. Зменшення вмісту кремнезему шляхом збагачення може сприяти підвищенню температури випалу та покращенню видалення сірки.

23. Загалом, дослідження показує, що хлорувальне випалювання є перспективним методом для комплексної переробки піритних огарків з видаленням сірки та цінних кольорових металів. Однак для оптимізації процесу необхідно враховувати вплив типу хлоратора, температури, складу атмосфери та особливостей структури окатишів.

24. У роботі передбачено застосування прогресивного устаткування, що дозволяє локалізувати шкідливі викиди в навколишнє середовище і забезпечити умови праці, що відповідають санітарним нормам.

25. Агломераційний цех по ступеню пожежної небезпеки відноситься до категорії «Г», як виробництво, пов'язане з обробкою матеріалів, що не згорають, в розплавленому стані і супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я.

Перелік бібліографічний джерел

1. Ma, Z., Zhang, S., & Xiao, R. (2020). Redox performance of pyrite cinder in methane chemical looping combustion. *Chemical Engineering Journal*, 395, 125097.
2. Zhang, S., Rajendran, S., Henderson, S., Zeng, D., Xiao, R., & Bhattacharya, S. (2015). Use of pyrite cinder as an iron-based oxygen carrier in coal-fueled chemical looping combustion. *Energy & Fuels*, 29(4), 2645-2655.
3. He, B., Tian, X., Sun, Y., Yang, C., Zeng, Y., Wang, Y., ... & Pi, Z. (2010). Recovery of iron oxide concentrate from high-sulfur and low-grade pyrite cinder using an innovative beneficiating process. *Hydrometallurgy*, 104(2), 241-246.
4. Bendz, D., Tiberg, C., & Kleja, D. B. (2021). Mineralogical characterization and speciation of sulfur, zinc and lead in pyrite cinder from Bergvik, Sweden. *Applied Geochemistry*, 131, 105010.
5. Tiberg, C., Bendz, D., Theorin, G., & Kleja, D. B. (2017). Evaluating solubility of Zn, Pb, Cu and Cd in pyrite cinder using leaching tests and geochemical modelling. *Applied Geochemistry*, 85, 106-117.
6. Huang, A cost-effective approach to realization of the efficient methane chemical-looping combustion by using coal fly ash as a support for oxygen carrier[J], *Appl. Energy*, № 230, с. 393
7. Adánez, Chemical-looping combustion: status and research needs[J], *Proc. Combust. Inst.*, № 37, с. 4303
8. Zhang, Development of iron ore oxygen carrier modified with biomass ash for chemical looping combustion[J], *Energy*, № 186
9. Ma, Insights into the relationship between microstructural evolution and deactivation of Al₂O₃ supported Fe₂O₃ oxygen carrier in chemical looping combustion[J], *Energy Convers. Manage.*, № 188, с. 429
10. Ubando, Iron oxide reduction by torrefied microalgae for CO₂ capture and abatement in chemical-looping combustion[J], *Energy*, № 186

11. Zeng, Metal oxide redox chemistry for chemical looping processes[J], *Nat. Rev. Chem.*, № 2, c. 349
12. Deng, Evaluation of calcined copper slag as an oxygen carrier for chemical looping gasification of sewage sludge[J], *Int. J. Hydrogen Energy*, № 44, c. 17823
13. Deng, Enhanced performance of red mud-based oxygen carriers by CuO for chemical looping combustion of methane[J], *Appl. Energy*, № 253
14. Chen, Evaluation of multi-functional iron-based carrier from bauxite residual for H₂-rich syngas production via chemical-looping gasification[J], *Fuel Process. Technol.*, № 156, c. 185
15. Mendiara, Low-cost Fe-based oxygen carrier materials for the iG-CLC process with coal. 1[J], *Ind. Eng. Chem. Res.*, № 51, c. 16216
16. Deng, Synergy effects of combined red muds as oxygen carriers for chemical looping combustion of methane[J], *Chem. Eng. J.*, № 341, c. 588
17. Leion, The use of ilmenite as an oxygen carrier in chemical-looping combustion[J], *Chem. Eng. Res. Des.*, № 86, c. 1017
18. Cuadrat, Behavior of ilmenite as oxygen carrier in chemical-looping combustion[J], *Fuel Process. Technol.*, № 94, c. 101
19. Chen, Activation of ilmenite as an oxygen carrier for solid-fueled chemical looping combustion[J], *Appl. Energy*, № 197, c. 40
20. Sun, Enhanced performance of ilmenite modified by CeO₂, ZrO₂, NiO, and Mn₂O₃ as oxygen carriers in chemical looping combustion[J], *Appl. Energy*, № 195, c. 303
21. Xu, Cu-modified manganese ore as an oxygen carrier for chemical looping combustion[J], *Energy Fuels*, № 28, c. 7085

Звіт подібності

метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Ніщик Єлісей Валерійович

Автор

Науковий керівник / Експерт

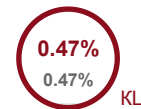
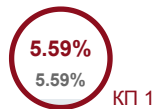
Ніщик Єлісей ВалерійовичЧупринов Є.В.

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

7636

Кількість слів

52042

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		98
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		25

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	Ахмадєєв Владислав Геннадійович 1/14/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	98 1.28 %
2	Барна Ігор Олександрович 1/14/2025 STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY (STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY)	97 1.27 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра металургійних технологій

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра
(бакалавра, магістра)

Студента(ки) Ніщика Єлісея Валерійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи МТ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Дослідження процесів обпалення залізородної сировини
з метою видалення цинку та міді

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>54</u>
таблиць	<u>2;</u>
схем і рисунків	<u>17;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>7.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Вивчені дослідження, в яких було виконано магнетизуючий випал із застосуванням водню та окису вуглецю у суміші з вуглекислою при температурах 500-750 °С. Показано, що в результаті магнетизуючого випалу піритного огарка і подальшого збагачення може бути отриманий концентрат з 64 % Fe; 0,7-1,0 % S і 5,4-7,0 % SiO₂ при вилученні заліза в концентрат близько 93 %. Відзначено, що при використанні водню найбільш повне вилучення заліза в концентрат і вихід концентрату досягаються за час витримки близько 15 хв, а при використанні окису вуглецю – 20 хв; при цьому температура відновлення воднем піритного недогарка на 100-150 °С нижче, ніж температура відновлення окисом вуглецю. Вихід концентрату у разі застосування водню, наприклад при 500 °С, виявляється у два рази вищим, ніж при використанні окису вуглецю. Для магнетизуючого випалу піритних недогарків крім газоподібних відновників використовували також твердий відновник. Показано, що використання в якості відновника твердого палива (коксика) менш ефективно порівняно з газоподібним.

Недоліки кваліфікаційної роботи

бакалавра

(бакалавра, магістра)

Проаналізовані результати досліджень, які стали основою дипломної роботи, можливо, не розкриті у повній мірі, що, тим не менше, не впливає на цінність роботи. Також наявні деякі стилістичні та пунктуаційні помилки.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання:

Під час написання дипломної роботи Ніщик Є.В. проявив себе, як спеціаліст у галузі металургії. Всі поставлені завдання були виконані вчасно та у повній мірі. Дипломна робота виконана самостійно студентом із незначною допомогою наукового керівника щодо оформлення та напрямків пошуку інформації.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Робота може бути використана в якості теоретичної бази для впровадження нових технологічних рішень у агломераційний процес.

Оцінка кваліфікаційної роботи бакалавра – відмінна

Керівник

Кассім Дар'я Олександрівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

професор, д.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 07 » 06 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра металургійних технологій

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу _____ бакалавра
(бакалавра, магістра)
Студента(ки) _____ Ніщика Єлісея Валерійовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи	
Тема кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Дослідження процесів обпалення залізорудної сировини з метою видалення цинку та міді</u>	
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Закономірності видалення сірки та кольорових металів під час випалювання шихти з піритного огарку.</u>	
Переваги кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
<u>Робота направлена на вирішення актуального питання утилізація та переробки піритних огарків з метою отримання придатної залізорудної сировини.</u>	
Недоліки кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Суттєвих недоліків не виявлено	
Рекомендації: робота рекомендується до захисту в екзаменаційній комісії	
Рецензент	Чупринов Євген Валерійович (прізвище, ім'я та по-батькові)

доцент, к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

Д О В І Д К А
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
 навчальної/наукової праці;
 наукових матеріалів

«Дослідження процесів в обтачці залізничної сервіси»,
з метою визначення якості та швидкості ^(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Кісик Євген Валерійович

(ПІБ)

кафедра мехатронічних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 50 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом
«Strike Plagiarism».

Рівень оригінальності становить 94,41 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- власними публікаціями;
 термінологією;
 посиланнями на літературу, праці вчених;
 посиланнями на законодавство;
 загальноновживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до

захисту в ЄК на засіданні

(подальшого розгляду, друку, опублікування тощо)

кафедри мехатронічних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія тощо)

№ 12 Державного університету економіки і технологій від «12» 06 2025р. протокол

Керівник підрозділу

(підпис)

Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 12.06.2025

ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій

про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Нісчук Євген Валерійович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Розроблення програм об'єднання залізничного сполучення з метою вивчення впливу на» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

07.06.2025

Євген

Нісчук Е.В
(ініціали, прізвище, власноруч)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку студента-випускника

Ніщика Єлісея Валерійовича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій

Спеціальність 136 – Металургія

(шифр, назва)

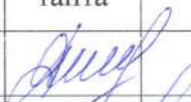

Тема кваліфікаційної роботи магістра Дослідження процесів обпалення залізородної сировини з метою видалення цинку та міді

Керівник кваліфікаційної роботи:

професор, д.т.н., Кассім Д.О.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Кассім Д.О.	зарах	07.06		
2	Основна частина	Кассім Д.О.	зарах	07.06		
3	Охорона праці	Кассім Д.О.	зарах	07.06		

Завідувач кафедри


(підпис)

Д.О. Кассім

(ініціали, прізвище)

« 07 » 06 2025 р.