

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів
і ливарного виробництва

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – Металургія

на тему: Розробка в умовах ПАТ «Центральний ГЗК» основних технологічних рішень фабрики з виробництва 8 млн. т/рік залізорудних окатишів, передбачаючи заходи для підвищення їх якості.

Виконав:

студент групи МТ-23-2ск

Роман ПІВЕНЬ

Керівник випускної роботи

Володимир ПЛОТНІКОВ

Нормоконтролер

Володимир ПЛОТНІКОВ

Завідувач кафедри

Сергій САВЕЛЬСВ

Кривий Ріг
2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійний

Кафедра: металургії чорних металів і ливарного виробництва

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою

_____ Савельєв С.Г.

« ___ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної атестаційної роботи бакалавра

Півня Романа Олександровича

1. Тема роботи: Розробка в умовах ПАТ «Центральний ГЗК» основних технологічних рішень фабрики з виробництва 8 млн. т/рік залізородних окатишів, передбачаючи заходи для підвищення їх якості.

керівник роботи: к.т.н., доцент Плотніков В.В.

затверджено наказом по КНУ від «_19_»__02____2026 р. № 112с

2. Строк подання роботи студентом «_11_»__03____2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: вихідні дані для розрахунку шихти

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): розрахунок шихти для виробництва залізородних окатишів основністю 1,2 та хімічного складу випалених окатишів; вибір і обґрунтування основного технологічного обладнання фабрики по виробництву офлюсованих окатишів продуктивністю 8,0 млн. т/рік; методика визначення металургійних властивостей окатишу; методика постановки експерименту.

5. Перелік графічного матеріалу: презентація (___ стор. формату А4)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання випускної кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів
1	Вступ	січень 2026 р.
2	Технологічна частина	січень 2026 р.
3	Розрахунок шихти для виробництва залізородних окатишів основністю 1,2 та хімічного складу випалених окатишів	січень 2026 р.
4	Вибір і обґрунтування основного технологічного обладнання фабрики по виробництву офлюсованих окатишів продуктивністю 8,0 млн. т/рік	лютий 2026 р.
5	Методика визначення металургійних властивостей окатишу	лютий 2026 р.
6	Методика постановки експерименту	лютий 2026 р.
7	Стан питання за літературними даними	лютий 2026 р.
8	Спеціальна частина	березень 2026 р.
9	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	квітень 2026 р.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Роман ПІВЕНЬ
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Володимир ПЛОТНІКОВ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи на тему: Розробка в умовах ПАТ «Центральний ГЗК» основних технологічних рішень фабрики з виробництва 8 млн. т/рік залізорудних окатишів, передбачаючи заходи для підвищення їх якості: 101 с, 5 рис, 42 табл., 36 джерел.

Теорія та практика виробництва окатишів показала, що їх якість та показники процесу суттєво залежать від якості сполучної добавки. Приблизно на 90 % в теперішній час в якості сполучної добавки при огрудкуванні застосовується високоякісна бентонітова глина, родовища якої, на жаль в Україні відсутні. Тому в якості еквівалентного замітника бентонітовій глині запропоновано використовувати активне вапно.

Як показали дослідження НМетАУ досить ефективним заміником і частково флюсоуючою добавкою може бути феритна суміш, додання якої (з одного боку збільшує комкуємість шихти, а з іншого – суттєво підвищує холодну і гарячу міцність випалених окатиші.

На частковий аналіз та пояснення цих положень і направлений даний дипломний проект.

ОКАТИШІ, ФЛЮСИ, АКТИВНЕ ВАПНО, ФЕРИТНА СУМІШ,
ЗАЛІЗОРУДНИЙ КОНЦЕНТРАТ, БЕНТОНІТ.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.Р		
Зм	Анк	№	Підпис	Дат			
Розробл	Півень				Лімен	АнкVII	АнкVIII
Перевір	Плотніков					1	1
Н	Плотніков				РЕФЕРАТ		
Затвер	Савельєв				МТ-23-2ск		

ЗМІСТ

1.	Вступ.....	7
2.	Технологічна частина проекту.....	10
2.1.	Характеристика підприємства.....	10
2.2.	Опис технологічної схеми виробництва окатишів на ЦГЗКа і шихтових матеріалів.....	10
2.3.	Аналіз технологічної схеми фабрики огрудкування ЦГЗКа.....	17
2.4.	Обґрунтування й опис технологічної схеми на проєктованій фабриці....	20
3.	Розрахунок шихти для виробництва залізорудних окатишів основністю 1,2 та хімічного складу випалених окатишів.....	22
4.	Вибір і обґрунтування основного технологічного обладнання фабрики по виробництву офлюсованих окатишів продуктивністю 8,0млн т/рік.....	26
5.	Методика визначення металургійних властивостей окатишів.....	33
6.	Методика постановки експерименту.....	35
7.	Стан питання за літературними даними.....	38
8.	Спеціальна частина.....	48
8.1.	Дослідження процесу огрудкування і якості сирих і сухих окатишів.....	48
8.2.	Дослідження процесу високотемпературного випалу залізорудних окатишів і їх металургійних властивостей.....	54
8.3.	Дослідження процесу сушки залізорудних окатишів.....	65
8.4.	Огрудкування шихти. Підготовка сирих окатишів.....	69
8.5.	Відпрацювання технології підготовки сталеплавильних шлаків для використання у виробництві окатишів.....	81
8.6.	Механізм зміцнення сирих окатишів.....	87
8.7.	Офлюсування залізорудних окатишів сталеплавильними шлаками.....	94
9.	Висновки.....	99
10.	Список використаної літератури.....	101

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.3					
<i>Зм</i>	<i>Анк</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	ЗМІСТ			<i>Лімен</i>	<i>АнкVII</i>	<i>АнкVIIІ</i>
<i>Розробл</i>	<i>Півень</i>							1	1	
<i>Перевір</i>	<i>Плотніков</i>									
<i>Н</i>	<i>Плотніков</i>							MT-23-2ск		
<i>Затвер</i>	<i>Савельєв</i>									

ВСТУП

Як сполучний компонент при виробництві залізорудних окатишів використовують бентонітові глини. До бентонітів висувається цілий ряд вимог: набухаємість не менш чим в 10 раз, крупність менш 0,1мм, бентонітове число не менш 80, і вологість 5-8 %.

Вводиться бентоніт в огрудкувальну шихту в кількості 0,5-1 %. Підвищена витрата бентоніту при виробництві окатишів приводить до погіршення показників доменної плавки: збільшується вихід шлаків, зростає витрата коксу на 5-12 кг на тону чавуну, знижується продуктивність доменної печі на 0,3-1,3 %. Враховуючи витрати на підготовку бентоніту (видобуток, транспортування, сушіння, здрібнювання) і його негативний ефект у доменному виробництві, необхідно прагнути до зниження його витрати.

Основною тенденцією розвитку гірничо-металургійного комплексу України відповідно до Національної програми розвитку є підвищення якості продукції й енергозбереження. Збільшення масової частки заліза в залізорудних концентратах пов'язане зі збільшенням тонини помолу й, отже, з підвищенням питомої поверхні матеріалів, що надходять на огрудкування. Інтенсифікація процесів брикетування й огрудкування вимагає пошуку нових ефективних сполучних добавок.

До 1992 року на всіх огрудкувальних фабриках України в якості сполучної добавки застосовувалася імпортована бентонітова глина Азербайджанського гірничо-збагачувального комбінату (АзГЗК). Уже з початку 80-х років якість лужного бентоніту АзГЗК почало погіршуватися, тому можливість використання місцевих сполучних глинистих добавок, наявних у розкривних породах залізорудних кар'єрів, досить актуальна. Разом з тим розкривні лужноземельні глини не знаходять широкого застосування через низьку міцність властивостей окускованної сировини, і гостро стоїть проблема пошуку ефективних добавок для інтенсифікації процесів брикетування й огрудкування із цими добавками.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.ВС		
Зм	Анк	№	Підпис	Дат			
Розробл	Півень				Ліпен	АнкVIII	АнкVIIIІІ
Перевір	Плотніков					1	3
Н	Плотніков				ВСТУП		
Затвер	Савельєв				МТ-23-2ск		

У зв'язку з тим, що в Україні відсутні бентонітові глини, що відповідають якісним показникам раніше використовуваних глин, стало доцільним активувати наявні на території України бентонітові глини Григорівського, Першотравневого, Дашуковського родовищ.

Зниження витрати бентоніту в шихту огрудкування можливо шляхом підвищення його якості в результаті селективного видобутку бентоніту на основі геолого-технологічних карт родовищ, а також хімічної активації бентоніту, сутність якої полягає в заміщенні катіонів дифузійного шару часток бентоніту катіонами натрію .

У Чехословаччині досліджені два способи активації бентоніту родовища Ластовце содою - сухою й вологою - причому останній у двох модифікаціях (холодною й гарячою). Результати натрифіцування бентоніту оцінювалися пробою Енсліна, що показує досить тісну залежність із показниками міцності сирих і сухих окатишів. Найкращі результати отримані при 3 %-вій присадці соди у воді розчину з температурою 80°C і витримки суміші. При цьому проба Енсліна зросла з 360 до 630 %, а міцність на стиск сирих і сухих окатишів збільшилася з 14 до 26Н/ок. і з 18 до 69 Н/ок. відповідно.

Однак позитивний ефект від активації бентонітових глин лужними металами зводиться до мінімуму при збільшенні ступеня мінералізації води на огрудкувальних фабриках.

За статистичним даними в країнах СНД експлуатуються більше 13 родовищ бентонітових глин, у тому числі 4 родовища на Україні. Однак, виробництво якісних бентонітів розвинено недостатньо, хоча властиві таким глинам коштовні специфічні властивості дозволяють із більшим ефектом використовувати їх у хімічній, харчовій, легкій, нафтовій, енергетичній, машинобудівній, фарфорофаянсовій й інших галузях промисловості, медицині, сільському господарстві й інших видах виробництв. Якісні бентонітові глини є дефіцитними, і тому пошуки їхніх замінників у гірничорудній і металургійній промисловості є досить актуальним і своєчасним завданням.

При збагаченні марганцевих руд по існуючим у цей час технологічним схемам утвориться значна кількість шламів (до 50 % від ваги вихідної руди), втрати металу з якими становлять близько 30 %.

Зокрема, збагачувальні фабрики Нікополь-Марганецького басейну щорічно скидають у шламосховища близько 3,5 млн. т. шламів. У цих шламах утримується до 50 % тонкодисперсного продукту (фракції 10 мкм більше 90 %), представленого на 40-45 % монтморілонітовими глинами, що надає йому деякі властивості бентонітових глин. Крім того, у цьому дисперсному продукті втримується 10-12 % Mn, 5-7 % Fe. Вартість 1т виділених шламів не перевищує 5 грн.

Використання шламів процесів збагачення марганцевих руд у металургійному виробництві як замічник бентонітових глин при огрудкуванні тонкоподрібнених залізорудних концентратів представляється перспективним.

Завданням даного дослідження було вивчення фізико-хімічних властивостей тонкодисперсних в'язучих домішок і металургійних властивостей залізорудних окатишів на їхній основі з метою прогнозування можливості застосування цих матеріалів як замічника бентонітових глин при виробництві окатишів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика підприємства.

Відкрите акціонерне товариство «ЦГЗКа», створено в 1997 році, і розташоване на території Тернівського району м. Кривого Рогу. Комбінат займає площу 6262,7 гектара. Під промислові об'єкти та складські приміщення відведено 930,4 гектара. Площа складських приміщень складає 24348м³.

У складі комбінату 8 основних та 8 допоміжних цехів, 5 управлінь. Сировинна база представлена кар'єром №1 (Глеєватського родовища), кар'єром №3 (Петровського родовища), кар'єром №4 (Артемівського родовища). Початкові проектні потужності по магнетитовій руді складали в порядку назви об'єктів сировинної бази (у млн. тонн) 11,8,4, нинішні потужності (у млн. тонн) 5,4,1; вміст заліза магнітного в руді відповідно у (%) 21,24,28.

Концентрат, що виробляється на комбінаті за якісними характеристиками найкращий в Україні. Вміст заліза в ньому 66-66,3 %. Окатиші підприємство випускає двох видів: офлюсовані (вміст 63,5 %, основність-0,1, дріб'язок 4 %).

Товарна продукція комбінату відправляється на експорт (Чехія, Словачія, Польща, Румунія) та на внутрішній ринок (металургійні комбінати Кривого Рогу, Дніпропетровська, Дніпродзержинська).

У 2000 році постачання складали на експорт – концентрату 1 млн.841,3 тис. тонн, окатишів 17,5 тис.тонн, офлюсованого концентрату-3,8 тис. тонн; на внутрішній ринок - концентрату 212,4тис.тон, обкотишів-1млн.706,4тис. тонн, офлюсованого концентрату-39,7 тис. тон.

2.2 Опис технологічної схеми виробництва окатишів на ЦГЗКа і шихтових матеріалів.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02.ТЧ					
Зм	Анк	№	Підпис	Дат	ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА			Лімен	АнкVII	АнкVIII
Розробл	Півень								1	12
Перевір	Плотніков									
Н	Плотніков									
Затвер	Савельєв						МТ-23-2ск			

Фабрика огрудкування ЦГЗКа складається з двох технологічних цехів – цеху приготування шихти і цеху огрудкування та випалу.

Фабрика огрудкування ЦГЗКа введена в лад в 1968 році. Технічні й проектні рішення при будівництві фабрики базувалися на застосуванні технологічного встаткування яке для того часу (1962-1968pp) відповідало науково-технічному прогресу й накопиченим рівням знань і досвіду роботи фабрик огрудкування чорної металургії.

До теперішнього часу технічний рівень фабрики відстав від сучасних вимог, особливо по основному технологічному встаткуванню. Це стосується насамперед випалювальних машин ОК-5-108, чашових огрудкувачів 5,0м, шарових млинів, дозуючого й ваговимірювального встаткування й т.п.

Цех приготування шихти поєднує в одному комплексі:

- корпуси дроблення й сушіння вапняку і бентоніту з обслуговуючими їхніми самохідними бункерами й конвеєрами;
- відділення здрібнювання сирих матеріалів;
- відділення приготування шихти з комплектом бункерів, дозаторів, конвеєрів, ваговимірювачів і змішувачів на 2-х паралельних потоках шихти.
- шихтові бункери корпусу огрудкування з конвеєрами, що подають, і саморозвантажними візками.

У цех приготування шихти надходять всі сирі матеріали, що становлять шихту для одержання окатишів: магнетитовий концентрат, флюсуючі добавки, зв'язуючі, возврат.

Поступаючи в цех матеріали повинні відповідати по якості технічним умовам і СТП.

Вапняк і бентоніт, що поставляють комбінату у вагонах МПС, повинні мати паспорта із вказівкою їхньої якості й ваги.

Матеріали, що подають в шихту - концентрат зі складу збагачувальної фабрики, вапняк і бентоніт з бункерів мелених домішок і возврат - піддаються випробуванню відповідно до карти випробування ВТК.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02.ТЧ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			2

Концентрат є основною залізорудною частиною шихти. Він поступає зі складу збагачувальної фабрики в витратні бункери корпусу підготовки шихти. Забір концентрату зі складу проводиться у відповідності з «Інструкцією по складуванню, усередненню і вивантаженню концентрату, який належить переробці на фабриках огрудкування.

Заповнення видаткових бункерів концентратом проводиться на обох потоках за допомогою реверсивних пересувних конвеєрів. При розвантаженні рівень матеріалів в бункерах не повинен опускатися нижче 1/3 висоти бункеру.

Доломітований вапняк. Додається в шихту в якості флюсуючих домішок для виробництва офлюсованих окатишів. Надходить із Докучаєвського флюсодоломітного комбінату (Сленівське родовище).

Якість вапняку визначається технічними умовами.

Вихідна крупність повинна становити 80-0мм.

Вапняк прибуває в п/вагонах (гондолах) партіями до 650т і розвантажується на естакаді складу сирих матеріалів через розвантажувальні люки. З - під естакади вапняк грейферними кранами перевантажується в штабель висотою до 9м. Ємність складу для вапняку - 24000т.

Склад облаштований трьома козовими грейферними кранами Q=15т з ємністю грейфера – 5,3м³, а також чотирма самохідними бункерами об'ємом 6,5м³.

Підготовка вапняку здійснюється в 2 стадії:

- 1) дроблення вихідного матеріалу в молоткових дробарках до фракції 20-0мм.
- 2) Здрібнювання дробленого вапняку з 20-0мм до 0,1-0мм у кульових млинах сухого помолу.

Зі складу вапняк грейферним краном завантажується в самохідні бункери (2-4), які молотковими живильниками видають його з конвеєрів в молоткові дробарки для попереднього дроблення.

Роздроблений до крупності 20-0мм вапняк після молоткових дробарок подається в цех і завантажується в проміжні бункери. З бункерів вапняк видається

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02.ТЧ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			2

дозаторами на стрічкові конвеєра й завантажується в млини.

Схема дроблення – напіврозімкнута з регульованою частиною вентиляючого сушильного агента в вхідний патрубков млина.

Як сушильний агент використовують гарячі гази з температурою 400-500⁰С від топкових агрегатів.

Здрібнений до фракції 0-0,1мм вапняк з пилоосаджувальних агрегатів надходить на гвинтові транспортні шнеки, які розподіляють його по видаткових бункерах, розташованим в одному ряді з видатковими бункерами концентрату.

Бентоніт. Застосовується як сполучна добавка в шихту для поліпшення якості сирих окатишів й інтенсифікації сушіння. Надходить у цей час в основному з Казахстану (Даш - Салахінське родовище). Вагони з бентонітом на складі сирих матеріалів розвантажуються аналогічно вапняку.

Ємність складу бентоніту становить 16000т. Зі складу бентоніт подається у відділення здрібнювання як і вапняк потоками конвеєрів, попередньо піддавшись дробленню на молотковій дробарці до фракції 20-0мм.

За допомогою конвеєрів бентоніт може бути поданий у вихідний бункер будь-якого шарового млина.

У зв'язку з поганою транспортабельністю вологого бентоніту можлива його сумісна подача з вапняком в млини відділення подрібнення. Однак, цей спосіб дає грубе дозування і може призвести до збільшення витрати бентоніту (на 15-20 %).

Подрібнений окремо бентоніт поступає в бункери меленого продукту. З цих бункерів продукт дозується в шихту з допомогою шнекового живильника і стрічкового дозатора ЛДА – 60 на збірні конвеєри.

Возврат є оборотним продуктом, що виходить у результаті грохочіння відсіву самобаласних грохотів випалювальних машин на інерційних грохотах корпусу сортування.

Охолоджений возврат крупністю 0-8мм подається в цех шихти в бункери возврату, звідки з допомогою тарільчатого живильника ДТ-200 дозується на збірні конвеєри. Кількість возврату в шихті не повинна перевищувати 10 % по масі.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02.ТЧ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			1

Розподілення матеріалів по шихтових бункерах наступне:

Таблиця №2.1.

Матеріал	Кількість чарунок шт	Об'єм чарунки м ³	Витрата матеріалу	Запас	
				тонн	годин роботи
Магнетитовий концентрат		100	880	2460	3
Доломітизований вапняк		65	180	650	4
Бентоніт		65	10	130	14

Ємність проміжних бункерів перед млинами складає 100м³ (на один млин), що забезпечує запас в годинах роботи:

по вапняку – 2 години

по бентоніту – 2 години

Звільнення бункерів нижче 1/3 їхньої висоти заборонено.

При необхідності заповнення бункерів іншими матеріалами, матеріал, який знаходиться раніше в ньому, вивантажується, а бункер очищується.

Для процесу огрудкування й для наступного процесу випалу сталість складу шихти має першорядне значення. Правильно складена й ретельно віддозована шихта стабілізує процес огрудкування від чого поліпшується якість сирих окатишів і знижується вихід дріб'язку 5-0мм після випалу.

Склад шихти визначається розрахунком, виходячи з хімічного складу окремих компонентів і заданого хімічного складу обпалених окатишів.

Дозування. В цеху передбачено автоматичне дозування всіх компонентів шихти, яке забезпечує стабілізацію дозування.

Для вапняку й бентоніту прийняте вагове дозування шнековими живильниками в комплекті зі стрічковими автоматичними дозаторами ЛДА-60, а для возврату - вагове дозування тарілчастими живильниками ДТ-200 у комплекті з конвеєрними вагами ЛТМ.

Возврат в шихту дозується у відповідності з його надходженням і наявністю в бункерах в кількостях не більше 10 %.

Бентоніт дозується в кількості 1,0-1,5 % в залежності від його якості і вологості шихти.

Вапняк дозується в шихту в кількостях, необхідних для отримання основності окатишів у відповідності з діючими ТУ.

Концентрат являє собою вологий, погано сипучий матеріал, тому для нього прийняте об'ємне дозування тарільчастими живильниками ДТ-200. Всі дозатори концентрату включені в систему автоматичного дозування компонентів шихти.

Змішування. Призначення змішування - ретельний і рівномірний розподіл часток окремих компонентів шихти між собою для одержання однорідної шихти.

Змішування шихти проводиться у двох барабанах-змішувачах розміром 3,2x7,5м продуктивністю до 1200 т/годину кожний.

Змішана шихта зі змішувачів розвантажується на конвеєра й транспортується в бункери цеху огрудкування. Розподіл шихти по бункерах проводиться 4-ма автостелами, що працюють у човниковому режимі.

Огрудкування. Є однією з основних технологічних операцій огрудкувальної фабрики і призначається для окочування тонкоподрібнених залізородних концентратів, суміші з флюсоуючою (вапняком) і сполучною (бентоніт) добавками і возвратом.

Шихта - складена в певному ваговому співвідношенні суміш концентрату, вапняку, бентоніту й возврату - надходить на огрудкування до цеху приготування шихти по конвеєрах.

За допомогою саморозвантажувальних візків шихта розвантажується в бункери ємністю 70м³ кожний, розміщених в два ряди.

Шихта тарільчастим живильником ДТ-200 і стрічковим живильним конвеєром подається в чашовий огрудкувач на огрудкування.

Готові окатиші з чаші вивантажуються на збірні конвеєри «Д» напівсекцією, а потім загальним збірним конвейером «ОБ» подаються на випалювальну машину.

Кожна випалювальна машина обслуговується однією секцією огрудкувачів.
Якість сирих окатишів залежить від:

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02.ТЧ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			6

- однорідності шихти по крупності, вологості й рівномірності розподілу вапняку й бентоніту по всій масі шихти;
- часу очочування шихти в чашовому огрудкувачі;
- рівня вологості шихти;
- крупності шихти;
- вмісту і якості домішок (вапняку й бентоніту) і возврату;

Залежно від властивостей шихти потрібно підбирати певні, найбільш відповідні заданій якості окатишів оптимальні параметри роботи огрудкувачів (кут нахилу, число обертів, навантаження по шихті, подача води на зволоження.)

Засобами регулювання процесу є:

- зміна витрати шихти в огрудкувачі в межах визначених розрахунком. Нижня межа відноситься до огрудкування шихти з низькою комкуючою здатністю, верхня – у випадку високої комкуємості.

- число обертів огрудкувача – в межах 8-11 об/хв.;
- кут нахилу чаші в межах 51-54°;
- зволоження шихти. Оптимальна вологість шихти повинна складати 9,8-10,2%.

Сирі окатиші надходять із цеху огрудкування по конвеєру й за допомогою роликового укладальника завантажуються на випалювальну машину, де послідовно проходять наступні стадії термообробки:

- зона сушки;
- зона підігріву;
- зона випалу;
- зона рекуперації;
- зона охолодження;

Зона сушки. Температура гарячого газу повинна бути не вище 450°C. Температура зони сушки I – 350 – 450°C; Температура в зоні сушки II – 500 – 650°C;

Зона підігріву. Температура в зоні підігріву повинна бути 900-1000°C.

Зона випалу. Температура в зоні у відповідності з основністю складає 1200-1350⁰С.

Зона рекуперації. Теплоносій в зону рекуперації подається шляхом організації його підтоку з зони охолодження.

Зона охолодження. Випаленні окатиші охолоджуються на стрічці до 140⁰С.

Співвідношення технологічних зон випалювальної машини представлено в таблиці 2.

Таблиця №2.2

Найменування зони	Площа м ²	Площа, %
Зона сушіння	27,6	25,5
Зона підігріву	12	11
Зона випалу	28	26
Зона рекуперації	20	19
Зона охолодження	24	18,5
Всього	108	100

2.3 Аналіз технологічної схеми фабрики огрудкування ЦГЗКа.

Фабрика огрудкування ЦГЗКа введена в лад в 1968році. Технічні й проектні рішення при будівництві фабрики базувалися на застосуванні технологічного встаткування, яке для того часу (1962-1968рр) відповідало науково-технічному прогресу й накопиченим рівням знань і досвіду роботи фабрик огрудкування чорної металургії.

До теперішнього часу технічний рівень фабрики відстав від сучасних вимог, особливо по основному технологічному встаткуванню. Це стосується насамперед випалювальних машин ОК-5-108, чашових огрудкувачів 5,0м, кульових млинів, дозуючого й ваговимірювального встаткування й т.п.

У результаті рівень технології не відповідає сучасним вимогам одержання високоякісних окатишів, зокрема, по основності й міцності, що викликає обґрунтовані претензії доменщиків.

Основні недоліки технології, виявлені в процесі експлуатації фабрики, полягають у наступному:

1. Незадовільне дозування бентоніту у видатковий бункер млина, недостачі помольних засобів вапняку для офлюсування шихти (до основності 0,7), при підвищеному масовому вмісті в концентраті, здрібнювання бентоніту виробляється разом з вапняком. При цьому природні труднощі в забезпеченні необхідної точності дозування й гнучкості регулювання комкуючої здатності шихти.

Для запобігання можливих її відхилень витрата бентоніту задається з деяким запасом, тобто більшим оптимального (9-12 кг/сухої маси на 1т окатишів.)

2. Незадовільне дозування шихти. Експлуатоване на фабриці вагодозувальне встаткування (шнекові живильники в комплекті з вагодозаторами ЛДА) не забезпечують необхідну точність дозування ($\pm 0,5\%$). Фактично точність становить $\pm 5,0\%$, що не дозволяє одержати однорідну шихту й із цієї причини сирі окатиші мають нерівномірний гранулометричний склад.

3. Неприятливе співвідношення висоти торта й діаметра чашових огрудкувачів складає 0,15. Внаслідок цього огрудкування вологої шихти протікає з порушеннями плавного сполучення циклів «підйом - окатування» й утворенням великої кількості пухких грудок й окатишів великого розміру, а також дріб'язку. Останні дві обставини обумовлюють нерівномірний гранулометричний склад сирих окатишів, що характеризується низьким виходом придатної фракції (20-10мм - 80-85 %) і великою масовою часткою великих окатишів і грудок (+20мм до 5,-7,0 %)

4. Моральне й фізичне зношування конвеєрних випалювальних машин ОК-5-108. Дані випалювальні агрегати виконані з укороченою зоною охолодження (20,0 % проти 41 % у сучасних машинах) і із зоною сушіння I прососом (у сучасних машин - дуттям знизу). Це приводить до зниження продуктивності й росту витрати тепла. Крім того, на машинах ОК-5-108 на передбачена постіль, що супроводжується зниженням якості обпалених окатишів. У цілому, питома витрата природного газу на діючій фабриці становить 50-52 окатишів, що в 2,0-2,5 рази вище, чим на сучасних фабриках.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.02.ТЧ	анк
анк	№ докум	підпис	дат			о

5. Фізичне старіння встаткування. Недоліки технології привели до прискореного зношування технологічного встаткування, зростанню ремонтних робіт і змісти з тим кількості відмов у роботі й простоїв технологічних ліній. Це привело до зниження використання встаткування до 70 % (проти 93,0 % проектних).

За час експлуатації фабрики огрудкування були виконані дослідження з удосконалювання технологічного процесу. Основними напрямками досліджень були - підвищення якості залізородних окатишів й удосконалювання технології їхнього виробництва. Для підвищення техніко - економічних показників доменного переділу потрібно робити високоофлюсовану залізородну сировину з високими металургійними властивостями: низькою руйнацією при транспортуванні й відновленні, підвищеною температурою й вузьким інтервалом розм'якшення й плавлення. Установлено, що підвищення основності окатишів з 0,7 до 1,2 супроводжується деяким зниженням продуктивності. Для часткової компенсації цього в шихту для виробництва окатишів доцільно вводити до 1,0-1,5 % твердого палива - антрацитового штибу. Таким вимогам відповідають окатиші основністю 1,2, офлюсованні доломітизований вапняком, який містить 8-11,0% Mg.

Присутність певної кількості Mg підвищує тугоплавкість шихти, розширює температурний інтервал випалу на 30-50⁰C. Це дозволяє підвищити температуру випалу до 1700±20⁰C та, відповідно, збільшити питому продуктивність процесу випалу, прискорити процеси повного твердофазного й напіврідкого спікання зерен шихти. Тим самим створюються умови для одержання залізородних окатишів з високими металургійними властивостями. Слід зазначити, що позитивний вплив магnezії триває й у процесі доменної плавки.

У роботах НметАу, виконаних при участі фахівців КТУ й Механобрчормета, отримані дані про позитивний вплив заміни бентоніту карбонатним вапном, що дозволяє трохи підвищити масовий вміст заліза в окатишах при одночасному збільшенні основності.

У процесі досліджень аналізу досвіду роботи фабрик огрудкування уточнювалися оптимальні параметри вихідної сировини, роботи подрібнювального, огрудкувального й випалювального встаткування, розроблялися пропозиції по підвищенню якості продукції. Деякі із цих пропозицій і враховані в розробках в цьому проекті фабрики огрудкування ЦГЗКа.

2.4 Обґрунтування й опис технологічної схеми на проєктованій фабриці.

Проєктована фабрика буде працювати на магнетитовому концентраті ЦГЗКа, доломітизованому вапняку Докучаєвського флюсо-доломітового комбінату, бентонітовій глині Даш-Салахлінського родовища, антрацитового штибу (марка А, сорт Аш) Донецького басейну, карбонатного вапна власного виробництва.

Технологічний процес виробництва окатишів представлений на рисунку.

Послідовність операцій аналогічна існуючій схемі й містить у собі наступні операції:

- Прийом і складування сирих матеріалів (концентрат, доломітизований вапняк, бентонітова глина, карбонатне вапно, антрацитовий штиб)
- Сушіння бентоніту;
- Дроблення вапняку, бентоніту, вапна;
- Здрібнювання вапняку, бентоніту, вапна, штибу, відсівання;
- Дозування компонентів і змішування шихти;
- Огрудкування вологої шихти;
- Виділення й подача постелі на випалювальні машини;
- Температурно-теплова обробка сирих окатишів;
- Просівання обпаленого продукту;
- Відвантаження й складування обпалених окатишів;
- Уловлювання, зневоднювання й відвантаження шламів газоочистки й просипів;

➤ Очищення технологічних газів від пилу, хлоридів і сарною ангідриду (мокра газоочистка).

Подібна схема відповідає прогресивній технології виробництва залізорудних окатишів на сучасних фабриках огрудкування України й за кордоном.

Основне технологічне встаткування, рекомендоване до установки на проєктованій фабриці:

- Дробарка молоткова однороторна;
- Сушильний барабан СБ-3,5х18,0;
- Млин кульовий ШБМ-370х850;
- Змішувач барабанний 3,2х7,5;
- Огрудкувач чашовий d=7,5м;
- Змішувач роторний СР-400х1400;
- Випалювальна машина ОК-324;
- Гуркіт самобалансний 2000х5000;
- Барабан охолодження звороту 1,8х4,8;
- Гуркіт вібраційний ГВ-06;
- Живильник роликівий Пр-1-2000;

3. РОЗРАХУНОК ШИХТИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ ОСНОВНІСТЮ 1,2 ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВИПАЛЕНИХ ОКАТИШІВ.

Мета розрахунку: визначити витрату магнетитового концентрату, флюсу (доломітизованого вапняку) і сполучної добавки на 1000 кг окатишів і хімічний склад випалених окатишів.

Початкові дані:

1. Хімічний склад компонентів шихти приведено в таблиці.
2. Основність окатишів складає:

$$\frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3} = 1,2$$

3. Вміст закису заліза в окатишах після окислювального випалу складає FeO=2,0 %.

4. Витрата карбонатного вапна на 1т окатишів складає 20кг.

5. Приймаємо: Розрахунок ведемо на 100кг випалених окатишів.

P – витрата магнетитового концентрату на 100кг окатишів.

Ф – витрата доломітизованого вапняку на 100кг окатишів.

И – витрата карбонатного вапна на 100кг окатишів.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад початкових матеріалів, %

Найменування матеріалу	Fe _{заг.}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	Na ₂ O+K ₂ O	Ініш	ППП
Магнетитовий концентрат	66,77	25,85	66,66	6,26	0,35	0,09	0,13	0,03	0,03	0,26	0,37
Доломітизований вапняк	0,50	-	0,71	1,90	0,22	43,03	9,51	0,02	0,02	0,34	44,27
Карбонатне вапно	0,77	-	1,10	2,94	0,34	66,55	14,70	-	0,03	0,64	13,79
Бентоніт	4,33	0,61	5,51	60,38	16,28	2,78	3,45	-	2,79	1,46	6,74

КНУ.РБ.136.26.112с-09.03.РШ					
Зм	Анк	№	Підпис	Дат	
Розробл	Півень				
Перевір	Плотніков				
Н	Плотніков				
Затвер	Савельєв				
Розрахунок шихти для виробництва залізорудних окатишів основністю 1,2 та хімічного складу випалених окатишів.					
			Лімен	Анквил	Анквилів
				1	4
МТ-23-2ск					

1. Витрата матеріалів на виробництво окатишів визначається за допомогою двох основних рівнянь:

1.1. Рівняння балансу основності:

$$\frac{P \cdot (0,09 + 0,13) + \Phi \cdot (43,03 + 9,51) + И \cdot (66,55 + 14,70)}{P \cdot (6,26 + 0,35) + \Phi \cdot (1,90 + 0,22) + И \cdot (2,94 + 0,34)} = 1,2$$

$$\frac{P \cdot 0,22 + \Phi \cdot 52,54 + И \cdot 81,25}{P \cdot 6,61 + \Phi \cdot 2,12 + И \cdot 3,28} = 1,2$$

$$\frac{0,22 \cdot P + 52,54 \cdot \Phi + 81,25 \cdot 2}{6,61 \cdot P + 2,12 \cdot \Phi + 2 \cdot 3,28} = 1,2$$

$$0,22 \cdot P + 52,54 \cdot \Phi + 162,5 = 7,93 \cdot P + 2,54 \cdot \Phi + 7,87$$

$$7,71 \cdot P - 50 \cdot \Phi - 154,63 = 0$$

1.2. Рівняння матеріального балансу. Визначаємо вихід твердого продукту на 1кг шихтових матеріалів:

$$T_P = (100 - 0,37) \cdot 0,01 = 0,9960 \text{ кг} / \text{кг}$$

$$T_{CP} = (100 - 44,27) \cdot 0,01 = 0,56 \text{ кг} / \text{кг}$$

$$T_{И} = (100 - 13,70) \cdot 0,01 = 0,86 \text{ кг} / \text{кг}$$

$$T_P^1 = 0,111 \cdot (P \cdot FeO^P - 100 \cdot FeO^0) \cdot 0,01 \text{ кг} / \text{кг}$$

де T_P – вихід твердого продукту після прожарення 1кг концентрату;

T_{CP} – вихід твердого продукту після прожарення 1кг флюсу;

$T_{И}$ – вихід твердого продукту після прожарення 1кг вапна;

T_P^1 – приріст маси концентрату після прожарення 1кг внаслідок окислення FeO до Fe₂O₃;

FeO^P – вміст FeO в концентраті, %

FeO⁰ – приріст маси при окисленні FeO у випалених окатишах, %

0,111 – приріст маси при окисленні FeO до Fe₂O₃ на одиницю маси заліза, частка одиниці;

P^P , P^Φ , $P^И$ – втрати при прожарюванні, відповідно, концентрату, флюсу, вапна, %.

$$[P \cdot (100 - P^P) + 0,111 \cdot (P \cdot FeO^P - 100 \cdot FeO^0)] \cdot 0,01 + \Phi \cdot (100 - P^\Phi) \cdot 0,01 + И \cdot (100 - P^И) \cdot 0,01 - 100 = 0$$

$$[0,01 \cdot 99,6 \cdot P + 0,00111 \cdot P \cdot 25,85 - 0,00111 \cdot 2 \cdot 100] + \Phi \cdot 0,01 \cdot 55,6 + 2 \cdot 86 \cdot 0,01 - 100 = 0$$

$$0,996 \cdot P + 0,03 \cdot P - 0,222 + 0,556 \cdot \Phi + 1,72 - 100 = 0$$

$$1,03 \cdot P + 0,556 \cdot \Phi - 98,50 = 0$$

Розв'язуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} 7,71 \cdot P - 50 \cdot \Phi - 154,63 = 0 \\ 1,03 \cdot P + 0,556 \cdot \Phi - 98,50 = 0 \end{cases}$$
$$P = \frac{154,63 + 50 \cdot \Phi}{7,71} = 20,06 + 6,49 \cdot \Phi$$

$$1,03 \cdot (20,06 + 6,49 \cdot \Phi) + 0,556 \cdot \Phi - 98,50 = 0$$

$$20,66 + 6,68 \cdot \Phi + 0,556 \cdot \Phi - 98,50 = 0$$

$$7,24 \cdot \Phi = 77,84$$

$$\Phi = 10,75$$

$$P = 20,06 + 6,49 \cdot 10,75 = 89,83$$

$$P = 89,83.$$

Витрати на одну тону випалених окатишів складають: 898,3 кг магнетитового концентрату, 107,5кг доломітизованого вапняку і 20кг карбонатного вапняку, або всього 1025,8кг шихти.

Розраховані значення P, Φ та И заносимо в таблицю. Після цього підраховуємо кількість хімічних складових шихти, що вносяться кожним компонентом.

Наприклад: $Fe_{кг}^K = P \cdot Fe^K \% \cdot 0,01, кг, де$

$Fe_{кг}^K$ - кількість заліза, яке вноситься концентратом, кг;

Fe^K - вміст заліза в концентраті;

Потім підсумовується кількість кожного хімічного становлячого по вертикальній графі таблиці. Отримана сума дає вміст даного хімічного з'єднання в шихті в кг. (в рядку – шихта). Сума вмісту всіх хімічних з'єднань в цьому рядку утворює вагову витрату шихти на одиницю маси окатишів, після чого визначається відсотковий хімічний склад шихти.

Визначення хімічного складу випалених окатишів.

Без зміни ваги в окатиші переходять SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, MgO і інші. Сумарна вага кожного з перекислених окислів переноситься з рядка «шихта» в рядок «окатиші».

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03.РІШ	анк
	Анк	№ докум	підпис	дат		2

По даним інституту Механобрчормет приймається, що 10 % S, що вноситься концентратом, переходить в випаленні окатиші, остання кількість вигоряє і переходить у технологічні гази, що відходять.

Сірка, що вноситься вапняком і вапном, повністю переходить в окатиші.

В процесі випалу велика частина закису заліза окислюється до окису заліза. В випалених окатишах залишається 2,0% FeO, що враховано в розрахунку шихти.

Кількість Fe_2O_3 , в окатишах складає:

$$Fe_2O_3^{ок} = (Fe^{III} - FeO^{ок} \cdot \frac{56}{72}) \cdot \frac{160}{112};$$

де Fe^{III} – вміст заліза в шихті, % ваг. од.

$FeO^{ок}$ – вміст FeO в окатишах, ваг. од.

160/112 – співвідношення мас Fe_2O_3 і Fe в молекулах Fe_2O_3 ;

56/72 – співвідношення мас Fe і FeO в молекулах FeO;

$$\text{Тобто } Fe_2O_3 = \frac{160}{112} \cdot (600,68 - 20 \cdot \frac{56}{72}) = 838,9_{кг} \text{ або } \% Fe_2O_3 = \frac{838,9}{998,74} \cdot 100 = 84,0\%$$

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.03.РІШ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			1

4. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ФАБРИКИ ПО ВИРОБНИЦТВУ ОФЛЮСОВАНИХ ОКАТИШІВ ПРОДУКТИВНІСТЮ 8,0 МЛН Т/РІК.

1.1. Добова і годинна потреба в шихтових матеріалах для фабрики з річною продуктивністю 8,0 млн. т випалених окатишів складають:

- Добова продуктивність фабрики по випаленим окатишам:

$$G_{доб.} = \frac{8000000}{0,9 \cdot 365} = 24353 \text{ т / добу};$$

де 0,9 – коефіцієнт використання обладнання;

- Годинна продуктивність фабрики по окатишам:

$$G_{год.} = \frac{24353}{24} = 1015 \text{ т / годину};$$

причому:

- по магнетитовому концентрату:

$$1015 \cdot 0,8923 = 911,8 \text{ т / годину};$$

- по доломітизованому вапняку:

$$1015 \cdot 0,1075 = 109 \text{ т / годину};$$

- по вапну:

$$1015 \cdot 0,020 = 20,3 \text{ т / годину};$$

Всього: 1041,0 т/годину

1.2. Розрахунок кількості бункерів приймального відділення шихти.

Кількість бункерів розраховується по формулі:

$$n_a = \frac{G_{ага} \cdot \tau}{\gamma \cdot V_a \cdot 0,85}; \text{ де}$$

n_b – необхідна кількість бункерів;

$G_{год}$ – годинна потреба в даному матеріалі, т;

τ – потрібний запас в даному матеріалі в годинах роботи фабрики, година;

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.04.ВО						
					Вибір і обґрунтування основного технологічного обладнання						
Зм	Арк	№	Підпис	Дат					Лімен	АркVII	АркVIII
Розробл	Півень									1	7
Перевір	Плотніков								MT-23-2ск		
Н	Плотніков										
Затвер	Савельєв										

γ – насипна маса даного матеріалу, т/м³;

V_6 – об’єм бункеру (100; 130; 200м³)

0,85 – коефіцієнт заповнення бункеру.

- для магнетитового концентрату:

$$n^e = \frac{G_{\text{аіа}}^e \cdot \tau_e}{\gamma_e \cdot V_a \cdot 0,85} = \frac{911,8 \cdot 10}{3,1 \cdot 200 \cdot 0,85} = 17,3 = 18,0;$$

- для вапняку:

$$n^{\text{аіі}} = \frac{G_{\text{аіі}}^{\text{аіі}} \cdot \tau_{\text{аіі}}}{\gamma_{\text{аіі}} \cdot V_a \cdot 0,85} = \frac{109 \cdot 12}{1,4 \cdot 200 \cdot 0,85} = 5,5 = 6,0;$$

- для карбонатного вапна:

$$n^{\text{а}} = \frac{G_{\text{аіа}}^{\text{а}} \cdot \tau_{\text{а}}}{\gamma_{\text{а}} \cdot V_a \cdot 0,85} = \frac{20,3 \cdot 24}{1,3 \cdot 200 \cdot 0,85} = 2,2 = 4,0;$$

В результаті в приймальному відділенні шихти потрібно бункерів:

$$n_6 = 18 + 6 + 4 = 28 \text{ бункерів.}$$

Вибір обладнання для дроблення вапняку.

Вапняк поступає на фабрику в крупності 80-0мм. Згідно технологічної схеми, прийнятої на ЦГЗКа, вапняк спочатку дроблять до 10-3,0мм, а потім подрібнюють до -0,1мм. Для дроблення вапняку вибираємо молоткову однорідну дробарку.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика однорідних молоткових дробарок.

№ з/п	Показники	ДМРЭ 10x110	ДМРИЭ 14,5x13,0	ДМЭ 17x14,5
1	Продуктивність, т/год	80-100	250	150-500
2	Крупність початкового матеріалу, мм	до 80	до 80	до 600
3	Крупність дробленого матеріалу, мм	2-10	3-10	20-180
4	Розміри ротору діаметр, мм довжина, мм	1000	1450	1700
		1000	1300	1450
5	Частота обертання об/хв	985	985	590
6	Потужність електродвигуна, кВт	51,5	75	53

Вибираємо однорідну молоткову дробарку ДМРИЭ – 14,5x13.

$$n_{\text{а}} = \frac{109}{250} = 0,4 \text{ (одна робоча, одна резервна).}$$

Вибираємо дві дробарки ДМРИЭ – 14,5х13.

Вибір обладнання для застосування шихтових матеріалів.

- для подрібнення доломітизованого вапняку і вапна.

При можливості точного дозування (вагового) вапняку і бентоніту, можливе сумісне подрібнення флюсуючі добавки. Для цієї мети вибираємо кульовий млин сухого мелення.

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика

Показники	ШБМ-320х570	ШБМ-370х850
Продуктивність, т/год (по готовому продукту)	25,0	50,0
Діаметр барабану, м	3,2	3,7
Довжина барабану, м	5,7	8,5
Частота обертання барабану, хв ⁻¹	17,9	17,6
Маса куль, завантажуваних в млин, т	54	100
Потужність електродвигуна кВт	800	1600

Вибираємо кульовий млин ШБМ -370/850.

$$n_{\phi} = \frac{109 + 20,3}{50} = 3 \text{ млина};$$

Приймаємо 4 млина (три робочих, один – резервний).

Вибір обладнання для змішування компонентів шихти.

Для перемішування приймають барабанні, роторні, шнекові і барабанно-вихрьові змішувачі.

На змішування поступає 1041 т/год шихти в крупності -0,1мм.

Для перемішування вибираємо роторний змішувач.

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика роторного змішувача

Показники	СР-400-1000	СР-400-1200	СР-400-1400
Продуктивність, т/год	600	850	1100
Швидкість конвеєрної стрічки, м/с	0,5-1,0	1,3	1,5
Ширина конвеєрної стрічки, мм	1000	1200	1400
Ширина шару матеріалу на конвеєрній стрічці, мм	800	950	1150
Висота шару матеріалу на конвеєрній стрічці, мм	80-100	80-200	80-100
Діаметр роторів, мм	400	400	400
Кількість роторів, шт.	8	8	8
Частота обертання роторів, хв. ⁻¹	500	470	400
Потужність електродвигуна кВт	4x30=120	4x30=120	4x40=160

Вибираємо роторний змішувач СР – 400-1200.

$$n_D = \frac{1041}{850} = 1,3 = 2 \text{ змішувача.}$$

Розділення подрібненого матеріалу після кульового млина на готовий продукт і повернення роблять в повітряних сепараторах відцентрового типу СПЦ В – 5500.

Таблиця 4.4 – Технічна характеристика

Показники	Одиниці виміру	Кількість
Діаметр	мм	5500
Продуктивність по готовому продукту	т/год	50,0
Частота обертання робочого органу	хв ⁻¹	180
Потужність електродвигуна	кВт	75
Маса	т	12

$$n_{\text{НАІ}} = \frac{109 + 20,3}{50} = 3$$

Вибираємо 4 сепаратора (3 робочих, 1 резервний), по одному на млин.

Вибір обладнання для огрудкування шихтових матеріалів.

Огрудкування шихти на фабриках огрудкування здійснюється в огрудкувачах двох типів: чашовому і барабанному. Перші характеризуються більш простою конструкцією, меншим розміром, можуть працювати без грохотів. Барабанні огрудкувачі можуть працювати лише в комплексі з грохотами, що зумовлює більш складну конструкцію і компоновку обладнання. В барабанних огрудкувачах виготовляються більш якісні окатиші (95 % класу 9-16 мм, міцність на 20-30 % вище).

До установки запропонуємо чашові огрудкувачі.

Таблиця 4.5 – Технічна характеристика

Показники	Ø5,5м	Ø7,0м	Ø7,5м
Продуктивність, т/год	30-40	80-90	120-130
Діаметр чаші, м	5,5	7,0	7,5
Висота борту чаші, м	0,8	0,8	0,65
Частота обертання чаші, хв ⁻¹	6-9	3,6-6,5	4-7
Кут нахилу чаші, град	45-55	45-60	45-55
Потужність електродвигуна кВт	95	120	75/110
Маса, т	39,8	57,2	56,0

Вибираємо чашовий огрудкувач Ø7,5.

$$n_{\text{НАІ}} = \frac{1041}{130} = 8.$$

Вибираємо 10 чашових огрудкувачів з діаметром чаші 7,5м (два резервних).

Вибір обладнання для класифікації сирих і випалених окатишів. Для класифікації на фабриках огрудкування приймають вібраційні грохоти (для сирих) і само балансні (для випалених) окатишів.

Для класифікації сирих окатишів по крупності: підрешітний продукт крупністю 0-9мм повертають в огрудкувач, над решітний продукт +9,0мм направляють на термообробку. При необхідності грохот дообладнують ситами з щілиною 20,0мм для обмеження максимальної крупності окатишів.

Таблиця 4.6 – Технічна характеристика.

Показники	Одиниця виміру	Кількість
Продуктивність, по готовому продукту	т/год	100
Продуктивність по живленню	т/год	450
Ширина сита	м	2,5
Довжина сита	м	7,5
Кількість сіток на ситі	шт.	1(2)
Розмір комірки сита	мм	10,0
Площа сита	м ²	18,75
Кут нахилу поверхні сита	град	0-10
Амплітуда коливань	мм	3-5
Частота коливань	хв ⁻¹	970
Потужність електродвигуна	кВт	2-17,0
Маса	т	12,7

$$n_a = \frac{1041}{450} = 3.$$

Вибираємо 4 вібраційних грохоти (1 резервний).

Для класифікації випалених окатишів приймаємо само балансний грохот ГСТ – 10-1.

Грохот розраховуємо на роботу в тяжких умовах: температура випалених окатишів до 200⁰С, матеріал абразивний, пилячий.

Грохоти призначені для розділення матеріалу на три класи: <5,0 мм (повернення); 5-10,0 мм (проміжний клас) і 10-20 мм (обмежений клас постілі). У зв'язку з викладеним, грохоти випускаються важкого типу з підвищеними

вимогами до критичності вузлів і обладнюються спеціальним укриттям з аспірацією.

Таблиця 4.7 – Технічна характеристика ГСТ -101.

Показники	Одиниці виміру	Кількість
Продуктивність, по готовому продукту	т/год	750
Продуктивність по живленню	т/год	1000-
Ширина сита	м	4,0
Довжина сита	м	9,0
Кількість сіток на ситі	шт.	3,0
Розмір комірки сита	мм	6;10;25
Площа сита	м ²	36
Кут нахилу поверхні сита	град	8,0
Амплітуда коливань	мм	5-6
Частота коливань	хв ⁻¹	735
Потужність електродвигуна	кВт	55
Маса	т	35

$$n_c = \frac{1015}{750} = 1,4$$

Вибираємо 3 самобалансних грохоти ГСТ -101. (по одному на випалювальну машину).

Вибір обладнання для термозміцнюючого випалу залізородних окатишів.

Термозміцнюючий випал сирих окатишів здійснюється на різноманітних випалювальних агрегатах: конвеєрних машинах, установках «грати – трубочата піч – кільцевий охолоджувач», шахтних пічах, кільцевих машинах і ін..

Вибираємо конвеєрні випалювальні машини на яких на Україні випалюються близько 80,0 % окатишів.

В теперішній час випускаються наступні типорозміри випалювальних машин: ОК-108; ОК-306; ОК-520; ОК-520/536 та ОК-780.

Таблиця 4.8 – Технічна характеристика

Показники	ОК-108	ОК-306	ОК-250	ОК-520/536	ОК-780
Продуктивність, т/год	90-110	265	395	416	710
Робоча ширина, м	2,0	3,0	3,0	4,0	5,0
Робоча довжина, м	54	102,9	84,0	130	156
Поперечна площа, м ²	108	306	250	520	780
Кількість випалювальних візків, шт.	136	190	204	202	253
Розмір випалювальних візків мхм	2x1	3x1,5	4x1,5	4x1,5	5x1,5

Швидкість руху випалювальних візків, м/хв.	0,5-30	0,62-3,7	1,63-5,7	1,8-3,12	1,33-6,67
Площа технологічних зон: попереднього нагріву, м ²	-	-	104/20	72/13,8	30/3,7
сушки, м ²	20/18,5	63/20,6	40/7,7	32/6,2	150/18,6
нагріву, м ²	20/18,5	27/8,8	40/7,7	32/6,2	150/14,8
випалу, м ²	26/22,2	81/26,5	136/26,15	128/24,6	240/29,6
рекуперації, м ²	8/7,4	18/5,9	32/6,15	48/9,2	60/7,4
Питома витрата тепла палива кДж/т (ккал/т)	1400/350	1200/300	1200/297,5	1080/271	720-900/176-223
Температура окатишів на виході з машини, °С	400	165	130	170	150
Потужність електродвигуна, кВт	20	64	32x2	32x2	64

Вибираємо конвеєрну випалювальну машину ОК-250

$$n_{\text{вип}} = \frac{1015}{391} = 3$$

Приймаємо до установки 3 конвеєрні випалювальні машини.

5. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБКОТИШІВ.

Холодну міцність окатишів визначають по поводженню окатишів під стискаючим навантаженням і при обертанні барабана. Міцність на стиск проводять за ДСТ 24765-81. Для випробувань використовують машини МР-0,5-1 і МІІІ - 100. Міцність визначають як середнє з результатів роздавлювання не менш чим 20 окатишів розміром 12-15мм.

Середня міцність повинна бути більше 200кг/см. Слід зазначити, що випробування роздавлюванням характеризується більшим розкидом одержуваних значень. Розкид зменшується зі збільшенням кількості окатишів, що піддають випробуванню, і стабілізується після 100 і більшій кількості окатишів, відібраних для випробувань.

Барабанні випробування проводять різними методами. На Україні й у країнах СНД випробування в барабанах проводять за ДСТ -15137-77, відповідно до якого вихід фракції >5,0 мм після випробування повинен бути >95%, а фракції <0,5 мм – менше 4,0 %. Параметри барабана: діаметр 1000мм, довжина 600мм, під кутом 120°, частота обертання 25,0 об/хв, час випробування 8 хвилин, крупність шматків проби 5-20хв, маса проби 20кг, оцінна фракція 5-0мм.

Гаряча міцність визначається різними способами, які можна розділити на дві групи. До першого ставляться способи, що полягають у додатку навантаження до окатишів у процесі їхнього відновлення. Результат випробувань виражений у долі руйнування матеріалу й ступеня його відновлення. Відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ – 19575 – 81 після випробувань вихід фракції >5,0 мм повинен бути >80,0%, а фракції <0,5 мм – менш 5,0%. Характеристика барабана й випробувань: діаметр барабана 500мм, довжина – 145мм, число полиць – 4, частота

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.05.МВ			
<i>Зм</i>	<i>Анк</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБКОТИШІВ	<i>Лімен</i>	<i>АнкVII</i>	<i>АнкVIII</i>
<i>Розробл</i>	<i>Півень</i>						1	2
<i>Перевір</i>	<i>Плотніков</i>					МТ-23-2ск		
<i>Н</i>	<i>Плотніков</i>							
<i>Затвер</i>	<i>Савельєв</i>							

обертання 10 про/хв, температура випробування 200-600⁰С, швидкість нагрівання – 87⁰с/ч, час випробування 180 хв, витрата газу 15 л/хв, склад газу -32-34 %З; 3-5,0 %З₂; 62-63N₂; охолодження – холодний відбудовний газ, крупність – 10 – 15 мм, оцінні фракції: 5,0-0,5 мм.

Перша група випробувань переважніше до другої групи методів визначення міцності окатишів при відновленні ставиться вимір газопроникності й усадки відновлюваного шару, що перебуває під навантаженням.

Якість обпалених окатишів повинна відповідати наступним вимогам :

- міцність (ДЕРЖСТАНДАРТ - 15137 - 77)
- показник опору удару - вихід класу >5,0 мм не менш 95,0%,
- показник опору стиранню вихід класу <0,5мм не бодем 4,0%.
- міцність на стиск (ДЕРЖСТАНДАРТ - 24765 - 81) більш 200кг/ок.
- міцність при відновленні (ДЕРЖСТАНДАРТ - 19575 - 81)
- показник міцності
- вихід класу > 5,0 мм не менш 80,0%,
- показник стиранності
- вихід класу < 0,5 мм не більше 5,0%.
- Крупність обпалених окатишів 5,0-18,0 мм, кількість окатишів цієї крупності 95%;
- Відновлювальність (швидкість відновлення ДЕРЖСТАНДАРТ - 17212 - 71) 0,5хв;
- Припустимі коливання основності ±0,025;
- Вміст дріб'язку (класу 5,0 мм) у продукції, що відвантажує споживачеві, не більше 3,0 %.

6. МЕТОДИКА ПОСТАНОВИ ЕКСПЕРИМЕНТУ.

При одержанні окатишів на їхню якість істотно впливають багато факторів, що враховують із одного боку, фізико-хімічні властивості окремих компонентів шихти (речовинний і гранулометричний склади, величину питомої поверхні, вологість шихти й ін.), з іншого боку - особливості технології огрудкування (тривалість огрудкування, кут нахилу й число оборотів гранулятора, ступінь заповнення шихтою зовнішній вплив й ін.)

Отже, при вивченні впливу типу й витрати зв'язуючих і флюсуючих домішок, на якість залізородних окатишів необхідно звести до мінімуму або взагалі виключити вплив чисто технологічних факторів.

Попередньо віддозовані компоненти шихти ретельно перемішувалися вручну, зволожувалися до оптимальної вологості й у кількості 10кг подавалися на гранулятор. Волога кожної шихти визначалася з умов одержання окатишів максимальної щільності при заданих режимах огрудкування. Значення оптимальної вологи шихти досить близько відповідало розрахованій по формулі:

$$W_{\text{опт}} = 1/2 W_{\text{мкв}}$$

де $W_{\text{мкв}}$ – максимальна капілярна вологість шихти, %.

Огрудкування шихти виробляється на чашовому огрудкувачі діаметром 0,8 і висотою 0,2 м, що працює в сталому режимі, при постійних куті нахилу чаші, числі оборотів і продуктивності 50 кг/година. Швидкість обертання чаші для одержання окатишів розміром 10-20 мм (79 %) становила 20 об/хв, що відповідало лінійній швидкості окатишів на межі чаші 0,0140 м/с. Режим роботи огрудкувача підібраний для умов одержання однакових по щільності лабораторних і промислових окатишів із залізородного концентрату питомою поверхнею $\approx 2000 \text{ см}^2/\text{м}$.

Вихід класу 10-20 мм після огрудкування становить не менш 90,0 % пористість коливалася в межах 30-35 % залежно від складу шихти.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.06.МЕ			
<i>Зм</i>	<i>Анк</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	МЕТОДИКА ПОСТАНОВИ ЕКСПЕРИМЕНТУ	<i>Лімен</i>	<i>АнкVII</i>	<i>АнкVIII</i>
<i>Розробл</i>	<i>Півень</i>						1	3
<i>Перевір</i>	<i>Плотніков</i>					MT-23-2ск		
<i>Н</i>	<i>Плотніков</i>							
<i>Затвер</i>	<i>Савельєв</i>							

Властивості сирих (сухих) окатишів оцінювалася по:

- вмісту вологи, %;
- опору окатишів роздавлюванню (кг/об), береться середнє з 10-100 окатишів;
- ударної міцності (середнє число скидань 10 окатишів на металеву плиту з висоти 0,5м до руйнування) 9 разів.
- пористість, %;

Термообробка окатишів здійснювалася в шарі висотою 100мм на випалювальній установці, що працює в автоматичному режимі, що дозволяє моделювати процес випалу окатишів на випалювальній машині ОК-520, і змінювати швидкість нагрівання від 40 до 380⁰С/хв, температуру випалу від 400 до 1400⁰С и тривалість випалу при максимальній температурі від 1 до 30 хвилин.

Металургійні властивості обпалених окатишів оцінювалися стандартними методиками: міцністю на удар і стирання (ДЕРЖСТАНДАРТ - 15137 - 69), міцністю на стиск (ДЕРЖСТАНДАРТ - 143 - 72), міцністю при відновленні в обертовому барабані й ступенем відновлення (ДЕРЖСТАНДАРТ - 575 - 74), пористістю.

Оцінка якості окатишів й їхня придатність металургійному переділу здійснювалася на підставі вимог до якості залізородних окатишів (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Вимоги до якості залізородних окатишів.

Показники якості	Максимально відповідають доменному переділу	Досягнуті в країні	Досягнуті за рубежом
Міцність при стиску в холодному стані, кг/ок	200-400	150-250	200-600
Міцність на удар (вихід на +5,0мм після барабана)	95,0	90-93,0	94-96
Показник стиранності при відновленні (вихід класу – 0,5мм)	5,0	8-10	3-7,0
Показник міцності при відновленні (вихід класу +5,0мм Линдера)	>80,0	70-80	н. свед.
Опір роздавлюванню	>100	40-60	60-120
Відновлювальність	85	80-90	80-90

Розробка результатів досліджень здійснювалася по стандартних методиках або по нестандартним при 5-10-кратному повторенні.

Таблиця 6.2 – Тимчасово-температурний режим випалу окатишів.

Показники	Зони термообробки				
	сушіння	підігріву	випалу	рекуперації	охолодження
Час обробки, хв	7	3,5	9	2	-
Температура, °С	450-500	900-1000	1150-1400	1000-1100	на повітрі

Відбір проб і визначення якісних і кількісних характеристик сировини, окатишів і технологічних процесів здійснювалися по типових і стандартних методиках.

7. СТАН ПИТАННЯ ПО ЛІТЕРАТУРНИМ ДАНИМ.

Розширення залізорудної бази гірничо-металургійного комплексу можливе, за рахунок лише втягнення в переробку окислених і магнетитових залізних кварцитів, які потребують тонкого подрібнення для розкриття рудних зерен, які забезпечують отримання високоякісних концентратів (66 – 68 % Fe_{заг.}). Використання їх в доменному виробництві можливе лише після попередньої грануляції. Серед відпрацьованих в наш час способів виробництва окускованої залізорудної сировини найбільш перспективним потрібно вважати виробництво окатишів.

У порівнянні з агломератом окатиші мають більш рівномірний гранулометричний склад, високу насипну масу, підвищений вміст заліза, малий вміст дріб'язку, та іншу переваги.

Металургійні властивості залізорудних окатишів визначаються фізико-хімічними властивостями компонентів шихти, речовинним складом, температурно-годинним режимом випалу.

Режими термообробки залізорудних окатишів, міцності та інші характеристики в сирому, висушеному та випаленому станах в багато чому визначаються видом та витратою зв'язуючи та флюсуючи добавок.

Сирі окатиші повинні мати певну міцність, достатню для того, щоб витримати транспортування до зміцнючого агрегату без руйнування. Практика показує, що опір сирих окатишів роздавлюванню повинен бути не менше 1,0кг/об, до того ж вони повинні витримувати до п'яти скидань на металічну плиту з висоти 0,5м і швидкий нагрів до 400-600⁰С в процесі термообробки.

По даним авторів, міцності характеристики сирих і сухих окатишів залежать від типу і витрати зв'язки. Домінуючою сполучною добавкою при виробництві залізорудних окатишів є високоякісні бентонітові глини.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.07.ЛД			
Зм	Анк	№	Підпис	07 Л				
Розробл	Півень				СТАН ПИТАННЯ ПО ЛІТЕРАТУРНИМ ДАНИМ	Лімен	АнкVII	АнкVIII
Перевір	Плотніков						1	10
Н	Плотніков				МТ-23-2ск			
Затвер	Савельєв							

На жаль, Україна не має своїх родовищ високоякісних бентонітів, річна потреба в яких лише в металургів перевищує десятки тисяч тонн. Це спонукає завозити на фабрики огрудкування ЦГЗКа, ПівнГЗКа, ПівдГЗКа бентоніти з країн ближнього і дальнього зарубіжжя.

Характерні бентонітам специфічні властивості, проявляються в високій набухаємості при зволоженні, здатності поступово віддавати зв'язану з ними воду при нагріванні, високий ступінь дисперсності і інші, достатньо ефективно проявляються при огрудкуванні зволжених тонкоподрібнених залізорудних концентратів, роблять їх необхідним компонентом в шихті для виробництва окатишів.

Мала розповсюдженість в природі, велика потреба в глинах інших галузей народного господарства заставляє металургів шукати замітники бентонітів серед різноманітних відходів гірничо-металургійного, сільськогосподарського, хімічного та інших виробництв. В теперішній час випробувано понад 100 речовин органічного і неорганічного походження, в якості заміників бентонітових глин в процесі виробництва залізорудних окатишів.

Найбільш розповсюдженими потрібно вважати замітники бентонітів неорганічного походження, основним недоліком використання великої кількості, в процесах огрудкування потрібно вважати розубожування по відношенню до основного цінного компоненту шихти $Fe_{заг}$. На кожний 1,0 % неорганічної добавки вміст заліза в товарних окатишах знижується приблизно на 0,7 %. До того ж це пов'язано з додатковими витратами флюсів і палива на переділ залізорудної сировини. (на 1т окатишів витрачається 15-30кг заліза в шихті, завантажують в доменну піч).

Природнім є те що з багаточисельних неорганічних добавок особливий інтерес викликали на вітчизняних і зарубіжних фабриках присадки в якості сполучного залізного купоросу. Дослідження, проведені авторами роботи, дозволили зробити висновок від ефективності часткової заміни бентонітів залізним купоросом. При цьому відмічається взагалі то огрудкування, зростає міцність

сирих і висушених комків. Однак при цьому помітно ускладнюється процес сушки і погіршуються санітарні умови обслуговування газоочистки.

В Англії для зростання міцності сирих і підсушених окатишів в шихту при огрудкуванні додають кремнієвий гель, крупність часток якого на 80 % не перевищує 350А. Особливо ефективні присадки кварцу, активованого подрібненням, при огрудкуванні малокремнистих «суперконцентратів», які містять 68,70 % заліза і 1-3,0 % SiO_2 . При цьому суттєво прискорюється огрудкування і трохи зростає міцність сирих і випалених окатишів.

Досить розповсюдженим є використання в якості замінювачів бентонітових глин тонкодисперсних шламів – продуктів газоочистки різних виробництв.

Подібні результати отримані «Уралмеханобром» при огрудкуванні Качканарських концентратів «Механобрчерметом» концентрату ЦГЗКа. В останньому випадку досліджувалися руди Миколаївського глиноземного заводу, які вміщували 45-55 % Fe_2O_3 , 15-18 % Al_2O_3 та 5-10 % вапна.

Цікавим представляється використання в якості сполучного марганцеворудних шламів – відходів процесу виробництва марганцевого концентрату. При введенні яких в шихту для виробництва окатишів в доменну піч потрапляє від 1 до 2 % Mn – цінної легуючої добавки.

Великий інтерес мають добавки в шихту в якості сполучної добавки гашеного або свіжовипаленого вапна. Дана добавка добре вивчена при підготовці до агломерації тонкоподрібнених концентратів як сполучна і флюсоуюча. Справді, добавки вапна до 2-4,0 % від маси сухої шихти ініціюють процес огрудкування дрібнозернистих шихт. При великій витраті зменшується насипна вага аглошихти, а відповідно і продуктивність аглоустановки.

В більшості випадків запропоновано використовувати гашене вапно. Використання негашеного вапна в шихті огрудкування не рекомендується через небезпеку руйнування агрегатів шихти в процесі їх термічної обробки, що пояснюється збільшенням об'єму вапна при продовженні реакції його гідратації

після утворення сирих окатишів і виділення летучих при розкладі гідроксиду кальцію.

В процесі підготовки шихти одночасно з гасінням вапна обезвожується залізорудний концентрат, шихта підсушується, завдяки чому зменшується негативний вплив зони перезволоження. В той же час добавка вапна в шихту може значно підвищити її газопроникність і сприяє її озерненню при змішуванні та огрудкуванні. Однак, потрібно відмітити, що виробництво і гасіння свіжовипаленого вапна зв'язано з серйозними погіршеннями екологічної ситуації і санітарними умовами.

Дослідження, проведені на ПівнГЗКа з використанням в якості сполучного суміші тонкодисперсного металізованого звороту з вапном в співвідношенні 4:1, показали, що при цьому отримуються випаленні окатиші з більш високими міцностними характеристиками в холодному і гарячому співвідношеннях, ніж окатиші з 0,7 % бентоніту.

Цікаві дослідження авторів, які пропонують в якості зв'язок різні види вапняку, доломітів і подібних добавок. Дійсно, такі флюсуючі добавки, тонкоподрібнених вапна, доломіту, вапняку і інших змінюють міцність залізорудних окатишів в сирому і випаленому стані. Однак, висновки різних авторів суперечать один одному.

Каппель і Струве вказують, що при офлюсуванні ні вапняк, ні доломіт не роблять помітно зміцнюючої дії на міцність сирих окатишів. Похвіснев А.Н., навпаки, показує, що добавки вапняку (особливо подрібненого) збільшують міцність сирих окатишів на стиснення і удар. Аналогічні висновки зробили і інші дослідники, хоча підкреслювали, що тонке мливе вапняку, в основному, впливає на міцність насамперед випалених окатишів.

В результаті промислових дослідів доведена принципова можливість заміни бентоніту в шихті активним тонко дисперсним вапном при виробництві офлюсованих окатишів. При вмісті 1,5 % вапна в шихті міцність сирих окатишів рівна міцності бентонітових. Показники міцності випалених окатишів з вапном і з

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.07.ЛД	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			1

бентонітом приблизно однакові. Вміст заліза в обкотиш ах з вапном на 0,4 % вище. Міцність висушених окатишів з вапном на 0,36 % кг/окатиш вище, а температура «шоку» сирих окатишів на 96⁰С нижче ніж з бентонітом.

При виробництві офлюсованих окатишів добавки до 3,0 % СаО суттєво впливають на якість (зростає), добавки ж понад 3,0 % вже малоефективні. Позитивний вплив СаО проявляється через вологу шихти. Так як вапно має високу вологопоглинальну здатність, її добавки в шихту збільшеної вологості покращують комкуємість останньої і гранулометричний склад шихти перед спіканням. Про можливість корегування збільшеної вологості шихти (концентрату) добавками вапняку (вапна) кажуть багато авторів.

Потрібно відмітити, що добавки флюсів, як і будь-які залізозміщуючі добавки, природно, розубожують залізородні окатиші. Однак, офлюсування окускованої сировини вимушено через необхідність виводу сирого вапняку з шихти доменної печі.

Багато авторів відмічають вплив основності залізородних окатишів на показники їх механічної міцності в випаленому стані. Однак, зробити однозначний висновок про вплив основності на величину цього показника неможливо через багатогранність і складність процесів, які приймають участь в її формуванні.

На думку спеціалістів в зміцненні окатишів при високотемпературному випалі приймають участь наступні процеси:

- Окислення магнетиту в гематит;
- Рекристалізація окислів заліза в твердофазному стані;

На характер і ступінь розвитку цих процесів основність впливає, в основному, лише тільки через фізичні властивості окатишів і, насамперед, пористість. Так, по даним авторів роботи, пористість оброблених при температурі 900-1000⁰С окатишів основністю 0,5 на 2-4,0 % нижче, ніж окатишів основністю 1,2. Внаслідок більш високої пористості і роз'єднуючого впливу часток вапняку (або іншого флюсу) офлюсування залізородних окатишів основністю 1,35, випалених при 900-1000⁰С, мають трохи менші показники міцності, чим

неофлюсовані. Крім того, ці комки швидко руйнуються на повітрі внаслідок гідратації вапна вологою повітря:

- Утворення залізного-кальціє-силікатного розплаву;
- Утворення двійного і трійного фериту кальцію.

В розвиток цих процесів і їх вплив на інтенсивність протікання двох перших роль флюсоуючої добавки може стати вирішальною.

При збільшенні основності окатишів від 0,5 до 5,0 встановлено зростання міцності окатишів в випаленому стані від 250 до 450 кг/об. Автори, одні з небагатьох встановивши зниження міцності окатишів в інтервалі основностей 1,1-1,5 при температурі від 1100 – 1200⁰С і суттєвий ріст при основності вище 1,5.

Зниження міцності окатишів в інтервалі основностей 1,1-1,5, як і офлюсованого агломерату в інтервалі 0,8-1,1, пояснюється утворенням двох кальцієвого силікату ($2\text{CaO} + \text{SiO}_2$), який переносить поліморфні перетворення, які супроводжуються зміною випалу, при охолодженні. Зниження барабанної проби офлюсованих окатишів в інтервалі основностей 1,0-1,2 відмічено і іншими авторами.

Вирішальний вплив на формування структури офлюсованих окатишів, а відповідно і їх металургійної міцності, вказує температура випалу.

При виробництві офлюсованих окатишів потрібне більш точне дозування і ретельне змішування сирих окатишів і більш чітке регулювання температури в зонах підігріву і випалу. Оптимальні температури потрібно підтримувати достатньо точно, так як окатиші легко оплавляються з утворенням спочатку злиплихся агрегатів, а потім зпеченої маси.

При високих ступенях основності може виявитися роз'єднуючий вплив надлишкового вапняку (вапна).

Засвоєння вапна рудою залежить не лише від температури випалу, але й від крупності часток вапняку, задаваного в шихту. Негативний вплив фракції вапняку понад 2,0мм зказується на показниках випалу тим сильніше, чим крупніше руда і концентрат, внаслідок порушення контактів між ними.

Потрібно відмітити, що зростання крупності флюсів суттєво впливає на збереження механічної міцності офлюсованих окатишів в процесі їх зберігання через можливість гасіння незасвоєного активного вапна вологою повітря, що супроводжується збільшенням об'єму.

Зменшення кількості СаО або його повне засвоєння може бути досягнуто зростанням температури випалу, зростанням його тривалості або зменшенням крупності вапняку.

За даними Ростовцева С.Т., визначальною для ступені засвоєння вапна при випалі є температура, а не крупність добавки і час випалу. Однак, температура і тривалість випалу визначають продуктивність випалювальних агрегатів, тому з цих позицій крупність флюсуючи добавки повинна грати не останню роль.

Суттєвий вплив на якість офлюсованих окатишів робить вид флюсу. Як вже відмічалось раніше, заміна вапняку вапном позитивно впливає на якість окатишів. При цьому покращується «комкуємість» власне самого концентрату, контакт рудних зерен та зерен флюсу, речовинний склад випалених окатишів та їх металургійні властивості.

Заміна вапняку доломітом і магнезитом, на думку авторів дозволяє підвищити температуру випалу окатишів на 30-50⁰С, при зберіганні структури, яка забезпечує високі металургійні властивості.

Потрібно відмітити, що добавки вапняку в крупності -0,1мм ускладнюють процес огрудкування. Загально відомо, що процес огрудкування, складається з двох взаємозв'язаних операцій: власне утворення гранул і їх наступне зміцнення—лімітується власне операцією зміцнення, яка в подальшому і визначає поведінку окатишів при транспортуванні і перевантаженні в випалювальний агрегат. Різноманітні добавки по різному впливають на співвідношення між швидкостями процесів і в ряді випадків потребують прийняття спеціальних заходів.

Суттєвий вплив з точки зору збереження міцності офлюсованих окатишів при зберіганні і транспортування, як вже відмічалось, або ж присутність вільного окису кальцію, так як в атмосфері, вміщуючій водяні пари, відбувається її гасіння з

збільшенням об'єму, що приводить до виникнення внутрішніх напруг і руйнування окатишів. Особливо вміст СаО вільної понад 0,1% вважається небезпечним для міцності офлюсованих окатишів. Ця небезпека зростає при збільшенні крупності флюсу, який вводять в шихту. Для інтенсивного засвоєння крупних часток вапняку необхідно збільшувати температуру випалу. Однак надмірне її збільшення супроводжується оплавленням окатишів і утворенням спіків, що порушує нормальну течію технологічних процесів в шарі і може привести до утворення великої кількості розплаву при випадковому перегріві. Верхня межа температури випалу, при якій виключається можливість окиснення окатишів з поверхні, є тим нижчою, чим вище їх основність. Допустимий інтервал відхилення температури випалу від оптимальної для офлюсованих окатишів в декілька разів менше, ніж для не офлюсованих.

Небезпека спікання окатишів між собою через оплавлення при високих температурах випалу суттєво зменшується в двохшарових окатишах, у яких весь необхідний для отримання заданої основності флюс замкнений в центрі, в шарі з концентратом в співвідношенні, забезпечуючим пріоритетне утворення легкоплавких феритів кальцію. Зовнішній шар окатиша формується лише з концентрату, що забезпечує реальність більш високої температури випалу. Інтервал розм'якшення двохшарових окатишів здвинутий в область високих температур.

Зі зростанням кількості вапняку в шихті, крім зазначеного вище зменшення продуктивності, спостерігається зростання витрати палива на випал. Так, при добавці 10,0% вапняку в шихту витрата мазуту зросла на 12,0 % (40 тис ккал окатишів) у порівнянні з його витратою при випалі не офлюсованих окатишів, що пояснюється уповільненням нагріву окатишів внаслідок дисоціації карбонатів і скорочення їх виходу зменшення насипної маси випалених окатишів. Звідси можна передбачити, що для отримання високо офлюсованих окатишів більш всього придатні низькокремністі концентрати, які потребують відносно менше вапняку і утворюючи менше розплаву, тим більш, що в такі концентрати все одно необхідно

вводити шлакоутворюючі добавки для створення при випалі зв'язки, яка забезпечує необхідну міцність випалених окатишів при відновленні.

Однак, в наш час є очевидним не цілеспрямованість введення в шихту доменної печі сирого флюсу, який потребує затрат тепла на розкладення вапняку та збільшення витрати коксу. Плавка не офлюсованих окатишів, хоча й гарно підготовлених матеріалів (агломерату та окатишів) менш ефективна, ніж повністю офлюсованих (самоплавких) шихт. Так на заводі Кобе сейко (Японія) продуктивність доменної печі зросла на 435 т/добу у порівнянні з продуктивністю при проплавленні не офлюсованих окатишів.

Подібна проплавка проведена на «АрселорМіттал Кривий Ріг», показала збільшення продуктивності на 11,45 %, зменшення витрати коксу на 9,0 % та збільшення інтенсивності доменної плавки.

А проплавка окатишів з вапном в доменній печі на заводі ім. Г.І.Петровського показала, що зменшився винос пилу по верхнім горизонтам печі, питома витрата коксу знизилася на 0,8 %, а продуктивність печі збільшилася на 1,3 %.

Дослідження, проведені авторами робіт показали, що собівартість офлюсованих окатишів можна знизити, а в деяких випадках, їх якість підвищити суттєво, використовуючи в якості флюсоуючої добавки, кальцій вміщуючи відходи гірничо-металургійних виробництв. Однією з таких добавок можуть стати сталеплавильні шлаки, які вміщують 35-50 % CaO.

Використання сталеплавильних шлаків при окускуванні дозволяє повністю утилізувати всі вміщуючи в них корисні компоненти. Досліди показують, що хімічний склад окатишів з введенням в шихту шлаку практично не змінюється, зате збільшується продуктивність випалювальних машин в результаті зростання газопроникності шихти, скорочуються витрати залізної руди і вапняку.

При спіканні шихти з добавками конверторних шлаків на огрудкувальній фабриці продуктивність випалювальних машин зросла на 1,0 % на кожний відсоток шлаку в шихті і знижується вміст дріб'язку в окатишах на 1-2,0 % абс.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.07.ЛД	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			о

Таким чином, аналіз літературних даних показує, що введення флюсуєчої і сполучних добавок суттєво впливає на якість огрудкованої сировини і техніко-економічні показники процесу, але потребують індивідуальної оцінки при використанні в кожному конкретному випадку.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.07.ЛД	анк
	Анк	№ докум	підпис	дат		10

**8. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОГРУДКУВАННЯ І
ЯКОСТІ СИРИХ І СУХИХ ОКАТИШІВ.**

Відомо, що зволожений сипучий матеріал набуває деяких властивостей твердого тіла: крім опору роздавлюванню він володіє помітною міцністю при розтягуванні, зрізі, істиранні, здатністю зберігати придану йому форму і т. д. Це свідчить про наявність всередині шару певних сполучних сил, величина і тип яких залежать від властивостей матеріалу, його вологи, але особливо виду і типу добавок. В зволоженому матеріалі можна виявити наявність, що найменше п'яти видів сил:

- Колоїдного зчеплення;
- Механічного зчеплення;
- Молекулярної взаємодії;
- Капілярної взаємодії;
- Електростатичного і магнітного при тяжіння.

Виявлений низкою вчених зв'язок між швидкістю грануляції, виходом сирих окатишів і ситовим складом комкуємого матеріалу говорить про незначний розвиток самовільного диспергування рудних часток при зволоженні. Більш того, навіть введення в комкуєму шихту колоїдів мало змінює вихід сирих окатишів при огрудкуванні тонкоподрібнених концентратів. Це говорить про слабку участь сил колоїдного зчеплення в механізмі формування окатиша. Сили механічного зчеплення, по своїй природі являються силами внутрішнього тертя, проявляються лише при прямому контакті часток і не здатні зтягувати частки. Тим більше зближенню часток перешкоджають плівки сполучної води на частках комкуємих матеріалів. По цій же причині сили електростатичної взаємодії не можуть отримати більшого розвитку.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.08.СЧ					
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА					
<i>Розробл</i>	<i>Півень</i>							<i>Лімен</i>	<i>АркVII</i>	<i>АркVIII</i>
<i>Перевір</i>	<i>Плотніков</i>								1	51
<i>Н</i>	<i>Плотніков</i>							MT-23-2ск		
<i>Затвер</i>	<i>Савельєв</i>									

Відповідно, при огрудкуванні тонкоподрібнених залізорудних концентратів основними «комкуючими» є молекулярні і капілярні сили взаємодії. Абсолютна величина і відносна участь кожної з цих сил в механізмі утворення, формування і зміцнення окатишів визначається властивостями зволоженого тонкодисперсного матеріалу, кількість вологи, а також типом і витратою сполучної добавки. Причому, практика огрудкування показує, що існує функціональний зв'язок між показниками огрудкування і насамперед вмістом вологи в концентраті. Більш того, і вплив дії добавок на якість сирих окатишів досить сильно проявляється через вологу концентрату.

Всі компоненти шихти для виробництва залізорудних окатишів по крупності можна розбити на три групи: комкуюча частина ($> 1,5\text{мм}$) комкуєма частина ($< 0,1\text{мм}$) і важкокомкуєма частина ($0,1-1,5\text{мм}$). Звичайно складники шихти для отримання залізорудних окатишів подрібнюються до крупності – $0,1\text{мм}$. Тобто, згідно приведеної класифікації, всі компоненти шихти відносяться до комкуємої частини. В цьому випадку процесом, лімітуючим огрудкування, являється процес утворення зародків. Його можна уявити як складову двох взаємозв'язаних операцій: перша – ймовірна, визначаюча можливість стикання часток при русі поверхні гранулятора, і друга – енергетична, характеризуюча ймовірність злипання їх одна х одною. Якщо ефективність першої, насамперед зв'язана з абсолютним вмістом часток в шихті, то друга – з фізико-хімічними властивостями поверхні часток. Як бачимо добавки бентоніту і вапна повинні покращувати «комкуємість» власне самого концентрату. Причому, з зростанням витрати бентоніту зростає і його вплив на якість сирих окатишів, правда, не значно.

Однак цей вплив характерний лише для шихт оптимальної вологості. Введення бентоніту в залізорудний концентрат збільшеної вологості може призвести до не жданих результатів. Насамперед, будучи введеним в концентрат збільшеної вологості, бентоніт, маючи високий коефіцієнт волого-поглинання, приймаючи на себе надлишкову вологу концентрату утворює комочки крупністю $0,5-1,5\text{мм}$, які відносяться до класу важкокомкуємого. Маючи малу густину, ці

комочки ковзають по поверхні комкуємої шихти і засвоюються формуючими окатишами лише в кінці грануляції, розубожуючи поверхню окатиша.

Різниця в вмісті заліза між периферією і ядром сформованого окатиша може досягати 4-6 %. Це призводить до певних труднощів при наступній термообробці окатишів.

Трохи інакше виглядає механізм впливу вапна на «комкуємість» залізорудного концентрату. Причини такого позитивного впливу вапна на процес огрудкування ховаються в наступному.

1. Вапно, доторкуючись до вологої шихти, різко збільшується в об'ємі.
2. Вапно значно покращує комкуємість тонкодисперсного залізорудного концентрату.
3. Вапно помітно збільшує міцність зародків-комків і сприяє збереженню цієї міцності в процесі термообробки.

Багатьма авторами відмічається позитивний вплив добавок СаО на процес грануляції в кількостях до 3-4,0 %.

Невеликі добавки СаО до концентрату дозволяють підсушити його, що сприяє гарному змішуванню шихти перед огрудкуванням. При цьому вапно частково гаситься і, як наслідок, в суміші концентрат-вапно утворюється гідрат окису кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$, який має високі в'язучі властивості, що помітно полегшує процес огрудкування. При вмісті вапна понад 4 % починає проявлятися її роз'єднуючий вплив: зменшується насипна вага шихти, її вологи, особливо в місцях контакту гашеного вапна з частками концентрату. При одній і тій же витраті вапна збільшення величини її питомої поверхні (понад $4000\text{см}^2/\text{г}$) може привести до зниження міцності сирих окатишів.

Можна припустити, що зростання витрати тонкоподрібнених добавок бентоніту і вапна (кількостях $>2,0\%$) полегшує процес утворення гранул – зародків. Однак, їх рихла структура, низька густина потребують більшого часу огрудкування для ущільнення і подальшого росту до кондиційної крупності. В таблицях приведені результати досліджень механічної міцності сирих окатишів,

вироблених з тонкоподрібнених матеріалів звичайної крупності при різних витратах сполучних добавок. Потрібно відмітити, що внаслідок обезвожуючого ефекту вапна оптимальна волога при добавці її в шихту трохи вище, чим при введенні бентоніту. Міцності характеристики сирих окатишів з різноманітними добавками сполучного близькі одна до одної і зростають при збільшенні витрати добавок (у бентоніту монотонно, у вапна до певної межі). Це ще раз підтверджує вплив на якість сирих окатишів фізико-хімічних властивостей тонкоподрібненого магнетитового концентрату (крупності і форми мінеральних зерен, величини питомої поверхні і її стану тощо), а також вологи шихти.

Звертає на себе увагу факт, що вихід придатного (кондиційного) класу (8-18мм) при використанні в якості сполучної добавки вапна вище (93,2 %), чим при використанні бентоніту (85,5 %). В основному це пов'язано з меншим (на 3,0-8,0 %) виходом крупного класу +18,0мм.

При доданні до концентрату вапняку в крупності 3-0мм комкуємий клас зникає через 4,5 хвилин грануляції, вміст класу 18-8мм > 90 % досягається через 10-12 хвилин грануляції. Як і очікувалось частинки вапняку в крупності 3-2,0 мм практично не приймали участі в утворенні комків – зародків і вкочувалися в тіло вже практично кондиційного окатиша крупністю >10,0 мм.

Таблиця 8.1 – Вплив витрати і типу сполучної добавки на міцність сирих окатишів.

Найменування сполучного, волога, %	Витрата сполучного, % від сухої маси							
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Бентоніт	0,84/3,5	0,91/3,7	0,93/4,1	0,92/4,2	0,96/4,0	-	-	-
Вапно	0,84/3,5	0,94/4,0	0,98/4,3	1,03/4,5	1,08/4,7	1,4/4,9	2,1/5,1	1,95/4,6
Оптимальна волога, % (з бентонітом)	9,1	9,4/9,5	9,6/9,8	9,9/10,0	10,4/10,5	-/10,6	-/11,1	-/11,9

Чисельник – опір роздавлюванню, кг/об

Знаменник – кількість скидань до руйнування, раз

Таблиця 8.2 – Міцність характеристики сирих окатишів з різними сполучними добавками.

Добавки	Оптимальна волога, %	Міцність сирих окатишів		Міцність сухих окатишів, т/об	Гранулометричний склад, вихід класів, %			
		на роздавлювання, м/об	на скидання, раз		+18,0	-18+15	-15+8	-8+0
Бентоніт	9,6	0,93	4,1	3,6	13,7	35,80	49,7	0,8
Вапно	10,1	0,98	4,4	4,3	5,40	34,8	58,4	1,4

Для реальних технологічних процесів отримання офлюсованих окатишів можна запропонувати наступні співвідношення компонентів шихти:

- для шихт, як забезпечують основність до 0,5, при вмісті SiO_2 в магнетитовому концентраті до 7% можна в якості флюсоуючої і одночасно сполучної добавки запропонувати вапно. При цьому вихід бентоніту з шихти і заміна його вапном дозволяє забезпечити потрібну якість сирих і сухих окатишів і одночасно підвисити вміст заліза в окатишах приблизно на 0,2%;

- при отриманні окатишів основністю $> 0,5$ і особливо високоосновних (>1) потрібну понад 0,5 ступінь офлюсування можна забезпечити добавками в шихту підготовленого конверторного шлаку в крупності 3-0мм.

Сирі окатиші, отриманні з шихти оптимальної вологості 8,5-10,5% (в залежності від типу, витрати сполучних і флюсоуючи добавок), є достатньо щільними зразками, термічна обробка яких супроводжується видаленням вологи, повинна проводитися в строгому режимі при певних швидкостях нагріву і температурах. Відомо, що при видаленні вологи окатиші послідовно проходять через три стани: пружньо-пластичний (відповідає оптимальній вологі шихти $W_{\text{опт}}$), пружньо-пластично-крихкий (характеризується середнім вмістом вологи $W_{\text{ср}}$), пружньо-крихкий ($W_i = W_{\text{св.в.}}$). В цих станах вода в матеріалі знаходиться в різних формах зв'язку з поверхнею мінеральних часток і потребує певного теплового діяння для свого видалення. Найбільш легко видаляється вільна або гравітаційна волога і менш волога капілярна.

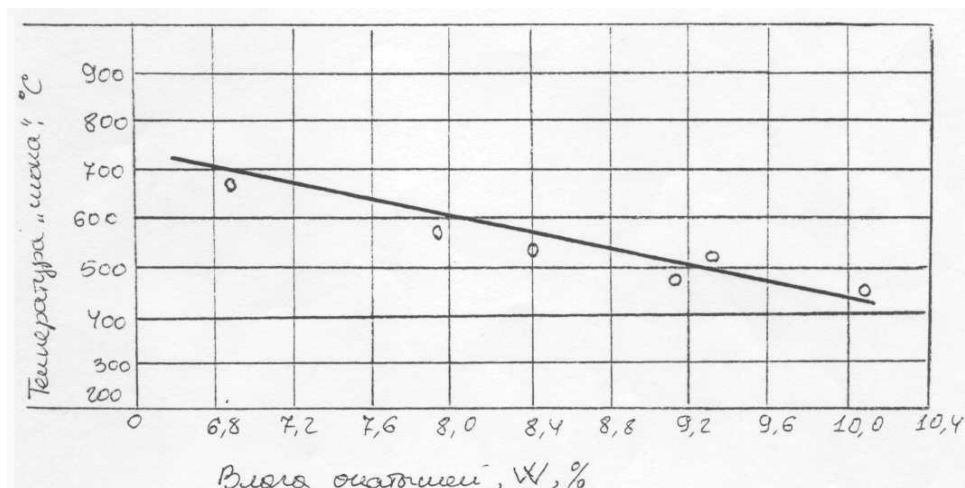


Рис.8.1 – Залежність температури «шоку» залізорудних окатишів з добавками вапна від вологи шихти (CaO=2,0%).

При повільному видаленні вологи з окатиша відбувається поступове зближення часток дисперсних матеріалів до товщини плівок сполучної води, що супроводжується частковою усадкою зразка. При цьому проявляється дія сил міжмолекулярної взаємодії, в результаті зростає міцність окатиша. Структура окатиша в багато чому залежить від умов огрудкування і типу і витрати сполучної добавки.

При співставленні поведінки окатишів на основі бентонітів і вапна перші показали себе більш термостійкими. Гранична температура сушки (температура «шоку») у них була на 60-100⁰C вище, ніж у окатишів з вапном. (рис 8.1.)

Характерно, що волога шихти з добавкою вапна суттєво змінюється після витримки протягом певного часу (табл. 8.3).

Потрібно відмітити, що при нормальному режимі сушки (в дві стадії I при температурі 300-400⁰C, і II при – 500-600⁰C) обидві добавки забезпечують потрібну термостійкість окатишів. цей режим характерний для випалювальних машин ОК-306.

Якщо ж в технології підготовки залізорудних окатишів передбачити попередню сумісну з вапном витримку протягом 24-48 годин режим термообробки окатишів в зонах сушки можна скорегувати користуючись рис. 8.1. і табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Вплив вапна на вологу концентрату після витримки протягом, годин.

Кількість вапна в шихті, %	Волога шихти, %				
	Після змішування	Час витримки, годин			
		24	48	72	96
0	9,5	8,7	8,4	8,2	8,0
4,0	8,3	7,3	6,5	6,0	5,8
6,0	8,1	7,2	6,2	5,8	5,6
8,0	8,0	7,0	6,0	5,3	4,9
10,0	7,8	6,4	5,7	4,8	4,5

Аналіз властивостей добавок, і насамперед, питомого вмісту води F_d на добавках різної крупності дозволив прогнозувати позитивний вплив конвертерного шлаку на процес огрудкування тонкоподрібнених матеріалів. Розраховані на основі формул, запропоновані Серебряником Г.І. и Авдеевим В.Ф. показники швидкості огрудкування суміші тонкоподрібненого магнетитового концентрату з добавками вапняку і конвертерного шлаку показали помітний позитивний вплив останнього.

Так, при доданні до концентрату, маючого значення показника швидкості огрудкування рівне 7,2; в крупності 0,5-0 мм – до 7,34. В той же час при добавці вапняку, відповідно, - до 6,95 і 7,22. Ці розраховані дані гарно погоджуються з результатами проведених експериментів. Дійсно, при добавці конвертерного шлаку крупністю 4-0мм в кількості, яка забезпечує отримання основності окатишів $\approx 1,4$, вихід придатного класу 18-8мм 90 % досягається за 6 хвилин грануляції, а вже через 1,5 хвилини в шихті практично зникає матеріал в крупності – 1,6мм.

8.2 Дослідження процесу високотемпературного випалу залізорудних окатишів і їх металургійних властивостей.

Для вивчення випалу офлюсованих залізорудних окатишів відбиралися окатиші в крупності 15-16мм. Дослідження проводилися в інтервалі температур 900-1300⁰С.

Було встановлено, що процеси видалення вологи, дисоціації вапняку і окислення магнетиту протікають диференційовано. Звичайно два перших процеси випереджають окислення магнетиту і суттєво впливають на його хід, так як супроводжуються значними змінами фізичних характеристик окатишів, а саме, пористості і, в меншій мірі, хіміко-мінералогічного складу.

Для всіх типів окатишів окислення починається з максимальною швидкістю, і поступово зменшується по ходу процесу.

Окислення Fe_3O_4 до Fe_2O_3 з фазовими перетвореннями, в яких беруть участь мінерали з кристалічними ґратками, які мають порівняно низьку орієнтаційно-розмірну відповідність. Однак хімічні перенасичення при цьому перетворенні достатньо великі. Крім того, при виробництві магнетитового концентрату в результаті значних механічних впливів (подрібнення, істирання) отримуємо дисперсний продукт з великим числом дефектів на поверхні кристалів. Це суттєво полегшує початок і розвиток перетворення $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_2O_3$, обумовлюючи високі швидкості окислення вже на початкових етапах процесу.

Потрібно враховувати, що в магнетитовому концентраті, який піддають окискуванню вміщується від 5 до 10 % Fe_2O_3 , який розміщений в магнетитовій фазі і являється готовим зародком нової фази. При більш високих температурах випалу швидкості окислення зростають, але характер окислення залишається колишній. При 1200-1300⁰С процес окислення на 80-90% завершується вже за перші 5-6 хвилин випалу. Однак, при 1250-1300⁰С процес окислення не йде до кінця, внаслідок або переходу частини магнетиту в розплав, або в результаті блокування часток магнетиту тонкими (2-5мкм) оболонками розплаву, екрануючого зерна магнетиту від дії кисню повітря.

Звертає на себе увагу деяке збільшення швидкостей окислення офлюсованих окатишів при збільшенні основності. І це істотно, так як внаслідок процесів, що йдуть попереду окислення окатишів – дисоціації вапняку, пористість окатишів основністю 1,4-1,5 на 4-6 % вище, чим окатишів неофлюсованих.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.08.СЧ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			г

Таблиця 8.4 – Пористість окатишів, з бентонітом, випалених при 1100 °С (офлюсовані вапняком)

Показник	Офлюсовані окатиші основністю				
	неофлюс.	0,52	0,81	1,1	1,52
Пористість, %	29,1	30,2	31,0	32,4	33,8

Таблиця 8.5 – Пористість окатишів з вапном (2,0 %), випалених при 1100 °С (офлюсовані вапняком)

Показник	Офлюсовані окатиші основністю				
	неофлюс.	0,50	0,75	1,05	1,45
Пористість, %	29,1	31,0	31,9	33,0	35,2

Таблиця 8.6 – Пористість окатишів з вапном (4,0%), випалених при 1100 °С (офлюсовані конверторним шлаком).

Показник	Офлюсовані окатиші основністю				
	неофлюс.	0,48	0,79	0,95	1,41
Пористість, %	29,1	30,6	30,9	30,3	29,0

При добавці в шихту в якості сполучного – вапна пористість окатишів у порівнянні з базовими (з бентонітом) трохи вище (\approx на 1,5-2,5 %), а з добавками конверторного шлаку нижче (на 1,5-3,0 %). Це істотно пояснює відповідні швидкості окислення при 1000 °С.

При збільшенні основності окатишів, офлюсованих конверторними шлаками, швидкість окислення при 1000 °С практично не змінюється, але значно нижче, ніж офлюсованих вапняком.

Відмічене зниження ступені окисленості при збільшенні температури випалу до 1200 °С і в особливості до 1250-1300 °С, особливо характерно для окатишів, офлюсованих конверторними шлаками. Для цих окатишів при температурі випалу вміст FeO в випалених окатишах може досягати 8-12,0 %.

Збільшення температури випалу до 1100-1300 °С окатишів основністю 1,0 збільшує механічну міцність випалених окатишів від 50-70 до 250-300 кг/об. Подальше збільшення температури приводить до різкого оплавлення структури окатишів і падіння міцності.

Основні фізико-хімічні процеси, які викликають зміцнення окатишів при термообробці, вивчені достатньо добре. Більшість дослідників вказують на ведучу

роль рекристалізації рудних зерен в механізмі зміцнення гранул. Процесом окислення, утворення розплаву в цьому механізмі відводиться другорядна роль.

Як показують дослідження, низькотемпературна (900-1100 °С) термообробка збільшує міцність окатишів не дуже (до 70-80 кг/об). Це пояснюється насамперед збільшенням рухливості іонів на доторкуючихся поверхнях, в місцях контактів рудних часток, в момент перебудови їх кристалічних ґрат, що призводить до утворення слабовиражених, містків між окремими зернами окислів заліза. В умовах окислювального випалу окатишів рекристалізація магнетиту помітного розвитку не отримала через швидко протікаючи перетворення $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_2O_3$.

По досягненні 1200 °С процес утворення рудного зв'язку в результаті твердофазних процесів практично завершився. В результаті рекристалізації дрібні рудні зерна практично повністю замінюються збільшеними.

Температура появи і кількість розплаву залежать від складу і кількості нерудної частини шихти. Виявилося, що безпосередню участь рідкої зв'язки, яка утворюється на основі пустої породи шихти, в механізмі зміцнення окатишів невелика. Однак утворення розплаву помітно ініціює рекристалізацію окислів заліза, так як його поява ослаблює труднощі, пов'язані з транспортом іонів заліза від одних зерен окислів до других. Цей вплив суттєвий вже при невеликих кількостях розплаву (1200-1250 °С), що характерно для окатишів з тугоплавкою пустою породою. Велика кількість розплаву (велика основність, температура 1300 °С) призводить до сильного оплавлення структури окатишів: в їх структурі переважають залізисто-кальцієво-силікатні олівіни складного складу. Це робить структуру окатиша щільною, крихкою, руйнуючоюся вже при відносно низьких роздавлюючих навантаженнях ($\approx 100-130$ кг/об.).

При зміцненні офлюсованих окатишів процеси твердофазної взаємодії приводять до утворення легкоплавких феритів кальцію. Кількісні співвідношення низькотемпературних новоутворень залежать від гранулометричного складу концентрату і флюсів, кількості і ступеню офлюсування пустої породи і температури термообробки.

При температурах вище 1200 °С мінералоутворення офлюсованих окатишів протікає однаково. Ферити кальцію, що плавляться взаємодіють з кварцом і силікатами нерудної частини концентрату і добавкою, утворюючи шлакорозплави. В залежності від кількості фізико-хімічних властивостей розплавів при охолодженні окатишів захолює у вигляді скла з різним ступенем кристалізації. Подібна структура характерна для високоосновних окатишів, офлюсованих вапняком, випалених при температурах випалу 1250-1300 °С. Як правило, з появою шлаку знижується ступінь окисленості випалених окатишів в результаті блокування і часткової асиміляції ним окислів заліза.

Таблиця 8.7 – Вплив температури випалу на механічну міцність залізорудних окатишів основністю 1,0 з різними сполучними добавками.

Добавка	Міцність на роздавлювання кг/об при витраті добавки, в %							
	0,5*	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Бентоніт	70/160	84/185	195/205	100/215	-	-	-	-
Вапно	73/142	75/180	84/213	92/231	105/241	110/247	106/254	124/250

* - чисельник температура випалу 1100 °С, знаменник 1200 °С.

Таблиця 8.8

Добавка	Міцність на роздавлювання кг/об при витраті добавки, в %							
	0,5*	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Бентоніт	201/190	229/208	248/215	270/230	-	-	-	-
Вапно	215/180	245/214	263/241	294/263	298/265	303/274	315/265	320/258

Таблиця 8.9 – Вплив речовинного складу і температури на міцність залізорудних окатишів основністю 1,0.

Добавка	Міцність на роздавлювання при температурі випалу °С, кг/об			
	1100°С	1200°С	1250°С	1300°С
Бентоніт 1,0%	84	185	229	272
Вапно 2,0%	92	215	294	263
Конверторний шлак + вапно	108	232	269	115

Потрібно відмітити, що при офлюсуванні окатишів конверторними шлаками суттєво знижується оптимальна температура випалу окатишів. Як вже відмічалось раніше, офлюсування окатишів основністю 1,0 конверторними шлаками, економить приблизно 40 тис. ккал на 1 т окатишів, так як при цьому суттєво знижується теплота потреба шихти (виключаються тепловитрати на дисоціацію вапняку, знижуються на плавління раніше утворених з'єднань складного складу).

Відмічене в цілому трохи менше значення механічної міцності окатишів, офлюсованих конверторними шлаками, у порівнянні з окатишами з типової шихти

при оптимальних температурах випалу, обумовлене деяким оплавленням структури випалених окатишів, і в цілому не знижує їх металургійної цінності.

Досягаємі в промислових і лабораторних умовах показники холодної міцності випалених окатишів 300-900 кг/об і визначені технічними умовами >200 кг/об суттєво підвищені, так як навіть при опорі роздавлюванню трохи більше 100 кг/об окатиші відмінно зберігають свою цілісність під дією статичних і динамічних навантажень, яким вони піддаються в процесі багаточисленних перевантажень і транспортування. Більш того, як показують дослідження проведені в КТУ, залізородні окатиші з оплавленою структурою, маючи знижену підновленість, в меншій мірі руйнуються при відновленні, чим офлюсовані окатиші з гарно розвиненою випалювальною структурою. До того ж при виробництві оплавлених окатишів трохи зростає вихід окатишів готового класу 8-25 мм.

Таким чином, виконані дослідження з достатньою повнотою дозволяють рекомендувати вапно і конверторний шлак в якості сполучної і флюсоуючої добавки при огрудкуванні залізородних концентратів.

Таблиця 8.10 – Металургійні властивості офлюсованих залізородних окатишів основністю 1,0 з різними добавками.

Показники	З бентонітом і вапняком	З вапном і конверторними шлаками
Вміст в окатишах:		
Fe _{заг} , %	60,4	60,6
FeO, %	1,3	9,4
Пористість, %	32,0	30,4
Опір роздавлюванню, кг/об	230	173
Мінімальна міцність частково відновлених окатишів, кг/об	48	120
Оптимальна температура випалу, °С	1250	1250
Інтервал випалу, °С	1220-1280	1200-1260
Ступінь відновлення, воднем, 800°С 30хв.	88,0	54,0
Температура початку розм'якшення, °С	940	910
Масова частка кондиційних окатишів 8-18мм, %	85,5	95,0

8.2 Дослідження процесу високотемпературного випалу залізородних окатишів і їх металургійних властивостей.

Для вивчення випалу офлюсованих залізородних окатишів відбиралися окатиші в крупності 15-16 мм. Дослідження проводилися в інтервалі температур 900-1300 °С.

Було встановлено, що процеси видалення вологи, дисоціації вапняку і окислення магнетиту протікають диференційовано. Звичайно два перших процеси випереджають окислення магнетиту і суттєво впливають на його хід, так як супроводжуються значними змінами фізичних характеристик окатишів, а саме, пористості і, в меншій мірі, хіміко-мінералогічного складу.

Для всіх типів окатишів окислення починається з максимальною швидкістю, і поступово зменшується по ходу процесу.

Окислення Fe_3O_4 до Fe_2O_3 з фазовими перетвореннями, в яких беруть участь мінерали з кристалічними ґратками, які мають порівняно низьку орієнтаційно-розмірну відповідність. Однак хімічні перенасищення при цьому перетворенні достатньо великі. Крім того, при виробництві магнетитового концентрату в результаті значних механічних впливів (подрібнення, істирання) отримуємо дисперсний продукт з великим числом дефектів на поверхні кристалів. Це суттєво полегшує початок і розвиток перетворення $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_2O_3$, обумовлюючи високі швидкості окислення вже на початкових етапах процесу.

Потрібно враховувати, що в магнетитовому концентраті, який піддають окислюванню вміщується від 5 до 10 % Fe_2O_3 , який розміщений в магнетитовій фазі і являється готовим зародком нової фази. При більш високих температурах випалу швидкості окислення зростають, але характер окислення залишається колишній. При 1200-1300 °С процес окислення на 80-90 % завершується вже за перші 5-6 хвилин випалу. Однак, при 1250-1300 °С процес окислення не йде до кінця, внаслідок або переходу частини магнетиту в розплав, або в результаті блокування часток магнетиту тонкими (2-5 мкм) оболонками розплаву, екрануючого зерна магнетиту від дії кисню повітря.

Звертає на себе увагу деяке збільшення швидкостей окислення офлюсованих окатишів при збільшенні основності. І це істотно, так як внаслідок процесів, що йдуть попереду окислення окатишів – дисоціації вапняку, пористість окатишів основністю 1,4-1,5 на 4-6 % вище, чим окатишів неофлюсованих.

Таблиця 8.11 – Пористість окатишів, з бентонітом, випалених при 1100⁰С (офлюсовані вапняком)

Показник	Офлюсовані окатиші основністю				
	неофлюс.	0,52	0,81	1,1	1,52
Пористість, %	29,1	30,2	31,0	32,4	33,8

Таблиця 8.12 – Пористість окатишів з вапном (2,0 %), випалених при 1100⁰С (офлюсовані вапняком)

Показник	Офлюсовані окатиші основністю				
	неофлюс.	0,50	0,75	1,05	1,45
Пористість, %	29,1	31,0	31,9	33,0	35,2

Таблиця 8.13 – Пористість окатишів з вапном (4,0 %), випалених при 1100⁰С (офлюсовані конверторним шлаком).

Показник	Офлюсовані окатиші основністю				
	неофлюс.	0,48	0,79	0,95	1,41
Пористість, %	29,1	30,6	30,9	30,3	29,0

При добавці в шихту в якості сполучного – вапна пористість окатишів у порівнянні з базовими (з бентонітом) трохи вище (\approx на 1,5-2,5 %), а з добавками конверторного шлаку нижче (на 1,5-3,0 %). Це істотно пояснює відповідні швидкості окислення при 1000⁰С.

При збільшенні основності окатишів, офлюсованих конверторними шлаками, швидкість окислення при 1000⁰С практично не змінюється, але значно нижче, ніж офлюсованих вапняком.

Відмічене зниження ступені окисленості при збільшенні температури випалу до 1200⁰С і в особливості до 1250-1300⁰С, особливо характерно для окатишів, офлюсованих конверторними шлаками. Для цих окатишів при температурі випалу вміст FeO в випалених окатишах може досягати 8-12,0 %.

Збільшення температури випалу до 1100-1300⁰С окатишів основністю 1,0 збільшує механічну міцність випалених окатишів від 50-70 до 250-300 кг/об. Подальше збільшення температури приводить до різкого оплавлення структури окатишів і падіння міцності.

Основні фізико-хімічні процеси, які викликають зміцнення окатишів при термообробці, вивчені достатньо добре. Більшість дослідників вказують на ведучу

роль рекристалізації рудних зерен в механізмі зміцнення гранул. Процесом окислення, утворення розплаву в цьому механізмі відводиться другорядна роль.

Як показують дослідження, низькотемпературна (900-1100 °С) термообробка збільшує міцність окатишів не дуже (до 70-80 кг/об). Це пояснюється насамперед збільшенням рухливості іонів на доторкуючихся поверхнях, в місцях контактів рудних часток, в момент перебудови їх кристалічних ґрат, що призводить до утворення слабовиражених, містків між окремими зернами окислів заліза. В умовах окислювального випалу окатишів рекристалізація магнетиту помітного розвитку не отримала через швидко протікаюче перетворення $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_2O_3$.

По досягненні 1200 °С процес утворення рудного зв'язку в результаті твердофазних процесів практично завершився. В результаті рекристалізації дрібні рудні зерна практично повністю замінюються збільшеними.

Температура появи і кількість розплаву залежать від складу і кількості нерудної частини шихти. Виявилося, що безпосередню участь рідкої зв'язки, яка утворюється на основі пустої породи шихти, в механізмі зміцнення окатишів невелика. Однак утворення розплаву помітно ініціює рекристалізацію окислів заліза, так як його поява ослаблює труднощі, пов'язані з транспортом іонів заліза від одних зерен окислів до других. Цей вплив суттєвий вже при невеликих кількостях розплаву (1200-1250 °С), що характерно для окатишів з тугоплавкою пустою породою. Велика кількість розплаву (велика основність, температура 1300 °С) призводить до сильного оплавлення структури окатишів: в їх структурі переважають залізисто-кальцієво-силікатні олівіни складного складу. Це робить структуру окатиша щільною, крихкою, руйнуючоюся вже при відносно низьких роздавлюючих навантаженнях ($\approx 100-130$ кг/об.).

При зміцненні офлюсованих окатишів процеси твердофазної взаємодії приводять до утворення легкоплавких феритів кальцію. Кількісні співвідношення низькотемпературних новоутворень залежать від гранулометричного складу концентрату і флюсів, кількості і ступеню офлюсування пустої породи і температури термообробки.

При температурах вище 1200 °С мінералоутворення офлюсованих окатишів протікає однаково. Ферити кальцію, що плавляться взаємодіють з кварцом і силікатами нерудної частини концентрату і добавкою, утворюючи шлакорозплави. В залежності від кількості і фізико-хімічних властивостей розплавів при охолодженні окатишів захолює у вигляді скла з різною ступіню кристалізації. Подібна структура характерна для високоосновних окатишів, офлюсованих вапняком, випалених при температурах випалу 1250-1300 °С. Як правило, з появою шлаку знижується ступінь окисленості випалених окатишів в результаті блокування і часткової асиміляції ним окислів заліза.

Таблиця 8.14 – Вплив температури випалу на механічну міцність залізородних окатишів основністю 1,0 з різними сполучними добавками.

Добавка	Міцність на роздавлення кг/об при витраті добавки, в %							
	0,5*	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Бентоніт	70/160	84/185	195/205	100/215	-	-	-	-
Вапно	73/142	75/180	84/213	92/231	105/241	110/247	106/254	124/250

* - чисельник температура випалу 1100°С, знаменник 1200°С.

Таблиця 8.15.

Добавка	Міцність на роздавлення кг/об при витраті добавки, в %							
	0,5*	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Бентоніт	201/190	229/208	248/215	270/230	-	-	-	-
Вапно	215/180	245/214	263/241	294/263	298/265	303/274	315/265	320/258

Таблиця 8.16 – Вплив речовинного складу і температури на міцність залізородних окатишів основністю 1,0.

Добавка	Міцність на роздавлення при температурі випалу °С, кг/об			
	1100°С	1200°С	1250°С	1300°С
Бентоніт 1,0%	84	185	229	272
Вапно 2,0%	92	215	294	263
Конверторний шлак + вапно	108	232	269	115

Потрібно відмітити, що при офлюсуванні окатишів конверторними шлаками суттєво знижується оптимальна температура випалу окатишів. Як вже відмічалось раніше, офлюсування окатишів основністю 1,0 конверторними шлаками, економить приблизно 40 тис. ккал на 1 т окатишів, так як при цьому суттєво знижується

теплопотреба шихти (виключаються тепловитрати на дисоціацію вапняку, знижуються на плавлення раніше утворених з'єднань складного складу).

Відмічене в цілому трохи менше значення механічної міцності окатишів, офлюсованих конверторними шлаками, у порівнянні з окатишами з типової шихти при оптимальних температурах випалу, обумовлене деяким оплавленням структури випалених окатишів, і в цілому не знижує їх металургійної цінності.

Досягаємі в промислових і лабораторних умовах показники холодної міцності випалених окатишів 300-900 кг/об і визначені технічними умовами >200 кг/об суттєво підвищені, так як навіть при опорі роздавлюванню трохи більше 100 кг/об окатиші відмінно зберігають свою цілісність під дією статичних і динамічних навантажень, яким вони піддаються в процесі багаточисленних перевантажень і транспортування. Більш того, як показують дослідження проведені в КТУ, залізорудні окатиші з оплавленою структурою, маючи знижену підновленість, в меншій мірі руйнуються при відновленні, чим офлюсовані окатиші з гарно розвиненою випалювальною структурою. До того ж при виробництві оплавлених окатишів трохи зростає вихід окатишів готового класу 8-25мм.

Таким чином, виконані дослідження з достатньою повнотою дозволяють рекомендувати вапно і конверторний шлак в якості сполучної і флюсоуючої добавки при огрудкуванні залізорудних концентратів.

Таблиця 8.17 – Металургійні властивості офлюсованих залізорудних окатишів основністю 1,0 з різними добавками.

Показники	З бентонітом і вапняком	З вапном і конверторними шлаками
Вміст в окатишах:		
Fe _{заг} , %	60,4	60,6
FeO, %	1,3	9,4
Пористість, %	32,0	30,4
Опір роздавлюванню, кг/об	230	173
Мінімальна міцність частково відновлених окатишів, кг/об	48	120
Оптимальна температура випалу, °C	1250	1250
Інтервал випалу, °C	1220-1280	1200-1260
Ступінь відновлення, воднем, 800°C 30хв.	88,0	54,0
Температура початку розм'якшення, °C	940	910
Масова частка кондиційних окатишів 8-18мм, %	85,5	95,0

8.3 Дослідження процесу сушки залізорудних окатишів

Сирі окатиші, отримані з шихти оптимальної вологості 8,5-9,5 % (в залежності від типу сполучних добавок), являються досить твердими компактними зразками, тому наступна термічна обробка їх, яка супроводжується видаленням вологи, повинна виконуватися обережно, при певній швидкості нагріву та температурі. Фізичні процеси, які протікають при сушці окатишів, вивчені достатньо добре. Відомо, що при видаленні вологи з зразка, грудка поступово проходить через три стани: пружньо - пластичний (максимальна W^*), пружньо – пластично-крихкий ($W_{сп}$) та пружньо - крихкий ($W=W_{св.в.}$). В залежності від швидкості нагріву окатиша відбувається поступовий або частковий перехід зразка з одного стану в інший, і як наслідок, тріщиноутворення на поверхні окатиша, високотемпературне вибухоподібне руйнування з утворенням пилу або збереження цілостності структури. Молекули пари намагаються розсунути частки та зруйнувати зразок.

При повільному видаленні вологи зі зразка відбувається поступове зближення часток дисперсного матеріалу до товщини плівки зв'язаної води, відбувається усадка зразка. При цьому повніше проявляється дія сил міжмолекулярної взаємодії і, як наслідок, збільшується міцність окатиша. Співвідношення сил, які руйнують або ущільнюють окатиші при сушці, визначаються темпераутрно-тепловим режимом процесу і особливостями структури окатиша. Структура ж грудки в багато чому залежить від умов огрудкування (режиму роботи огрудкувача, вологості, і т.д.) та типу сполучної добавки. При співставленні поведінки окатишів на основі бентонітових глин та «активованих» марганцевими шламами при сушінні виявилось, що тріщинуватість при сушці повніше розвивається в других зразках, однак ці окатиші швидше віддають вологу та переходять в пружньо-крихкий стан, мають меншу усадку.

Кінетичні криві сушки окатишів з різноманітною зв'язкою приведені на рис. 1, 2. Характерно, що при всіх температурах швидкість дегідратації окатишів з добавками бентоніту була найменшою

В ході досліджень крім міцностних характеристик вивчалася й термічна стійкість окатишів, яка визначала максимально можливу температуру сушки. Для визначення температури «шоку» 10 окатишів від кожної партії різко вводилися в лабораторну шахтну піч, розігріту до 400-700⁰С. При цьому фіксувалося число тріснувши або зовсім зруйнованих окатишів після термообробки.

Проведені дослідження показали, що температура сушки окатишів суттєво залежить від типу і витрати сполучної добавки та від вологості шихти (табл. 8.18)

Таблиця 8.18 – Вплив сполучної добавки та вологості на температуру «шоку» залізородних окатишів.

Тип добавки	Вологість, %	Температура «шоку», ⁰ С
Бентоніт 1,0%	9,6	600
Бентоніт 1,0%	9,2	600
Бентоніт 1,0%	8,4	600
Шлам І 2%	9,5	520
Шлам І 2,0%	9,0	540
Шлам І 2,0%	8,4	560
Шлам ІІ 2,0%	9,7	530
Шлам ІІ 2,0%	9,1	570
Шлам ІІ 2,0%	8,1	600
Шлам ІІ 2,0%	8,5	590

Найбільш термостійкими є окатиші з доданням одного і більше відсотків бентоніту (температура сушки 600⁰С). Механізм такого впливу бентоніту відомий і достатньо детально описаний в роботах. Збільшують температуру «шоку» сирих окатишів і марганцевородні шлами (особливо, шлам ІІ).

Температура «шоку» всіх типів окатишів перевищувала 600⁰С, що повинно забезпечити їх сушку на типових випалювальних машинах ОК-108. Якщо ж врахувати, що режим сушки окатишів на машинах ОК-306 значно м'якше, можна не боятися великого руйнування окатишів в цих зонах. Потрібно відмітити, що однакова термічна стійкість окатишів з доданням 2 % активованих марганцевородних шламів та 1 % бентонітових глин досягається лише у випадках, коли обидва типи зразків отримані з шихт оптимальної вологості, відповідно, 8,3-8,5 та 9,2-9,5 %.

Таким чином, результати проведених досліджень свідчать, що при використанні в якості сполучного марганцеворудних шламів можна отримати окатиші, які відповідають діючим технічним умовам.

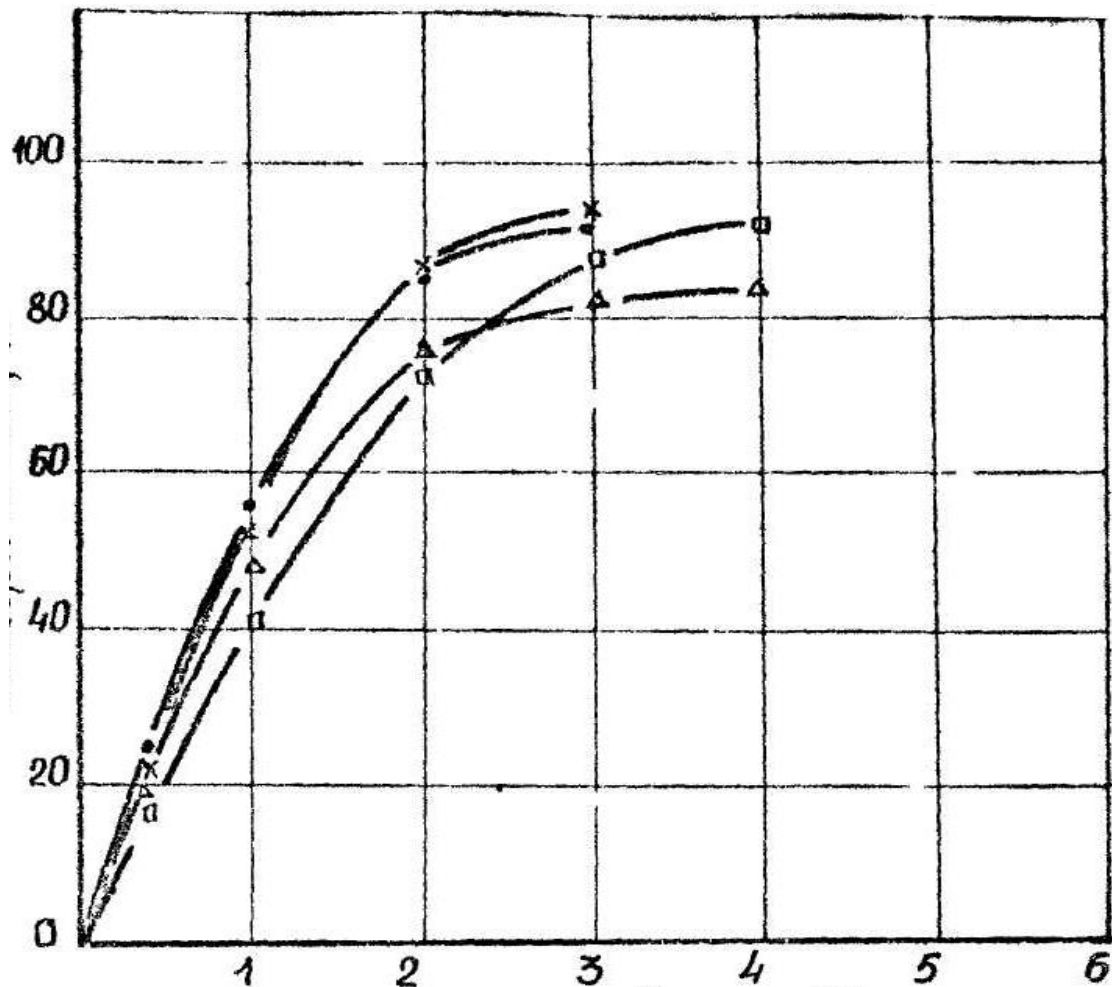


Рис.
8.2 –

Кінетика сушки окатишів при 500°C

● – шлам I – 2,0%; x – шлам II – 2,0%

Δ – бентоніт – 1,0% □ – шлам II – 2%+5%CaO

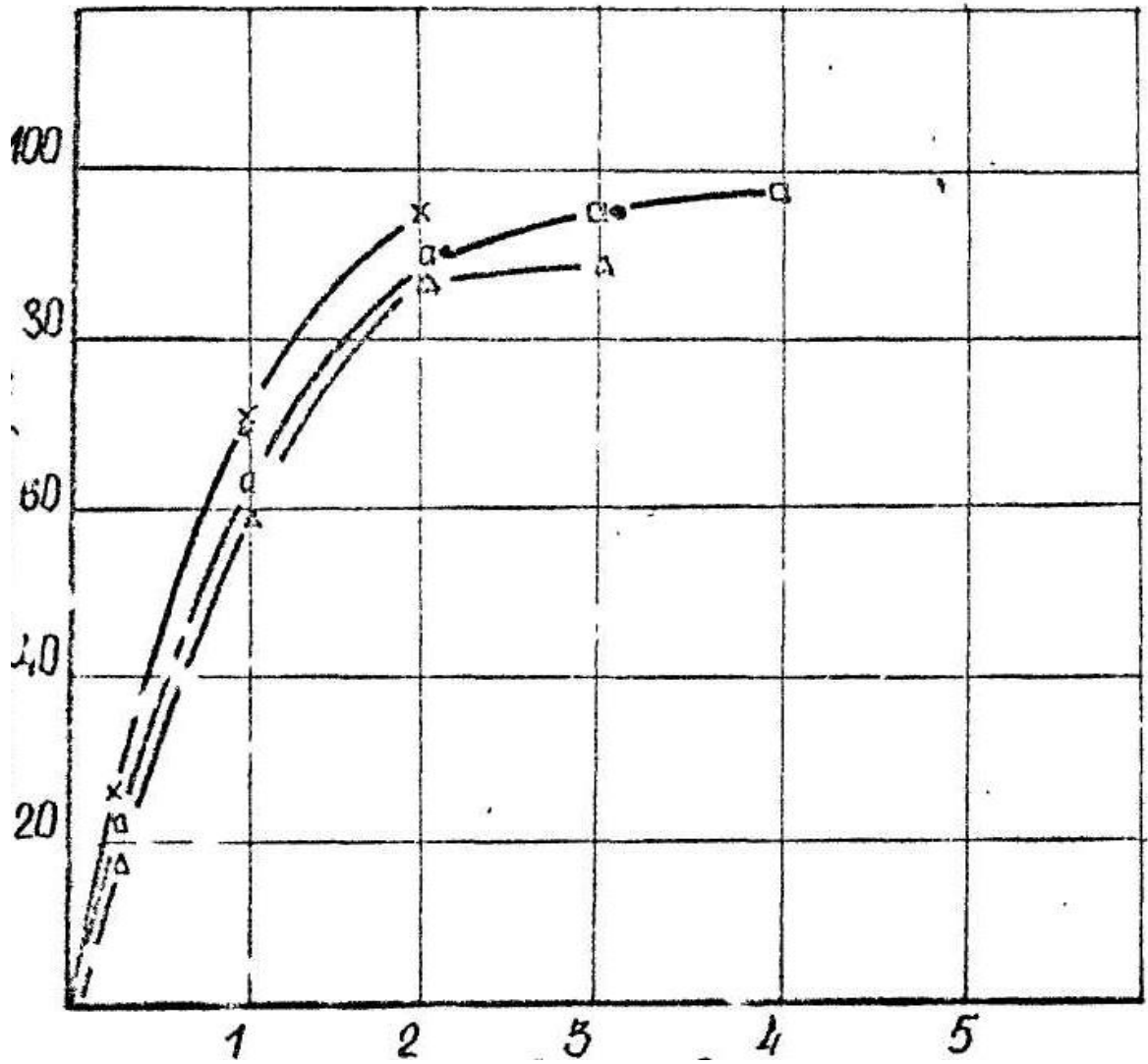


Рис. 8.3 – Кінетика сушки окатишів при 600°C

● – шлам I – 2,0%; x – шлам II – 2,0%

Δ – бентоніт – 1

8.4 Огрудкування шихти. Підготовка сирих окатишів.

Огрудкування - процес окускування зволжених тонко здрібнених матеріалів, заснований на здатності їх при перекочуванні утворювати гранули сферичної форми (окатиші) без застосування безпосереднього тиску. Для зміцнення сирі окатиші піддають випалу або іншим видам обробки (безвипалювальні методи зміцнення). Процес утворення окатишів заснований на взаємозалежній дії фізичних і фізико-хімічних сил. Найбільш важливими властивостями вихідних матеріалів при огрудкуванні є вологість, крупність здрібнювання й добавки сполучних.

При збагаченні руд, як правило, для звільнення рудних зерен від порожньої породи й шкідливих домішок потрібне тонке здрібнювання. Крупність концентрату на ряді освоєних родовищ бідних залізних руд змінюється від 95 % класу - 0,074 мм до 95 % класу 0,044 мм, що утрудняє окускування його методом агломерації й приводить до більших втрат металу при транспортуванні й сушінні концентрату.

Окатиші, одержувані з тонко здрібнених концентратів, завдяки високому ступеню окислювання й пористості, володіють гарною відновлювальністю, високою міцністю, однорідністю по крупності, хімічному складі й мають підвищений вміст заліза.

Обпалені окатиші можна складувати, перевантажувати й транспортувати без утворення помітних кількостей дріб'язку, що полегшує транспортування окомкованого сировини заводам-споживачам.

Крім того, що слід зазначити значно більш вигідний тепловий баланс випалу окатишів з витратою тепла приблизно вдвічі меншим у порівнянні із процесом агломерації, а також незначний вміст або відсутність у газах, що відходять, окису вуглецю - однієї з основних шкідливостей агломераційного виробництва.

При огрудкуванні тонкоздрібнених концентратів з кислотою порожньою породою в шихту іноді вводиться тонкоздрібнений вапняк або доломіт для офлюсування порожньої породи. Однак на закордонних фабриках у більшості випадків роблять нефлюсовані окатиші.

Використання бідних залізних руд у металургійному виробництві доцільно тільки після їхнього збагачення, що вимагає дуже тонкого здрібнювання з метою відділення порожньої породи.

Виробництво в більших кількостях тонкоздрібнених концентратів й їхня здатність при окочуванні відносно легко утворювати кулясті гранули з наступним зміцненням різними способами привели до виникнення й розвитку виробництва сировини для доменного й сталеплавильного переділу – окатишів.

Для успішного огрудкування шихти необхідна наявність у зволоженому матеріалі зародків окатишів.

У результаті багаторазових зсипань й ударів об нерухомий шар матеріалу або об гарнісаж, наявний на стінці огрудкувача, зародки ущільнюються. При цьому більш дрібні частки розташовуються між більшими й надлишкова волога видавлюється на поверхню окатиша через його ущільнення, у результаті чого стає можливим налипання на неї неогрудкованих часток. У міру зближення зерен товщина плівки води зменшується й міцність їхнього зчеплення збільшується. При даному режимі роботи огрудкувача є певна мінімальна товщина водних плівок усередині окатиша, що відповідає величині динамічних навантажень. Як тільки ця межа досягається, обкотиш перестає збільшуватися в розмірі й міцність його досягає максимального значення.

Величина динамічних навантажень у чашових огрудкувачах більше, ніж у барабанних, тому що при меншій довжині шляху окочування сила ударів окатишів в останньому випадку слабкіше. Це дозволяє в барабанних огрудкувачах окочувати шихти з більшою початковою вологістю, при якій процес огрудкування в чашових огрудкувачах неможливий.

Для порівняння режимів роботи обертових барабанів різних діаметрів запропонований критерій:

$$B = \frac{n^2 - R}{900}$$

де n - частота обертання окомкователя, про/хв;

R - радіус барабана, м;

900 - коефіцієнт перерахування окружної швидкості огрудкувачів (м/с) на частоту його обертання (об/хв).

Цей критерій враховує комплекс впливу всіх сил на тіло в обертовому барабані і його фізичному вмісті полягає у визначенні максимального кута підйому тіла в першій чверті або кута відриву його від стінки в другій чверті барабана.

Характер руху матеріалу в обертовому барабані залежить від ступеня його заповнення, швидкості обертання й стану внутрішньої поверхні. Установлено, що можливо чотири режими руху матеріалу: човниковий, перекату, водоспадний і циклічний.

При малому ступені заповнення й у випадку невеликого коефіцієнта тертя між стінкою барабана й шихтою сипучий матеріал поводитья як одне суцільне тіло, що рухається в човниковому режимі. Такий режим найменш сприятливий для роботи обертових барабанів у якості грохотів, змішувачів й огрудкувачів.

Якщо відхилення центра ваги завантаження від вертикальної осі барабана досягає величини, більшої природного кута укусу, то матеріал починає зсипатися вниз у режимі перекату. При цьому центр ваги завантаження залишається на одному місці, а довкола нього обертається завантажений матеріал. Об'єм матеріалу приблизно на 10% більше об'єму завантаження в нерухомому стані. Основна маса сипучого матеріалу рухається навколо нерухомої осі по кругових траєкторіях зі швидкістю, рівною кутовій швидкості обертання барабана. Частки суміжних елементарних шарів порівняно повільно змішуються. У частині, що зсипається, матеріал рухається не по площині, а по ввігнутій поверхні. При фотографуванні в прозорому барабані встановлений пульсуючий характер зсипання матеріалу й зростання частоти пульсацій зі збільшенням швидкості обертання барабана.

Дослідження показали, що товщина шару, який зсипається в режимі перекату практично не залежить від швидкості обертання барабана й змінюється в основному залежно від ступеня заповнення барабана.

На підставі експериментальних даних рекомендується формула для

визначення висоти матеріалу, що зсипається.

$$h_c = (6,36 - 10^{-4} \cdot \lambda) - 5,3 \cdot 10^{-3} \cdot D$$

h_c – висота шару, що зсипається, м;

λ - центральний кут, що відповідає сегменту, зайнятому матеріалом у барабані в спокійному стані, рад;

D - діаметр барабана, м.

Між центральним кутом λ і ступенем заповнення барабана ρ існує залежність:

$$\rho = \left(\frac{\lambda}{360} - \frac{\sin \lambda}{2\pi} \right)$$

Огрудкування шихти найбільш доцільно робити в режимі перекату, де відсутні більші ударні навантаження, характерні для водоспадного й циклічного режимів. Робота барабанів у водоспадному режимі рекомендується при змішуванні шихти.

Циклічний режим непридатний ні для огрудкування, ні для змішування шихти, тому що градієнт швидкості окремих елементарних обертових шарів при цьому невеликий.

У барабанних огрудкувачах матеріал по досягненні верхнього положення зсипається вниз по скаті, утвореному матеріалом, що піднімається, і похилому до обрію в площині обертання під певним кутом. При безперервному режимі роботи площина зсипання спрямована також й убік розвантажувального кінця барабана, у результаті чого при зсипанні вниз кожен елементарний об'єм матеріалу одночасно переміщається уздовж осі барабана. Цей механізм характерний для будь-якого поперечного перерізу барабана від точки падіння матеріалу, що завантажується, в огрудкувач до вивантаження окатишів.

Розрахунки й випробування показали, що поверхня матеріалу, що пересипається, є опуклою, тобто в міру видалення від розвантажувального кінця барабана збільшення товщини шару матеріалу стає усе менше й довжина шляху огрудкування, що доводиться на одиницю довжини барабана, тим більше, ніж далі перебуває матеріал від розвантажувального кінця барабана. Тому час перебування

й довжина шляху огрудкування повинні розраховуватися східчасто для різних ділянок довжини барабана, що значно ускладнює обчислення.

При режимі перекату, найбільш підходящого для окочування, товщина шару матеріалу зменшується в міру просування його до розвантажувального кінця. Кут нахилу поверхні матеріалу до обрїю складається з кута нахилу барабана й кута між поверхнею матеріалу й утворюючого барабана. Просування матеріалу від завантажувального торця до розвантажувального здійснюється в результаті руху його як єдиного цілого по похилій площині й внаслідок обертання навколо деякої осі. Величина зсуву (крок) матеріалу без обліку його обертання навколо цієї осі за один оборот барабана дорівнює $2\pi \cdot R \cdot \text{tg}\alpha$

При обертанні матеріалу на висхідній гілці, частки рухаються в площині, перпендикулярного утворюючого барабана, і в спадній галузі у вертикальній площині.

Тому середній крок часток до вивантаження за один оборот матеріалу:

$$S = R \sin \lambda / 2 \text{tg} \alpha$$

де R - радіус барабана, м;

λ - центральний кут, що відповідає сегменту, зайнятому матеріалом, градус;

α - кут нахилу поверхні матеріалу до горизонталі, градус.

Умовне передаточне число пари барабан матеріал можна виразити через ступінь заповнення:

$$i = \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

Сумарний крок матеріалу за один оборот барабана:

$$S = 2\pi R \text{tg} \alpha + \frac{1}{\sqrt{\rho}} \sin \frac{\lambda}{2} \text{tg} \alpha = 2\pi R \text{tg} \alpha \left(1 + \frac{\sin \frac{\lambda}{2}}{2\pi \sqrt{\rho}} \right)$$

Позначимо вираження:

$$1 + \frac{\sin \frac{\lambda}{2}}{2\pi \sqrt{\rho}}$$

через N . Час перебування матеріалу в барабані довжиною l й обертового зі швидкістю n :

$$\tau_{np} = \frac{l}{\omega \operatorname{tg} \alpha N}$$

де l - довжина барабана, м;

ω - окружна швидкість внутрішньої поверхні барабана, м/хв.

Довжина шляху часток у барабані (довжина шляху огрудкування):

$$\alpha = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha N}$$

Час перебування, розрахований по наведеній формулі, більше часу перебування, певного виміром об'єму матеріалу в барабані його об'ємної продуктивності, внаслідок розпушення засипання при окочуванні. Тому:

$$\frac{1}{\omega \operatorname{tg} \alpha N} = 1.1 \frac{V}{v}$$

де V – об'єм матеріалу в барабані, м³;

v – об'ємна продуктивність, м³/хв.

Функція $M = Nr$ близька до прямої, тому можна написати:

$$\rho = \frac{0.211}{\omega R^2 \operatorname{tg} \alpha}$$

Збільшення ступеня заповнення до 0,15 у результаті зменшення діаметра барабана при постійній продуктивності або внаслідок підвищення продуктивності барабана при незмінному його діаметрі сприяє швидкому зростанню довжини шляху окочування й збільшенню міцності окатишів. Однак рівномірність гранулометричного складу окатишів при цьому погіршується. При збільшенні ступеня заповнення понад 0,15 довжина огрудкування збільшується незначно. Оптимальний ступінь заповнення барабанів – огрудкувачів 0,03-0,05 і максимально припустимий при виробництві окатишів 0,1-0,15.

За дослідним даними довжина шляху окочування зі збільшенням продуктивності барабана повільно зменшується. Це порозумівається впливом ступеня заповнення барабана й кута нахилу поверхні матеріалу на довжину шляху

огрудкування в протилежних напрямках.

Повний час і сумарна довжина шляху огрудкування в барабані - огрудкувачі розраховується з урахуванням кількості циркуляційного навантаження.

На окрему частку, поміщену в чашовий огрудкувач, діють в основному ті ж сили, що й в обертовому барабані. До моменту відриву частки від борта чаші всі сили врівноважуються. Частка відривається від борта й скочується по поверхні днища в той момент, коли реакція борта стає рівна нулю, тобто проекція сили ваги частки врівноважується сумою відцентрової сили й проекція сили тертя на напрямок радіуса чаші.

Траєкторію руху окатишів у чашевому огрудкувачі можна представити, як неправильну спіраль, у якій витки віддаляються від днища й довжина витків поступово зменшується. Вершина цієї спіралі, що звужується, перебувають у борта в четвертому або першому квадранті при обертанні чаші відповідно по годинній стрілці або проти неї. Матеріал, який обертається у чаші обмежений поверхнями циліндричного борта й плоского (східчастого або сферичного) днища й за формою схожий на циліндричну «підкову», поверхня якої сікуча та ввігнута у бік днища відповідно до зміни коефіцієнта тертя в матеріалі від шихти до готових окатишів. У висхідній гілці траєкторії матеріал притиснутий до борта й днища й тому рухається по окружності з такою ж кутовою швидкістю, з якою обертається огрудкувач.

Аналіз деяких залежностей, отриманих С.В.Базилевичем, показує, що окатиші різних розмірів, що володіють різною величиною коефіцієнта тертя, за інших рівних умов мають певну величину кута відриву β . Чим крупніше окатиші, тим більше кут їхнього відриву від борта чаші, тим менше вони піднімаються нагору, а спадна гілка траєкторії наближається до борта.

Різне положення на днищі спадних потоків гранул різної крупності викликає певне розташування їх по висоті шару. Першими до борта й на днище надходять самі дрібні частки комкуємого матеріалу, на них лягають більші частки й на самому верху розташовуються гранули максимального розміру. Далі цикл повторюється: на певній висоті, що відповідає критичному значенню кута відриву

окатишів від борта, зкочуються самі великі, потім вище середні й остаточно найбільш дрібні гранули. Траєкторія шляху окатиша в міру збільшення його розмірів представляє своєрідну неправильну спіраль, у якій кожен наступний виток здійснюється в площині, що відходить від днища огрудкувача, а спадна гілка витка наближається до борта.

Очевидно, що кут нахилу чаші не може бути значно менше кута природного укусу матеріалу, тому що при цьому відбувається інтенсивне налипання шихти на днище й утруднена підтримка необхідної товщини гарнісажу. Якщо кут нахилу значно більше кута природного укусу матеріалу, гарнісаж на днищі тримається погано й потрібно його футерувати. Тому оптимальний кут нахилу чаші приблизно дорівнює куту природного укусу матеріалу.

Залежність об'єму матеріалу в чашовому огрудкувачів при заданому куті його нахилу від висоти борта прямо пропорційна, однак висота борта не може перевищувати максимального значення, при якому площа сегмента, зайнятого матеріалом, буде більше половини площі днища, так під час обертання в дійсній гілці траєкторії буде погіршуватися класифікація матеріалу по крупності.

Кількість матеріалу, що висипається з огрудкувача при його зупинці, відповідно до вимірів дорівнює 10-12 % його ваги в нерухомому стані.

Очевидно, що ефективність роботи чашового огрудкувача буде тим вище, чим краще використовується його поверхня огрудкування, тобто коли неогрудковані дрібні фракції відриваються від борта у верхній точці вертикального діаметра.

Тому що робочою фазою процесу огрудкування є період скочування матеріалу по поверхні днища вниз, то чим більше раз в одиницю часу він проходить через цю фазу, тим швидше відбувається ріст окатишів, тобто продуктивність огрудкувача прямо пропорційна швидкості його обертання. При цьому час огрудкування (час росту від зародків до заданого розміру) становить половину від часу перебування матеріалу в огрудкувачів, що залежить від об'єму матеріалу в огрудкувачів і його продуктивності. Відповідно до умови

нерозривності потоку матеріалу середня швидкість його дорівнює окружній швидкості огрудкувача й довжині шляху, який проходять окатиші за час перебування в чаші.

Зі збільшенням швидкості обертання чаші зростає відцентрова сила, що притискає окатиші, що формуються, до борта й утруднює рух їх униз. Тому для збереження тієї ж площі окочування необхідно збільшувати й кут нахилу чаші до обрію. Це приводить до збільшення швидкості скочування гранул униз і сили удару їх об борт. Існує граничне значення кута нахилу, перевищення якого перешкоджає утворенню окатишів більше певного розміру з даного огрудковуваного матеріалу. З іншого боку, максимальне значення кута нахилу чаші залежить від розмірів огрудкувача, зменшуючись зі збільшенням його діаметра.

Очевидно, що як чашові, так і барабанні огрудкувачів, що забезпечують однакову довжину шляху огрудкування, будуть мати різну продуктивність залежно від комкуємості шихти.

Тому довжина шляху огрудкування може бути використана для характеристики конструкції огрудкувача по тим параметрам, які входять у формулу, що визначає довжину шляхи. У чашових огрудкувачах класифікація достатньо розвинена й просівання сирих окатишів не потрібно. Однак, як ми вже відзначали відносно барабанів-огрудкувачів, умови класифікації окатишів по крупності погіршуються зі збільшенням товщини шару, що зсипається. Тому кількість матеріалу в огрудкувачів, як і ступінь його заповнення, обмежено значенням постійного питомого навантаження на поверхню огрудкування, вираженої в $\text{м}^3/\text{м}^2$ або $\text{т}/\text{м}^2$.

Досвід виробництва окатишів показує, що процес огрудкування супроводжується класифікацією окатишів по крупності. У промислових чашових і барабанних огрудкувачах питома постійне навантаження на поверхню огрудкування звичайно становить 0,02-0,06 $\text{м}^3/\text{м}^2$, а його значення 0,1 $\text{м}^3/\text{м}^2$ може розглядатися як граничне.

Відношення продуктивності огрудкувача до довжини шляху огрудкування

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.08.СЧ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			20

шихти в ньому, або зворотна цьому відношенню величина, можуть застосовуватися для характеристики комкуємості шихти. Це відношення являє собою питому продуктивність 1м шляху огрудкування або скільки метрів цього шляху потрібно для виробництва 1т окатишів за 1 годину. Огрудкувач своїми конструктивними параметрами довжиною й висотою борта, діаметром, кутом нахилу й швидкістю обертання забезпечує певну довжину шляху огрудкування при задовільних умовах класифікації окатишів (питоме постійне навантаження по поверхні огрудкування не більше $0,1\text{м}^3/\text{м}^2$). При незмінному шляху огрудкування очевидно, продуктивність огрудкувача буде тим більше, чим вище комкуємість шихти.

Матеріали, що мають питому поверхню менше $1100\text{см}^2/\text{г}$ і відповідну їй комкуємість менше $0,18\text{т}/(\text{н}\cdot\text{м})$, непридатні для виготовлення окатишів. Здрібнювання шихти до питомої поверхні більше $2000\text{ см}^2/\text{г}$ незначно збільшує її комкуємість. Область значень питомих поверхонь шихт $1000\text{-}1300\text{см}^2/\text{г}$ і відповідна їй область значень їх комкуємості $0,15\text{-}0,25\text{т}/(\text{н}\cdot\text{м})$ є перехідними від агломераційних шихт до шихт, призначених для виробництва окатишів. Із шихт комкуємістю менше $0,18\text{т}/(\text{н}\cdot\text{м})$ виходять пухкі неміцні окатиші діаметром 5-8мм. Із шихт комкуємістю більше $0,35\text{т}/(\text{н}\cdot\text{м})$ утворюються міцні неправильної форми гранули, що мають нерівномірний гранулометричний склад. Сушіння таких гранул утруднені.

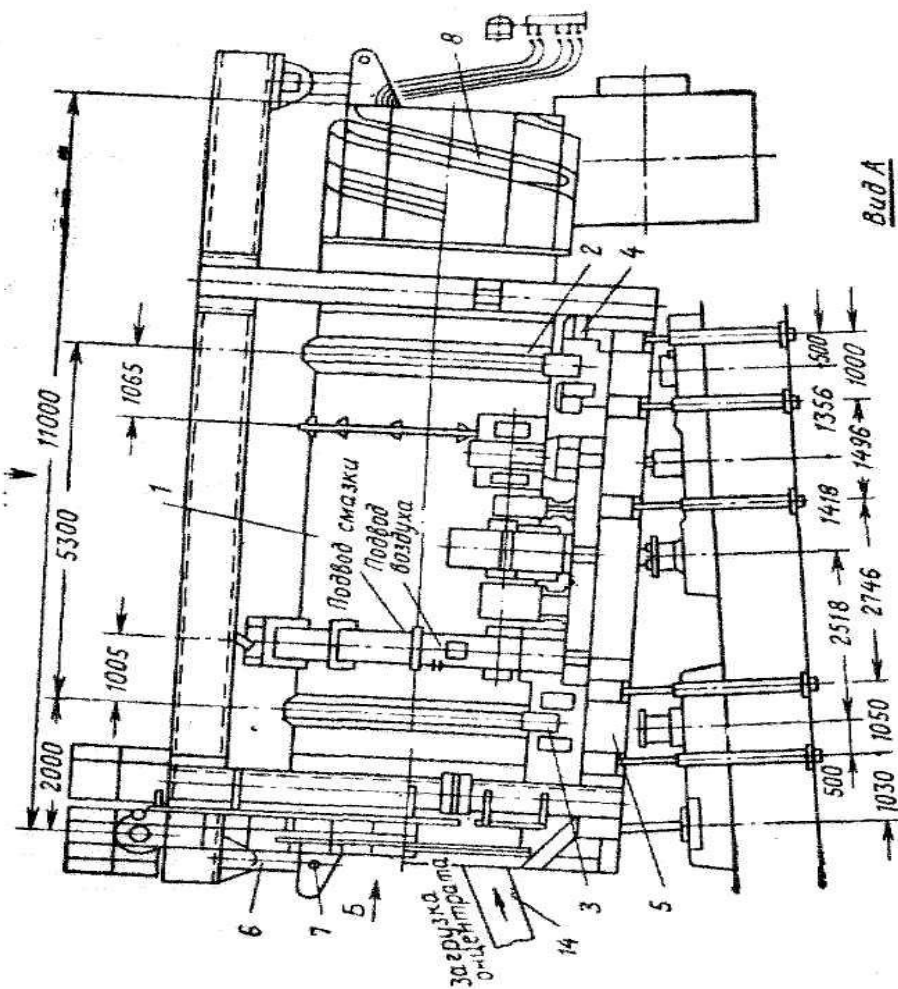
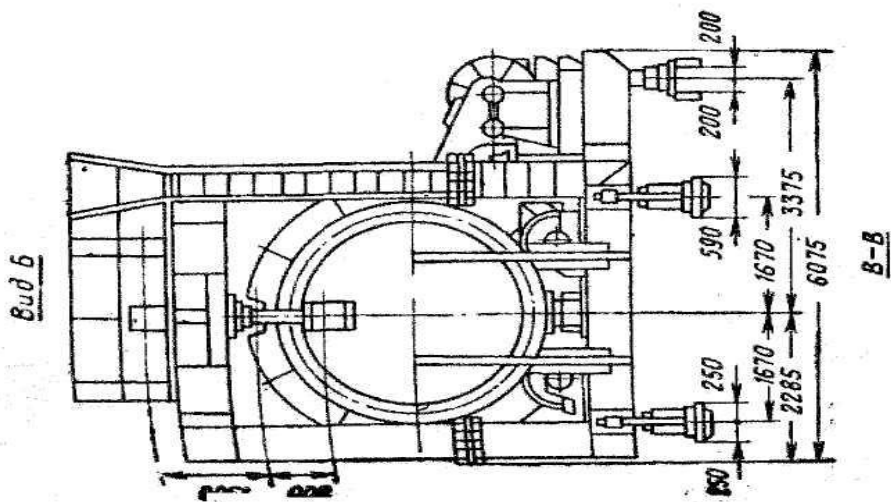
Подальшим розвитком теорії виробництва сирих окатишів є вивчення особливостей передачі енергії матеріалу, що огрудковується в різних огрудкувачах, що дозволило розробити нові типи огрудкувачів із застосуванням вібрації для інтенсифікації енергообміну й зниження динамічних навантажень на окатиші.

Нарешті, стабільність процесу огрудкування залежить від стану внутрішньої поверхні огрудкувача, що повинна бути досить жорсткою, щоб запобігти прослизанню шихти, і в той же час досить гладкою, щоб забезпечити рівномірне, організоване кочення окатишів і виключити обвалення ущільнених шматків шихти. Необхідні властивості робочої поверхні огрудкувача, що задовольняють цим вимогам, досягаються шляхом створення гарнісажу товщиною 15-20 мм із шихти,

товщина шару якої забезпечується за допомогою спеціальних ножів.

Технологічна схема огрудкування транспортування сирих окатишів до випалювального агрегату включає шихтові бункери з дозаторами, огрудкувачами, грохоти для відсівання дріб'язку й великих класів, укладальники окатишів і конвеєра. Сирі окатиші повинні витримувати 4-6 навантажень при транспортуванні їх до випалювального агрегату, тиск вищележачих шарів під час випалу й швидке сушіння. У зв'язку із цим сирі окатиші повинні мати необхідну міцність на стиск і на удар, пластичність, однорідність по крупності й стійкість проти швидкого нагрівання.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.08.СЧ	анк
Анк	№ докум	підпис	дат			22



Анк	№ докум	підпис	дат
-----	---------	--------	-----

КНУ.РБ.136.26.112с-09.08.СЧ

8.5 Відпрацювання технології підготовки сталеплавильних шлаків для використання у виробництві окатишів.

Стан сировинної бази гірничо-металургійного комплексу України погіршився. Зокрема, при виробництві підготовленої залізорудної сировини (окатишів) відчувається гостра потреба у вітчизняних бентонітах. Тому рік у рік виробляються ряд робіт, направлених на пошук їх заміників із числа відходів гірничо-металургійних виробництв. Одним з таких заміників можуть стати шлаки сталеплавильного виробництва. У зв'язку із цим вивчалися деякі фізико-математичні властивості шлаків, вчасності їх опір руйнуючим впливам.

Міцність сталеплавильних шлаків змінюється в широкому діапазоні й залежить від їхнього хімічного складу - основності й абсолютного вмісту вапна, кремнезему, заліза, оксидів заліза й інших складових, а також від фізичного стану - розміру шматків, їхньої міцності, тривалості зберігання, температури, вологості й ін.

Головними складовими шлаків є вапно CaO (густина 2800 кг/м^3) і кремнезем SiO_2 (щільність 2650 кг/м^3), сумарний вміст яких становить більше 65 %. Однак щільність шлаків, в основному, залежить від вмісту заліза як у вигляді оксидів (щільність 5000 кг/м^3), а особливо в металевому виді (щільність 7650 кг/м^3). Тому середня щільність шлаку перебуває у діапазоні $2900\text{-}3700 \text{ кг/м}^3$. Об'ємна насипна маса шлаків залежить від розмірів шматків, знижуючись при їхньому збільшенні, що порозумівається підвищенням їхньої пористості.

Дробимість, яка визначається в циліндрі з падаючим вантажем, фракції 5-40мм складає 9-17,0 % по виходу класу -0,5мм. Дробимість (вихід класу +5мм) і стирання (вихід класу -0,5мм), певні в стандартному поличному барабані Рубіна, використовуюваному для визначення механічної міцності підготовленої залізорудної сировини - агломерату й окатишів, відповідно складає 63-65,5 % й 12-13,6 %. Як бачимо по дробимості й стиранності сталеплавильні шлаки подібні офлюсованому агломерату, хоча їх міцність в 2,2-2,7 рази менше. Однак пористість шлаків має принципову відмінність від пористості підготовленої сировини. Вона полягає в

тому, що пористість, в основному, закрита й газонаповнена. Якщо в агломераті й окатишах обсяг закритих пір становить, відповідно 0,8-12 % й 3-17 % від загального об'єм закритих пор (22-33 %) абс, то в шлаках об'єм закритих пір складає 21,5-56,2, що підтверджується величиною водопоглинання і її залежності від розміру шматків (часток): більші куски мають більшу величину водопоглинання й швидше руйнуються при циклічному заморожуванні.

У порівнянні із щільними кристалічними вапняками сталеплавильні шлаки мають кращу дробимість і стиранисть при однакових умовах випробувань у стандартному барабані, однак гіршу, чим кускового бентоніту. Це підтверджують випробування в однотонному шаровому млині на дослідно-промисловій фабриці інституту Механобрчормет.

Млин призначений для сухого помолу вапняку й бентоніту з їхнім підсушуванням, при необхідності, димовими газами.

Результати здрібнювання представлені в таблицях.

Таблиця 8.19 – Результати випробувань сухого подрібнення сталеплавильних шлаків в млині

№ п/п	Розмір отворів	Сумарний залишок	Питома поверхня м ² /кг	Питома продуктивність	Витрата електроенергії кВт ч/т	
					Подрібнення	пневмотранспорт
1.	5,0	5,0	0,28-0,35	815/845	0,31/0,0195	0,016/0,014
2.	3,0	5,0	0,58-0,61	484/536	0,059/0,048	0,021/0,019
3.	2,0	5,0	2,2-2,5	28,2/32,3	0,162/0,14	0,11/0,095
4.	0,1	7,0	350-370	0,83/0,85	20,1/18,6	13,4/12,4
5.	0,074	10,0	380-420	0,79/0,82	21,7/20,1	14,1/13,2
6.	0,050	10,0	500-540	0,54/0,57	31,5/29,7	20,3/18,3
7.	0,040	10,0	600-630	0,45/0,46	40,6/37,7	23,6/21,1

Чисельник – при подрібненні вапняку;

Знаменник – при подрібненні сталеплавильних шлаків.

Таблиця 8.20 – Деякі фізико-хімічні властивості сталеплавильних шлаків

Властивості матеріалу	Сталеплавильні			
	шлами		шлаки	
	Вологість, %			
	15,0	18,5	3,3	0,5
	Крупність, мм			
	0-1,0		0-1,0	0-3,0
Коефіцієнт динамічного ущільнення	1,41		1,55	1,33
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,6		0,79	0,72
Коефіцієнт зовнішнього тертя по сталі	0,63		0,58	0,79
по полістиролу	0,57		0,56	0,62
по карбїду кремнію	0,89		0,80	1,03
Висота вільно падаючої стінки, м	0,85		1,0	0,3

Таблиця 8.21 – Деякі фізико-хімічні властивості шихтових матеріалів

№ п/п	Найменування параметру	Од. виміру	Матеріали				
			Концентрат	Доломітизований вапняк	Бентоніт	Антрацитовий штиб	Сталеплавильний шлак
1.	Масова частка вологи	%	10,5	4,0	30,0	4,0	1,0
2.	Крупність а) початкова	мм	98	80,0	40,0	6,0	100-0
	б) після дроблення		-	10	10	-	5
	в) після подрібнення		-	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
3.	Кут природного відкосу	град	46	40	40	42	38
	б) після дроблення		-	35	35	-	33
	в) після подрібнення		-	25	25	-	22
4.	Питома поверхня	м ² /кг	170-190	350	400-500	350	350-400

Переважними мінералами основних сталеплавильних шлаків є двошкельцеві і трьохшкельцеві силікати. Крім силікатів, у шлаку утворюються глиноземні шпінелі й шпінелі складного складу, а також феритні й оксидні фази.

Для шлаків кожної основності характерна перевага означальних мінералогічних утворень. При основності до 3,0 переважає двошкельцевий силікат, при основності більше 3,0 – трьохшкельцевий силікат. У кускових мартенівські й основних конвертерних шлаках є вільне вапно, що при збільшенні шлаків може викликати його руйнування. У цьому випадку розпад, що у природних умовах може тривати дуже довго, проходить за декілька діб.

Залежно від в'язких властивостей сталеплавильні шлаки розподіляють на три основні групи: високоактивні, активні й малоактивні.

Коливання хімічного складу й основності шлаків супроводжуються змінами його мінералогічного складу й фізичних властивостей. У зв'язку із цим важливо робити усереднення шлаків. Тому таке завдання варто ставити постачальникові або споживачеві самому здійснювати цю операцію.

Для визначення витрат на підготовку сталеплавильних шлаків складені технологічна схема й схема ланцюга апаратів відповідної виробничої ділянки.

Зі шлакового відвалу екскаватором сталеплавильні шлаки завантажуються в автосамоскиди й складуються на усереднювальному складі відповідно до рекомендацій по їхньому оптимальному об'ємі, що забезпечує їх належну для огрудкування кількість і припустиме коливання якості.

З усереднювального складу шлаки відвантажуються екскаватором на стаціонарний грохот, де відсіюються фракції крупніше 300 мм. Останні руйнуються падаючим вантажем на решітці із щільною 300 мм. Фракції шлаків мінус 300 мм підступають у млин, куди засмоктуються димові гази з топлення й холодне повітря-розріджувач димових газів. Здрібнені до крупності 3-0 мм (95 %) шлаки несуться газами із млина в триступінчасту схему газоочистки, що складається із циклонів великого діаметра, батарейних циклонів й електрофільтрів. Топлення, млин і газоочистні апарати працюють під розрідженням, що створюється димососом і димарем. Після нагромадження а млину слабоподрібнювальних металевих корольків вони вивантажуються в приймальник, а звідти електромагнітним краном відвантажуються металургам.

Уловлений газоочисткою здрібнений продукт відвантажується або на аглофабрику як флюсуюча добавка, або на фабрику огрудкування, на якій доподріюється до необхідної крупності - питомої поверхні 350-400 м²/кг на наявному типовому встаткуванні для підготовки вапняку й бетону.

Для сталеплавильних шлаків поточного виробництва можна запропонувати більш просту схему попередньої підготовки з використанням рухливих дробильно-сортувальних установок ДСУ-200.

Охолоджений водою гарячий шлак доподрібнюється в шлакових накопичувальних канавах до крупності 100-0 мм падаючим вантажем. Потім грейфером вантажиться в прийомну лійку (1) і пластинчастим живильником (2) подається на двухситний грохот (3). Верхнє сито грохоту має осередок розміром 100 мм. нижнє-5 мм. Тому вихідний матеріал на гуркоті ділиться на 3 класи (+ 100 мм, 100-5 мм й 5-0 мм). Останній клас є готовим і відвантажується на фабрику огрудкування, де допрацьовується до раніше заданої крупності за типовою схемою на наявному встаткуванні Клас 100-5 мм доподрібнюється в дробарці (4) до крупності 5-0 мм із контрольним просіванням на грохоті (3). Клас + 100 мм повертається в шлакову канаву.

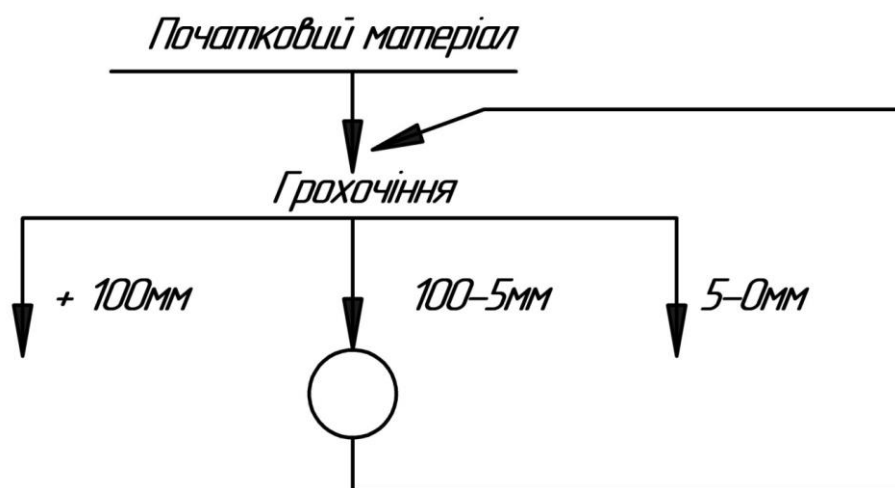


Рис. 8.4 – Технологічна схема процесу.

Таблиця 8.22 – Затрати на підготовку сталеплавильних шлаків

Операції	Огрудкування	
	експлуатаційні	капітальні
Розвантаження	0,32	3,18
Складування	2,53	8,34
Подрібнення	4,75	8,70
Бункерування і дозування	0,22	1,98
Змішування	0,215	1,69
Всього:	8,116	24,15

У сьогоднішній ВАР «Арселор Міттал Кривий Ріг» має у своєму розпорядженні мережу виробничих ділянок, які дозволяють перероблювати сталеплавильні шлаки, що дозволяють переробляти як шлаки поточного виробництва, так і шлаки відвалів

У першому випадку гарячі шлаки автосамоскидами БелАЗ-40 вивозяться на задалегідь підготовлені на укосах свіжого відвала майданчики, плануються бульдозером Т-130 шаром 0,5 м, після чого з нього драглайном з електромагнітом витягається скрапова частина.

Частково обеззалізний продукт бульдозером скидується через укіс відвала й майданчик приймає нові порції матеріалу. У другому випадку на старому відвалі планується майданчик, з поверхні якого за вищеприписаною схемою вилучається скрап, а частково обеззалізний матеріал у крупності 300-0 мм надходить на шлакоперероблюючий комплекс «Орбіта», де сортується на необхідні класи крупності.

У процесі сортування довилучаються шлаки, а продукти сортування направляються в будівельні організації, будівельні цехи комбінату, аглофабрику. Продуктивність комплексу 400 т/година при виході класу 5-0 мм до 10 т/год.

Виробник має можливість поставляти щодоби до 150-200 т/доба обеззалізнених сталеплавильних шлаків, у крупності 5-0 мм доробка ж їх до крупності з питомою поверхнею 350-400 м²/кг повинна здійснюватися безпосередньо на фабриці огрудкування. Відстань транспортування шлаків становить 35-40 мм.

Питомі показники (на 1т суміші вап. і звяз. домішки)

Базовий варіант (бентоніт)	Запропонований варіант (шлак)
Q=40 т/год - млин	Q=45т/год - млин
Еуд=50 кВтхч/т	Еуд=44,5 кВтхч/т
q пр. газа на сушку =7,5м ³ /т год	q пр. газа на сушку =6,5м ³ /т год

Самим складним процесом, що вимагає значних енергетичних витрат, є грубе дроблення й здрібнювання. Останнє вимагає витрати електроенергії 20-30 кВт год/т при тонині помолу 100 мкм, а зношування куль становить близько 1 кг/т.

У запропонованих технологіях пропонується знизити витрату електроенергії й зменшити витрату тіл, що мелють, за рахунок зниження вихідної крупності шлаків у споживача до 5-0 мм. Таким чином, для успішного використання сталеплавильних шлаків при виробництві окатишів необхідно здійснювати їхнє усереднення у постачальника й не допускати відвантаження шлаків крупніше 5 мм.

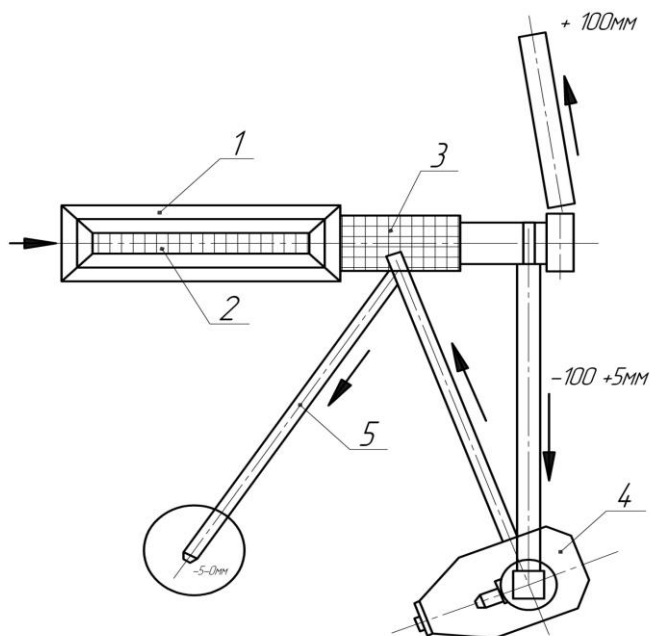


Рис. 8.5 Схема ланцюга апаратів.

8.6 Механізм зміцнення сирих окатишів

Барабанні змішувачі забезпечують ефективність змішування до 80-85 % по вуглецю, волозі та вмісту оксидів кальцію та кремнезему, що цілком достатньо при двоступеневому змішуванні для аглошихти, але не задовольняє вимоги шихти для огрудкування при виробництві окатишів. В останньому випадку всі компоненти по крупності близькі один до одного, але концентрати, як правило, вологі, а флюс та бентоніт, тверде паливо — сухі. Тому для виключення пиління приймають або komponують таку схему приготування шихти, щоб компоненти дозувались безпосередньо у змішувач без зайвих перевантажень, або використовують

попереднє магнітне змішування: на збірний конвеєр спочатку дозується вологий магнетитовий концентрат, потім сухі вапняк та бентоніт, а конвеєр проходить під магнітними полюсами, які притягують концентрат у вигляді ниток, між які провалюються сухі компоненти. При подальшому перевантаженні та у змішувачі така шихта не пилить.

На огрудкувальних фабриках спочатку барабанні змішувачі доповнювали роторними, а потім стали використовувати роторні у дві стадії.

Коритні лопаткові змішувачі мають продуктивність 49-100 т/г: у кориті обертаються два вала з лопатками, розміщеними по спіралі. Такі змішувачі мають ефективність змішування до 95-96 %

Роторні змішувачі, або змішувачі Піке, установлюють на конвеєрах у вигляді декількох барабанів, перпендикулярних стрічці конвеєра. На барабанах змонтовані металічні стержні та косі лопатки з жорсткої гуми. Барабани, обертаючись у шихті, змішують її та розпушують. Один роторний змішувач забезпечує ефективність змішування 30-40 %, а 2-3 доводять її до 80-85 %.

З високою ефективністю працюють змішувачі типу Лодіге: у нерухомому барабані рухається з швидкістю 100-120 об/хв вал, на якому по спіралі розміщені біла, устатковані спеціальними повіками. Біла з полками забезпечують енергійне розпушування, змішування та транспортування шихти.

Найвищу ефективність змішування до 98-99 % забезпечують бігункові змішувачі: у кориті, яке має вигляд урізаного конуса, по колу котяться по шихті бігуни, видавлена шихта лемешами повертається під бігуни і просувається до розвантажувального отвору.

Ефективність змішування огрудкованої шихти впливає не тільки на підвищення міцності сирих та випалених окатишів, але дозволяє також зменшити витрати бентоніту на 3-5 кг на, кожні 10 % підвищення степені змішування після її значення 50-60 %.

Теорія міцності сирих окатишів базується на закономірностях поверхневої взаємодії між твердими, рідкими та газовими фазами. Експериментально виявлено,

що сила зчеплення пропорційна першій степені лінійних розмірів частинок, роз'єднуючі сили ваги, інерції, удару та ін. — їх масам, тобто кубам лінійних розмірів. Тому зчеплення за рахунок молекулярних сил виявляється достатньо ефективним тільки для частинок вельми малих розмірів. При заповненні рідиною простору між твердими частинками молекулярне силове поле концентрується на межі фаз, внаслідок чого зменшується радіус дії молекулярних сил. Для забезпечення зчеплення зерен рідина повинна мати властивості, які б компенсували зменшення товщини поверхневого поля та збільшували б ефект взаємодії між частинками. Такою рідиною є вода, яка має полярні молекули.

Для умов огрудкування тонкомолотих концентратів найбільш важлива адсорбційно та капілярно зв'язана вода, як така, що безпосередньо впливає на міцність сирих окатишів. Молекулярні сили твердого тіла створюють великий тиск на плівку адсорбованої води, внаслідок чого її властивості відрізняються від властивостей звичайної води: густина 1,2-2,42 г/см³, модуль зсуву плівки товщиною 0,09 мкм дорівнює 196 кг/см², діелектрична стала у 40 разів менша. Вона не розчиняє електроліти і тому має дуже низьку електропровідність, температура кипіння її вище, а температура замерзання нижче, теплоємність змінюється в межах 2,1-3,58 кДж/(кг-град).

При підвищенні температури води в'язкість та поверхневий натяг на межі з повітрям зменшуються. Тому міцність окатишів у інтервалі температур 24-80°C, визначена експериментально, зменшується у відповідності з залежністю:

$$P_t = 1,7 - 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot t$$

де P_t — міцність окатишів на стиснення, кг/окат.,

t — температура сирих окатишів, °C.

Виникнення капілярних сил зчеплення у вологому сипучому матеріалі пов'язано з утворенням у точках контакту окремих зерен прошарків води кільцевої форми з поверхнею подвійної кривизни. Найкраще співпадають розрахункові результати з експериментальними при допущенні, що у шарі реального матеріалу у середньому мається контакт типу дотику вершини конуса з площиною. Абсолютна

величина капілярних сил прямо пропорційна розміру частинок, але число контактів збільшується обернено пропорційно квадрату їх радіуса. Тому сила капілярного зчеплення у об'ємі вологого матеріалу тим вища, чим дрібніші зерна. Очевидно, що при огрудкуванні частинки втрачають свою індивідуальність і стають здатними агрегуватися, коли капілярні сили зчеплення значно більші ваги частинок та динамічних зусиль, виникаючих у шарі, який пересипається.

Відповідно з капілярною теорією міцності пори у обкотишах розглядаються, як система капілярів, кінці яких виходять на його поверхню. Завдяки наявності менісків капілярів частинки складаючі їх стінки для капілярних сил використовують формулу, запропоновану шведськими вченими М. Тігершольдом та П. Ільмоні:

$$Z = 0,075 \cdot S \cdot \gamma_s \cdot \frac{1 - \bar{I}}{\bar{I}}$$

де Z — величина капілярних сил, г/см,

S — питома поверхня концентрату, см²/г,

γ_s — істинна густина концентрату, г/см³,

Π — абсолютна пористість окатишу, долі од.

Експериментально підтверджена пряма залежність між величиною питомої поверхні шихти в окатиші та його міцністю на стиснення, а також між величиною капілярної сили та опором окатиша стисненню.

По формулах, запропонованих німецьким вченим Х. Румпфом, можна визначити міцність окатишів на стиснення, обумовлену стягуванням частинок водяними манжетами та капілярним тиском:

$$P_{\partial\partial} = 2,5 \cdot \sigma \cdot \hat{E} \cdot (1 - \bar{I}) / \pi \cdot d$$

$$P_{p.k.} = 8 \cdot \frac{\sigma}{d} \cdot \frac{1 - \bar{I}}{\bar{I}}$$

де K — середнє число контактів, тобто координаційне число упаковки зерен, яке може змінюватись у межах 4-12,

Π — пористість окатишу, долі од.,

d — діаметр частинок окатишу, см,

σ — поверхневий натяг рідини, г/см.

Об'єднавши ці формули відношенням та увівши по дослідних даних значення $KП = 3,1$, одержимо $P_{рт} \approx 0,35 P_{рк}$, що показує більшу міцність обкотишу, обумовлену капілярним тиском, ніж міцність за рахунок рідинних манжет. М. Тігершольд та П. Ільмоні також рахують, що міцність окатишів залежить головним чином від капілярного тиску, тому що 80 % всіх пор заповнено водою. Враховуючи, що пористість сирих окатишів при цьому змінюється мало, можна рахувати, що міцність сирих окатишів в основному визначається кількістю контактів зерен та розмірами пор: з підвищенням питомої поверхні при сталій пористості розмір пор зменшується. При збільшенні пористості міцність сирих окатишів зменшується.

Величину оптимальної вологості шихти для огрудкування запропоновано визначити по значеннях характерних вологоємкостей і грудкуємості матеріалів. Вологоємкості замірюються для шихти і різниця між структурою шихти та окатишів не враховується.

При густині адсорбованої води, як уже було вказано, $1,2-2,42 \text{ г/см}^3$, товщина плівки води у абсолютному виразі не може бути більше $0,05-0,2 \text{ мкм}$, тому що не залишається місця для капілярної вологи. Тому величина максимальної молекулярної вологоємкості (ММВ), яка дорівнює $7-12 \%$, дуже завищена і представляє фактично суму молекулярної гідратної (МГ) та нерухомої капілярної вологоємкості (НКВ).

Величина вологості (МГ) складає величину $0,5-2,6 \%$ для залізорудних концентратів та шихти з них, і тільки ця вода може мати густину, більшу густини звичайної води.

Об'ємний вміст вологостей МГ та НКВ дорівнює пористості сирих окатишів і представляє собою нижню межу оптимальної вологи шихти, що забезпечує при огрудкуванні максимальну міцність сирих окатишів на стиснення та мінімальну — на удар. При цьому структура окатиша є пружною і крихкою, тому що зерна знаходяться у контакті одне з одним, а кількість води в окатишах не забезпечує

можливості її руху та ковзання зерен одного відносно другого. Верхня границя оптимальної вологості окатишів повинна забезпечувати достатню їх міцність як на стиснення, так і на удар, тобто вони повинні бути пружньо-пластичними. Пластичність сирих окатишів забезпечує капілярна вода. При цьому важливий не абсолютний вміст води в окатиші, а те, наскільки він перевищує НКВ. Вологість, при якій всі капіляри пористого тіла заповнені водою, називається максимальною капілярною вологоємністю (МКВ).

На думку деяких авторів, міцність сирих окатишів на стиснення та на удар залежить відповідно від поверхневого натягу і в'язкості порового розчину та відповідає необхідній у межах вологості $W = \text{НКВ} + 0,02$. Цей вміст вологи відповідає повному заповненню пор водою при пористості 32 %. Тому цілком логічно допустити, що міцність сирих окатишів на стиснення та на удар відповідно обернено і прямо пропорційна степені заповнення пор водою.

У роботі розглянуто три області значень степені заповнення пор водою (0-30 %, 30-80 % та 80-100 %), які характеризуються різним впливом сил капілярного тиску і поверхневого натягу води. Значення співвідношення вологи і пористості у сирих окатишах проілюстровано залежностями граничних напружень зсуву у шихті від її вологості. При збільшенні вмісту води внаслідок заповнення манжет граничне напруження зсуву швидко збільшується, а потім, при заповненні водою пор, здійснюється прискорене падіння напружень зсуву.

По практичних результатах дослідів одержані тісні кореляційні залежності між пористістю та масовою вологістю, величиною деформації та вологістю і стискуючим зусиллям, міцністю на стиснення та удар і пористістю та вологістю сирих окатишів, які підтверджують важливість співвідношення між пористістю та вологістю окатишів. Але в протилежність роботі крива залежності пористості сирих окатишів від їх вологості одержана увігнутою вниз, що свідчить про труднощі видалення повітря з окатишів у процесі огрудкування і, можливо, про недосяжність стану максимальної капілярної вологоємності.

У межах змін вмісту у шихті фракцій -50 мкм (/) 20-90 % та її питомої

поверхні (S) 125-300 м²/кг, оптимальна вологість і допустима її коливаючість по умові одержання достатньо міцних та пластичних окатишів описуються рівнянням множинних залежностей.

При оптимальній вологості окатишів між зернами немає рідинних манжетів і, повітря знаходиться у вигляді окремих бульбашок. На таку систему «тверда—рідка—повітря» некоректно розповсюджувати взаємодію частинок, зв'язаних рідинною манжетою, а по характеристичних вологоємкостях визначати оптимальну вологість шихти для огрудкування.

Використання характеристичних вологоємкостей для визначення оптимальної вологості шихти призводить до одержання верхньої границі вологи огрудкування, що ускладнює умови виробництва міцних випалених окатишів, знижує продуктивність випалювальних агрегатів.

Тому що процес огрудкування здійснюється шляхом накатування шихти на зародки аналогічно утворенню снігової кулі ущільнення та розміщення дрібних частинок між крупними, на міцність і розмір окатишів впливає тривалість процесу огрудкування.

Окатиші діаметром 10-15 мм утворюються за 2-3 хв, ще за 1-1,5 хв вони набувають пористості 30-35 %. Зменшення пористості до 27-29 % відбувається за 110-15 хв огрудкування, а подальше ущільнення здійснюється дуже повільно.

Абсолютне значення міцності сирих окатишів на стиснення при зменшенні їх розміру знижується, а на удар збільшується. Тому для визначення міцності на стиснення необхідно брати окатиші, відповідні по розміру нижній границі заданої крупності, а для визначення міцності на удар — окатиші, розмір яких дорівнює верхній границі крупності.

Механізм комкуючої дії добавок в зволожений агломераційній шихті можна пояснити наступним:

Молекулярна взаємодія при дотику різнорідних тіл або рідин приводить до їх злипання, або адгезії. Адгезія має місце на межі розділу фаз і оцінюється роботою, яка витрачається для розриву контактуючих поверхонь. Адгезія твердих тіл із-за

нерівної шорховатої поверхні часток, а відповідно, невеликої істинної площі контакту, як правило, мала.

Адгезійна взаємодія рідкої і твердої фаз обмежується шаром рідини товщиною в декілька молекул. Потім вона поступово зменшується і починає проявлятися когезійна взаємодія фаз, тобто протягування часток одна до одної. Причиною когезії рідини є взаємодія молекул, атомів, іонів в об'ємі рідкої фази.

Адгезія визначає міцність прилипання «клеючої» плівки до комкуємих матеріалів. Для збільшення цієї міцності вводять різноманітні в'язучі добавки. Когезія ж визначає міцність самої плівки. Ефективна взаємодія в'язучих добавок повинна сполучатися з їх невеликою витратою, невисокою вартістю, відсутністю в них шкідливих домішок.

До числа таких добавок відноситься, поліакриламід. За даними Єфіменко Г.Г. і др., при використанні водяного розчину поліакриламиду (0,3 %) продуктивність агломераційної машини зростає на 7-11 %. Позитивні результати отриманні багатьма дослідниками при добавці до води невеликих кількостей NaOH, Na₂CO₃, NaCl, залізного купоросу, сульфатного луга, гумата натрію, цукровміщуючих речовин, глини, червоного шламу, мазуту, крохмалу і ін.

Спостерігаючи в усіх випадках класичну залежність: зі збільшенням витрати добавок покращується гранулометричний склад огрудкованих агломераційних шихт.

8.7 Офлюсування залізорудних окатишів сталеплавильними шлаками.

Вихід сталеплавильних шлаків приблизно в три рази менше питомого виходу доменних шлаків (відповідно 168кг/кг сталі і 481 кг/кг) на тонну чавуну, внаслідок того, що відношення між загальним виробництвом чавуну і сталі зросло до 1,26, то загальний вигляд сталеплавильних шлаків складає 44-45 % від маси доменних шлаків. В колишньому СРСР перероблювалися 70-72 % доменних шлаків і 30 % сталеплавильних шлаків. В США, ФРГ і Франції відповідно це складало 95 % і

80 %. Хоча використання мартенівських шлаків відомо з початку нашого сторіччя, менші показники по переробці сталеплавильних шлаків у нас у порівнянні з закордоном пов'язано з двома обмеженнями: по виходу якого збільшується і викликає перевитрату коксу, і по накопиченню флюсів в чавуні. Ці обмеження відносяться до заміни сирого вапняку сталеплавильними шлаками в доменній шихті, але зараз вони не досягають приблизно вдвоє, так як витрата сирого вапняку в доменну піч складає всього 50кг/т чавуну. Останній вапняк в шихті для виробництва окатишів обмежується тим, що на кожний 1 % добавки вапняку зменшується виробництво випалювальних машин і пропорційно збільшується витрата палива на 1,2-1,23 %, а інтервал температур розм'якшення шихти звужується настільки, що випал стає некерованим. Тому на одну тону окатишів зараз витрачається не більше ніж 110-150 кг вапняку: після освоєння виробництв окатишів в Україні вимушені підвищити основність агломерату з 1,2-1,3 до 1,4-1,6. І так, заміна вапняку сталеплавильними шлаками при офлюсуванні окатишів повинна дозволити підвищити продуктивність випалювальних машин і знизити витрату палива на випал, так як шлаки не мають летючих речовин і не потребують витрати тепла на дисоціацію карбонатів кальцію і магнію.

Враховуючи можливість використання сталеплавильних шлаків для заміни бентоніту, яка визначена в раніш проведених дослідженнях, склали шість варіантів шихт, в які входили: концентрат ПівнГЗК, вапняк Каракубського родовища, сталеплавильні шлаки з відвалів комбінату "Криворіжсталь" і Даш-Салахлінській бентоніт. Концентрат, вапняк і бентоніт для досліджень взяті в підготовленому вигляді з огрудкувальної фабрики ПівнГЗК, а шлаки були подрібненні сухим способом в 40-літровому млині до крупності 430 м²/кг.

Таблиця 8.23 – Компонентний склад дослідних шихт, %

Компоненти	Шихти					
	I	II	III	IV	V	VI
Концентрат	88	84	85	87	72	71
Вапняк	11	-	-	6,5	-	-
Сталеплавильний шлак	-	15	15	5,5	28	29
Бентоніт	1	1	-	1	1	-

Сирі окатиші виготовляли на чашовому огрудкувачі діаметром 1 м і їх випалення здійснювали на квадратній чаші 0,5х0,5 м при моделюванні зон промислових випалювальних машин. Сирі окатиші з шихт із сталеплавильними шлаками по міцності не гірші окатишів, що містять в шихті бентоніт, а по виходу придатних класів високоофлюсовані окатишів кращі низькоофлюсованих.

Таблиця 8.24 – Властивості сирих і висушених окатишів

Показники властивостей	Шихти по таблиці 1					
	I	II	III	IV	V	VI
Вологість окатишів, %	10,2	9,85	9,88	10,0	9,6	9,7
Міцність сирих окатишів: на стиснення, Н/об на удар, число падінь з 0,5м	11,0	10,2	9,0	11,3	12,5	11,8
	6,3	6,0	5,0	5,6	6,5	5,8
Міцність сухих окатишів на стиснення, Н/об	18,3	17,3	16,0	17,9	23,0	18,9
Вихід класів +5-15мм,%	75,8	73,2	72,3	74,3	81,9	79,9

По кількості компонентів в шихті і по властивостях сирих окатишів - міцності на стиснення і удар, по виходу придатних класів найдоцільнішим є шостий варіант шихти. Скорочення кількості компонентів в шихті дозволяє додати в неї тверде паливо (антрацит), як інтенсифікатор процесу випалення для економії природного газу і поліпшення металургійних властивостей готового продукту.

Термозміцнення окатишів з шихт, що містять різні флюси, показує, що офлюсування сталеплавильними шлаками замість вапняку позитивно впливає на якісні показники процесу випалення і готового продукту. При основностях більше 1 (варіанти V і VI), коли офлюсування вапняком практично неможливо здійснити, офлюсування сталеплавильними шлаками дає дещо кращі показники питомої продуктивності процесу випалення і міцності готових окатишів в голодному стані і при відновно-тепловій обробці, ніж при виготовленні окатишів з основностями 0,6-0,8 і офлюсованих вапняком. Це пояснюється тим, що усунення тривалого і енергоємного процесу декарбонізації вапняку з окатишів, офлюсованих сталеплавильними шлаками, основними мінералами яких є двокальцієвий силікат і високоосновне скло, веде до скорочення тривалості періоду випалення і поліпшення мінеральної структури готових окатишів. Тому витрата тепла на

випалення високоосновних окатишів офлюсованих шлаками, буде такою ж, як і при випаленні низькоосновних окатишів. Витрати на підготовку шлаків - тонкий їх помол - не збільшаться в порівнянні з підготовкою кристалічного вапняку, оскільки шлаки на 1-2 одиниці за шкалою Протодьяконова мають меншу міцність, особливо після декількох заморожувань в мокрому стані. Основна ж економічна ефективність заміни вапняку сталеплавильними шлаками при виробництві окатишів повинна бути за рахунок скорочення транспортних витрат і економічного збитку: вапняк поступає на ЦГЗК і ПівнГЗК з Донбасу (400 км), а сталеплавильні шлаки можна брати з відвалів комбінату "Криворіжсталь" (30-45 км).

Таблиця 8.25 – Режимні параметри процесу випалу окатишів і їх міцність

Показники властивостей	Шихти по таблиці 1					
	I	II	III	IV	V	VI
Температура, °С						
«шоку» сирих окатишів	720	735	670	690	760	715
сушки в чаші	370	380	320	330	350	340
в зоні підігріву	850	950	950	880	960	960
максимальна в зоні випалу	1270	1300	1300	1320	1300	1300
Питома продуктивність випалу, т/м ² ·год	0,82	0,87	0,85	0,84	0,86	0,86
Міцність випалених окатишів на стиснення, кг/об	225	225	245	235	230	227
В холодному стані (ГОСТ 15137-81)						
дробленість, % +5мм	92,4	93,5	93,2	92,9	93,7	93,4
істирання, %-0,5мм	5,0	4,2	4,8	4,9	4,5	4,2
При відновленні (ГОСТ 19575-74)						
дробленість, % +5мм	75,4	78,3	77,3	76,1	83,2	82,7
істирання, %-0,5мм	8,6	6,6	6,8	8,2	5,6	5,8

Дослідження технології спікання шихт, що включають шлами сталеплавильного виробництва

Промислові випробування технології спікання аглошихти, що містить конверторний шлам виконані на аглофабриці ВАТ «Дніпровський металургійний комбінат» у період січень-серпень 2005р.

Відповідно до розробленої технології конверторний шлам, попередньо збезводнений з використанням мелкодисперсного вапна й змішаний до однорідної суміші, направлявся на рудний двір і потім укладався в залізородний штабель.

Хімічний і гранулометричний состави шламу й вапна наведені в табл. Мета випробувань - установлення оптимальних значень кількості суміші, що вводиться в агломераційну шихту, і - співвідношення входящих у її склад шламу й вапна.

Таблиця 8.26 – Гранулометричний склад шламу сталеплавильного виробництва

<0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,4	>0,4
59,9	18,6	12,4	12,4	0,6

Таблиця 8.27 – Хімічний склад вапна

Масова частка, %			
(Са+Mg), не менш, %	Mg, не більше,	Si ₂ , не більше,	Втрати при прожарюванні, не більше, %
91	8,5	3,5	4

Таблиця 8.28 – Гранулометричний склад вапна

Гранулометричний состав, %				
<0,00005	0,00005-0,0001	0,0001 -0,0002	0,0002 -0,0004	>0,0004
76,5	11,4	8,5	2,8	0,6

Технологія підготовки шихти і її спікання на агломераційних машинах здійснювалися відповідно до технологічної інструкції .

Випробування агломерату на механічну міцність здійснювалося відповідно до методики відбору й підготовки проб МОПП 230-002-2002, і ДСТУ 3195-95, ДСТУ 3196-95 і ДСТУ 3200-95, ДСТУ 3210-95. Хімічний склад агломерату й шламу визначався згідно МВИ З 230-045-03 від 15.05.2003р. і ДСТУ 3564-97 і ДЕРЖСТАНДАРТ 30510-97.

ВИСНОВКИ

1. Показана можливість використання вапна і конверторних шлаків в якості сполучної добавки і частково флюсоуючої при огрудкуванні тонкоподрібнених залізорудних концентратів.
2. Встановлено, що окатиші з даною добавкою мають більш високі міцності характеристики в сирому і висушеному стані, що зменшує вихід дріб'язку при транспортуванні і початковій термічній обробці окатишів.
3. Температурний рівень випалу окатишів зберігається на типовому рівні і визначається основністю окатишів.
4. Якість випалених окатишів, отриманих з використанням даних добавок відповідає потребам металургів, а в ряді випадків навіть вище.
5. Результати проведених досліджень дозволяють рекомендувати випалене вапно і конверторний шлак в якості сполучних добавок.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.В		
<i>Зм</i>	<i>Анк</i>	<i>№</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	ВИСНОВКИ		
<i>Розробл</i>	<i>Півень</i>						
<i>Перевір</i>	<i>Плотніков</i>				<i>Лімен</i>	<i>АнкVII</i>	<i>АнкVIII</i>
						1	1
<i>Н</i>	<i>Плотніков</i>				МТ-23-2ск		
<i>Затвер</i>	<i>Савельєв</i>						

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Meyer K. *Pelletizing of Iron Ores*. – Berlin : Springer, 2018. – 412 с.
2. Pietsch W. *Agglomeration in Industry: Occurrence and Applications*. – Weinheim : Wiley-VCH, 2016. – 684 с.
3. Litster J., Ennis B. *The Science and Engineering of Granulation Processes*. – Dordrecht : Springer, 2017. – 398 с.
4. Fruehan R. J. *The Making, Shaping and Treating of Steel. Ironmaking Volume*. – Pittsburgh : AIST, 2019. – 814 с.
5. Turkdogan E. T. *Fundamentals of Ironmaking*. – London : Institute of Materials, 2017. – 312 с.
6. Biswas A. *Principles of Blast Furnace Ironmaking*. – New Delhi : SBA Publications, 2018. – 528 с.
7. Chatterjee A. *Sponge Iron Production by Direct Reduction of Iron Oxides*. – New Delhi : PHI Learning, 2016. – 424 с.
8. Kawatra S. K., Ripke S. J. Pelletizing and Agglomeration of Iron Ore Fines // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. – 2018. – Vol. 39. – P. 95–108.
9. Umadevi T., Deodar A., Mahapatra P. Utilization of Iron Bearing Wastes in Agglomeration Processes // *Ironmaking & Steelmaking*. – 2019. – Vol. 46. – P. 721–732.
10. Pal J., Das B. Sustainable Utilization of Iron Bearing Wastes in Agglomeration // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 312. – 127821.
11. Yang C., Zhu D., Pan J. Influence of Pellet Structure on Reduction and Energy Efficiency // *ISIJ International*. – 2020. – Vol. 60. – P. 778–787.
12. Li S., Wang Y. Modeling of Energy Consumption in Iron Ore Pelletizing Process // *Applied Thermal Engineering*. – 2021. – Vol. 189. – 116713.

					КНУ.РБ.136.26.112с-09.СД								
					СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ								
Зм	Анк	№	Підпис	Дат							Лімен	АнкVII	АнкVIII
Розробл	Півень											1	3
Перевір	Плотніков									MT-23-2ск			
Н	Плотніков												
Затвер	Савельєв												

13. Zhang X., Liu B. Optimization of Induration Furnace Parameters for Energy Saving // *Energy*. – 2019. – Vol. 180. – P. 888–900.
14. Zhao J., Pan Y. Heat Transfer and Energy Efficiency in Pellet Induration Machines // *Powder Technology*. – 2018. – Vol. 338. – P. 145–156.
15. Forsmo S. P. E., Apelqvist A. J., Björkman B. Binding Mechanisms in Iron Ore Pellets // *Powder Technology*. – 2016. – Vol. 301. – P. 112–120.
16. Hooey L., Sterneland J. Pellet Feed Preparation and Balling Technology // *Powder Technology*. – 2019. – Vol. 356. – P. 234–245.
17. Midrex Technologies Inc. *World Direct Reduction Statistics 2024*. – Charlotte, 2024.
18. World Steel Association. *Energy Efficiency and CO₂ Reduction in Steel Industry*. – Brussels, 2023.
19. International Energy Agency. *Iron and Steel Technology Roadmap*. – Paris, 2023.
20. UNIDO. *Resource Efficient and Cleaner Production in Metallurgy*. – Vienna, 2022.
21. Central GOK (Metinvest). *Modernization of pelletizing plant and DRI pellet production project*. – Metinvest Media, 2020.
22. GMK Center. *Central Mining and Processing Plant (Central GOK) profile*. – 2024.
23. Metinvest Holding. *Central GOK pellet plant modernization news*. – 2017–2021.
24. Лобов В. Й., Лобова К. В. Підвищення енергоефективності виробництва залізорудних окатишів // *Енергетика і автоматика*. – 2018. – №1. – С. 99–112.
25. Стебелько І. Є., Койфман О. О., Бондар О. В. Модернізація систем огрудкування з урахуванням вологості та гранулометрії шихти // *Науковий журнал Метінвест Політехніки*. – 2024. – №2. – С. 44–53.
26. Митрофанов О. В. Удосконалення процесу теплової обробки залізорудних окатишів // *Технологічний аудит та резерви виробництва*. – 2020. – №3. – С. 12–18.

- 27.Павличенко А. В. *Ресурсоефективність у металургійному виробництві.* – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 198 с.
- 28.Семененко Є. В. *Фізико-хімічні основи огрудкування мінеральної сировини.* – Дніпро, 2020. – 214 с.
- 29.Воуко М. S. *Технології виробництва залізородних окатишів.* – Дніпро, 2018. – 196 с.
- 30.Smironov V. O. *Технології збагачення корисних копалин.* – Кривий Ріг, 2019. – 280 с.
- 31.Hrotba V. O. Energy efficiency in metallurgical enterprises // *Ecological Safety and Nature Management.* – 2021. – Vol. 38. – No. 2. – P. 39–54.
- 32.Semenov Yu. S. Optimization of agglomeration processes in iron ore production // *Metallurgy.* – 2023. – No. 1. – P. 22–31.
- 33.Kamkina L. V., Vanyukov A. A. Improvement of pellet production efficiency using metallurgical wastes // *Металургія.* – 2022. – №2. – С. 34–41.
- 34.Ozhogin V. V. Technological improvement of pellet production processes // *Bulletin of PSTU.* – 2019. – №36. – С. 115–123.
- 35.*Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії.* – Дніпро, 2015–2025.
- 36.*Металургія: наукові праці УДУНТ.* – Дніпро, 2015–2025.