

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА


ШУЛЬГА АНДРІЙ ОЛЕГОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Дослідження технології виробництва, металургійних властивостей та перспектив використання у доменних печах високоосновного агломерату
(повна назва теми)

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

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


(підпис)

Кассім Д.О.
(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 12.06 2025 р. № 12

Завідувач кафедри


(підпис)

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

Д.О. Кассім
(ініціали, прізвище)

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

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

Завідувач кафедри

ЗАТВЕРДЖУЮ


(підпис)

проф. Д.О. Кассім
(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

«04» квітня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

Шульзі Андрію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра:

Дослідження технології, виробництва властивостей та перспектив
використання у доменних печах високоосновного агломерату

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» квітня 2025 № 241-ст

2. Строк подання кваліфікаційної роботи до кафедри 09.06.2025

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



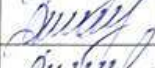



4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити):

4.1. Аналітична частина: проаналізувати підвищення вимог до агломератів
та роль основності; дослідити вплив основності на металургійні
властивості, міцнісні характеристики та на відновлюваність
агломератів; визначити структурні зміни та ТІРП

4.2 Основна частина: визначити еволюцію мінералогічного складу зв'язок
агломерату; залежність міцнісних характеристик агломерату від його
мікроструктури; вплив морфології магнетиту на властивості
агломерату; особливості спікання концентратів із магнетитом
гетерогенної будови та проблеми використання; оцінка перспектив
використання у доменних печах високоосновного агломерату; особливості
технології та показники виробництва високоофлюсованого агломерату

4.3. Охорона праці: аналіз шкідливих і небезпечних факторів доменного цеху; розробка заходів щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

5. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

6. Дата видачі завдання «04» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	09.05.2025	
2.	Основна частина	16.05.2025	
3.	Охорона праці	23.05.2025	
4.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2025	
5.	Подання роботи до кафедри	09.06.2025	
6.	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

Студент

Керівник випускної роботи

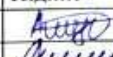




(підпис)


(підпис)

Шульга А.О.
(прізвище та ініціали)

Кассім Д.О.
(прізвище та ініціали)

ВІДОМІСТЬ випускної роботи магістра
(назва випускної кваліфікаційної роботи)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	К-сть. листів	№ екз	Примітка				
1			<u>Документація загальна</u>							
2	A4	ДУЕТ. 136. КРБ. ПЗ	Пояснювальна записка	45						
3			<u>Документація графічна</u>							
4	A4	ДУЕТ. 136. КРБ. 01	Значення модуля мікроструктури для агломерату ПАТ «НЛМК»	1						
5	A4	ДУЕТ.136. КРБ. 02	Залежність вертикальної швидкості спікання від основності агломерату. Залежність питомої продуктивності агломераційного процесу від основності агломерату.	2						
6	A4	ДУЕТ. 136. КРБ. 03	Залежність міцності агломератів ММК, вмісту заліза в магнетиті та вмісту заліза в силікатних і феритних зв'язках від основності	1						
7	A4	ДУЕТ.136. КРБ. 04	Структура агломерату з основністю 1,0–1,4	1						
8	A4	ДУЕТ. 136. КРБ. 05	Схема зміни холодної міцності в агломератах з основністю 1,0–3,3	1						
9	A4	ДУЕТ. 136. КРБ. 06	Результати лабораторних досліджень	1						
10	A4	ДУЕТ. 136. КРБ. 07	Схема формування агломерату з низькою основністю та високим вмістом SiO ₂	1						
10	A4	ДУЕТ. 136. КРБ. 08	Показники та параметри спікання високоосновної шихти на Снакієвській аглофабриці у 2012-2018 роках	1						
			ДУЕТ.136.КРМ							
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата						
Розробив		Шульга А.О.		09.06.25	Літ	Лист	Листів			
Керівник		Кассім Д.О.		09.06.25				Д	1	1
Н. контр.		Кассім Д.О.		09.06.25				ДУЕТ		
Затв.		Кассім Д.О.		09.06.25				каф. Металургійних технологій гр. ЗМЧМ-22-Іск		
					ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА					

РЕЗЮМЕ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 51 ст., 15 рис., 6 табл., 20 джерел.

Об'єкт розробки: технологія агломераційного виробництва.

Мета роботи: підвищення якості агломерату за умови забезпечення оптимальної основності.

Методи дослідження – теоретичне дослідження технологій агломераційного виробництва, літературний аналіз.

В роботі показано, що основність агломерату (CaO/SiO_2) має вирішальний вплив на комплекс його металургійних властивостей: міцність, відновлюваність, температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТІРП), а також на продуктивність процесу спікання. Встановлено, що оптимальні технологічні та експлуатаційні характеристики агломерату досягаються при основності 1,6–2,0 од..

Міцність агломерату має екстремальну залежність від основності. Мінімум спостерігається при основності 1,4 од., що пов'язано з утворенням нестійких мінеральних фаз. Зі зростанням основності міцність зростає завдяки переходу до феритної структури зв'язки, зокрема утворенню $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ і браунміллериту.

Відновлюваність агломерату також зростає зі збільшенням основності. Максимальний ефект досягається при основності 1,6 од., що поєднується з мінімальним руйнуванням під час відновлення. Це забезпечує ефективність процесу у доменній печі та зменшує утворення дріб'язку.

Дослідження показали, що оптимальне співвідношення агломерату з основністю 2,0 од. та неофлюсованих окатишів (у пропорції 55/45) забезпечує найкращу фільтрацію продуктів плавлення через коксову насадку.

АГЛОМЕРАЦІЯ, АГЛОМЕРАТ, АГЛОМЕРАЦІЙНА ШИХТА, ОСНОВНІСТЬ, ФЛЮС, ТВЕРДЕ ПАЛИВО, СТРУКТУРА, МІЦНІСТЬ, ВІДНОВЛЮВАНІСТЬ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Підвищення вимог до агломератів та роль основності	9
1.2 Вивчення впливу основності на металургійні властивості агломератів	11
1.3. Вплив основності на міцнісні характеристики агломерату	13
1.4. Вплив основності на відновлюваність агломератів	19
1.5 Структурні зміни та визначення ТІРП	21
Висновки до аналітичної частини та постановка завдань дослідження	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	25
2.1 Еволюція мінералогічного складу зв'язок агломератів	25
2.2 Залежність міцнісних характеристик агломерату від його мікроструктури	31
2.3 Вплив морфології магнетиту на властивості агломерату	33
2.4 Особливості спікання концентратів із магнетитом гетерогенної будови	34
2.5 Проблеми використання магнетиту гетерогенної будови	36
2.6 Оцінка перспектив використання у доменних печах високоосновного агломерату	38
2.7. Особливості технології та показники виробництва високоофлюсованого агломерату	39
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	48
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	50

ВСТУП

Промисловий досвід виробництва високоосновного агломерату в різних сировинних умовах, зокрема під час спікання тонкодисперсних концентратів і важко-утилізованих відходів, становить інтерес для фахівців агломераційних виробництв. У представленій роботі наведено показники та параметри спікання високоосновної шихти за вказаний період. Проведено аналітичну оцінку стану основних стадій виробництва агломерату та окремих видів технологічного обладнання. Розглянуто особливості технології та показники виробництва високоофлюсованого агломерату при використанні різних залізородних концентратів, відходів і спеціальних добавок у агломераційну шихту. Розроблено науково-практичні рекомендації щодо вдосконалення технології та модернізації технологічного обладнання для підготовки шихти до спікання.

На підставі отриманих даних досліджень і практичного досвіду авторів запропоновано способи подолання нерівномірності спікання шихти по ширині агломераційної машини: раціональне формування шару шихти в завантажувальній воронці та профілю шару по ширині агломерату, а також ущільнення шару шихти у периферійних зонах агломерату.

У сучасних умовах зростаючої частки концентратів із підвищеним вмістом заліза та зниженим вмістом кремнезему у складі залізородної шихти виникає потреба у виробництві агломерату, який би забезпечував не лише високу міцність, а й стабільні високотемпературні властивості. Як зазначено в дипломній роботі, агломерати з основністю 1,6–2,0 од. демонструють покращені показники холодної та гарячої міцності, відновлюваності, а також мінімальний температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТІРП), що є критично важливим для стабільної роботи доменної печі (див. розділи 1.2, 1.4, 1.5, 2.6 документа).

Крім того, як свідчать дані лабораторних досліджень, основність агломерату чинить вирішальний вплив на формування мікроструктури зв'язки — перехід від склоподібної до феритної фази забезпечує зростання міцності агломерату (розділ

2.2). Враховуючи активне впровадження концентратів з магнетитом гетерогенної будови у виробництво, вивчення впливу основності на властивості агломератів є не лише актуальним, а й необхідним для адаптації технологічного процесу до нових умов (розділ 2.5).

Таким чином, дослідження впливу основності на технологічні та експлуатаційні властивості агломерату, зокрема з використанням концентратів високої якості, є актуальним напрямом, що безпосередньо пов'язаний із підвищенням ефективності доменного виробництва.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Підвищення вимог до агломератів та роль основності

Агломерат, який використовується в доменному виробництві, має відповідати суворим вимогам щодо хімічного складу, фізико-механічних властивостей та високотемпературної поведінки. Основні критерії якості включають вміст заліза не менше 56 %, контрольований рівень основності (CaO/SiO_2), який має бути в межах 1,4–2,2 залежно від умов доменної плавки, та мінімальний вміст домішок, що підвищують температуру плавлення. Холодна міцність агломерату визначається за ГОСТ 15137–87 і повинна становити не менше 70 % виходу фракції понад 5 мм. Важливою властивістю є також відновлюваність — здатність матеріалу реагувати з відновниками в доменній печі, яка досягає максимуму при основності близько 1,6 од. Мікроструктура високоякісного агломерату характеризується переважанням феритної зв'язки голчастої структури, що забезпечує високу міцність і стійкість до руйнування під час транспортування. Агломерат повинен мати вузький температурний інтервал розм'якшення та плавлення (ТІРП), що забезпечує стабільність зони когезії в доменній печі. Крім того, необхідною є висока повнота витікання розплаву через коксову насадку, що досягається за рахунок правильно підбраного співвідношення агломерату і окатишів у шихті, зокрема при використанні агломерату з основністю 2,0 у суміші з окатишами у пропорції 55/45. Сукупність цих вимог забезпечує ефективність доменного процесу, стабільність хімічного складу чавуну та зниження витрати палива.

На металургійні властивості агломерату значний вплив чинить його основність. Залежність холодної та гарячої міцності, температури розм'якшення, відновлюваності та інших фізико-хімічних властивостей агломерату від основності встановлена дослідженнями багатьох вітчизняних і зарубіжних учених. Проте, з урахуванням суттєвого підвищення вмісту заліза в концентраті за одночасного

зниження вмісту кремнезему внаслідок модернізації виробництва в АТ «Стойленський ГЗК», оцінка впливу основності на комплекс властивостей агломерату, виготовленого з його використанням, є актуальною.

В літературі [2] наведено результати лабораторних досліджень на одному з металургійних комбінатів з метою вивчення впливу основності агломерату на показники процесу спікання, міцність і високотемпературні властивості, зокрема фільтрованість продуктів плавлення через коксову насадку.

Агломерати різної основності отримували в лабораторних умовах шляхом спікання в аглочаші шихти на основі концентрату із вмістом заліза 68,0 %. Основність шихти CaO/SiO_2 змінювали в діапазоні 1,2–2,0 одиниць із кроком 0,2. У процесі досліджень підбирали оптимальну витрату твердого палива для кожного складу шихти, виходячи з умови досягнення максимальної вертикальної швидкості спікання та міцності агломерату.

Збільшення частки неофлюсованих окатишів у доменній шихті зумовлює підвищення основності агломерату (CaO/SiO_2) до 1,7–2,2 одиниць. Дослідження особливостей формування мікроструктури таких агломератів є актуальним завданням. Останнім часом гірничорудні підприємства збільшують вміст заліза в концентраті, і у виробництві агломерату використовуються концентрати з вмістом заліза 68–70 %. У зв'язку з цим становить інтерес дослідження мікроструктури агломератів з високим вмістом заліза та впливу мінерального складу зв'язки на міцність агломерату.

Підвищення якісних характеристик залізородних матеріалів є одним із найефективніших способів зниження витрати палива під час виробництва чавуну, що покращує техніко-економічні показники доменного процесу. Якість готової продукції залежить від цілої низки технологічних параметрів, і, рухаючись цим ланцюгом, ми приходимо до процесу формування (зародження) мінералів, адже саме мінеральний склад зв'язок рудних зерен визначає й впливає на багато пірометалургійних процесів, будучи основним носієм міцності офлюсованих агломератів. Одним із найважливіших критеріїв якісної оцінки агломерату є його

холодна міцність. Враховуючи важливість цього критерію, було здійснено порівняльний аналіз досліджень холодної міцності залізородних агломератів різного хімічного складу.

1.2 Вивчення впливу основності на металургійні властивості агломератів

Сучасне доменне плавлення висуває високі вимоги до міцності окусованої залізородної сировини, що забезпечує його інтенсифікацію та екологічність. Збільшення частки окатишів у доменній шихті висунуло на перший план питання виробництва високоякісного агломерату в широкому діапазоні основності. У процесах агломерації залізних руд вирішальну роль відіграють їхні генетичні особливості й, головне, мінеральний склад, на основі якого мають розроблятися технології виробництва окусованого продукту [1].

Однак отримання з різнорідної за складом залізородної шихти окусованого продукту з високими металургійними властивостями шляхом агломерації є складним і багатофакторним завданням. Якість готової продукції залежить від цілої низки технологічних параметрів, якості руди й концентрату, а також показника основності [2].

Одним із найважливіших критеріїв якісної оцінки одержаного агломерату є його холодна міцність, уявлення про яку в хіміко-фізичній концепції є важливим з погляду визначення показника споживчої властивості. Водночас значний теоретичний і практичний інтерес становить саме визначення цього показника, що дає змогу отримати інструмент аналізу процесу спікання та механічної обробки спека, виявивши резерви підвищення ефективності цього процесу [3].

Численні дослідження визначили чинники, що впливають на міцність готової продукції та її поведінку під час відновлення в доменному процесі, мінералогічний склад агломератів і термічні властивості зв'язок зерен рудної складової [4–7].

При цьому основним носієм міцності офлюсованих агломератів є мінеральний склад зв'язок рудних зерен. Існує чітка залежність: мінералогічний

склад зв'язок визначається основністю шихти, а міцність готової продукції, своєю чергою, безпосередньо залежить від складу зв'язки рудних зерен [8]. Вплив основності агломерату на комплекс його металургійних властивостей вивчали багато зарубіжних учених.

За даними С.В. Базилевича та Є.Ф. Вегмана, в інтервалі основності $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,1\text{--}1,5$ одиниць міцність агломерату знижується через збільшення кількості мінеральних фаз, зокрема скла. Залежність відновлюваності агломератів від основності також має екстремальний характер із максимумом при основності 1,03 одиниці. Температура розм'якшення агломерату залежить від основності й змінюється в широких межах — від 1200 до 1400 °С [1]. Для українських шихт [2] встановлено зниження холодної й гарячої міцності агломерату в інтервалі основності $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,25\text{--}1,75$ одиниць. За даними Ю.А. Фролова [3], вертикальна швидкість спікання зростає зі збільшенням основності шихти в інтервалі 0,25–1,9 одиниць, а в інтервалі 1,2–1,4 одиниць спостерігається зниження міцності агломерату. Із підвищенням основності шихти зростає відновлюваність агломерату, і автор робить висновок про домінуючий вплив основності на комплекс металургійних властивостей агломерату.

Інтервал основності агломерату 1,0–3,0 одиниць досліджено в роботі [4], де встановлено мінімум міцності агломерату при основності 1,6 одиниць. Дослідження мінерального складу зв'язок показало, що при основності 1,6 одиниць силікатна зв'язка являє собою двофазну композицію склоподібної фази з двокальцієвим силікатом. Підвищене руйнування агломерату пов'язують із перетворенням β -модифікації двокальцієвого силікату в γ -модифікацію, що супроводжується суттєвими змінами об'єму.

Останнім часом АТ «Стойленський ГЗК» (СГЗК) модернізує виробництво і планує збільшити вміст заліза в концентраті з 66,6 до 69,2 % [5]. В умовах зміни якості та хімічного складу залізорудної сировини — підвищення вмісту заліза при зниженні вмісту кремнезему — актуальним стає оцінювання комплексу фізико-хімічних властивостей агломерату, зокрема за умови зміни основності. Проведені

на ПАТ «Новолипецький металургійний комбінат» (НЛМК) дослідження металургійних властивостей агломерату в діапазоні зміни основності 1,6–2,0 одиниць показали, що зі зростанням основності збільшуються показники холодної та гарячої міцності й звужується інтервал пластично-в'язкого стану.

1.3. Вплив основності на міцнісні характеристики агломерату

Зміна складу шихти та окисно-відновних умов під час виробництва агломерату визначає важливість мінерального аспекту в питанні підвищення фізико-хімічних властивостей агломерату. Запропонований для аналізу модуль мікроструктури Шкодіна [6] відображає не лише дві основні групи процесів, що формують кінцеву мікроструктуру агломерату: окисно-відновні процеси ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^0$) і процеси фазоутворення — склад і послідовність кристалізації основних фаз із силікатного розплаву.

Розраховані значення модуля мікроструктури для агломерату ПАТ НЛМК різної основності на основі концентрату з вмістом заліза 68,0 % наведені на рис. 1. Із підвищенням основності агломерату значення модуля мікроструктури зростає, що дозволяє очікувати збільшення міцності, відновлюваності, зниження руйнування агломерату під час відновлення та звуження температурного інтервалу розм'якшення-плавлення (ТІРП).

Агломерати різної основності отримували в лабораторних умовах шляхом спікання в аглочаші шихти на основі концентрату СГЗК із вмістом заліза 68,0 %. Основність шихти CaO/SiO_2 змінювали в діапазоні 1,2–2,0 одиниць із кроком 0,2. У процесі досліджень підбирали оптимальну витрату твердого палива для кожного складу шихти з урахуванням досягнення максимальної вертикальної швидкості спікання та міцності агломерату.

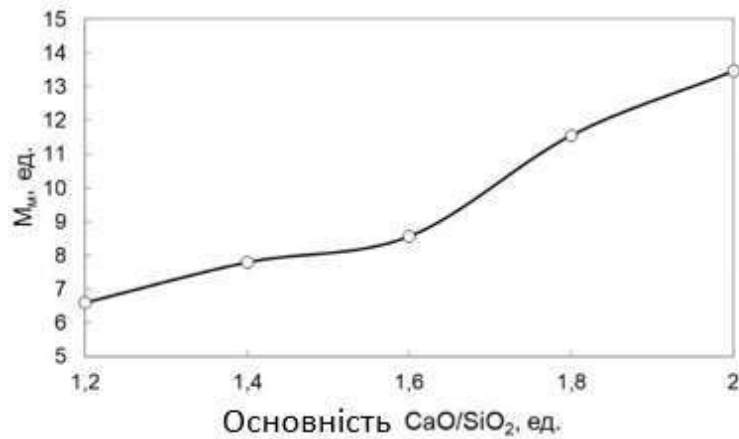


Рис. 1.1. Значення модуля мікроструктури для агломерату ПАТ «НЛМК» [3]

У результаті проведених досліджень встановлено, що максимальні значення вертикальної швидкості та питомої продуктивності агломераційного процесу досягнуті в діапазоні основності 1,4–1,6 одиниць (рис. 1.2, 1.3). Такий характер залежності відповідає гранулометричному складу окомкованої шихти.

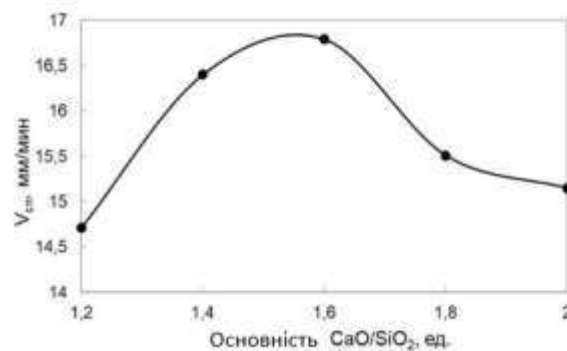


Рис.1.2. Залежність вертикальної швидкості спікання від основності агломерату [17]

За основності 1,4 од. середній діаметр гранул є максимальним і становить 8,04 мм. При підвищенні основності з 1,4 до 2,0 од. середній діаметр гранул шихти зменшується до 5,37 мм. При зниженні основності з 1,4 до 1,2 од. середній діаметр гранул шихти зменшується до 7,33 мм. Збільшення середнього діаметра гранул окомкованої шихти зі зменшенням основності зумовлено підвищенням частки комкувальної фракції в шихті — концентрату.

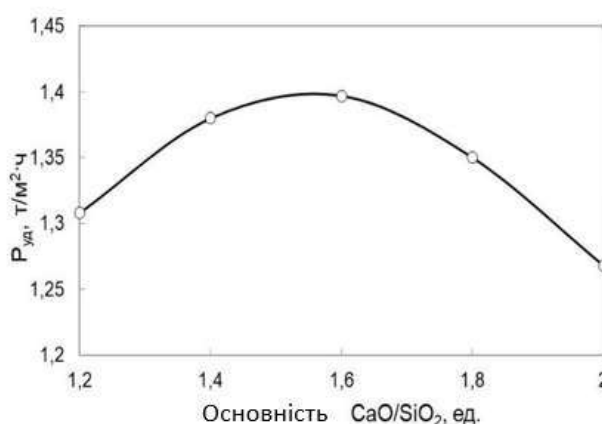


Рис.1.3. Залежність питомої продуктивності агломераційного процесу від основності агломерату [5]

Залежність міцності агломерату від його основності відповідає залежності модуля мікроструктури, проте спостерігається мінімум при основності 1,4 од. (рис. 1.4). Підвищення основності агломерату понад 1,4 од. монотонно збільшує його міцність, як і зниження основності нижче 1,4 од. Характер зміни міцності агломерату при зміні основності обумовлений мінеральним складом зв'язки. Підвищення основності понад 1,4 од. призводить до зменшення частки скла в структурі агломерату та збільшення частки кристалічних силікатних і феритних зв'язок. Зниження основності нижче 1,4 од. також зменшує кількість скла та збільшує кількість кристалічної залізосилікатної зв'язки.

Вивченню явища «провалу» холодної міцності агломерату в певному інтервалі основності приділялася велика увага ще з початку становлення агломерації як складової частини чорної металургії як науки [8]. Формуванню уявлення про суть інтервалу критичної міцності агломерату значну увагу приділено в працях Є.Ф. Вегмана [9]. На рис. 1.4 відображено вплив основності на міцність агломерату (вихід фракції >10 мм після барабанного випробування).

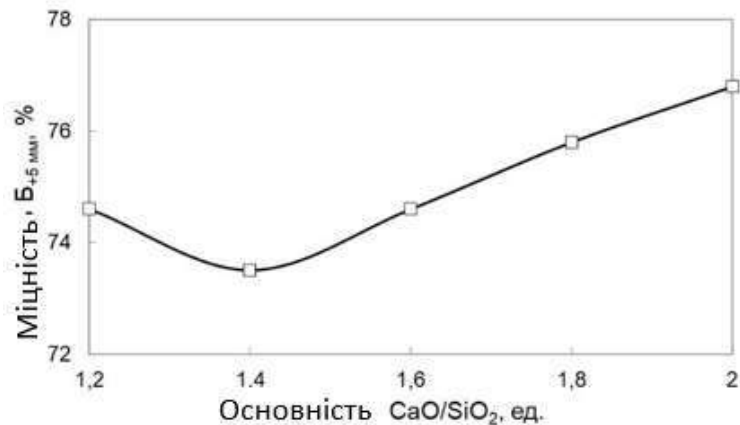


Рис. 1.4. Залежність міцності агломерату від основності [9]

Дослідники зазначають, що міцність спека починає різко знижуватися при основності 0,4–0,5, за якої в структурі агломерату з'являється Ca_2SiO_4 . Мінімальна міцність агломерату відповідає інтервалу основності 1,3–1,5. Подальше підвищення основності призводить до появи Ca_3SiO_5 , який не піддається поліморфним перетворенням. Зменшується кількість крихкого скла, з'являється нова міцна зв'язка — ферити кальцію; структура агломерату (всередині блоків) стає більш однорідною. Усе це сприяє підвищенню міцності агломерату. Таким чином, високоосновний агломерат (залізофлюс) виявляється таким же міцним, а в окремих випадках навіть значно перевершує за цим показником неофлюсований агломерат.

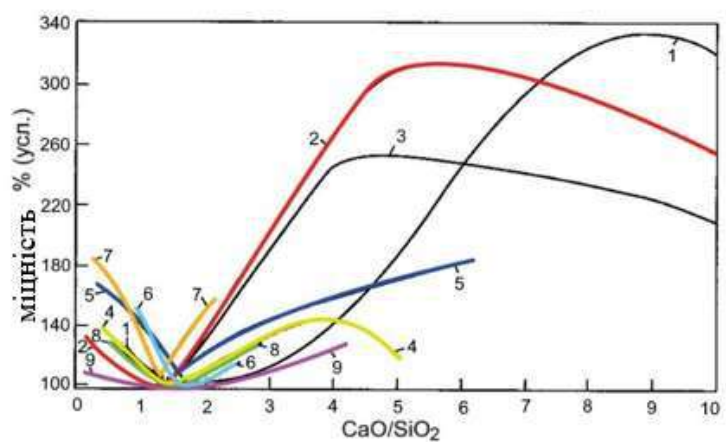


Рис. 1.5. Вплив основності агломерату на його міцність залежно від складу сировини [20]

Різке зниження міцнісних властивостей агломерату на невеликій ділянці інтервалу основності пов'язане зі зміною мінералогічних фаз, наявністю великої кількості мінеральних складників, не засвоєного в процесі спікання вапна, а також зі збільшенням частки нестабілізованого двокальцієвого силікату [6]. Важливим аспектом досліджень під час спікання агломераційних шихт є вивчення схеми утворення зв'язок і чинників, що визначають напрям мінералоутворення.

У подальших пошуках заходів для підвищення ефективності агломерації шихт було звернено увагу на особливості будови рудних мінералів. У дослідженнях напряму мінералоутворення зв'язок — носіїв міцності агломерату — для умов Магнітогорського металургійного комбінату (ММК) були отримані результати, представлені на рис. 1.6 [10].

Для технологічних та шихтових умов ММК інтервал критичної міцності має межі основності 1,4–1,8, мінімум міцності припадає на основність 1,6.

У складі низькофлюсованих агломератів носіями міцності є високо залістисті олівінові сполуки CaFeSiO_4 , що утворилися під час охолодження залісосилікатного розплаву, в якому напрям мінералоутворення визначається двовалентним залізом. Високозалістисті олівінові зв'язки — це продукт кристалізації залісосилікатного розплаву за низького окисного потенціалу газової фази в зонах горіння твердого палива.

Встановлене згодом змінення міцності залежно від основності за участі в шихті концентрату з руди Ковдорського родовища показало, що агломерати з низькою основністю (1,0–1,4) мають порівняно високі показники холодної міцності. У їхньому складі переважаючою рудною фазою є магнетит Fe_3O_4 , а зв'язкою між зернами виступає силікатний мінерал олівін складу CaFeSiO_4 (рис. 1.7) [11].

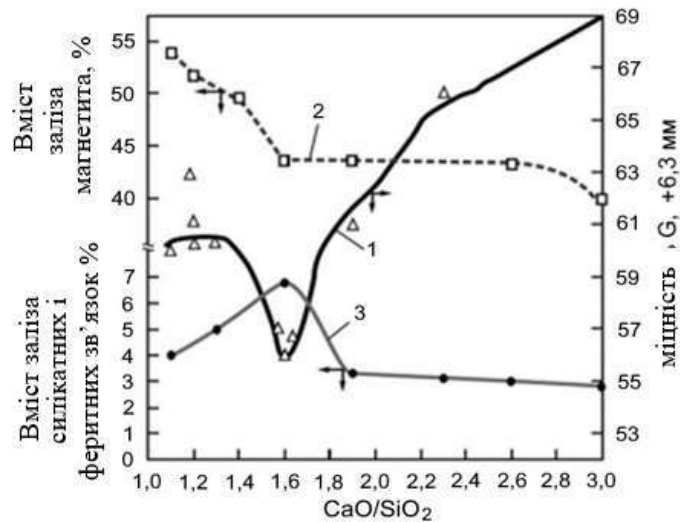


Рис. 1.6. Залежність міцності агломератів ММК (1), вмісту заліза в магнетиті (2) та вмісту заліза в силікатних і феритних зв'язках (3) від основності.
(розроблено [19])

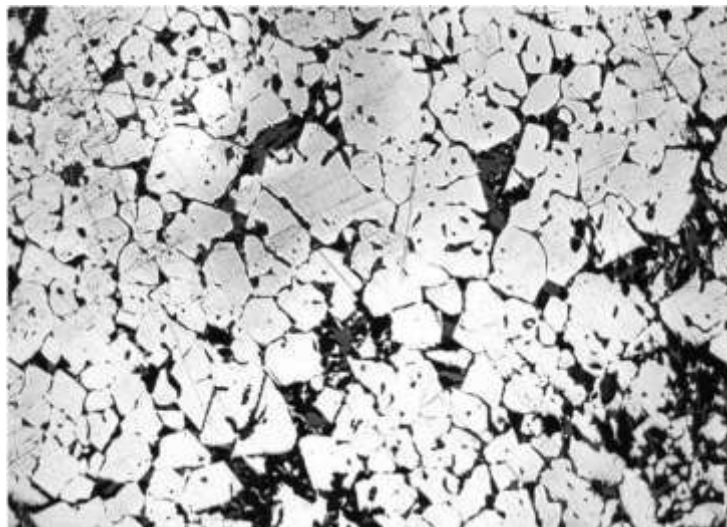


Рис. 1.7. Структура агломерату з основністю 1,0–1,4 [14]

Структура агломерату з основністю 1,0–1,4: магнетит — білий, силікатна зв'язка рудних зерен — темна (відбите світло, $\times 500$)
В інтервалі основності 1,6–2,2 зв'язка має мелітову, беззалісту природу зі складом $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Al})(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7$. Варто звернути увагу на той факт, що за шихтових і

технологічних умов спікання в інтервалі основності від 1,0 до 2,0 головним силікатоутворювальним компонентом розплаву є FeO.

За основності вище 2,2 відбувається зміна напрямку мінералоутворення силікатних зв'язок на феритні, де тривалентне залізо починає виконувати роль головного розплавоутворювального компонента, що супроводжується різким зростанням міцності. Феритна зв'язка представлена висококальцієвим феритом $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ (рис. 1.8).

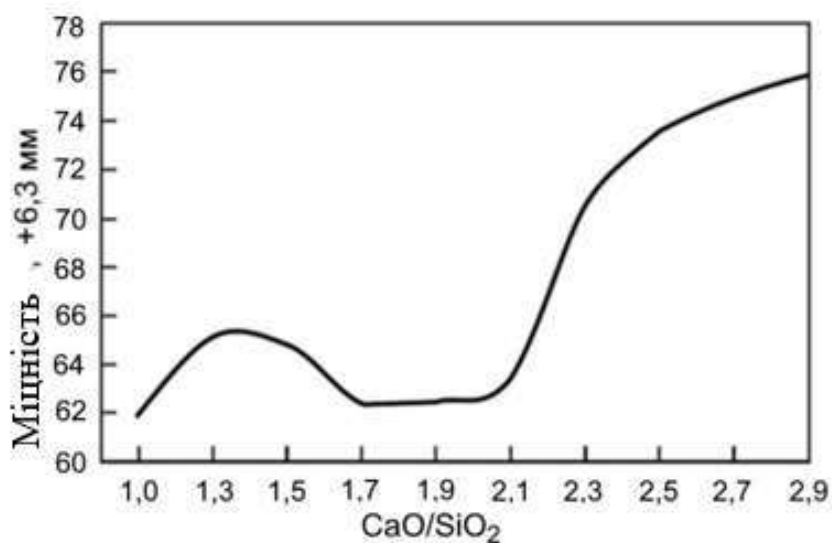


Рис. 1.8. Схема зміни холодної міцності в агломератах з основністю 1,0–3,3 [13]

Таким чином, зростання міцності агломератів відбувається внаслідок заміни силікатних зв'язок на феритні, а сам процес еволюції зв'язок визначається здатністю магнетиту гомогенної будови брати участь у процесах утворення розплаву.

1.4. Вплив основності на відновлюваність агломератів

Дослідження відновлюваності та руйнування при відновленні агломератів проводили за методикою, розробленою в АТ «Уральський інститут металів». Відновлення залізородних матеріалів здійснювали шляхом змішування з активним буровугільним напівкоксом. Ця методика моделює умови карботермічного

відновлення залізорудних матеріалів у доменній печі та дозволяє також оцінити їх руйнування під час відновлення без фізичних навантажень. Випробування залізорудних матеріалів складається з таких етапів:

1. Формування порції залізорудного матеріалу крупністю 3–5 мм із вмістом 945 г загального заліза ($Fe_{\text{заг}}$).

2. Завантаження порції залізорудного матеріалу в суміші з буровугільним напівкоксом у співвідношенні 1:0,5 за масою в електричну піч опору з вертикальним розташуванням трубчастого графітового нагрівача та нагрівання до 950 °С протягом 2 годин із подальшою витримкою протягом 1 години. Після завершення термообробки шихту охолоджували в печі до температури 50–70 °С, після чого її виймали.

3. Відновлену й охолоджену шихту відокремлювали від залишків напівкоксу та його золи за допомогою магнітної сепарації. Відновлений продукт розподіляли за класами крупності більше та менше 1,5 мм. Масова частка класу менше 1,5 мм характеризує руйнування під час відновлення залізорудного матеріалу, а втрата маси проби в процесі відновлення — ступінь відновлення за часткою вилученого кисню.



Рис. 1.9. Результати лабораторних досліджень [18]

У процесі випробувань проведено оцінювання відновлюваності та руйнування при відновленні п'яти зразків лабораторних агломератів ПАТ «НЛМК» різної основності. Результати лабораторної оцінки показників відновлюваності та руйнування при відновленні наведені на рис. 1.9. Із підвищенням основності агломерату його відновлюваність зростає відповідно до збільшення модуля мікроструктури, але в процесі випробувань встановлено різке зростання відновлюваності агломерату при основності 1,6 од. Руйнування при відновленні агломерату загалом зменшується зі зростанням основності, причому також при основності 1,6 од. зафіксовано мінімальну руйнівність агломерату.

1.5 Структурні зміни та визначення ТІРП

Визначення температурного інтервалу розм'якшення-плавлення (ТІРП) здійснювали відповідно до ДСТУ ГОСТ 26517–85 «Руди залізні, агломерати та окатиші. Метод визначення температури початку розм'якшення та температурного інтервалу розм'якшення» для попередньо відновлених залізородних матеріалів.

Відібрання проб залізородних матеріалів для визначення високотемпературних властивостей здійснювали згідно з ГОСТ 26136–34. Із попередньо відновленої на 80–90 % проби залізородного матеріалу крупністю –5+3 мм відбирали об'єм, достатній для заповнення тигля. Далі пробу в тиглі ущільнювали до припинення осідання. Висота ущільненого шару становила 50 ± 1 мм. Тигель із пробкою поміщали в нагрівальну піч, на зразок установлювали шток із вантажем і термопарою. Маса вантажу та штока забезпечувала питомий тиск на матеріал 0,1 МПа.

Після вмикання контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів пробу нагрівали до температури 800 °С, а лазерний вимірювач переміщення встановлювали в нульове положення, що відповідало початку випробування. Випробування проводили зі швидкістю нагріву 10 °С/хв. У процесі випробування фіксували температуру зразка під час переміщення штока від нульового положення

внаслідок занурення в пробу та визначали температуру розм'якшення залізорудного матеріалу й температуру плавлення.

Табл. 1.1.

Високотемпературні властивості агломератів різної основності та неофлюсованих окатишів
(розроблено [15])

№ п/п	Вид ЖРС	Температура початку розм'якшення T_p , °C	Температура початку плавлення $T_{п}$, °C	ТІРП $(T_{п} - T_p)$, °C
1	Агломерат основністю 1,2 од.	983	1429	446
2	Агломерат основністю 1,4 од.	1092	1495	403
3	Агломерат основністю 1,6 од.	1116	1516	400
4	Агломерат основністю 1,8 од.	1127	1523	396
5	Агломерат основністю 2,0 од.	1142	1535	393
7	Окатиші СГОКа	915	1317	402

Результати визначення температури початку розм'якшення та ТІРП агломератів різної основності ПАТ «НЛМК» і неофлюсованих окатишів СГЗК наведені в табл. 1.1. та на рис. 1.9. Визначення високотемпературних

властивостей агломератів різної основності виявило закономірні зміни: агломерати з низькою основністю мають нижчі температури розм'якшення й плавлення, тоді як агломерати з вищою основністю починають розм'якшуватися й плавитися за вищих температур.

Із підвищенням основності температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТРП) агломерату, який характеризує зону когезії в доменній печі, зменшується. Найширший ТРП спостерігається в агломерату з основністю 1,2 од., найвужчий — в агломерату з основністю 2,0 од., що відповідає залежності модуля мікроструктури від основності.

Висновки до аналітичної частини та постановка завдань дослідження

1. Вплив основності на показники процесу спікання агломерату має екстремальний характер. Максимальні вертикальна швидкість спікання та питома продуктивність досягаються при основності 1,6 од. Такий характер залежності відповідає гранулометричному складу окомкованої шихти та зміні частки комкувальної фракції в шихті — концентрату.

2. Залежність міцності агломерату від його основності відповідає залежності модуля мікроструктури, проте має мінімум при основності 1,4 од. Збільшення основності агломерату понад 1,4 од. монотонно підвищує його міцність, як і зниження основності нижче 1,4 од. Характер зміни міцності агломерату зі зміною основності зумовлений мінеральним складом зв'язки.

3. Із підвищенням основності агломерату його відновлюваність зростає відповідно до збільшення модуля мікроструктури, проте в ході випробувань зафіксовано різке зростання відновлюваності агломерату при основності 1,6 од., причому руйнівність при відновленні в цьому випадку є найнижчою. Агломерати з низькою основністю мають нижчу температуру розм'якшення та плавлення, а агломерати з вищою основністю починають розм'якшуватися і плавитися при вищих температурах.

4. Із підвищенням основності агломерату температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТІРП), що характеризує зону когезії, зменшується. Найширший ТІРП спостерігається в агломерату з основністю 1,2 од., найвужчий — при основності 2,0 од., що відповідає залежності модуля мікроструктури від основності.

З метою дослідження технології виробництва, металургійних властивостей та перспектив використання у доменних печах високоосновного агломерату у даній роботі поставлені наступні завдання дослідження:

- вивчити еволюцію мінералогічного складу зв'язок агломератів;
- встановити залежність міцнісних характеристик агломерату від його мікроструктури;
- дослідити вплив морфології магнетиту на властивості агломерату;
- дослідити особливості спікання концентратів із магнетитом гетерогенної будови; проаналізувати проблеми використання магнетиту гетерогенної будови;
- розробити рекомендації щодо оптимізації складу агломератів.

2.1 Еволюція мінералогічного складу зв'язок агломератів

Процес формування агломерату досить добре вивчений і описаний у технічній літературі [1, 2]. Автори підкреслюють роль феритів кальцію в утворенні розплаву під час спікання шихти та у зміцненні агломерату. Мінімальній міцності агломерату відповідає багатофазний мінеральний склад.

Дослідження мінерального складу зв'язок показало, що при основності 1,6 од. силікатна зв'язка являє собою двофазну композицію склоподібної фази з двокальцієвим силікатом [3]. Підвищене руйнування агломерату пов'язують із перетворенням β -модифікації двокальцієвого силікату на γ -модифікацію, що супроводжується значними об'ємними змінами.

Збільшення частки неофлюсованих окатишів у доменній шихті зумовлює підвищення основності агломерату (CaO/SiO_2) до 1,7–2,2 од. Дослідження особливостей формування мікроструктури таких агломератів є актуальним завданням.

Дослідження мікроструктури та фазового складу виконано для агломератів, отриманих із руд і концентратів із вмістом заліза менш як 65 %. Підвищення вмісту заліза в агломераті є постійною метою металургів.

Останнім часом гірничорудні підприємства підвищують вміст заліза в концентраті, і у виробництві агломерату застосовують концентрати з вмістом заліза 68–70 % [4]. У зв'язку з цим становить інтерес вивчення мікроструктури агломератів із високим вмістом заліза та впливу мінерального складу зв'язки на міцність агломерату.

Формування агломерату в процесі спікання відбувається шляхом плавлення компонентів шихти, кристалізації з розплаву залізорудних мінералів і утворення зв'язок на основі силікатів. Ступінь кристалізації силікатної зв'язки визначає міцність агломерату, тоді як склоподібна частина зумовлює його руйнування під час транспортування та перевантаження.

Під час плавлення шихти дотримується принцип найменшої температури плавлення, тобто першими утворюються мінерали та сполуки, що мають найнижчу температуру плавлення: геденбергіт ($\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) з температурою плавлення $1223\text{ }^\circ\text{C}$ [2] і однокальцієвий ферит ($\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) з температурою плавлення $1216\text{ }^\circ\text{C}$ [5]. Геденбергіт утворюється за умов підвищеного вмісту FeO (магнетитові концентрати та руди, високі витрати твердого палива) та відносно високого вмісту SiO_2 у шихті. Ферит кальцію утворюється переважно в окисних умовах при температурах $500\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ [1] з високою швидкістю за високої основності шихти та відносно низького вмісту SiO_2 .

На рис. 2.1 наведено схему утворення мінерального складу агломерату з низькою основністю та високим вмістом SiO_2 . Геденбергіт є початковою ланкою у формуванні розплаву, в якому розчиняються залізорудні компоненти й флюси. Завдяки цьому об'єм розплаву збільшується, і з підвищенням температури в цій зоні формується заліzosилікатний розплав, з якого далі кристалізуються зерна магнетиту.

Із пониженням температури в зоні плавлення з розплаву кристалізується моносилікат кальцію, а між кристалами магнетиту та моносилікату кальцію залишається заліzosилікатне скло змінного складу. Під час подальшого охолодження спека склоподібна фаза твердне й остаточно формує структуру агломерату.

У процесі досліджень встановлено, що така схема формування мікроструктури агломерату може реалізовуватися не лише під час спікання шихти з низькою основністю, але й при спіканні шихти з основністю $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,8$ од. Це підтверджується мікрорентгеноспектральним аналізом аншліфу зразка агломерату, отриманого в лабораторних умовах. Агломерат містить, % (мас.): 57,1 Fe; 10,85 CaO; 6,03 SiO_2 ; 2,22 MgO; 0,74 Al_2O_3 ; 0,3 MnO. Міцність агломерату за ГОСТ 15137–87 (фракція Б+5 мм) становить 74 %.

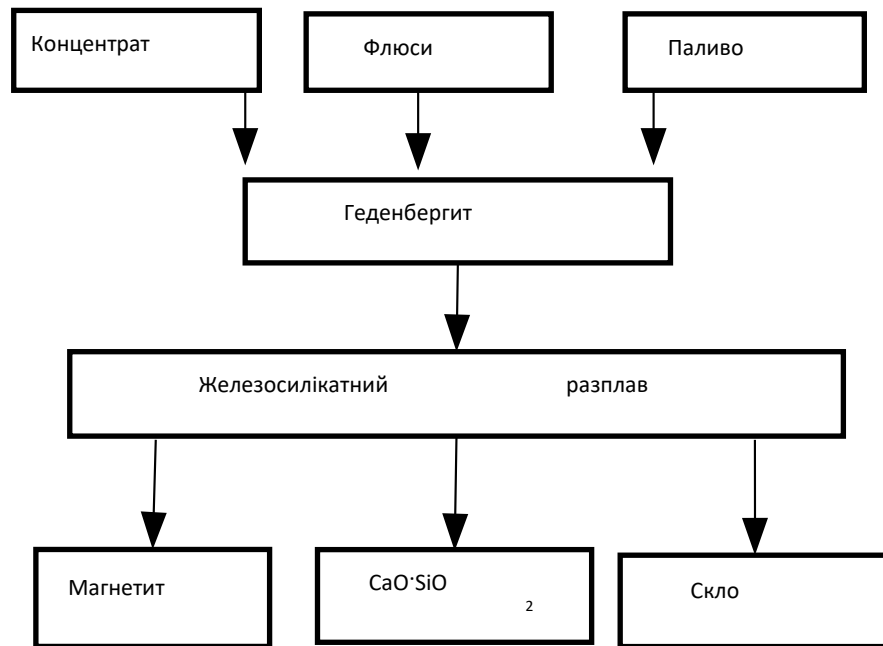


Рис. 2.1. Схема формування агломерату з низькою основністю та високим вмістом SiO_2 [16]

На рис. 2.1 наведено схему формування агломерату з низькою основністю та високим вмістом SiO_2 — зображення ділянки аншліфу в відбитих електронах. Основні фази, що складають структуру агломерату, позначено цифрами, і в цих точках проведено аналіз вмісту хімічних елементів.

За результатами аналізу, структуру агломерату утворюють такі фази:

- фаза в точках 1, 2 — частково окиснений магнетит (72,4 % Fe);
- фаза в точках 3, 4 — скло з високим вмістом заліза;
- фаза в точках 5–10 — моносилікат кальцію (42,4 % Ca);
- фаза в точках 11–14 — скло.

Наявність у мікроструктурі агломерату скла з високим вмістом заліза підтверджує утворення геденбергіту на початковій стадії спікання та його провідну роль у формуванні агломерату.

Під час спікання високоосновних шихт із низьким вмістом кремнезему (залізорудний концентрат із високим вмістом заліза) порядок утворення розплаву є іншим. Велика кількість оксидів заліза та кальцію забезпечує формування феритів кальцію, яке відбувається в твердофазному стані з високою швидкістю. Низька температура плавлення феритів дозволяє розчинити в розплаві оксиди кремнію та алюмінію. Під час розчинення кремнезем підвищує температуру плавлення й таким чином обмежує подальше розчинення.

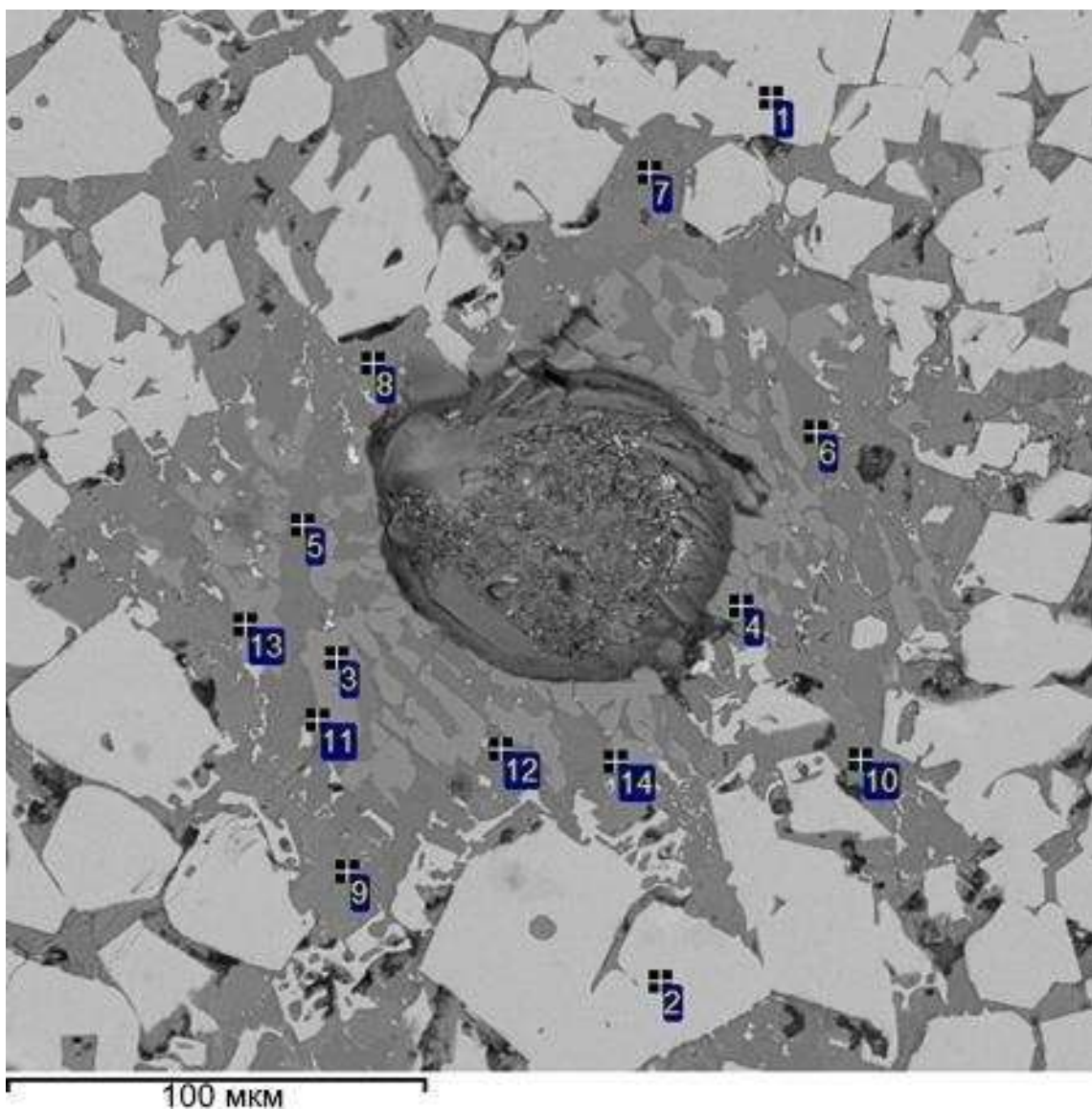


Рис. 2.2. Ідентифікація фаз на ділянці аншліфу агломерату з основністю $(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ 1,8 од. та вмістом SiO_2 6,03 % [4]

Табл. 2.1.

Додаток до рисунка 2.2 [4]

Фаза	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1	26,08		1,11	0,37			0,55	71,89
2	25,20		1,08	0,44			0,49	72,79
3	32,42	0,31	1,01	0,32	17,12		23,60	25,21
4	31,65		1,48		16,88		24,38	25,61
5	35,76	0,51	0,97		21,54		40,75	1,96
6	36,28		1,77		21,42		40,79	1,51
7	34,09		1,62	1,47	21,54	1,67	30,09	9,06
8	36,10		1,62		17,73		39,11	5,30
9	34,64				17,95		40,46	5,34
10	34,17				17,92		40,87	5,42
11	35,96	0,99		5,39	21,84	6,68	22,10	3,54
12	33,51	0,86		4,06	20,05	5,07	27,06	5,40
13	35,87	1,77		5,01	21,96	4,31	18,73	11,51
14	33,20	0,73	0,36	3,51	20,12	3,59	17,95	20,54

На відміну від нього, глинозем при розчиненні не підвищує температуру плавлення феритів і сприяє збільшенню кількості розплаву. Найбільш ефективною сполукою, що сприяє утворенню легкоплавкого розплаву під час агломерації та формуванню феритної зв'язки, є браунміллерит $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

У МДУ було синтезовано браунміллерит із марганцем [6], який має властивості звичайного браунміллериту, але містить оксид марганцю. Таким чином, оксиди алюмінію та марганцю в агломераційній шихті є необхідними, оскільки сприяють збільшенню кількості розплаву та зниженню температури плавлення.

Підвищення вмісту оксиду марганцю в шихті досягається введенням марганцевих руд і концентратів, причому перевагу надають карбонатним рудам і концентратам, оскільки вони містять мінімальну кількість оксидів кремнію, що підвищують температуру плавлення, і оксид кальцію, який знижує температуру плавлення первинного розплаву.

Найбільш ефективною добавкою оксиду марганцю до аглошихти є манганокальцит, а оксиду алюмінію — карбонатний боксит. У марганцевмісному вапняку марганець у вигляді манганокальциту та піролюзиту перебуває у тісному контакті з карбонатом кальцію. У карбонатному бокситі оксид алюмінію зв'язаний з оксидом заліза та карбонатом кальцію.

Основний характер мінерального складу марганцевмісного вапняку й карбонатного бокситу сприяє збільшенню кількості низькотемпературного розплаву під час спікання шихти та забезпечує швидке утворення феритів кальцію.

Особливо важливим є підвищення вмісту оксидів алюмінію та марганцю в аглошихті з високим вмістом заліза та низьким вмістом кремнезему.

На рис. 2.3 наведено схему утворення мінерального складу агломерату за високої основності та низького вмісту SiO_2 у шихті.

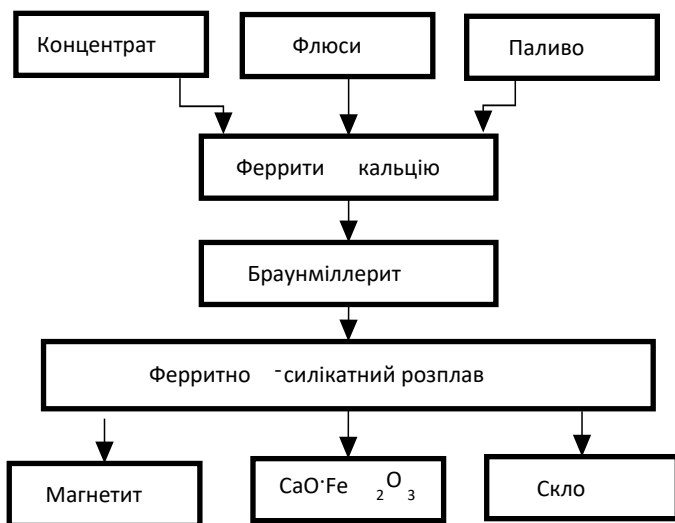


Рис. 2.3 Схема формування агломерату з високою основністю та низьким вмістом SiO_2 [5]

Підтвердження цієї схеми формування агломерату під час спікання шихти з високою основністю та низьким вмістом кремнезему отримано в результаті дослідження мікроструктури агломерату з основністю 1,8 од. і зниженим вмістом SiO_2 .

Агломерат містить, % (мас.): 59,4 Fe; 8,37 CaO; 4,65 SiO₂; 1,86 MgO; 0,67 Al₂O₃; 0,36 MnO.

Міцність агломерату за ГОСТ 15137–87 (фракція Б+5 мм) становить 73,8 %. На рис. 2.4 наведено зображення ділянки аншліфу, де переважно розміщена зв'язка агломерату.

За вмістом хімічних елементів структура агломерату складається з таких фаз: – фаза в точках 1–2 — магнетит; – фаза в точках 3–5 — ферити кальцію; – фаза в точках 6–8 — залізисте скло; – фаза в точках 11–13 — скло; – фаза в точках 9, 10, 14, 15 — пори.

2.2 Залежність міцнісних характеристик агломерату від його мікроструктури

Поява феритів кальцію в мікроструктурі агломерату свідчить на користь феритної схеми формування агломерату. Зв'язка агломерату складається з феритів кальцію та скла. Ферити утворюють дендритну структуру, а в проміжках між ними знаходиться залізосилікатне скло. У зв'язці присутня велика кількість пор, які мають подовжену форму та розташовані вздовж меж зерен феритів і скла.

Основна частина оксиду алюмінію зосереджена у залізистому склі, що підтверджує описану вище схему формування мікроструктури агломерату. Наявність оксиду алюмінію у склоподібній фазі свідчить про повне протікання процесу мінералоутворення відповідно до схеми на рисунку 2.4. Водночас велика кількість скла й пор у зв'язці не дозволяє повністю реалізувати зміцнення агломерату за рахунок феритизації зв'язки.

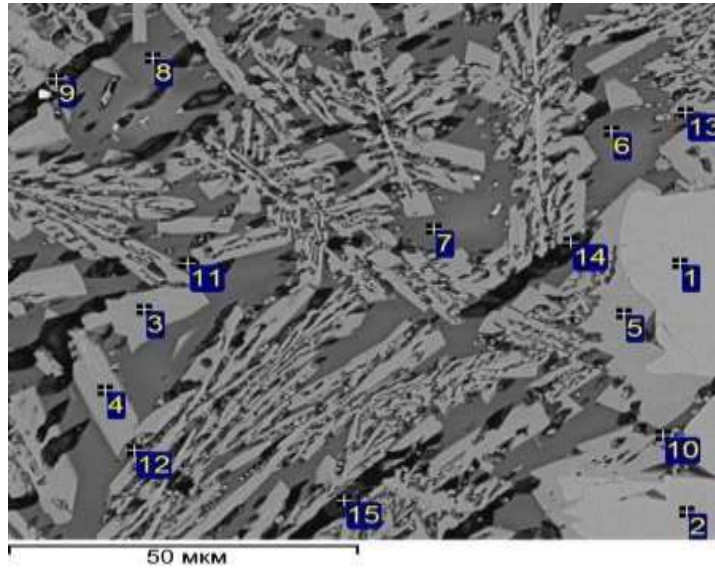


Рис. 2.4 Ідентифікація фаз на ділянці аншлифу агломерату з основністю
(CaO/SiO_2) 1,8 од. та вмістом SiO_2 4,65 %
(розроблено [7])

Таблиця 2.2

Додаток до рисунка 2.4
(розроблено [7])

Фаза	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Mn	Fe
1	27,26		3,14	0,33			1,35	0,49	67,43
2	27,03		3,19	0,27			1,09	0,46	67,97
3	30,69		0,34	1,01	3,89		11,26		52,80
4	29,24		0,67	0,93	3,45		10,32		55,39
5	30,54		0,93	0,85	4,31		10,71	0,42	52,24
6	40,23	0,37	0,32	1,04	20,59	1,67	25,49		10,29
7	40,10	0,42		1,05	19,84	1,46	26,00		10,72
8	41,41	0,42	0,27	1,01	20,41	1,42	25,18		9,38
9	31,						1,2		1,2

	22						1		1
10					3,2 4		1,8 2	1, 12	88, 91
11	31, 07				2,6 6		6,6 0		5,3 2
12	26, 05			0, 34	1,7 4		4,6 4		12, 29
13	27, 59			0, 37	2,4 2		5,9 4		13, 78
14	1,2 3				57, 35		0,3 7		0,8 9
15	7,9 0				52, 90		0,4 8		1,0 3

Зменшення кількості скла та підвищення міцності агломерату може бути досягнуто шляхом збільшення кількості феритного розплаву. У нашому випадку ефективним є підвищення основності шихти. В лабораторних умовах отримано агломерат з основністю 2,1 од. і вищим вмістом глинозему та оксиду марганцю, ніж у попередньому випадку. Агломерат містить, % (мас.): 58,3 Fe; 9,9 CaO; 4,71 SiO₂; 2,03 MgO; 0,9 Al₂O₃; 0,39 MnO. Міцність агломерату за ГОСТ 15137–87 (фракція Б+5 мм) становить 77 %.

2.3 Вплив морфології магнетиту на властивості агломерату

На рис. 2.5 наведено зображення ділянки аншліфу, де переважно розташована зв'язка. За вмістом хімічних елементів структура агломерату складається з таких фаз: – фаза в точці 1 — магнетит; – фази в точках 2, 3 — голчасті ферити кальцію; – фаза в точці 4 — скло.

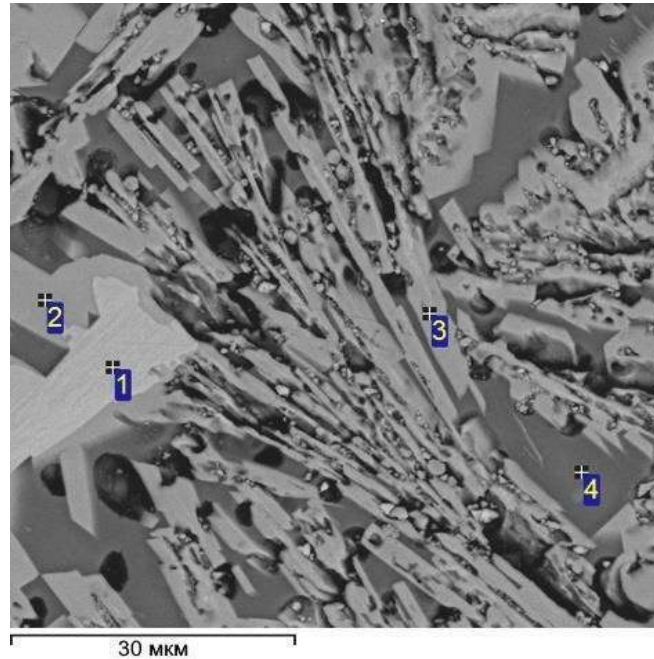


Рис. 2.5. Ідентифікація фаз на ділянці аншліфу агломерату з основністю $(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ 2,1 од. та вмістом SiO_2 4,71 % [3]

Кристалічна структура феритної зв'язки має голчасту форму, яка забезпечує підвищення міцності агломерату. Склоподібна фаза заповнює проміжки між кристалами феритів, ізольована від рудних зерен і її кількість є мінімальною. Рудні зерна з'єднані міцними кристалами феритів кальцію. Оксид алюмінію присутній як у складі феритів, так і у склоподібній фазі. Наявність оксиду алюмінію у складі феритів підтверджує формування агломерату за схемою, наведеною на рис. 2.5, і свідчить про незавершеність процесу мінералоутворення.

Табл. 2.3

Додаток до рисунка 2.5

Фаза	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1	24,69		0,70				0,99	73,61
2	27,29			1,16	4,37		12,13	55,05
3	28,86			1,41	4,36		11,98	53,38
4	35,78	0,31		1,37	20,77	1,97	28,50	10,69

Таким чином, для агломерату з високим вмістом заліза та низьким вмістом кремнезему підвищення основності до 2,1 од. створює умови для зростання міцності завдяки формуванню феритної зв'язки голчастої структури.

2.4 Особливості спікання концентратів із магнетитом гетерогенної будови

Вплив основності на склад і властивості агломерату, отриманого в результаті спікання суміші залізних руд із магнетитом гомогенної та гетерогенної будови, реалізується через процес силікатоутворення, що проходить послідовно у два етапи. Легкоплавкі силікати є джерелом первинного розплаву та причиною нестабільності міцнісних властивостей у групі агломератів із низькою основністю. При низькій основності 1,2–1,6 формується високо залізіста олівінова зв'язка — склоподібна фаза олівінового складу.

Отримана інформація про вплив руд на механізм зміцнення та механічні властивості залізородних агломератів, спечених з аглошихт з магнетитом гетерогенної будови, зробила необхідним продовження роботи зі вивчення процесу спікання аглошихти, яка повністю складається з концентрату ковдорських руд.

Дослідження офлюсованих агломератів, що на 100 % складаються з ковдорського концентрату, дозволило простежити еволюцію мінерального складу, а також побудувати графік залежності міцності від основності (рис. 2.6).

Високоофлюсовані агломерати з концентрату залізних руд Ковдорського родовища, що представляють собою чотирифазну мінеральну систему, насправді є двофазною композицією магнетиту з алюмосилікоферитною зв'язкою, яка забезпечує цим агломератам високі показники міцності [12].

Встановлено, що участь магнетиту різної будови у формуванні розплаву відрізняється.

Еволюція складу зв'язок і зміна холодної міцності при отриманні агломератів із магнетитом гетерогенної будови свідчить про відсутність у процесі фазоутворення заліzosилікатного розплаву. У складі агломератів низької основності

кремнекальцієвий розплав мелітового складу зі зростанням основності зменшується за кількістю та поступово переходить у ферит, що формується по гранях кристалів окислюваного магнетиту.

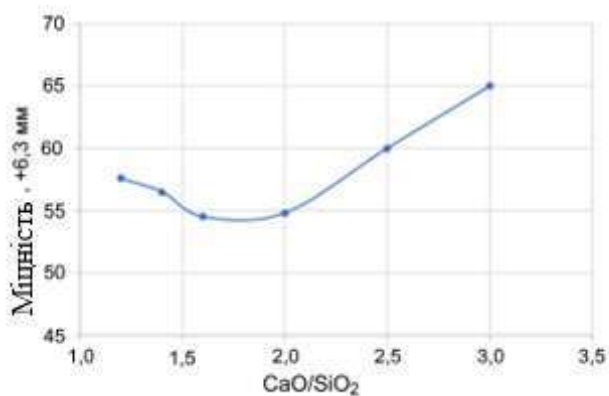


Рис. 2.6. Графік зміни холодної міцності

У зоні переходу фаз мелітиту й фериту спостерігається зниження міцності. Крайні члени агломераційної системи (меліт і ферит) в інтервалі основності 1,2–3,0 являють собою дві практично різні за мінералогічним складом композиції: магнетит – меліт і магнетит – ферит, які суттєво відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями.

У результаті проведених досліджень встановлено, що наявність інтервалу критичної міцності є закономірною і пояснюється присутністю в складі агломератів фаз голчастої форми $ASCF_2$, яка кристалізується виключно в асоціації з Ca_2SiO_4 .

Для різних технологічних і шихтових умов інтервал критичної міцності відповідатиме такій основності агломерату, за якої в його складі присутні голчасті алюмосилікоферити на основі $Ca_2Fe_4O_7$ [13].

2.5 Проблеми використання магнетиту гетерогенної будови

Сучасні агломераційні шихти все частіше формуються на основі концентратів із високим вмістом заліза, основним мінеральним компонентом яких є магнетит гетерогенної будови. Незважаючи на його високу металеву цінність, використання

такого матеріалу супроводжується низкою технологічних проблем, що впливають на якість агломерату, стабільність процесу спікання та експлуатаційні властивості кінцевого продукту.

Низька участь у процесі розплавоутворення. Однією з головних особливостей магнетиту гетерогенної будови є обмежена або відсутня участь у формуванні розплаву під час агломерації. На відміну від магнетиту гомогенного типу, який активно взаємодіє з компонентами шихти та бере участь у фазоутворенні, гетерогенний магнетит не здатен повноцінно включатися в утворення зв'язок, зокрема феритних. Це призводить до відсутності повноцінного зміцнення структури агломерату та формування дефектних зон зв'язку.

Нестабільна міцність агломерату. Через неоднорідну структуру і різну реакційну здатність зерен гетерогенного магнетиту спостерігається різкий провал холодної міцності агломератів у певному інтервалі основності (1,2–1,6). Це підтверджується лабораторними дослідженнями, які виявили, що в цьому діапазоні формується нестійка олівінова або мелілітова зв'язка, яка має нижчі механічні властивості порівняно з феритними зв'язками, характерними для агломератів із гомогенним магнетитом.

У складі агломератів із гетерогенним магнетитом встановлено наявність двох відмінних фазових систем:

- агломерати типу «магнетит — меліліт» (низькоосновні),
- агломерати типу «магнетит — ферит» (високоосновні).

Ці системи мають суттєво різні фізико-механічні властивості, що впливає на стабільність процесу доменного плавлення. У першому випадку фіксується більша кількість шлакових включень і склоподібних фаз, що знижує міцність та підвищує руйнування під час транспортування або відновлення.

Показники відновлюваності агломератів, отриманих із концентратів, які містять гетерогенний магнетит, є нестабільними. За певного рівня основності (наприклад, 1,6) відновлюваність може знижуватися. Це пояснюється утворенням щільної,

малопористої структури, яка ускладнює проходження газу-відновника до залізовмісних фаз.

Гетерогенна будова магнетиту суттєво ускладнює контроль фазоутворення, а також передбачення властивостей агломерату, особливо при зміні хімічного складу шихти. Необхідним є точний облік морфології та хімічного складу концентрату під час проектування агломераційної шихти, а також вибір такого рівня основності, який дозволяє мінімізувати негативний вплив гетерогенності магнетиту на структуру й властивості спека.

2.6 Оцінка перспектив використання у доменних печах високоосновного агломерату

Визначення високотемпературних властивостей агломератів із різною основністю показало закономірні зміни: агломерати з низькою основністю мають нижчі температури розм'якшення та плавлення, тоді як агломерати з вищою основністю починають розм'якшуватися й плавитися за вищих температур.

Із підвищенням основності температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТІРП) агломерату, що характеризує зону когезії в доменній печі, зменшується. Найширший ТІРП спостерігається в агломерату з основністю 1,2 од., найвужчий — у агломерату з основністю 2,0 од., що відповідає залежності модуля мікроструктури від основності.

У доменній печі агломерат плавиться разом з окатишами, тому необхідно оцінювати їхню поведінку комплексно. Як показали попередні дослідження, під час нагрівання суміші офлюсованого агломерату з неофлюсованими окатишами спостерігається зниження температури розм'якшення суміші, при цьому температура плавлення майже не змінюється й відповідає температурі плавлення агломерату. У такому випадку відбувається розширення зони когезії та збільшення газодинамічного опору в печі.

Склад залізорудної шихти для визначення витікання розплаву через коксову насадку

Компонент шихти	Основність агломерату, од				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Агломерат	85	70	65	60	55
Окатиші СГОКа	15	30	35	40	45

Визначення повноти витікання розплаву через коксову насадку для агломератів з різною основністю проводили в суміші з неофлюсованими окатишами СГЗК.

Співвідношення агломерат/окатиші розраховували для досягнення основності кінцевого шлаку $\text{CaO/SiO}_2 = 1,08$ од. Зміна співвідношення агломерату та окатишів при зміні основності агломерату наведена в табл. 2.4.

Повнота витікання шлакового розплаву та продуктів плавлення загалом є досить високою для всіх розглянутих складів.

Зниження показників повноти витікання встановлено для суміші окатишів із агломератом основністю 1,4 од. Із підвищенням основності агломерату повнота витікання розплаву через коксову насадку зростає.

Така залежність фільтрації продуктів плавлення через коксову насадку відповідає залежності модуля мікроструктури від основності. Найкращою повнотою витікання продуктів плавлення та шлаку характеризується суміш, що складається з 55 % агломерату основністю 2,0 од. і 45 % окатишів СГЗК.

2.7. Особливості технології та показники виробництва високоофлюсованого агломерату

Дані табл. 2.5 свідчать про те, що зі зростанням основності агломерату від 1,44 до 1,69 абс. од. ударна міцність за результатами барабанного випробування (вихід фракцій понад 5 мм) зросла з 66,8 до 70,21 %, а вміст фракції 0–5 мм у придатному продукті зменшився з 15,53 до 14,43 %.

Таблиця 2.5

Показники та параметри спікання 41в.41ко основної шихти на Єнакієвській
аглофабриці у 2012-2018 роках

Показник	2012– 2014 гг.	2015– 2016 гг.	2017 г.	2018 г.					
				січень	лютий	березень	квітень	травень	червень
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Об'єм виробництва агломерату, тис. т/рік (міс.)	2050	1560	890	40	60	90	60	110	99
Розрідження під шаром, кПа	5,8	6,7	6,6	8,1	7,1	5,44	6,1	6,2	4,32
Висота слою шихти, мм	372	350	380	380	400	400	350	375	350
Швидкість спікання, мм/41в.	17,47	16,85	13,60	15,66	16,64	16,80	15,82	16,50	15,82
Поточні простої, % до номінальних днів	1,8	4,12	2,72	0,99	28,12	4,24	7,69	1,40	3,13
Витрати, кг/т агломерату: рудна частина, всього	595,6	562,3	590,7	163,4	813,1	744,6	708,4	746,4	733,6
концентрат	333,4	414,7	563,1	116,7	478,1	497,1	626,8	746,4	733,6
аглоруда	262,2	147,6	27,6	46,7	335,0	247,5	81,6	—	—
вторинні матеріали	205,5	347	407,4	973,8	175,5	168,7	262,2	89,1	165
тверде паливо	46,73	47,36	44,4	8,3	47,1	50,1	51,1	60,6	67,2
вапно*	39,93	36,24	34,6	59,1	45,2	31,0	17,2	28,8	30,8
вапняк	129,6	95,7	25,4	42,4	144,2	107,5	102,7	96,9	100,6
конвертерний шлак	56,6	41,35	32,0	—	—	—	—	—	—
відсів агломерату	155,0	103,6	49,9	5,4	91,6	108,2	41,7	126,7	110,1
Хімічний склад агломерату, %: Fe	50,91	51,75	56,07	47,05	52,71	54,65	55,75	56,99	55,7
FeO	12,49	14,80	10,85	17,19	11,59	Нет 41в..	Нет 41в..	16,99	16,06
SiO ₂	9,40	8,65	6,28	7,91	6,86	5,86	6,42	4,74	5,30
CaO	15,17	14,63	9,06	18,05	13,01	11,37	9,37	8,67	10,70
MgO	1,54	1,53	2,00	1,54	1,44	1,44	2,43	2,35	1,72
Основність CaO/SiO ₂	1,62	1,69	1,44	2,28	1,89	1,94	1,46	1,83	2,02

Закінчення табл. 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Барабанна міцність агломерату: вихід фракції більше	70,92	70,21	66,80	63,50	64,10	64,50	66,10	67,40	66,8
5 мм, % вихід фракції 0–0,5 мм, %	5,14	4,85	4,60	4,60	4,40	4,20	4,50	4,50	4,6
Доля проб агломерату, %, відповідна в межах коливань від середніх величин ($\pm 0,5$ %)	28,59	15,57	21,21	11,20	21,60	19,60	12,60	21,30	32,00
($\pm 1,0$ %)	52,90	30,02	41,59	23,00	43,20	39,60	25,10	44,50	55,50
по основності ($\pm 0,05$ ед.)	26,15	12,71	21,86	4,30	14,10	16,80	6,00	17,60	16,80
($\pm 0,10$ ед.)	49,25	27,76	40,65	15,50	30,00	27,40	12,60	34,90	33,60

Особливості технології та показники виробництва високоофлюсованого агломерату вивчалися на основі статті про агломераційну фабрику Єнакіївського металургійного заводу [14]. У 70–80-х роках ХХ ст. на Єнакіївському металургійному заводі було освоєно технологію виробництва агломерату підвищеної основності (1,3–1,6 абс. од.) головним чином із метою практичного повного виведення сирого вапняку з доменної шихти, відповідного зниження витрати коксу та збільшення виплавки чавуну.

У 2018 році підвищення основності агломерату з 1,46 до 2,28 абс. од. супроводжувалося зниженням барабанної міцності з 66,1 до 63,5 % при практично незмінному вмісті фракції 0–5 мм в агломераті — 16,46 та 16,73 % відповідно. Це було зумовлено фактично двостадійним грохоченням агломерату на стаціонарних грохотах аглофабрики та вібраційних грохотах під рудними бункерами доменного цеху.

Промислові дослідження, проведені у 2013 році [15], показали покращення барабанної міцності агломерату з 71 до 73,4 % при зростанні його основності з 1,5 до 1,85 абс. од.

Проплавлення такого агломерату в доменних печах разом із низькоосновними окатишами супроводжувалося зниженням питомої витрати коксу на 19,6 кг/т чавуну. Покращення міцності високоосновного спека, як відомо, значною мірою забезпечується факторами високошарового спікання, а не лише покращенням мінералогічної структури спека підвищеної основності.

Поставлені фахівцями — авторами статті — цілі дослідження та можливої модернізації технології виробництва високофлюсованого агломерату в складних умовах базового підприємства, природно, призвели до повторного, поглибленого вивчення особливостей такої технології [16, 17], а також до проведення аналітичної оцінки конкретних даних щодо змін параметрів процесів і показників спікання високофлюсованих шихт.

При цьому враховано найактуальніші висновки з вищезгаданих досліджень, серед яких особливо підкреслено: необхідність підвищення однорідності аглошихти за гранулометричним і хімічним складом; більш суворе дотримання вимог щодо забезпечення нормованої крупності шихтових матеріалів; особливу організацію технології формування шару шихти на палетах агломашини, що передбачає раціональний розподіл гранулометричного складу шихти, вмісту пального в шихті та насипної маси шихти за висотою і шириною шару; чітко виражене збільшення швидкості спікання в середньому на 4 % на кожні 0,1 підвищення основності в діапазоні 0,8–2,5 абс. од., що є природною передумовою для обов'язкового збільшення висоти спекаемого шару, яке гарантує підвищення міцності агломерату та зниження витрати пального на процес спікання.

Спікання високоосновної шихти — енергозберігаючий процес, питома витрата твердого пального на спікання при підвищенні основності агломерату (наприклад, від 1,23 до 2,38), як правило, не зростає, незважаючи на збільшення питомої витрати сирого вапняку в аглошихту. Це пояснюється значним зниженням температури плавлення шихти — основних мінералів твердофазного спікання — феритів, силікатів кальцію та інших; в окремих дослідках досягнуто зниження витрати пального на 5–10 % при підвищенні основності агломерату з 0,8–1,25 до 1,8–2,5 абс. од. [18]. Дані табл. 2.5

по Єнакіївській аглофабриці свідчать про значно нижчу порівняно з іншими аглофабриками питому витрату твердого пального, що зумовлено не лише вищою основністю шихти, а й більшим питомим використанням паливовмісних відходів.

Дані щодо хімічного складу агломерату, показників коливань вмісту заліза в агломераті та його основності (див. табл. 2.5) свідчать про низьку ефективність усереднення сировини за допомогою підлогових перевантажувальних машин, які мало пристосовані до класичного багат шарового укладання різнорідної сировини в штабелі та її вибірки шляхом зрізання укладених шарів по всій висоті сформованих штабелів. У минулому, за умови усереднення сировини рудногрейферними перевантажувачами, показники стабільності хімічного складу агломерату були приблизно втричі кращими [19]. У межі коливань вмісту заліза в агломераті ± 1 % та основності агломерату $\pm 0,1$ абс. од. від їх середніх значень потрапляли відповідно 83,1 % та 86,5 % проб агломерату, тоді як в останні роки, при використанні малоефективних перевантажувальних машин, ці показники становили лише 39,5 % та 30,2 % відповідно (див. табл. 2.5).

Якісне дрібнокристалічне вапно з обертових барабанних печей, отримане за температур обжарювання вапняку не вище 1100 °С, містить 90–95 % (CaO + MgO) і є незамінним інтенсифікатором спікання шихти. Воно забезпечує високу газопроникність шихти, зростання продуктивності агломашин, а також створює одну з основних умов для збільшення висоти спекаємого шару, підвищення міцності агломерату та зниження витрати твердого палива на процес спікання [20].

З викладеного випливає наполеглива рекомендація щодо доцільності введення якісного вапна у штабелі концентратів і відходів за оптимального, економічно обґрунтованого його загального витрачання на рівні 30–40 кг/т агломерату. За такого витрачання вапна гарантовано зростання продуктивності агломашин щонайменше на 10–15 %, при цьому створюються умови для максимально можливого, за висотою бортів палет, збільшення висоти спекаємого шару шихти.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Загальні положення. Охорона праці — це система збереження життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності. На агломераційних фабриках, де здійснюється виробництво високоосновного агломерату, питання безпеки праці мають особливе значення у зв'язку з високими температурами технологічних процесів, запиленістю, роботою з важким обладнанням і хімічно активними речовинами. Метою даного розділу є аналіз умов праці, потенційних небезпек і заходів для забезпечення безпеки персоналу під час виробництва високоосновного агломерату на аглофабриці.

Аналіз умов праці на аглофабриці. У процесі агломерації використовується таке обладнання: агломераційні машини (агломашини), установки газоочищення, змішувальні та дозувальні вузли, лінії подачі палива, концентратів і флюсів. На робочих місцях оператора агломашини, машиніста конвеєра, оператора пиловловлювання та лабораторного персоналу присутні такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

Фізичні: підвищена температура (60–80 °C у зоні агломашини), шум (понад 85 дБ), вібрація від обладнання, висока запиленість повітря.

Хімічні: вплив аерозолів оксиду кальцію, діоксиду кремнію, оксидів заліза та інших компонентів аглошихти. Механічні: рухомі частини обладнання, небезпека заземлення, падіння з висоти під час технічного обслуговування. Психофізіологічні: потреба у постійному візуальному та аудіоконтролі, висока концентрація уваги, відповідальність за безпечне ведення технологічного процесу.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники, залучені до виробництва агломерату, зобов'язані використовувати ЗІЗ відповідно до характеру виконуваних робіт: робітники біля агломашини Вогнетривкий спецодяг, каска, захисні окуляри, респіратор (ФП-300), теплоізоляційні рукавиці, черевики з металевим підноском.

Оператори пиловловлювання Комбінезон, респіратор, захисні окуляри, ПВХ-рукавиці.

Лаборанти Халат, окуляри, рукавиці, за необхідності — фартух і витяжна шафа.

Контроль за справністю та своєчасною видачею ЗІЗ здійснює відповідальний фахівець служби охорони праці. Система вентиляції та аспірації. Для зниження запиленості повітря та підтримання допустимих концентрацій шкідливих речовин передбачено централізовану систему аспірації: місцеві відсмоктувачі біля змішувачів, завантажувальних бункерів, точок вивантаження агломерату; рукавні фільтри та циклони; періодична перевірка фільтрів і аспіраційних систем згідно з графіком ППР.

Допустимі концентрації шкідливих речовин регламентуються ДСТУ ГОСТ 12.1.005–88 та СанПіН 2.2.2/2.4.1340–03.

Пожежна безпека. Агломераційне виробництво належить до категорії пожежонебезпечних через: високі температури процесу (до 1500 °С); використання твердого палива (вугілля, кокс); наявність сухих горючих пилів.

Протипожежні заходи: розміщення на робочих місцях вогнегасників (ОУ-5, ОП-4), ящиків з піском; автоматична пожежна сигналізація і система водяного пожежогасіння у зонах завантаження та спікання; навчання персоналу діям у разі пожежі, регулярні тренування та інструктажі.

Електробезпека. Більшість обладнання працює від мережі 380 В. Роботи з ремонту та обслуговування виконуються виключно за нарядом-допуском. Працівники повинні мати групу з електробезпеки не нижче II. Обов'язково: заземлення обладнання; наявність попереджувальних знаків і блокувань; перевірка цілісності ізоляції та захисних засобів (діелектричні рукавиці, килимки тощо).

Організація навчання та інструктажу. Усі працівники проходять: вступний інструктаж при прийомі на роботу; первинний — на робочому місці перед початком самостійної роботи; повторний — не рідше ніж один раз на півроку; позаплановий — у разі зміни технологічного процесу, нещасних випадків тощо.

Відповідальними за проведення інструктажів є начальники змін і майстри дільниць. Вся інформація фіксується в журналі встановленої форми.

Медичні огляди та санітарно-побутове забезпечення. Працівники аглофабрики проходять: попередні медичні огляди при прийомі на роботу; періодичні — не рідше одного разу на рік; позачергові — за приписом лікаря або при погіршенні умов праці.

Санітарно-побутові умови включають: обладнані душові, роздягальні, кімнати прийому їжі; забезпечення питною водою; обов'язкова організація відпочинку протягом зміни (санітарні перерви).

Висновок. У сучасному агломераційному виробництві, зокрема при виготовленні високоосновного агломерату, питання охорони праці є надзвичайно актуальними через наявність комплексу шкідливих та небезпечних виробничих факторів: підвищена температура, запиленість, шум, вібрація, хімічні речовини (окис кальцію, діоксид кремнію, оксиди заліза), а також наявність рухомих частин обладнання. На аглофабриках робочі стикаються з ризиками механічних травм, теплового впливу, впливу токсичних речовин та втоми. Для зниження впливу цих факторів обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту — спецодягу, респіраторів, захисних окулярів, рукавиць і спецвзуття відповідно до специфіки робіт. Ефективно функціонуюча система вентиляції й аспірації, а також заходи з пожежної безпеки (наявність вогнегасників, систем пожежогасіння, інструктажів) забезпечують додатковий захист персоналу. Всі працівники проходять обов'язкові медичні огляди, інструктажі з охорони праці та навчаються діям у надзвичайних ситуаціях. Особливу увагу приділяють електробезпеці, роботі з обладнанням під напругою, дотриманню правил замикання та блокування. Забезпечення санітарно-побутових умов (душові, гардеробні, кімнати відпочинку) є необхідною складовою безпечної праці. Враховуючи небезпечний характер агломераційного виробництва, дотримання комплексних заходів з охорони праці дозволяє зменшити рівень травматизму, забезпечити збереження здоров'я працівників і стабільну роботу виробництва. У агломераційному виробництві охорона праці є невід'ємною частиною технологічного процесу. Правильна організація умов праці, контроль шкідливих факторів, забезпечення персоналу ЗІЗ і дотримання вимог безпеки дозволяють суттєво знизити травматизм і професійні захворювання, підвищити продуктивність і стабільність роботи підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основність агломерату (CaO/SiO_2) має вирішальний вплив на комплекс його металургійних властивостей: міцність, відновлюваність, температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТІРП), а також на продуктивність процесу спікання. Встановлено, що оптимальні технологічні та експлуатаційні характеристики агломерату досягаються при основності 1,6–2,0 од..

Міцність агломерату має екстремальну залежність від основності. Мінімум спостерігається при основності 1,4 од., що пов'язано з утворенням нестійких мінеральних фаз ($\beta \rightarrow \gamma$ -модифікація Ca_2SiO_4). Зі зростанням основності міцність зростає завдяки переходу до феритної структури зв'язки, зокрема утворенню $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ і браунміллериту.

Відновлюваність агломерату також зростає зі збільшенням основності. Максимальний ефект досягається при основності 1,6 од., що поєднується з мінімальним руйнуванням під час відновлення. Це забезпечує ефективність процесу у доменній печі та зменшує утворення дріб'язку.

Температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТІРП) зменшується зі збільшенням основності. Агломерат з основністю 2,0 од. має найвужчий ТІРП, що забезпечує стабільність зони когезії в доменній печі й сприяє кращому витіканню розплаву.

Мікроструктура агломерату суттєво змінюється з підвищенням основності: від склоподібної зв'язки в низькоосновних агломератах до феритної голчастої структури у високоосновних. Саме феритна зв'язка забезпечує високу міцність і термічну стабільність спека.

При використанні магнетиту гетерогенної будови спостерігається складність у формуванні міцної зв'язки. У цьому випадку особливо важливим є точний підбір основності, щоб забезпечити стабільне фазоутворення й уникнути утворення слабкої мелітової фази.

Дослідження показали, що оптимальне співвідношення агломерату з основністю 2,0 од. та неофлюсованих окатишів (у пропорції 55/45) забезпечує найкращу фільтрацію продуктів плавлення через коксову насадку.

Практичні результати з Єнакіївської аглофабрики підтверджують доцільність впровадження технології виробництва високоофлюсованого агломерату з основністю до 1,7 од., що забезпечує зростання ударної міцності, зменшення дрібних фракцій і стабільність агломераційного процесу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Базилевич С.В., Вегман Є.Ф. Агломерація. — М.: Металургія, 1967. — 368 с.
Дорофеев В.М., Ровенський І.І., Русанов І.Ф. Дослідження властивостей агломерату різної основності // Вісник вищих навчальних закладів. Чорна металургія. 1982. № 3. С. 15–17.
2. Фролов Ю.О. Агломерація: технологія, теплотехніка, управління, екологія. — М.: Металургіздати, 2016. — 672 с.
3. Малишева Т.Я., Павлов Р.М. Вплив мінералогічного складу зв'язок на міцнісні властивості агломератів різної основності // Вісник вищих навчальних закладів. Чорна металургія. 2012. № 11. С. 6–10.
4. Ісаєнко Г.Є., Ковалев Д.А., Мещеряков М.С. та ін. Дослідження впливу підвищення вмісту заліза в залізорудному концентраті на технологічні показники спікання та металургійні властивості агломерату // Чорна металургія. Бюлетень науково-технічної та економічної інформації. 2021. Т. 77. № 10. С. 1032–1038. Doi: 10.32339/0135-5910-2021-10-1032-1038.
5. Пузанов В.П., Кобелєв В.А. Функціональні властивості залізорудних матеріалів. — Єкатеринбург, 2015. — 617 с.
6. Базилевич С.В., Вегман Є.Ф. Агломерація. — М.: Металургія, 1967. — 368 с.
7. Малишева Т.Я. Залізорудна сировина: зміцнення при термообробці. — М.: Наука, 1988. — 199 с.
8. Малишева Т.Я., Павлов Р.М. Вплив мінералогічного складу зв'язок на міцнісні властивості агломератів різної основності // Вісник вищих навчальних закладів. Чорна металургія. 2012. № 11. С. 6–10.
9. Ісаєнко Г.Є., Ковалев Д.А., Мещеряков М.С. та ін. Дослідження впливу підвищення вмісту заліза в залізорудному концентраті на технологічні показники спікання та металургійні властивості агломерату // Чорна металургія. Бюлетень науково-технічної та економічної інформації. 2021. Т. 77. № 10. С. 1032–1038.

10. Бережний А.С. Багатокомпонентні системи оксидів. — Київ: Наукова думка, 1970. — 542 с.
11. Калюжна А.С. Синтез і особливості будови нових складних оксидів марганцю зі структурою браунміллериту: автореф. дис. ... канд. хім. наук. — Москва, 2010. — 27 с.
12. Ширяєва Є.В., Підгородецький Г.С., Малишева Т.Я. та ін. Вплив низьколужних червоних шламів на склад і структуру агломераційної шихти з залізорудних концентратів різного генезису // Вісник вищих навчальних закладів. Чорна металургія. 2014. Т. 57. № 9. С. 13–17. Doi: 10.17073/0368-0797-2014-9-13-17.
13. Малишева Т.Я., Деткова Т.В., Логінов І.В., Горшколєпова А.В. Фазовий склад і структурні особливості промислового агломерату Череповецького металургійного комбінату ВАТ «Сєверсталь» // Металург. 2010. № 5. С. 38–42.
14. Пузанов В.П., Кобелєв В.А. Функціональні властивості залізорудних матеріалів. — Єкатеринбург, 2015. — 617 с.
15. Коротич В.І., Фролов Ю.О., Бездежський Г.М. Агломерація рудних матеріалів. — Єкатеринбург, 2003. — 400 с.
16. Коротич В.І. Основи теорії і технології підготовки сировини до доменного плавлення. — М.: Металургія, 1978. — 210 с.
17. Утков В.А. Високоосновний агломерат. — М.: Металургія, 1977. — 156 с.
18. Лук'янов А.В., Зубенко А.В., Івасенко В.В. Ефективна робота аглодоменного виробництва філії № 2 ЄМЗ ЗАТ “Зовнішторгсервіс” при розширенні використання у шихті вторинних ресурсів та окатишів // Збірник наукових праць ДВНЗ ЛНР “ДонГТУ”. 2017. № 7. С. 86–91.
19. Колесанов Ф.Ф., Хлапонін М.С., Кривошеєв В.М., Чикуров В.І. Удосконалення агломераційного процесу. — Київ: Техніка, 1983. — 110 с.
20. Утков В.А. Високоосновний агломерат. — М.: Металургія, 1974. — 156 с.

Звіт подібності

метадані

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY
 Завантажено
Шульга Андрій Олександр
 Автор **Науковий керівник / Експерт**
Шульга Андрій Олександр Чупринов С.В.
 #організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

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



КП 1



КЦ

25

Довжина фраз для коефіцієнта подібності 2

7987

Кількість слів

62458

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв		1
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		2

Подібності за списком джерел

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

10 найдовших фраз

Копію тексту

Порядковий номер	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	Кількість ідентичних слів (MATCHES)
1	Діагностика та корекція самооцінки в підлітковому віці (в онлайн форматі) 5/20/2021 South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky (Кафедра теорії та методик практичної психології)	11 0.14 %
2	http://www.shirok-	10 0.13 %

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра
(бакалавра, магістра)

Студента(ки) Шульга Андрій Олегович
(прізвище, ім'я та по-батькові)
групи МТ-23м

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Дослідження причин прогару повітряних фурм доменної печі та розробка заходів щодо їх захисту

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>52;</u>
таблиць	<u>4;</u>
схем і рисунків	<u>16;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>13.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

В роботі визначено еволюцію мінералогічного складу зв'язок агломерату; залежність міцнісних характеристик агломерату від його мікроструктури; вплив морфології магнетиту на властивості агломерату; особливості спікання концентратів із магнетитом гетерогенної будови та проблеми використання; оцінка перспектив використання у доменних печах високоосновного агломерату; особливості технології та показники виробництва високоофлюсованого агломерату

(бакалавра, магістра)

Пояснювальна записка викладена структуровано, а графічна частина містить ілюстрації, що сприяють наочному представленню отриманих результатів.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Деякі дослідження могли бути викладені детальніше, щоб забезпечити кращу відтворюваність результатів. Робота могла б містити більше порівняння запропонованих методів із альтернативними технологіями.
Ці недоліки не знижують загальну якість роботи, але вказують на можливі

напрями для вдосконалення.

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

Студент Шульга Андрій Олегович продемонстрував високий рівень теоретичної підготовки та здатність до аналітичного мислення. Особливо слід відзначити його самостійність у виконанні досліджень та ініціативність у виборі методів аналізу. Автор успішно застосував отримані знання з матеріалознавства та металургійних технологій для розв'язання поставленого завдання.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра

Результати роботи можуть бути використані для вдосконалення процесів експлуатації повітряних фурм на металургійних підприємствах. Пропозиції щодо матеріалів і технологій агломерації мають практичну цінність і можуть бути впроваджені у виробничу діяльність.

Оцінка кваліфікаційної роботи _____ бакалавра

Керівник _____ *Кемен А.О.*
(прізвище, ім'я та по-батькові)

_____ *проф. З.М.Н.*
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

_____ *[Підпис]*
(підпис)

« 10 » 06 20 25 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу _____ **бакалавра**
(бакалавра, магістра)
Студента(ки) Шульга Андрій Олегович
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи МТ-23м
Тема кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
<u>Дослідження технології виробництва, металургійних властивостей та перспектив використання у доменних печах високоосновного агломерату</u>
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
Дослідження особливостей технології спікання концентратів із магнетитом гетерогенної будови
Переваги кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
У межах даної дипломної роботи проведено комплексне дослідження впливу основності агломерату на його металургійні властивості, зокрема міцність, відновлюваність, температурний інтервал розм'якшення-плавлення (ТІРП), а також поведінку у складі доменної шихти. Автор продемонстрував високий рівень самостійності у виконанні досліджень та творчий підхід до вирішення поставлених завдань.
Недоліки кваліфікаційної роботи <u>бакалавра</u> (бакалавра, магістра)
У роботі недостатньо порівняно запропоновані рішення із сучасними альтернативними технологіями агломерації. Деякі розділи могли б бути доповнені більш детальними розрахунками для покращення наукової доказовості
Рекомендації:
У подальших дослідженнях рекомендується розширити аналіз альтернативних матеріалів і технологій захисту.
Рецензент Панченко Г.М. (прізвище, ім'я та по-батькові)

Гол., К.Т.Н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

[Підпис]
(підпис)

ДОВІДКА
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
- навчальної/наукової праці;
- наукових матеріалів

«Дослідження температури виробництва металургійних
власностей та переміщів вихоректантів у розливних
печах високоосновною апаратурою»

автором/авторами або виконавцем якої є:

Шульга Андрій Олександр
(ІПБ)
каф. металургійних технологій НЦІТ
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 45 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом
«Plagiarism».
Рівень оригінальності становить 94%.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до
захисту на засіданні
(подальшого розгляду, друку, опублікування тощо)

каф. МТ
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія тощо)

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

Керівник підрозділу

Шульга
(підпис)

Касіян Д. О.
Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 12.06.25

ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій

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

Я, Шульга Андрій Олександр, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Домігнення
месингіві виробництва, механізмів висвітлення та
перспектив впровадження у РІТ високосилових алмазів» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) незгодовану допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

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

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

07.06.2025

Андрій

Шульга А.О.
(ініціали, прізвище, власноруч)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку студента-випускника

Шурьва Андрій Олександр
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій

Спеціальність 136 – Металургія

(шифр, назва)

Тема кваліфікаційної
роботи бакалавра

Керівник кваліфікаційної роботи:

проф. д.т.н., Кассім Д.О.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітки
1	Аналітична частина	Кассім Д.О.	зарах	10.06	<i>Д.О. Кассім</i>	
2	Основна частина	Кассім Д.О.	зарах	10.06	<i>Д.О. Кассім</i>	
3	Охорона праці	Кассім Д.О.	зарах	10.06	<i>Д.О. Кассім</i>	

Завідувач кафедри

Д.О. Кассім
(підпис)

Д.О. Кассім
(ініціали, прізвище)

« 10 » червня

2025 р.